

# autostrade // per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema

A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

OPERA A MARE NEL CANALE DI CALMA

IDRAULICA

Relazione idrodinamica e dispersiva

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE  
SPECIALISTICA

Ing. Paolo De Paoli  
Ord. Ingg. Pavia N. 1739

RESPONSABILE UFFICIO IDR

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Orlando Mazza  
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Maurizio Torresi  
Ord. Ingg. Milano N. 16492

RESPONSABILE FUNZIONE STP

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA: FEBBRAIO 2011	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE			n.	data
G16	codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	SCALA:	1	APRILE 2012
--	11071204		IDR9030	-2		2	MAGGIO 2012

 Ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Ilaria Lavander	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :	 S.p.A.	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	Ing. Paolo De Paoli Ord. Ingg. Pavia N. 1739

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE  Ing. Giorgio Fabriani	VISTO DEL CONCEDENTE 
--	---	---

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>IL MODELLO IDRODINAMICO E DISPERSIVO.....</b>	<b>12</b>
2.1	Il modello idrodinamico a maglia curvilinea del porto di Genova in prossimità dell'aeroporto.....	13
2.2	La schematizzazione dell'area di interesse per la scenario di riferimento. ....	17
2.3	Schematizzazione della configurazione di progetto.....	22
<b>3</b>	<b>IDRODINAMICA E DISPERSIONE POTENZIALE NELLA ZONA DI PROGETTO.....</b>	<b>24</b>
3.1	Le condizioni al contorno applicate .....	24
3.2	Campi di moto e dispersione per lo scenario di riferimento .....	30
3.2.1	Simulazione 1-Solo marea .....	30
3.2.2	Simulazione 2-Marea e vento di Scirocco .....	32
3.2.3	Simulazione 3-Marea e vento di Libeccio.....	33
3.2.4	Simulazione 4-Solo marea e deflussi medi annui dei corsi d'acqua .....	34
3.2.5	Simulazione 5-Marea, vento di Scirocco e deflussi medi annui dei corsi d'acqua.....	37
3.2.6	Simulazione 6-Marea, vento di Libeccio e deflussi medi annui dei corsi d'acqua .....	38
3.2.7	La dispersione dei rii minori (rio Roncallo e rio Secco) .....	40
3.3	Correnti e fenomeni dispersivi nella configurazione di progetto.....	46
3.3.1	Simulazione 1-Solo marea .....	46
3.3.2	Simulazione 2-Marea e vento di Scirocco .....	48
3.3.3	Simulazione 3-Marea e vento di Libeccio.....	49
3.3.4	Simulazione 4-Solo marea e deflussi medi annui dei corsi d'acqua .....	51
3.3.5	Simulazione 5-Marea, vento di Scirocco e deflussi medi annui dei corsi d'acqua.....	55
3.3.6	Simulazione 6-Marea, vento di Libeccio e deflussi medi annui dei corsi d'acqua .....	59
3.3.7	La dispersione dei rii minori (rio Roncallo e rio Secco) nella configurazione di progetto.....	63

3.4	Deflussi con tempo di ritorno di 200 anni.....	68
3.5	La salinità nel canale di calma .....	72
3.5.1	La distribuzione della salinità nello scenario di riferimento .....	73
3.5.2	La distribuzione della salinità nella situazione di progetto .....	74
4	<b>CAPACITÀ DI RICAMBIO IDRICO NELLA ZONA DI PROGETTO.....</b>	<b>76</b>
4.1	Il tempo di ricambio per lo scenario di riferimento.....	77
4.2	Il tempo di ricambio per la configurazione con interventi .....	79
5	<b>TRASPORTO SOLIDO NELLA ZONA DI PROGETTO .....</b>	<b>83</b>
5.1	Il trasporto solido nella configurazione attuale.....	85
5.2	Il trasporto solido nella configurazione di progetto .....	93
5.3	La capacità globale di trasporto solido.....	100
6	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>104</b>
6.1	Idrodinamica e dispersione .....	104
6.2	Capacità di ricambio .....	105
6.3	Trasporto solido .....	106

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 - Immagine da satellite dell'area di interesse .....	8
Figura 1.2 - Configurazione della situazione di riferimento e di progetto per le nuove analisi idrodinamiche .....	10
Figura 1.3 - Configurazione della situazione di riferimento e di progetto per le nuove analisi idrodinamiche .....	10
Figura 2.1 - Schematizzazione del dominio di calcolo con una griglia a maglia curvilinea.....	19
Figura 2.2 - Batimetria (m) applicata alla maglia di calcolo della Figura 2.1.....	19
Figura 2.3 - Dettaglio della maglia di calcolo nella zona del canale di calma .....	20
Figura 2.4 - Dettaglio della batimetria (m) applicata alla maglia di calcolo di Figura 2.3.....	20
Figura 2.5 - Dettaglio sovrapposizione della maglia di calcolo con immagine satellitare Google .....	21
Figura 2.6 - Stato di progetto - Schematizzazione generale con interventi.....	22
Figura 2.7 - Stato di progetto - Batimetria associata alla schematizzazione generale con interventi.....	23
Figura 3.1 - Corsi d'acqua considerati nel presente studio .....	27
Figura 3.2 - Campo di moto (m/s) generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 1 .....	31
Figura 3.3 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 2.....	33
Figura 3.4 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 3.....	34
Figura 3.5 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 4.....	35
Figura 3.6 - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 4 .....	36
Figura 3.7 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 5.....	37
Figura 3.8 - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 5. ....	38

Figura 3.9 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 6 .....	39
Figura 3.10 - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 6. ....	40
Figura 3.11 - Collocazione delle foci del Rio Secco e del Rio Roncallo rispetto alla schematizzazione del modello. ....	41
Figura 3.12 –Distribuzione delle concentrazioni (in u.i./l)di un tracciante passivo rilasciato dal rio Roncallo (sopra) e da rio Secco (sotto) con sola marea media .....	42
Figura 3.13 –Distribuzione delle concentrazioni (in u.i./l) di un tracciante passivo rilasciato dal rio Roncallo (sopra) e da rio Secco (sotto) con marea media e vento di scirocco. ....	44
Figura 3.14 – Distribuzione delle concentrazioni (in u.i./l) di un tracciante passivo rilasciato dal rio Roncallo (sopra) e da rio Secco (sotto) con marea media e vento di libeccio. ....	45
Figura 3.15 - Stato di progetto - Campo di moto (m/s) generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 1.....	47
Figura 3.16 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 2 .....	49
Figura 3.17 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 3 .....	50
Figura 3.18 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 4 .....	52
Figura 3.19 - Stato di progetto - Campo di concentrazione (u.i./m <sup>3</sup> ) generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 4 .....	53
Figura 3.20 - Differenza tra il campo di concentrazione (u.i./m <sup>3</sup> ) generato dal tracciante unitario rilasciato dal T. Polcevera nella situazione con interventi e nella scenario di riferimento per la simulazione 4.....	54
Figura 3.21 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 5 .....	56

Figura 3.22 - Stato di progetto - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 5 .....	57
Figura 3.23 - Differenza tra il campo di concentrazione (u.i./m <sup>3</sup> ) generato dal tracciante unitario rilasciato dal T. Polcevera nella situazione con interventi e nella scenario di riferimento per la simulazione 5.....	58
Figura 3.24 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 6 .....	60
Figura 3.25 - Stato di progetto - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 6 .....	61
Figura 3.26 - Differenza tra il campo di concentrazione (u.i./m <sup>3</sup> ) generato dal tracciante unitario rilasciato dal T. Polcevera nella situazione con interventi e nella scenario di riferimento per la simulazione 6.....	62
Figura 3.27 - Configurazione di progetto - Andamento delle concentrazioni di traccianti rilasciati dal rio Roncallo (sopra) e dal rio secco (sotto) per lo scenario di calma di vento.....	64
Figura 3.28 - Configurazione di progetto - Andamento delle concentrazioni di traccianti rilasciati dal rio Roncallo (sopra) e dal rio secco (sotto) per lo scenario con vento di scirocco .....	66
Figura 3.29 - Configurazione di progetto - Andamento delle concentrazioni di traccianti rilasciati dal rio Roncallo (sopra) e dal rio secco (sotto) per lo scenario con vento di libeccio .....	67
Figura 3.30 - Campo di moto generato da deflussi dal t. Polcevera e dai rii minori con un tempo di ritorno di 200 anni: situazione di riferimento (sopra) e scenario con gli interventi (sotto).....	70
Figura 3.31 - Differenza di livelli idrometrici generato da deflussi dal t. Polcevera e dai rii minori con un tempo di ritorno di 200 anni tra lo scenario con gli interventi e la situazione di riferimento. ....	71
Figura 3.32 - Distribuzione della salinità media nello scenario di riferimento.....	73
Figura 3.33 - Distribuzione della salinità media nella situazione di progetto.....	74
Figura 3.34 - Differenza della salinità media tra la situazione di progetto e lo scenario di riferimento .....	75

Figura 4.1 - Area di valutazione del tempo di ricambio per lo scenario di riferimento .....	77
Figura 4.2 - Scenario con scenario di riferimento - Tempo di ricambio, in ore, nel canale di calma quando sottoposto a marea media, a correnti litoranee (sopra) oltre ai deflussi medi annui dei principali corsi d'acqua (sotto).....	78
Figura 4.3 - Area di valutazione del tempo di ricambio per la situazione con interventi.....	80
Figura 4.4 - Scenario con interventi - Tempo di ricambio, in ore, nel canale di calma quando sottoposto a marea media, a correnti litoranee (sopra) oltre ai deflussi medi annui dei principali corsi d'acqua (sotto).....	81
Figura 5.1 - Scenario di riferimento – Materiale IM1 – Concentrazione (g/m <sup>3</sup> ) di solidi sospesi alla fine del rilascio .....	86
Figura 5.2 - Scenario di riferimento – Materiale IM2 – Concentrazione (g/m <sup>3</sup> ) di solidi sospesi alla fine del rilascio .....	87
Figura 5.3 - Scenario di riferimento – Materiale IM3 – Concentrazione (g/m <sup>3</sup> ) di solidi sospesi alla fine del rilascio .....	88
Figura 5.4 - Scenario di riferimento – Materiale IM1 – Densità di sedimentazione (g/m <sup>2</sup> ) di solidi in sospensione alla fine del processo .....	89
Figura 5.5 - Scenario di riferimento – Materiale IM2 – Densità di sedimentazione (g/m <sup>2</sup> ) di solidi in sospensione alla fine del processo .....	90
Figura 5.6 - Scenario di riferimento – Materiale IM3 – Densità di sedimentazione (g/m <sup>2</sup> ) di solidi in sospensione alla fine del processo .....	91
Figura 5.7 - Situazione con interventi – Materiale IM1 – Concentrazione di solidi sospesi alla fine del rilascio .....	93
Figura 5.8 - Situazione con interventi – Materiale IM2 – Concentrazione di solidi sospesi alla fine del rilascio .....	95
Figura 5.9 - Situazione con interventi – Materiale IM3 – Concentrazione di solidi sospesi alla fine del rilascio .....	96
Figura 5.10 - Materiale IM1 – Densità di sedimentazione (g/m <sup>2</sup> ) di solidi in sospensione alla fine del processo .....	97
Figura 5.11 - Materiale IM2 – Densità di sedimentazione (g/m <sup>2</sup> ) di solidi in sospensione alla fine del processo .....	98
Figura 5.12 - Materiale IM3 – Densità di sedimentazione (g/m <sup>2</sup> ) di solidi in sospensione alla fine del processo .....	99

Figura 5.13 - Andamento nel tempo della massa totale di sedimenti in sospensione nel sistema (g) .....	101
Figura 5.14 - Andamento nel tempo della massa totale sedimentata nel sistema (g).....	102
Figura 5.15 - Andamento nel tempo della massa totale scambiata con l'esterno del sistema (g) .....	103

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3.1 - Portate valutate per il T. Polcevera, Rio Roncallo e Rio Secco per diversi Tempi di ritorno .....	28
Tabella 3.2 - Portate di deflusso considerate per le immissioni dei corsi d'acqua nell'analisi dei campi di corrente e della dispersione .....	29
Tabella 3.3 - Quadro sinottico delle simulazioni effettuate per lo studio del campo di correnti e della dispersione nella scenario di riferimento .....	29
Tabella 5.1 - Caratteristiche dei sedimenti utilizzati per le analisi parametriche di trasporto solido .....	84

## 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto della riqualificazione dell'autostrada A10 con potenziamento della A7 e A 12, la cosiddetta "Gronda di Ponente" di Genova, è stato individuato come sito per la messa a dimora dello smarino proveniente dall'escavo delle gallerie autostradali il canale di calma del porto di Genova che attualmente separa la diga foranea di Cornigliano dal rilevato delle piste dell'aeroporto "Cristoforo Colombo" (Figura 1.1). La realizzazione di tale deposito, inoltre, consentirebbe di ovviare ad alcune non conformità a cui l'aeroporto stesso è attualmente soggetto.



Figura 1.1 - Immagine da satellite dell'area di interesse

Il canale di calma è un corpo idrico connesso ad est e ad ovest sia con il mare aperto tramite due "bocche" portuali, sia con altri due bacini portuali ad esso contigui.

Inoltre nel canale di calma, o nelle sue immediate vicinanze, trovano il loro sbocco almeno due rii secondari (il rio Secco ed il rio Roncallo) ed un torrente importante come il torrente Polcevera.

Una prima soluzione era stata studiata nell'ambito del Progetto Definitivo sviluppato nel 2010, che comprendeva una colmata delimitata da cassoni di conterminazione ed in grado di lasciare un canale navigabile, per tutta la lunghezza del canale di calma, della larghezza di circa 60 m.

In base alle osservazioni fatte dalla Capitaneria di Porto e dall'Autorità Portuale di Genova, si è proceduto ad una revisione della soluzione progettuale che, in termini generali può essere riassunta con:

- Larghezza residua del canale di navigazione pari a 75 m
- Rimodulazione della testata orientale della colmata con uno spostamento tale da consentire le manovre e l'attracco delle navi alla banchina ILVA

Inoltre questa nuova soluzione doveva essere inserita considerando i dragaggi già previsti sia di fronte alla banchina ILVA che alla foce del torrente Polcevera e la rimodulazione della testata del molo est.

La configurazione della situazione di riferimento da assumere come base per la simulazione dello scenario di riferimento è quindi quella riportata in Figura 1.2, mentre quella di progetto è illustrata in Figura 1.3.

È quindi importante, anche per questa nuova configurazione, studiare le caratteristiche idrodinamiche di questo sistema che costituiscono la base non solo relativa al movimento delle masse d'acqua collegate, ma anche e soprattutto il mezzo con cui avvengono i fenomeni dispersivi e di trasporto nell'area ed hanno, quindi, un effetto diretto sulla qualità del sistema in generale

Risulta pertanto evidente come, per valutare gli effetti che il nuovo intervento potrebbe avere su tali fenomeni locali in un sistema idrico sostanzialmente complesso come quello in esame, sia necessario uno studio di dettaglio in grado di riprodurre i processi principali che si verificano nello scenario di riferimento e in grado di prevederne i principali cambiamenti nella configurazione di progetto.



Per tale motivo è stato necessario predisporre un'analisi di dettaglio con strumenti adeguati per il conseguimento degli obiettivi sopra ricordati.

In particolare è stato messo a punto un modello matematico, idrodinamico e dispersivo che ha consentito di studiare l'andamento dei campi di corrente nello scenario di riferimento con diversi scenari di forzanti esterne (marea, vento, correnti litoranee, ecc.) per lo scenario di riferimento e di applicarlo poi alla configurazione prevista nel progetto definitivo, incluse le varianti richieste, e di studiare i principali processi direttamente connessi all'idrodinamica come la dispersione ed il trasporto solido evidenziando, anche in questo caso, le modifiche di questi parametri che verranno indotte dai nuovi interventi.

Il presente rapporto descrive le attività messe a punto per il perseguimento di questi obiettivi, iniziando con la descrizione del modello utilizzato e la messa a punto delle schematizzazioni del sito di studio, la descrizione dei principali processi idrodinamici e dispersivi per lo scenario di riferimento e la configurazione con i futuri interventi, l'analisi della distribuzione spaziale e temporale di parametri direttamente associabili alla qualità delle acque (salinità e tempo di ricambio), fino ad arrivare ad un'analisi parametrica del trasporto solido, sempre con riferimento al canale di calma, che potrebbe costituire un parametro di rilievo per il comportamento futuro del sistema.

Queste attività ed i principali risultati ottenuti sono riportati nei capitoli seguenti.

## 2 IL MODELLO IDRODINAMICO E DISPERSIVO

Lo studio idrodinamico di un'area protetta, come un porto, richiede sempre una grande attenzione per quanto riguarda il ricambio delle masse d'acqua nelle diverse condizioni meteo-marine che possono presentarsi.

A differenza di altri fenomeni, come ad esempio lo studio del moto ondoso, lo studio delle correnti richiede una valutazione specifica degli effetti prodotti dalle singole forzanti esterne in quanto anche piccole variazioni possono indurre conseguenze di una certa rilevanza.

Sulla base di queste considerazioni, il metodo di analisi che usualmente viene adottato deve prevedere:

- a) La predisposizione di uno strumento di analisi, usualmente uno o più modelli matematici tra loro interconnessi, che siano in grado di rappresentare con sufficiente dettaglio la zona di studio ed i fenomeni connessi all'idrodinamica locale
- b) Una definizione la più possibile dettagliata, sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, delle forzanti esterne che determinano il comportamento idrodinamico e dispersivo del sito
- c) L'identificazione del comportamento idrodinamico del sistema nella configurazione di riferimento e, quindi, confrontarlo con quello che si verrà ad instaurare in seguito alla realizzazione degli interventi previsti al fine di valutarne le principali modifiche. Nel caso le stesse fossero da considerare non accettabili, sarà necessario identificare i possibili interventi di mitigazione e valutarne gli effetti.

Anche per il presente studio si è ritenuto di applicare questo metodo, collaudato ed accettato a livello generale.

Le attività che sono state svolte sono:

- messa a punto del modello matematico idrodinamico e dispersivo per l'area del porto di Genova, limitatamente, data l'estensione, all'area direttamente interessata dal canale di calma.
- Identificazione e quantificazione delle forzanti esterne e che, in generale, possono essere identificate con:
  - Onde di marea
  - Vento

- Correnti litoranee
- Deflussi di corsi d'acqua naturali o artificiali
- Simulazione dello scenario di riferimento e di quello con gli interventi al fine di identificare gli effetti di questi ultimi sull'idrodinamica locale.

## **2.1 Il modello idrodinamico a maglia curvilinea del porto di Genova in prossimità dell'aeroporto**

Per le analisi eseguite nel presente studio è stato utilizzato un modello matematico a maglia curvilinea con una risoluzione planimetrica adeguata ai fenomeni oggetto di studio (idrodinamica locale e dispersione di traccianti conservativi).

Il modello adottato, 3D-FLOW, è un modello di tipo generale sviluppato dal laboratorio idraulico olandese WL|Delft Hydraulics (ora Deltares) ed è stato testato e continuamente aggiornato per rispondere alle diverse richieste ed esigenze di simulazione.

Questo modello idrodinamico e dispersivo simula flussi e fenomeni di trasporto indotti dal regime mareale o da particolari situazioni meteorologiche in regime di moto vario sia con schematizzazioni bidimensionali che tridimensionali compresi, gli effetti delle differenze di densità dovute a temperature non uniformi o alla distribuzione di salinità.

Le equazioni del moto, risolte con uno schema numerico incondizionatamente implicito alle differenze finite, vengono applicate lungo una griglia curvilinea che permette, per questa sua caratteristica, di seguire bene le variazioni batimetriche e morfologiche del fondale, adottando elementi di dimensioni ridotte nelle zone di maggiore interesse, ed elementi di maggiori dimensioni nelle aree in cui non esistano apprezzabili variazioni geometriche.

Il modello include algoritmi che tengono conto dei seguenti fenomeni fisici:

- Gradienti della superficie libera (effetti barotropici)
- Effetti della rotazione terrestre (forza di Coriolis)
- Acqua con densità variabile (equazioni di stato)
- Gradienti orizzontali di densità (effetti baroclinici)
- Turbolenza indotta dai flussi (turbolenza di massa e di quantità di moto – modello di chiusura della turbolenza)

- Trasporto della salinità e di altre sostanze conservative - scambio di calore
- Forzante dovuta all'oscillazione mareale al contorno libero
- Sforzo tangenziale sulla superficie liquida dovuto al vento, variabile nello spazio e nel tempo
- Sforzo tangenziale sul fondo variabile nello spazio
- Pressione atmosferica sulla superficie liquida, variabile nello spazio e nel tempo
- Processo di allagamento ed emersione dei bassifondi soggetti a marea
- Scambio di calore attraverso la superficie libera
- Processi relativi alla pioggia e all'evaporazione
- Forze generate dalla marea
- Effetti di flussi secondari nelle equazioni della quantità di moto nel caso bidimensionale e scabrezza laterale lungo i muri verticali
- Influenza delle onde sulla scabrezza di fondo (2D e 3D), sforzi indotti dalle onde e flussi di massa attraverso strutture idrauliche.

Il modello risolve le equazioni di moto vario in due (valori medi sulla profondità) o in tre dimensioni, considerando un sistema costituito dalle equazioni orizzontali del moto, l'equazione di continuità e le equazioni di trasporto.

Per completezza vengono riportate le equazioni fondamentali, mentre per ulteriori approfondimenti si rimanda alla descrizione concettuale del modello riportata nella documentazione ufficiale edita a cura del laboratorio di Idraulica di Delft (Olanda).

L'equazione di continuità (mediata sulla profondità) in coordinate curvilinee ortogonali lungo il piano orizzontale è la seguente:

$$\frac{\partial(\zeta)}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial[\sqrt{G_{\eta\eta}}(d+\zeta)u]}{\partial\xi} + \frac{\partial[\sqrt{G_{\xi\xi}}(d+\zeta)v]}{\partial\eta} \right\} = Q$$

Con

Q = quantità sorgente per unità di superficie dovuta a scarichi o prelievi d'acqua, precipitazione e evaporazione.

Le equazioni della quantità di moto nelle direzioni  $\xi$  e  $\eta$  sono le seguenti:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} +$$

$$- \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fv = - \frac{1}{\rho \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_{\xi} + F_{\xi} + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + M_{\xi}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} +$$

$$- \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - fu = - \frac{1}{\rho \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} + F_{\eta} + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_{\eta}$$

dove:

$\xi, \eta$  = coordinate curvilinee orizzontali [m]

$\zeta$  = livello del pelo libero sopra il piano di riferimento [m]

$d$  = profondità [m]

$\sigma$  = coordinate verticali scalate, valutate come funzione della profondità e del livello del pelo libero ( $d, \zeta$ )

$u, v$  = componenti orizzontali della velocità [m/s]

$\omega$  = componente nel sistema  $\sigma$  delle velocità nella direzione  $\sigma$  [m/s]

$\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}$  = coefficienti per trasformare coordinate curvilinee in coordinate rettangolari [m]

$P_{\xi}, P_{\eta}$  = gradiente pressione orizzontale nelle direzioni  $\xi$  e  $\eta$ ;

$F_{\xi}, F_{\eta}$  = corrispondono alle "tensioni tangenziali" di Reynolds;

L'effetto della variazione di densità è considerato solo nel termine del gradiente di pressione orizzontale,  $P_{\xi}$  e  $P_{\eta}$  (approssimazione di Boussinesq).

La profondità è assunta essere molto minore della scala delle lunghezze orizzontali e quindi si può ritenere valida l'approssimazione che usualmente si utilizza per "acque basse" per la quale l'equazione della quantità di moto verticale si riduce alla relazione della pressione idrostatica:

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -g\rho H$$

In questo modo si assume che le accelerazioni verticali siano piccole se paragonate all'accelerazione di gravità e possano quindi non essere prese in considerazione.

L'equazione di trasporto è formulata in coordinate curvilinee ortogonali lungo il piano orizzontale e in un sistema di coordinate  $\sigma$  lungo la verticale.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(d+\zeta)c}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial[\sqrt{G_{\eta\eta}}(d+\zeta)uc]}{\partial \xi} + \frac{\partial[\sqrt{G_{\xi\xi}}(d+\zeta)vc]}{\partial \eta} \right\} + \frac{\partial \omega c}{\partial \sigma} = \\ & \frac{d+\zeta}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial}{\partial \xi} \left[ D_H \frac{\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial c}{\partial \xi} \right] + \frac{\partial}{\partial \eta} \left[ D_H \frac{\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial c}{\partial \eta} \right] \right\} + \\ & \frac{1}{d+\zeta} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ D_v \frac{\partial c}{\partial \sigma} \right] - \lambda_d (d+\zeta)c + S \end{aligned}$$

con  $\lambda_d$  che rappresenta il processo di decadimento del primo ordine e S la quantità sorgente per unità di superficie dovuta a scarichi o prelievi d'acqua.

Dove:

$\xi, \eta =$  coordinate curvilinee orizzontali [m]

$\sigma =$  coordinate verticali scalate valutate come funzione della profondità e del livello del pelo libero ( $d, \zeta$ )

$u, v =$  componenti orizzontali della velocità [m/s]

$\omega =$  componente nel sistema  $\sigma$  delle velocità nella direzione  $\sigma$  [m/s]

$\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}} =$  coefficienti per trasformare coordinate curvilinee in coordinate rettangolari [m]

$D_H$  e  $D_V =$  Coefficienti di dispersione orizzontale e verticale [m<sup>2</sup>/s]

Poiché nelle simulazioni prese in esame nel presente studio vengono adottati solo traccianti passivi conservativi, il termine che contiene il parametro  $\lambda_d$  non viene considerato.

Il coefficiente di diffusione orizzontale viene usualmente considerato costituito da 3 parti: una parte dovuta alla "turbolenza 2D", una parte dovuta alla "turbolenza 3D" ed una parte dovuta alla diffusione molecolare.

La parte 2D è associata al rimescolamento dovuto a moti e forze orizzontali che non possono essere risolte dalla maglia orizzontale (sub-grid scale turbulence). La parte 3D si riferisce alla turbolenza tridimensionale ed è legata alla viscosità dinamica che è valutata seguendo il modello di chiusura della turbolenza.

Indicando questi 3 termini con  $D_{2d}$ ,  $D_{3d}$  e  $D_{mol}$ , si può dire che:

$$D_H = D_{2d} + D_{3d} + D_{mol}$$

La somma degli ultimi 2 termini costituisce il coefficiente di diffusione verticale:

$$D_V = D_{3d} + D_{mol}$$

Nel caso di simulazioni strettamente bi-dimensionali, l'unico coefficiente di diffusione che rimane è  $D_{2d}$ .

Per le simulazioni, eseguite nel presente studio, sono state fatte alcune assunzioni e semplificazioni di seguito brevemente riportate:

- L'effetto della curvatura terrestre non è stata considerata e il parametro di Coriolis è stato assunto uniforme.
- Considerando la scala delle analisi effettuate, per la simulazione degli sforzi tangenziali, la scabrezza laterale lungo i contorni chiusi non è stata presa in considerazione (free slip).
- Il flusso attraverso contorni chiusi o attraverso il fondo è pari a zero.
- I gradienti di pressione sulla superficie libera (barotropici) non sono stati considerati.

## 2.2 La schematizzazione dell'area di interesse per la scenario di riferimento.

La predisposizione del modello matematico idrodinamico richiede, come attività preliminare e indispensabile, la definizione della maglia di calcolo, rispetto alla quale tutte le grandezze di interesse verranno poi definite.

Nella Figura 2.1 viene riportata la griglia a maglia curvilinea utilizzata per schematizzare il porto di Genova per la zona di interesse.

Come si può notare la maglia è a risoluzione variabile, con una grande densità di maglie nella zona del porto (Figura 2.3), dove le informazioni devono essere maggiormente dettagliate, e si vanno via via diradando verso il mare aperto dove la morfologia della zona è meno variabile e, quindi, viene richiesta una minore precisione locale nella sua descrizione.

La risoluzione della griglia di calcolo in prossimità del canale di calma è tra i 15 ed i 30 m circa e questo consente di rappresentare con sufficiente dettaglio sia lo scenario di riferimento che quella con gli interventi previsti.

La batimetria associata a tale maglia e rappresentativa dello scenario di riferimento è riportata in Figura 2.2.

I dati batimetrici, interpolati sulla maglia di calcolo, sono stati desunti dalle carte nautiche a diverso dettaglio, integrate, nella zona del porto, dai rilievi batimetrici più recenti effettuati per sviluppare il progetto del deposito a mare dello smarino della gronda autostradale ed includono anche i dragaggi previsti alla foce del Polcevera e di fronte alla banchina ILVA.

Come è ben noto, nonostante il fondale marino degradi rapidamente a profondità elevate raggiungendo, all'interno del dominio di calcolo, oltre i 100 m di profondità, i processi di interesse sono sostanzialmente limitati all'area del canale di calma dove le profondità e le velocità dei flussi sono limitate.

Per tale motivo si è scelto di adottare una schematizzazione bidimensionale che è sufficiente per analizzare i processi idrodinamici, dispersivi e di torbidità necessari e per valutare, quindi, gli impatti dovuti alla realizzazione del deposito a mare.

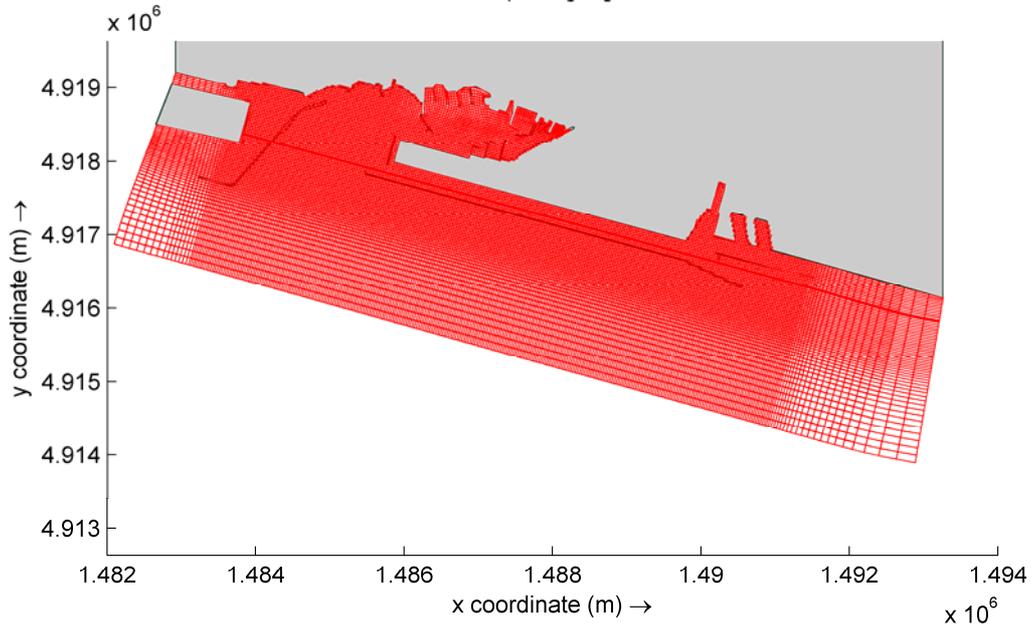


Figura 2.1 - Schematizzazione del dominio di calcolo con una griglia a maglia curvilinea

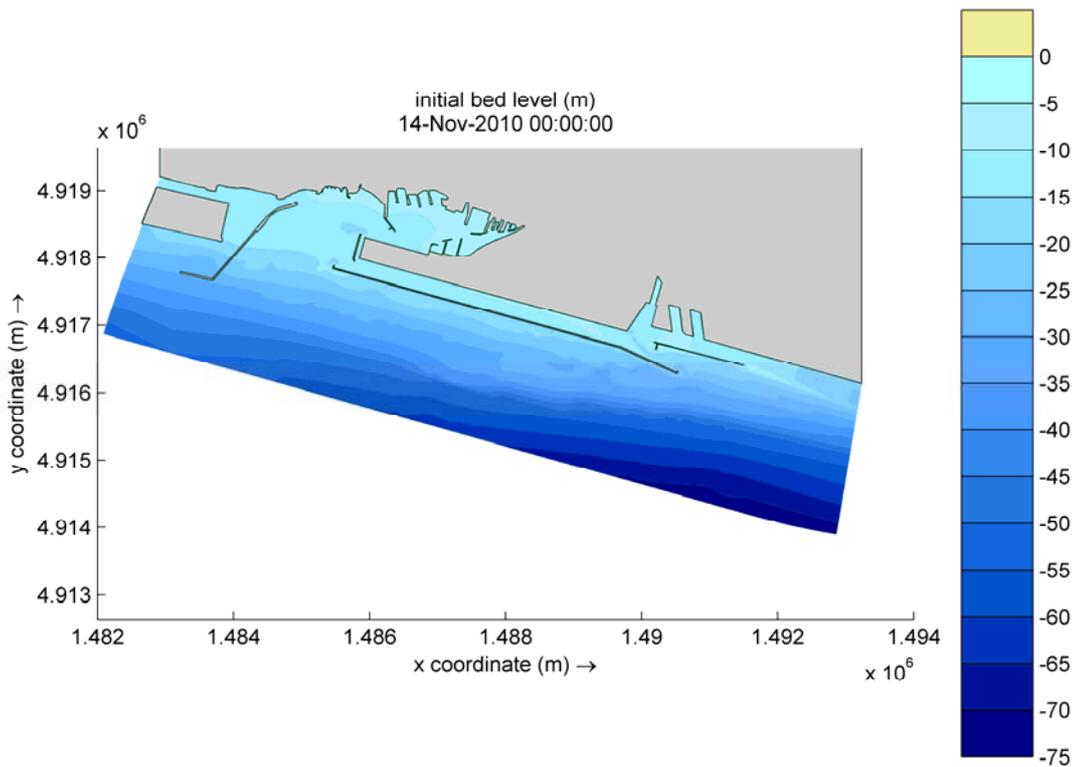


Figura 2.2 - Batimetria (m) applicata alla maglia di calcolo della Figura 2.1.

Nella Figura 2.3 è riportato il dettaglio della schematizzazione in prossimità del canale di calma, mentre nella Figura 2.4 viene illustrata la relativa batimetria.

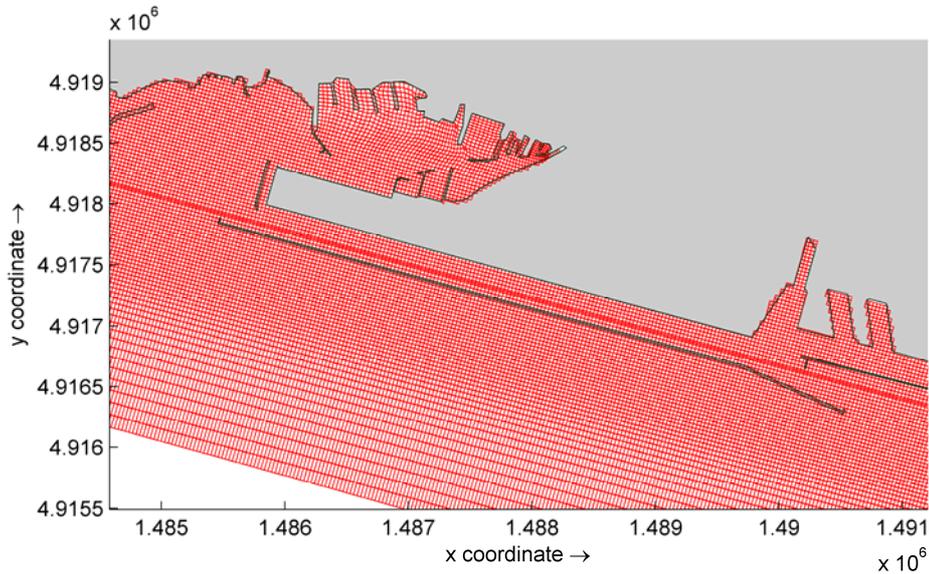


Figura 2.3 - Dettaglio della maglia di calcolo nella zona del canale di calma

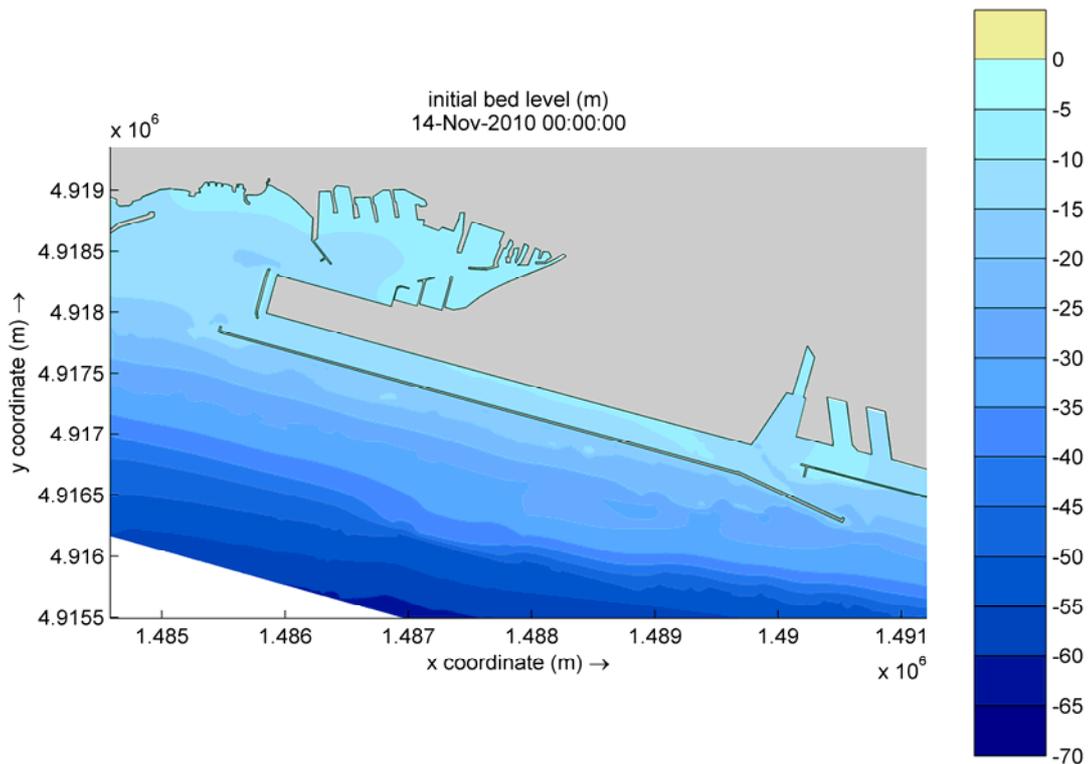


Figura 2.4 - Dettaglio della batimetria (m) applicata alla maglia di calcolo di Figura 2.3

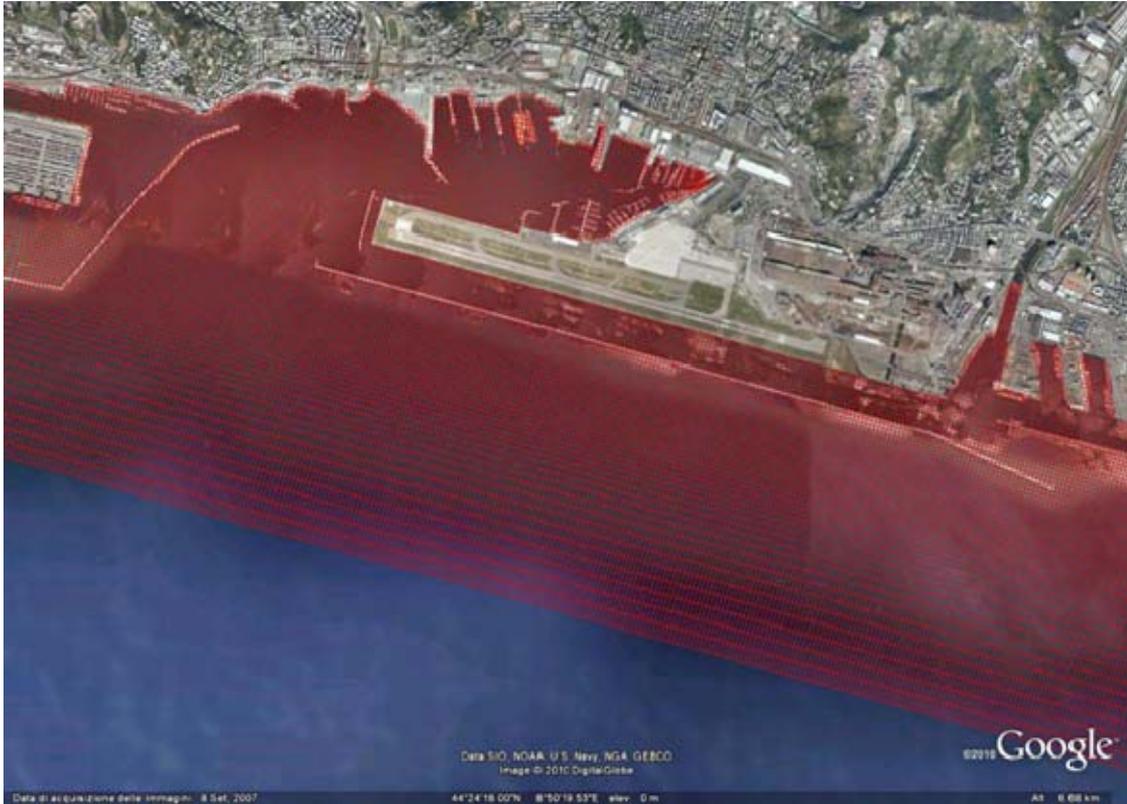


Figura 2.5 - Dettaglio sovrapposizione della maglia di calcolo con immagine satellitare Google

### 2.3 Schematizzazione della configurazione di progetto

Come è noto il progetto prevede la conterminazione di un'area di circa 3500 m di lunghezza e 165 m di larghezza nella quale verrà refluito lo smarino proveniente dalle gallerie della gronda autostradale di Genova.

Al fine di poter valutare le modifiche ai principali parametri idrodinamici e dispersivi che la realizzazione di tale opera comporta, è stata approntata una schematizzazione che includa l'opera stessa.

In particolare in Figura 2.6 è riportata la griglia di calcolo del modello idrodinamico e dispersivo descritto in precedenza e già utilizzato per le valutazioni dello scenario di riferimento, in cui è stata inserita la colmata nella sua forma finale, mentre nella Figura 2.7 è riportata la batimetria ad essa associata.

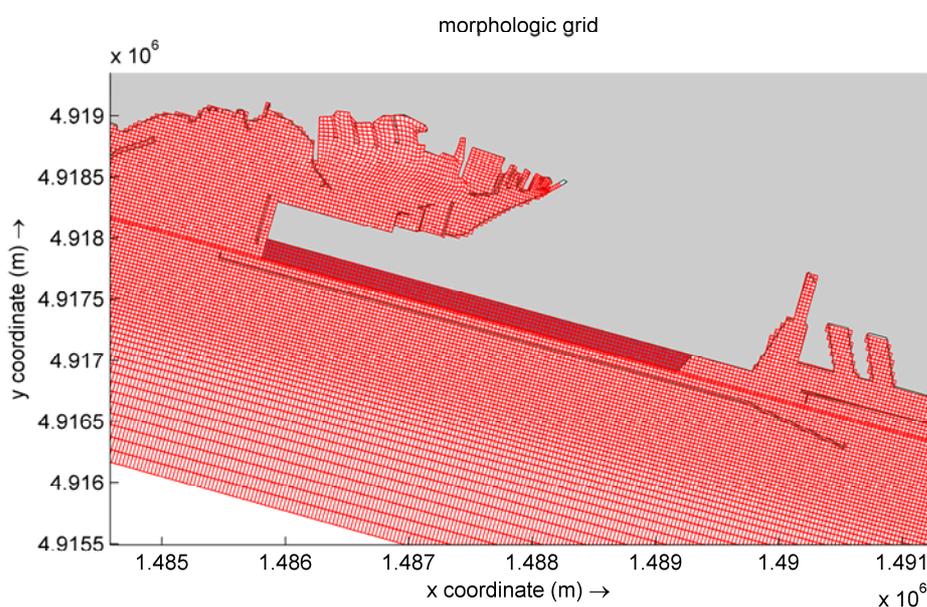


Figura 2.6 - Stato di progetto - Schematizzazione generale con interventi

Come si può notare la schematizzazione e la batimetria rimangono le medesime utilizzate per lo scenario di riferimento ed è stata solamente interdetta al flusso l'area interessata dalla colmata.

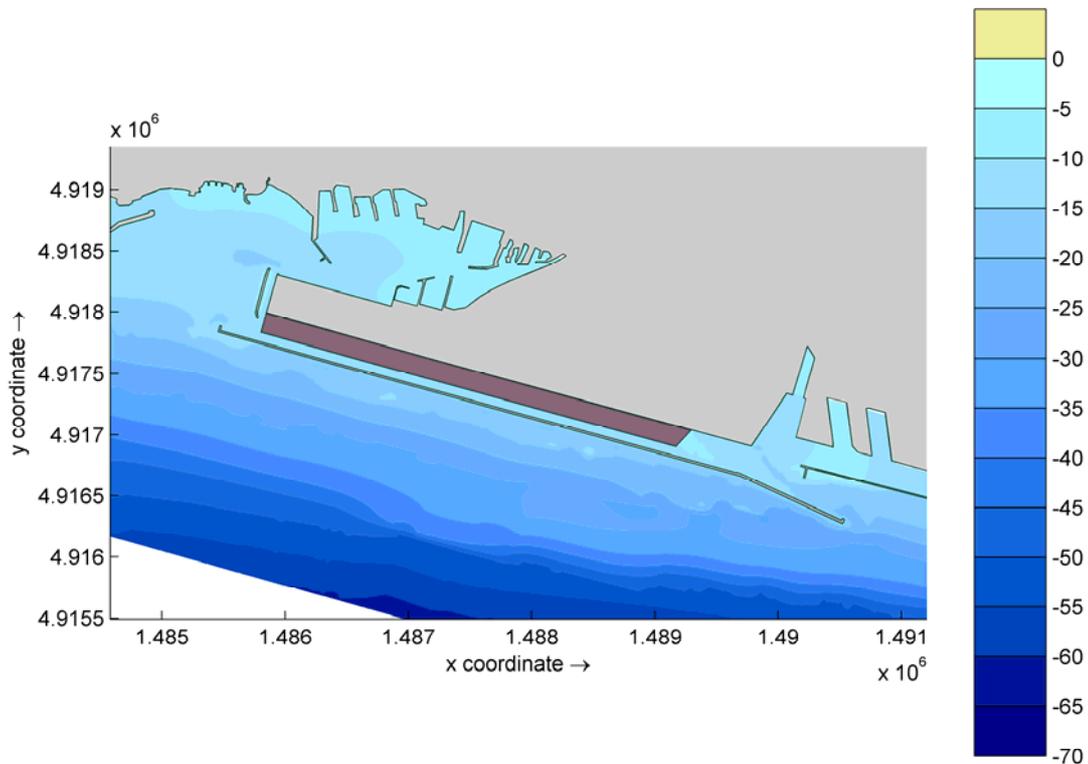


Figura 2.7 - Stato di progetto - Batimetria associata alla schematizzazione generale con interventi

È importante sottolineare che l'aver mantenuto la stessa schematizzazione sia per lo scenario di riferimento che per quella con gli interventi previsti consente un diretto confronto dei risultati che si otterranno, sia da un punto di vista di confronto diretto visuale, sia per una valutazione quantitativa degli effetti.

### 3 IDRODINAMICA E DISPERSIONE POTENZIALE NELLA ZONA DI PROGETTO

Il canale di calma del porto di Genova situato tra Cornigliano e l'estremità di ponente dell'aeroporto "Cristoforo Colombo" è un sistema idrico che, pur geometricamente ben definito, presenta la necessità di un'analisi approfondita soprattutto data la presenza di alcune foci di torrenti e rii importanti (torrente Polcevera, rio Roncallo e rio Secco) e un orientamento e collegamenti verso il mare aperto che, anche se riparano dal moto ondoso, possono costituire una via preferenziale all'insorgere di correnti secondarie.

Poiché allo stato attuale non sono disponibili campagne di misura di parametri idrodinamici in generale, e correntometrici in particolare, che consentano una valutazione di dettaglio dei regimi locali, è stato necessario applicare il modello descritto nel precedente paragrafo 2.1 al fine di determinare le relazioni tra forzanti esterne (marea, correnti litoranee, velocità del vento) ed il campo correntometrico locale.

In particolare, poiché l'obiettivo del presente studio è l'identificazione e la valutazione degli effetti ambientali indotti dalle nuove opere, soprattutto in relazione ai fenomeni di dispersione e di qualità delle acque, il modello idrodinamico è stato sviluppato ponendo particolare attenzione alla valutazione delle correnti e dei fenomeni dispersivi ed è stato applicato in condizioni meteo marine con tempi di ritorno frequenti.

Il dettaglio delle condizioni al contorno applicate è riportato nel paragrafo seguente.

#### 3.1 Le condizioni al contorno applicate

Per consentire un'analisi dettagliata di quanto sopra ricordato, ad ogni scenario analizzato sono state applicate condizioni al contorno caratteristiche del sito di interesse e, in particolare:

- Oscillazione di marea;
- Correnti litoranee;
- Velocità del vento;
- Deflussi di acque dolci dai corsi d'acqua e dagli scarichi principali.

##### Oscillazione di marea

Al fine di valutare l'effetto medio in termini di velocità e, quindi, di trasporto dovuto all'oscillazione della marea, si è adottato, sulla base delle analisi riportate nella "Relazione Meteomarina" del presente progetto, la seguente marea sintetica media:

- Ampiezza (A): 0.12 m
- Periodo (T): 12 ore

In questo modo viene identificata una marea sinusoidale ciclostazionaria che oscilla tra quota +0.12 m e -0.12 m rispetto al medio mare con un periodo di 12 ore, caratteristico delle maree semidiurne come quelle che si verificano a Genova. L'utilizzo di una marea sintetica di questo tipo consente di instaurare dei campi di moto stabili, atti a mettere in risalto le variazioni indotte dalla geometria del sistema.

### Correnti litoranee

Sempre sulla base di quanto riportato nella Relazione Meteomarina, nell'ottica di realizzare uno scenario con forzanti idrodinamiche medie, si è ritenuto di imporre una velocità litoranea da est verso ovest di intensità uniforme di 10 cm/s.

Questa velocità intende essere rappresentativa di un fenomeno variabile che, sulla base dei dati disponibili, può essere compreso tra pochi centimetri al secondo fino a intensità massime, anche se sul breve periodo, di parecchie decine di centimetri al secondo (valori massimi di circa 60 cm/s).

Sulla base della letteratura disponibile sempre per il litorale ligure, valori analoghi sono stati applicati anche in altri studi.

### Velocità del vento

Le caratteristiche sito-specifiche dei venti sono state riportate sempre nella "Relazione Meteomarina" sviluppata per il presente progetto.

Per le simulazioni con il modello matematico descritto in questo rapporto sono stati considerati i seguenti eventi di vento:

- a) Calma di vento
- b) Vento di scirocco con intensità di 12 m/s
- c) Vento di libeccio con intensità di 10 m/s

Questi venti hanno la caratteristica di essere abbastanza frequenti e hanno un'influenza diretta sui campi di velocità della corrente e, quindi, consentono di visualizzare gli effetti indotti anche localmente da questi fenomeni.

### Deflussi di acque dolci agli scarichi principali

In questo studio sono stati considerati i tre corsi d'acqua che sfociano in prossimità dell'area in esame e che sono, da est verso ovest: il torrente Polcevera, la cui foce è ubicata immediatamente ad est del canale di calma, il rio Roncallo più ad occidente, ed, infine, il Rio Secco. L'ubicazione delle foci è riportata in Figura 3.1.

I tre corsi d'acqua presentano un regime di tipo torrentizio caratterizzato da intensi e poco frequenti picchi di portata e da lunghi periodi di siccità.

L'unico Torrente a regime più costante è il Torrente Polcevera che, grazie ad un bacino di circa 140 km<sup>2</sup> e alla presenza di montagne che raggiungono quote ragguardevoli (monte Taccone 1113 m s.l.m.m.) i deflussi non arrivano mai, salvo in periodi di prolungata mancanza di precipitazioni, prossimi allo zero.

Questi tre corsi d'acqua sono stati studiati nel dettaglio nei Piani di Bacino editi a cura della Provincia di Genova<sup>1</sup>.

In tale ambito sono state definite le caratteristiche idrologiche di ogni corso d'acqua e, in particolare, sono state valutate le portate di piena per diversi Tempi di Ritorno. Per ogni corso d'acqua, i principali risultati ottenuti in quegli studi sono elencati nella Tabella 3.1.

Come si può notare il Polcevera è in grado di fornire dei deflussi di piena estremamente rilevanti, con un deflusso massimo annuo di circa 300 m<sup>3</sup>/s che raggiungono facilmente i 1000 m<sup>3</sup>/s per tempi di ritorno di circa 10 anni.

Il rio Roncallo ed il rio Secco, d'altra parte, presentano portate massime annue decisamente limitate, stimabili in qualche metro cubo al secondo, che diventano decisamente elevate, anche in relazione all'estensione esigua dei relativi bacini imbriferi (0.643 km<sup>2</sup> per il Roncallo e 0.59 km<sup>2</sup> il secco): infatti, per un tempo di ritorno di 10 anni le portate diventano rispettivamente di 11 e 8 m<sup>3</sup>/s, mentre per 30 anni le portate di piena stimate arrivano a 18 e 15 m<sup>3</sup>/s con contributi specifici di 28 e 25 m<sup>3</sup>/s km<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Provincia di Genova; "Torrente Polcevera – Piano di Bacino Stralcio per la difesa Idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive", Genova 2003

Provincia di Genova; "Ambiti Regionali di Bacino 12 e 13 – Piani di Bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico", Genova 2009

Per lo sviluppo del presente studio, sono stati studiati due diversi scenari di deflusso di questi 3 corsi d'acqua: il primo, in condizione di piena annuale, teso a definire il campo idrodinamico ed i processi di dispersione, mentre per l'analisi del ricambio dei corpi d'acqua recettori sono stati adottati i valori stimati di deflusso medio annuo in modo da verificare i processi sul medio-lungo periodo. Entrambi questi scenari sono stati applicati sia allo scenario attuale che a quello previsto con gli interventi.



Figura 3.1 - Corsi d'acqua considerati nel presente studio

Tabella 3.1 - Portate valutate per il T. Polcevera, Rio Roncallo e Rio Secco per diversi Tempi di ritorno

Tempo di ritorno (anni)	Q <sub>Torrente Polcevera</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>Rio Roncallo</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>Rio Secco</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	309	2	1
5	749	8	4
10	939	11	8
30	1239	18	15
50	1379	21	18
100	1569	26	22
200	1758	31	26
500	2009	37	32
Q <sub>media annua</sub>	5	0.5	0.1

Al fine di verificare l'influsso degli scarichi di questi corsi d'acqua sui campi di moto locali e sulla dispersione, per ognuno degli scenari considerati sono state prese in considerazione i seguenti deflussi:

- a) Deflusso nullo, quindi caratteristico dei periodi di secca
- b) Deflusso medio annuo
- c) Deflusso di piena con tempo di ritorno di 1 anno; questo scenario è stato considerato specialmente in relazione all'analisi dei campi di dispersione per verificare l'andamento delle concentrazioni di traccianti conservativi in periodi di piena ricorrente.

Inoltre, come espressamente richiesto dal MATTM in fase di revisione del progetto, si è considerato come scenario anche quello derivante dal considerare i deflussi del t. Polcevera e dei rii Roncallo e Secco con Tempo di Ritorno di 200 anni al fine di verificare che le nuove opere non costituiscano un ostacolo al libero deflusso delle acque.

Poiché questa analisi consente di verificare la capacità di deflusso idraulico con tempi di ritorno di grande rilevanza, si è ritenuto, per le simulazioni necessarie a definire il regime del sistema in condizioni normali, di concentrarsi sui regimi di secca e medi annui dei corsi

d'acqua,, importanti per le analisi ambientali, lasciando le verifiche di sicurezza alla sola simulazione con  $Tr=200$  anni.

Sono quindi stati utilizzati, per i diversi scenari i deflussi riportati nella seguente Tabella 3.2.

*Tabella 3.2 - Portate di deflusso considerate per le immissioni dei corsi d'acqua nell'analisi dei campi di corrente e della dispersione*

	Torrente Polcevera ( $m^3/s$ )	Rio Roncallo ( $m^3/s$ )	Rio secco ( $m^3/s$ )
Condizione di secca	0.0	0.0	0.0
Deflusso medio annuo	5.0	0.5	0.1
Piena annuale	300.0	5.0	1.5
Piena duecentennale	1758.0	31.0	26.0

L'insieme delle simulazioni effettuate per l'analisi delle correnti e della dispersione nella zona di progetto, per la configurazione attuale è quindi quello riassunto riportato in Tabella 3.3.

Simulazione	Marea	Correnti litoranee	Deflussi acque dolci	Velocità del vento
1	Ciclostazionaria sinusoidale Ampiezza $\pm 12$ cm Periodo 12 ore	Costante da Est di 10 cm/s	Condizione di secca	Calma di vento
2				Scirocco 12 m/s
3				Libeccio 10 m/s
4			Deflusso medio annuo	Calma di vento
5				Scirocco 12 m/s
6				Libeccio 10 m/s
7				Evento duecentennale

*Tabella 3.3 - Quadro sinottico delle simulazioni effettuate per lo studio del campo di correnti e della dispersione nella scenario di riferimento*

È necessario sottolineare che, mentre i campi di moto sono stati analizzati per tutte le simulazioni considerate, la dispersione è stata studiata solo per le tre simulazioni che prevedono i deflussi dai corsi d'acqua in condizione di annuale deflusso medio annuo, in quanto i traccianti sono stati associati direttamente agli apporti di acqua dolce.

Nei paragrafi seguenti sono illustrati, per ogni simulazione, i principali risultati ottenuti, sia in termini di campi di corrente, sia, quando significativo, in termini di dispersione. Nella prima parte sono illustrati i risultati ottenuti per la situazione nello scenario di riferimento (attuale modificata dai dragaggi di fronte alla banchina ILVA e in foce Polcevera e con testata del molo di foce modificato), mentre nella successiva vengono riportati analoghi risultati per lo scenario in cui, alla situazione di riferimento, viene aggiunta la nuova opera prevista e di cui si vuole valutare l'effetto.

## **3.2 Campi di moto e dispersione per lo scenario di riferimento**

### *3.2.1 Simulazione 1-Solo marea*

La prima simulazione caratterizzata dalle forzanti illustrate nella Tabella 3.3, ha evidenziato come, con la sola sollecitazione dovuta alla marea e alle correnti litoranee, la dinamicità locale è generalmente bassa.

Infatti, come si può vedere in Figura 3.2, il campo di moto nel canale di calma tende a mantenersi con velocità in direzione est-ovest, parallele al canale stesso, e con intensità di pochi centimetri al secondo. Queste velocità tendono ad mantenersi costanti nel tempo in quanto la componente del moto dovuta alla presenza delle correnti litoranee usualmente ha il sopravvento sulla componente pulsante dovuta alla marea, la cui oscillazione è estremamente contenuta.

Le velocità nel canale si mantengono leggermente inferiori a quelle che si generano sul lato mare della diga foranea che, a sua volta, nella sua parte immediatamente all'esterno dei cassoni di protezione, risente della presenza dell'imbocco orientale del canale di calma che tende ad allontanare le linee di flusso dalla diga stessa, riducendo localmente la velocità rispetto a quella che si verifica più al largo.

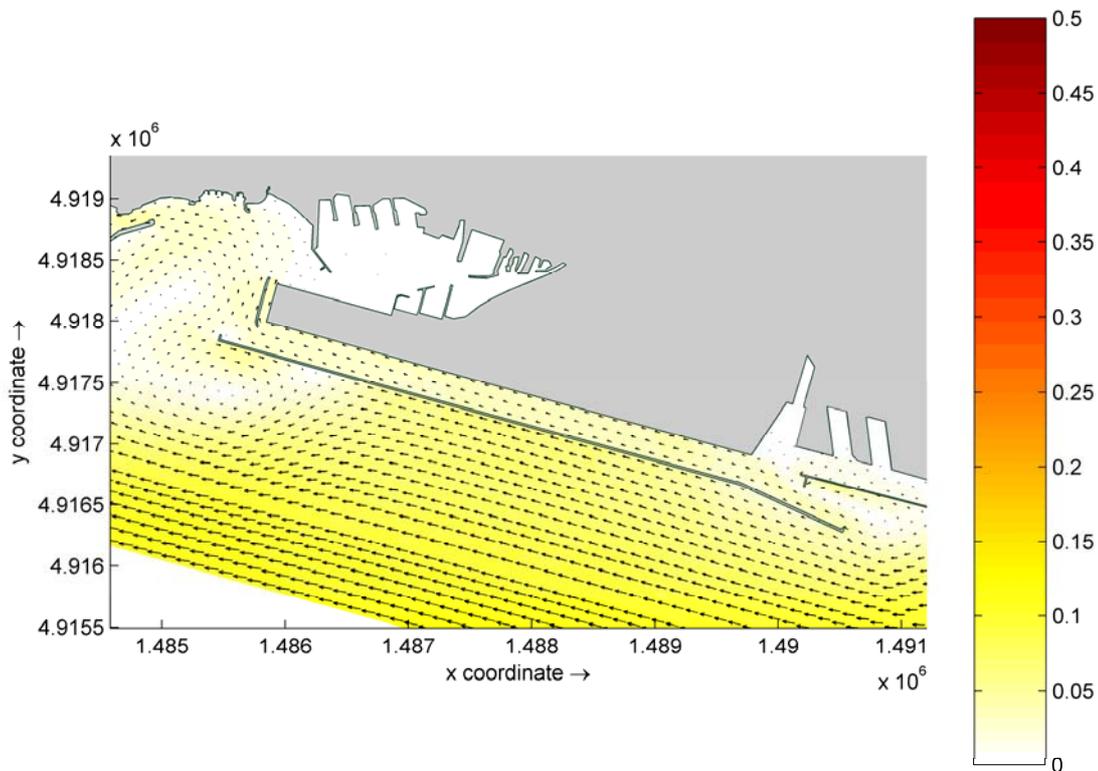


Figura 3.2 - Campo di moto (m/s) generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 1

Nello sbocco verso ponente si verifica una divergenza del flusso in uscita dal canale di calma che in parte si dirige verso nord-ovest all'imboccatura nord-occidentale del porto (verso Pegli), mentre in parte viene riportato dalla diga foranea verso sud ovest e, quindi, verso il mare aperto

Si può comunque affermare che in queste condizioni il canale di calma si presenta come un sistema a bassa energia che tenderà a trattenere qualunque componente, sia diluito o in sospensione, dovesse essere recapitato in quell'area.

Nonostante queste caratteristiche, in base a questa simulazione è possibile stimare che la portata media attraverso il canale di calma, in questo caso da Est verso Ovest sia di circa 109 m<sup>3</sup>/s.

### 3.2.2 Simulazione 2-Marea e vento di Scirocco

La seconda simulazione, caratterizzata sempre dalle forzanti illustrate nella Tabella 3.3 pone in evidenza che, se all'oscillazione di marea e alle correnti litoranee si sovrappone anche il vento di scirocco, il sistema cambia decisamente le sue caratteristiche.

Nella Figura 3.3 viene illustrato come il campo di moto indotto dal vento tende a rafforzare l'effetto indotto dalle correnti litoranee: le velocità in mare aumentano fino ad oltre 20 cm/s e nel canale di calma si producono velocità anche superiori

Questo fenomeno è particolarmente evidente nell'area immediatamente a ovest della banchina ILVA dove, a causa dei fenomeni di imbocco non raccordato, possono aversi velocità superiori a 25 cm/s.

Anche nell'area di sbocco del canale di calma ad ovest si nota un incremento dei fenomeni con flussi in aumento verso nord-ovest e il generarsi di circolazioni secondarie in corrispondenza della testata dell'aeroporto.

Questo secondo scenario, quindi, è caratteristico di una situazione con capacità di ricambio molto maggiore rispetto al precedente.

Nelle condizioni sopra descritte, infatti, la portata media nel canale di calma si alza, rispetto alla situazione senza vento e sempre in direzione da est a ovest, a circa 325 m<sup>3</sup>/s.

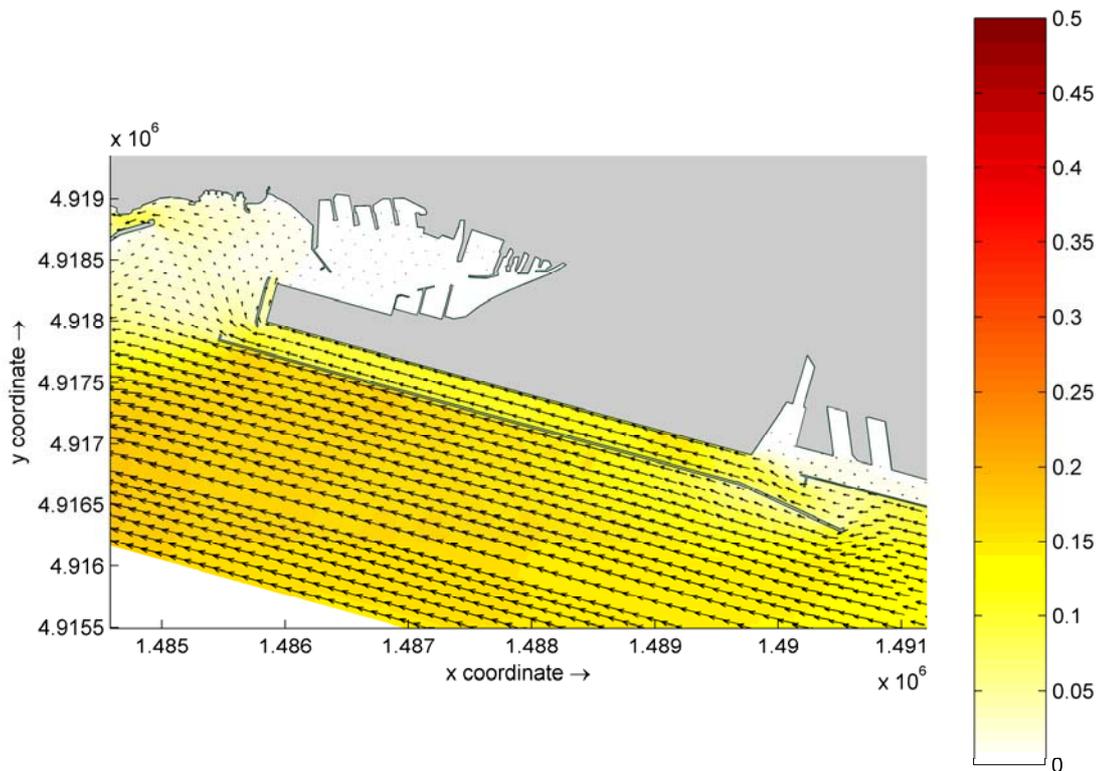


Figura 3.3 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 2

### 3.2.3 Simulazione 3-Marea e vento di Libeccio

La terza simulazione, presenta una situazione completamente diversa dalle precedenti.

In questo caso, infatti, avendo sovrapposto all'oscillazione mareale e alle correnti litoranee da est verso ovest la circolazione indotta dal vento di libeccio, si vede come l'energia indotta dal vento è in grado di opporsi agli effetti delle correnti litoranee e di indurre, sia nel canale di calma che sotto costa una circolazione da ovest verso est.

Pertanto, con le condizioni al contorno riportate nella Tabella 3.3 per questa simulazione, si nota, come riportato in Figura 3.4, un flusso dominante che entra dall'imboccatura ovest del canale di calma e che ritorna al mare dall'imboccatura orientale.

In queste condizioni la velocità longitudinale nel canale di calma è leggermente superiore di quanto non lo sia nelle zone di mare aperto limitrofe alla diga foranea, attestandosi comunque su velocità limitate tra i 5 e i 10 cm/s. Inoltre tali velocità si smorzano ulteriormente passando

dal canale di calma al mare attraverso la bocca di comunicazione con il mare aperto di levante.

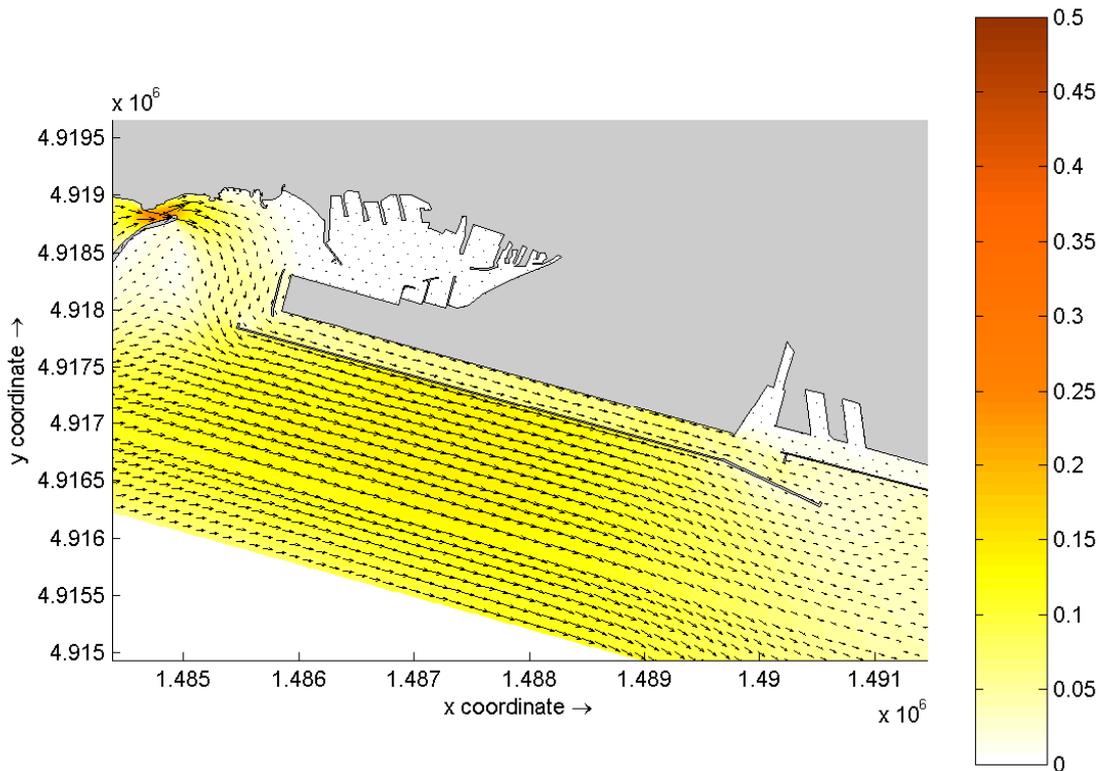


Figura 3.4 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 3

Rispetto ai precedenti due scenari, in questo caso il flusso nel canale di calma si inverte e procede da ovest verso est con portate medie stimate di circa  $173 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 3.2.4 Simulazione 4-Solo marea e deflussi medi annui dei corsi d'acqua

A partire da questa simulazione vengono analizzate le condizioni di moto che si instaurano, secondo le condizioni illustrate nella Tabella 3.3, con i principali corsi d'acqua (T. Polcevera, r. Roncallo e r. Secco che recapitano le portate caratteristiche di un regime idrologico medio annuo.

In particolare, nella Figura 3.5, viene riportato il campo di moto generato dalle medesime condizioni al contorno della simulazione 1 (oscillazione di marea, calma di vento e correnti

litoranee) alle quali è stato aggiunto un flusso proveniente dal Polcevera di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , dal rio Roncallo di  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  e dal rio Secco di  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Come si può notare, il flusso nel canale di calma si attesta sui  $93 \text{ m}^3/\text{s}$ . Inoltre risulta evidente come il Polcevera, nelle condizioni modificate dai dragaggi previsti alla sua foce e nelle aree immediatamente ad essa prospicienti, presentino velocità estremamente esigue, compatibili con il fatto che tale zona è di potenziale sedimentazione..

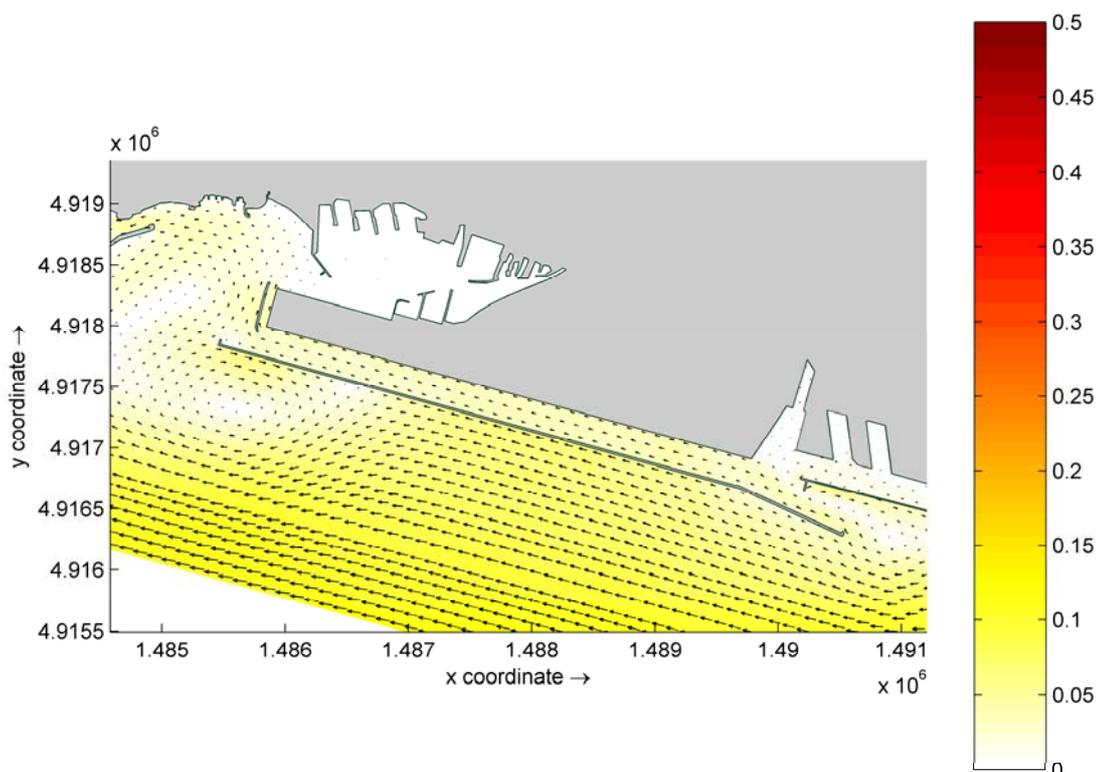


Figura 3.5 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 4

Al fine di studiare i processi dispersivi che si instaurano quando i corsi d'acqua recapitano a mare portate consistenti, è stato associato al deflusso di ogni rio considerato, in particolare al Polcevera, un tracciante conservativo teorico, con concentrazione unitaria in modo da verificarne la dispersione sia nel canale di calma che nei corpi idrici adiacenti.

Il considerare un tracciante conservativo unitario è una procedura standard per l'analisi dei processi dispersivi quando non si hanno indicazioni quantitative e qualitative dei possibili inquinanti rilasciati da un corpo idrico.

Ci sono infatti in natura molti traccianti, riconducibili a inquinanti o meno, che tendono a comportarsi come conservativi, cioè che non sono soggetti a fenomeni di decadimento ma alla sola dispersione. Il primo fra tutti è la salinità che, di per sé è un indicatore di qualità, così come a traccianti conservativi possono essere assimilati i metalli pesanti e i nutrienti, almeno su brevi periodi di tempo, prima che intervengano processi fisici, chimici o biologici di trasformazione

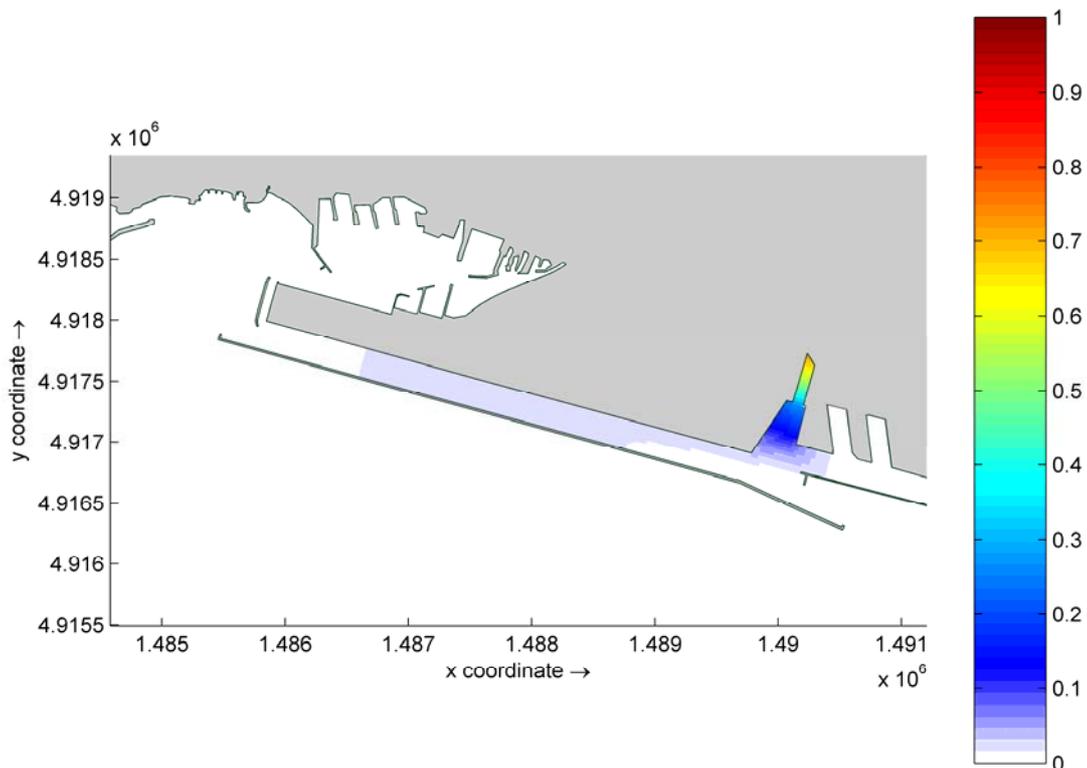


Figura 3.6 - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 4

Nella Figura 3.6 viene riportato il campo di concentrazione relativo al tracciante associato al t. Polcevera con il campo idrodinamico sopra ricordato.

Le maggiori concentrazioni si manifestano, ovviamente, nel canale di foce del torrente e, quindi, si nota una doppia dispersione con concentrazioni analoghe di cui una si dirige verso il canale di comunicazione verso il mare aperto a sud-est, ma un'area di concentrazione elevata

si manifesta anche nel canale di calma, nonostante la corrente ovest-est proveniente dal canale di calma stesso.

### 3.2.5 Simulazione 5-Marea, vento di Scirocco e deflussi medi annui dei corsi d'acqua

Nella quinta simulazione è stato analizzato il campo di moto ed i processi dispersivi indotti dalle medesime forzanti applicate per la simulazione 2 a cui sono stati aggiunti i deflussi dei corsi d'acqua dolce con portate medie annue, come nella simulazione 4.

Per quanto riguarda la parte strettamente idrodinamica, il cui campo di moto è riportato in Figura 3.7, si può notare come venga confermato il rafforzamento del flusso in direzione est-ovest nel canale di calma. Anche in questo caso la corrente proveniente dal Polcevera si mantiene su valori estremamente bassi. In questo caso le portate fluenti nel canale di calma, da est verso ovest, si attestano su valori di circa  $475 \text{ m}^3/\text{s}$ , quindi leggermente più elevate rispetto alla situazione senza scarichi.

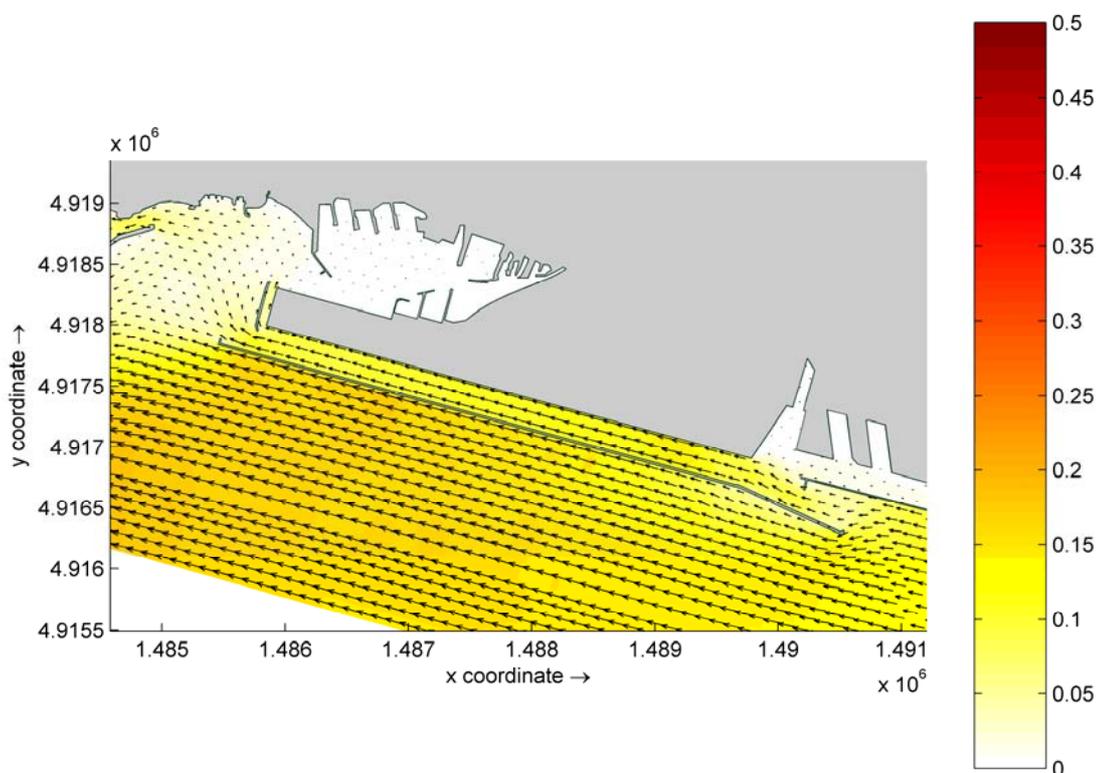
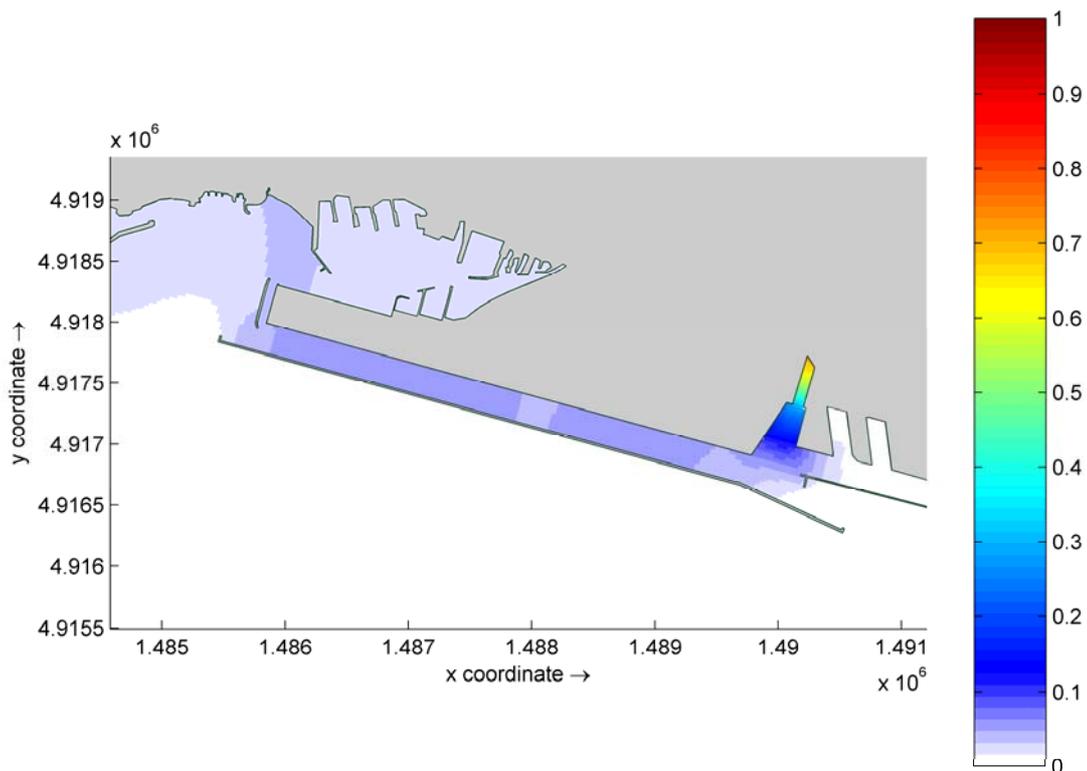


Figura 3.7 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 5

Di questa situazione ne risente anche il campo delle concentrazioni del tracciante conservativo rilasciato dal Polcevera che, diversamente dalla situazione con calma di vento, presenta un campo di concentrazione completamente sviluppato all'interno del canale di calma, con una distribuzione sostanzialmente uniforme delle concentrazioni che determinano, allo sbocco di ponente, un pennacchio di dispersione verso la parte nord del bacino portuale



*Figura 3.8 - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 5.*

### 3.2.6 Simulazione 6-Marea, vento di Libeccio e deflussi medi annui dei corsi d'acqua

Nella sesta simulazione è stato analizzato il campo di moto ed i processi dispersivi indotti dalle medesime forzanti applicate per la simulazione 3 a cui sono stati aggiunti i deflussi dei corsi d'acqua dolce con portate medie annue, come nelle simulazioni 4 e 5.

Per quanto riguarda la parte strettamente idrodinamica, il cui campo di moto è riportato in Figura 3.9, si può notare come le velocità nel canale di calma siano sostanzialmente analoghe alla situazione senza scarichi (Figura 3.4) sia in termini di intensità che di direzione.

La direzione del flusso rimane da ovest verso est, contribuendo probabilmente a deformare il pennacchio di velocità della foce del Polcevera verso est, anche se le velocità esigue non consentono un diretto riscontro.

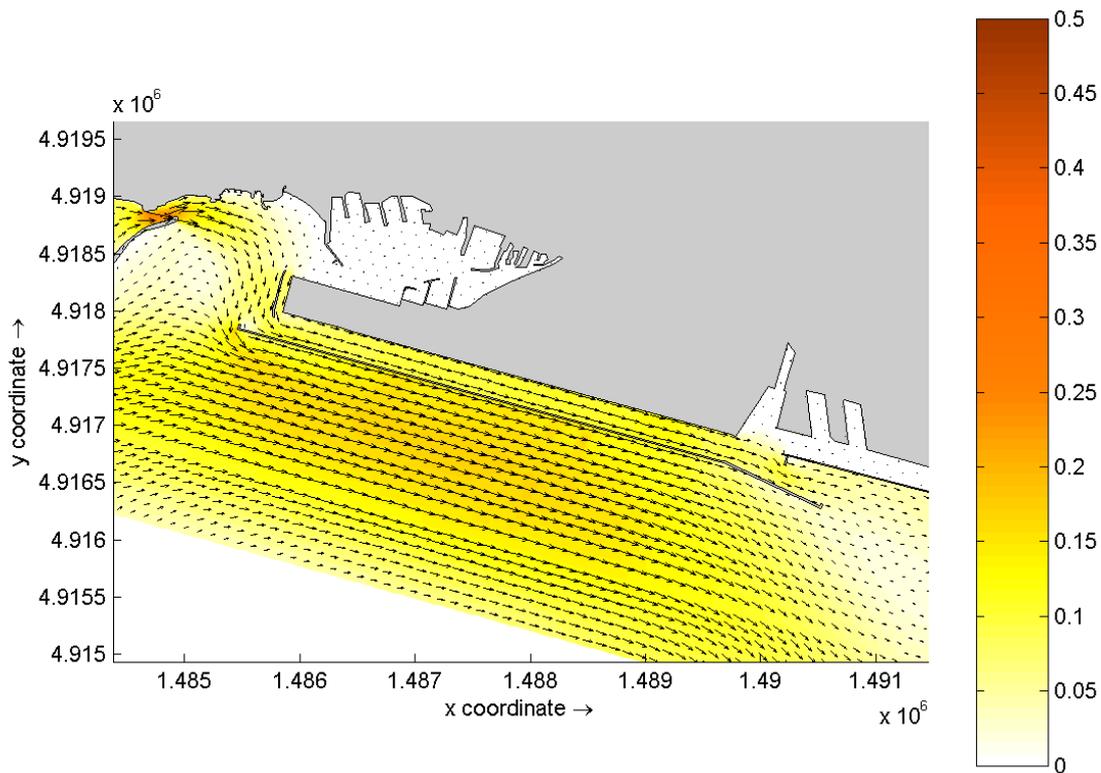


Figura 3.9 - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 6

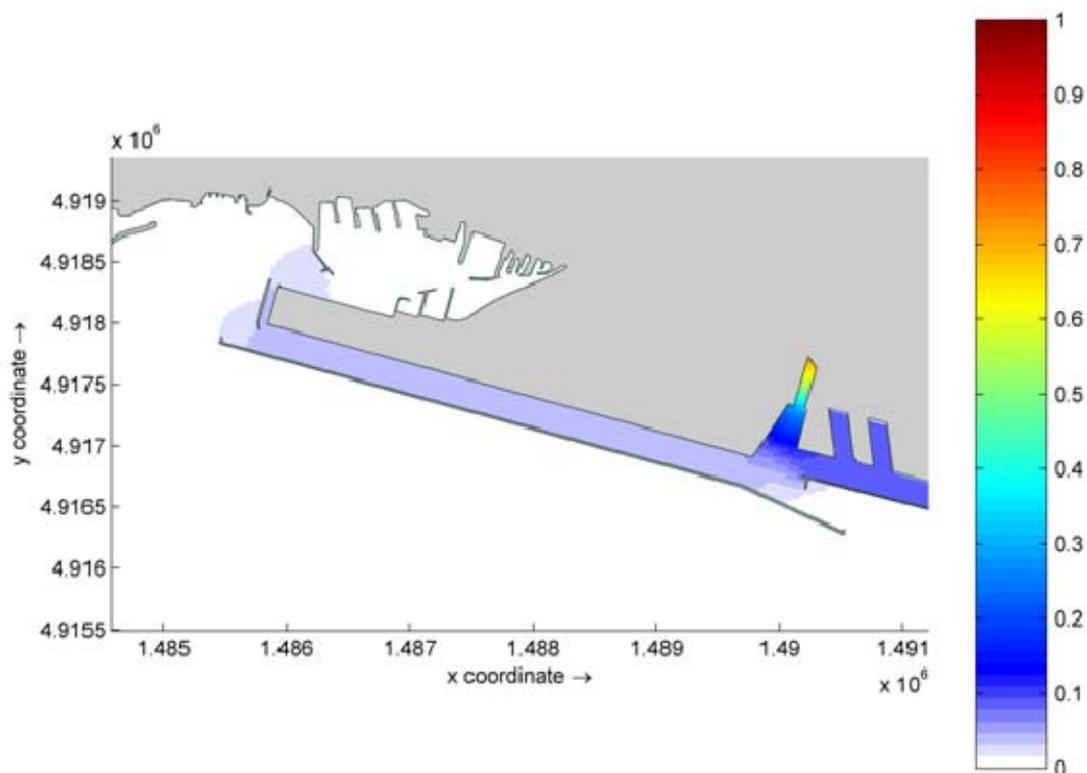


Figura 3.10 - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 6.

Questo comportamento è confermato dalla distribuzione delle concentrazioni del tracciante conservativo rilasciato sempre dal Polcevera (Figura 3.10) che, in queste condizioni creano un pennacchio completamente sviluppato verso est, tanto che le sue concentrazioni all'interno del canale di calma sono prossime allo zero.

### 3.2.7 La dispersione dei rii minori (rio Roncallo e rio Secco)

Analogamente a quanto già evidenziato per un tracciante rilasciato alla foce del Polcevera, in questo paragrafo vengono illustrati i campi di concentrazione derivati dal rilascio dei rii Roncallo e Secco, di un tracciante conservativo con concentrazione unitaria, pari a 1 u.i./l, nelle diverse condizioni idrodinamiche evidenziate in precedenza.

Si ricorda che i deflussi imposti ai due corsi d'acqua equivalgono alla portata media annua e, di conseguenza, anche le concentrazioni determinate possono essere come caratteristiche della concentrazione media annua che si verrebbe a determinare per il rilascio di un tracciante di questo tipo.

I risultati per le diverse condizioni idrodinamiche vengono riportati l'uno di seguito all'altro al fine di consentire una facile lettura ed un facile confronto visuale.

La collocazione delle foci dei due corsi d'acqua rispetto alla schematizzazione del modello è riportata in Figura 3.11.

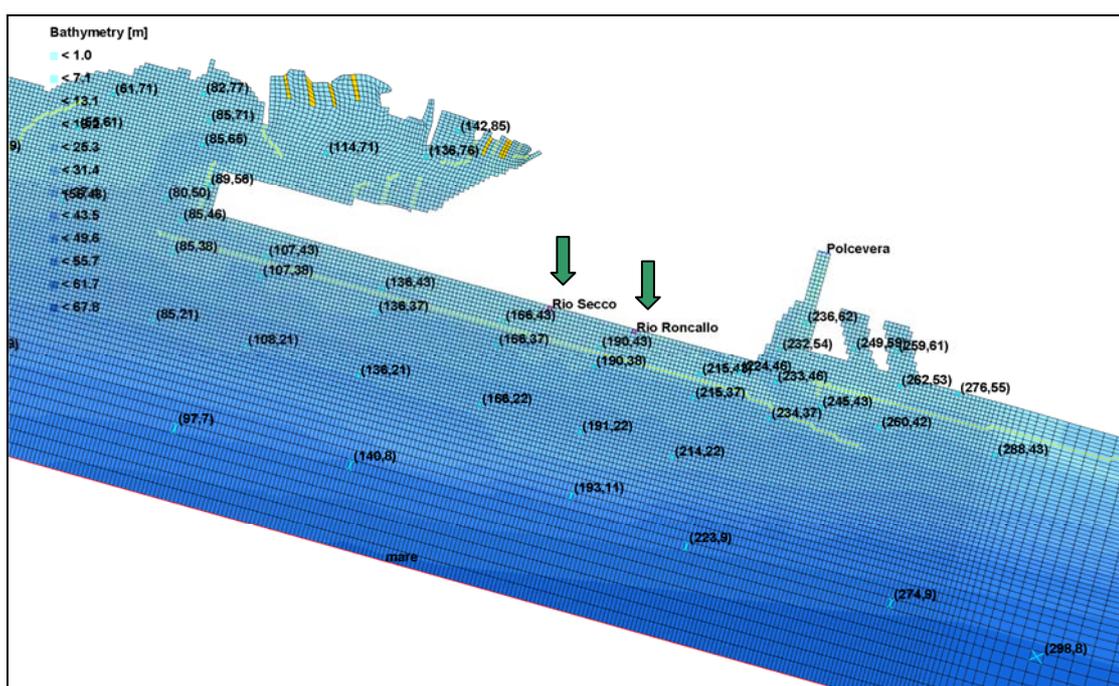


Figura 3.11 - Collocazione delle foci del Rio Secco e del Rio Roncallo rispetto alla schematizzazione del modello.

Come si può notare, nello scenario con calma di vento (Figura 3.12), data la differenza di portata caratteristica dei due corsi d'acqua ( $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  per il rio Roncallo e  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  per il rio Secco), le concentrazioni determinate dal rio Roncallo sono superiori, in tutto il canale di calma, a quelle indotte dallo scarico del rio Secco.

In particolare nella sezione più a ovest del canale di calma le concentrazioni indotte dallo scarico del rio Secco si attestano su valori medi di circa  $1 \times 10^{-3}$  u.i./l, mentre quelle indotte dal rio Roncallo raggiungono valori di  $5 \times 10^{-3}$  u.i./l circa.

Per quanto riguarda le sezioni più ad est del canale di calma, invece, si può affermare che, considerando come forzante esterna solo la sola marea, le concentrazioni risultano assolutamente irrisorie, a conferma che la parte avvertiva del trasporto, in direzione est-ovest, è preponderante rispetto alla sola dispersione.

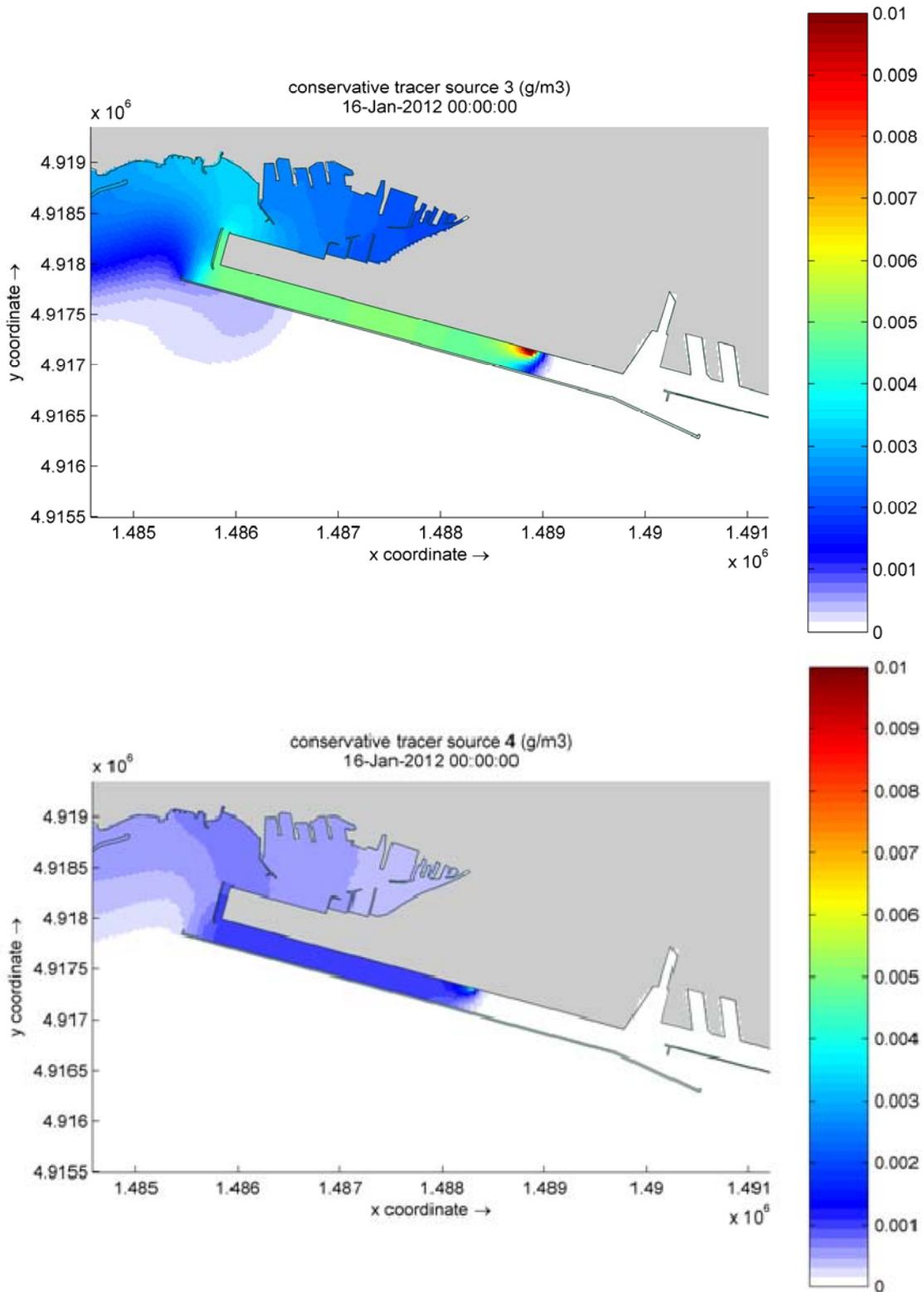


Figura 3.12 –Distribuzione delle concentrazioni (in u.i./l)di un tracciante passivo rilasciato dal rio Roncallo (sopra) e da rio Secco (sotto) con sola marea media

Per quanto riguarda invece lo scenario con il vento di scirocco (Figura 3.13), invece, si nota una forma ancora maggiormente definita del pennacchio di concentrazione, anche se nel canale di calma, ad ovest dei punti di rilascio, le concentrazioni sono inferiori rispetto alla situazione che considera come forzante la sola marea.

Questo fenomeno è da imputare ancora una volta alla preponderanza della componente avvertiva rispetto a quella dispersiva, in un situazione dove il flusso lungo il canale è incrementato dall'influenza del vento.

Il fatto che le concentrazioni siano inferiori rispetto alla situazione con calma di vento è attribuibile alla maggiore capacità di trasporto della corrente e, quindi, di dispersione del tracciante considerato.

Questo accade sia per il rio Roncallo (concentrazioni dell'ordine di  $1.5 \times 10^{-3}$  a est), sia per il rio Secco, dove la concentrazione caratteristica nelle sezioni più ad ovest del canale di calma si attestano su valori inferiori a  $1 \times 10^{-3}$  u.i./l. Anche in questo caso, nella sezione più ad est del canale di calma le concentrazioni dei traccianti rilasciati non sono rilevabili né per il rio Roncallo né per il rio Secco

Per quanto riguarda lo scenario con vento di libeccio (flusso nel canale di calma da ovest verso est) si nota, come riportato in Figura 3.14, che, anche se nel canale di calma si verificano ancora campi di concentrazione relativamente elevate, la distribuzione del vento e le velocità da esso determinata porta ad una dispersione dei traccianti anche verso est, fino ad arrivare nella zona antistante le dighe.

Le concentrazioni massime superano gli 0.009 u.i./l per il rilascio dal rio Roncallo, mentre per il rio Secco non superano le  $2.0 \times 10^{-3}$  u.i./l.

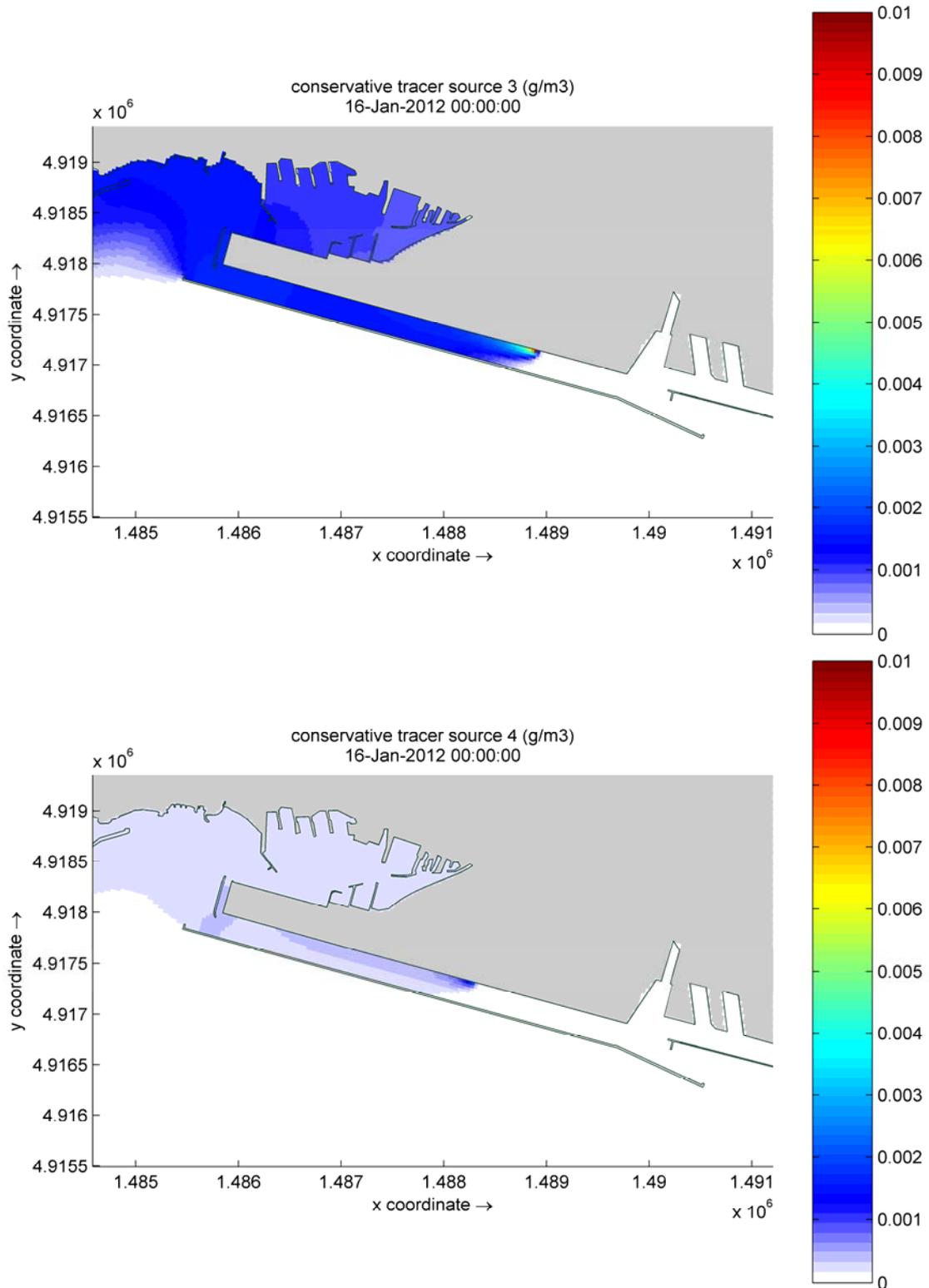


Figura 3.13 –Distribuzione delle concentrazioni (in u.i./l) di un tracciante passivo rilasciato dal rio Roncallo (sopra) e da rio Secco (sotto) con marea media e vento di scirocco.

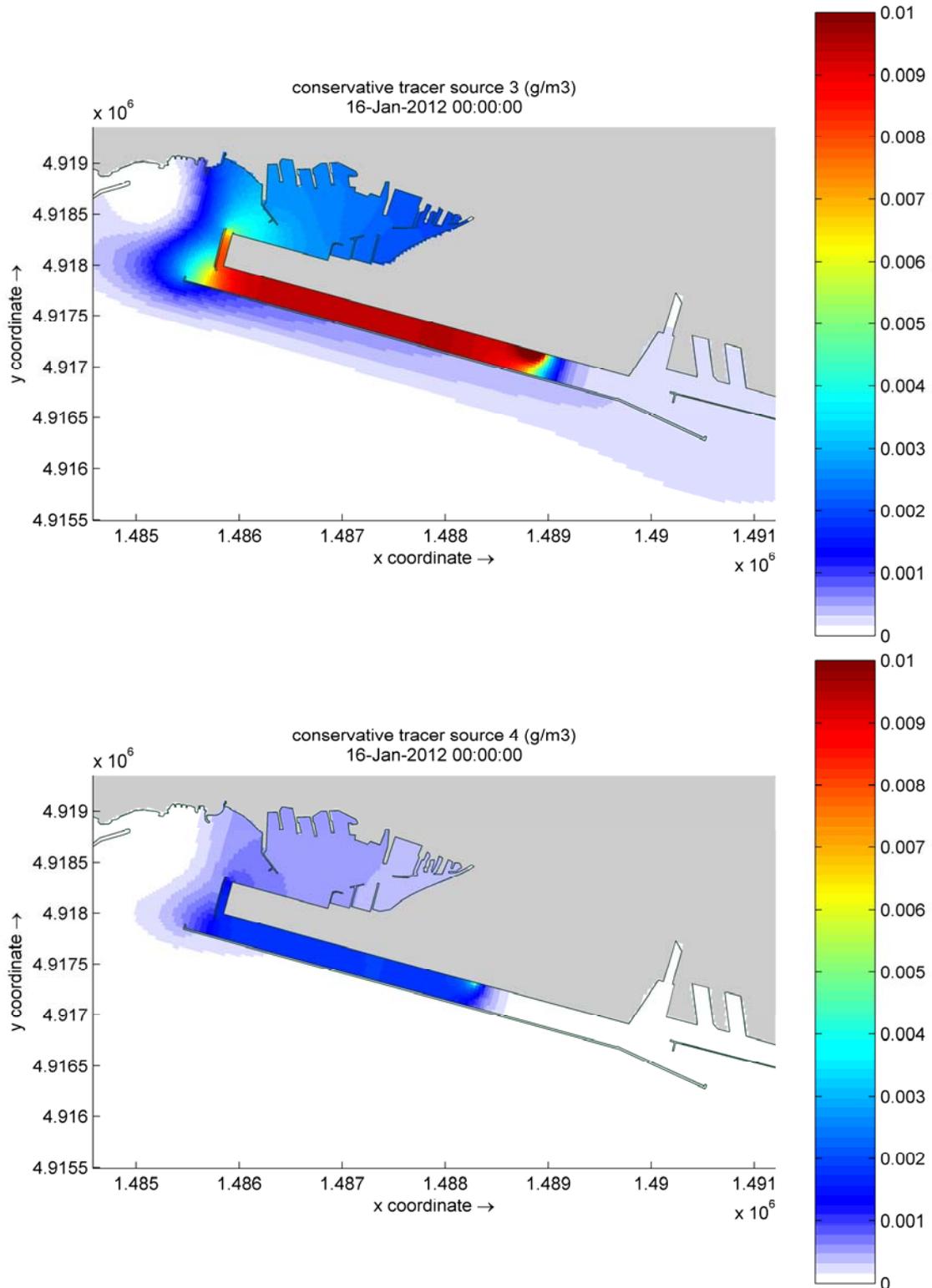


Figura 3.14 – Distribuzione delle concentrazioni (in u.i./l) di un tracciante passivo rilasciato dal rio Roncallo (sopra) e da rio Secco (sotto) con marea media e vento di libeccio.

### 3.3 Correnti e fenomeni dispersivi nella configurazione di progetto

Il presente studio è finalizzato alla valutazione delle modifiche indotte dagli interventi sui principali parametri idrodinamici e dispersivi, pertanto, al fine di consentire un confronto diretto delle variazioni di tali parametri indotte sul sistema oggetto di studio si sono ripetute per la configurazione di progetto le medesime analisi già sviluppate per lo scenario di riferimento.

Si ricorda che la sintesi delle analisi svolte sono riportate in Tabella 3.3.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati, per ogni simulazione, i principali risultati ottenuti. Mentre i campi di moto vengono illustrati con riferimento alla sola configurazione con gli interventi, essendo facilmente identificabili le variazioni indotte dagli stessi, per i “patterns” di dispersione vengono riportate anche le differenze di concentrazione tra la situazione con interventi e quella attuale al fine di evidenziare le modifiche intervenute.

#### 3.3.1 Simulazione 1-Solo marea

La prima simulazione è caratterizzata dalle forzanti esterne sopra ricordate e che possono essere riassunte in:

- Oscillazione mareale di  $\pm 12$  cm
- Correnti litoranee da est verso ovest di 10 cm/s
- Deflussi nulli dai corsi d’acqua
- Calma di vento

I risultati in termini di campo di moto sono riportati in Figura 3.15 dove si nota un andamento molto simile a quello evidenziato per lo scenario di riferimento, con velocità estremamente contenute all’interno del canale di calma con direzione da est verso ovest e inferiori a quelle dovute alle correnti litoranee e, in ogni caso, simili a quelle che si verificano lungo la diga foranea lato mare.

Le intensità delle velocità sono stimabili in pochi centimetri al secondo. Queste velocità tendono a mantenersi costanti nel tempo in quanto la componente del moto dovuta alla presenza delle correnti litoranee usualmente ha il sopravvento sulla componente pulsante dovuta alla marea.

Nello sbocco verso ponente, anche in questo caso, si verifica una divergenza del flusso in uscita dal canale di calma che, in parte si dirige verso nord-ovest all'imboccatura nord-occidentale del porto (verso Pegli), mentre in parte viene riportato dalla diga foranea verso sud ovest e, quindi, verso il mare aperto

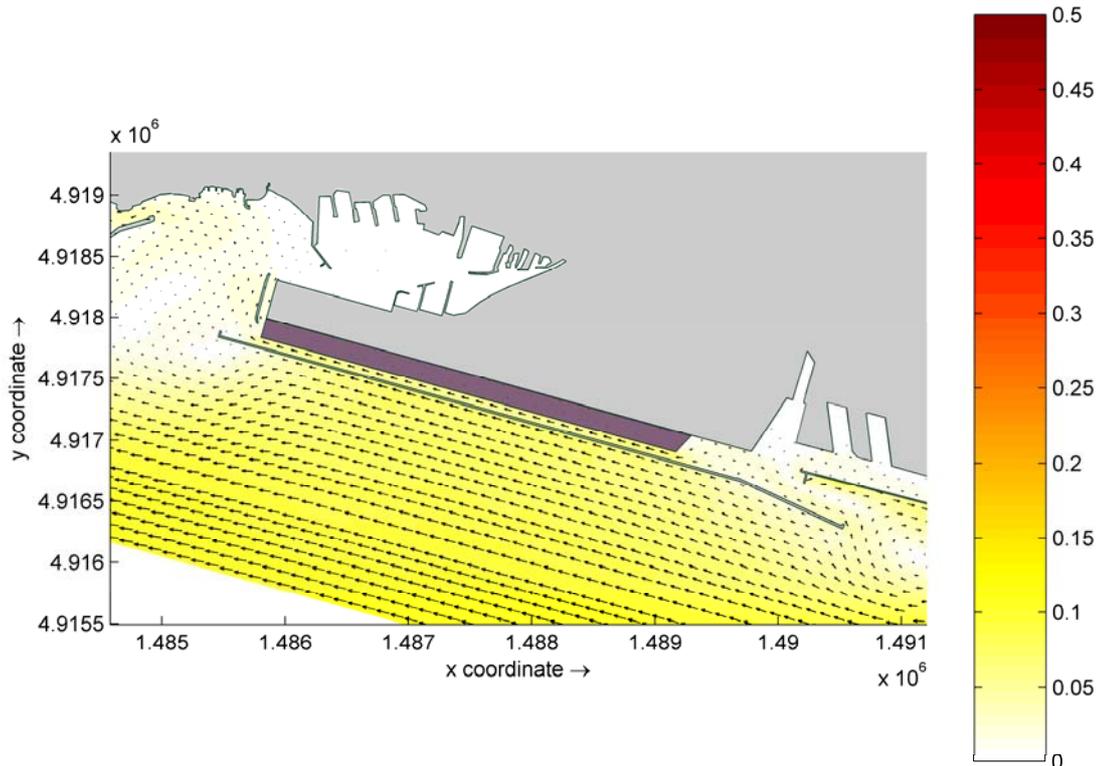


Figura 3.15 - Stato di progetto - Campo di moto (m/s) generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 1

Per questa prima simulazione si è stimato che la portata media attraverso il canale di calma modificato come da progetto, da est verso ovest, sia di circa  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  rispetto agli  $109 \text{ m}^3/\text{s}$  dello scenario di riferimento.

### 3.3.2 Simulazione 2-Marea e vento di Scirocco

La seconda simulazione, conformemente a quanto analizzato per lo scenario di riferimento, è caratterizzata dalle seguenti forzanti:

- Oscillazione mareale di  $\pm 12$  cm
- Correnti litoranee da est verso ovest di 10 cm/s
- Deflussi nulli dai corsi d'acqua
- Vento di scirocco di 12 m/s

Anche nella configurazione con interventi si rileva che in presenza di un vento di scirocco abbastanza intenso il sistema modifica il suo comportamento idrodinamico.

Nella Figura 3.16 si nota infatti come il campo di moto indotto dal vento tenda a rafforzare l'effetto indotto dalle correnti litoranee: anche in questo caso, ovviamente, le velocità in mare aumentano fino ad oltre 20 cm/s.

È da notare, in particolare, l'accelerazione che il flusso subisce passando dal canale con la larghezza originale, in corrispondenza della banchina ILVA al canale ristretto in corrispondenza dell'inizio della presenza del deposito a mare. Nel canale ristretto vengono identificate velocità del flusso anche superiori a 25 cm/s.

Anche nell'area di sbocco del canale di calma ad ovest si nota un incremento dei fenomeni con flussi in aumento verso nord-ovest e il generarsi di circolazioni secondarie in corrispondenza della testata dell'aeroporto.

In ogni caso il flusso nel canale di calma ristretto si mantiene in direzione da est verso ovest con una portata media di circa  $145 \text{ m}^3/\text{s}$  rispetto ai circa  $325 \text{ m}^3/\text{s}$  che si verificano nello scenario di riferimento.

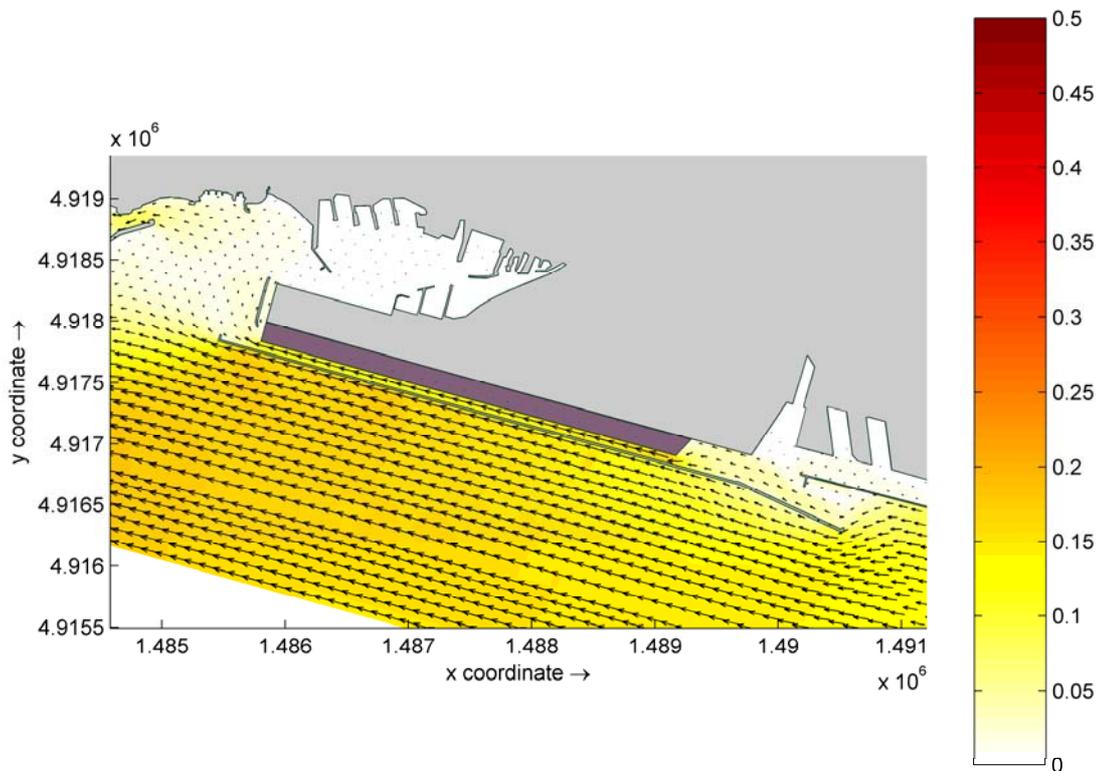


Figura 3.16 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 2

### 3.3.3 Simulazione 3-Marea e vento di Libeccio

La terza simulazione è caratterizzata dalle seguenti forzanti esterne:

- Oscillazione mareale di  $\pm 12$  cm
- Correnti litoranee da est verso ovest di 10 cm/s
- Deflussi nulli dai corsi d'acqua
- Vento di libeccio di 10 m/s

La sovrapposizione del vento di libeccio alle correnti indotte dalla marea e da quelle litoranee, anche nello scenario con gli interventi, presenta una situazione completamente diversa dalle precedenti.

Si nota, infatti, come l'energia indotta dal vento sia in grado di opporsi agli effetti delle correnti litoranee e induca, sia nel canale di calma che sotto costa, una circolazione da ovest verso est, cioè in senso contrario ai due casi precedenti.

Pertanto, come riportato in Figura 3.17, il flusso dominante entra dall'imboccatura ovest del canale di calma e ritorna al mare dall'imboccatura orientale. Il restringimento del canale di calma induce una velocità maggiore rispetto quella valutata per l'area di mare aperto immediatamente prospiciente la diga foranea, con velocità, nel canale, stimabili fino a circa 10 cm/s rispetto ai circa 5 cm/s che si sviluppano in mare.

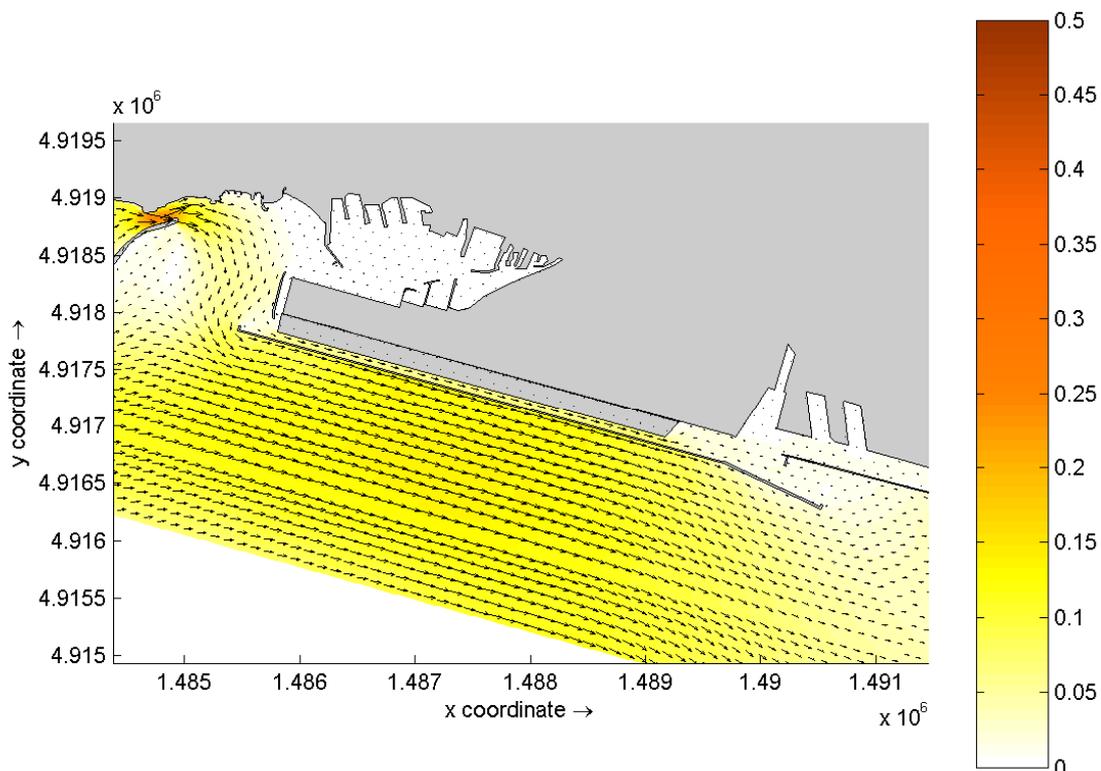


Figura 3.17 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 3

In questo caso il flusso nel canale di calma procede da ovest verso est con una portata media che si attesta su circa 65 m<sup>3</sup>/s rispetto ai circa 173 m<sup>3</sup>/s valutati per lo scenario di riferimento.

### 3.3.4 Simulazione 4-Solo marea e deflussi medi annui dei corsi d'acqua

A partire da questa simulazione, come già fatto nel corso della descrizione dei risultati ottenuti per lo scenario di riferimento, vengono analizzate le condizioni di moto che si instaurano quando, alle forzanti esterne fin qui analizzate, si sovrappone un deflusso pari a quello medio annuo proveniente dai principali corsi d'acqua (T. Polcevera, r. Rostagno e r. Secco che recapitano le portate caratteristiche di una situazione media annua).

Al fine di fornire indicazioni sui processi dispersivi caratteristici dell'area, a tali deflussi sono state inoltre associate concentrazioni unitarie di un tracciante teorico conservativo che consentiranno di identificare l'andamento soprattutto spaziale dei relativi campi di concentrazione.

Il considerare come deflussi caratteristici dei principali corsi d'acqua quelli medi annui consente di utilizzare tali risultati al fine di valutare, sul lungo periodo, la variazione potenziale della qualità dell'ambiente acquatico in presenza degli interventi.

Le condizioni al contorno applicate per lo scenario considerato in questo paragrafo sono:

- Oscillazione mareale di  $\pm 12$  cm
- Correnti litoranee da est verso ovest di 10 cm/s
- Deflussi dai corsi d'acqua di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  per il torrente Polcevera e  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  rispettivamente per i rii Roncallo e Secco.
- Calma di vento

Nella Figura 3.18 viene riportato il campo di moto corrispondente a tale scenario.

Come si può notare, il flusso nel canale di calma mantiene la stessa direzione di flusso rispetto alla simulazione senza scarichi dei corsi d'acqua e la portata che si genera, da est verso ovest, si attesta sui  $37 \text{ m}^3/\text{s}$  rispetto ai  $93 \text{ m}^3/\text{s}$  della situazione senza interventi.

Inoltre, anche in questo caso come per la situazione di riferimento, il dragaggio considerato alla foce del torrente Polcevera impedisce, specialmente in una schematizzazione bidimensionale come quella qui considerata, che si formi un flusso evidente e le correnti si mantengono su valori estremamente contenuti.

Si può peraltro notare che di fronte alla banchina ILVA, si forma una zona di ristagno, non presente nello scenario di riferimento, dovuta all'allargamento della vena fluida proveniente dal canale di calma con portate inferiori rispetto allo scenario di riferimento.

Anche nello scenario con gli interventi si sono studiati i processi dispersivi che si instaurano quando i corsi d'acqua recapitano a mare portate consistenti, associando al deflusso di ogni rio considerato un tracciante conservativo, con concentrazione unitaria, al fine di verificarne la dispersione sia nel canale di calma che nei corpi idrici adiacenti.

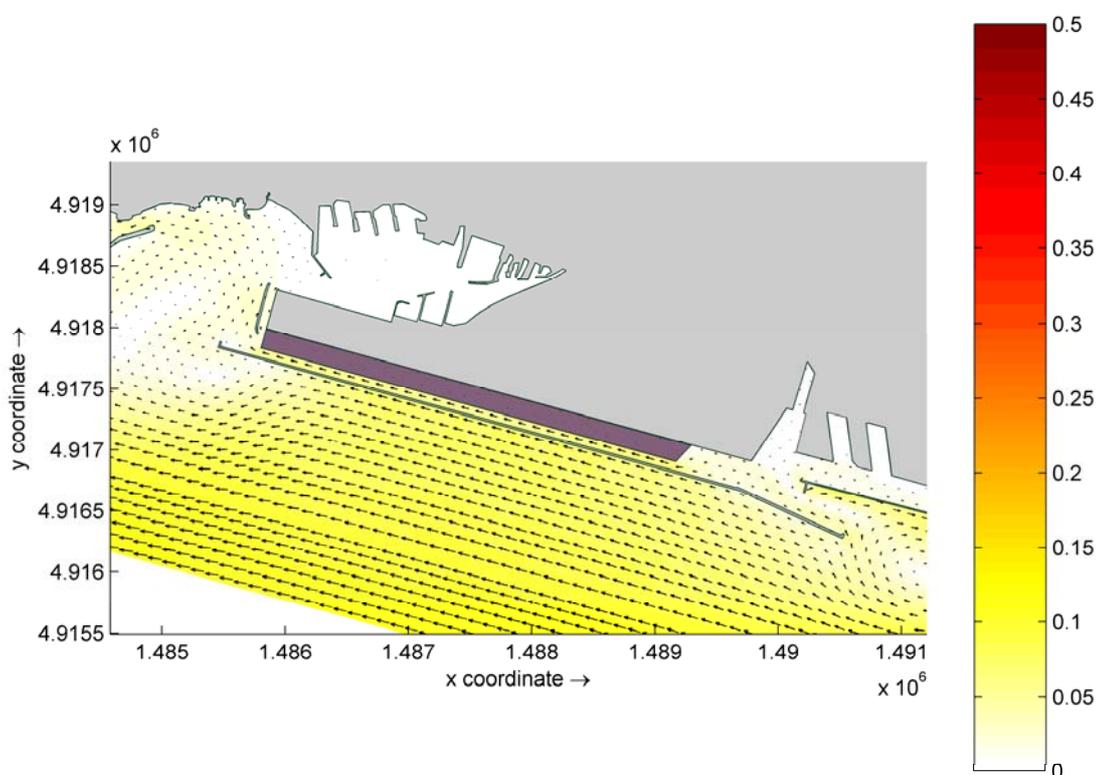
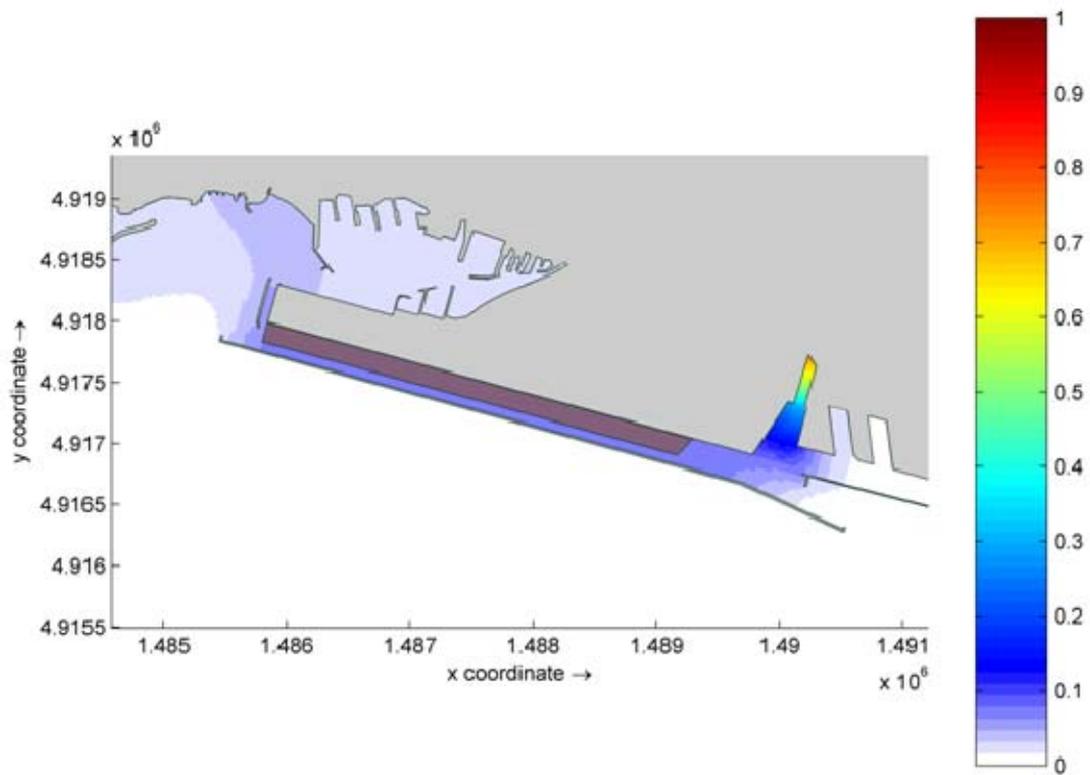


Figura 3.18 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 4

Nella Figura 3.19 viene riportato il campo di concentrazione relativo al tracciante associato al t. Polcevera con il campo idrodinamico sopra ricordato, mentre nella Figura 3.20 sono riportate le differenze di concentrazioni tra la situazione con interventi e lo scenario di riferimento.



*Figura 3.19 - Stato di progetto - Campo di concentrazione ( $u.i./m^3$ ) generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 4*

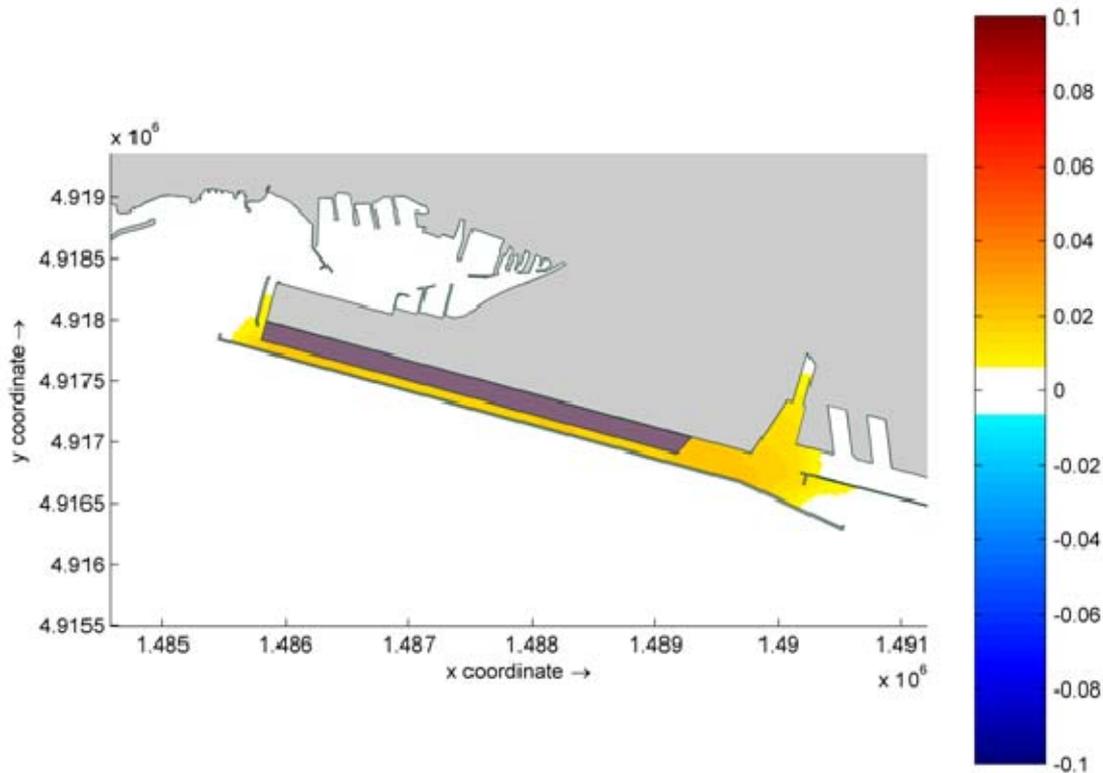


Figura 3.20 - Differenza tra il campo di concentrazione ( $u.i./m^3$ ) generato dal tracciante unitario rilasciato dal T. Polcevera nella situazione con interventi e nella scenario di riferimento per la simulazione 4.

Come si può notare le maggiori concentrazioni si manifestano, ovviamente, nel canale di foce del torrente e, quindi, si nota una doppia dispersione con concentrazioni analoghe di cui una si dirige verso il canale di comunicazione verso il mare aperto a sud-est, ma un'area di concentrazione elevata si manifesta anche nel canale di calma, in corrispondenza della banchina ILVA, nonostante la corrente ovest-est proveniente dal canale di calma stesso.

Le differenze mettono in evidenza come la presenza del deposito a mare costituisca un ostacolo alla dispersione del tracciante rilasciato dal Polcevera, con un incremento della concentrazione in corrispondenza della banchina ILVA, mentre in tutto il resto del dominio di calcolo non si notano variazioni di rilievo.

### 3.3.5 Simulazione 5-Marea, vento di Scirocco e deflussi medi annui dei corsi d'acqua

Nella quinta simulazione sono stati analizzati il campo di moto ed i processi dispersivi indotti dalle medesime forzanti applicate per la simulazione 2 a cui sono stati aggiunti i deflussi dei corsi d'acqua dolce con portate aventi tempi di ritorno di 1 anno.

Le condizioni al contorno applicate sono quindi le seguenti:

- Oscillazione mareale di  $\pm 12$  cm
- Correnti litoranee da est verso ovest di 10 cm/s
- Deflussi dai corsi d'acqua di 5 m<sup>3</sup>/s per il torrente Polcevera e 0.5 m<sup>3</sup>/s e 0.1 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per i rii Roncallo e Secco.
- Vento di scirocco con intensità di 12 m/s

Per quanto riguarda la parte strettamente idrodinamica, il cui campo di moto è riportato in Figura 3.21, si può notare come venga confermato il rafforzamento del flusso in direzione est-ovest nel canale di calma, tanto che l'andamento della corrente proveniente dal Polcevera che, in condizione di calma di vento tendeva a defluire direttamente verso il mare aperto, in questo caso viene maggiormente indirizzato verso il canale di calma stesso.

In questo caso le portate fluenti nel canale di calma, da est verso ovest, si attestano su valori di circa 195 m<sup>3</sup>/s rispetto ai circa 475 m<sup>3</sup>/s dello scenario di riferimento.

Di questa situazione ne risente anche il campo delle concentrazioni del tracciante conservativo rilasciato dal Polcevera che, diversamente dalla situazione con calma di vento, presenta un campo di concentrazione completamente sviluppato all'interno del canale di calma, anche se ristretto, con una distribuzione sostanzialmente uniforme delle concentrazioni che determinano, allo sbocco di ponente, un pennacchio di dispersione verso la parte nord del bacino portuale.

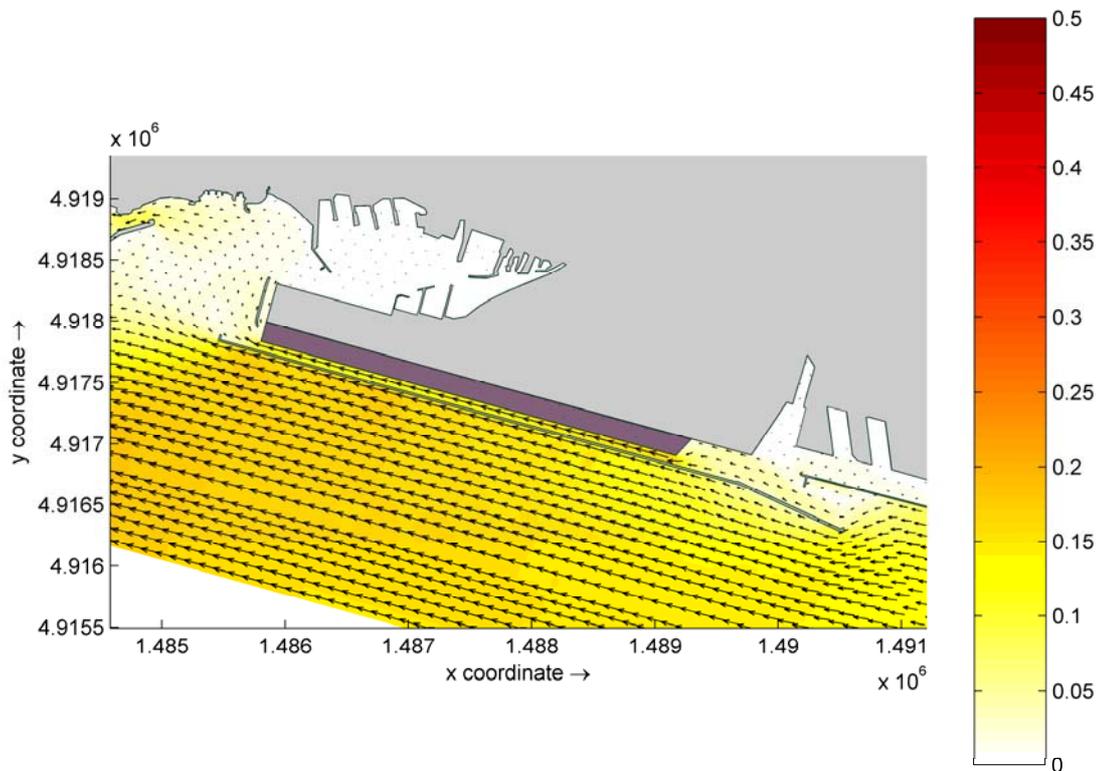


Figura 3.21 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 5

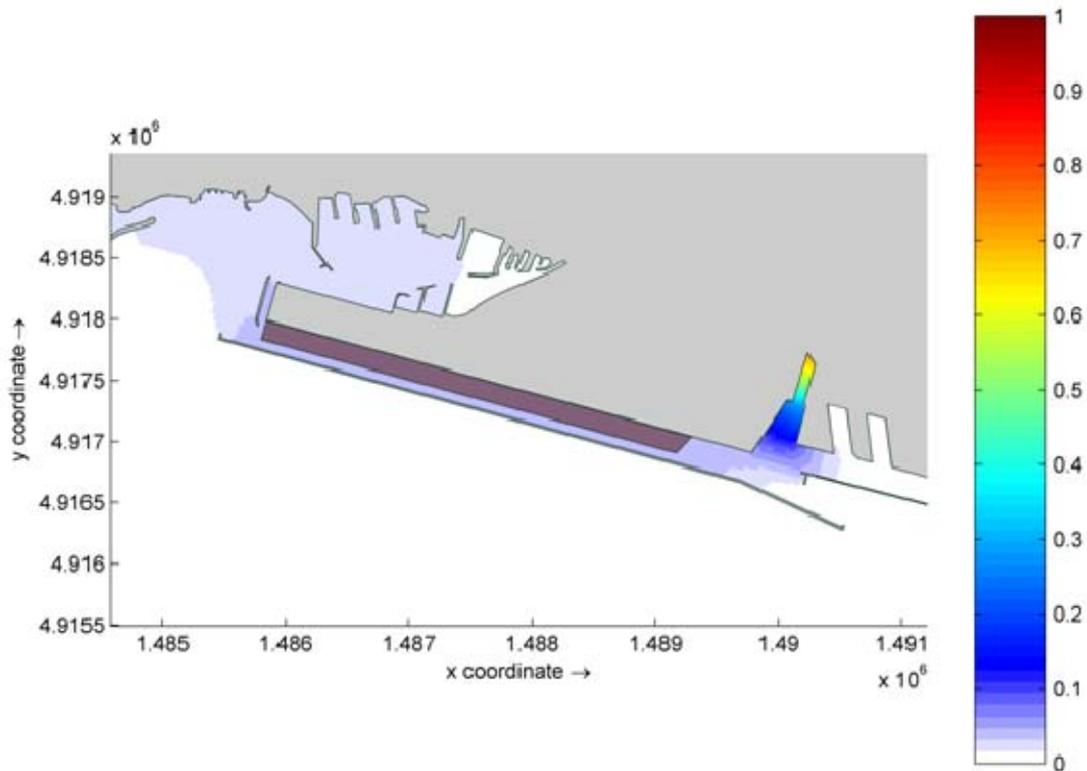


Figura 3.22 - Stato di progetto - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 5

Risulta interessante l'analisi delle differenze di concentrazione tra la situazione tra configurazione con interventi e lo scenario di riferimento riportata in Figura 3.23. Si nota infatti come nel canale di calma le concentrazioni tendano a rimanere più elevate nella situazione con interventi, ma che tale differenza si instaura anche nella zona di foce del Polcevera e nel canale orientale del porto.

Questa differenza è un sintomo di ridotto ricambio nell'area di interesse dovuta principalmente all'effetto di contenimento della dispersione nella bocca di porto ad oriente del canale di calma e dal ridotto flusso nel canale stesso.

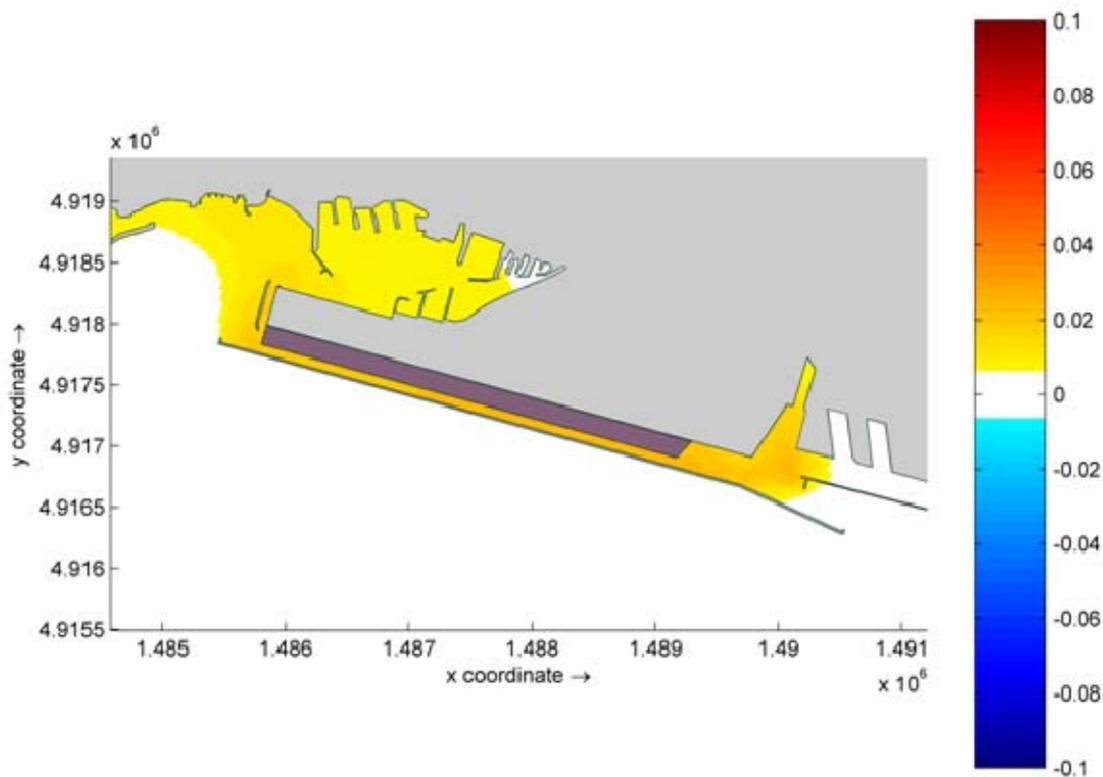


Figura 3.23 - Differenza tra il campo di concentrazione ( $u.i./m^3$ ) generato dal tracciante unitario rilasciato dal T. Polcevera nella situazione con interventi e nella scenario di riferimento per la simulazione 5

### 3.3.6 Simulazione 6-Marea, vento di Libeccio e deflussi medi annui dei corsi d'acqua

Nella sesta simulazione dello scenario con interventi è stato analizzato il campo di moto ed i processi dispersivi indotti dalle medesime forzanti applicate per la simulazione 3 a cui sono stati aggiunti i deflussi dei corsi d'acqua dolce con portate aventi tempi di ritorno di 1 anno, come nelle simulazioni 4 e 5.

In sintesi le condizioni al contorno applicate sono:

- Oscillazione mareale di  $\pm 12$  cm
- Correnti litoranee da est verso ovest di 10 cm/s
- Deflussi dai corsi d'acqua di 5 m<sup>3</sup>/s per il torrente Polcevera e 0.5 m<sup>3</sup>/s e 0.1 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per i rii Roncallo e Secco.
- Vento di libeccio con intensità di 10 m/s

Per quanto riguarda la parte strettamente idrodinamica, il cui campo di moto è riportato in Figura 3.24, si può notare come le velocità nel canale di calma siano più elevate rispetto alla situazione senza scarichi.

Infatti, anche ad un'analisi quantitativa, i flussi idrici nel canale di calma passano dai 270 m<sup>3</sup>/s della situazione senza interventi ai 113 m<sup>3</sup>/s della situazione considerata nel presente paragrafo.

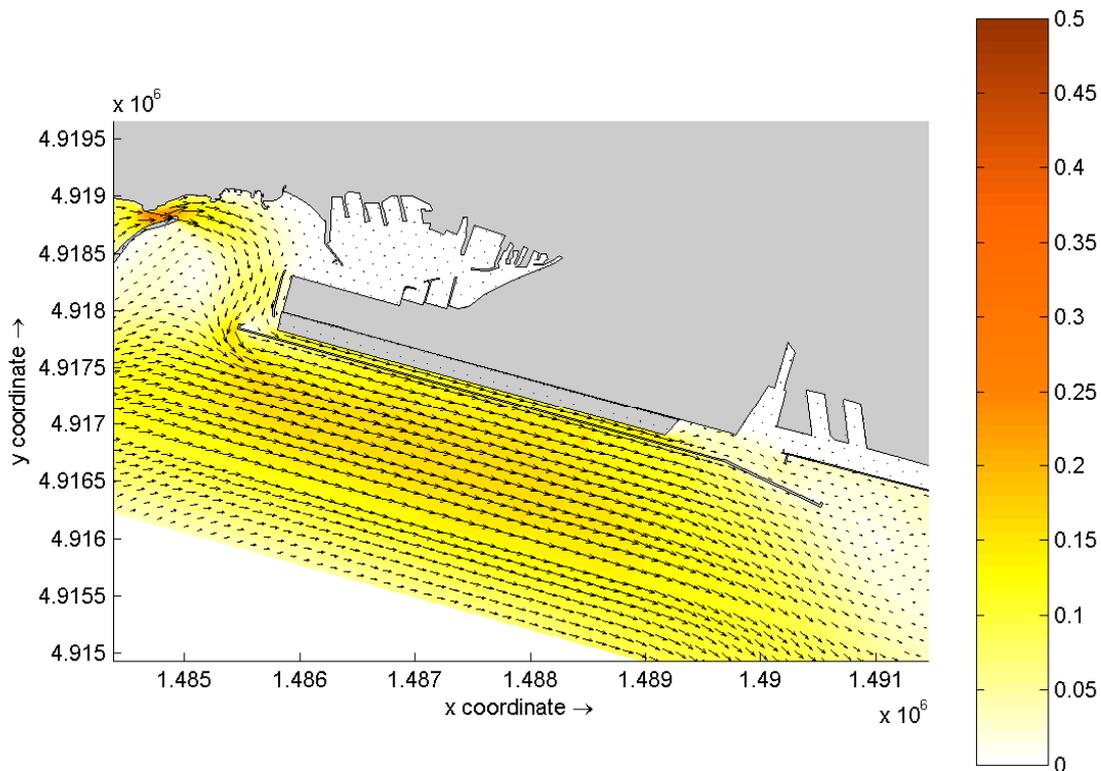
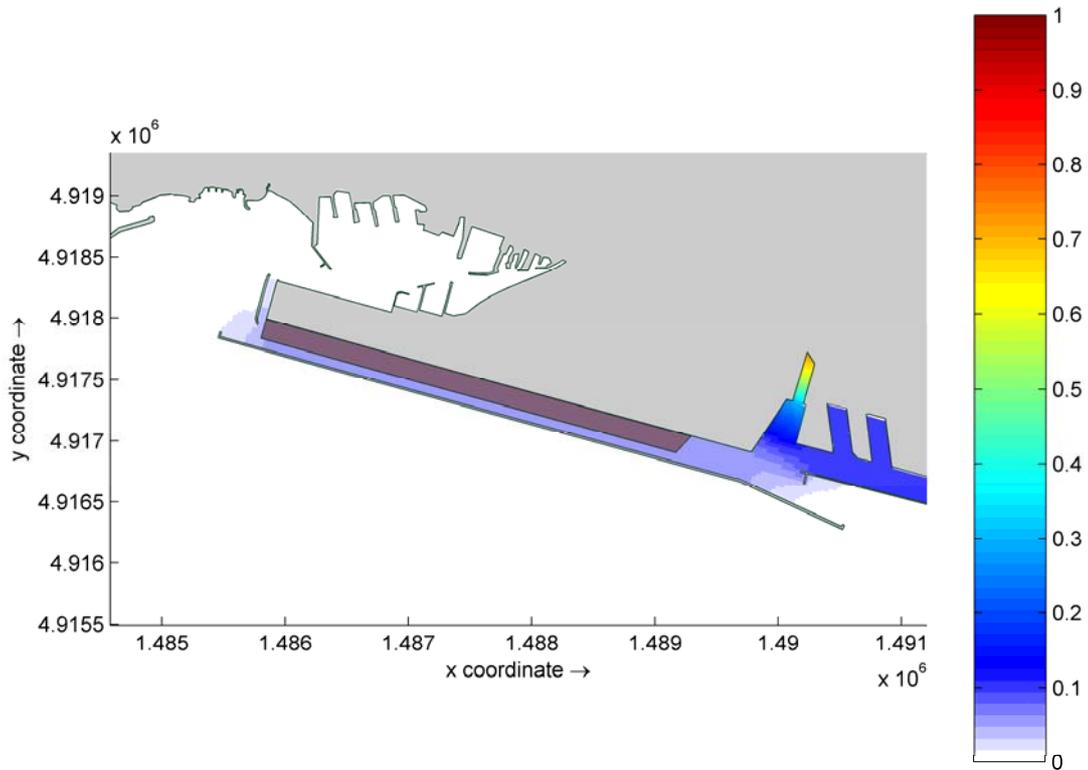


Figura 3.24 - Stato di progetto - Campo di moto generato nel canale di calma dalle forzanti applicate nella simulazione 6

La direzione del flusso rimane da ovest verso est, contribuendo a deformare il pennacchio di velocità della foce del Polcevera verso est, tanto che il deflusso dal fiume avviene quasi direttamente nella bocca di comunicazione con il mare aperto.

Questo comportamento è confermato dalla distribuzione delle concentrazioni del tracciante conservativo rilasciato sempre dal Polcevera (Figura 3.25) che, in queste condizioni creano un pennacchio quasi completamente sviluppato verso est, anche se le concentrazioni all'interno del canale di calma sono prossime allo zero.

Le differenze rispetto allo scenario di riferimento (Figura 3.26) dimostrano, anche in questo caso, come la presenza del deposito a mare generi un'area di aumento delle concentrazioni in corrispondenza della banchina ILVA dovuto alla diminuzione del flusso attraverso la sezione ristretta del canale di calma modificato.



*Figura 3.25 - Stato di progetto - Campo di concentrazione generato nel canale di calma da un tracciante conservativo unitario rilasciato dal Polcevera nella simulazione 6*

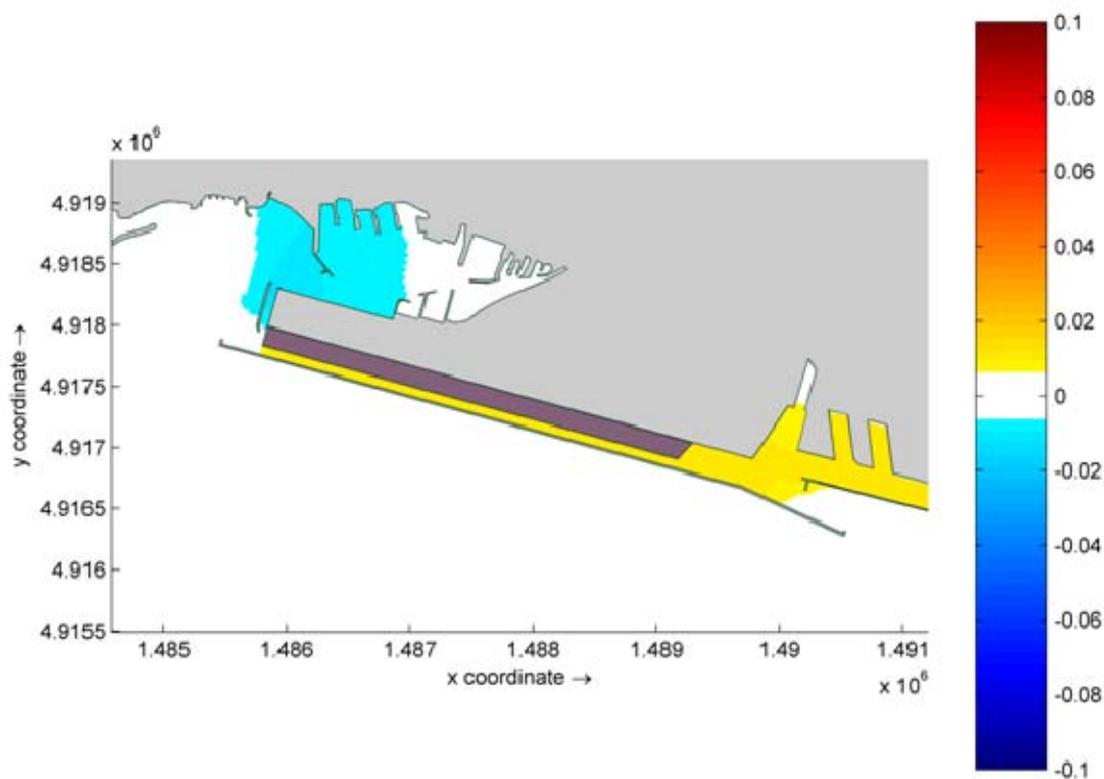


Figura 3.26 - Differenza tra il campo di concentrazione ( $u.i./m^3$ ) generato dal tracciante unitario rilasciato da T. Polcevera nella situazione con interventi e nella situazione di riferimento per la simulazione 6

### 3.3.7 *La dispersione dei rii minori (rio Roncallo e rio Secco) nella configurazione di progetto.*

Analogamente a quanto fatto per lo scenario di riferimento e a quanto già evidenziato per un tracciante rilasciato alla foce del Polcevera, in questo paragrafo vengono illustrati i campi di concentrazione derivati dal rilascio dei rii Roncallo e Secco, di un tracciante conservativo con concentrazione unitaria, pari a 1 u.i./l, nelle diverse condizioni idrodinamiche evidenziate in precedenza.

Anche in questo caso è stato utilizzato come configurazione fisica del sistema lo scenario futuro in cui, allo scenario di riferimento, è stato sovrapposto l'intervento oggetto del presente progetto.

Si ricorda che i deflussi imposti ai due corsi d'acqua (Roncallo e Secco) equivalgono alla portata media annua e, di conseguenza, anche le concentrazioni determinate possono essere come caratteristiche della concentrazione media annua che si verrebbe a determinare per il rilascio di un tracciante di questo tipo.

I risultati per le diverse condizioni idrodinamiche vengono riportati l'uno di seguito all'altro al fine di consentire una facile lettura ed un facile confronto visuale.

Come si può notare, nello scenario con calma di vento (Figura 3.27), data la differenza di portata caratteristica dei due corsi d'acqua ( $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  per il rio Roncallo e  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  per il rio Secco), le concentrazioni determinate dal rio Roncallo sono superiori, in tutto il canale di calma, a quelle indotte dallo scarico del rio Secco. Inoltre le concentrazioni sono molto superiori rispetto a quelle calcolate per la configurazione di riferimento (cfr Figura 3.12)

In particolare nella sezione più a ovest del canale di calma le concentrazioni indotte dallo scarico del rio Secco si attestano su valori medi di circa  $3.0 \times 10^{-3}$  u.i./l, mentre quelle indotte dal rio Roncallo raggiungono valori di  $1 \times 10^{-2}$  u.i./l circa, quindi circa il doppio di quelle determinate per lo scenario di riferimento.

Per quanto riguarda le sezioni più ad est del canale di calma, invece, si può affermare che, considerando come forzante esterna solo la sola marea, le concentrazioni risultano assolutamente irrisorie, a conferma che la parte avvertiva del trasporto, in direzione est-ovest, è preponderante rispetto alla sola dispersione.

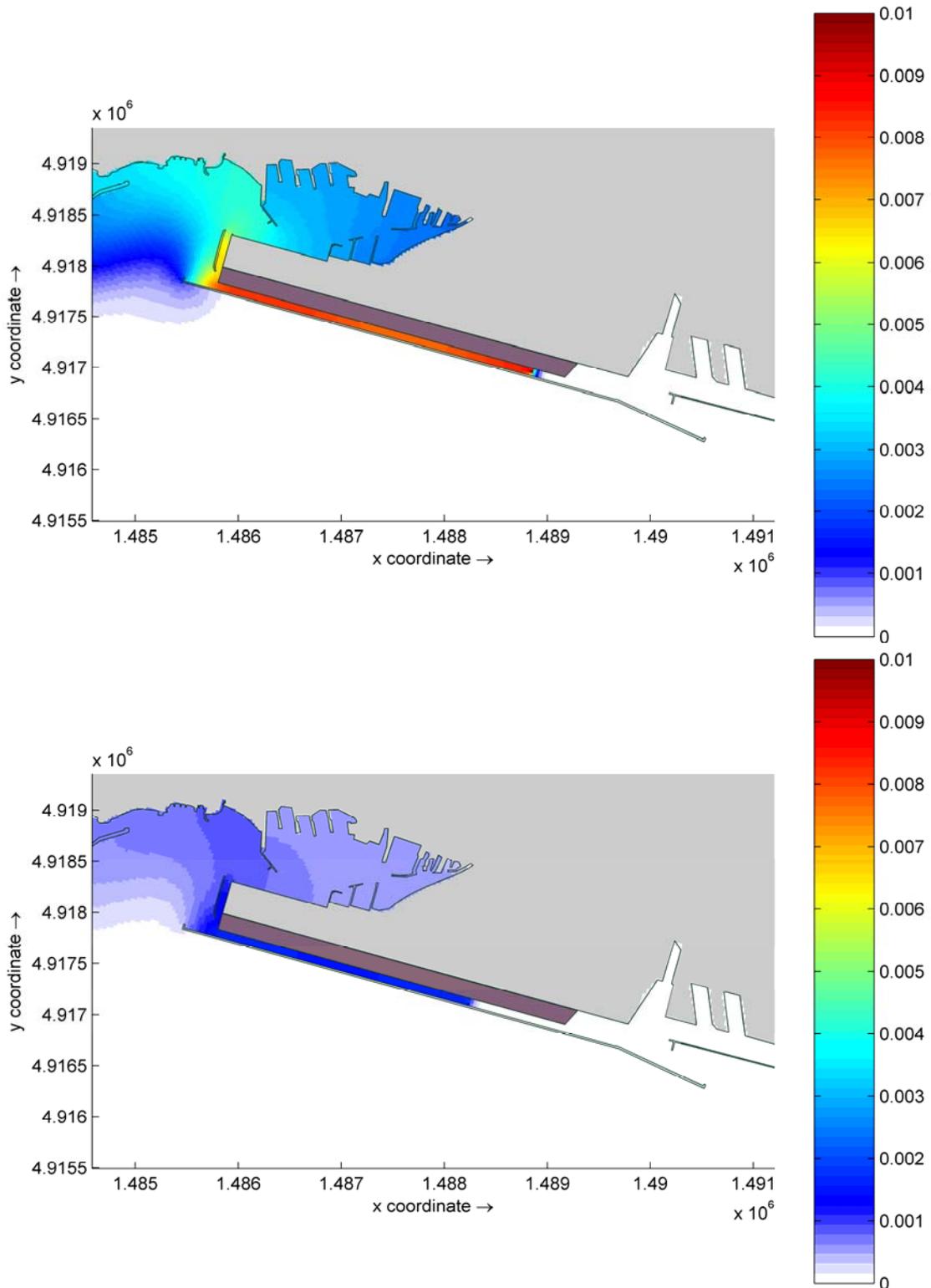


Figura 3.27 - Configurazione di progetto - Andamento delle concentrazioni di traccianti rilasciati dal rio Roncallo (sopra) e dal rio secco (sotto) per lo scenario di calma di vento

Per quanto riguarda invece lo scenario con il vento di scirocco (Figura 3.28), invece, si nota una forma ancora maggiormente definita del pennacchio di concentrazione, anche se nel canale di calma, ad ovest dei punti di rilascio, le concentrazioni sono inferiori rispetto alla situazione che considera come forzante la sola marea.

Questo fenomeno è da imputare ancora una volta alla preponderanza della componente avvertiva rispetto a quella dispersiva, in un situazione dove il flusso lungo il canale è incrementato dall'influenza del vento.

Il fatto che le concentrazioni siano inferiori rispetto alla situazione con calma di vento è attribuibile alla maggiore capacità di trasporto della corrente e, quindi, di dispersione del tracciante considerato.

Questo accade sia per il rio Roncallo (concentrazioni dell'ordine di  $3.5 \times 10^{-3}$  a est), sia per il rio Secco, dove la concentrazione caratteristica nelle sezioni più ad ovest del canale di calma si attestano su valori inferiori a  $2 \times 10^{-3}$  u.i./l. Anche in questo caso, nella sezione più ad est del canale di calma le concentrazioni dei traccianti rilasciati non sono rilevabili né per il rio Roncallo né per il rio Secco

Per quanto riguarda lo scenario con vento di libeccio (flusso nel canale di calma da ovest verso est) si nota, come riportato in Figura 3.28, che, anche se nel canale di calma si verificano ancora campi di concentrazione relativamente elevate, la distribuzione del vento e le velocità da esso determinata porta ad una dispersione dei traccianti anche verso est, fino ad arrivare nella zona antistante le dighe.

Le concentrazioni massime superano gli 0.01 u.i./l per il rilascio dal rio Roncallo, mentre per il rio Secco non superano le  $3.0 \times 10^{-3}$  u.i./l.

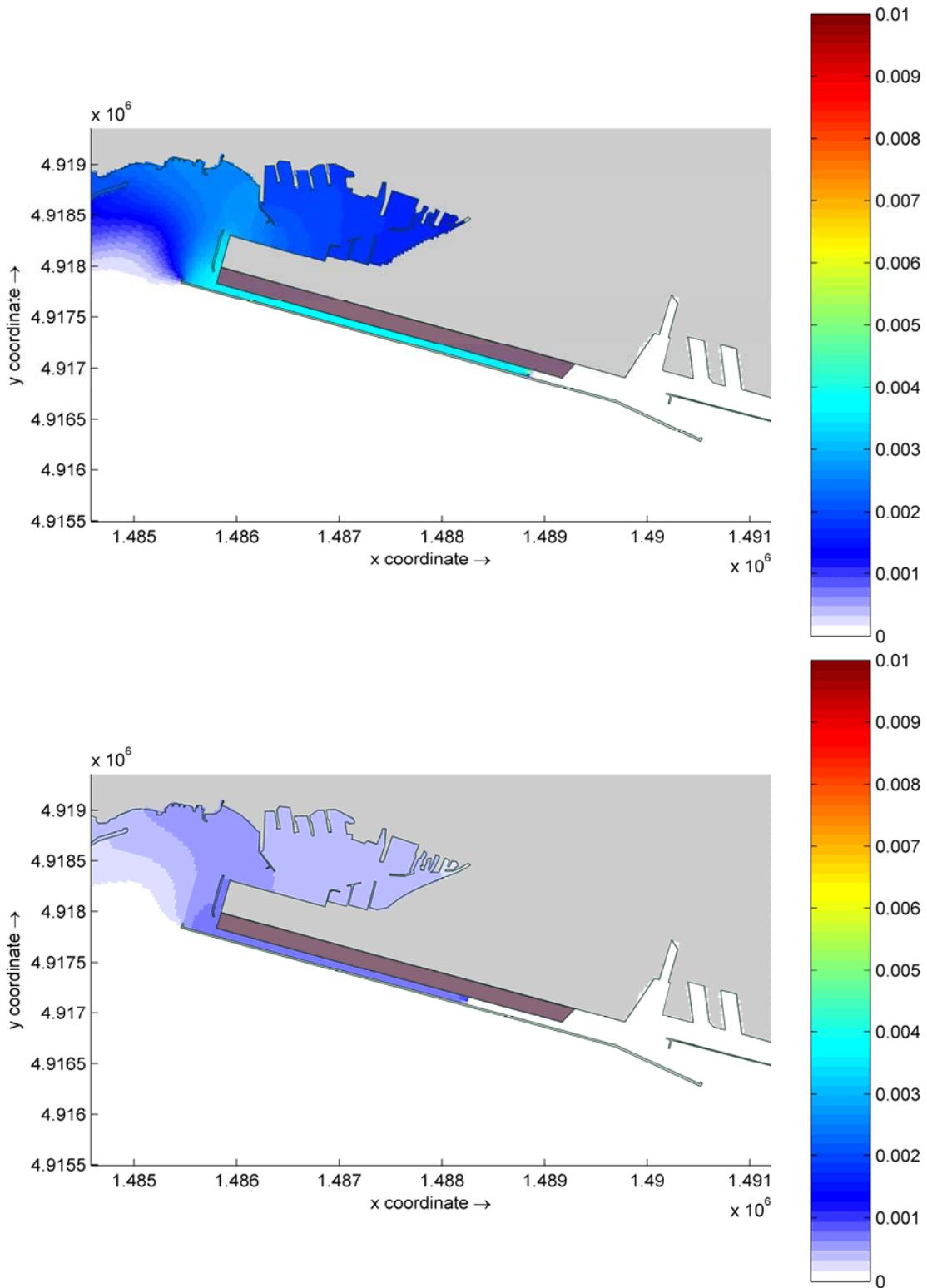


Figura 3.28 - Configurazione di progetto - Andamento delle concentrazioni di traccianti rilasciati dal rio Roncallo (sopra) e dal rio secco (sotto) per lo scenario con vento di scirocco

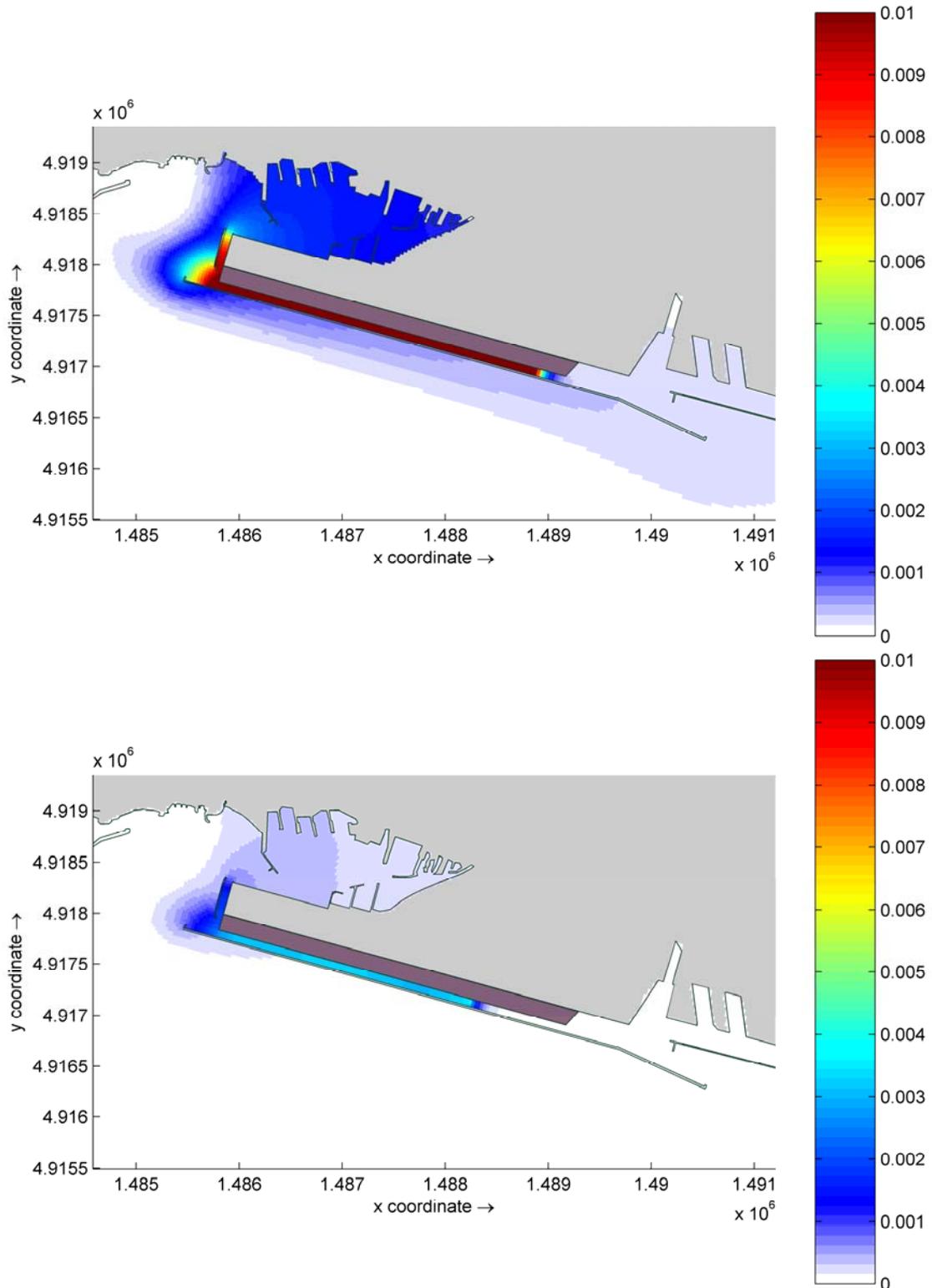


Figura 3.29 - Configurazione di progetto - Andamento delle concentrazioni di traccianti rilasciati dal rio Roncallo (sopra) e dal rio secco (sotto) per lo scenario con vento di libeccio

### 3.4 Deflussi con tempo di ritorno di 200 anni

Come già indicato nel paragrafo 3.1, MTTAM ha espressamente richiesto, neolc orso delle revisione del Progetto Definitivo, che venisse considerato un evento di piena due centennale del T. Polcevera, al fine di verificare che i nuovi interventi non costituissero un impedimento al libero deflusso delle acque e, quindi, non costituissero un aumento della pericolosità idraulica dell'area.

Per svolgere questa verifica, sono state predisposte, con il modello idrodinamico messo a punto in questo studio, due simulazioni, una con la configurazione di riferimento e l'altra nella configurazione di progetto, nelle quali sono stati imposti al torrente Polcevera ed ai rii Roncallo e Secco, la portata con tempo di ritorno 200 anni come risulta dalla documentazione ufficiale e dai Piani di Bacino sviluppati dagli Enti competenti (cfr sempre par. 3.1).

Le condizioni al contorno assunte possono essere quindi così riassunte:

- Oscillazione mareale di  $\pm 12$  cm
- Correnti litoranee da est verso ovest di 10 cm/s
- Deflussi dai corsi d'acqua di 1758 m<sup>3</sup>/s per il torrente Polcevera e 31 m<sup>3</sup>/s e 26 m<sup>3</sup>/s rispettivamente per i rii Roncallo e Secco.
- Calma di vento

Per la verifica di compatibilità idraulica sono stati considerati 2 parametri: i campi di velocità ed i livelli idrometrici.

I primi forniscono una precisa indicazione della capacità erosiva e di trasporto della corrente in tale situazione, mentre i secondi consentono di verificare che durante l'evento non si instaurino livelli idraulici incompatibili con il sistema in esame. Dato peraltro l'obiettivo del presente studio, volto a determinare l'effetto della nuova colmata nel canale di calma, per i livelli idrometrici si evidenzieranno solo, in termini parametrici, le differenze tra la situazione con gli interventi e quella senza.

Inoltre, data la natura del presente studio, l'analisi si è limitata alla sola zona di foce dei tre corsi d'acqua.

Nella successiva Figura 3.30 vengono riportati i campi di moto indotti nella zona di foce dalle condizioni idrodinamiche con una condizione di deflusso permanente dei 3 corsi d'acqua nella

configurazione di riferimento e di progetto, mentre nella Figura 3.31 viene riportata la distribuzione delle differenze di livello idrometrico che si generano per gli stessi due scenari.

Come si può notare, con portate dell'entità considerata, nel canale di foce del torrente Polcevera si instaurano velocità rilevanti, ben superiori a 1 m/s, che tendono a ridursi non appena la vena liquida raggiunge la divergenza di foce, dragata fino alla quota -13.50 m s.l.m.

Data in ogni caso la morfologia delle dighe, è evidente che la vena liquida si divide in due parti non appena raggiunge la diga foranea: una parte devia direttamente a est verso il mare aperto, mentre una parte minore devia verso ovest e, cioè, verso il canale di calma.

Le velocità della corrente nel canale di calma possono essere stimate in qualche decina di cm/s, comunque dello stesso ordine di grandezza di quella che si diparte verso est e, quindi, verso il mare.

Situazione assolutamente analoga si manifesta in presenza della colmata oggetto del presente studio, solo che la strozzatura dallo stesso rappresentata fa sì che nella prima parte del canale stesso, di fronte alla banchina ILVA, le velocità si mantengano ancora sufficientemente basse (pochi centimetri al secondo), accelerando poi nel canale ristretto, portandosi a velocità del tutto paragonabili a quelle valutate per la situazione di riferimento.

Questo processo determina una riduzione della portata in grado di transitare attraverso il canale di calma residuo, quindi, in un aumento del flusso verso est e verso il mare aperto.

Questo effetto è evidenziato da un aumento della velocità immediatamente a nord della diga foranea.

Lo stesso fenomeno è evidenziato dalle differenze di livello di Figura 3.31 dove risulta un'evidente, anche se contenuta, tendenza all'aumento di livello di fronte alla banchina ILVA, mentre la situazione nella restante parte dell'area in esame rimane sostanzialmente la stessa rispetto alla situazione di riferimento.

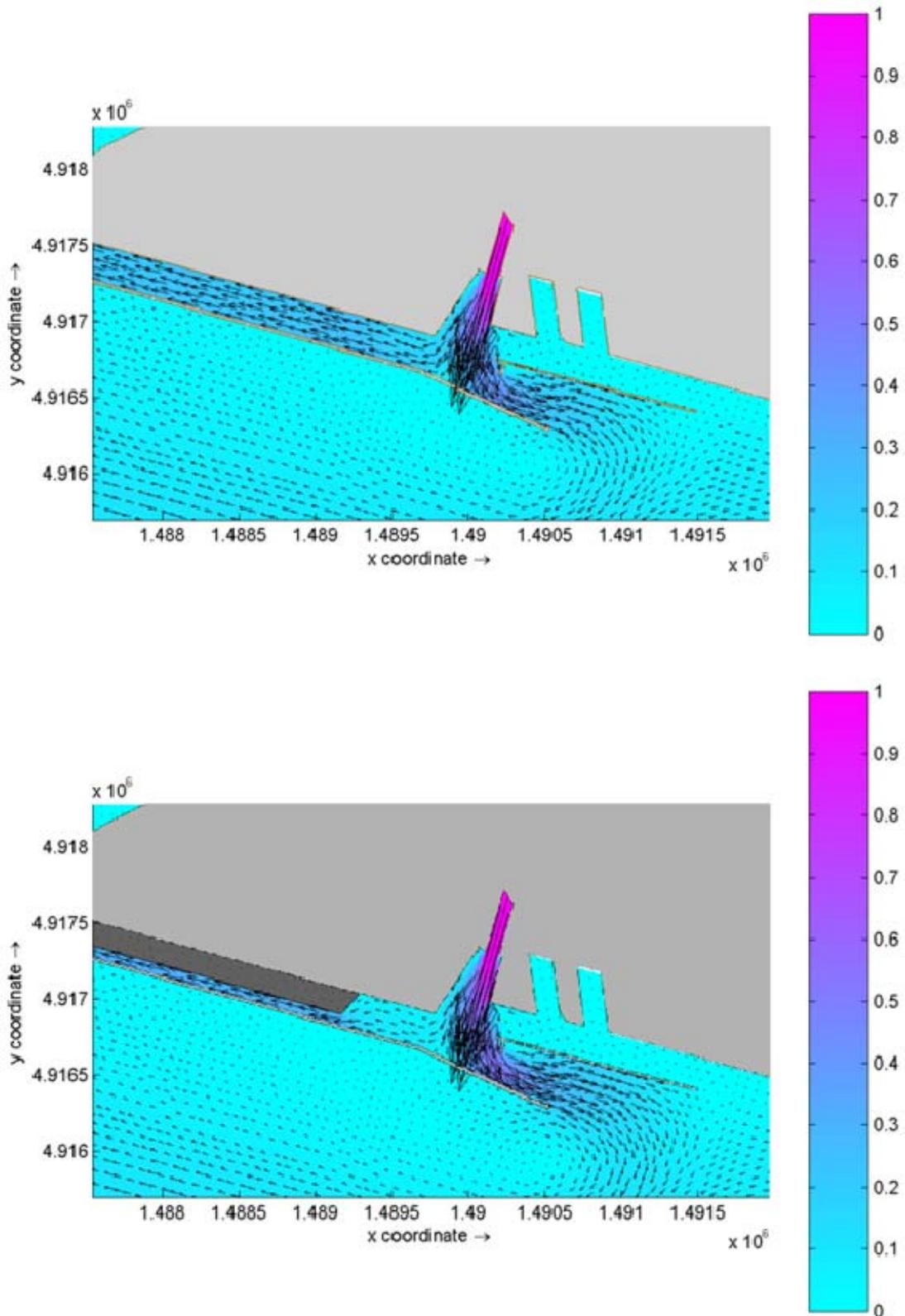


Figura 3.30 - Campo di moto generato da deflussi dal t. Polcevera e dai rii minori con un tempo di ritorno di 200 anni: situazione di riferimento (sopra) e scenario con gli interventi (sotto)

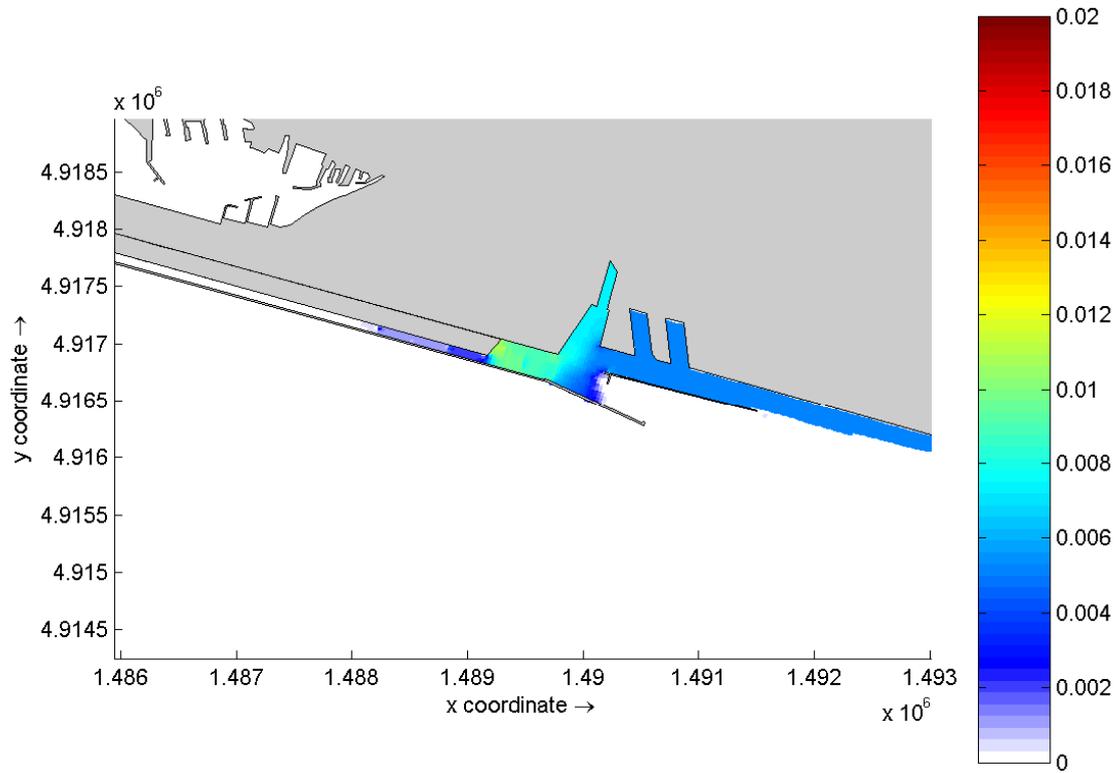


Figura 3.31 - Differenza di livelli idrometrici generato da deflussi dal t. Polcevera e dai rii minori con un tempo di ritorno di 200 anni tra lo scenario con gli interventi e la situazione di riferimento.

### 3.5 La salinità nel canale di calma

Uno dei parametri che ha maggiormente effetto sulla qualità delle acque in generale è la distribuzione della salinità.

Questo parametro, infatti, definisce in modo univoco la capacità di dispersione del sistema, essendo di fatto un tracciante conservativo, ed entra in modo rilevante nello sviluppo dei processi biologici e, nel caso, in quelli di stratificazione.

Si può quindi affermare che una distribuzione spazialmente variabile della salinità è un presupposto, sebbene non l'unico, per una distribuzione variegata delle biocenosi e che gli eventuali fenomeni di stratificazione possono influenzare la capacità dispersiva del sistema.

Per tale motivo si è ritenuto necessario fare una prima, anche se indicativa, valutazione della distribuzione della salinità nel canale di calma oggetto del presente studio.

In questo caso, volendo evidenziare la distribuzione della salinità media annua nella zona di interesse, si sono considerate le seguenti forzanti del sistema:

- a) Oscillazione mareale: marea media con ampiezza  $\pm 12$  cm e periodo 12 ore
- b) Correnti litoranee medie da est verso ovest ed intensità di 10 cm/s
- c) Portata media annua rilasciata dal torrente Polcevera: è stata valutata pari a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$
- d) Portata media annua del rio Roncallo, valutata mediamente su base annua in  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$
- e) Portata media annua del rio Secco valutata in  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$
- f) Salinità media del mare pari a 37 p.s.u.
- g) Salinità rilasciata dai corsi d'acqua naturali pari a 2 p.s.u.

La distribuzione della salinità è stata valutata partendo da una situazione a salinità uniforme e pari al valore attribuito all'acqua di mare (37 p.s.u.) e, quindi, applicando le condizioni al contorno sopra riportate fino ad arrivare ad una situazione di equilibrio.

Sotto queste forzanti e in queste condizioni sono stati simulati sia il comportamento delle situazione attuale che quello della situazione con interventi.

### 3.5.1 La distribuzione della salinità nello scenario di riferimento

Per lo scenario di riferimento, il risultato di tale elaborazione è riportato in Figura 3.32 dove si può notare, come peraltro era da aspettarsi, che la salinità minima è riportata in corrispondenza della foce del Polcevera, ma che, anche in considerazione delle esigue portate di acqua dolce, tende a salire rapidamente, arrivando a valori simili a quelli del mare, ancora all'interno dell'apparato di foce del fiume stesso.

La salinità media all'interno del canale di calma è stimabile tra i 35 e i 36 p.s.u., quindi caratteristica dell'acqua di mare, anche se leggermente ridotta per la presenza sia degli scarichi diretti che del ricircolo dell'acqua del Polcevera.

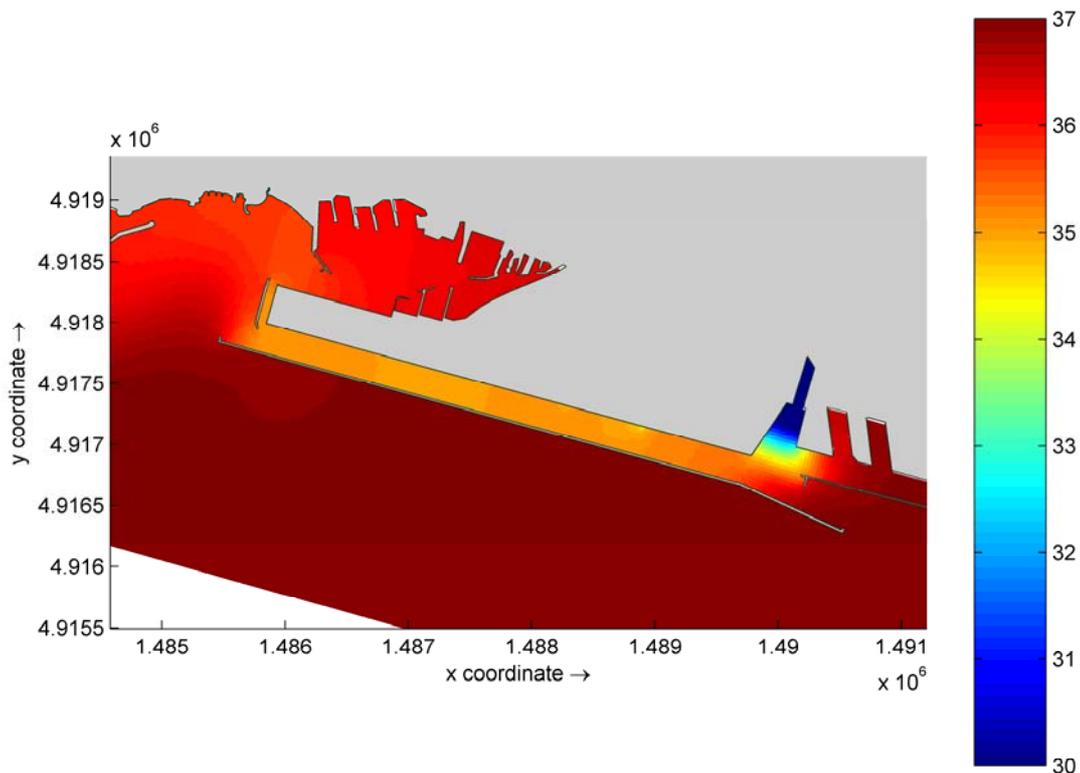


Figura 3.32 - Distribuzione della salinità media nello scenario di riferimento.

### 3.5.2 La distribuzione della salinità nella situazione di progetto

Il risultato di tale elaborazione è riportato in Figura 3.33 dove si può notare che, anche in questo caso, la salinità minima è riportata in corrispondenza della foce del Polcevera, ma che il ridotto flusso attraverso il canale di calma riduce anche gli scambi della zona Polcevera verso il bacino nord ovest del porto e, quindi, la salinità si mantiene su valori lievemente inferiori se confrontati con lo scenario di riferimento

La salinità media all'interno del canale di calma è stimabile tra i 35 e i 36 p.s.u., quindi caratteristica dell'acqua di mare, anche se leggermente ridotta per la presenza sia degli scarichi diretti che del ricircolo dell'acqua del Polcevera.

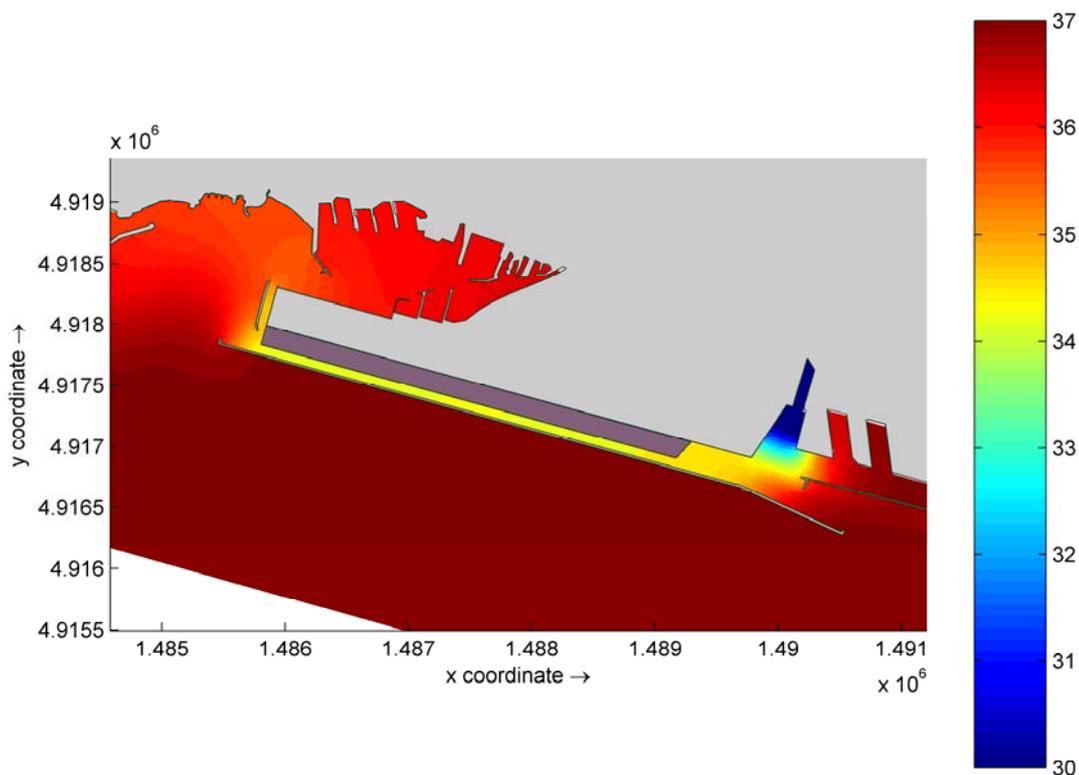
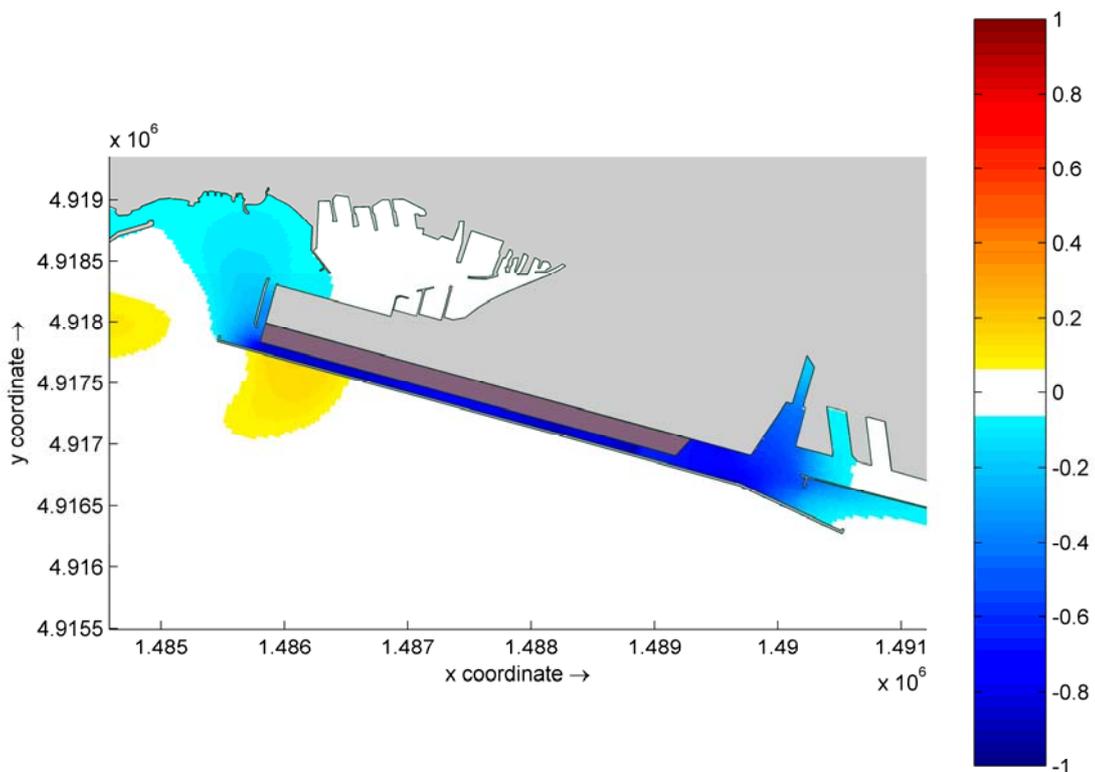


Figura 3.33 - Distribuzione della salinità media nella situazione di progetto

Il confronto tra situazione con interventi e situazione attuale è reso più agevole dalla Figura 3.34 dove è illustrata la differenza dei campi di salinità tra queste due configurazioni

Si può notare come il ridotto flusso attraverso il canale di calma in direzione ovest contribuisca ad un ridotto apporto di acqua più dolce del Polcevera verso il bacino nord che rimane leggermente più salato, mentre la zona di foce del Polcevera stesso rimane leggermente più dolce-

È da osservare comunque che le differenze sono molto contenute (valori massimi di 0.5 psu).



*Figura 3.34 - Differenza della salinità media tra la situazione di progetto e lo scenario di riferimento*

#### 4 CAPACITÀ DI RICAMBIO IDRICO NELLA ZONA DI PROGETTO

Il “tempo di ricambio” viene definito in letteratura come quello necessario affinché il flusso di marea, supposto composto da acqua “pulita”, riduca, in un punto, la concentrazione di una sostanza conservativa, inizialmente uniformemente distribuita nell’area (cioè con una concentrazione iniziale uguale in ogni punto della zona di studio), di un fattore pari al numero di Eulero “e” ( $\sim 2.718281\dots$ ).

In termini analitici, se si considera una sostanza con decadimento del primo ordine e in mancanza di fattori avvevivi, si può scrivere che la concentrazione di una sostanza conservativa decresce nel tempo con la legge:

$$C(t) = C_0 e^{-t/\tau}$$

Pertanto viene definito come tempo di ricambio, il tempo  $\tau$  che è necessario per far diminuire la concentrazione, in quel punto, dalla concentrazione  $C_0$  iniziale alla concentrazione:

$$\frac{C_0}{e} \cong 0.3679 \times C_0$$

Per utilizzare tale parametro è quindi necessario valutare il comportamento di un tracciante passivo presente nel sistema e che modifichi la sua concentrazione in funzione delle condizioni idrodinamiche e dispersive locali.

L’analisi, necessariamente parametrica, deve quindi iniziare da una situazione in cui la concentrazione del tracciante di riferimento è uniforme per l’area di studio è uniforme (Figura 4.1).

A partire da tale scenario, vengono attivate le forzanti caratteristiche del sito, dove gli afflussi (marea, scarichi, ecc.) sono imposti con concentrazione entrante pari a 0 per lo stesso tracciante, e si seguono quindi le variazioni di concentrazione all’interno dell’area di analisi.

L’andamento in decrescita delle concentrazioni risulta non uniforme da punto a punto e risente dell’apporto della marea e degli effetti delle altre forzanti esterne, mostrando oscillazioni più accentuate e decrescita più veloce nelle aree dove il ricambio è maggiore, oscillazioni minori e decrescita più lenta nelle aree a minore ricambio.

Al fine di evidenziare in modo diretto l’andamento del fenomeno, la concentrazione iniziale uniforme viene imposta pari a 1 unità/m<sup>3</sup>. è comunque da sottolineare che, essendo la

sostanza considerata di tipo conservativo, il tempo di ricambio è un parametro invariante rispetto alla concentrazione iniziale.

Per la zona del canale di calma, per cui è stata approntata questa analisi, sono stati identificati due diversi scenari di forzanti esterne: un primo scenario in cui come forzanti sono state assunte solo l'oscillazione di marea e le correnti litoranee, con gli stessi valori caratteristici utilizzati per le simulazioni riportate al paragrafo 3.1, ed un secondo dove sono stati considerati anche i flussi medi annui dei corsi d'acqua, con gli stessi valori adottati per la valutazione della distribuzione della salinità (par. 3.5).

I risultati relativi allo scenario di riferimento e a quella con interventi sono riportati nei successivi paragrafi.

#### 4.1 Il tempo di ricambio per lo scenario di riferimento

I risultati dell'analisi del tempo di ricambio, limitatamente alla zona oggetto di studio e per la configurazione attuale del sistema, sono riportati, espressi in ore, nella parte superiore della Figura 4.2 per quanto riguarda lo scenario con sola marea e correnti litoranee, mentre nella parte inferiore sono illustrati i risultati per lo scenario a cui sono stati aggiunti i deflussi medio annui del torrente Polcevera e dei rii Secco e Roncallo.

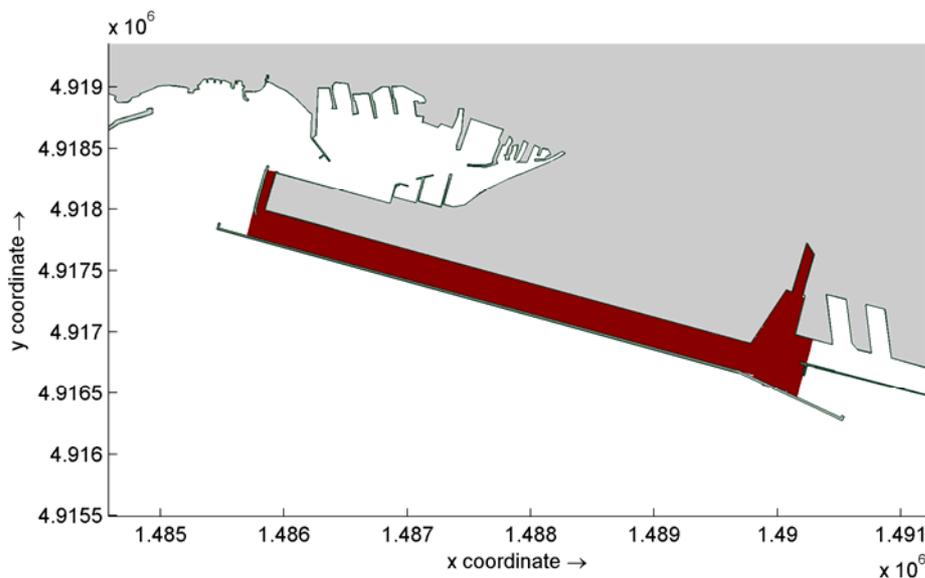


Figura 4.1 - Area di valutazione del tempo di ricambio per lo scenario di riferimento

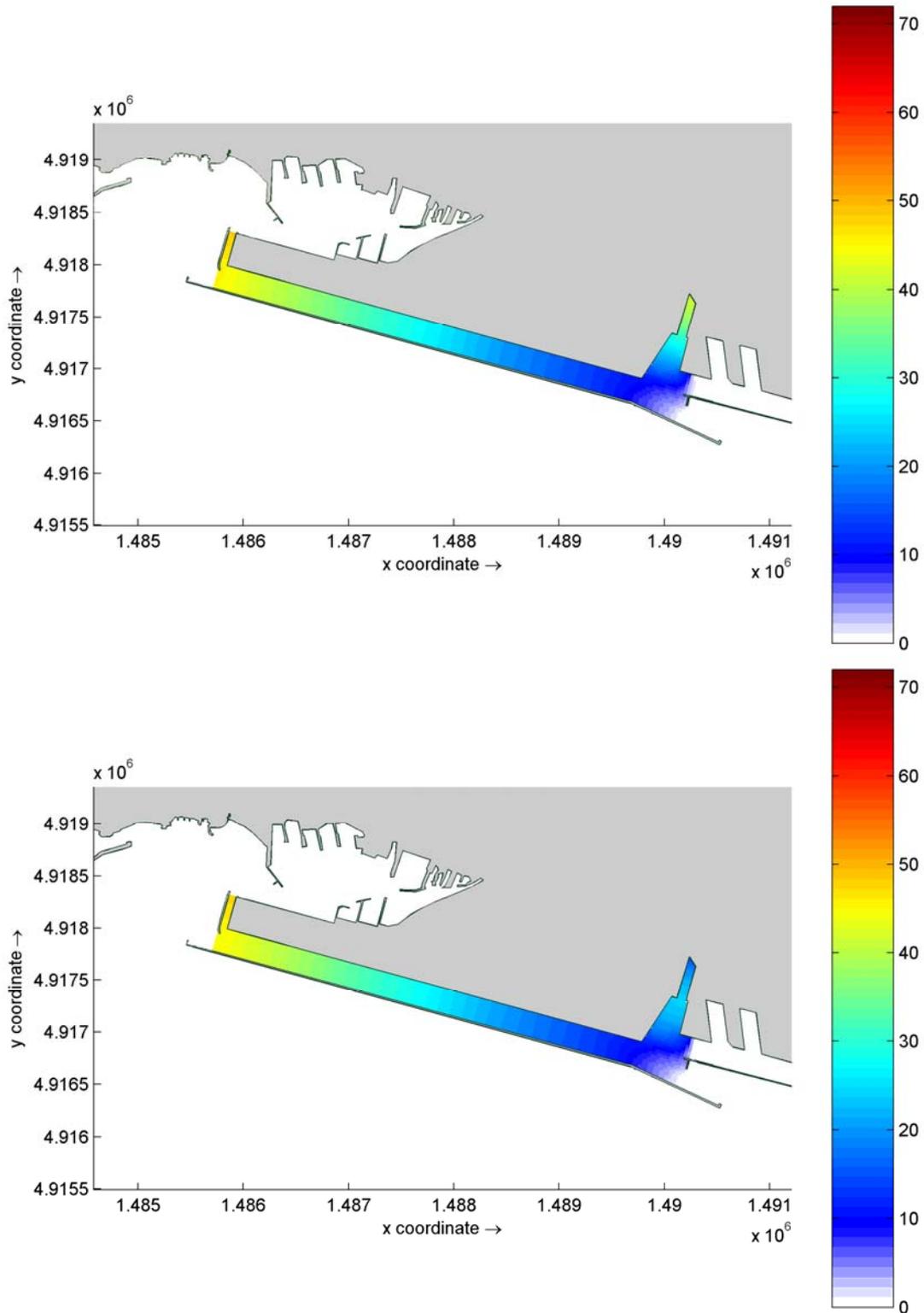


Figura 4.2 - Scenario con scenario di riferimento - Tempo di ricambio, in ore, nel canale di calma quando sottoposto a marea media, a correnti litoranee (sopra) oltre ai deflussi medi annui dei principali corsi d'acqua (sotto)

In accordo con i risultati evidenziati per le diverse condizioni idrodinamiche, e ricordando che il flusso del canale di calma procede usualmente da est verso ovest in condizioni di calma di vento, si può notare che i maggiori tempi di ricambio sono presenti, nello scenario di riferimento, all'estremità di ponente del canale stesso.

Questo è dovuto principalmente al fatto che, non essendo presente un flusso trasversale ma solo longitudinale determinato dalla presenza della diga foranea da una parte e del rilevato aeroportuale dall'altra, prima che il corpo idrico nella zona a ovest sia in grado di ridurre in modo significativo le concentrazioni di riferimento, tutto il resto del canale deve aver avuto la possibilità di sostituire una parte ragguardevole dell'acqua che lo costituisce con l'acqua del mare (assunta a concentrazione 0).

Questo fenomeno, considerati i flussi ridotti e, quindi, con componente avvertiva limitata richiede un tempo rilevante stimabile tra le 45 e le 50 ore.

Naturalmente molto più rapido è il ricambio nella zona orientale del canale dove l'afflusso di acqua direttamente dal mare riduce velocemente le concentrazioni in tali aree, con tempi di ricambio stimabili in circa 10 ore.

Sempre nello scenario senza afflussi dai fiumi, un punto a ridotto ricambio è la zona della foce del Polcevera dove, in mancanza di apporti dal corso d'acqua, si evidenzia un'area di accumulo con ricambi stimabili in circa 35 ore.

Nello scenario con gli afflussi medi annui dai corsi d'acqua principale, la situazione non si modifica in modo significativo, perché, in ogni caso, gli afflussi considerati sono molto limitati. Si nota comunque un leggero decremento dei tempi di ricambio che permangono a livelli assolutamente analoghi a quelli del caso precedente.

Ovviamente, almeno ad una valutazione visiva, si nota un decremento più marcato nella zona della foce dei Polcevera dove l'apporto di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  contribuisce a velocizzare il ricambio di quell'area.

#### **4.2 Il tempo di ricambio per la configurazione con interventi**

Per quanto riguarda lo scenario con interventi, si riportano i principali risultati nella parte superiore della Figura 4.4 per quanto riguarda lo scenario con sola marea e correnti litoranee, e nella parte inferiore per lo scenario a cui sono stati aggiunti i deflussi medio annui del torrente Polcevera e dei rii Secco e Roncallo.

Confrontando queste due figure con le precedenti omologhe per lo scenario dello scenario di riferimento si nota che, per entrambi i casi, i tempi di ricambio tendono ad aumentare nel canale di calma.

Risulta evidente, ad esempio, che in corrispondenza della banchina ILVA dove, nello scenario di riferimento, i tempi di ricambio sono stimabili in circa 10 ore, per la situazione con il canale di calma ristretto lo stesso parametro aumenta tra le 20 e 30 ore

All'estremità ovest del canale di calma, dove per lo scenario di riferimento si è stimato un tempo di ricambio di circa 48 ore, per la situazione con gli interventi, sia con apporti dei corsi d'acqua che senza, ci si attesta su circa 35 ore con una riduzione stimata del 27% circa.

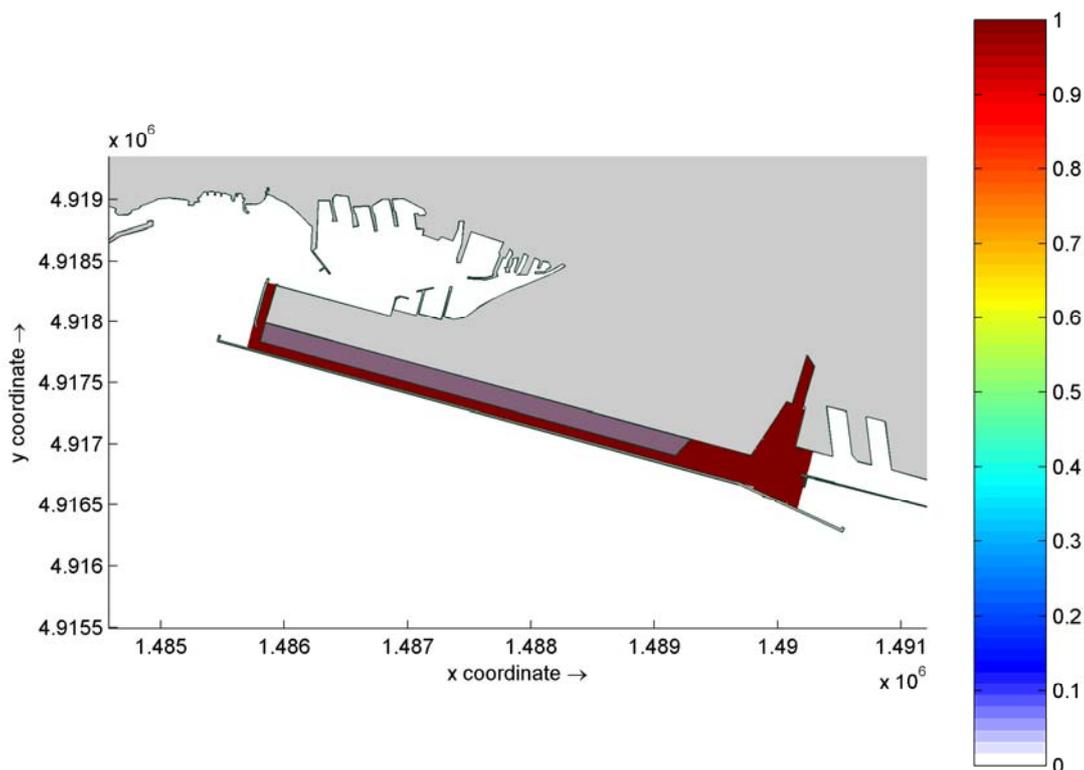


Figura 4.3 - Area di valutazione del tempo di ricambio per la situazione con interventi

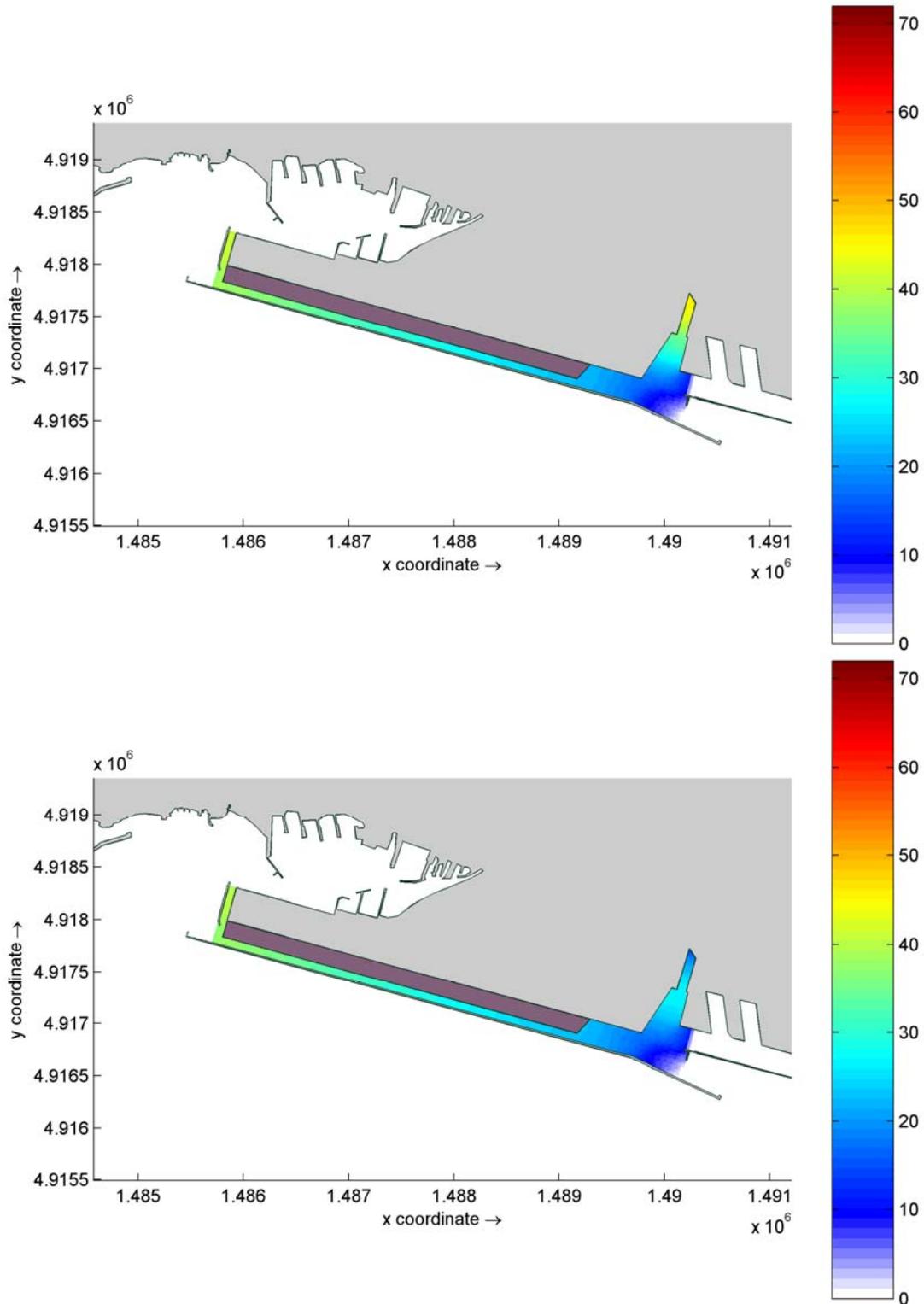


Figura 4.4 - Scenario con interventi - Tempo di ricambio, in ore, nel canale di calma quando sottoposto a marea media, a correnti litoranee (sopra) oltre ai deflussi medi annui dei principali corsi d'acqua (sotto).

La presenza degli afflussi medi annui dai corsi d'acqua principali, non modifica in modo significativo la distribuzione dei tempi di ricambio, anche se si nota un leggero decremento dei tempi di ricambio che permangono, comunque, agli stessi livelli del caso precedente.

L'unico effetto significativo è la riduzione del tempo di ricambio nelle immediate vicinanze della foce del Polcevera, anche se già nella zona di immissione dei suoi deflussi verso la bocca di porto i tempi di ricambio si ristabiliscono su valori prossimi a quelli dello scenario senza afflussi.

## 5 TRASPORTO SOLIDO NELLA ZONA DI PROGETTO

Il canale di calma, come evidenziato nei paragrafi precedenti, è, nello scenario di riferimento, un bacino a bassa energia nel quale defluiscono alcuni corsi d'acqua, di cui uno in particolare, il Torrente Polcevera, con apporti anche rilevanti.

In queste condizioni è importante studiare come il trasporto solido dovuto alla presenza di questi corsi d'acqua possa interagire con il canale di calma sia per la configurazione attuale, sia per la configurazione con gli interventi previsti già realizzati.

Usualmente, per uno studio di questo tipo, sarebbe necessario identificare le caratteristiche del trasporto solido dei corsi d'acqua interessati (Torrente Polcevera, rio Secco e rio Roncallo) in termini di granulometria e quantità, e verificare quindi come questo influenzi la distribuzione ed il trasporto dei sedimenti in sospensione e sul fondale nel canale.

Poiché i dati disponibili sul trasporto solido di questi tre torrenti non sono sufficientemente dettagliati per procedere ad un'analisi come sopra ricordato, è stato necessario procedere alla valutazione della potenziale distribuzione dei sedimenti per via indiretta, basandosi sulle seguenti considerazioni:

- Il canale di calma, come dimostrato anche con le analisi idrodinamiche, dispersive e del ricambio, può essere assimilato ad un bacino di sedimentazione in cui le onde non possono agire e le correnti, sia mareali che litoranee, hanno effetti estremamente modesti.
- I può pertanto ritenere che, anche in base all'analisi dei dati relativi ai sedimenti di fondo, che l'eventuale materiale grossolano (sabbia grossa, ghiaia o materiale di granulometria ancora maggiore) potenzialmente recapitato al canale di calma dai corsi d'acqua, sedimenterebbe immediatamente a valle dei relativi sbocchi, senza interferire con i sedimenti del canale in senso generale
- Si può quindi assumere che i soli sedimenti in grado di determinare un trasporto solido nel canale di calma possa essere costituito da sabbie medio fini o da sedimenti fini come limi e argille
- Al fine di studiare il potenziale fato di questi sedimenti, è stato messo a punto un modello di trasporto solido che, utilizzando i risultati del modello idrodinamico sopra descritto, consenta di verificare la capacità di trasporto in sospensione e la loro probabilità di sedimentare nel canale di calma ed aree limitrofe.

Poiché questa analisi non può che essere condotta su basi parametriche, sono stati definiti tre diversi sedimenti codificati come IM1, IM2 e IM3, le cui caratteristiche, in termini sedimentologici, sono riportate in Tabella 5.1.

In particolare si è concentrato lo studio su sedimenti fini definendo le caratteristiche per un'argilla media (IM1), un limo grossolano (IM2) ed una sabbia fine (IM3).

Per ognuno di essi sono stati stimati, sulla base di dati di letteratura<sup>2</sup> i valori di velocità di sedimentazione (espressa in m/giorno) e di tensione critica di sedimentazione e di risospensione (Pascal) che, inseriti nel modulo morfologico del modello utilizzato, consentissero di valutare, per ognuno di essi, la distribuzione delle concentrazioni nel tempo e la densità di sedimentazione sul fondo

Tabella 5.1 - Caratteristiche dei sedimenti utilizzati per le analisi parametriche di trasporto solido

Codice Sedimenti	Velocità di sedimentazione (m/giorno)	$\tau_{\text{critico}}$ di sedimentazione (pascal)	$\tau_{\text{critico}}$ di risospensione (Pascal)
IM1	5.0	0.02	0.20
IM2	20.0	0.02	0.20
IM3	500.0	0.03	0.32

Su tali basi è stato definito uno scenario in grado di rappresentare i processi sopra ricordati e valutare, in modo parametrico, il comportamento del sistema.

Lo scenario si basa sui seguenti parametri:

- Durata della simulazione: 40 giorni
- Immissione costante, per i primi 7 giorni, di una concentrazione, per ogni tipologia di sedimento, pari a  $100 \text{ g/m}^3$ , con un campo idrodinamico corrispondente al deflusso massimo annuale dei corsi d'acqua considerati.

<sup>2</sup> U.S. Army Corps of Engineers - Coastal Engineering Research Center \_ EM 1110-2-1100 (Part III) 30 Apr. 02

- Transizione dal settimo al nono giorno, con progressiva riduzione dell'immissione di solidi sospesi fino al loro annullamento e riduzione dei flussi idrici dei corsi d'acqua fino ai valori corrispondenti al deflusso medio annuo
- Ultimazione della simulazione con queste caratteristiche al fine di consentire una completa sedimentazione dei solidi immessi in sospensione.

Utilizzando queste impostazioni sono state eseguite le simulazioni per lo scenario dello scenario di riferimento e di quella con gli interventi previsti ed i risultati sono illustrati nei paragrafi successivi.

### **5.1 Il trasporto solido nella configurazione attuale.**

Nella seguenti Figura 5.1, Figura 5.2 e Figura 5.3 sono illustrati, per le tre frazioni di sedimenti considerate, i campi di concentrazione dei solidi sospesi alla fine del periodo di rilascio e, quindi, nel momento di massima concentrazione.

Per quanto riguarda la frazione IM1, si nota che le concentrazioni in sospensioni sono elevate in corrispondenza alla foce del Polcevera con valori compresi tra 70 e 100 g/m<sup>3</sup>, ma che anche nel canale di calma si sviluppa un pennacchio torbido abbastanza intenso, con valori di concentrazioni di solidi sospesi prossimi ai 60 g/m<sup>3</sup>.

Nel bacino occidentale del porto, inoltre, è evidente un pennacchio che si sviluppa in senso antiorario e che va a lambire la costa in prossimità di Pegli. Tale fenomeno è probabilmente da imputare sia alla geometria della diga foranea, sia all'andamento delle correnti che si incuneano nello specchio acqueo libero all'estremità occidentale della diga.

La situazione che si presenta per la frazione IM2, nello scenario di concentrazione massima in sospensione, è del tutto simile a quella della frazione IM1, anche se con concentrazioni meno elevate, almeno al di fuori dell'area di foce del torrente Polcevera.

In questo caso le concentrazioni massime nel canale di calma raggiungono i 50 g/m<sup>3</sup>, mentre il pennacchio di torbida nello specchio acqueo a ovest del canale stesso, pur presentandosi con forma analoga, si mostra in questo caso meno sviluppato e con concentrazioni minori.

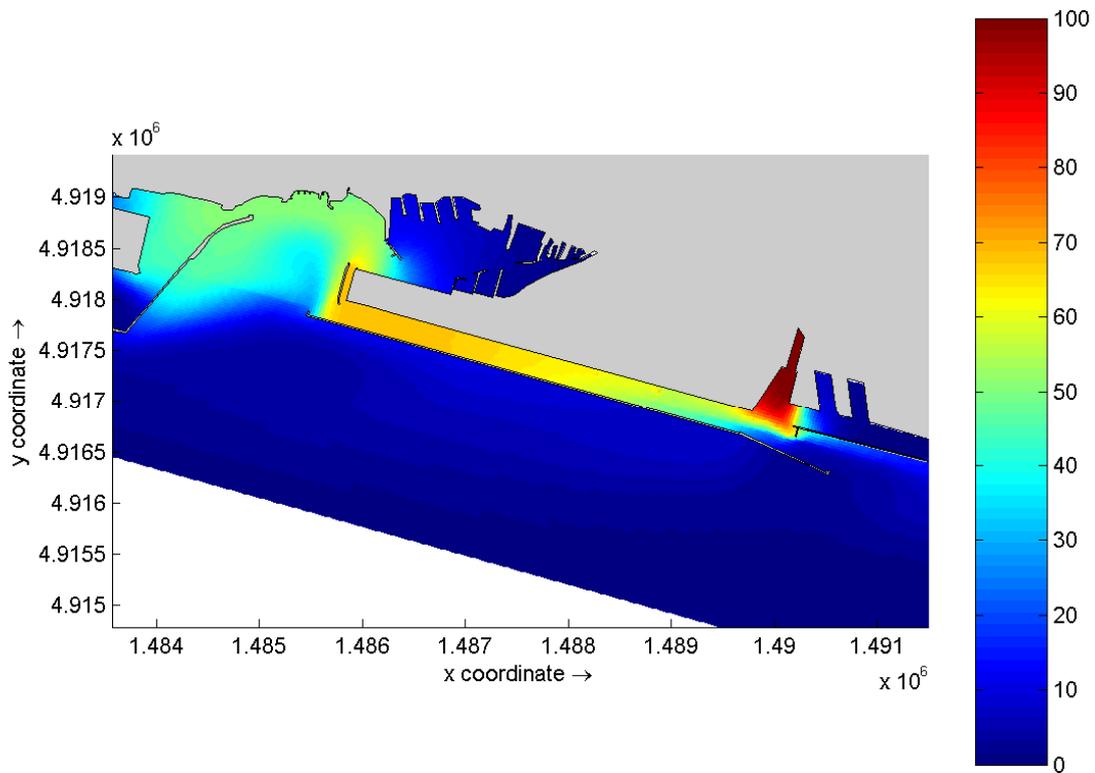


Figura 5.1 - Scenario di riferimento – Materiale IM1 – Concentrazione ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) di solidi sospesi alla fine del rilascio

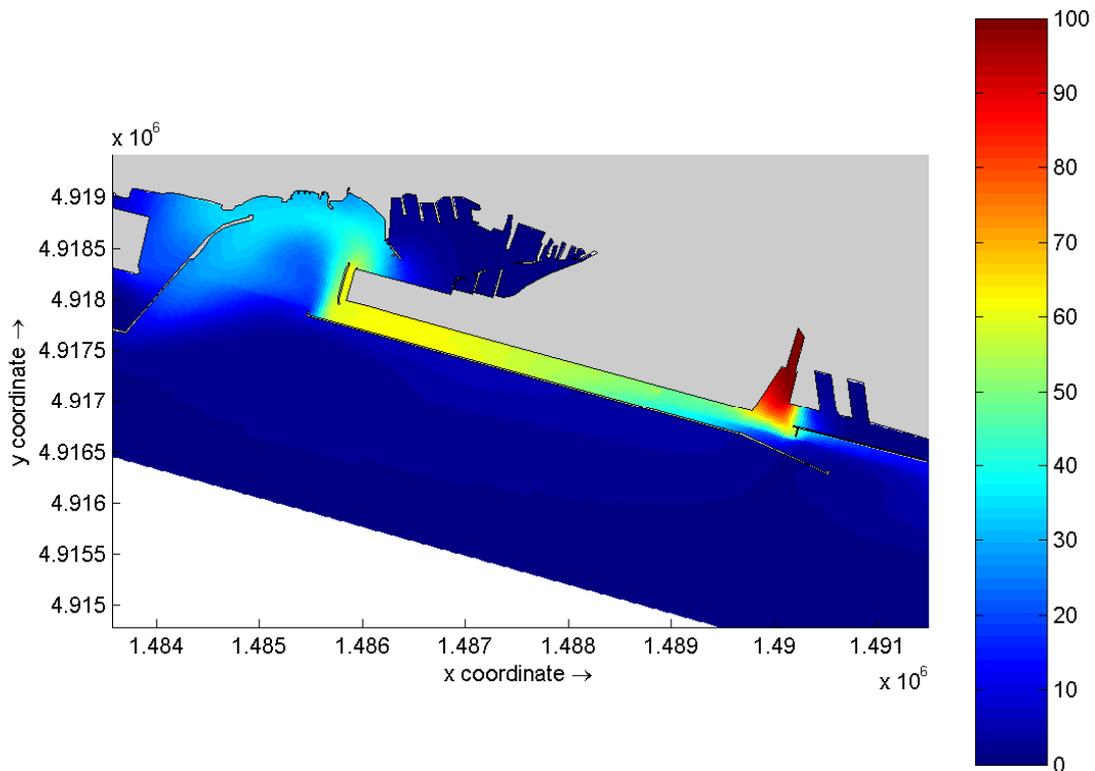


Figura 5.2 - Scenario di riferimento – Materiale IM2 – Concentrazione ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) di solidi sospesi alla fine del rilascio

Questi effetti si spiegano con la diversità di velocità di sedimentazione caratteristica associata a questa seconda frazione che consente di ridurre, a parità di condizione idrodinamiche, la quantità di materiale in sospensione.

Il fenomeno risulta ancora più evidente per la frazione IM3 che, grazie ad una velocità di sedimentazione molto più elevata rispetto alle precedenti, consente al materiale di sedimentare prima di formare il pennacchio e, quindi, di indurre concentrazioni di sedimenti in sospensione molto più contenute rispetto alle altre due frazioni.

Come si può notare nella Figura 5.3, infatti, sono visibili concentrazioni di solidi in sospensione significative, seppur contenute, solo nella parte orientale del canale di calma e comunque con valori inferiori ai  $20 \text{ g}/\text{m}^3$ , mentre è del tutto non rilevabile la concentrazione in

sospensione della frazione IM3 sia nella parte occidentale del canale di calma, che nel bacino ad ovest.

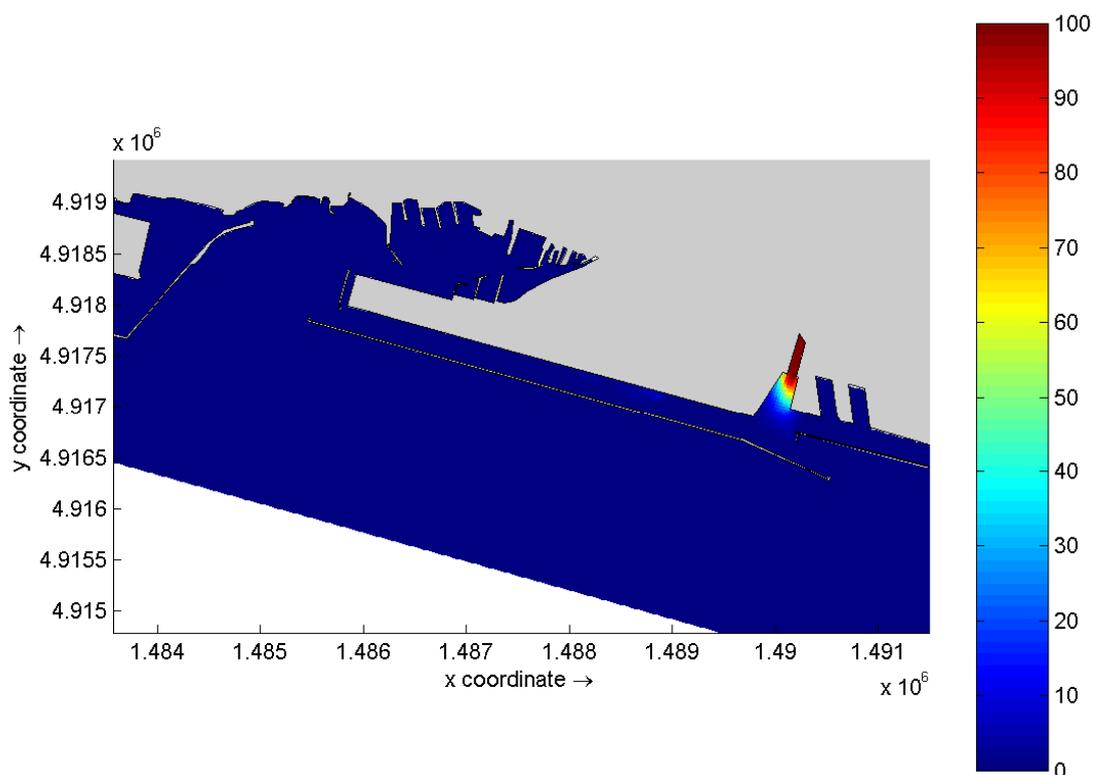


Figura 5.3 - Scenario di riferimento – Materiale IM3 – Concentrazione ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) di solidi sospesi alla fine del rilascio

Al fine di valutare l'effetto finale dei fenomeni di trasporto di materiale solido in sospensione, è stata valutata, per ogni frazione considerata, la densità di sedimentazione, espressa in  $\text{g}/\text{m}^2$ , del sedimento considerato, una volta che, interrotto l'apporto di sedimenti, venga lasciato sedimentare completamente.

In Figura 5.4 viene riportata la densità di materiale sedimentato per la frazione IM1. Come si può notare, proprio grazie al grande trasporto che si è verificato, il materiale sedimentato si concentra, in quantità significative, solo in corrispondenza della foce del Polcevera, nel canale portuale ad est della stessa, nella parte ovest del canale di calma e nei due grandi bacini ad occidente del canale stesso.

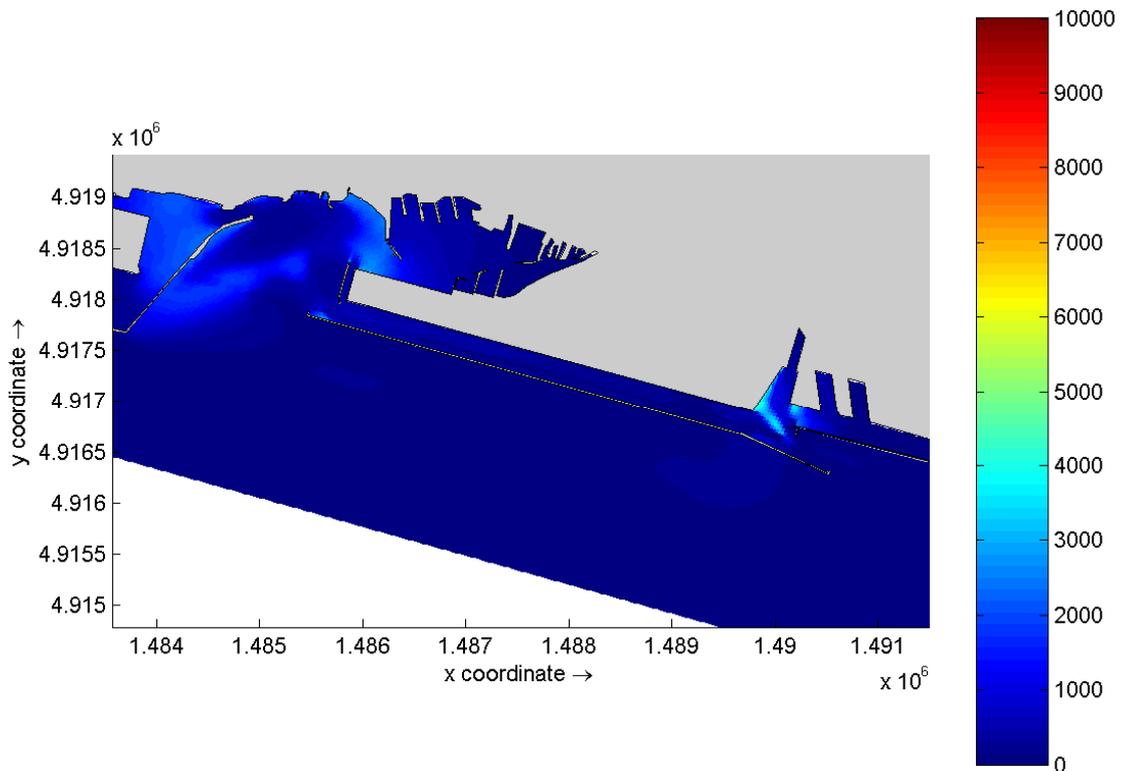


Figura 5.4 - Scenario di riferimento – Materiale IM1 – Densità di sedimentazione ( $g/m^2$ ) di solidi in sospensione alla fine del processo

Le densità di materiale sono comunque relativamente contenute, con valori significativi inferiori a  $4000 g/m^2$ .

La situazione determinata dalla frazione IM2, illustrata dalla Figura 5.5, presenta densità di sedimentazione più elevate oltre che nella foce del Polcevera e nel canale ad est dove si raggiungono densità di circa  $8000 g/m^2$ , anche all'estremità occidentale del canale di calma, dove i valori si attestano a circa  $6000 g/m^2$ .

Un altro punto di concentrazione della sedimentazione si nota a nord del terrapieno dell'aeroporto, dove si raggiungono valori prossimi ai  $5000 g/m^2$ .

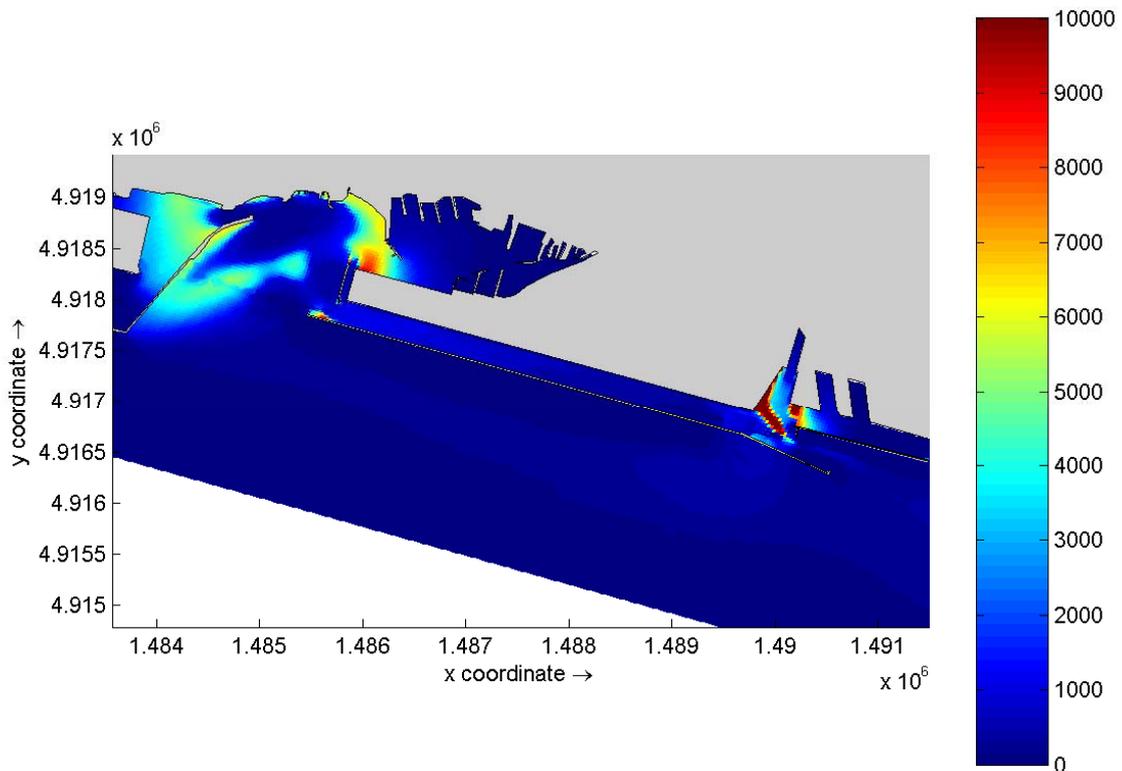


Figura 5.5 - Scenario di riferimento – Materiale IM2 – Densità di sedimentazione (g/m<sup>2</sup>) di solidi in sospensione alla fine del processo

La situazione della sedimentazione determinata dalla frazione IM3 e riportata in Figura 5.6 è, invece, completamente diversa.

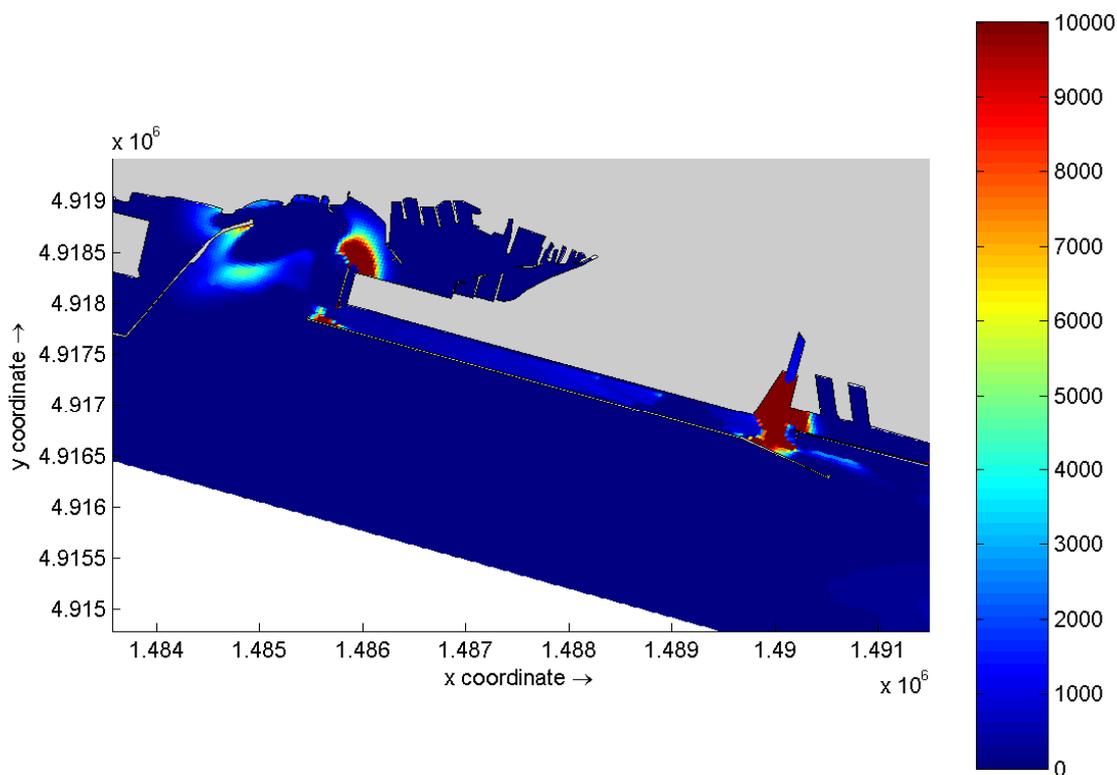


Figura 5.6 - Scenario di riferimento – Materiale IM3 – Densità di sedimentazione ( $\text{g/m}^2$ ) di solidi in sospensione alla fine del processo

In questo caso, infatti, si hanno ampie aree attorno alla foce del Polcevera con valori di densità di sedimentazione molto elevati, superiori ai 10 000 g/m<sup>2</sup>, ma che raggiungono anche valori massimi di 25.000 g/m<sup>2</sup>.

In quest'ultimo scenario risulta interessante notare come l'aumento locale delle velocità, per quanto minime, indotte dagli scarichi dei rii Secco e Roncallo limitino la sedimentazione in prossimità degli scarichi stessi, consentendo in quell'area una sedimentazione solo in prossimità della diga foranea, dalla parte opposta del canale rispetto agli scarichi stessi.

## 5.2 Il trasporto solido nella configurazione di progetto

Nelle seguenti Figura 5.7, Figura 5.8 e Figura 5.9 sono illustrati i campi di concentrazione dei solidi in sospensione, in  $\text{g}/\text{m}^3$ , per le tre frazioni di sedimenti considerati, alla fine del periodo di rilascio e, quindi, nel momento di massima concentrazione.

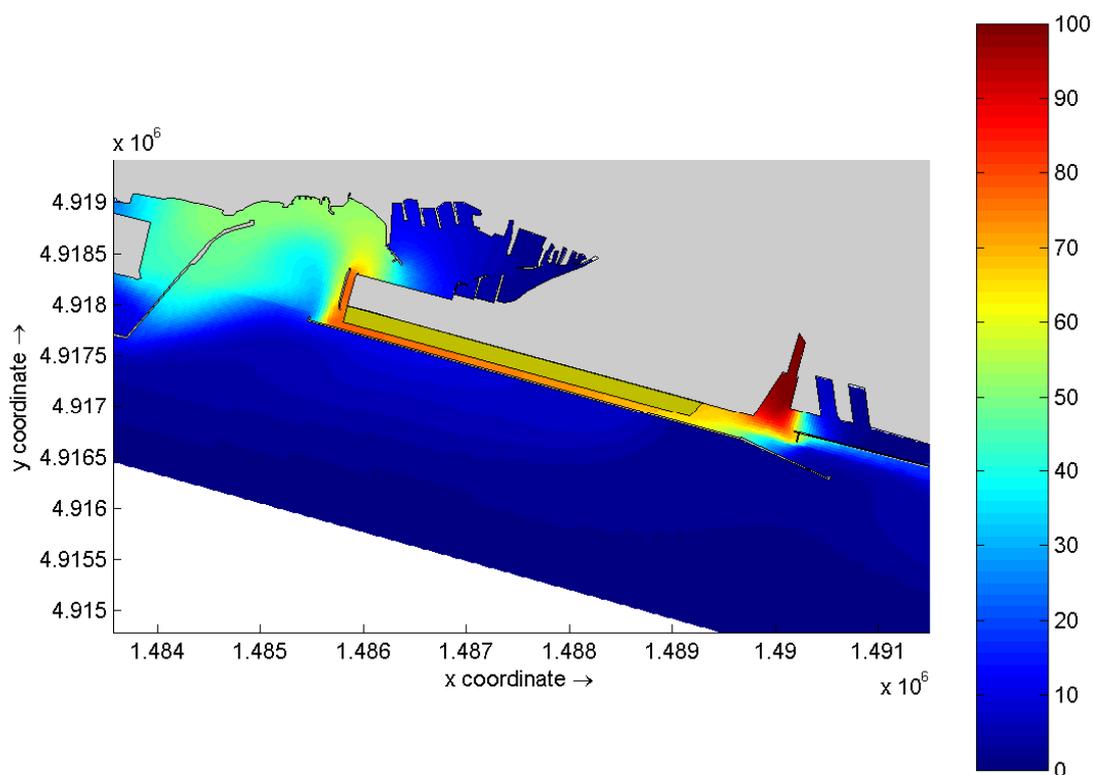


Figura 5.7 - Situazione con interventi – Materiale IM1 – Concentrazione di solidi sospesi alla fine del rilascio

Per quanto riguarda la frazione IM1 (Figura 5.7), si nota che le concentrazioni in sospensioni sono elevate in corrispondenza alla foce del Polcevera con valori compresi tra 80 e  $100 \text{ g}/\text{m}^3$ .

Nel canale di calma si sviluppa un pennacchio torbido abbastanza intenso, con concentrazioni superiori a quelle dello scenario di riferimento, con valori di solidi sospesi compresi tra i 65 e  $75 \text{ g}/\text{m}^3$ .

Questo determina, sempre rispetto allo scenario di riferimento, un incremento della concentrazione dei solidi in sospensione anche nel canale di calma e nel canale di testata ovest dell'aeroporto, dove le concentrazioni, nello scenario con gli interventi, si attestano verso i  $70 \text{ g/m}^3$ .

Anche in questo caso, nel bacino occidentale del porto è evidente un pennacchio che si sviluppa in senso antiorario e che va a lambire la costa in prossimità di Pegli.

La situazione che si presenta per la frazione IM2 nello scenario di concentrazione massima in sospensione (Figura 5.8) è del tutto simile a quella della frazione IM1, anche se con concentrazioni meno elevate al di fuori dell'area di foce del torrente Polcevera.

Anche in questo caso, però, la distribuzione delle concentrazioni nello scenario con gli interventi presenta, nel canale di calma ed in quello della testata nord dell'aeroporto, un aumento sensibile di valori di solidi sospesi rispetto allo scenario di riferimento.

Questo fenomeno viene confermato anche per la frazione IM3 (Figura 5.9) per la quale, nella situazione con gli interventi dimostra un aumento sensibile di concentrazione nel canale di calma, tanto da renderlo visibile anche ad una semplice analisi visuale.

Analogamente a quanto già fatto per lo scenario di riferimento, anche per la situazione con interventi è stata valutata, per ogni frazione considerata, la densità di sedimentazione, espressa in  $\text{g/m}^2$ , una volta che, interrotto l'apporto di sedimenti, si sia lasciato sedimentare tutto il materiale ancora in sospensione.

I risultati ottenuti, invece di esprimerli in termini di valore assoluto di densità di sedimentazione, vengono riportati come differenza di densità di sedimentazione rispetto allo scenario di riferimento.

In questo modo risulta più agevole apprezzare gli effetti indotti dagli interventi.

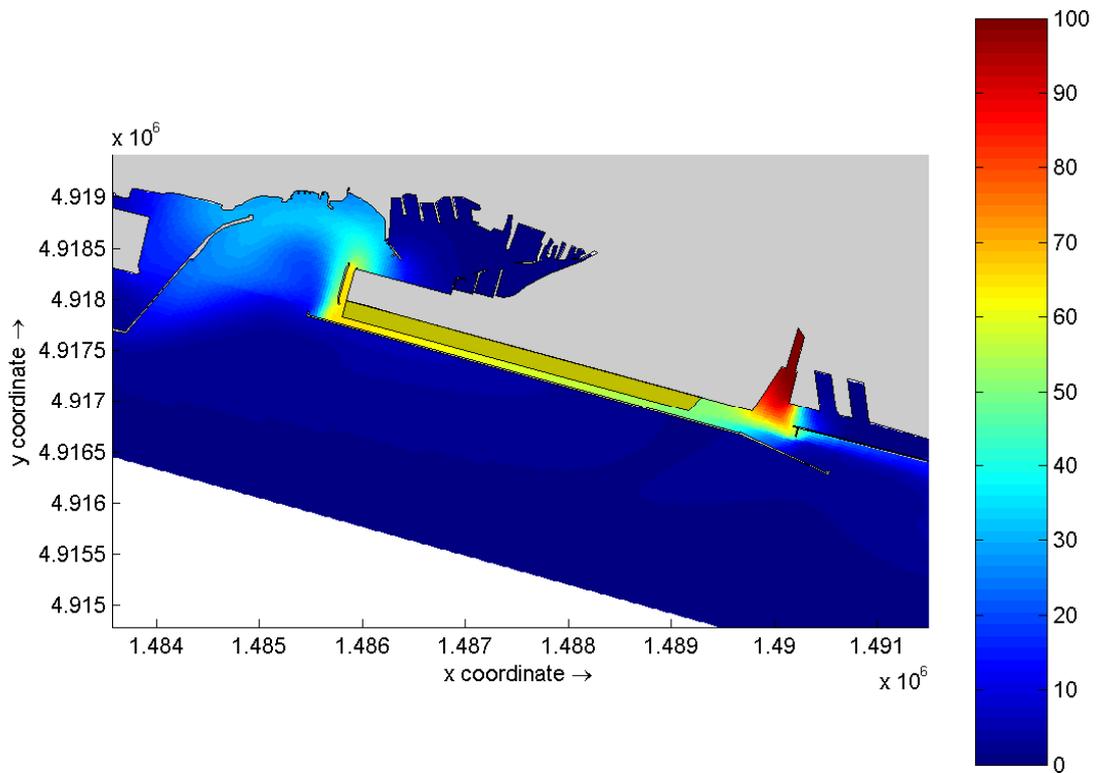


Figura 5.8 - Situazione con interventi – Materiale IM2 – Concentrazione di solidi sospesi alla fine del rilascio

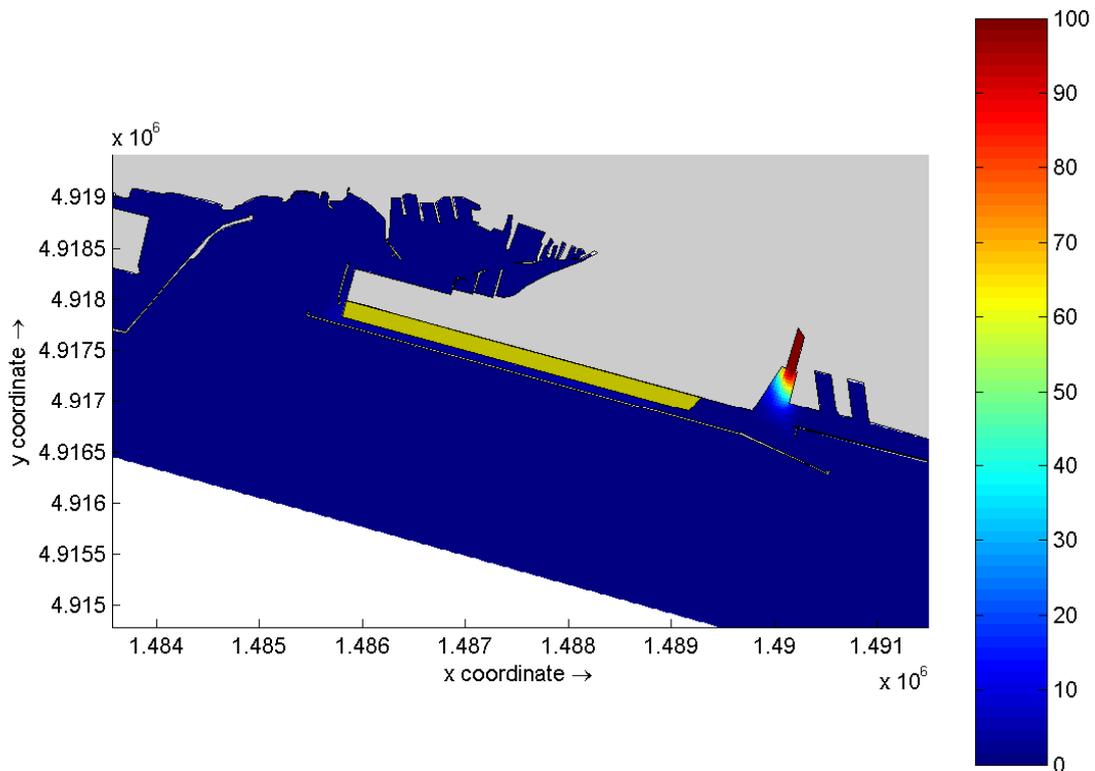


Figura 5.9 - Situazione con interventi – Materiale IM3 – Concentrazione di solidi sospesi alla fine del rilascio

In Figura 5.10 viene riportata la differenza della densità di sedimentazione tra la situazione con interventi e lo scenario di riferimento dovuta alla frazione IM1.

Come si può notare, nonostante il grande trasporto che si è determinato, l'incremento di sedimentazione rispetto allo scenario di riferimento si determina in corrispondenza della foce del Polcevera, ma in modo più sensibile in corrispondenza della banchina ILVA e alla testata est del nuovo deposito e, in quantità minori, alle estremità del canale in corrispondenza alla testata ovest dell'aeroporto.

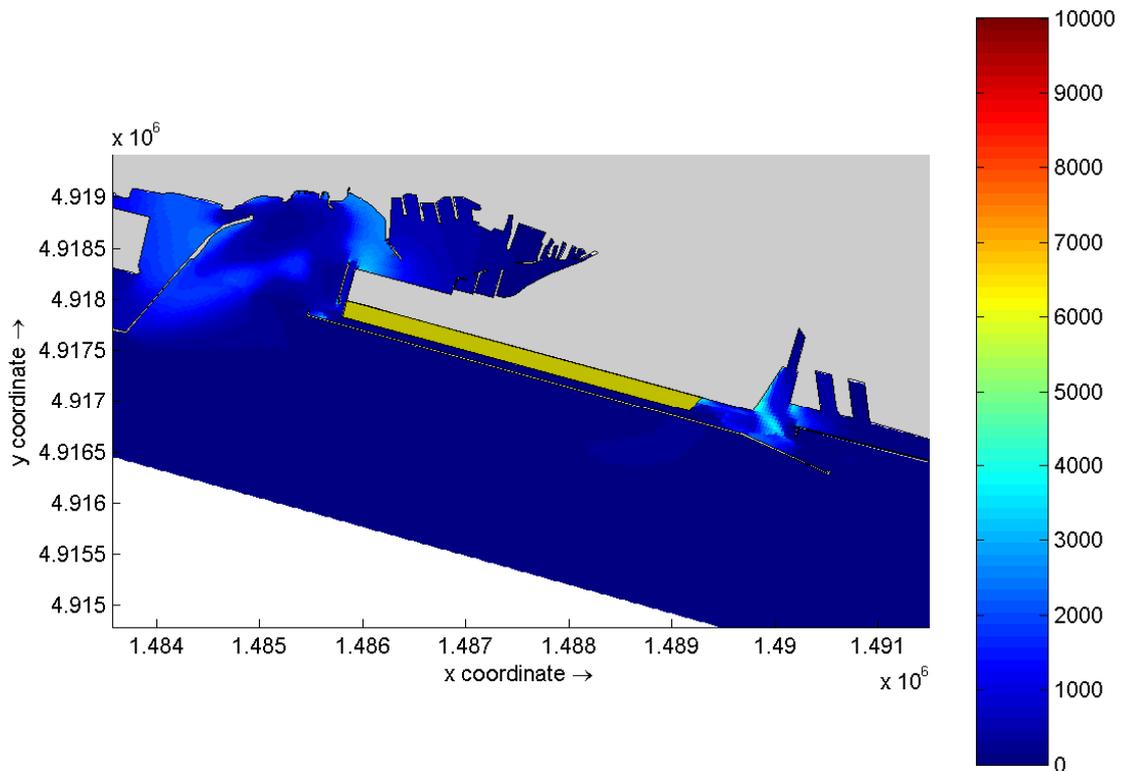


Figura 5.10 - Materiale IM1 – Densità di sedimentazione ( $\text{g/m}^2$ ) di solidi in sospensione alla fine del processo

Gli incrementi massimi della densità di sedimentazione per la frazione IM1 sono stimabili in circa  $3500 \text{ g/m}^2$ .

La situazione che si determina per la frazione IM2, illustrata dalla Figura 5.11 presenta, come peraltro era da aspettarsi, una differenza di densità di sedimentazione rispetto allo scenario di riferimento del tutto analoga a quella valutata per la frazione IM1, con aumento di sedimentazione alla foce del Polcevera, di fronte alla banchina ILVA (valori massimi) e in corrispondenza del canale della testata ovest dell'aeroporto.

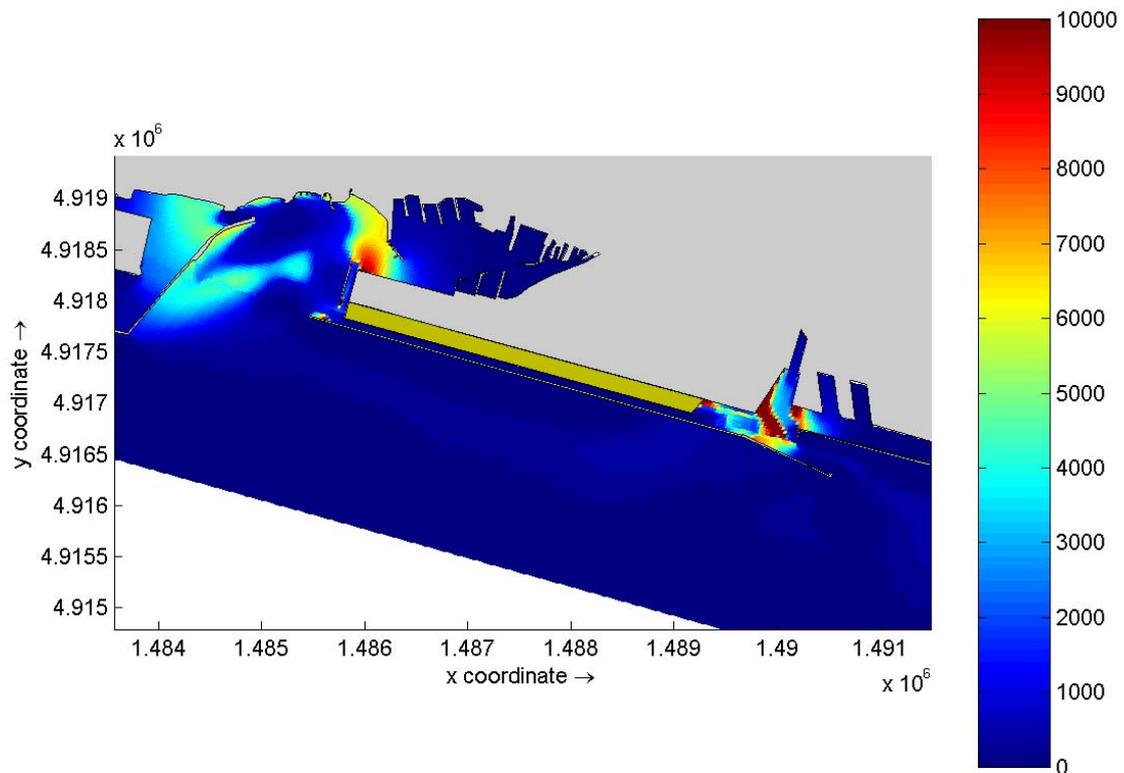


Figura 5.11 - Materiale IM2 – Densità di sedimentazione ( $g/m^2$ ) di solidi in sospensione alla fine del processo

La situazione della densità di sedimentazione determinata dalla frazione IM3 e riportata in Figura 5.12 è, invece, completamente diversa.

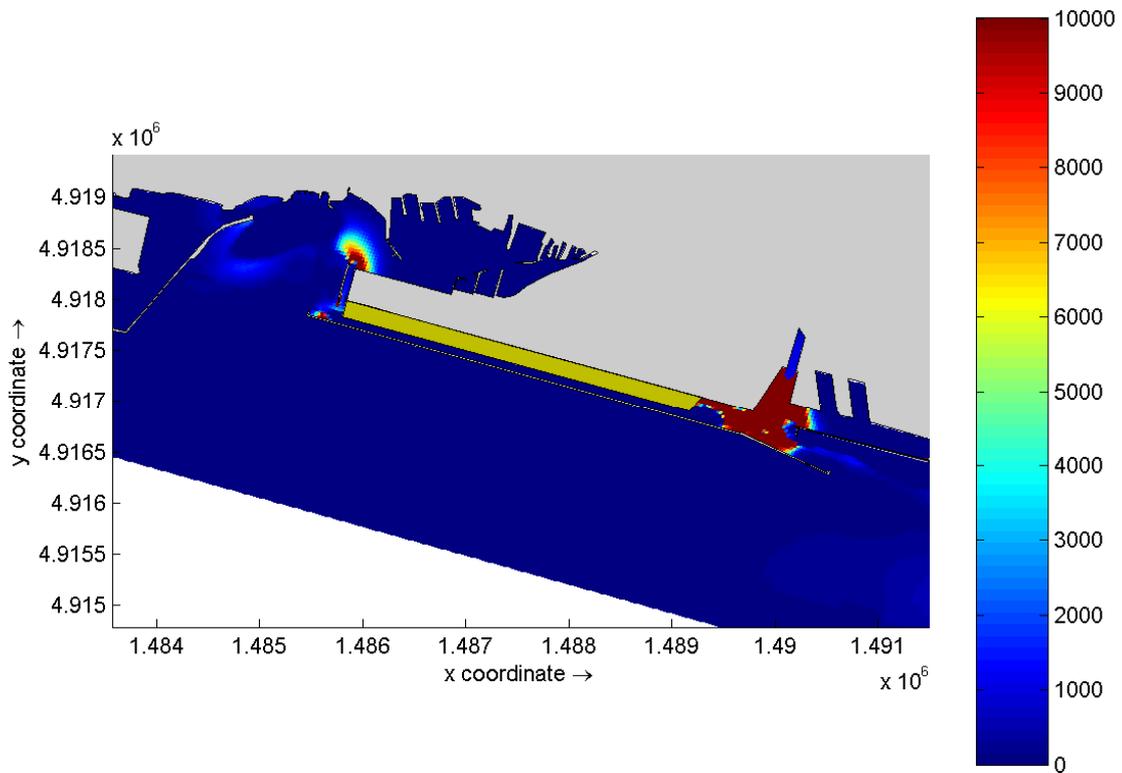


Figura 5.12 - Materiale IM3 – Densità di sedimentazione (g/m<sup>2</sup>) di solidi in sospensione alla fine del processo

In questo caso, infatti, si notano ampie zone di aumento consistente della sedimentazione in corrispondenza della zona di foce del Polcevera limitrofa alla diga foranea, in corrispondenza della banchina ILVA e testata est del nuovo deposito a mare e alle due estremità del canale della testata ovest dell'aeroporto

Queste differenze sono significative del diverso fenomeno di trasporto di sedimento in sospensione che si determina con la nuova configurazione del canale di calma.

Infatti si può notare che, dove la corrente ha un'energia sufficiente per trasportare e rispendere i sedimenti, la sedimentazione non si verifica, ma dove si verifica una riduzione della velocità, il processo di sedimentazione ha luogo determinando differenze anche cospicue rispetto alla geometria attuale del sistema.

### 5.3 La capacità globale di trasporto solido

Sulla base di quanto sopra riportato, è evidente che il comportamento dei sedimenti immessi nel sistema cambia in modo significativo in funzione delle caratteristiche dei sedimenti considerati.

In particolare per sedimenti molto fini (argilla e limo), l'energia presente è in grado di determinare una dispersione dei sedimenti in sospensione fino a distribuirli su tutto il dominio considerato, mentre per sedimenti più grossolani, comunque limitati alle sabbie sottili, la sedimentazione è il processo che è maggiormente efficace sui sedimenti stessi.

In termini di comportamento globale, è particolarmente significativo analizzare l'andamento della massa di sedimenti presente nel sistema in termini di:

- a) Quantità di sedimenti in sospensione
- b) Quantità di sedimenti sedimentati sul fondo
- c) Quantità di sedimenti scambiati con l'esterno del sistema

Il confronto di questi tre parametri consente di interpretare il bilancio di massa dell'intero sistema per le frazioni di sedimenti considerate e, quindi, la dinamica generale di questo tipo di processi.

È da ricordare, a livello generale, che la quantità e la dislocazione di materiale immesso per le tre diverse frazioni di sedimenti sono le stesse per ognuna di esse (concentrazioni di  $100 \text{ g/m}^3$ )

per ogni frazione di sedimento e per ognuno dei principali corsi d'acqua che sfociano nel sistema).

Come si può notare in Figura 5.13 La massa in sospensione per le tre frazioni IM1, IM2 e IM3 ha un andamento nel tempo molto diverso in funzione delle caratteristiche di ogni sedimento.

In particolare la frazione più fine IM1 mantiene in sospensione una quantità di sedimenti molto più elevata rispetto alla IM2 e alla IM3 e raggiunge anche la massa di equilibrio più tardi rispetto alle altre due componenti.

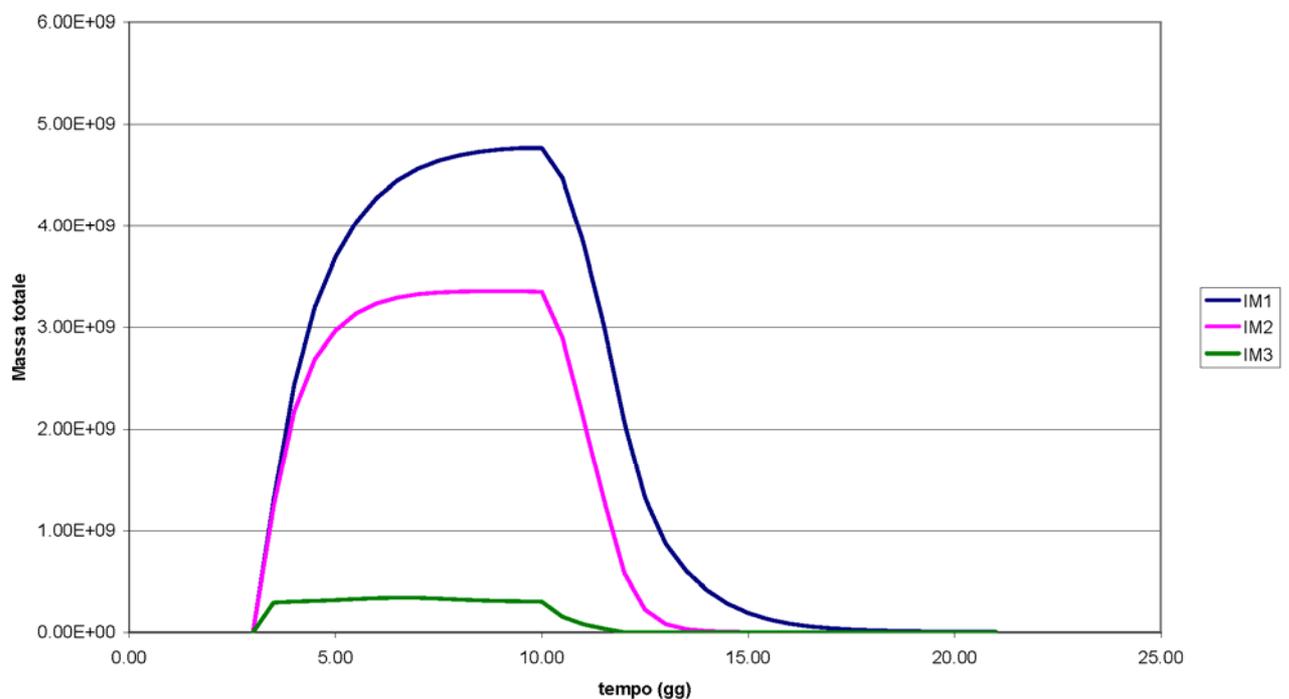


Figura 5.13 - Andamento nel tempo della massa totale di sedimenti in sospensione nel sistema (g)

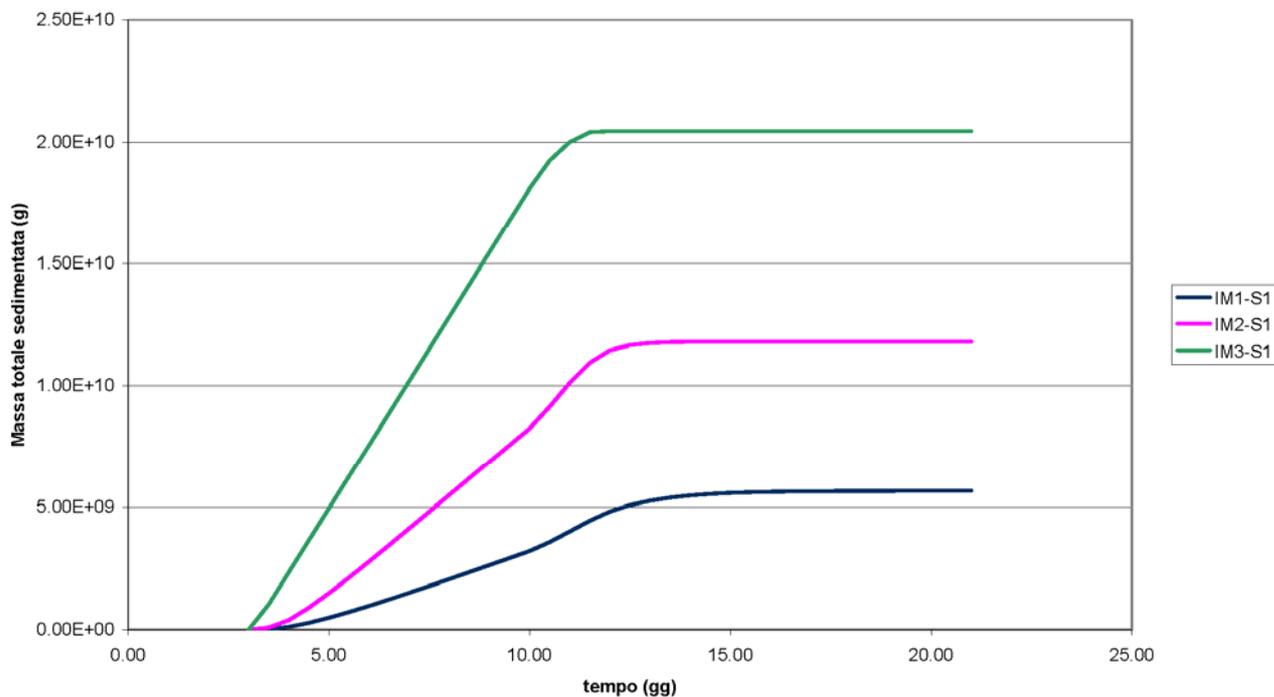


Figura 5.14 - Andamento nel tempo della massa totale sedimentata nel sistema (g)

Viceversa, la sedimentazione della frazione IM3 è molto più elevata rispetto alle altre due componenti, in linea generale, nel momento in cui si interrompe l'immissione di sedimenti in sospensione, la frazione più grossolana sedimenta quasi immediatamente, come si nota anche dal rapido esaurimento della massa in sospensione.

D'altra parte, invece, la frazione più grossolana viene quasi tutta mantenuta all'interno del dominio di analisi (Figura 5.15), mentre la frazione IM1 disperde nell'ambiente esterno circa il 70% del materiale immesso e la frazione IM2 circa il 40%.

Da questa analisi si può quindi desumere, come peraltro confermato dalle analisi dei sedimenti del fondale del canale di calma, che in prossimità degli scarichi vi è un'elevata probabilità di trovare sul fondo sedimenti sabbiosi, anche se di granulometria fine, sempre che i corsi d'acqua siano in grado di recapitarli.

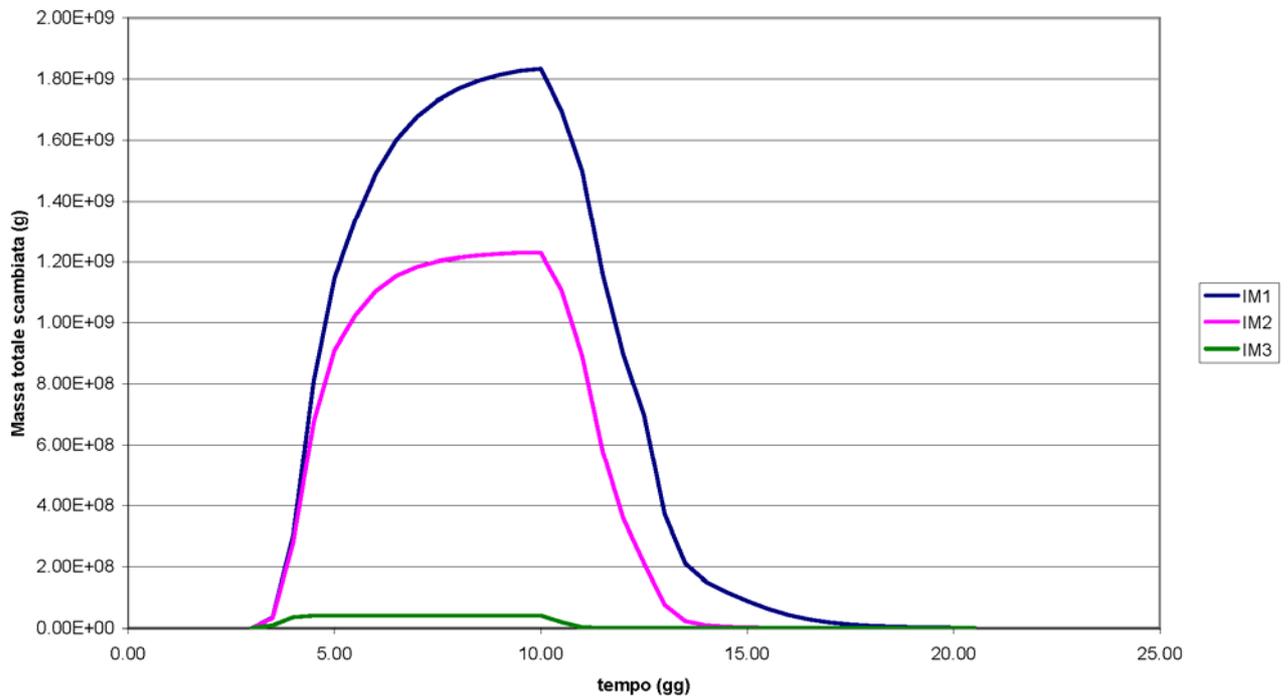


Figura 5.15 - Andamento nel tempo della massa totale scambiata con l'esterno del sistema (g)

Nella rimanente parte del canale invece, specialmente verso ovest, è da presupporre una più probabile presenza di materiali fini trasportati in sospensione e qui sedimentati, anche se, specialmente per quelli argillosi, è da supporre una forte dispersione verso il mare.

La situazione, in termini globali, non si modifica in modo sostanziale nella situazione con gli interventi previsti dove si mantiene, evidentemente, la maggiore capacità di trasporto del sistema per i materiali più fini, che in buona parte vengono dispersi all'esterno del dominio di calcolo, mentre per quelli più grossolani la tendenza a rimanere e distribuirsi in prossimità dei punti di rilascio viene confermata.

## 6 CONCLUSIONI

Nell'ambito del progetto della riqualificazione del nodo autostradale di Genova e, in particolare, la riqualificazione dell'autostrada A10 ed il potenziamento della A7 e A12, è stato affrontato il problema dello smaltimento dello smarino proveniente dalle gallerie e potenzialmente contenente frazioni significative di amianto.

Nell'ambito dello stesso progetto è stata individuata come soluzione per la messa a dimora definitiva di tale materiale di scavo la realizzazione di un deposito a mare in prossimità dell'aeroporto "Cristoforo Colombo", in ambito portuale ed occupando una parte del cosiddetto "Canale di calma".

È stato ritenuto importante, in parallelo alle attività progettuali, sviluppare uno specifico studio idrodinamico e di dispersione al fine di verificare gli effetti indotti per questi comparti dalla presenza del nuovo deposito a mare.

Nel presente rapporto sono state descritte le attività svolte per la messa a punto degli strumenti di analisi ed i principali risultati ottenuti.

I temi trattati sono stati:

- Idrodinamica e dispersione (inclusa la salinità), illustrate nel capitolo 3
- Capacità di ricambio, riportata nel capitolo 4
- Trasporto solido, discusso nel capitolo 5

Nei successivi paragrafi vengono ricordati i principali ottenuti

### 6.1 Idrodinamica e dispersione

Come detto, la modellizzazione dell'idrodinamica e dispersione si è resa necessaria per valutare l'andamento di questi parametri nello scenario di riferimento e quindi consentire una valutazione degli effetti indotti dai futuri interventi.

Da tali analisi si è potuto desumere che il canale di calma è, attualmente, un corpo idrico scarsamente influenzato dalle forzanti idrodinamiche, anche se si mostra particolarmente soggetto a variazioni nelle diverse situazioni di clima di vento. In particolare aumenta la sua capacità di trasporto in condizione di vento di scirocco, condizione in cui le velocità raggiungono i valori massimi, che sono comunque contenuti in poche decine di centimetri al secondo.

Da un punto di vista dispersivo è stato valutato che il canale di calma è scarsamente soggetto ai potenziali inquinanti rilasciati dai principali corsi d'acqua e che, anche in questo caso, la sua massima capacità di trasporto si verifica in condizioni di vento di scirocco.

Per quanto riguarda la salinità media, il canale di calma è un corpo idrico sostanzialmente marino, con alta salinità, praticamente prossima a quella del mare antistante, anche se non si esclude una sua temporanea riduzione in concomitanza con eventi di piena del Polcevera contemporanei a venti di scirocco.

Queste caratteristiche non si modificano in modo sostanziale osservando lo scenario con la presenza degli interventi previsti.

Si nota infatti una riduzione di portata nella parte residua del canale di calma, anche se le velocità subiscono un leggero incremento.

Per quanto riguarda la dispersione, invece, si nota che la presenza del nuovo deposito a mare crea un ostacolo alla capacità dispersiva del sistema, creando una zona di potenziale accumulo di fronte alla banchina ILVA. Il potenziale aumento di concentrazione in quell'area determina un aumento della stessa in tutto il canale di calma che, in questo caso, tende a generare un aumento delle concentrazioni anche in corrispondenza del suo sbocco a ovest del rilevato aeroportuale.

Questo processo non si presenta in modo rilevante quando si analizza la salinità poiché l'influenza del mare aperto è tale da contenere la tendenza alla riduzione della salinità dovuta alla presenza del nuovo deposito. In ogni caso, analizzando nel dettaglio le differenze tra situazione attuale e situazione con interventi, si nota, per il futuro, una maggiore tendenza all'accumulo dell'acqua dolce in prossimità dell'estremità orientale del canale di calma.

## 6.2 Capacità di ricambio

Una delle analisi maggiormente legate all'evoluzione della qualità delle acque è il tempo di ricambio, che consente di valutare la capacità dispersiva del sistema, il tempo di ritenzione potenziale di inquinanti e, di conseguenza, la verifica della possibilità che processi chimici o fisici abbiano la possibilità di svilupparsi.

È evidente, infatti, che maggiore è il tempo in cui una sostanza mantiene una concentrazione significativa in una specifica area, maggiore è la possibilità che si sviluppino i processi ad essa associata.

In termini assoluti è stato verificato che i tempi di ricambio attuali per il canale di calma possono essere valutati in alcune decine di ore.

### 6.3 Trasporto solido

Per quanto riguarda la capacità di trasporto di sedimenti in sospensione, è stata sviluppata un'analisi tesa a verificare, per sedimenti di diverse granulometrie possibili potenzialmente rilasciati dai principali corsi d'acqua, come il sistema sia in grado di trasportare le diverse tipologie di sedimenti, verificandone il fatto sia in termini di recapito all'esterno del sistema che in termini di sedimentazione.

È stato verificato che i sedimenti di dimensioni inferiori (limi e argille) sono in grado di restare in sospensione per essere distribuite dalle correnti in praticamente tutto il dominio di calcolo. Le aree dove potenzialmente tendono a sedimentare in modo più significativo sembrano essere in corrispondenza del sistema di foce del torrente Polcevera e nel bacino occidentale del porto, ad ovest del rilevato aeroportuale.

Per questi sedimenti, comunque, sembra essere importante la quantità di sedimenti che escono dal sistema.

Per quanto riguarda i sedimenti di dimensione maggiore, anche se sabbie fini, la tendenza sembra quella che il sistema non sia in grado di disperdere questi sedimenti che restino intrappolati, nello scenario di riferimento, ad una distanza limitata dai punti di immissione.

Nella situazione con interventi, invece, la capacità dispersiva anche di sedimenti di granulometria maggiore viene incrementata dalle velocità maggiori che possono manifestarsi localmente. In ogni caso non appena la capacità di trasporto diminuisce a causa di una riduzione locale di velocità, le sabbie fini tendono a sedimentare.