



**Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale**

**PORTO DI BARI**

**REALIZZAZIONE DI DENTE DI ATTRACCO ALLA BANCHINA "CAPITANERIA" NELLA DARSENA INTERNA MOLO S. VITO**

**[CUP B91C18000160005]**

DIRETTORE DEL DIPARTIMENTO TECNICO:

Ing. Francesco DI LEVERANO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Annunziata ATTOLICO

LIVELLO PROGETTUALE:

- FATTIB. TECNICO ECONOMICA
- DEFINITIVO
- ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO:

**STUDIO PRELIMINARE AMBIENTALE**

STUDI SPECIALISTICI SULLE CORRENTI E SULLO SPOSTAMENTO DEI SEDIMENTI NEL PORTO DI BARI

N. ELABORATO:

**AMB.04**

NOME FILE:

PRIMA EMISSIONE ED EVENTUALI REVISIONI:

17.01.2019

SCALA:

---



## **Convenzione**

tra

**AUTORITÀ PORTUALE DEL LEVANTE**

e

**POLITECNICO DI BARI**

**DICATECh**

**Laboratorio di Ricerca e Sperimentazione per la Difesa delle Coste**

*“Studi specialistici sulle correnti e sullo spostamento dei sedimenti dragati nei porti di Bari, Barletta e Monopoli”*

***Porto di Bari***

*Relazione finale ed elaborati grafici*

**Responsabile scientifico**  
(prof. ing. Michele Mossa)

**Gruppo di lavoro**  
Maria Francesca Bruno  
Francesca De Serio  
Daniela Malcangio  
Michele Mossa  
Biagio Nobile  
Antonio F. Petrillo

# **PORTO DI BARI – OPERAZIONI DI DRAGAGGIO**

## **1. INQUADRAMENTO DEL SITO**

L'Autorità Portuale ha ravvisato la necessità di alcune operazioni di dragaggio all'interno del porto di Bari. Ha pertanto fornito le indicazioni necessarie al fine di consentire una simulazione di questi interventi mediante la modellistica numerica. L'obiettivo principale di tali simulazioni è quello di valutare gli effetti predominanti conseguenti al dragaggio, ovvero il rilascio di sedimenti in sospensione, in modo da poter prevedere la loro eventuale distribuzione all'interno del porto, a seguito dell'idrodinamica che si instaura nel bacino stesso.

Infatti, in relazione alla tipologia del sito di intervento, del materiale dragato, delle modalità di sversamento e delle caratteristiche dell'area di destinazione, gli impatti dei sedimenti possono essere più o meno rilevanti sull'ambiente. Possono riguardare le caratteristiche fisiche (alterazione dei livelli di torbidità), chimiche (aumento del contenuto di sostanza organica ed inquinanti) della colonna d'acqua e biologiche (alterazioni di specie e comunità bentoniche) dell'area. E' fondamentale dunque formulare delle ipotesi di impatto e valutare se tali alterazioni sono accettabili in termini ambientali e sociali, o se piuttosto bisogna prevedere specifiche misure di mitigazione.

L'Autorità Portuale ha indicato tre aree distinte nelle quali effettuare il dragaggio, denominate rispettivamente area A o area di manovra, area B o Darsena di Levante e area C o Darsena interna - San Vito. Si veda la Figura 1. Inoltre sono stati indicati gli spessori medi da dragare e quindi i corrispondenti volumi di materiale da rimuovere. Uno studio preliminare commissionato dalla stessa Autorità Portuale ha evidenziato la presenza di fondali rocciosi in tutte e tre le aree. Nelle aree A e B i fondali presentano anche uno strato di sedimenti sovrastante la roccia. Per ciascun area, i suddetti dati sono riportati in dettaglio in Tabella 1.

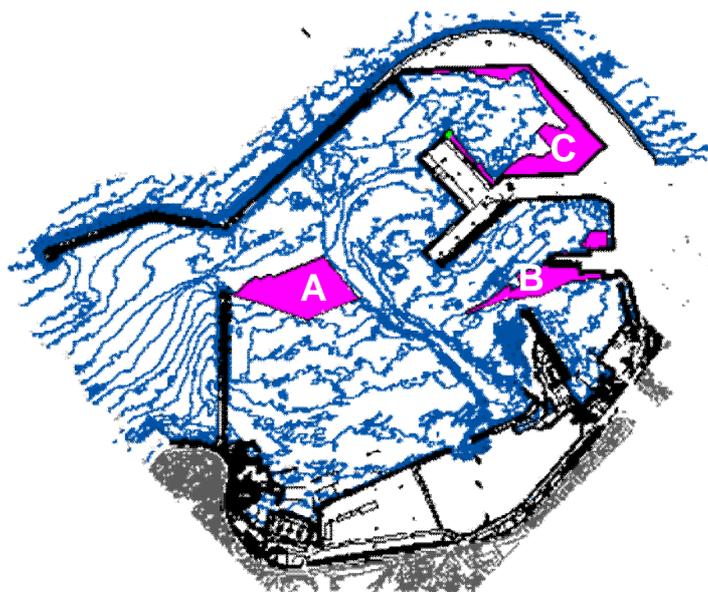


Figura 1. Porto di Bari, con indicazione delle aree di dragaggio

<b>area A - Area di manovra</b>		
volume roccia	65039	m <sup>3</sup>
volume sedimento	33337	m <sup>3</sup>
volume complessivo	98376	m <sup>3</sup>
superficie interessata	75087	m <sup>2</sup>
spessore sedimento	0.4	m
spessore roccia	0.9	m
<b>area B - Darsena di Levante</b>		
volume roccia	48508	m <sup>3</sup>
volume sedimento	50857	m <sup>3</sup>
volume complessivo	99365	m <sup>3</sup>
superficie interessata	78246	m <sup>2</sup>
spessore sedimento	0.6	m
spessore roccia	0.6	m
<b>area C - Darsena interna San Vito</b>		
volume roccia	28164	m <sup>3</sup>
volume sedimento	0	m <sup>3</sup>
volume complessivo	28164	m <sup>3</sup>
superficie interessata	37716	m <sup>2</sup>
spessore sedimento	0.0	m
spessore roccia	0.7	m

Tabella 1. Dati relativi alle aree da dragare

L'analisi granulometrica condotta ha evidenziato la prevalenza negli strati di sedimento di pelite sabbiosa (Fig. 2) sia per l'area A che per l'area B, osservato che le percentuali medie rilevate possono essere sintetizzate nel modo seguente:

ghiaia	8.02%
sabbia	34.51%
limo	50.87%
argilla	6.61%.

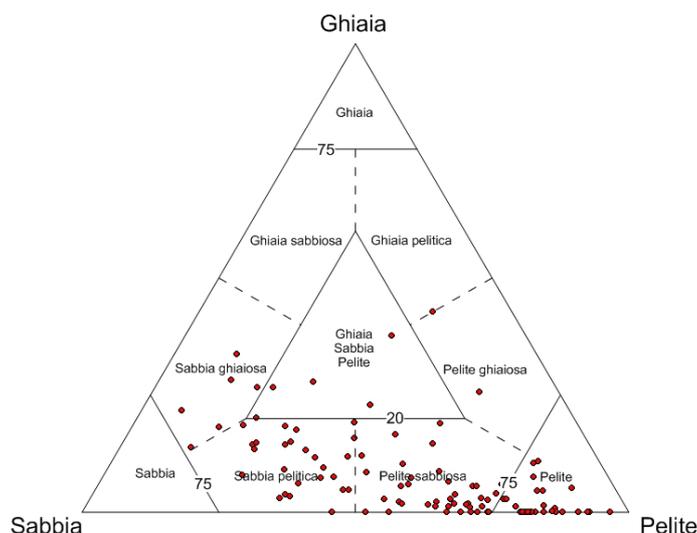


Figura 2. Dati dell'analisi granulometrica.

## 2. DATI DI DRAGAGGIO

### 2.1 Portate da movimentare

Al fine della scelta del tipo di draga da impiegare, si sottolinea che i dati di bibliografia suggeriscono l'utilizzo di draghe meccaniche (sia a secchie che a benna mordente) per tutti i tipi di fondale, eccetto che nel caso di rocce compatte. Nella situazione in esame, quindi, facendo riferimento anche a recenti lavori di dragaggio che hanno interessato porti pugliesi con fondali rocciosi, si ritiene opportuno ipotizzare l'utilizzo di una draga idraulica, aspirante refluyente con disgregatore (tipo cutter head) e conseguente refluento del materiale in apposita vasca di colmata (Fig.3).

Nel presente lavoro si prende dunque in esame il comportamento di risospensione e dispersione di sedimenti rilasciati durante l'utilizzo di una simile draga di tipo idraulico. E' tuttavia necessario fare una prima considerazione. Come riportato in Palermo M., Schroeder P., Estes T. and Francingues N., *Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments*, 2008 (ERDC/EL TR-08-29 166), non esiste un fattore tipico di risospensione dei

sedimenti, piuttosto si deve fare riferimento ad un range di valori che è stato determinato sulla base di dati disponibili ricavati da precedenti esperienze. Si sono pertanto determinati valori utili nel caso di frazione limosa ed argillosa dei sedimenti, nel caso sia di draghe idrauliche che meccaniche, mentre si assume che la frazione più grossolana (sabbia e ghiaia) si depositi rapidamente vicino la draga, senza essere trasportata in sospensione.

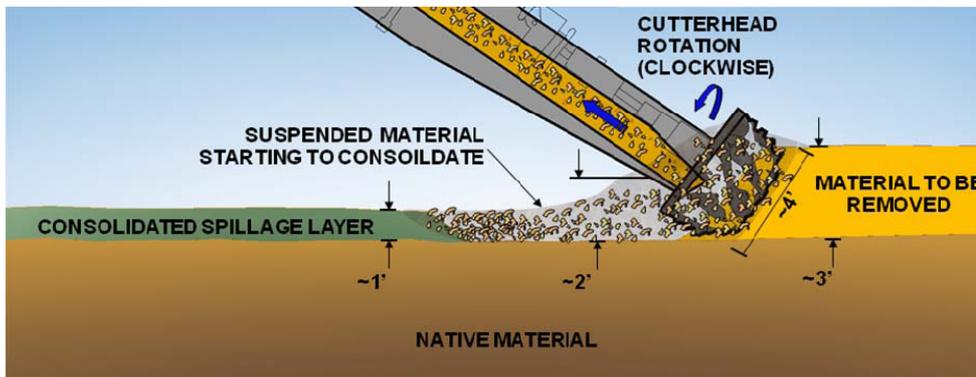


Figura 3. Funzionamento di una draga idraulica cutter head di tipo convenzionale

Per questo motivo, tenendo conto della presenza di una parte di fondale roccioso nelle aree A e B, si è ritenuto opportuno ragionare in termini di sicurezza, ovvero si è ipotizzato, a vantaggio di sicurezza, che il volume da dragare sia costituito anche in queste due aree esclusivamente da pelite sabbiosa. In questo modo, infatti, si ritiene di simulare le condizioni più critiche per l'area in esame, in termini di possibile sospensione e trasporto dei sedimenti per effetto del dragaggio, dato che l'eventuale residuo di un dragaggio in roccia dovrebbe rimanere localizzato nelle immediate vicinanze dello stesso disgregatore.

A questo scopo si sono considerati gli studi di Nakai (1978) e Hayes e Wu (2001), simulando il comportamento medio di una draga idraulica, caratterizzato da un percentuale di sedimenti risospesi pari alla media dei valori forniti dall'USEPA (Palermo et al., 2008) in terreni sabbiosi e argillosi. Il range di valori varia tra 0,5% e 4,5% per draghe idrauliche, quindi per il caso in esame si è scelto il valore medio dei fattori di risospensione, pari a:  $R = 2,5\%$ .

Inoltre, sempre con riferimento a dati dell'USEPA si è ipotizzato di utilizzare una draga con produzione oraria di  $Q = 500 \text{ m}^3/\text{h} = 0,1388 \text{ m}^3/\text{s}$  di materiale asportato.

Per valutare la portata massica di materiale risospeso, si è proceduto nel modo seguente. Prima di tutto si è calcolata la portata volumetrica in secco di materiale dragato  $Q_s$ . Infatti, definito il contenuto d'acqua  $w$  come il rapporto tra il peso dell'acqua  $W_w$  e quello delle particelle  $W_s$ , con:

$$W_w = \gamma_w \cdot V_w \quad \text{e} \quad W_s = \gamma_s \cdot V_s = G_s \cdot \gamma_w \cdot V_s$$

dove  $\gamma_w$  è il peso dell'unità di volume dell'acqua,  $\gamma_s$  è il peso dell'unità di volume della parte solida;  $G_s$  è il peso specifico relativo dei grani,  $V_w$  è il volume della frazione liquida,  $V_s$  è il volume della frazione solida,  $V$  è il volume totale, si può scrivere:

$$w = \frac{V_w}{G_s \cdot V_s} = \frac{e}{G_s} \quad [1]$$

avendo posto  $e$  indice dei vuoti.

Ponendo a sistema la [1] con  $V=V_s+V_w$  si ricava:

$$V_s = \frac{V}{1 + w \cdot G_s} \quad [2]$$

e quindi:

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{V_s}{V} = \frac{1}{1 + w \cdot G_s} \quad [3]$$

dove  $Q_s$  è la portata volumetrica in secco di materiale dragato e  $Q$  è la portata volumetrica totale.

Per quanto riguarda l'indice dei vuoti in pelite sabbiosa, si è assunto il valore 0,6, dedotto da quanto proposto da Lambe e Whitman (1969). Assumendo  $G_s = 2,65$ , si ottiene dalla [1]  $w=0,23$  e dalla [3]  $Q_s/Q = 0,63$ . La portata volumetrica in secco che la draga può aspirare è pertanto pari a  $Q_s = 312,5 \text{ m}^3/\text{h} \approx 0,087 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Partendo da questo valore di  $Q_s$ , si è quindi provveduto a valutare la portata massica di materiale risospeso, che può essere calcolata utilizzando la seguente espressione modificata (Hayes e Wu, 2001):

$$W = R \cdot f_{74} \cdot Q_s \cdot C_s \quad [\text{kg/s}] \quad [4]$$

dove  $C_s$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] è la densità dei sedimenti in situ (in secco) pari circa a  $2560 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $R$  [%] è il fattore di risospensione,  $f_{74}$  [%] è la frazione di sedimenti di dimensione inferiore a 74 micron.

Si è ritenuto idoneo, in via cautelativa, considerare un  $f_{74}=f_{100}=1$ .

Quindi, utilizzando la [4], la portata massica di materiale risospeso dalla draga idraulica è pari a:

$$W = 5.56 \text{ kg/s.}$$

## 2.2 Tempistica

Nelle simulazioni si è ipotizzato un funzionamento della draga di 12 ore lavorative al giorno. Essendo la produzione oraria della draga  $Q_s$  pari a  $312,5 \text{ m}^3/\text{h}$  si ha quindi un volume dragato giornalmente in secco pari a:  $V_g = 312,5 \times 12 = 3750 \text{ m}^3$ .

Di conseguenza, considerando gli spessori medi interessati dal dragaggio nelle aree A, B e C (si veda la Tabella 1), si ricava che per dragare complessivamente l'area A (per un volume complessivo di  $98376 \text{ m}^3$ ) occorrono circa 26 giorni, per dragare l'area B (per un volume complessivo di  $99365 \text{ m}^3$ ) occorrono circa 27 giorni e per dragare l'area C (per un volume

complessivo di 28164 m<sup>3</sup>) occorrono circa 15 giorni (riducendo leggermente la produzione oraria, in modo che sia compatibile con lo spostamento della draga).

### **3. SIMULAZIONI NUMERICHE**

Preliminarmente alle simulazioni di dragaggio, è stato necessario riprodurre l'idrodinamica nel bacino, per alcune condizioni da considerarsi rappresentative della situazione media annuale. Lo studio della circolazione idrodinamica all'interno del bacino portuale è stato effettuato mediante il software bidimensionale MIKE 21, prodotto dal DHI (Danish Hydraulic Institute). Tale codice di calcolo è stato già testato sullo stesso bacino, in precedenti studi (Ben Meftah et al., 2011) nei quali si è rilevata una sostanziale omogeneità dell'idrodinamica lungo la verticale. Si noti inoltre che la profondità massima del bacino in questione è pari a circa 13 m, pertanto l'ipotesi di acque basse è pienamente accettabile.

Si è individuata una griglia di calcolo a maglia quadrata e passo pari a 5m, al fine di ottenere un adeguato grado di dettaglio. La griglia è orientata con l'asse X secondo la direzione SE (135°N) e l'asse Y secondo la direzione NE (45°N), e costituisce una matrice 410 righe x 490 colonne. In questo modo, il confine ovest del dominio coincide con l'imboccatura del porto, in modo da poter prendere in considerazione nelle prove numeriche un solo confine cosiddetto aperto, sul quale si sono imposte le opportune condizioni iniziali e al contorno. Per ridurre i tempi computazionali del programma, l'area superiore dello specchio acqueo esterno al porto, ininfluenza ai fini della circolazione interna, è stata implementata come area a terra.

Il periodo di simulazione è stato posto pari a 30 giorni, atteso che successivamente i dati idrodinamici devono essere utilizzati come input nella simulazione dei dragaggi. Il time step di integrazione, determinato in modo tale da verificare la condizione di Courant, per garantire la stabilità dell'algoritmo, è stato scelto pari a 2 sec.

Con riferimento alle azioni utilizzate in input quali forzanti del modello, si sono imposte rispettivamente: una variazione del livello della superficie libera sul confine aperto, ovvero all'imboccatura del porto, ipotizzando condizioni di marea variabili con legge sinusoidale; un vento omogeneo e stazionario.

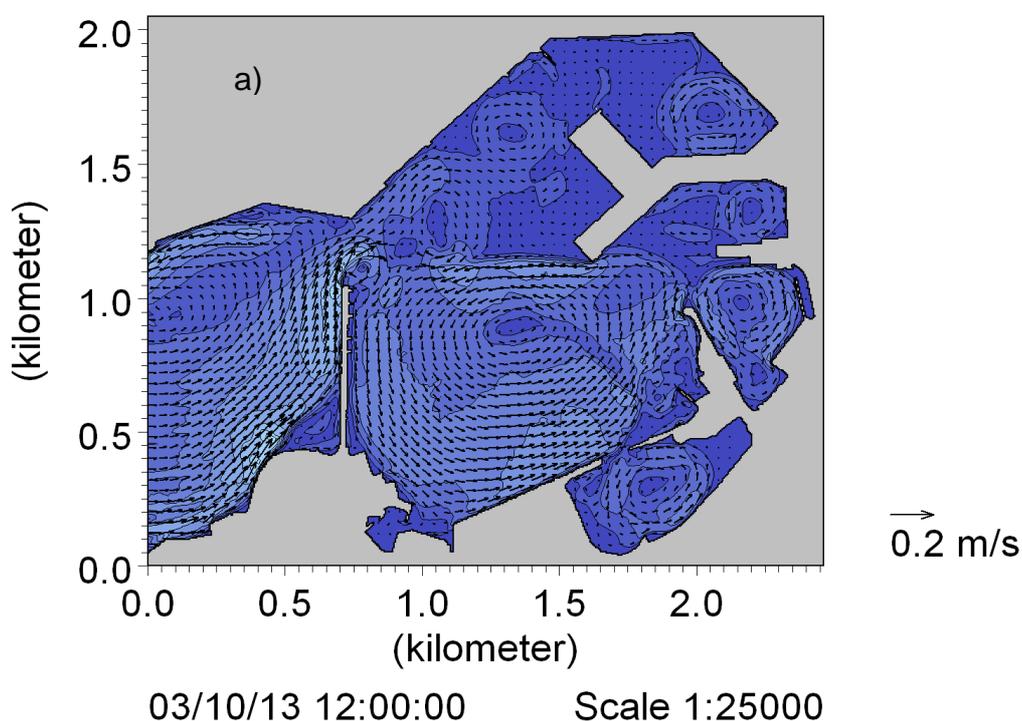
Per ciò che riguarda le escursioni di marea, si è assunta un'altezza massima dell'onda sinusoidale pari a  $H=30\text{cm}$ , conformemente a quanto rilevato mediamente dalle osservazioni dell'escursione del livello lungo la costa barese e dai conseguenti studi meteo-marini (escursioni positive di 0,21m e negative di 0,17m).

Con riferimento al campo di vento, si è ipotizzato un vento omogeneo sul dominio in questione, trattandosi di un bacino piuttosto limitato. In particolare, l'intensità e la direzione del vento sono state scelte a partire dalle condizioni meteo-marine medie annuali. Pertanto si è imposto in input al modello un vento di intensità pari a 5m/s e proveniente da Ovest (270°N), secondo quanto registrato dalla stazione anemometrica di Bari Palese.

Si sottolinea che l'operazione preliminare di calibrazione del modello, effettuata sul coefficiente di drag del vento e sul coefficiente di attrito al fondo, era già stata effettuata in precedenti studi (Ben Meftah et al. 2007; 2009).

Il modello di turbolenza usato per la chiusura del sistema di equazioni usato nella simulazione idrodinamica è quello di Smagorinsky, che lega la viscosità turbolenta alla spaziatura della griglia di calcolo e ai gradienti di velocità del flusso.

La circolazione riprodotta mostra generalmente valori di velocità piuttosto contenuti e la formazione di piccoli vortici, indotti sia dalla topografia stessa sia dall'andamento mareale. A titolo di esempio si osservi la Figura 5. Inoltre si noti che, in prossimità delle insenature delimitate dai moli, tendono a formarsi anche zone di ristagno.



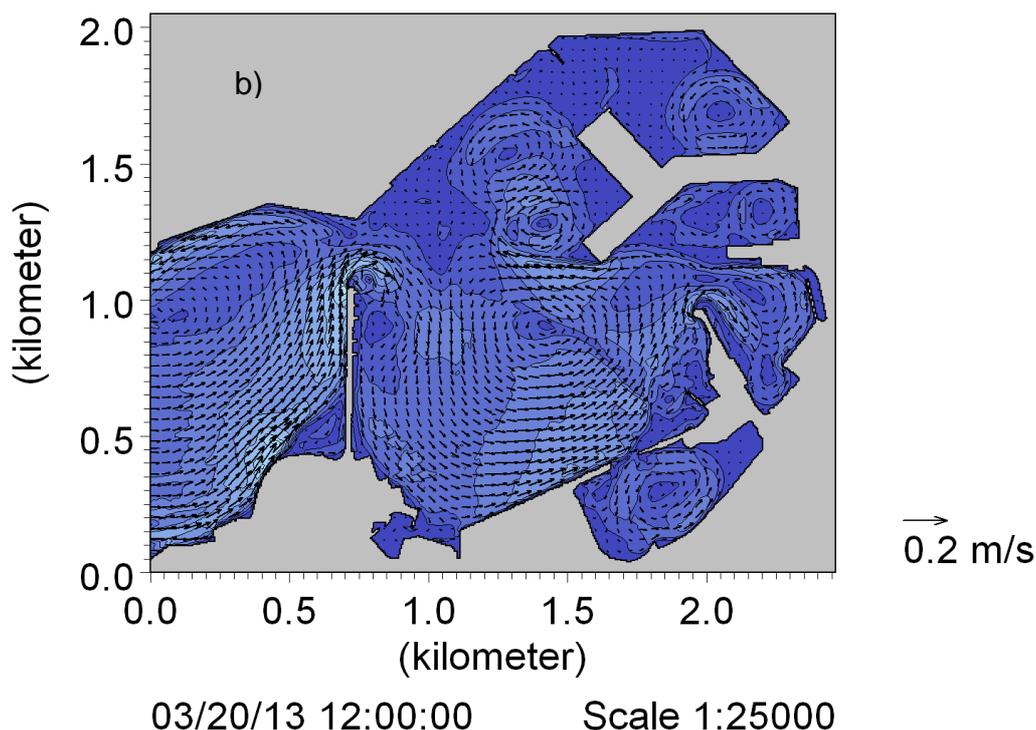


Figura 4. Mapa orizzontale delle correnti: a) ore 12:00 del 10° giorno di simulazione, b) ore 12:00 del 20° giorno di simulazione.

Una volta ricavato l'output della simulazione idrodinamica, ovvero il file contenente dati di intensità e direzione della corrente, variabile nel tempo, lo si è utilizzato come input per la simulazione del dragaggio, che è stata effettuata a sua volta mediante il modulo MIKE 21 PA/SA del software.

Con questo modulo, alla circolazione indotta dalle forzanti di marea e vento viene aggiunto l'effetto del dragaggio, mediante l'inserimento di un apposito file testo. Questo file esprime il rilascio, variabile nel tempo, dei sedimenti risospesi, ed è costituito da tre colonne in cui si riportano rispettivamente le coordinate  $i$  e  $j$  relative alla posizione della draga sulla griglia di calcolo e la portata massica di materiale risospeso dalla draga stessa, espressa in Kg/s, secondo quanto già descritto nei paragrafi 2.1 e 2.2.

Si è simulata una prova con durata temporale di 30 giorni (corrispondente mediamente ad una settimana di tempo computazionale su workstation HP xw8200). Alla fase iniziale di start up del modello, pari a 3 giorni, è seguita la fase successiva di simulazione del dragaggio, che ha inizio nel quarto giorno e prosegue per il numero di giorni specificato in par. 2.2. a seconda delle aree interessate dal fenomeno. Tale periodo di simulazione è stato suddiviso in step temporali della durata di 5 secondi ciascuno.

Con riferimento ad alcuni parametri da specificare nell'implementazione del modello, i coefficienti di dispersione sono stati considerati proporzionali alla corrente ed inoltre si è assunta

una rugosità del fondo dello stesso valore già adottato nella simulazione solo idrodinamica, ovvero di valore mediamente pari a 0,1 m. Circa le caratteristiche dell'acqua, si sono mantenuti valori costanti di temperatura e di salinità, dal momento che le simulazioni sono condotte in ambiente barotropico.

Per quanto riguarda le caratteristiche delle particelle si sono fatte le seguenti ipotesi:

- peso specifico relativo dei grani  $G_s = 2,65$  kg/kg
- dimensione media dei grani  $d_{50} = 0,000156$  m (dall'analisi granulometrica dei sedimenti del sito)
- parametro di Shields pari a 0,1 (consigliato per sedimenti limo-sabbiosi)
- velocità di sedimentazione  $v_s = 0,00017$  m/s (calcolata attraverso l'utilizzo della formula di Stokes).

#### **4. ANALISI DEI RISULTATI**

Per ciascun'area investigata, si provvede a rappresentare e descrivere i risultati ottenuti mediante una mappa di concentrazione istantanea ed una di deposito (accumulo) dei sedimenti risospesi dalle operazioni di dragaggio. Tali distribuzioni orizzontali vengono valutate durante la loro evoluzione nel tempo. Emerge con una certa evidenza che le quantità di materiale in sospensione che sedimentano nuovamente nel bacino, nei casi di dragaggio in area A e B, sono piuttosto contenute, già nell'ipotesi fatta a vantaggio di sicurezza, avendo cioè sostituito i volumi di roccia da dragare con equivalenti volumi di pelite sabbiosa. Di conseguenza, la situazione che si avrebbe nel caso più realistico, limitando la quantità di pelite sabbiosa risospesa a quella effettiva, è da ritenersi sicuramente ancora meno impattante.

##### **4.1. Dragaggio in area A**

Avviati i lavori di dragaggio nel 4° giorno di simulazione (nella zona delimitata dalla linea rossa nelle seguenti Figure 5÷13 ) si osserva che la piuma dei sedimenti viene gradualmente trasportata dall'imboccatura del porto verso la parte sud, sud-est ad opera del vortice antiorario che si instaura nel bacino (Fig. 5). In tutti gli istanti temporali presi in considerazione, la concentrazione istantanea dei sedimenti interessa sempre una zona esterna a quella dragata e a causa sia dello spostamento della draga nell'area, sia dell'idrodinamica nel porto, la piuma assume una forma più o meno sottile e si protende verso la darsena di Levante (Figg. 6÷9). Tuttavia, si può rilevare che le concentrazioni istantanee sono piuttosto contenute, superando solo in un numero limitato di punti il valore di  $0.6$  kg/m<sup>3</sup>, mentre in media si attestano intorno a  $0.4$  kg/m<sup>3</sup>.

L'esame delle mappe di distribuzione dei sedimenti risospesi evidenzia che la maggiore quantità di peliti sabbiose si deposita nella zona centrale del bacino, nelle sue regioni più a sud-est ed est, trasportata dai bracci del vortice ciclonico. Con il trascorrere del tempo, la quantità di particelle sedimentate aumenta (Fig. 10÷13) e si protende verso ovest, ma si tratta sempre di

valori piuttosto contenuti. Le regioni più periferiche del porto, nelle quali sostanzialmente si rilevano condizioni prossime al ristagno, vengono solo marginalmente interessate da queste operazioni di dragaggio.

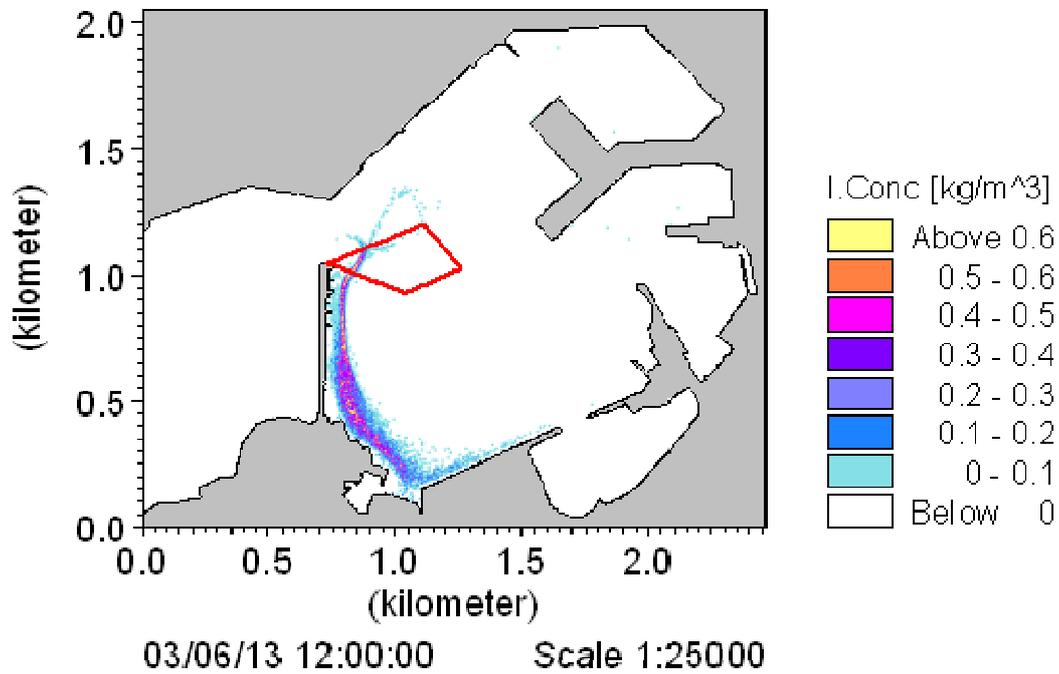


Figura 5. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 2° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

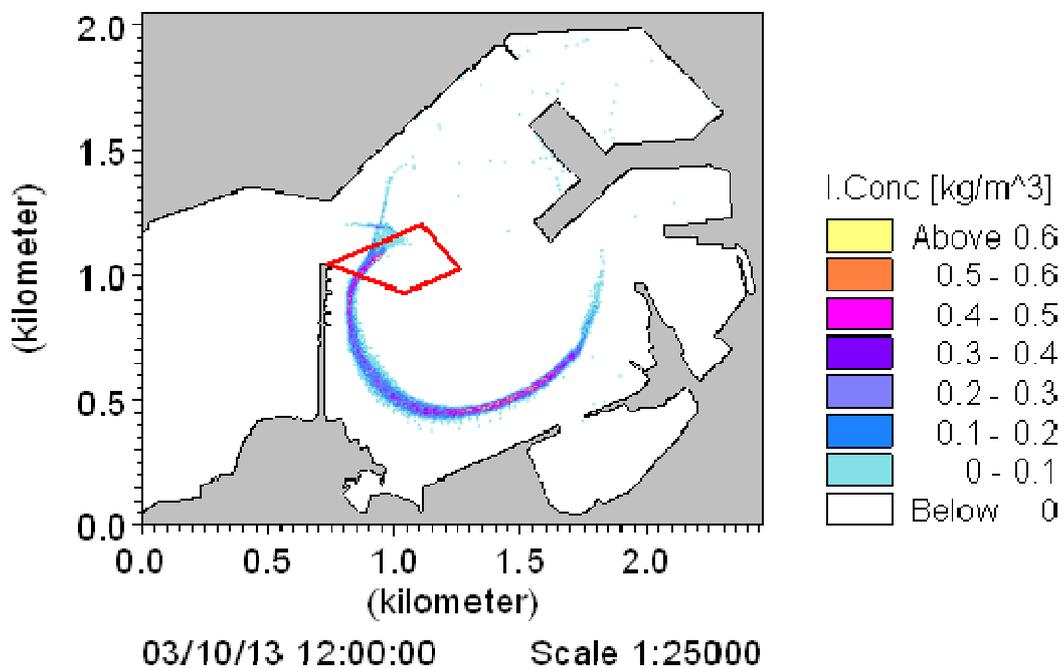


Figura 6. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 6° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

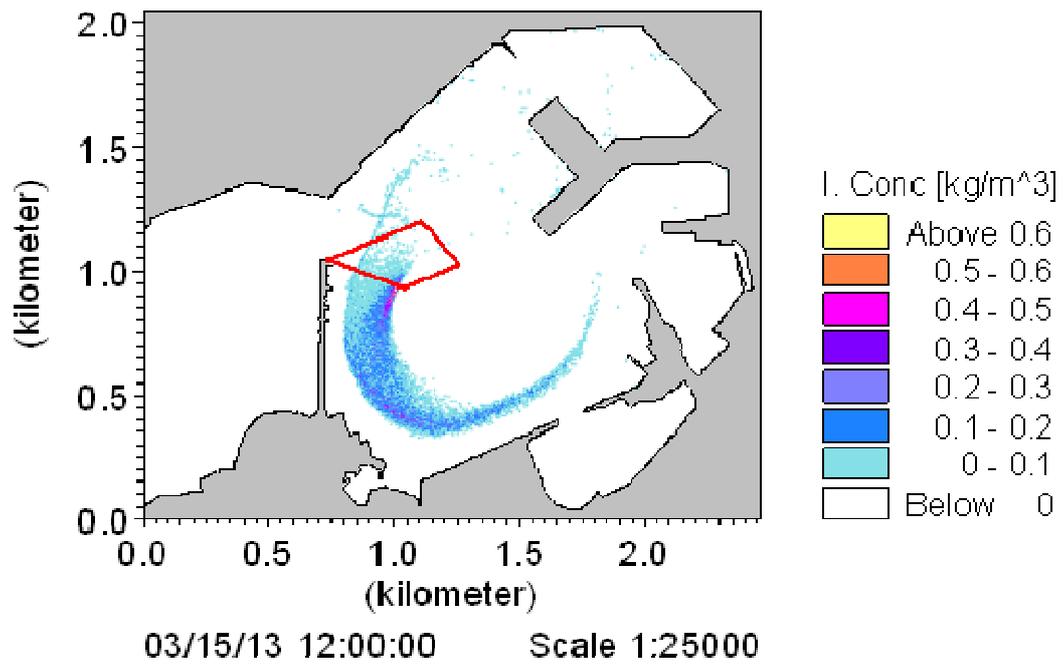


Figura 7. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 11° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

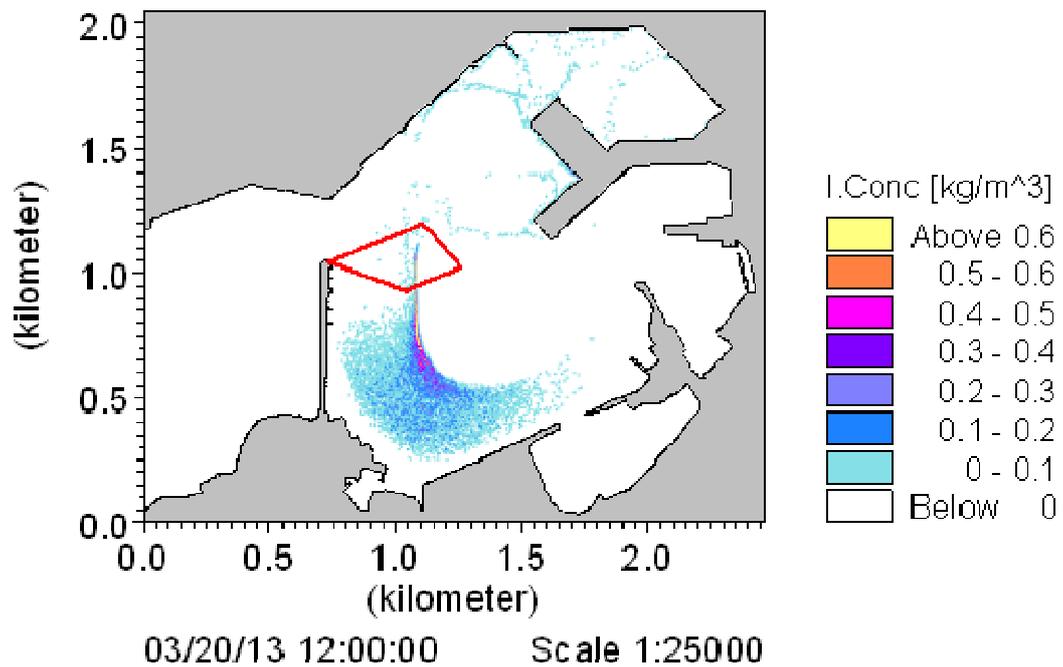


Figura 8. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 16° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

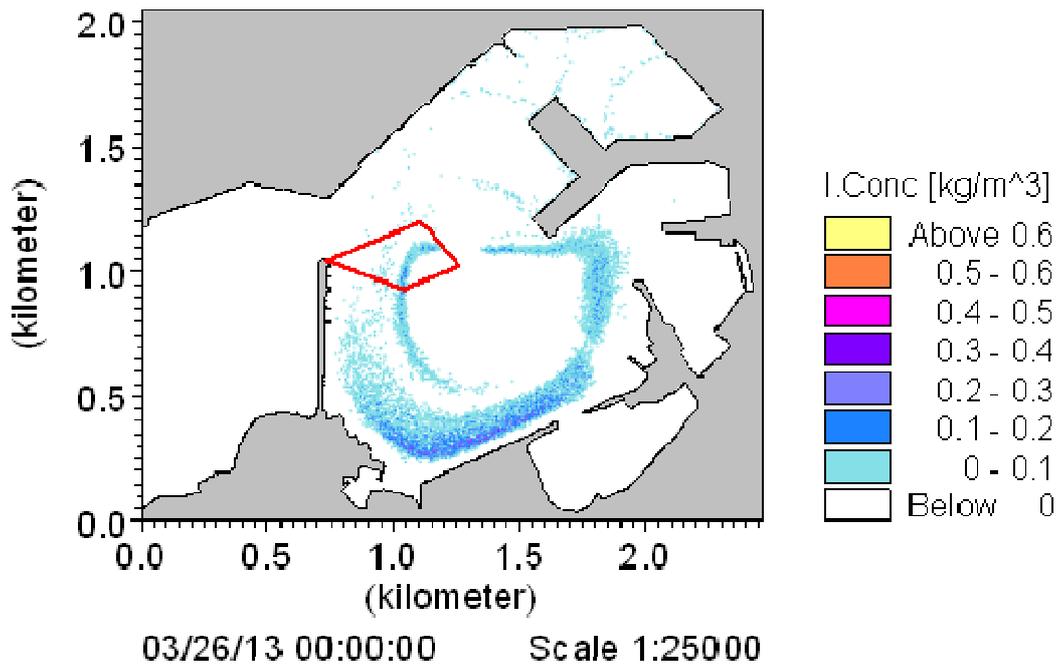


Figura 9. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 22° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

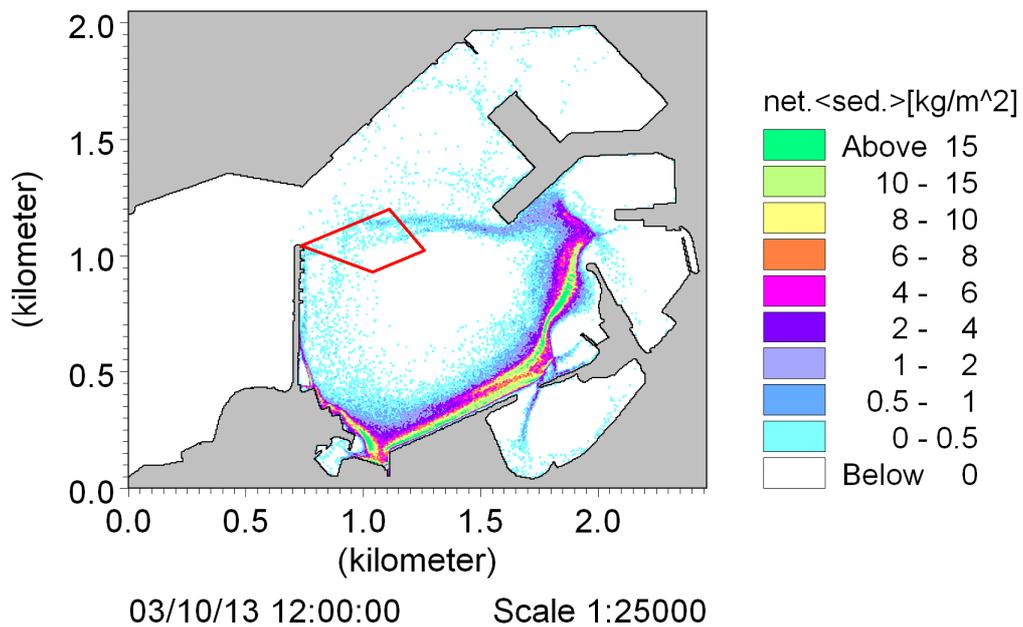


Figura 10. Accumulo dei sedimenti risospesi. 6° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

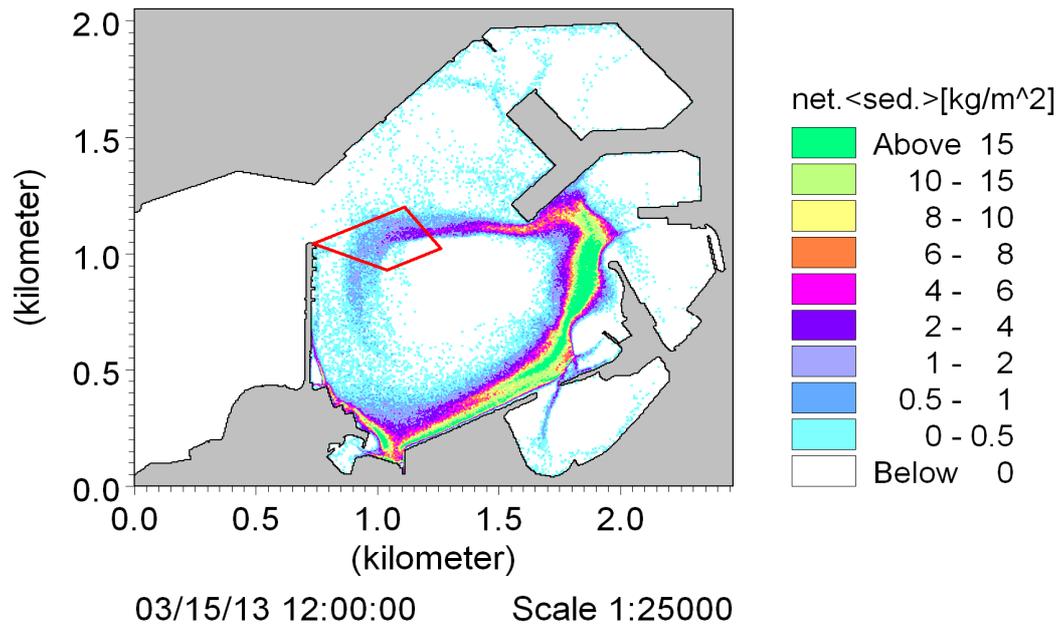


Figura 11. Accumulo dei sedimenti risospesi. 11° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

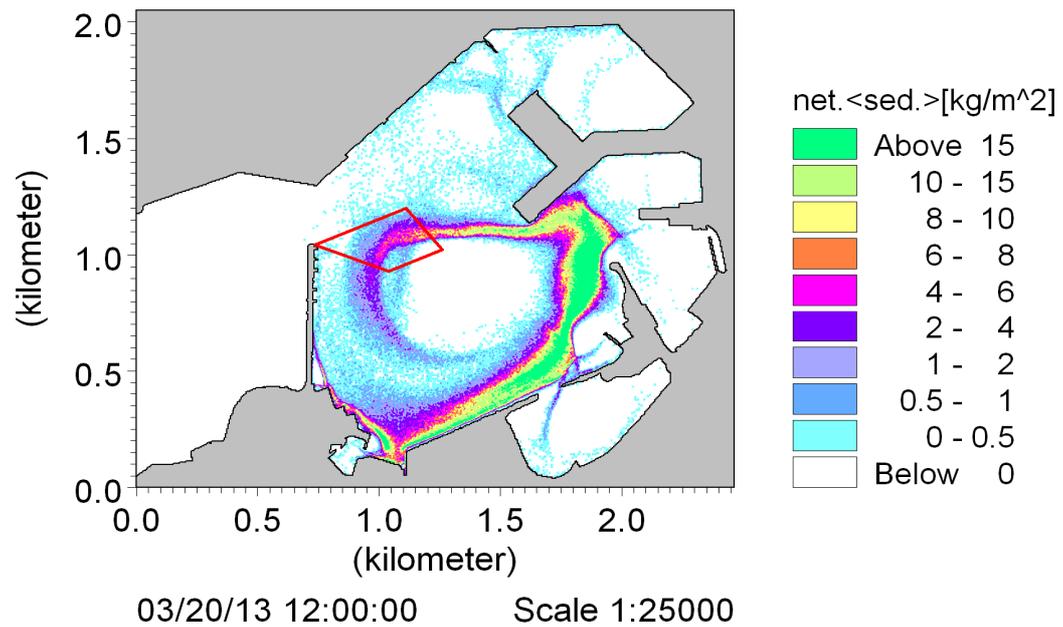


Figura 12. Accumulo dei sedimenti risospesi. 16° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

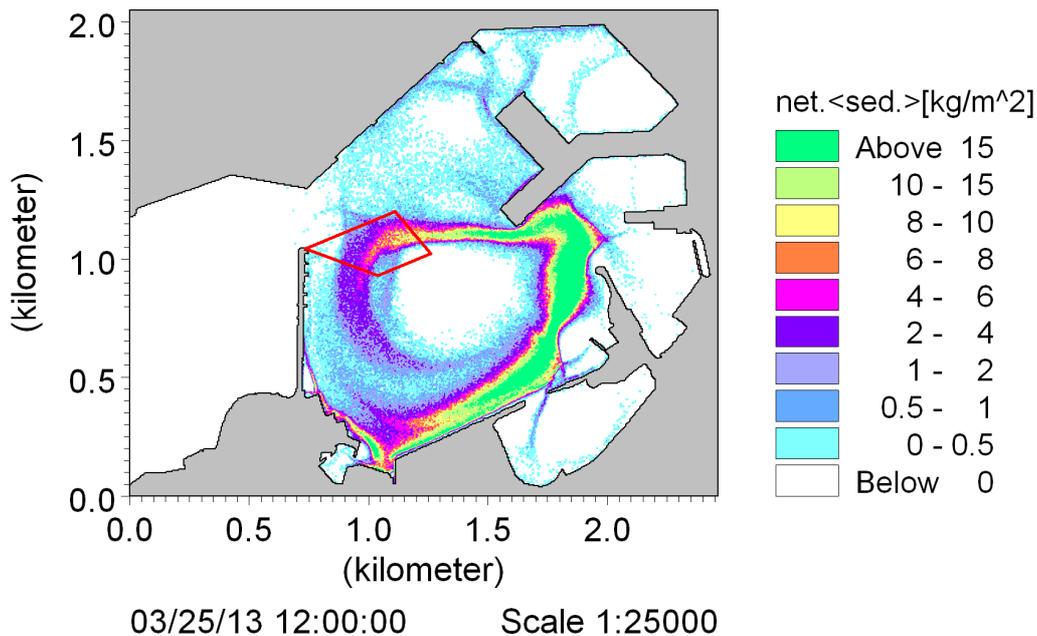


Figura 13. Accumulo dei sedimenti risospesi. 20° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

#### 4.2 Dragaggio in area B

Nel caso di dragaggio dell'area B, si rilevano concentrazioni istantanee prossime allo zero nella parte centrale del bacino, mentre l'evoluzione nel tempo della piuma dei sedimenti risospesi interessa prevalentemente la Darsena di Levante (Figg. 14÷17). Le concentrazioni sono ancora più basse di quelle già osservate nel caso del dragaggio dell'area A, a causa di valori della corrente in questa parte del dominio particolarmente modesti. In questo caso la piuma dei sedimenti si dilata o si riduce nel tempo, per effetto dell'idrodinamica dovuta ai piccoli vortici che si formano lungo i moli.

Dalle mappe di distribuzione dei sedimenti risospesi si evince che la maggior parte dei sedimenti viene trasportata verso la parte centrale del bacino, in direzione ovest, per poi interessare anche la zona più a sud, sempre per effetto della circolazione che si instaura ad opera del vortice antiorario. Le quantità di materiale sedimentato sono inizialmente molto basse (valori massimi pari a 2-3 kg/m<sup>2</sup>), come si rileva dalle Figure 18 e 19, e crescono leggermente con il trascorrere dei giorni (valori mediamente pari a 4-5 kg/m<sup>2</sup>), come si osserva in Fig. 20 e Fig. 21. In particolare sono interessate dal deposito dei sedimenti risospesi soprattutto le parti del bacino più a sud. Tuttavia si tratta sempre di quantità di materiale risedimentato inferiori rispetto a quelle osservate nel caso del dragaggio in area A.

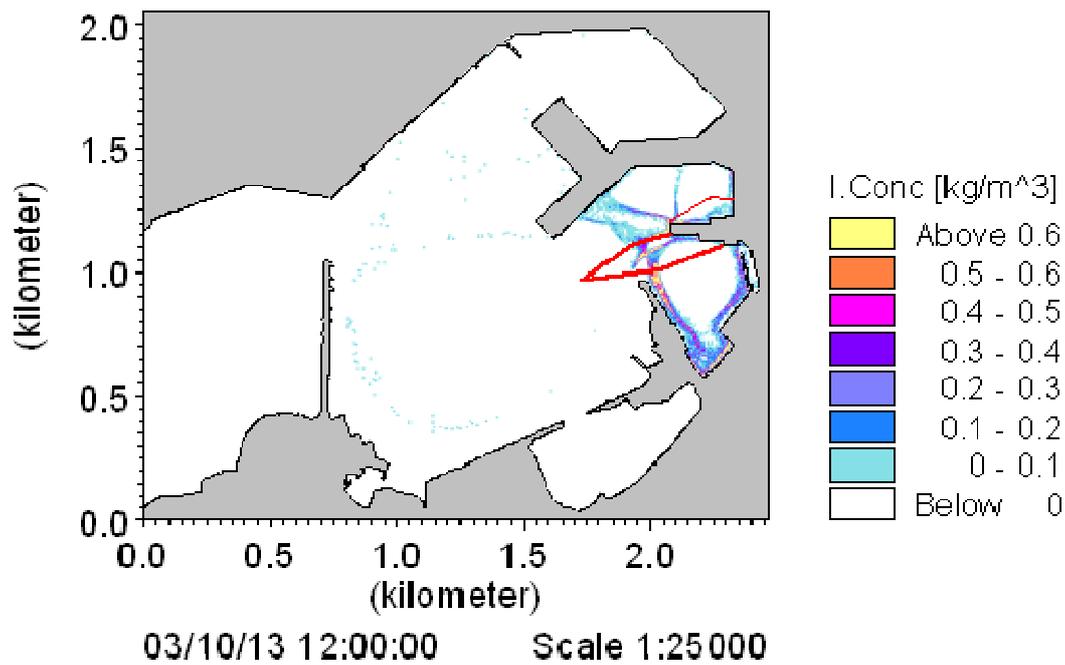


Figura 14. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 6° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

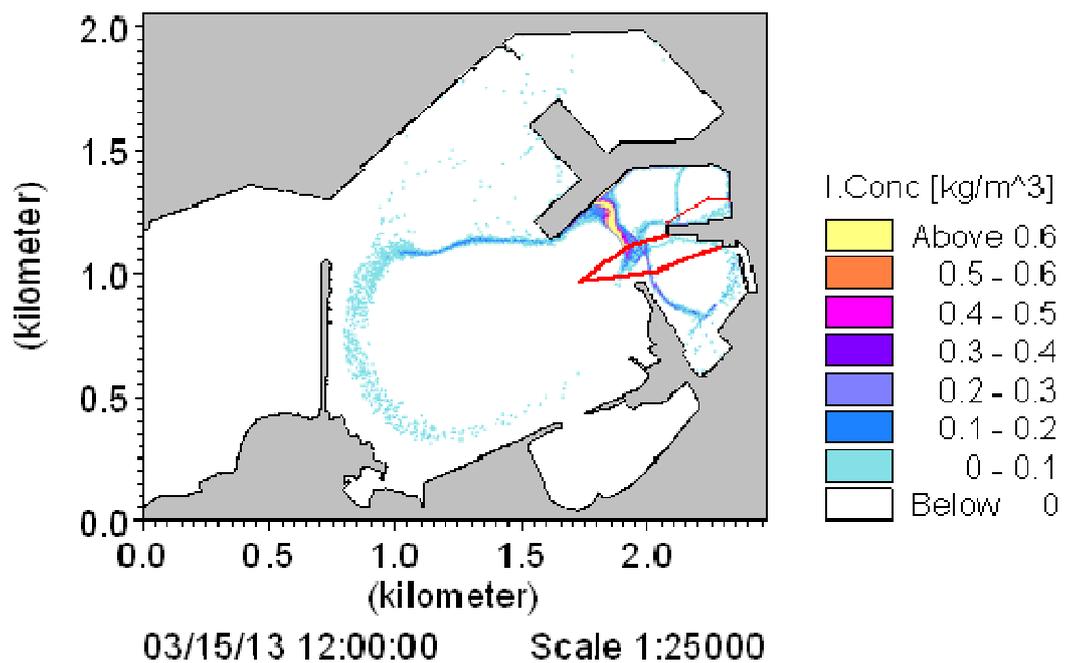


Figura 15. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 11° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

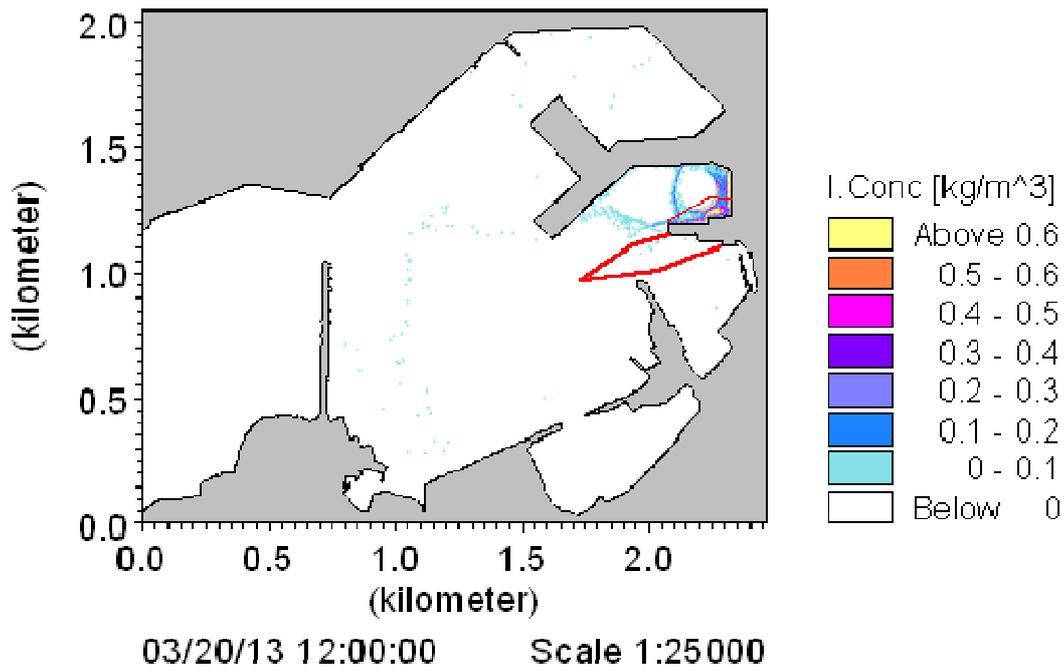


Figura 16. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 16° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

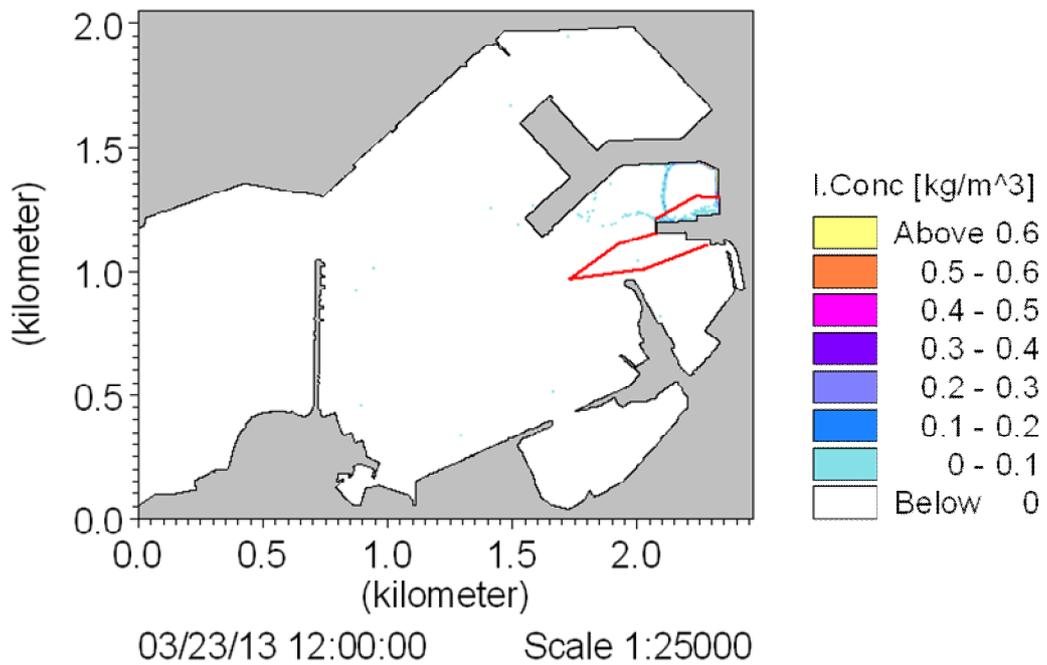


Figura 17. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 19° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

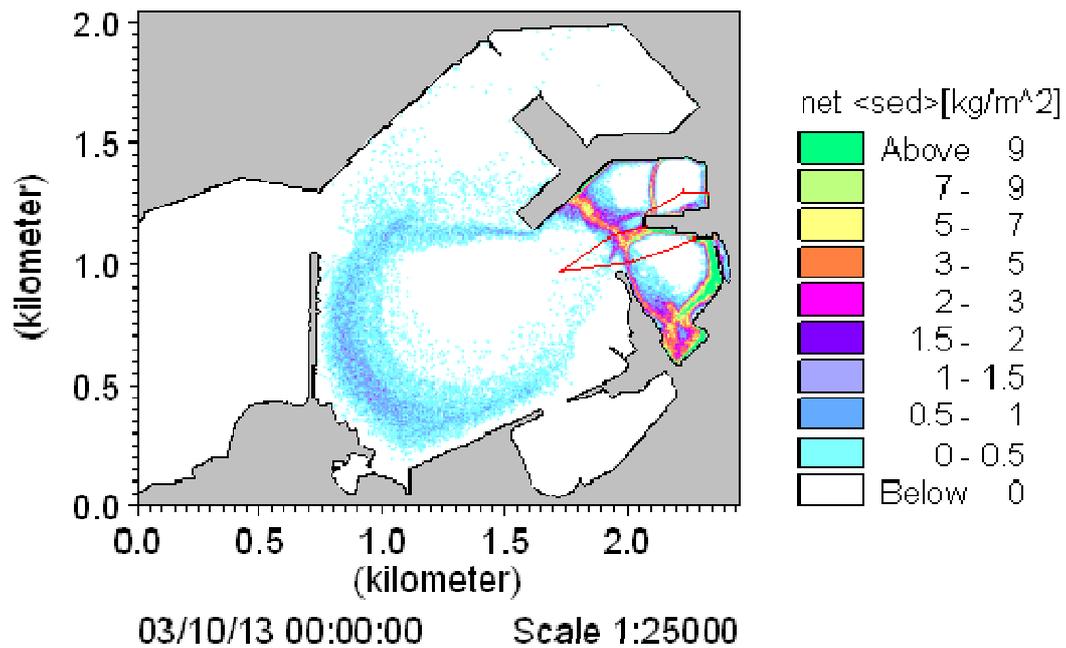


Figura 18. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 6° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 00:00.

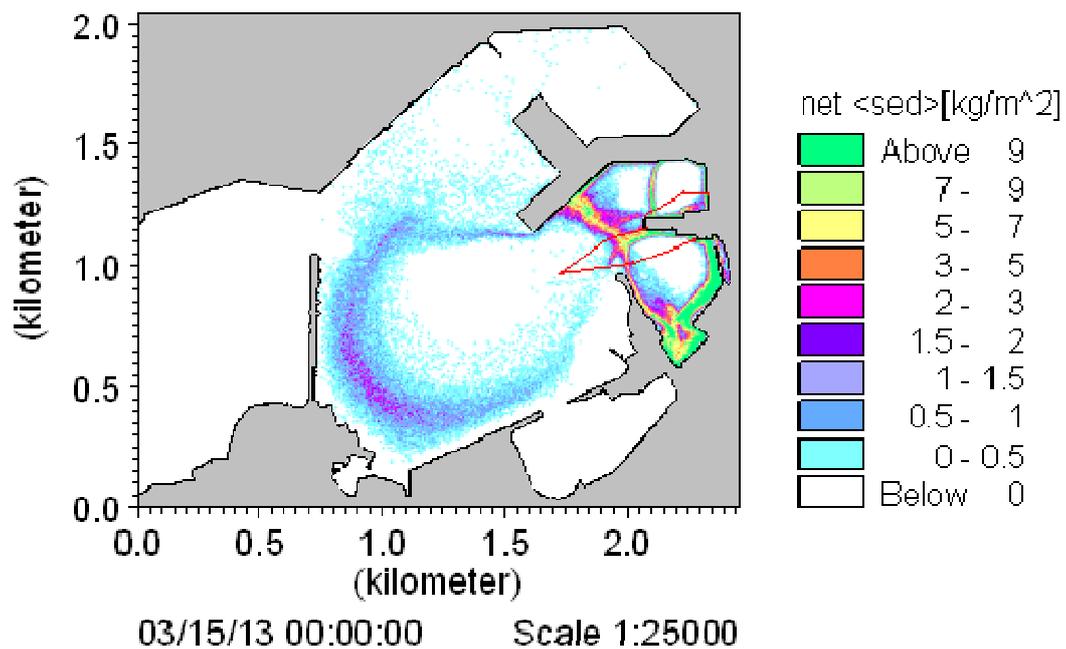


Figura 19. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 11° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 00:00.

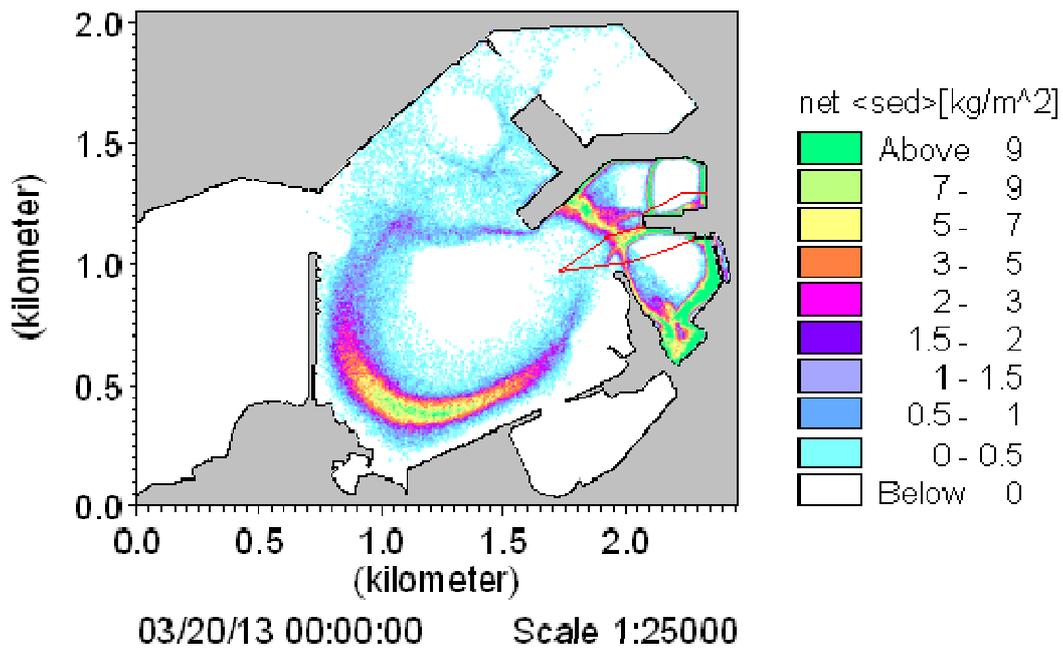


Figura 20. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 16° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 00:00.

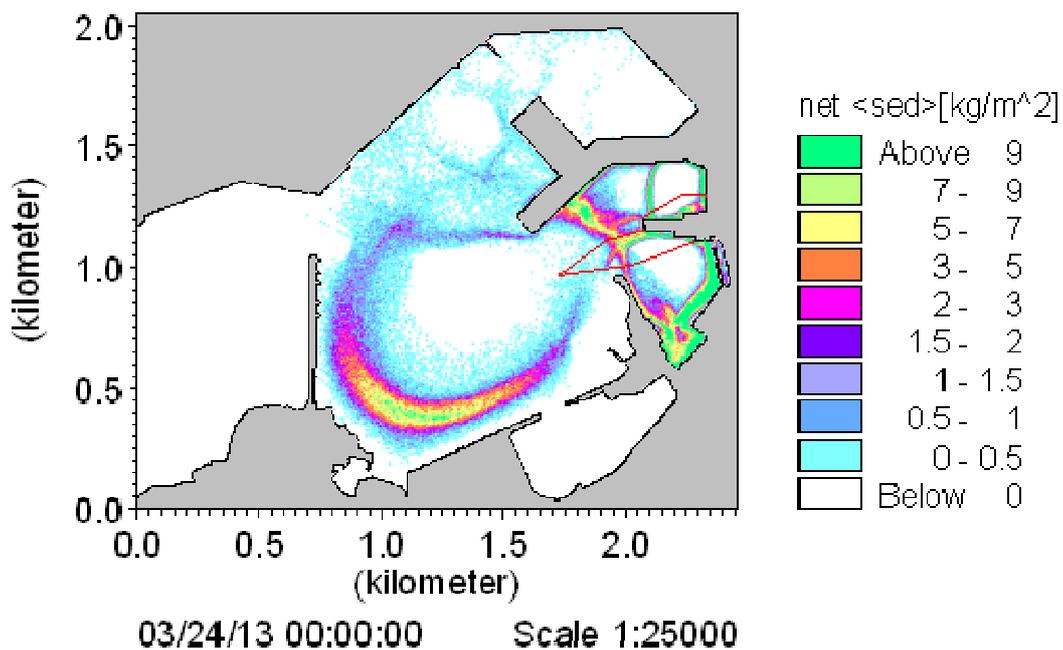


Figura 21. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 20° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 00:00.

#### 4.3 Dragaggio in area C

Il dragaggio dell'area C è caratterizzato dal fatto che la modesta circolazione nella Darsena di San Vito determina il permanere in quella stessa area dei sedimenti risospesi, senza

interessare la parte centrale dell'area portuale, se non in maniera marginale e dopo molti giorni dall'inizio delle operazioni di dragaggio.

Si rilevano concentrazioni istantanee basse che lambiscono la linea di riva (Figg. 22÷24), mentre nella parte centrale della darsena si osserva una piuma ricurva, con le maggiori concentrazioni, che segue il trend del vortice ciclonico stazionario che si instaura in quella zona. Le concentrazioni sono ancora più basse di quelle osservate nei casi di dragaggio in area A e B.

La lettura delle mappe di distribuzione dei sedimenti risospesi evidenzia che la maggior parte dei sedimenti viene trasportata verso la costa a nord, tendendo verso l'esterno della Darsena. Permane una fascia molto sottile di sedimenti che si ridepositano lungo la riva a sud e ad est. Le quantità di materiale sedimentato sono piuttosto contenute, con valori massimi intorno ai  $9\text{kg/m}^2$ , come si rileva dalle Figure 25÷27 solo nella parte centrale della Darsena stessa.

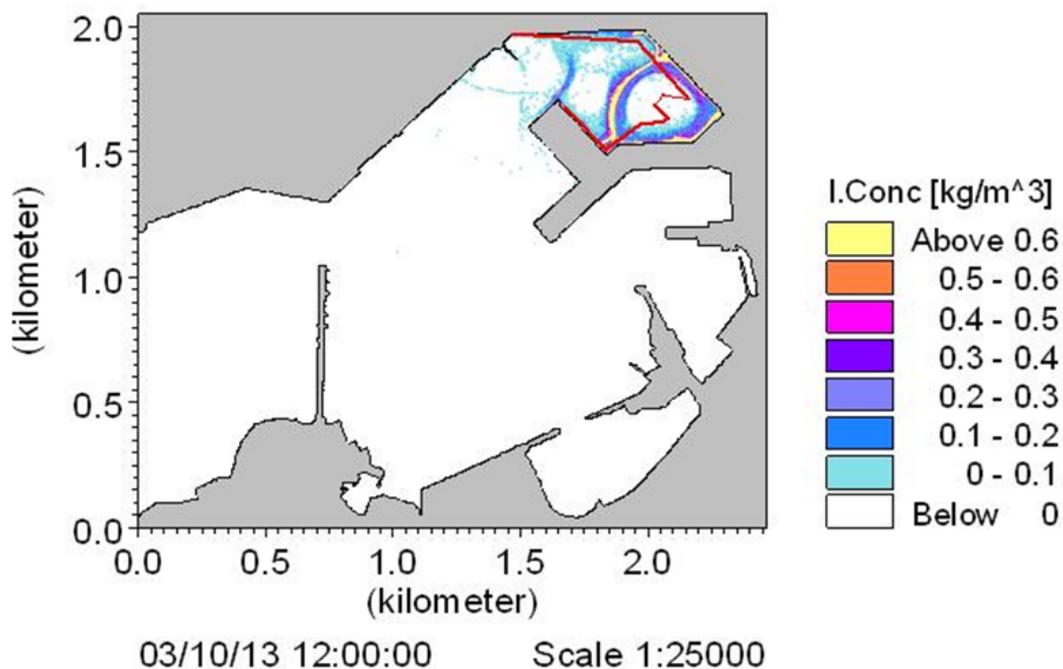


Figura 22. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 6° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

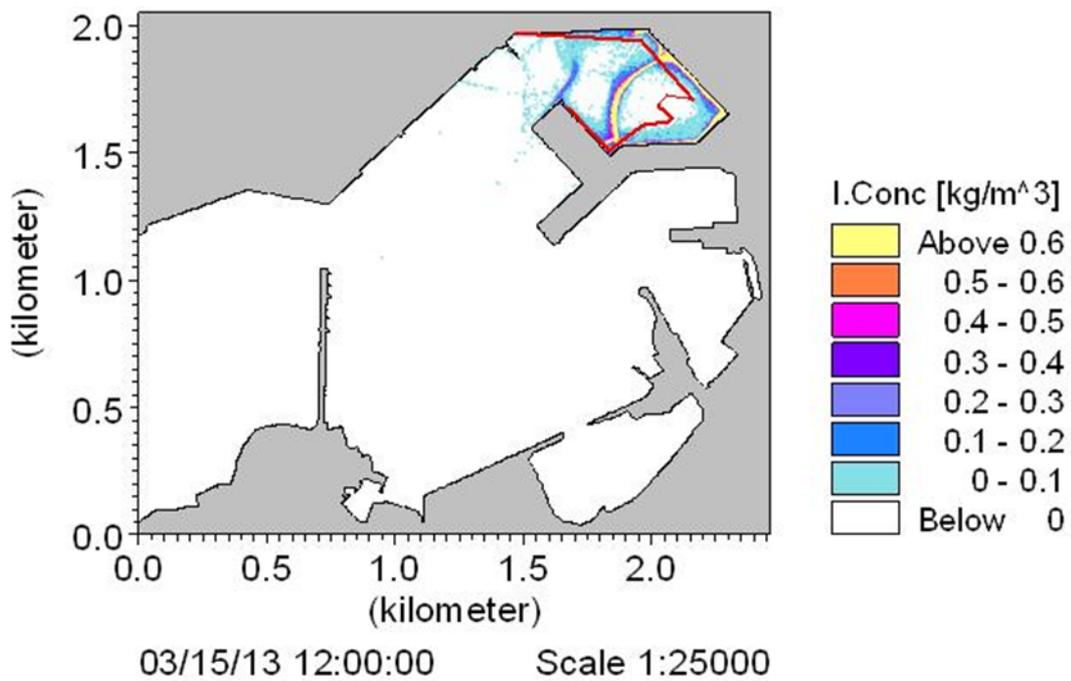


Figura 23. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 11° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

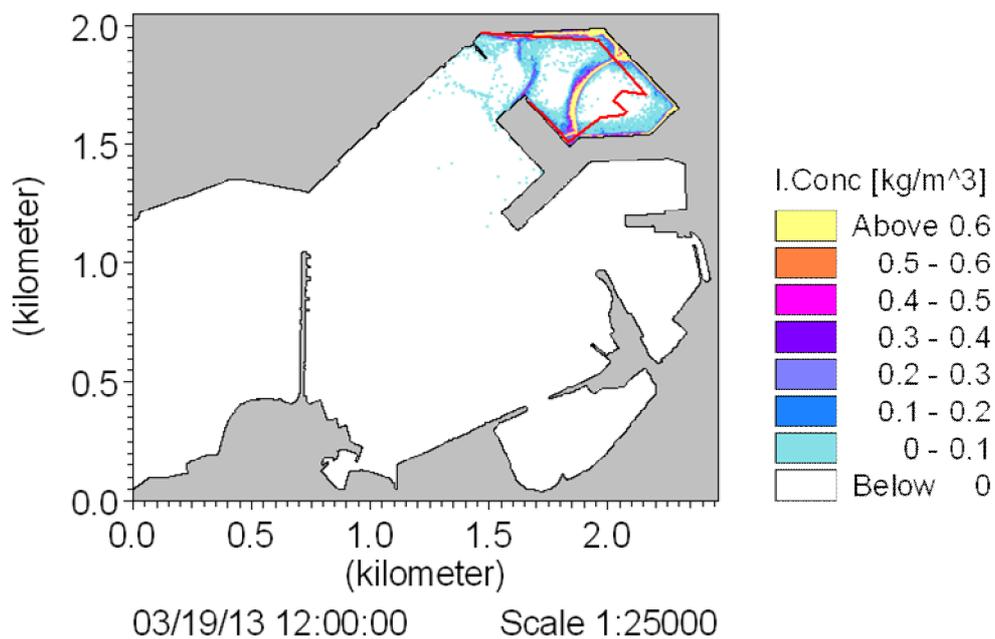


Figura 24. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 15° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

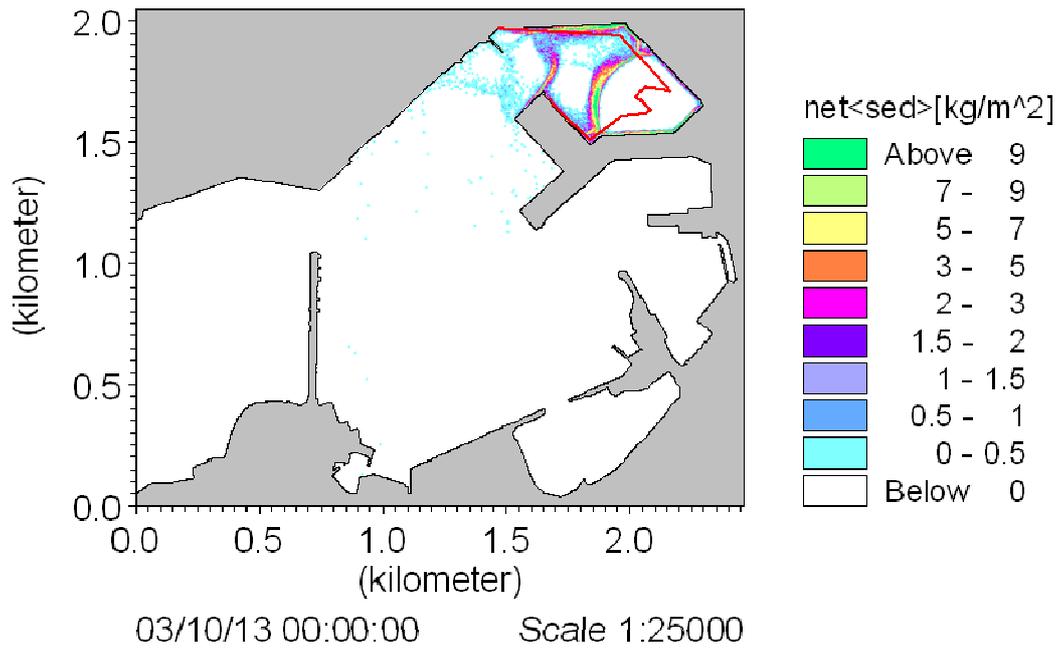


Figura 25. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 6° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 00:00.

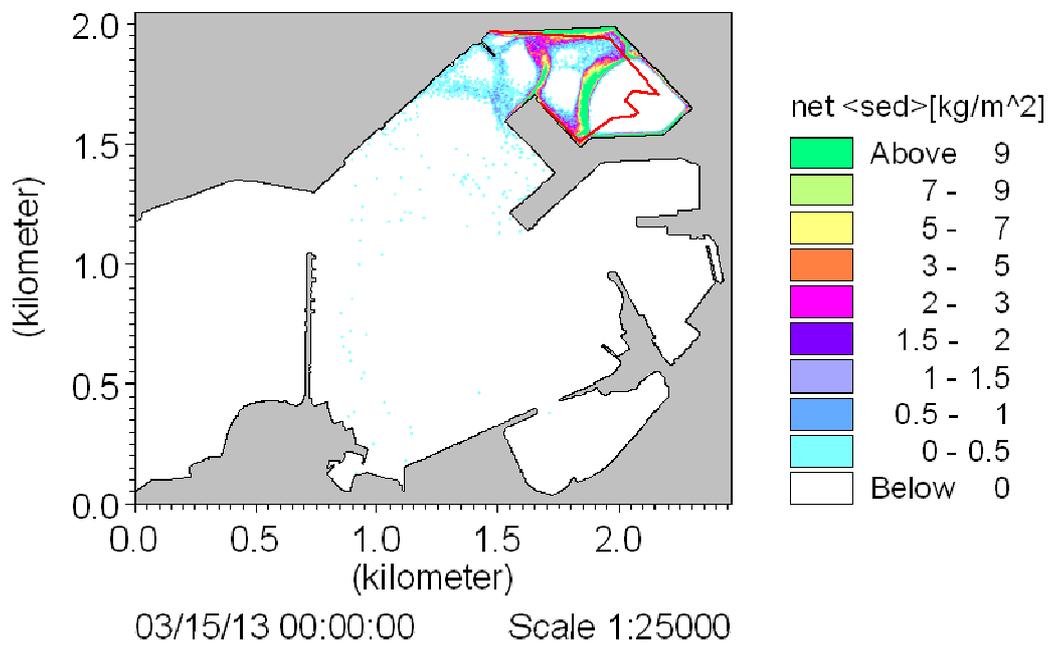


Figura 26. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 11° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 00:00.

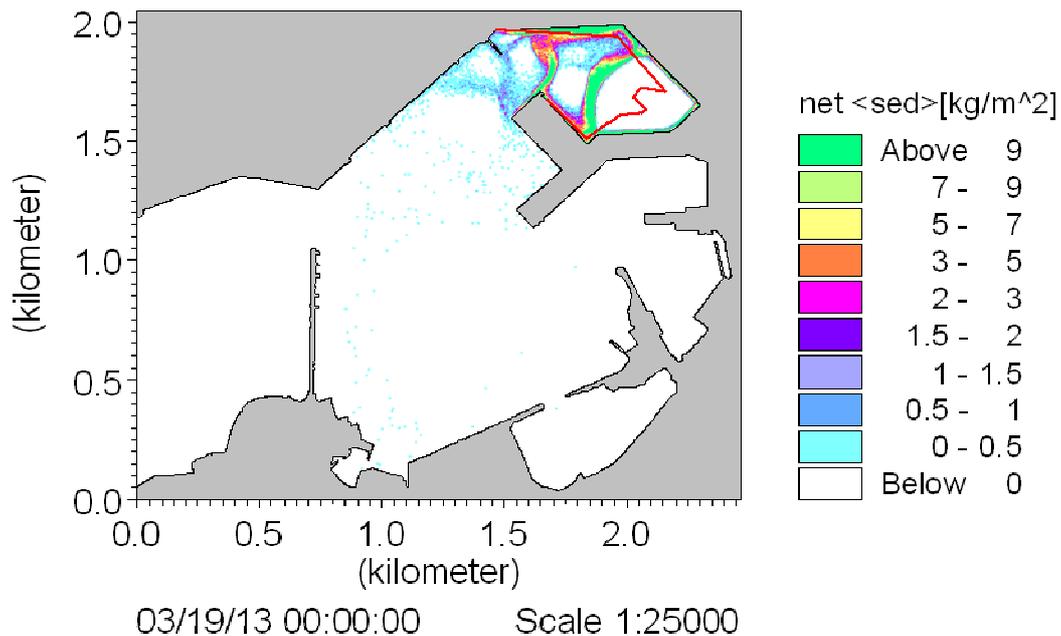


Figura 27. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 15° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 00:00.

### 5. ULTERIORI MAPPE DI VULNERABILITÀ

Al fine di valutare altri possibili scenari dovuti a variazioni di forzanti agenti, si è utilizzata sempre la stessa procedura di elaborazione, ma si è leggermente variato l'input della simulazione idrodinamica. Si è imposto infatti un vento che differisce dal precedente caso esaminato quanto a direzione, ovvero un vento proveniente da Sud e di intensità pari a 5 m/s, lasciando invariate tutte le altre caratteristiche del run, tra cui la stessa azione della marea.

I risultati della prova solo idrodinamica evidenziano anche in questo caso velocità piuttosto contenute, sebbene maggiori di quelle osservate nella simulazione precedente, forzata con un vento proveniente da Ovest. In Fig. 28 si riporta la mappa orizzontale delle correnti, alle ore 12:00 del 10° giorno di simulazione e alle ore 12:00 del 20° giorno di simulazione, in analogia a quanto mostrato in Fig. 4. La topografia del luogo determina anche in questo caso la formazione di un grosso vortice interno al porto che tiene confinato il flusso in ingresso. La situazione non cambia sostanzialmente anche se si valutano altri istanti temporali, corrispondenti a situazioni di bassa marea e quindi a possibili efflussi dal bacino.

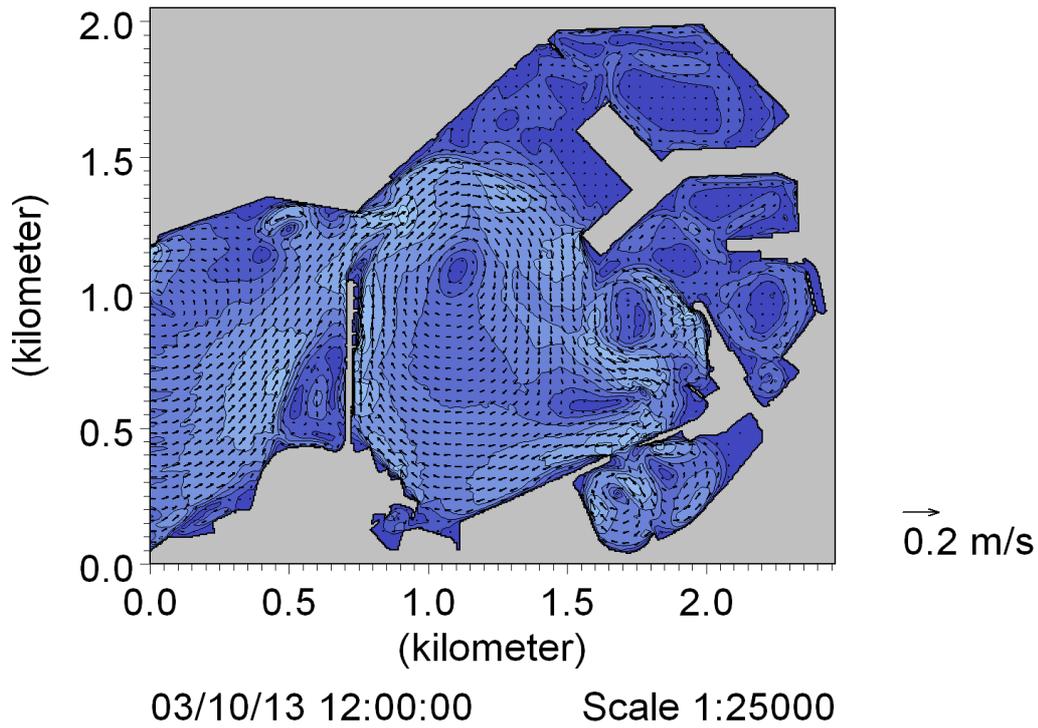


Figura 28. Mappa delle velocità orizzontali nel 10° giorno di simulazione, ore 12:00.

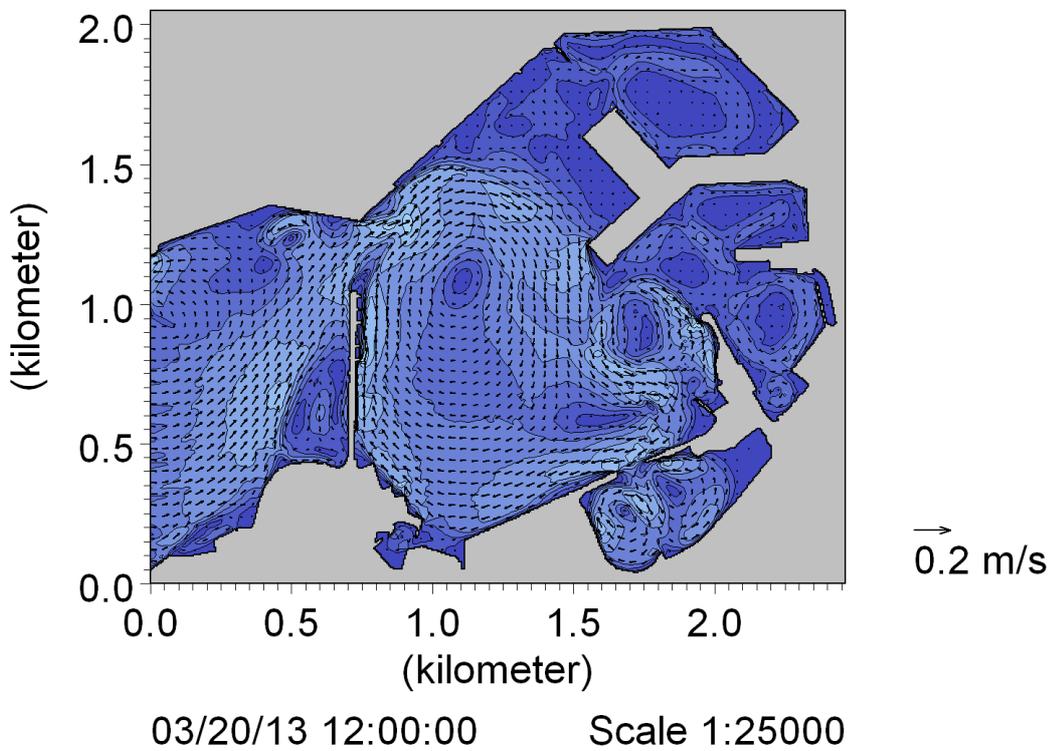


Figura 29. Mappa delle velocità orizzontali nel 20° giorno di simulazione, ore 12:00.

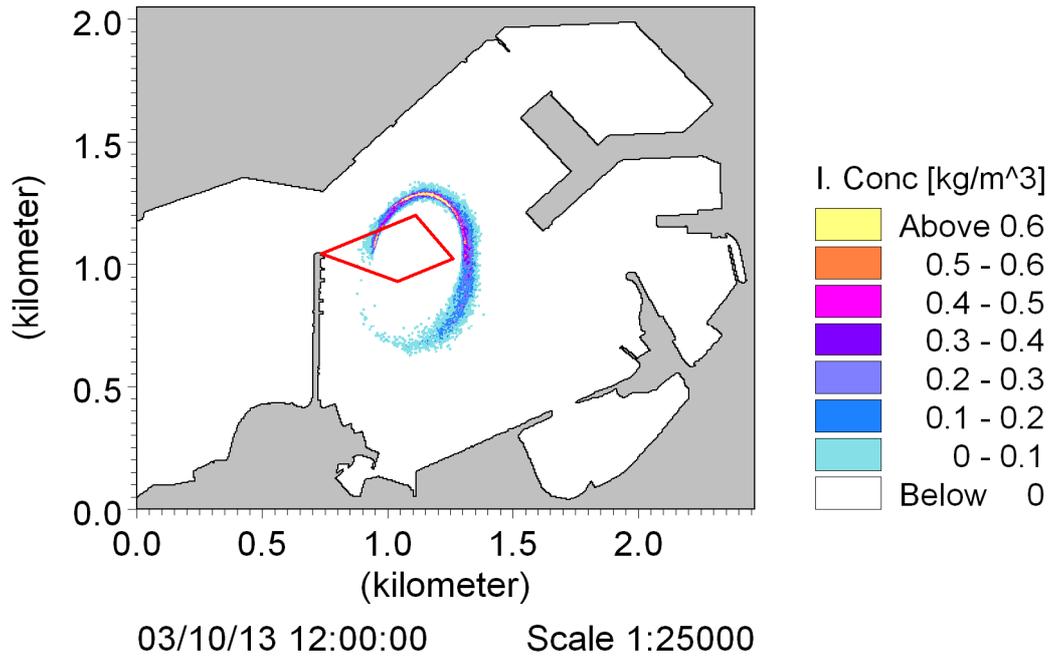


Figura 30. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 10° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

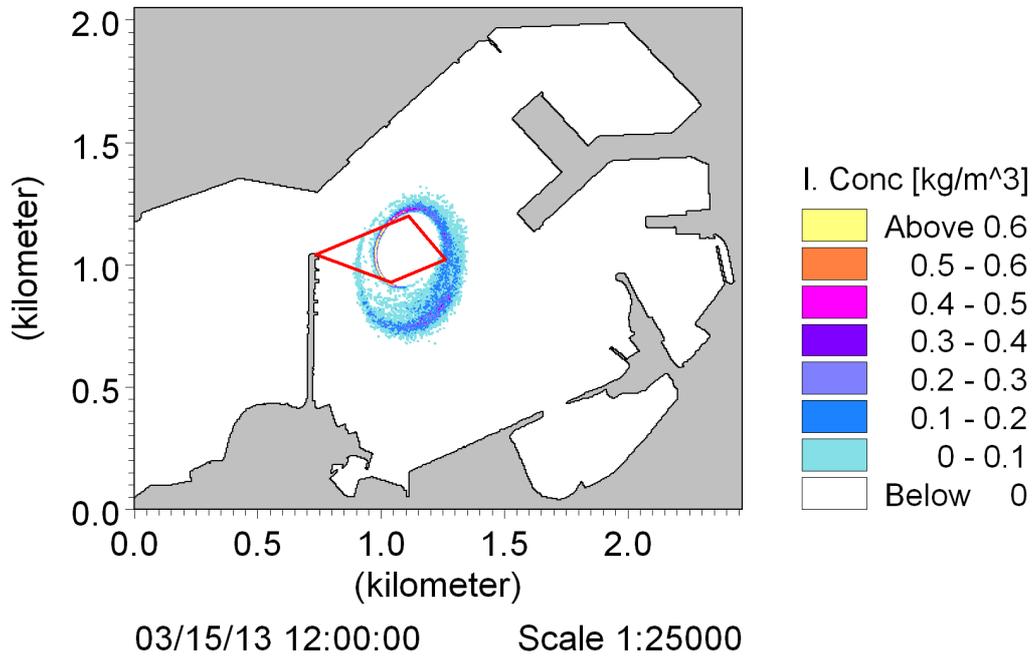


Figura 31. Concentrazione istantanea dei sedimenti risospesi. 15° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

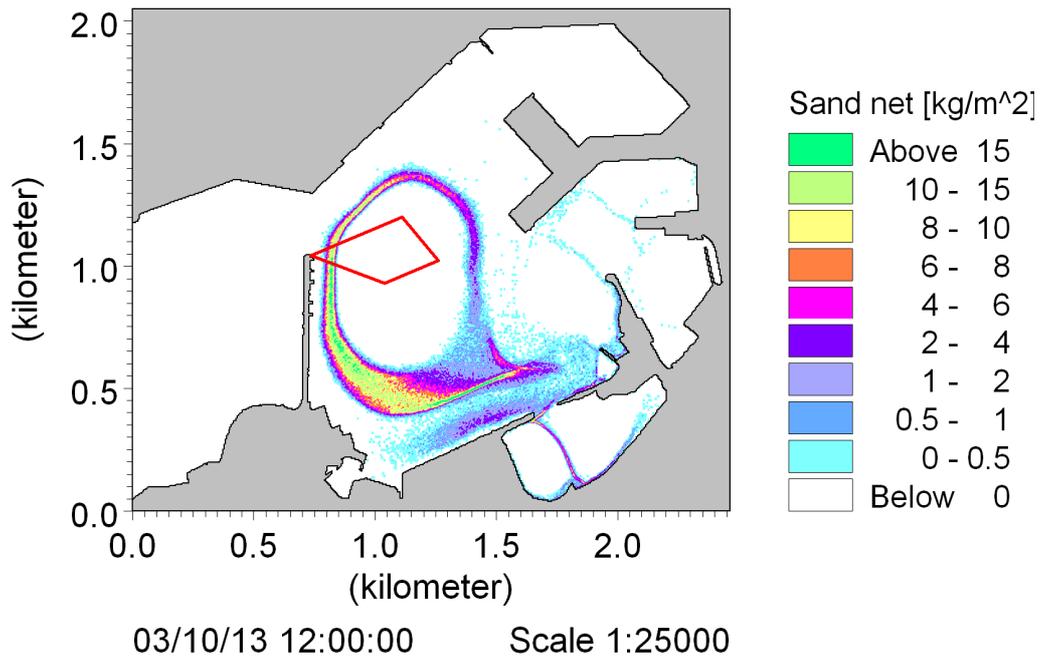


Figura 32. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 10° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

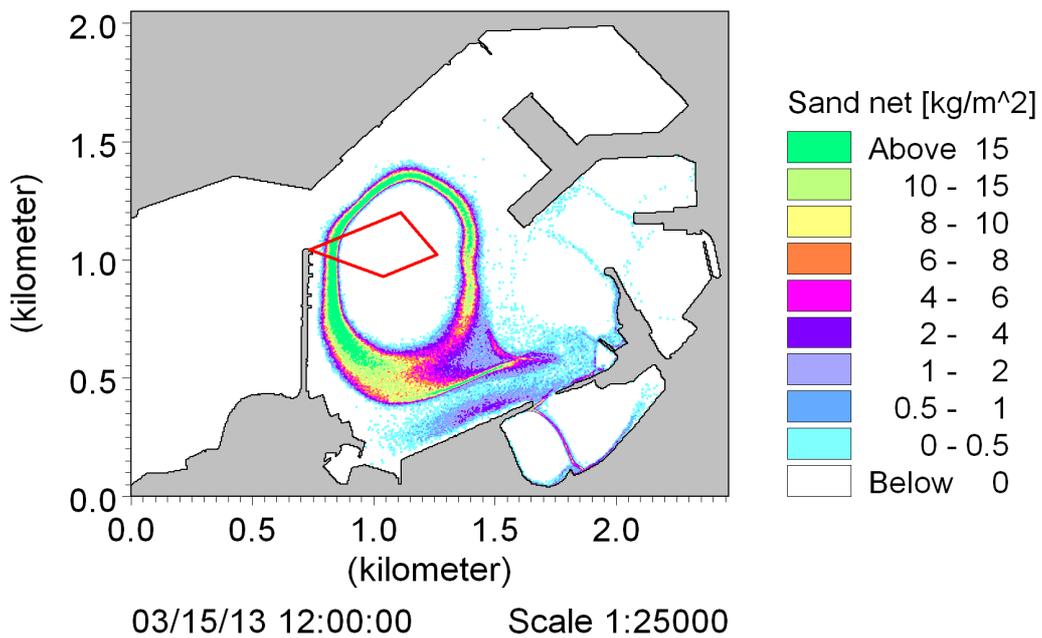


Figura 33. Deposito dei sedimenti risospesi. Distribuzione al 15° giorno dall'inizio del dragaggio, ore 12:00.

## **BIBLIOGRAFIA**

Ben Meftah, M., De Serio, F., Mossa, M., Petrillo and A., Pollio, A. (2007). *Current circulation in the gulf of Taranto: numerical simulations and experimental data analysis*, Proc. FLUCOME 2007, Tallahassee, Florida (USA), September 16-19.

Ben Meftah, M., De Serio, F., Mossa, M., Petrillo, A. F. and Pollio A. (2009) *Numerical results of the pollutant spreading offshore Taranto (Italy)*, Proc. 33rd IAHR, Vancouver, August.

Ben Meftah M., Damiani L., De Serio F., Mossa M. and Petrillo A.F. (2011). *Analysis of current circulation in the port of Bari*, Geo-Eco-Marina, vol.n.17, ISSN: 2248–2776.

Hayes D., Wu P.Y. (2001), *Simple approach to TSS source strength estimates*, WEDA proceedings, WEDA XXI, Houston, June 15 -27.

Nakai O., (1978), *Turbidity Generated by Dredging Projects*, Proc. of the Third U.S./Japan Experts Meeting, EPA-600/3-78-084, pp 31-47.

Palermo M., Schroeder P., Estes T., Francingues N., (2008), *Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments*, (ERDC/EL TR-08-29 166)

Wu, J. (1980). *Wind stress coefficients over sea surface and neutral conditions*, Journal of Phys. Oceanography, 10, 727-740.