

EMERGENZA GAS  
INCREMENTO CAPACITÀ DI RIGASSIFICAZIONE (DL 17.05.2022, n. 50)  
FSRU Ravenna e Collegamento alla Rete Nazionale Gasdotti

**RISPOSTA ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI DA  
PARTE DI ARPAE - RIF. Prot. CG.2022.0000018 del  
18.08.2022 (come invio nota commissario)**

Genova, 24 settembre 2022



Prof. Ing. Giovanni Besio



Ing. Francesco De Leo



Ing. Mohammad Daliri



## **PREMESSA**

Il presente elaborato intende rispondere alle osservazioni pervenute dall'Agenzia Prevenzione Ambiente Energia Emilia-Romagna (ARPAE), tramite Prot. CG.2022.0000018 del 18.08.2022, in merito al documento REL-AMB-E-09010 – STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE TERMICA/CHIMICA IN FASE DI ESERCIZIO AL LARGO DEL TERMINAL PORTUALE DI RAVENNA (RA), redatto dall'Università degli Studi di Genova e di seguito abbreviato in "REL-AMB-E-09010".



## SOMMARIO

1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....4
2. RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI PERVENUTE.....5



## GLOSSARIO

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler. È uno strumento per la misura puntuale di corrente, trasporto solido e caratteristiche d'onda ancorato sul fondale marino
ARPAE	Agenzia Prevenzione Ambiente Energia Emilia-Romagna (ARPAE)
CFSR	Climate Forecast System Reanalysis
CMEMS	Copernicus Marine Service. Database di dati geofisici a cura di Copernicus – Unione Europea
Delft3D	Modello numerico usato per lo studio dell'idrodinamica costiera (https://oss.deltares.nl/web/delft3d)
DICCA	Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale dell'Università degli Studi di Genova
Drifter	Dispositivo galleggiante, non ancorato al fondo, usato per il rilevamento delle correnti marine
FSRU	Floating Storage and Regassification Unit. È una nave in grado di stoccare e rigassificare gas allo stato liquido
Hindcast	Ricostruzione di serie storiche di dati meteo-marini tramite opportuni modelli di calcolo
NCEP	National Center for Environmental Prediction
SNAM	Società NAzionale Metanodotti
TPXO.3	TOPEX/Poseidon software per il calcolo delle oscillazioni mareali
WW3	Wavewatch III – modello numeric per il calcolo dei parametri anemometrici e ondametrici a larga scala



## 1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

I documenti cui si fa riferimento nel prosieguo della seguente relazione sono di seguito elencati:



- REL-AMB-E-09010 – STUDIO MODELLISTICO DI DISPERSIONE TERMICA/CHIMICA IN FASE DI ESERCIZIO PRESSO AL LARGO DEL TERMINAL PORTUALE DI RAVENNA (RA), redatto dal Dipartimento di Ingegneria Civile Chimica e Ambientale dell'Università degli Studi di Genova (DICCA);
- Prot. CG.2022.0000018 a cura di ARPAE.

## 2. RISPOSTA ALLE OSSERVAZIONI PERVENUTE

La prima osservazione, rilevata a pagina 1 del documento CG.2022.0000018 del 08/08/2022, riporta:

*“Nel documento REL-AMB-E-09010\_r0\_Dispo. Term+Chim., qualora non fosse già presente, è opportuno riportare il processo di validazione dei modelli presentati attraverso misure di campo, eventualmente anche utilizzando dati mareografici locali già presenti.”*

Tale commento richiede una precisazione: l'approccio modellistico è l'unico che permetta un'analisi areale su lassi temporali estesi; la misura delle correnti tramite apposita strumentazione *in situ* fornisce infatti informazioni puntuali (è questo, ad esempio, il caso degli Acoustic Doppler Current Profiler o ADCP), al più definite lungo determinate traiettorie (come nel caso dei drifter). Tali misure, pertanto, potrebbero al massimo essere utilizzate come benchmark di riferimento per la validazione di modelli numerici atti a ricostruire le complesse dinamiche che si sviluppano in prossimità della zona costiera, cui si deve invece far riferimento qualora si intendano derivare informazioni esaustive nel tempo e nello spazio.

La scelta del modello numerico è dunque ricaduta su Delft3D, il quale, sebbene non sia stato esplicitamente validato in riferimento all'area di studio, rappresenta indubbiamente il modello più diffuso all'interno della comunità scientifica internazionale; vedasi a titolo di esempio alcuni riferimenti nella lista no. 1 riportata in coda al testo (si noti che la lista è lunga dall'essere esaustiva). Essendo costantemente mantenuto e sviluppato, il modello numerico Delft3D rappresenta uno strumento solido e attendibile per il calcolo di idrodinamica e morfodinamica marittima e costiera, e, in conseguenza, della dispersione indotta nei confronti della concentrazione di cloro e del gradiente termico in uscita dall'impianto a servizio della FSRU.

Un commento ulteriore meritano i dati utilizzati per forzare il modello: se, come affermato in precedenza, questo rappresenta uno strumento di assoluta affidabilità, deve essere accoppiato con dati altrettanto validi al fine di calcolare correttamente le correnti litoranee ed il trasporto solito indotto. Questi dati altro non sono che le forzanti ambientali in grado di generare correnti a scala locale, ovvero venti, onde, maree. Nel caso delle maree, le serie temporali di riferimento sono state estratte tramite il software di previsione di marea TPXO.3<sup>1</sup>, largamente utilizzato nella

<sup>1</sup> Egbert, G. D., Bennett, A. F., & Foreman, M. G. (1994). TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 99(C12), 24821-24852.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale

[dicca.unige.it](http://dicca.unige.it)

P. IVA 00754150100

+39 010 3352491

Via Montallegro 1, 16145 Genova

[direttore@dicca.unige.it](mailto:direttore@dicca.unige.it)

comunità scientifica e dunque opportunamente testato; si osservi peraltro che, dipendendo dal moto relativo dei gravi, le maree sono un segnale deterministico e dunque facile da calcolare.

Per quanto attiene ai dati di vento ed onda, sono state invece utilizzate le serie temporali ricostruite dal DICCA (il cosiddetto Hindcast). Queste sono stati ricostruite su tutto il Mar Mediterraneo tramite il modello numerico Wavewatch III<sup>2</sup> (WW3) a partire dai dati meteorologici forniti dal NCEP Climate Forecast System Reanalysis, CFSR per il periodo 1979-2010, e dal CFSv2 a partire dal 2011. Per i dettagli si rimanda alle pubblicazioni scientifiche di riferimento<sup>3,4</sup>. Anche questi dati sono stati opportunamente validati con misure strumentali attendibili (quali boe e satelliti), e sono attualmente utilizzati per una pletora di applicazioni sia nel campo della ricerca scientifica, come mostrato nella lista no. 2 in coda al presente documento, che per attività peritali e consultive nell'ambito dell'ingegneria marittima e costiera. I dati sono forniti a intervalli orari su un esteso intervallo di tempo (i.e., 1979-2020), e rappresentano pertanto la miglior fonte possibile per la definizione dei parametri meteo-marini in prossimità dell'area di studio.

Infine, per considerare le circolazioni di corrente a scala di bacino, ci si è avvalsi dei dati E.U. Copernicus Marine Service (CMEMS), forniti dal programma Copernicus dell'Unione Europea (<https://marine.copernicus.eu/it>), ed in particolare del prodotto MEDSEA\_MULTIYEAR\_PHY\_006\_004 ([https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA\\_MULTIYEAR\\_PHY\\_006\\_004\\_E3R1](https://doi.org/10.25423/CMCC/MEDSEA_MULTIYEAR_PHY_006_004_E3R1))<sup>5</sup>. Anche i suddetti dati sono stati ampiamente testati e validati, come riportato nel *Quality Information Document* allegato al prodotto in questione.

In sintesi, il modello ed i dati utilizzati per lo studio ambientale del DICCA rappresentano, allo stato dell'arte, lo strumento ottimale per il calcolo delle correnti litoranee e del trasporto solido indotto a scala di dettaglio nell'area costiera di Ravenna.

<sup>2</sup> Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14. Technical note, *MMAB Contribution*, 276(220).

<sup>3</sup> Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2015). Performance evaluation of Wavewatch III in the Mediterranean Sea. *Ocean Modelling*, 90, 82-94.

<sup>4</sup> Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2013). Developing and validating a forecast/hindcast system for the Mediterranean Sea. *Journal of Coastal Research*, (65 (10065)), 1551-1556.

<sup>5</sup> Escudier, R., Clementi, E., Omar, M., Cipollone, A., Pistoia, J., Aydogdu, A., Drudi, M., Grandi, A., Lyubartsev, V., Lecci, R., Cretí, S., Masina, S., Coppini, G., & Pinardi, N. (2020). Mediterranean Sea Physical Reanalysis (CMEMS MED-Currents) (Version 1) set. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS).

In secondo luogo, si richiede a pagina 2 dello stesso documento:

*“Valutazioni sulla gestione dei sedimenti: definita l’area da dragare e, di conseguenza, i volumi dei sedimenti da movimentare, si chiede di approfondire, attraverso uno studio modellistico, le dinamiche legate alla movimentazione dei sedimenti marini e di stimare la frequenza con la quale dovranno essere riprogrammati gli interventi di dragaggio, per ripristinare la batimetria necessaria a svolgere in sicurezza le operazioni di ormeggio/navigazione e le eventuali azioni correttive che potrebbero essere messe in campo.”*

A tal proposito, lo studio modellistico REL-AMB-E-09010 è stato integrato con un’analisi morfodinamica volta a quantificare il trasporto solido al fondo indotto dalle forzanti meteo-marine locali.

La planimetria del canale escavato è riportata nell’Allegato 1. Per quanto riguarda la granulometria del materiale al fondo, si fa riferimento alle analisi svolte dal Dipartimento di Scienze della Terra dell’Ambiente e della Vita dell’Università degli Studi di Genova sulla base di cinque campioni rilevati nell’area di studio (cfr. Allegato 2). Tali analisi forniscono un diametro mediano dei sedimenti ( $D_{50}$ ) pari a ca. 0.02 mm. Tuttavia, tale parametro non contempla di per sé la frazione granulometrica più grossa che pure si riscontra in loco (ovvero la sabbia), in quanto esplicativo della sola componente limosa. In virtù di questa considerazione, si è scelto di assumere a fini modellistici un diametro caratteristico più elevato e pari a 0.1 mm, caratteristico della sabbia fine. Tale scelta permette di caratterizzare il materiale presente al fondo come *moderatamente classato* (ovvero, diverse frazioni coesistenti con una componente prevalente), utilizzando appositi modelli per il trasporto solido di materiale *non coesivo*, i quali sono affetti da un minor margine di incertezza.

Si è dapprima svolta un’analisi parametrica sulle condizioni necessarie a mobilitare il materiale sul fondo, calcolando la corrente critica tramite il modello di Soulsby<sup>6</sup>:

$$U_{cr} = 7 \left( \frac{h}{D_{50}} \right)^{1/7} [g(s-1)D_{50}f(D_*)]^{1/2} \quad (1)$$

Essendo  $h$  la profondità del fondale,  $g$  l’accelerazione di gravità (pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>),  $s$  il rapporto tra densità di sedimento e densità dell’acqua di mare (poste pari a 2650 kg/m<sup>3</sup> e 1025 kg/m<sup>3</sup>),  $D_*$  il diametro critico (funzione dei parametri  $D_{50}$ ,  $s$ ,  $g$  e della viscosità cinematica dell’acqua  $\nu$ , posta pari a 1.36×10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s. Il fattore  $f(D_*)$  si calcola come:

$$f(D_*) = \frac{0.30}{1+1.2D_*} + 0.055 \times [1 - \exp(-0.02D_*)] \quad (2)$$

<sup>6</sup> Soulsby, R. (1997). Dynamics of marine sands.

La velocità critica  $U_{cr}$  rappresenta il valore limite al di sotto del quale il sedimento di assegnato diametro non viene movimentato. Considerando la profondità locale pari a 15 metri, la velocità critica per il caso in esame risulta essere pari a 0,45 m/s. Tale valore di corrente è stato posto a confronto con i dati di corrente ricostruiti dal CMEMS nell'arco dell'anno 2019 (i dati più recenti disponibili) in corrispondenza del canale dragato (coordinate LON/LAT: 12,424/44,478; SR: WGS84). I risultati sono mostrati in Figura 1:

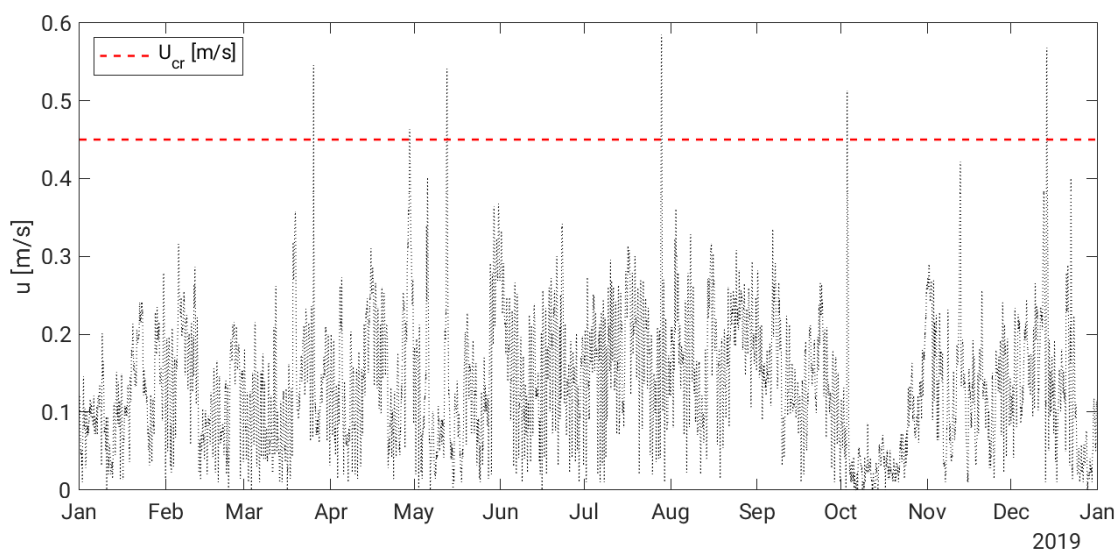


Figura 1. Analisi della circolazione litoranea a larga scala rispetto alla corrente critica calcolata tramite Soulsby (1997).

L'analisi preliminare mostra come le correnti oceaniche a scala di bacino siano mediamente non sufficienti per generare trasporto solido al fondo, essendo la velocità limite  $U_{cr}$  ecceduta in rare occasioni nel corso dell'anno. Pertanto, si è proceduto in seconda analisi ad effettuare una modellazione morfodinamica completa includendo i contributi di vento e onde, risolvendo le equazioni di trasporto e diffusione tramite il modello di calcolo Delft3D.

È stato considerato lo scenario meteo-marino numero 4, poiché associato alla mareggiata più intensa (cfr. capitolo 2 dell'elaborato REL-AMB-E-09010) e dunque rappresentativo delle condizioni potenzialmente più critiche dal punto di vista del trasporto solido indotto. La geometria implementata all'interno del modello è mostrata in Figura 2, la quale mostra inoltre la destinazione finale del materiale di scavo (come da progetto; cfr. Allegato 3); **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Figura 3 mostra un inciso sulla maglia computazionale in corrispondenza del canale dragato e dell'area di ancoraggio.



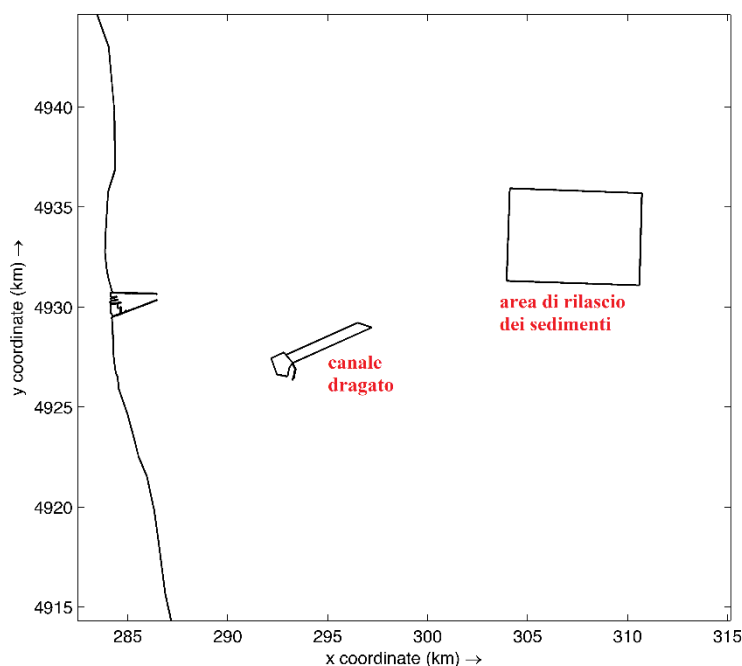


Figura 2. Geometria dell'area di studio con la localizzazione del canale dragato e dell'area di rilascio dei sedimenti.

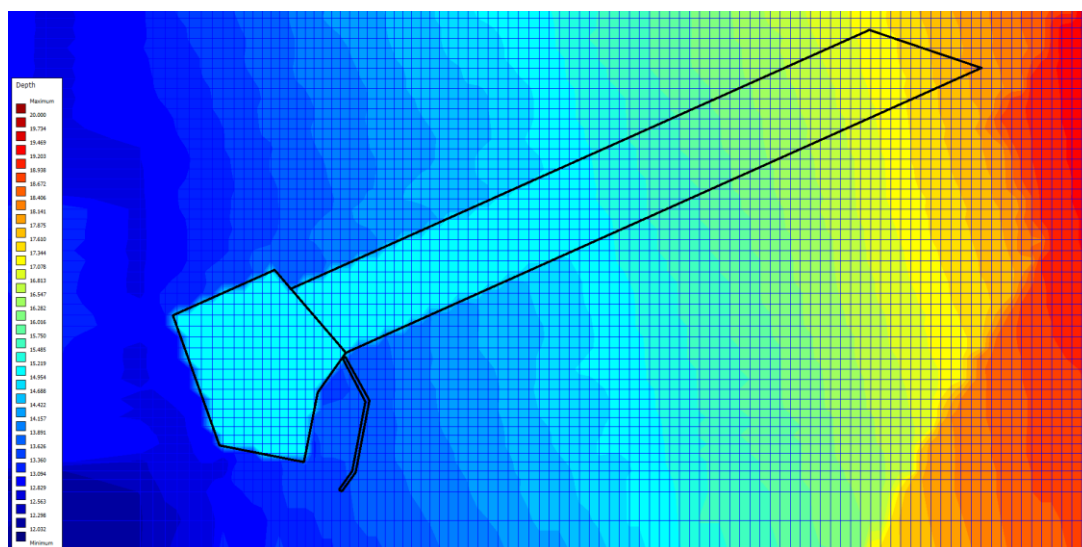


Figura 3. Close-up sul canale dragato e relativa batimetria. Si può notare la nuova diga in cassoni a protezione della FSRU ad est dell'area di ormeggio (lato costa del canale).

La figura sottostante mostra le aree su cui si verificano erosione (in blu) o sedimentazione (in rosso) alla fine della settimana di simulazione. Si può notare come la mareggiata associata allo scenario meteo-marino 4 induca uno scavo localizzato nella parte limitrofa all'area di ormeggio, ed il materiale escavato dalle correnti sulla

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale**

[dicca.unige.it](http://dicca.unige.it)

P. IVA 00754150100

+39 010 3352491

Via Montallegro 1, 16145 Genova

[direttore@dicca.unige.it](mailto:direttore@dicca.unige.it)

sponda del canale venga depositato prevalentemente a tergo della diga e, in minor parte, nell'area a sud della zona di ormeggio (cfr. Figura 4).

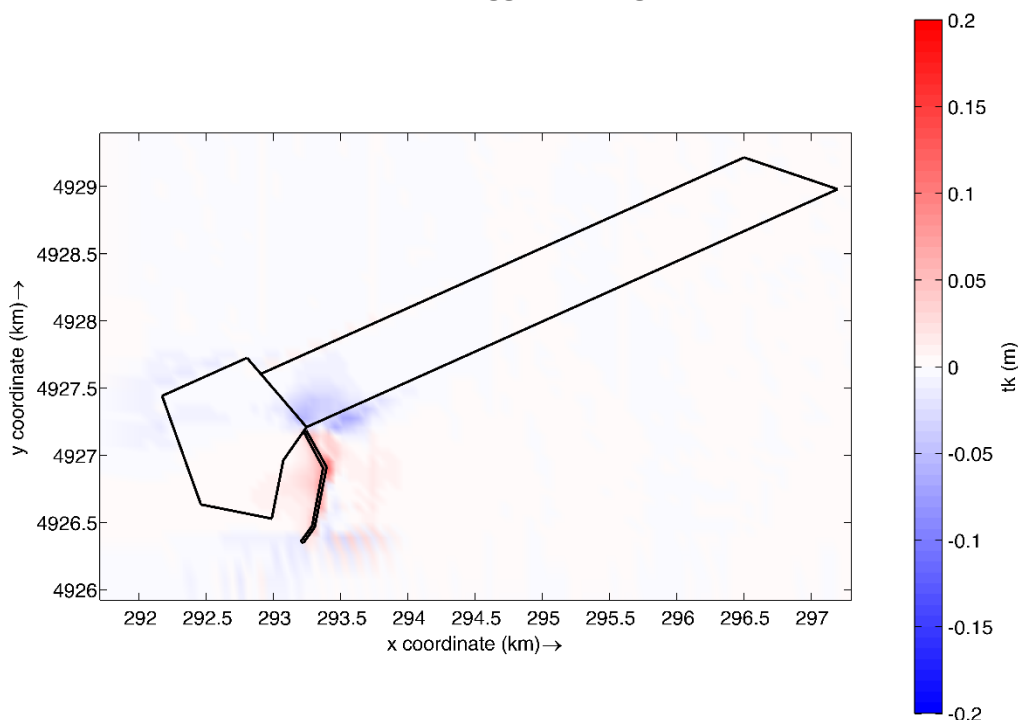


Figura 4. Risultati della simulazione morfodinamica associata allo scenario meteo-marino no. 4.

Il risultato di cui sopra richiede un chiarimento: generalmente, i canali dragati fungono da *sediments trap*, ovvero tendono ad interrarsi a causa della discontinuità indotta nel profilo batimetrico del fondale su cui insistano. In questo caso, si rileva al contrario un'area di scavo sulla sponda del canale (cd. *Back Encroachment*<sup>7</sup>), pur se di modesta entità. Ciò è dovuto alla batimetria del canale stesso, che presenta un gradiente ridotto rispetto alla quota del fondale limitrofo (2 metri al massimo nella zona destinata all'ormeggio; vedi Figura 3). Il pattern erosivo morfodinamico evidenziato in Figura 4 è dunque da imputarsi alle direzioni prevalenti di vento e onde, che afferiscono rispettivamente ai settori di grecale e levante, ed inducono di conseguenza una direzione prevalente di trasporto solido lungo la direzione E/NE – W/SW.

Le caratteristiche della tempesta utilizzata per forzare il modello (onde e vento molto intensi, dunque infrequenti) permettono inoltre di asserire che l'entità del trasporto solido osservato sia la massima riscontrabile nell'area. A tal proposito, si

<sup>7</sup> Rosati, J. D., & Kraus, N. C. (2009). Rapid methods for estimating navigation channel shoaling. ENGINEER RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER VICKSBURG MS COASTAL AND HYDRAULICS LAB.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale

[dicca.unige.it](http://dicca.unige.it)

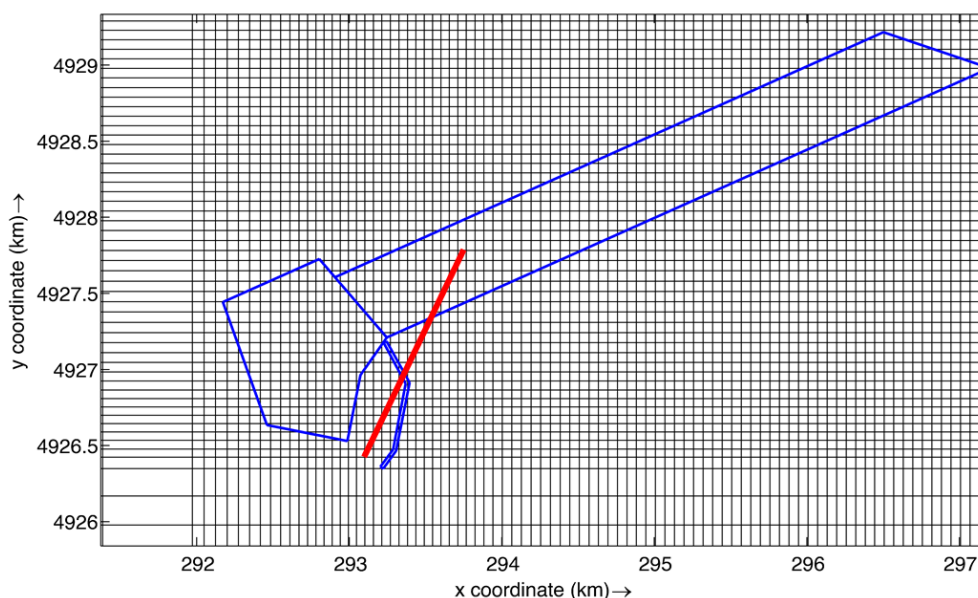
P. IVA 00754150100

+39 010 3352491

Via Montallegro 1, 16145 Genova

[direttore@dicca.unige.it](mailto:direttore@dicca.unige.it)

sono estratti i valori di erosione/deposito lungo il transetto mostrato in Figura 5, al fine di quantificare le variazioni in termini di quota del fondale in corrispondenza dell'area interessata dalle maggiori variazioni morfodinamiche. I risultati sono mostrati in Figura 6.



*Figura 5. Inciso sul canale dragato. In rosso è mostrato il transetto lungo il quale sono estratte erosione e sedimentazione del fondale.*

I risultati mostrano come scavi e depositi lungo il transetto alla fine della settimana di simulazione siano al massimo nell'ordine dei  $\pm 5$  cm; gli scavi ed i depositi massimi nell'area di ormeggio risultano essere invece trascurabili, rimanendo contenuti entro il centimetro (Figura 4).

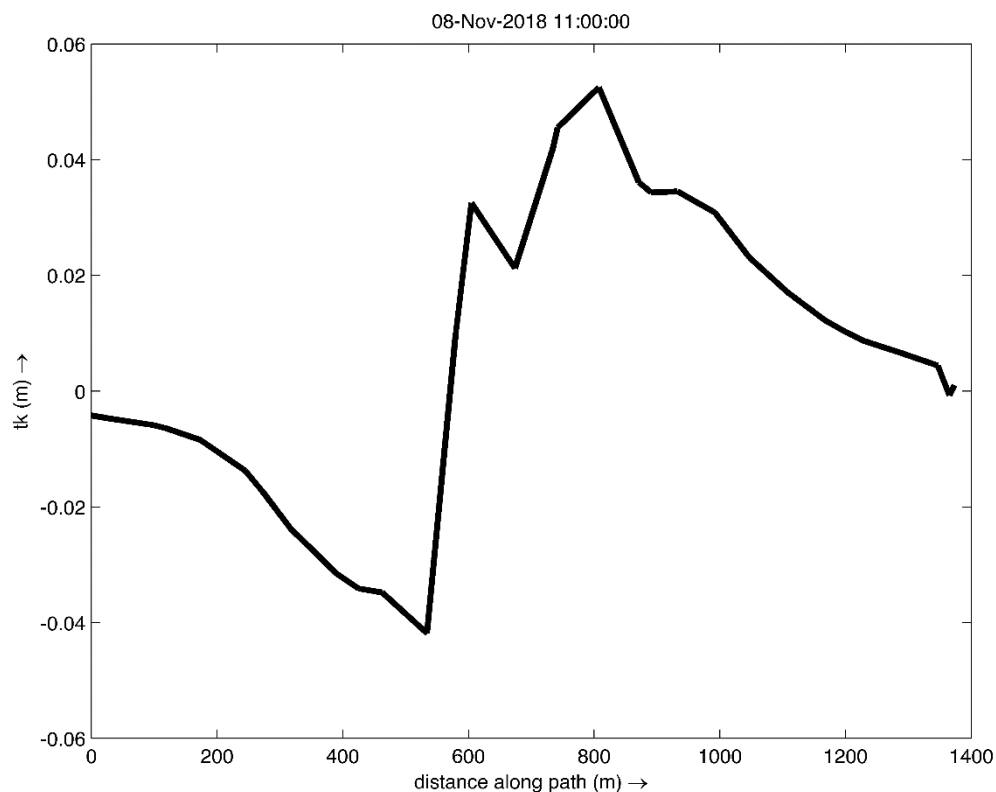


Figura 6. Entità di scavi e depositi estratti in corrispondenza del transetto mostrato in Figura 5 (la coordinata 0 coincide con l'estremo in alto a dx del transetto).

Le analisi sin qui riportate mostrano due aspetti rilevanti:

1. Le mareggiate che si propagano da E/NE (settori di traversia di Grecale e Levante) tendono a erodere la sponda sud dello scavo depositando il materiale in prossimità della diga; è lecito assumere che questo pattern caratterizzi in generale gli eventi tempestosi afferenti a tale settore di traversia.
2. Le correnti a scala regionale (cosiddette oceaniche) non possiedono velocità sufficienti a movimentare il sedimento al fondo e non rappresentano dunque elemento critico per l'interramento del canale dragato.

Occorre tuttavia rilevare come il modello implementato permetta di verificare l'azione relativa ad una mareggiata avente precise peculiarità. Sebbene la direzione di incidenza di quest'ultima sia rappresentativa della maggioranza degli eventi tempestosi riscontrabili nell'area di studio (pur con più modeste entità), non si può trascurare a priori il trasporto di sedimenti indotto da marosi che, seppur non in grado di indurre singolarmente variazioni morfodinamiche tangibili, potrebbero indurre effetti cumulati non irrilevanti nel lungo periodo. In virtù di questa considerazione, è stato verificato il modello proposto da Galvin<sup>8</sup> per il calcolo del tasso di interrimento medio di un canale in ambiente marino nel lungo periodo. Tale modello si basa sulla equazione sottostante:

$$S_t = Q \left[ 1 - \frac{d_1^m}{d_2^m} \right] \quad (3)$$

Dove  $S_t$  rappresenta il tasso medio di interrimento per unità di lunghezza del canale,  $Q$  il trasporto solido indotto,  $d_1$  e  $d_2$  le profondità prima e dopo il dragaggio, rispettivamente;  $m$  è un coefficiente che varia tra 3/2 e 5/2.

Il trasporto solido medio  $Q$  è stato calcolato tramite la formula di Soulsby-Van Rijn, sviluppata per considerare ambedue gli effetti di onde e correnti:

$$Q = A_s \bar{U} \left[ \left( \bar{U}^2 + \frac{0.018}{C_D} U_{rms}^2 \right)^{1/2} - U_{cr} \right]^{2.4} (1 - 1.6 \tan \beta) \quad (4)$$

Essendo  $A_s$  un parametro che dipende dal diametro mediano dei sedimenti,  $\bar{U}$  e  $U_{rms}$  la velocità media della corrente e la velocità orbitale indotta da un'onda, rispettivamente,  $C_D$  il coefficiente di drag,  $\beta$  la pendenza media del fondale (assunta in questo caso pari a 0, i.e., il canale è piano).

Sulla base dei dati mostrati in Figura 1, si è assunto un valore  $\bar{U}$  pari a 0,14 m/s, mentre la velocità orbitale dell'onda è calcolata utilizzando l'abaco proposto da Soulsby & Smallman (1986)<sup>9</sup>. Per il presente studio, si è assunto un valore pari a 2 m per l'altezza d'onda  $H_s$ , quale altezza limite che permette una significativa movimentazione di sedimenti. Successivamente, il periodo  $T_z$  è stato associato all'altezza  $H$  tramite la formula di Boccotti<sup>10</sup>:

$$T = 8,5\pi \sqrt{\frac{H}{4g}} \quad (5)$$

<sup>8</sup> Galvin, C. (1982). Shoaling with bypassing for channels at tidal inlets. *Coastal Engineering Proceedings*, (18), 91-91.

<sup>9</sup> Soulsby, R. L., & Smallman, J. V. (1986). A direct method of calculating bottom orbital velocity under waves.

<sup>10</sup> Boccotti, P. (1997). *Idraulica marittima*. Utet.

A partire dal valore di  $Q$ , è stato possibile calcolare il trasporto medio di sedimenti all'interno del canale per unità di lunghezza tramite l'equazione (3), moltiplicando il valore ottenuto per la larghezza del canale dragato ( $B_c$ ; si noti infatti che il parametro  $Q$  definisce un *sediment transport rate*, ovvero una portata volumetrica per unità di larghezza). Il valore di trasporto è stato dunque moltiplicato per la lunghezza totale del canale dragato ( $L_c$ ), al fine di quantificarne la portata volumetrica totale. Per poter calcolare il volume totale annuo di sedimenti potenzialmente "intrappolato" all'interno del canale, si è moltiplicata la portata per il numero medio di ore annue in cui si riscontrano stati di mare caratterizzati da altezze d'onda significativa superiore ai 2 m. Tale statistica risulta essere pari a ca. 200 ore/anno (fonte: dati Hindcast nel periodo 1979-2020). L'analisi è stata replicata per i valori limite del coefficiente  $m$ , al fine di sviluppare un'analisi di sensitività.

Infine, si è assunto che il volume totale annuo in ingresso nel canale si depositi uniformemente lungo la superficie del canale dragato; per calcolare la riduzione di profondità nel canale (o, equivalentemente, lo spessore del materiale depositato), è dunque sufficiente dividere il volume suddetto per la superficie del canale.

Le tabelle Tabella 1 e Tabella 2 mostrano una sintesi dei parametri in input per l'analisi poc'anzi introdotta.

Tabella 1. Parametri geometrici e morfologici dell'analisi. Si noti che  $L_c$  non coincide con la lunghezza totale del canale, bensì con la lunghezza del tratto escavato.

$D_{50}$ [mm]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	$z_0$ [m]	$h$ [m]
0.1	1025	2650	$1,36 \times 10^{-6}$	0,006	15
$\tan(\beta)$	$d_1$ [m]	$d_2$ [m]	$L_c$ [m]	$B_c$ [m]	
0	13	15	2600	500	

Tabella 2. Valori delle forzanti ambientali dell'analisi.

$H_s$ [m]	$T_z$ [s]	$U_{rms}$ [m/s]	$\bar{U}$ [m/s]	$U_{cr}$ [m/s]
2	6	0,24	0,14	0,45

Lo spessore annuo di deposito così calcolato risulta essere compreso tra 22 cm e 34 cm.

I risultati di cui sopra non contemplano ovviamente le dinamiche erosive che, al contrario, si possono instaurare all'interno del canale, come evidenziato in Figura 4 e Figura 6. Pertanto, è ragionevole assumere  $\approx 30$  cm quale valore limite per il deposito annuo di materiale all'interno del canale.

Una successiva analisi ha interessato la dispersione del materiale dragato e successivamente rilasciato all'interno dell'area assegnata (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), in risposta al commento di cui a pagina 3 del documento CG.2022.0000018:

*“valutazioni in merito alle modalità di gestione dei sedimenti nel “Sito 2” di immersione a mare, in area demanio marittimo, ricordando che i volumi massimi ammessi di sedimenti nell’area (31 km<sup>2</sup>) sono dettati dal vincolo posto dal DM 173/2016 e dall’ulteriore contributo del GdL Ispra sul Decreto, che consente di immergere un quantitativo di sedimenti per raggiungere un'altezza massima di 10 cm.”*

In questo caso, sono state imposte come condizioni iniziali del modello il flusso di sedimento in ingresso nel sistema ( $Q_{sed}$ ) e la concentrazione di materiale rilasciata ( $C_{sed}$ ), calcolate come segue:

$$Q_{sed} = \frac{V_{ship} \times P}{2 \text{ min} \times 60 \text{ s/min}}$$

$$C_{sed} = \rho_{sed} \times P$$

Dove  $V_{ship}$  indica la capacità di carico della draga pari a 3700 m<sup>3</sup>,  $P$  la porosità del materiale (assunta pari a 0.6),  $\rho_{sed}$  il peso specifico dei sedimenti pari a 2650 kg/m<sup>3</sup>. I valori per  $Q_{sed}$  e  $C_{sed}$  risultano essere pari a 18.5 m<sup>3</sup>/s e 1590 kg/m<sup>3</sup>, rispettivamente.

In un primo momento, si è assunto un materiale coesivo, ossia caratterizzato da un elevato grado di addensamento e compattazione quale il limo. I risultati sulla dispersione della torbida sono riportati nelle figure da Figura 7 a Figura 10, dove si mostra l'evoluzione della cosiddetta “nuvola” di sedimenti o *plume* per ciascuno scenario meteo-marino e due assegnati istanti temporali (1 ora e 12 ore dal momento del rilascio), nell'area designata per il rilascio del materiale dragato (vedi Allegato A3). La durata del rilascio è assunta pari a due minuti per tutte le simulazioni e avviene all'interno di una cella computazionale posta nel centro dell'area destinata alla ricezione del materiale dragato, in prossimità della superficie libera.

I risultati mostrano come la *plume*, già dopo un'ora dal rilascio dei sedimenti, si disperda su un'area molto estesa, essendo la concentrazione di torbida diluita in modo significativo. Infatti, per tutti gli scenari meteo-marini considerati, la concentrazione massima di sedimento in sospensione riscontrata si assesta intorno a 1 kg/m<sup>3</sup> (pannelli di sx nelle figure di cui sopra), ed è ulteriormente diluita nel tempo

grazie dei fenomeni di trasporto e diffusione: dopo 12 ore, la plume abbandona parzialmente l'area del rilascio, assestandosi tuttavia su concentrazioni massime nell'ordine dei  $10^1/10^2 \text{ g/m}^3$ , dunque entità irrilevanti se rapportate al quantitativo di materiale rilasciato. Si osserva inoltre come la direzione prevalente di trasporto del materiale sospeso risulti essere NW-SE, in virtù delle direzioni prevalenti di circolazione delle correnti a larga scala (si osservi che in questo caso il materiale sospeso può essere movimentato su distanze elevate, contrariamente a quanto osservato nel caso del trasporto al fondo).

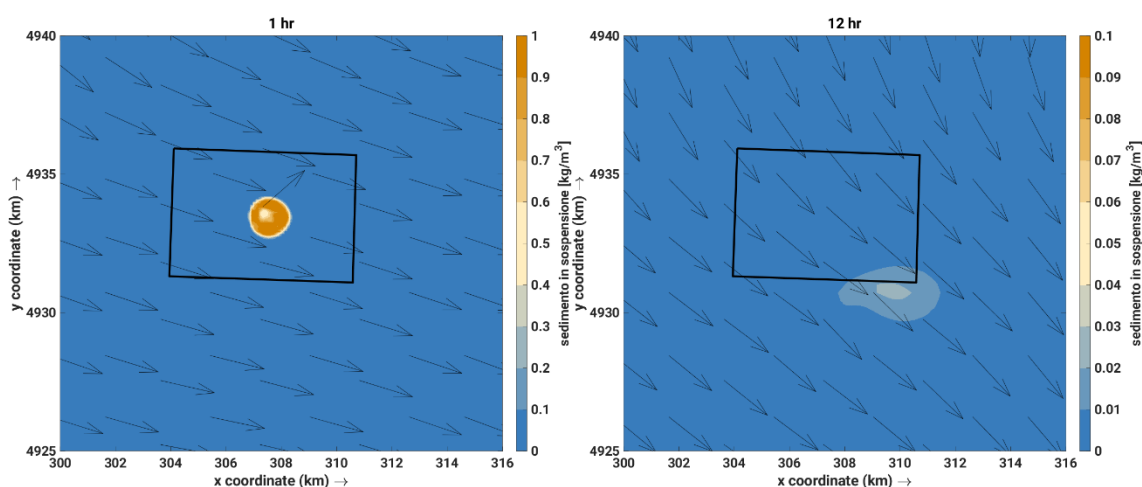


Figura 7. Planimetria della dispersione della plume di torbida al fondo dopo 1 ora dal rilascio (pannello di sx) e 12 ore dal rilascio (pannello di dx). Scenario meteo-marino 4.

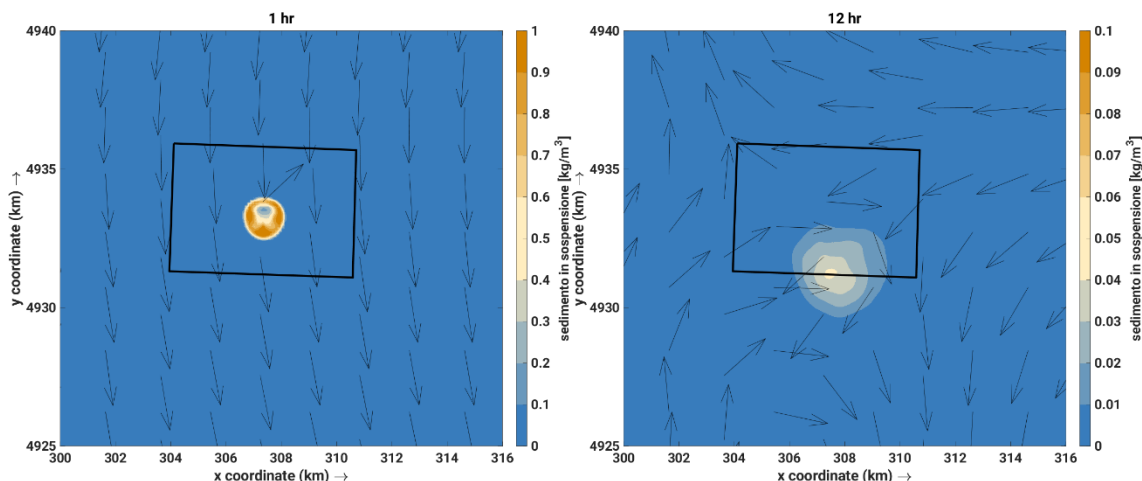


Figura 8. Come in Figura 7 per lo scenario 43.

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale

[dicca.unige.it](http://dicca.unige.it)

P. IVA 00754150100

+39 010 3352491

Via Montallegro 1, 16145 Genova

[direttore@dicca.unige.it](mailto:direttore@dicca.unige.it)



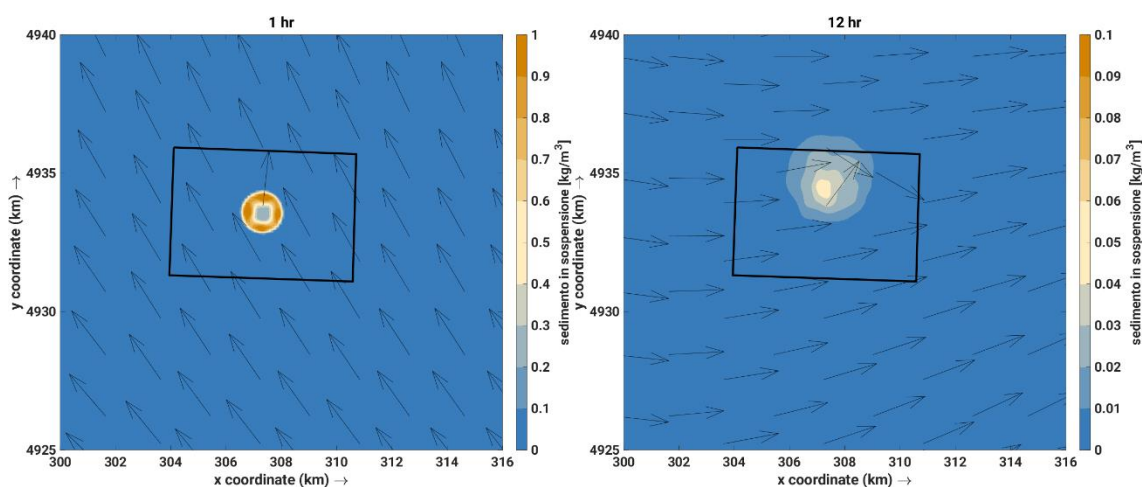


Figura 9. Come in Figura 7 per lo scenario 82.

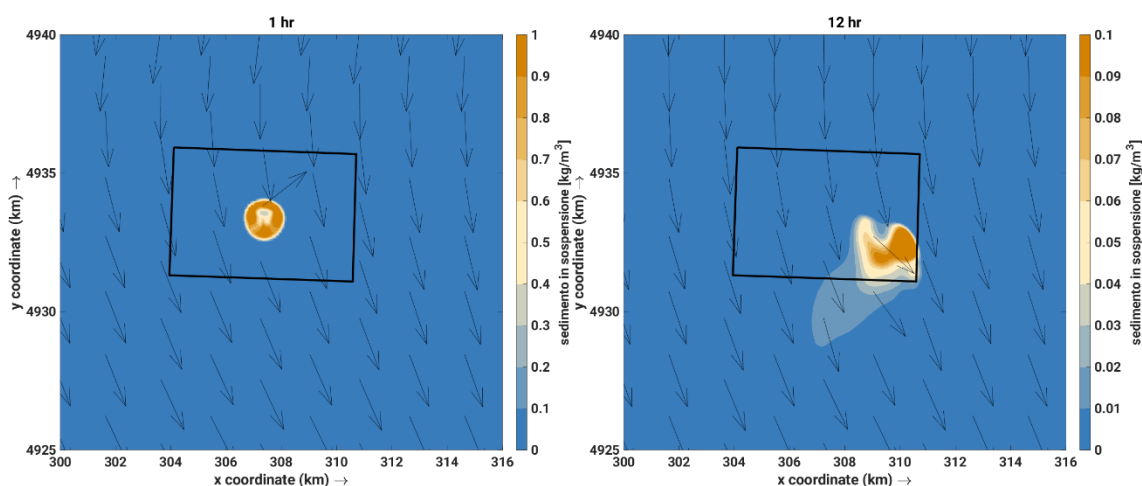


Figura 10. Come in Figura 7 per lo scenario 93.

I risultati sono successivamente stati estratti lungo tutto il profilo verticale per un'assegnata sezione all'interno dell'area di progetto (vedi Figura 11). La Figura 12 mostra la concentrazione di sedimento lungo l'asse verticale per tale sezione in riferimento allo scenario associato a condizioni di bonaccia, ovvero il numero 43.

I profili mostrano come il processo diffusivo continui a decorrere nel corso della simulazione, abbattendo le concentrazioni al fondo (dove si disperde la maggior parte del materiale) sino ad arrivare a ca.  $3,5 \text{ g/m}^3$ . Il materiale è prevalentemente mantenuto in sospensione lungo tutta l'area di calcolo, e le frazioni depositate sul fondo ammontano a qualche millimetro al massimo. Tali risultati sono senz'altro alla ridottissima velocità di sedimentazione dei limi, che può approssimativamente essere quantificata in  $0,1 \text{ mm/s}$ .

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale

[dicca.unige.it](http://dicca.unige.it)

P. IVA 00754150100

+39 010 3352491

Via Montallegro 1, 16145 Genova

[direttore@dicca.unige.it](mailto:direttore@dicca.unige.it)

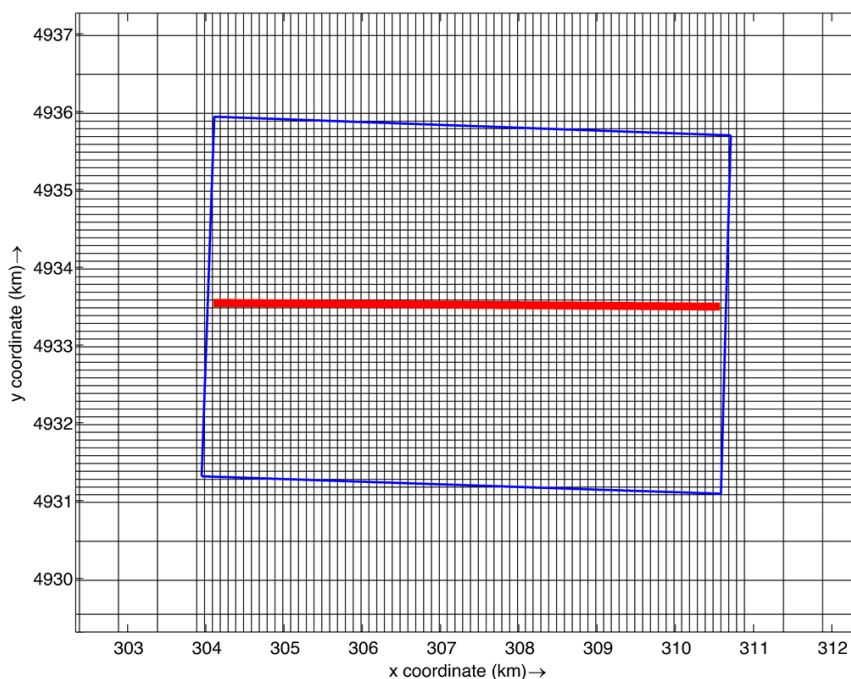


Figura 11. Maglia computazionale in corrispondenza dell'area destinata al rilascio dei sedimenti (evidenziata in blu). La sezione su cui è estratta la concentrazione lungo il piano verticale è evidenziata in rosso.

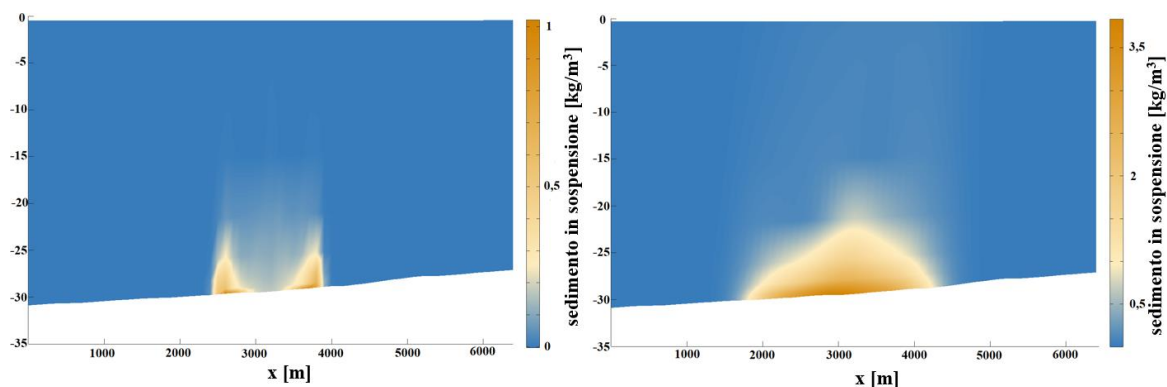


Figura 12. Concentrazione di sedimento lungo il piano verticale per lo scenario 43 (vedi Paragrafo 2 del documento REL-AMB-E-09010), dopo 1 ora dal rilascio di torbida (pannello di dx) e 12 ore (pannello di sx). I risultati si riferiscono alla sezione mostrata in Figura 11. Si osservi che i colori nei due pannelli si riferiscono a diversi ordini di grandezza.

Come fatto in precedenza per l'analisi sui dragaggi, l'analisi di cui sopra è stata ripetuta per un materiale non coesivo, come ad esempio la sabbia, al fine di contemplare le frazioni granulometriche più grosse, le cui caratteristiche non sono infatti adeguatamente catturate dalla modellazione per materiali coesivi. Peraltro, il materiale non coesivo, essendo più grossolano, è quello che maggiormente tende a depositarsi al fondo inducendo di conseguenza un innalzamento della quota del fondale.

I risultati mostrano infatti come la sabbia si depositi in un'area pari a ca. 1 km<sup>2</sup>, mentre le frazioni più leggere e sottili permangono in sospensione e/o vengono trasportate al di fuori dell'area di interesse per effetti di meccanismi di circolazione. Il fenomeno decorre nell'arco di ca. 12 ore, dopo le quali non si riscontrano ulteriori aumenti nella quota del fondale, che rimane circoscritta entro valori prossimi a  $\approx 1,2$  cm nella sezione massima rispetto alle condizioni iniziali.

Come riportato in precedenza, la capacità di stoccaggio/trasporto della barge ammonta a ca. 3.700 m<sup>3</sup>. La stima del materiale da dragare è compresa tra 1.400.000 m<sup>3</sup> e 2.000.000 m<sup>3</sup>. Assumendo il caso più conservativo, ovvero il massimo volume di dragaggio atteso, si ottengono ca. 540 scarichi di materiale nell'area di progetto. Alla luce dei risultati legati al deposito indotto per un singolo rilascio si ritiene che, per minimizzare l'impatto legato a rilasci multipli, sia necessario distanziare i punti per scarichi successivi di 250 m, prevedendo 4 rilasci per km<sup>2</sup>. Tale distanza permette infatti di cumulare il deposito di rilasci distinti lontano dai rispettivi picchi, dovutamente alla forma gaussiana assunta dal materiale depositato sul fondo (i.e., "a campana"). Questo meccanismo è ben schematizzato in Figura 13. Alla luce di questa tendenza, l'innalzamento massimo del fondale per molteplici rilasci risulta comunque essere contenuta intorno a  $\approx 1,2$  cm.

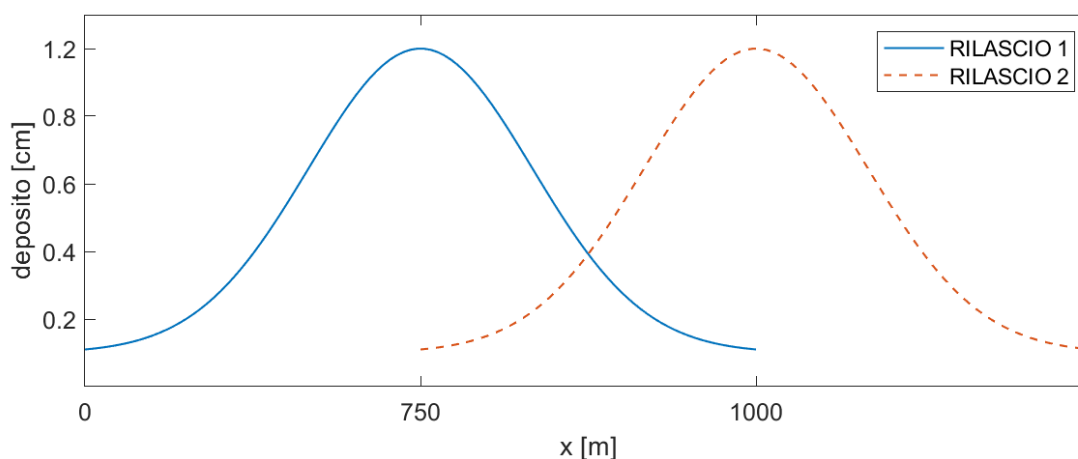


Figura 13. Schema di deposito per rilasci successivi su una sezione trasversale al fondo.

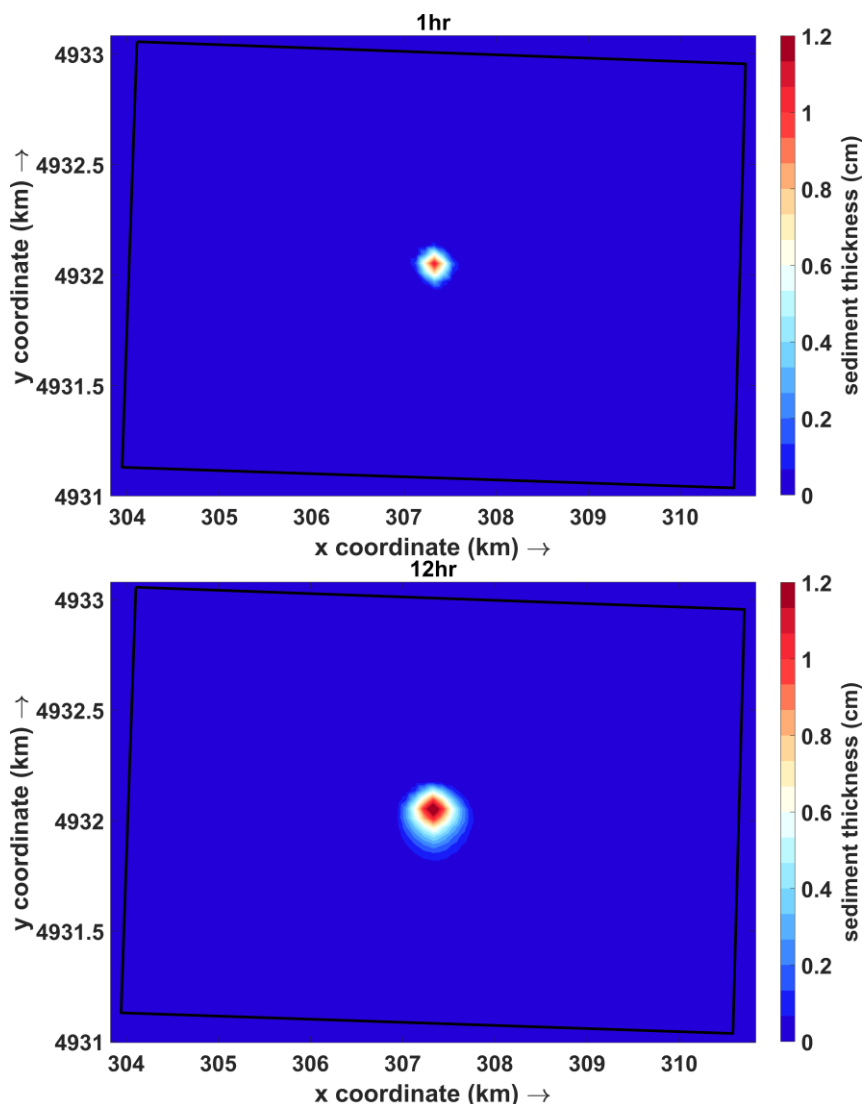


Figura 14. Spessore del materiale depositato sul fondale per effetto del rilascio di sedimenti in superficie all'interno dell'area destinata al rilascio dei sedimenti (vedi Figura 2).

Essendo l'area di deposito pari a ca.  $30 \text{ km}^2$ , si otterrebbero in questo modo 120 rilasci totali. Essendo il numero totale di rilasci previsto pari a 540 (vedi sopra), sarebbero dunque necessario sovrapporre 4,5 strati di sedimento, con un innalzamento del fondo stimato pari a ca. 1,2 cm per ciascuno strato. Il deposito totale sul fondale così calcolato risulterebbe dunque ammontare a ca. 5,4 cm, un valore compatibile con i vincoli posti dal DM 173/2016.



## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI (LISTA NO. 1)

da Silva, M. C., de Paula Kirinus, E., Bendô, A. R. R., Marques, W. C., Vargas, M. M., Leite, L. R., ... & Pertille, J. (2021). Dynamic modeling of effluent dispersion on Mangueira bay—Patos Lagoon (Brazil). *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101544.

Zhang, X., Li, D., Wang, X., Li, X., Cheng, J., & Zheng, B. (2021). Exploration of polycyclic aromatic hydrocarbon distribution in the sediments of marine environment by hydrodynamic simulation model. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112697.

Alosairi, Y., Al-Salem, S. M., & Al Ragum, A. (2020). Three-dimensional numerical modelling of transport, fate and distribution of microplastics in the northwestern Arabian/Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111723.

Li, Y., Sun, J., Lin, B., & Liu, Z. (2020). Thermal-hydrodynamic circulations and water fluxes in a tributary bay of the Three Gorges Reservoir. *Journal of Hydrology*, 585, 124319.

Des, M., DeCastro, M., Sousa, M. C., Dias, J. M., & Gómez-Gesteira, M. (2019). Hydrodynamics of river plume intrusion into an adjacent estuary: The Minho River and Ria de Vigo. *Journal of Marine Systems*, 189, 87-97.

Hodgkins, L. M., Mulligan, R. P., McCallum, J. M., & Weber, K. P. (2019). Modelling the transport of shipborne per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the coastal environment. *Science of the Total Environment*, 658, 602-613.

Sandbach, S. D., Nicholas, A. P., Ashworth, P. J., Best, J. L., Keevil, C. E., Parsons, D. R., ... & Simpson, C. J. (2018). Hydrodynamic modelling of tidal-fluvial flows in a large river estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212, 176-188.

Alosairi, Y., Pokavanich, T., & Alsulaiman, N. (2018). Three-dimensional hydrodynamic modelling study of reverse estuarine circulation: Kuwait Bay. *Marine pollution bulletin*, 127, 82-96.

Lindim, C., Van Gils, J., & Cousins, I. T. (2016). A large-scale model for simulating the fate & transport of organic contaminants in river basins. *Chemosphere*, 144, 803-810.

Zarzuelo, C., Díez-Minguito, M., Ortega-Sánchez, M., López-Ruiz, A., & Losada, M. Á. (2015). Hydrodynamics response to planned human interventions in a highly altered embayment: The example of the Bay of Cádiz (Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 167, 75-85.



Brown, M. M., Mulligan, R. P., & Miller, R. L. (2014). Modeling the transport of freshwater and dissolved organic carbon in the Neuse River Estuary, NC, USA following Hurricane Irene (2011). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 139, 148-158.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI (LISTA NO. 2)

Lira-Loarca, A., Cobos, M., Losada, M. Á., & Baquerizo, A. (2020). Storm characterization and simulation for damage evolution models of maritime structures. *Coastal Engineering*, 156, 103620.

Oprandi, A., Mucerino, L., De Leo, F., Bianchi, C. N., Morri, C., Azzola, A., ... & Montefalcone, M. (2020). Effects of a severe storm on seagrass meadows. *Science of the Total Environment*, 748, 141373.

Mucerino, L., Albarella, M., Carpi, L., Besio, G., Benedetti, A., Corradi, N., ... & Ferrari, M. (2019). Coastal exposure assessment on Bonassola bay. *Ocean & coastal management*, 167, 20-31.

Bozzi, S., Besio, G., & Passoni, G. (2018). Wave power technologies for the Mediterranean offshore: Scaling and performance analysis. *Coastal Engineering*, 136, 130-146.

Pepe, F., Corradino, M., Parrino, N., Besio, G., Presti, V. L., Renda, P., ... & Antonioli, F. (2018). Boulder coastal deposits at Favignana Island rocky coast (Sicily, Italy): Litho-structural and hydrodynamic control. *Geomorphology*, 303, 191-209.

Besio, G., Briganti, R., Romano, A., Mentaschi, L., & De Girolamo, P. (2017). Time clustering of wave storms in the Mediterranean Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(3), 505-514.

Bove, M. C., Brotto, P., Calzolari, G., Cassola, F., Cavalli, F., Fermo, P., ... & Prati, P. (2016). PM10 source apportionment applying PMF and chemical tracer analysis to ship-borne measurements in the Western Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 125, 140-151.

Daputo, G., Massa, F., Costa, S., Cimoli, L., Olivari, E., Chiantore, M., ... & Povero, P. (2015). A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. *Ocean & Coastal Management*, 116, 64-77.



## ALLEGATI

A1. Planimetria del canale dragato sul fondale marino: vedi documento  
A1\_area\_dragaggio.pdf

24

A2. Diametro mediano dei sedimenti per cinque campioni prelevati nell'area di studio.

A3. Planimetria dell'area di rilascio del materiale deagato: vedi documento  
A3\_recapito\_mare.pdf





ALLEGATO A2

