

FIUMICINO  
WATERFRONT

SOGGETTO ESECUTORE E FINANZIATORE



CITTÀ DI  
FIUMICINO

SOGGETTO PROPONENTE ED ATTUATORE



**RINA CONSULTING S.P.A.**

Via Antonio Cecchi 6, 16129 Genova

tel +39 010 31961

www.rina.org

Registro imprese di Genova: 03476550102

Partita IVA: 03476550102



**Atelier(s) Alfonso Femia s.r.l.**

Via Interiano 3/11, 16124 Genoa

tel. +39 010.540095 fax 010.5702094

Via Cadolini 32/38, 20137 Milan

tel. +39 02.54019701 fax 010.54115512

55 rue des petites écuries, 75010 Paris

tel +331.42462894

genova@atelierfemia.com - www.atelierfemia.com

Registro imprese di Genova: 01601780990

Partita IVA: 01601780990



RESPONSABILE COORDINAMENTO  
DELLE DISCIPLINE SPECIALISTICHE

Ing. **ALESSANDRO ODASSO**

Direttore Tecnico - Rina Consulting S.p.A.

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Arch. Alfonso FEMIA - Architettura e Landscape

Ing. Marco COMPAGNINO - Studio di impatto ambientale

Dott. Sandro LORENZATTI - Archeologia

Ing. Michele DI LAZZARO - Studio Idraulico e idrologico

Arch. Riccardo COCCIA - Prevenzione incendi

Ing. Alessandro VITA - Studio Geotecnico

Dott. Geol. Roberto SALUCCI - Geologia

Ing. Federico BARABINO - Sicurezza

Dott. Geol. Paolo RAVASCHIO - Rilievi e indagini

Ing. Flavio MARANGON - Studio trasportistico

Ing. Bruno RAMPINELLI ROTA - Compatibilità vincoli aeronautici

COORDINAMENTO DELLA PROGETTAZIONE

Ing. Marino BALZARINI - Project Management Consultancy

Arch. Paola DEL BIANCO - Project Manager Deputy

Ing. Alessandro PIAZZA - Coordinamento Opere Civili

Ing. Damiano SCARCELLA - Coordinamento Opere Marittime

Arch. Sara GOTTARDO - Coordinamento Architettura e Landscape

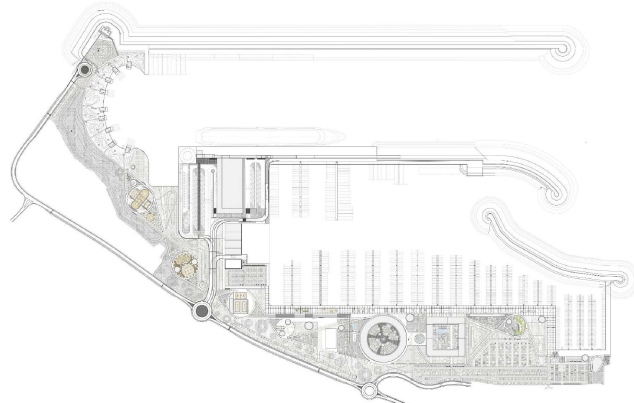
UNITÀ DI PROGETTO

Ing. Massimo GUIDI - Dirigente Comune di Fiumicino

## PORTO TURISTICO-CROCIERISTICO DI FIUMICINO ISOLA SACRA

CUP:F1122000320007

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA



OM00 - OPERE MARITTIME  
RELAZIONI SPECIALISTICHE

### STUDIO MODELLISTICO PRELIMINARE DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI A SEGUITO DELLE ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO

| COMMESSA | SERVIZIO LOTTO | OPERA | DISCIPLINA | TIPO | PROG. | REV. | SCALA |
|----------|----------------|-------|------------|------|-------|------|-------|
| P0031150 | D0             | OM00  | RS         | REL  | 03    | 00   | -     |

| REV. | DESCRIZIONE                | REDATTO                 | VERIFICATO | APPROVATO | DATA       |
|------|----------------------------|-------------------------|------------|-----------|------------|
| 00   | Emissione per approvazione | L. SARTINI, D. D. BUONO | E. DUCHINI | A. ODASSO | 31/07/2023 |
| -    | -                          | -                       | -          | -         | -          |
| -    | -                          | -                       | -          | -         | -          |
| -    | -                          | -                       | -          | -         | -          |
| -    | -                          | -                       | -          | -         | -          |

NOME FILE: P0031150-D-0-OM00-RS-REL-03\_00

**INDICE**

|  | <b>Pag.</b> |
|--|-------------|
| <b>1 INTRODUZIONE</b>  | <b>4</b>    |
| <b>2 SCOPO DEL DOCUMENTO</b>   | <b>6</b>    |
| <b>3 INQUADRAMENTO GENERALE</b>  | <b>7</b>    |
| 3.1 DETTAGLIO AREA DI STUDIO   | 7           |
| 3.2 SINTESI ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO  | 8           |
| <b>4 MODELLISTICA DI DISPERSIONE DI SEDIMENTI</b>  | <b>12</b>   |
| 4.1 MODELLO IDRODINAMICO   | 12          |
| 4.2 MODELLO DI ONDA  | 13          |
| 4.3 MODELLO DI TRASPORTO   | 14          |
| 4.4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRODINAMICO   | 14          |
| 4.5 SETUP DEL MODELLO IDRODINAMICO   | 14          |
| 4.5.1 Dominio di calcolo ed input batimetrico  | 15          |
| 4.5.2 Condizioni al contorno ed iniziali   | 16          |
| 4.5.3 Forzanti   | 16          |
| 4.5.4 Presenza di punti di presa/scarico   | 17          |
| <b>5 VALORI SOGLIA E PARAMETRI DI CONFRONTO</b>  | <b>18</b>   |
| <b>6 RISULTATI PRELIMINARI SULLA DISPERSIONE DEI SEDIMENTI DOVUTA AD ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO</b> | <b>19</b>   |
| 6.1 IDRODINAMICA GENERALE  | 19          |
| 6.2 DISPERSIONE DEI SEDIMENTI  | 23          |
| 6.2.1 Primo Scenario   | 23          |
| 6.2.2 Secondo Scenario   | 26          |
| 6.2.3 Terzo Scenario   | 27          |
| 6.3 METODOLOGIE DI RIDUZIONE DELLA DISPERSIONE   | 29          |
| <b>7 CONCLUSIONI</b>   | <b>30</b>   |

## LISTA DELLE TABELLE

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Tabella 3.1: | Volumi di Dragaggio Parziali per Zona di Dragaggio | 9  |
| Tabella 3.2: | Tabella di Sintesi delle Unità Stratigrafiche      | 11 |

## LISTA DELLE FIGURE

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Figura 3.1:  | Unità Fisiografica   | 7  |
| Figura 3.2:  | Planimetria delle aree di dragaggio (la doppia linea nell'area -12,0 m rappresenta l'ingombro delle scarpate di raccordo). | 8  |
| Figura 3.3:  | Aree di Dragaggio Previste dal Progetto  | 9  |
| Figura 3.4:  | Unità Stratigrafiche di Design (1-4)   | 10 |
| Figura 4.1:  | Mesh Computazionale di Calcolo del Modello Idrodinamico  | 15 |
| Figura 4.2:  | Mesh Computazionale di Calcolo del Modello Idrodinamico con Dettaglio sull'Area Portuale                                   | 16 |
| Figura 6.1:  | Campo di Onda Tipico dell'Area di Studio (da Sud Ovest)  | 19 |
| Figura 6.2:  | Campo di Corrente Tipico dell'Area di Studio   | 20 |
| Figura 6.3:  | Strutture a Regime Anticiclonico a Sottoscala Associati al Campo di Corrente Tipico dell'Area di Studio                    | 20 |
| Figura 6.4:  | Corrente Litoranea Associate al Campo di Mareggiata Tipico dell'Area di Studio   | 21 |
| Figura 6.5:  | Campo di Corrente Indotto da Mareggiate di Maestrale (da Nord-Ovest)   | 22 |
| Figura 6.6:  | Campo di Corrente Indotto dal Regime di Maestrale (da Nord-Ovest) Tipico dell'Area di Studio                               | 22 |
| Figura 6.7:  | Campo di Corrente Sotto Costa Indotto dal Regime di Maestrale (da Nord-Ovest)  | 23 |
| Figura 6.8:  | Concentrazione di sedimento sospeso nell'area dovuto alle attività di dragaggio, primo Scenario                            | 23 |
| Figura 6.9:  | Concentrazione di sedimento sospeso nell'area di dragaggio, primo Scenario   | 24 |
| Figura 6.10: | Concentrazione di sedimento sospeso nell'area del porto e a sud del litorale, primo Scenario                               | 24 |
| Figura 6.11: | Concentrazione di sedimento sospeso nell'area del porto e a nord del litorale, primo Scenario                              | 25 |
| Figura 6.12: | Spessore massimo di sedimento depositato a seguito delle attività di dragaggio, primo Scenario                             | 25 |
| Figura 6.13: | Concentrazione di sedimento sospeso nell'area di dragaggio, secondo Scenario   | 26 |
| Figura 6.14: | Spessore massimo di sedimento depositato a seguito delle attività di dragaggio, secondo Scenario                           | 27 |
| Figura 6.15: | Concentrazione di sedimento sospeso nell'area di dragaggio, terzo Scenario   | 28 |
| Figura 6.16: | Spessore massimo di sedimento depositato a seguito delle attività di dragaggio, terzo Scenario                             | 28 |

## ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

|               |  |
|---------------|--|
| <b>CMEMS</b>  | Copernicus Marine Environment Monitoring Service |
| <b>ECMWF</b>  | European Center of Medium-range Weather Forecast |
| <b>GloFAS</b> | Global Flood Awareness System                    |
| <b>HD</b>     | Hydrodynamic Module                              |
| <b>HYCOM</b>  | Hybrid Coordinate Ocean Model                    |
| <b>MT</b>     | Mud Transport                                    |
| <b>Comune</b> | Comune di Fiumicino                              |
| <b>FW</b>     | Fiumicino Waterfront                             |
| <b>RON</b>    | Rete Ondametrica Nazionale                       |
| <b>TSHD</b>   | Trailer Suction Hopper Dredger                   |

## 1 INTRODUZIONE

Il **Mediterraneo** rappresenta il primo mercato a livello mondiale per il settore diportistico ed il secondo per traffico crocieristico. Con quasi 7.500 km di costa, l'Italia ospita oltre 575 mila imbarcazioni (di cui circa 100 mila registrate) a fronte di meno di 160 mila posti barca disponibili. Di questi circa un terzo sono in grado di ospitare solo piccoli natanti ed imbarcazioni, mentre i circa 100 mila posti barca disponibili all'interno di "Marine" capaci di offrire servizi di media e alta qualità, sono distribuiti disomogeneamente sul territorio nazionale, concentrati per oltre il 70% in Liguria, Sardegna, Sicilia, Toscana, Friuli-Venezia Giulia e Campania.

In questo contesto, **Fiumicino** si trova in posizione strategica dal punto di vista marittimo, infrastrutturale e turistico, per la vicinanza alla città di Roma e per uno scenario territoriale ricco di storia e di altissimo interesse storico, archeologico, paesaggistico e gastronomico, per i collegamenti internazionali e nazionali favoriti dalla presenza dell'aeroporto di Fiumicino e dei collegamenti ferroviari e autostradali con Roma e con il resto d'Italia, per la posizione centrale sul versante tirrenico italiano e quindi nel Mediterraneo.

L'area di **Isola Sacra** è una delle 6 aree in cui è suddiviso il Comune di Fiumicino ed è compresa tra i due rami di foce del Tevere: Fiumara Grande in sinistra, che costeggia le rovine dell'antica Ostia e forma la bocca naturale del fiume, ed il canale artificiale di Fiumicino o Fossa Traiana in destra, che costituisce l'entrata del porto fluviale. Ospita circa 15 mila degli oltre 70 mila abitanti del comune ed in essa si è consolidata in questi ultimi anni la sua espansione edilizia, generando un tessuto edilizio è fortemente disomogeneo, con la presenza sia di una serie di nuclei edilizi già consolidati, sia di altri in via di consolidamento.

Il **porto turistico di Fiumicino Isola Sacra** si trova nella parte meridionale dell'area, in adiacenza della Foce di Fiumara Grande. La concessione demaniale per la sua costruzione, di durata novantennale, è stata affidata alla società Iniziative Portuali S.p.a. (IP) nel febbraio 2010 dal Comune di Fiumicino, sulla base di un *Accordo di Programma* sottoscritto con lo stesso comune e con la Regione Lazio.

Il progetto sviluppato da IP prevedeva la realizzazione di 1,400 posti barca e di un cantiere nautico da 10,300 mq. A questi si aggiungevano oltre 40,000 mq di edilizia, destinata in gran parte a residenze, ma anche ad un albergo e superfici commerciali, di ristorazione e di servizio.

Le attività di costruzione del Porto, cominciate nel 2010, sono state interrotte dal concessionario dopo pochi mesi e ad oggi risulta realizzata solo una parte della diga foranea, senza che siano state realizzate né la marina, né le opere edili, né le opere necessarie all'urbanizzazione dell'area in concessione, al soddisfacimento degli standard urbanistici, né quelle aggiuntive previste a servizio di Isola Sacra, lasciando le aree di progetto in un generale stato di degrado.

Credendo nelle potenzialità di questo progetto, il fondo *iCON Infrastructure LLP* (iCON, specializzato in investimenti azionari a lungo termine in attività infrastrutturali private in Europa e Nord America con una raccolta di 3,6 miliardi di USD) e la *Royal Caribbean Group* (RCG, secondo gruppo crocieristico mondiale con base a Miami, US) hanno costituito la *Fiumicino Waterfront s.r.l.* ed attraverso di essa, in qualità di nuovo concessionario subentrato ad IP, si sono impegnati alla realizzazione dell'opera e al suo aggiornamento in termini di fruibilità e sostenibilità in un quadro di rinnovata compatibilità finanziaria.

L'iniziativa si basa sull'opportunità individuata dal RCG di introdurre una funzione crocieristica all'interno del *Porto di Fiumicino Isola Sacra* come variante al progetto del già approvato (Progetto IP2009), mantenendo prevalente la funzione di navigazione da diporto e riducendo al tempo stesso la superficie edilizia a vantaggio di una più estesa fruibilità pubblica dell'area concessa.

Lo *Studio di Fattibilità* completato nel 2018 (SDF2018), ha esaminato preliminarmente tutti i necessari profili amministrativi, economici, progettuali e di mercato ed è stato sottoposto volontariamente a *Conferenza dei Servizi Preliminare* e *Scoping Ambientale* nel 2019 (CSP2019, SA2019). Il procedimento si è concluso con alcune prescrizioni, ma senza evidenziare cause ostative allo sviluppo della Variante e all'introduzione della funzione crocieristica, confermando la preliminar fattibilità amministrativa del progetto ed il suo allineamento con il contesto di sviluppo previsto per le aree da parte degli Enti coinvolti. Le osservazioni e le prescrizioni indicate da CSP2019 e SA2019, insieme ad ulteriori affinamenti tecnici e di layout sono stati infine recepiti e sviluppati nel nuovo *Masterplan* del progetto, completato a ottobre 2022 (MP2022).

Nel corso di questo processo RCG ha:

- ✓ acquisito la concessione a febbraio 2022, ceduta poi alla *Fiumicino Waterfront s.r.l.*
- ✓ commissionato a *RINA Consulting S.p.a.* in associazione con *Alfonso Femia AF517 Atelier(s)* e con il contributo di *EY Italia* e *Telos S.r.l.* l'esecuzione del progetto fino alla consegna della variante al *Progetto Definitivo IP2009* ed al completamento dell'iter approvativo composto da *Valutazione di Impatto Ambientale* nazionale e *Conferenza dei Servizi*.
- ✓ Ceduto la quota di maggioranza ed il controllo della *Fiumicino Waterfront s.r.l.* al fondo *iCON*.

A Giugno 2023, l'opera veniva identificata dal Governo Italiano come strategica per il *Giubileo 2025* nell'ambito di intervento "Accoglienza per i pellegrini e i visitatori" in ragione della sua funzione di ulteriore via di pellegrinaggio e "porta" di accesso a Roma, ed inserita con la denominazione *Porto turistico-crociéristico di Fiumicino Isola Sacra* nella relativa lista del *Dpcm 8 giugno 2023* come scheda n.146, indicando il *Comune di Fiumicino* nel ruolo di "soggetto attuatore". L'iter approvativo dell'opera sarà quindi svolto nell'alveo delle procedure speciali stabilite dal decreto, che risultano in un sostanziale contingentamento dei tempi per le procedure *VIA-VAS* e *Conferenza dei Servizi* per garantire l'esecuzione della stessa nei tempi necessari.

La proposta, si propone di rinnovare ed aggiornare l'immagine del progetto, di allineare l'offerta alle mutate condizioni del mercato nautico e di quello immobiliare, e prevede uno sviluppo ecosostenibile dell'area portuale, nonché la realizzazione di aree verdi e di interventi di rinaturalizzazione, con conseguente miglioramento della qualità ambientale e paesistica di un'area degradata ed occupata dal cantiere di costruzione. Oltre ai ritorni economici ed occupazionali legati al mix di produzioni e servizi che si propone di attivare, il progetto contribuisce alla riqualificazione dell'area e rappresenta un elemento di attrattività e di qualità sia per gli utenti, che per gli abitanti dell'area.

Il **porto turistico**, improntato a principi di ecosostenibilità e integrazione con il territorio, concorre a qualificare la rete del diportismo nazionale. La struttura offrirà un ormeggio stanziale e stagionale, servizi di cantieristica, di sorveglianza, di connessione in rete, di banchine attrezzate per l'accoglienza e l'assistenza al cliente tutto l'anno. La struttura amplia la sua offerta ad utenti di una tipologia di imbarcazione medio-alta. Infatti, dei 1200 posti barca previsti almeno il 10% saranno rivolti a imbarcazioni superiori ai 40 m e con lunghezza fino a 110 m (super, mega e giga yacht). Il **cantiere navale** costituirà uno dei tratti essenziali dell'identità del porto, in grado di garantire tanto assistenza "a secco" (per imbarcazioni fino a 40 m), quanto "a bordo".

L'esistente porticciolo in subconcessione verrà spostato nell'area nord del porto, dove sorgerà anche la scuola velica. Il **vecchio faro** sarà ristrutturato e messo a disposizione del Comune di Fiumicino come area espositiva, i **bilancioni** verranno rivisitati mantenendone la peculiare tipologia architettonica e convertiti in spazi ricreativi, associativi e di ristorazione.

I volumi edilizi sono ora costituiti da un **hotel** da 250 stanze con aparthotel per soggiorni di maggiore durata e dagli edifici di servizio alla marina e alla crocieristica, ai quali si aggiungono una grande piazza pubblica coperta, luogo di ritrovo, spazio per eventi o mercato cittadino ed un'area a verde destinata a **parco pubblico** pari a 150,000 mq, disseminata di aree e edifici minori attrezzati per lo sport e attività ricreative intergenerazionali, ristoro e vita associativa (community hubs). E' stata invece del tutto rimossa dal progetto la funzione residenziale, riducendo in modo sostanziale i volumi e la pressione urbanistica rispetto a quanto autorizzato per il progetto originale.

Via del Faro viene interamente adeguata e dotata di **parcheggi** pubblici nel tratto tra il faro e la Rotatoria Falcone, mentre ampie aree parcheggio sono previste nell'area in concessione, applicando un concetto *green* caratterizzato da superfici permeabili e alberature per ombreggiamento. Il drenaggio dell'area in concessione è improntato strettamente ai criteri dell'invarianza idraulica e del riuso. In generale, la progettazione è orientata alla conservazione delle risorse naturali attraverso strategie *net-carbon* e di **autosufficienza energetica** ed alla minimizzazione degli impatti residui. Oltre 12 milioni di euro sono previsti quale contributo speciale per interventi nell'area di Isola Sacra prevalentemente dedicati alla **viabilità**, da concordare con il Comune di Fiumicino in sede di *Convenzione Urbanistica*.

Per quanto riguarda il **settore crocieristico**, il progetto è altamente compatibile con il contesto attuale: il nuovo porto, insieme al porto commerciale di Fiumicino Nord e a quello di Civitavecchia, può rappresentare un nuovo sistema di porti con offerta crocieristica complementari e non in competizione. In particolare, l'investimento prevede la realizzazione di un impianto di *shore-power* (o *cold ironing*), che consente di spegnere i motori della nave ormeggiata, azzerandone le emissioni, per un importo di circa 20 milioni di euro. Tale intervento che normalmente viene realizzato con fondi governativi dalle Autorità Portuali o dall'ente pubblico competente, in questo caso sarà parte dell'investimento del concessionario e quindi a totale carico di FW.

L'investimento previsto è di quasi 600 Milioni di Euro coperti da capitali interamente privati, dei quali oltre la metà entro il 2025 per la realizzazione dell'infrastruttura complessiva e delle opere funzionali agli obiettivi Giubileo 2025 ed il resto nel decennio 2025-2035 per il completamento dell'opera. Alla luce di quanto sopra, il *Progetto di Fattibilità Tecnico Economica* (PFTE) e *Studio di Impatto Ambientale* (SIA) del *Porto Turistico-Crociéristico di Fiumicino Isola Sacra* relativi al nuovo assetto proposto per l'area in concessione verranno sottoposti a processo di approvazione secondo le procedure previste dal *Dpcm 8 giugno 2023*.

Il *Comune di Fiumicino*, come soggetto promotore e attuatore, e *Fiumicino Waterfront*, come soggetto esecutore e finanziatore, provvederanno quindi a dare seguito agli obblighi derivanti dalla concessione come aggiornati dalla procedura approvativa, sottoponendo a *Verifica di Ottemperanza* il PFTE adeguato sulla base delle prescrizioni ricevute e ad elaborare il *Progetto Esecutivo*, eventualmente per lotti, in modo da affidare e completare i lavori di costruzione delle opere funzionali agli obiettivi del Giubileo nei tempi previsti.

---

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento rappresenta lo Studio modellistico preliminare di Dispersione dei Sedimenti a seguito delle operazioni di dragaggio previste per la realizzazione del “Porto turistico-crocieristico di Fiumicino Isola Sacra” in esame, atto a identificare gli effetti ambientali (torbidità idrica locale) dovuti alla dispersione di solidi sospesi, tramite simulazioni numeriche mediante opportuni modelli numerici.

I modelli numerici sono composti principalmente da due moduli:

- ✓ il modulo idrodinamico; e
- ✓ il modulo di trasporto sedimenti (fango/sabbia) (dispersione).

Il modulo idrodinamico simula flussi tridimensionali instabili, tenendo conto delle variazioni di densità, batimetria e forzanti esterne come meteorologia, elevazioni di marea, correnti e altre condizioni idrografiche.

Il modulo fango/sabbia descrive l'erosione, il trasporto e la deposizione di fango o sabbia/fango sotto l'azione di correnti e onde. La dimensione del dominio computazionale viene definita tale da considerare l'intera area all'interno dei fenomeni di deposito e di dispersione dei solidi sospesi. Il dominio è discretizzato nel piano orizzontale con una griglia a maglie variabili e in verticale in diversi strati di spessore variabile a seconda della profondità.

### 3 INQUADRAMENTO GENERALE

L'unità fisiografica in cui ricade il tratto di costa oggetto di studio è compresa tra Capo Linaro a Nord e Capo Anzio a Sud e si estende per circa 90 km; la foce del F. Tevere è situata nel tratto centrale di tale unità; il paraggio in esame risulta, pertanto, esposto ad un ampio settore di traversia, tutto principale, di ampiezza pari a circa 150°, compreso tra 160°N (Capo Anzio) e 310°N (Capo Linaro).

Ponendosi al largo di tali estremi geografici, ad una profondità di circa 100 m e ad una distanza di circa 13 Km dalla costa, il paraggio è geograficamente esposto ad un settore di traversia più ampio che si estende tra 120°N (Capo Circeo) e 320°N (Porto S. Stefano).

Il sito in esame si affaccia quindi sul mar Tirreno centrale ed è limitato dalla costa ligure a Nord –Nord Ovest (300°N- 310°N), dalla costa orientale della Corsica a Nord-Ovest (DD 270°N- 300°N), dalla costa orientale della Sardegna a Ovest (220°N-270°N), dalla costa nordafricana della Tunisia a sud-ovest (180°N- 220°N) ed infine dalla costa settentrionale della Sicilia a Sud- Sud Est (150°N- 180°N).

Per quanto concerne la circolazione d'insieme relativa all'unità fisiografica in esame, i dati reperiti, provenienti dal database HYCOM, confermano quanto riportato nell'Atlante delle correnti superficiali dell'Istituto Idrografico della Marina, dove si riscontra nel medio alto Tirreno, una prevalenza delle correnti dirette da Sud verso Nord (prevalentemente verso 330°N) con intensità variabili da 0.50 a 0.80 nodi.



Figura 3.1: Unità Fisiografica

#### 3.1 DETTAGLIO AREA DI STUDIO

L'area di dragaggio, ubicata a nord della foce del fiume Tevere (Fiumara Grande) ed antistante al litorale di Isola Sacra, risulta essere suddivisa in ulteriori n. 3 sub-aree aventi diverse profondità di scavo rispettivamente -12,0 m, -11,5 m e -4,5 m.





Figura 3.2: Planimetria delle aree di dragaggio (la doppia linea nell'area -12,0 m rappresenta l'ingombro delle scarpate di raccordo).

### 3.2 SINTESI ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO

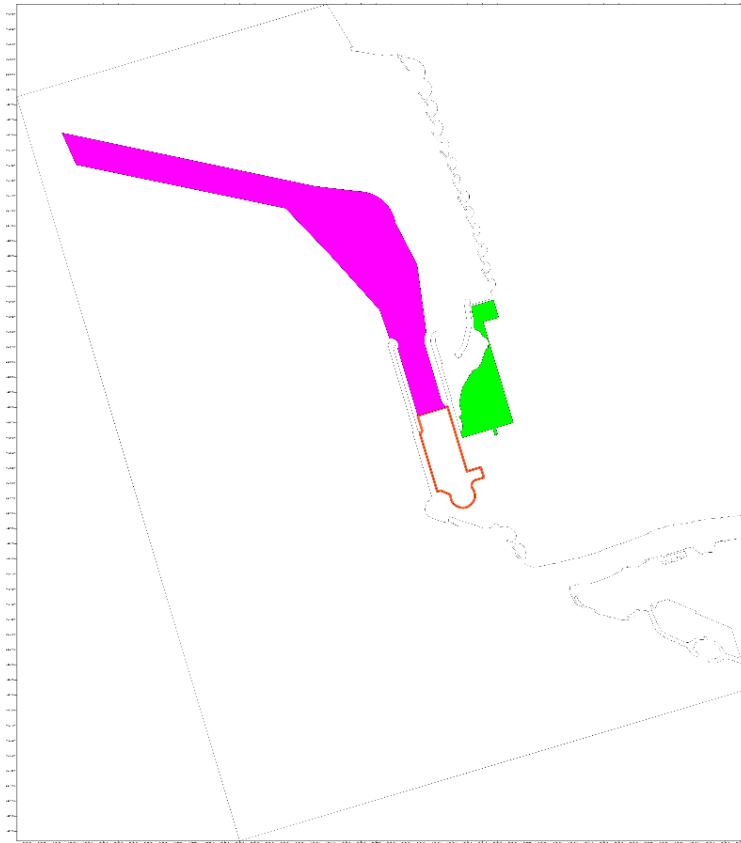
Per garantire il pescaggio necessario del canale di accesso nell'ambito delle opere portuali previste dal progetto, il cerchio di evoluzione e le aree di ormeggio delle imbarcazioni (nave da crociera e da diportistica), è necessario eseguire lavori di dragaggio.

La stima complessiva del volume dragato è pari a circa 3.000.000 m<sup>3</sup>, e i risultati della caratterizzazione ambientale ne hanno determinato le opzioni di utilizzo possibili.

Si ipotizza in questa fase che una parte del materiale dragato potrà essere utilizzato per il completo riempimento delle strutture di colmata, mentre si privilegerà il riutilizzo per ripascimento degli arenili erosi per tutta la volumetria che risulti utilizzabile per tale uso.

Si rimanda all'elaborato "PIANO PRELIMINARE DI DRAGAGGIO E GESTIONE SEDIMENTI" (Doc. No P0031150-D-5-OM51-OM-REL-01\_00) per maggiori dettagli.

Più precisamente, le attività di scavo previste interessano tre aree specifiche, riportate nella figura seguente, cui sono associati i volumi di dragaggio totali per ciascuna area, riportati nella tabella successiva.


**Figura 3.3: Aree di Dragaggio Previste dal Progetto**
**Tabella 3.1: Volumi di Dragaggio Parziali per Zona di Dragaggio**

| Zona di Dragaggio                               | Volume Dragaggio         |
|---|--------------------------|
| Area Dragaggio (Area verde) - Quota -4.5 m      | 122866.0 m <sup>3</sup>  |
| Area Dragaggio (Area arancione) - Quota -11.5 m | 1071029.4 m <sup>3</sup> |
| Area Dragaggio (Area viola) - Quota -12.0 m     | 1962305.2 m <sup>3</sup> |

Ai fini del presente studio, tenendo conto dell'estensione della superficie e del volume da dragare, sono state implementati tre diversi scenari di simulazione di dragaggio.

- ✓ Nel primo scenario è stato ipotizzato l'utilizzo di una singola draga idraulica tipo TSHD (Trailer Suction Hopper Dredger) tramite l'impiego di un natante del tipo Van Oord Vox Amalia, caratterizzato da una velocità di crociera di 15.6 nodi e una elevata capacità di stoccaggio pari a circa 18.900 m<sup>3</sup>.

In particolare, la simulazione è stata condotta considerando modellati multipli scenari unitari di dragaggio indipendenti della stessa durata, secondo finestre mobili temporali che si spostano lungo l'anno simulato shiftate di 15 giorni, per un totale di scenari pari a 24, fino a coprire l'intera durata di un anno tipico dal punto di vista delle condizioni meteomarine, al fine di individuare la condizione più impattante in termini di dispersione di sedimento.

- ✓ Il secondo scenario prevede l'utilizzo due draghe TSHD del tipo Rohde Nielsen Njord R, caratterizzate da una velocità di crociera di 15 nodi e una capacità di stoccaggio di 6.000 m<sup>3</sup>, impiegate rispettivamente nelle operazioni di dragaggio delle sub-aree interne e dell'area esterna.

In questo caso specifico, le simulazioni sono state implementate in modo da tale da simulare più verosimilmente la plume di dispersione generata lungo l'asse temporale compreso tra Ottobre e Maggio in quanto non caratterizzato dalla presenza di attività di balneazione.

- ✓ Il terzo scenario prevede l'utilizzo una draga TSHD del tipo Rohde Nielsen Njord R, caratterizzata da una velocità di crociera di 15 nodi e una capacità di stoccaggio di 6.000 m<sup>3</sup>, impiegata nelle operazioni di dragaggio dell'area esterna, mentre le attività di dragaggio nel bacino interno sono realizzate da una draga TSHD, corrispondente a quella precedentemente descritta, che svolge l'attività nelle aree interne confinate, grazie alla presenza di opportune panne anti-torbidità per dragaggio. Queste simulazioni, come per il secondo scenario, sono condotte nel periodo compreso tra Ottobre e Maggio.

L'impostazione scelta è atta a rappresentare quindi le attività secondo un approccio modellistico preliminare, caratterizzato da un elevato livello di cautela. Non ha quindi tenuto in considerazione che le attività di dragaggio, come descritto nel Piano Preliminare di Dragaggio (Doc. No P0031150-D-5-OM51-OM-REL-01\_00) e come specificato anche nei seguenti, potranno essere svolte anche tramite attività di dragaggio selettivo ecologico, caratterizzate quindi da minori interazioni ambientali. Sempre come riportato all'interno del Progetto, sono in corso dedicati approfondimenti che, sull'input dei dati di monitoraggio ante-operam, permetteranno di inquadrare con maggiore dettaglio le modalità esecutive ed operative.

Le aree sedimentarie sono state caratterizzate sia dal punto di vista spaziale nonché sulle diverse profondità all'interno del dominio di calcolo secondo la stratigrafia di design (Doc. P0031150-D-0-MP00-GI-REL-04\_00), la quale si compone di quattro unità principali, caratterizzate da frazioni differenti di sedimenti, come riportato in Tabella 3.2).

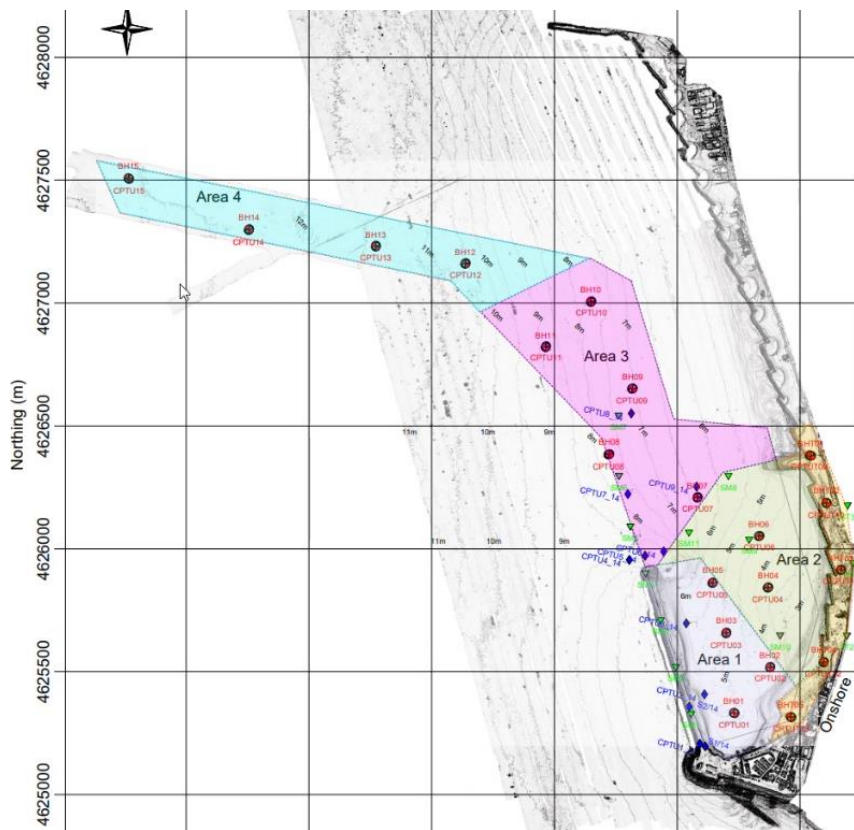


Figura 3.4: Unità Stratigrafiche di Design (1-4)

**Tabella 3.2: Tabella di Sintesi delle Unità Stratigrafiche**

| Seismic Unit | Geotechnical Unit | Soil Description   | Area                                |
|--------------|-------------------|--|-------------------------------------|
| -            | MMG               | Man made ground, recovered as sand, gravel, cobbles, bricks and limestone blocks | Onshore                             |
| A            | 0                 | Very soft to soft clayey SILT with sand  | Area1                               |
|              | I                 | Loose to medium dense fine to medium silty SAND                                  | Onshore, Area1, Area2, Area3, Area4 |
| B            | Ila               | Very soft to firm clayey to sandy SILT   | Onshore, Area1, Area2               |
|              | Iib               | Soft to stiff silty CLAY, with laminations or seams of sand                      | Onshore, Area1, Area2, Area3, Area4 |

L'attività modellistica qui presentata è stata interamente basata sulle Linee Guida contenute nel documento "La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere, 2017. ISPRA" - [17], sia per quanto concerne l'applicazione dei termini sorgente sia per la definizione corretta del dominio di calcolo.

Particolare attenzione è stata prestata ai seguenti aspetti:

- ✓ definizione ottimale del time step di calcolo, al fine di evitare l'introduzione di concentrazioni di sedimento sospeso irrealistiche in alcuni istanti temporali e in alcuni punti della griglia di calcolo. In particolare, la quantità di sedimento fine disponibile al campo lontano introdotto in una cella della griglia durante un passo temporale di calcolo dovrebbe pari al flusso di sedimento (in kg/s) stimato per quella cella integrato per la durata del passo temporale;
- ✓ definizione della dimensione ottimale delle celle della griglia di calcolo in prossimità delle aree di dragaggio, che deve essere scelta in modo da caratterizzare adeguatamente i processi di dispersione, diffusione e sedimentazione di un pennacchio generato durante le operazioni di movimentazione;
- ✓ schematizzazione del movimento della draga all'interno dell'area di lavoro, che deve essere rappresentato con una risoluzione spaziale adeguata. Il corretto flusso di sedimenti in sospensione dovrebbe essere ripartito sulle diverse celle della griglia in maniera proporzionale al tempo di permanenza del termine sorgente (debitamente frazionato) su ogni cella durante un determinato intervallo temporale; pertanto, è necessario caratterizzare la sorgente tramite la successione delle coordinate delle posizioni sulle celle occupate dalla testa dragante allo scorrere del tempo;
- ✓ ottimizzazione della durata delle simulazioni più cautelative, in modo tale che la durata delle condizioni meteomarine simulate copra un anno intero, mentre vengono modellati multipli scenari unitari di dragaggio indipendenti della stessa durata, secondo finestre mobili temporali che si spostano lungo l'anno simulato shiftate di 15 giorni, per un totale di scenari pari a 24. In questo modo le condizioni di dispersione di sedimenti vengono valutate durante l'intera variabilità del campo idrodinamico, consentendo così la valutazione del massimo pennacchio di dispersione generato. Inoltre, le simulazioni di dispersione vengono prolungate per due settimane dopo la cessazione delle attività di dragaggio in modo tale da consentire la deposizione del pennacchio di torbida.

## 4 MODELLISTICA DI DISPERSIONE DI SEDIMENTI

### 4.1 MODELLO IDRODINAMICO

Al fine di descrivere correttamente il campo idrodinamico nell'area di studio e di fornire una valutazione corretta della dispersione dei sedimenti durante le operazioni di dragaggio, è stato utilizzato il Mike Flow Model FM.

Il modello idrodinamico tridimensionale sviluppato da DHI Water & Environment rappresenta un sistema di modellazione allo stato dell'arte per la rappresentazione idrodinamica bidimensionale e tridimensionale.

Più precisamente, il modello baroclino tridimensionale MIKE 3 è un sistema di modellazione numerica generale non idrostatica sviluppato per una vasta gamma di applicazioni in aree quali oceani, regioni costiere, estuari e laghi.

Il modulo idrodinamico (HD) è il modulo base del modello MIKE 3 Flow. Il modulo simula flussi tridimensionali instabili, tenendo conto delle variazioni di densità, della batimetria e delle forzanti esterne come la meteorologia, le elevazioni delle maree, le correnti e altre condizioni idrografiche. Il modello idrodinamico permette di valutare:

- ✓ Situazioni di allagamento;
- ✓ Momentum dispersion;
- ✓ Resistenza del fondale;
- ✓ Variazioni di densità;
- ✓ Trasporto di salinità e temperatura;
- ✓ Modellazione della turbolenza incluso l'effetto "buoyancy";
- ✓ Attrito del vento;
- ✓ Scambi con l'atmosfera, inclusi evaporazione e precipitazioni;
- ✓ Stress da radiazione dovuto alle onde;
- ✓ Tracciamento di particelle.

In particolare, il modulo idrodinamico calcola la corrente 2D/3D, il livello dell'acqua, la temperatura e i campi di salinità. Il modulo 3D Flow Model è applicabile allo studio di una vasta gamma di fenomeni legati all'idraulica ovunque la struttura tridimensionale del flusso sia importante:

- ✓ scambi di marea e correnti;
- ✓ fluidi stratificati;
- ✓ circolazione oceanografica a larga scala;
- ✓ ricircolo di calore e salinità.

Il sistema di modellazione si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes bi/tridimensionali incomprimibili di Reynolds soggette alle assunzioni di Boussinesq e della pressione idrostatica. Pertanto, il modello consiste in equazioni di continuità, quantità di moto, temperatura, salinità e densità ed è chiuso da uno schema di chiusura turbolento. La densità non dipende dalla pressione, ma solo dalla temperatura e dalla salinità. Per il modello 3D, la superficie libera viene presa in considerazione utilizzando un approccio di trasformazione in coordinate sigma.

Di seguito sono presentate le equazioni che governano il modello utilizzando le coordinate cartesiane. L'equazione di continuità locale è scritta come:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

dove  $u$ ,  $v$ ,  $w$  rappresentano le coordinate cartesiane,  $u$ ,  $v$ ,  $w$  sono le componenti della velocità relative alla superficie  $S$ , e le due equazioni del momento orizzontale per la componente  $x$  e  $y$ , rispettivamente:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

Nel Modulo Idrodinamico, il calcolo del trasporto di temperatura e salinità seguono le equazioni generali trasporto-diffusione:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S$$

I termini di diffusione orizzontale sono definiti da:

$$(F_T, F_s) = \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

Le equazioni per il flusso bidimensionale sono ottenute dall'integrazione delle equazioni sulla profondità. Anche lo scambio di calore con l'atmosfera è incluso.

La discretizzazione spaziale delle equazioni primitive viene eseguita mediante integrazione su volumi finiti. Nel piano orizzontale è utilizzata una maglia non strutturata mentre viene impiegata una mesh strutturata nella verticale del modello 3D. Nel modello 2D, gli elementi possono essere triangoli o quadrilateri.

Infine, i risultati prodotti dall'idrodinamico utilizzati anche come input per molti degli altri moduli MIKE 3 come il modulo "Advection-Dispersion", il modulo "Mud Transport" e il modulo "MIKE ECO Lab".

## 4.2 MODELLO DI ONDA

Per la caratterizzazione delle onde dell'area di studio, è stato utilizzato il modello spettrale d'onda di terza generazione MIKE 21 SW basato su mesh non strutturate. Il modello simula la crescita, il decadimento e la trasformazione delle onde generate dal vento e delle onde nelle aree di largo e costiere.

MIKE 21 SW comprende due diverse formulazioni:

- ✓ Formulazione parametrica disaccoppiata direzionale;
- ✓ Formulazione completamente spettrale.

La formulazione parametrica disaccoppiata direzionale si basa su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'azione delle onde. La parametrizzazione è fatta nel dominio della frequenza introducendo il momento zero ed il primo momento dello spettro d'azione delle onde come variabili dipendenti seguendo [1][2][3][4][5]. Un'approssimazione simile è usata in MIKE 21 NSW Nearshore Spectral Wind-Wave Module. La formulazione completamente spettrale si basa sull'equazione di conservazione dell'azione delle onde, come descritto ad esempio in [6][7] e [8][9][10], dove lo spettro direzionale/in frequenza di azione dell'onda è la variabile dipendente. Le equazioni di conservazione di base sono formulate in coordinate cartesiane per applicazioni su piccola scala e coordinate sferiche polari per applicazioni su larga scala.

MIKE 21 SW include i seguenti fenomeni fisici:

- ✓ Crescita delle onde per azione del vento;
- ✓ Interazione onda non lineare;
- ✓ Dissipazione dovuta al white-capping;
- ✓ Dissipazione dovuta all'attrito del fondo;

- ✓ Dissipazione dovuta alla rottura delle onde indotta dalla profondità;
- ✓ Rifrazione e shoaling dovuti a variazioni di profondità;
- ✓ Interazione onda-corrente;
- ✓ Effetto della profondità dell'acqua variabile nel tempo e delle inondazioni e dei periodi di secca.

La discretizzazione dell'equazione principale nello spazio geografico e spettrale viene eseguita utilizzando volumi finiti. Nel dominio geografico viene utilizzata una maglia di calcolo non strutturata. L'integrazione temporale viene eseguita utilizzando un approccio a step frazionati in cui viene applicato un metodo esplicito multi-sequenza per la propagazione dell'azione delle onde.

### 4.3 MODELLO DI TRASPORTO

Il modello di Mud Transport (MT) è un modulo multi-frazione e multistrato in grado di descrivere l'erosione, il trasporto e la ri-deposizione di materiale coesivo e di sedimenti misti coesivi e non coesivi. Risulta particolarmente adatto per studi di dispersione di sedimento conseguenti a dragaggio dei fondali.

Alcune delle caratteristiche descritte dal modello sono:

- ✓ Frazioni multiple di sedimento;
- ✓ Strutture del fondale multiple;
- ✓ Flocculazione;
- ✓ "Hindered settling" dei sedimenti;
- ✓ Inclusione di sedimenti non coesivi;
- ✓ "Shear stress" al fondo dovuto ad onde e correnti;
- ✓ Cambiamenti morfodinamici del fondale;
- ✓ Tracciamento di sedimenti soggetti a sversamento.

La formulazione alla base del modello è descritta in [11].

### 4.4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRODINAMICO

Data la complessità dell'area di studio in esame, ubicata sotto costa e caratterizzata dalla presenza di diverse opere portuali, è stato realizzato un sistema di modellistica idrodinamica il più esaustivo possibile nel descrivere la complessità delle forzanti agenti nell'ambito della dispersione dei sedimenti.

In particolare, il sistema di modellistica è stato implementato secondo i seguenti step:

- ✓ Simulazioni idrodinamiche 3D accoppiate con il modello d'onda, al fine di rappresentare correttamente il comportamento del regime di corrente nelle aree più a costa ed a ridosso delle strutture portuali ad opera dell'azione onde. Più precisamente, la corretta descrizione del trasporto dei sedimenti ad opera della corrente litoranea necessita dell'inserimento dei campi di "radiation stress" del moto ondoso nel modello idrodinamico.
- ✓ Simulazioni idrodinamiche 3D stand-alone della durata di un anno, al fine di fornire l'input idrodinamico al modulo utilizzato nello step successivo.
- ✓ Simulazioni della dispersione di sedimenti durante le attività di dragaggio mediante il modulo *Mud Transport* (MT) disaccoppiate dal modello idrodinamico 3D lungo diverse finestre temporali. Lo scopo del disaccoppiamento è quello di consentire un grosso risparmio di tempo computazionale dal momento che il modello MT copre diverse simulazioni della durata inferiore all'anno.
- ✓ Inclusione dei campi d'onda prodotti mediante il primo step modellistico all'interno delle simulazioni mediante modello MT, al fine di includere nella ri-sospensione del sedimento anche l'azione dell'onda attraverso le velocità orbitali. A tal fine è stata utilizzata la formulazione per il calcolo dello "shear stress" di [12], ritenuta più corretta e cautelativa.

### 4.5 SETUP DEL MODELLO IDRODINAMICO

Le impostazioni del modello idrodinamico sono riassunte nei paragrafi successivi.

#### 4.5.1 Dominio di calcolo ed input batimetrico

La mesh computazionale di calcolo è stata realizzata in modo tale da coprire un'area sufficientemente ampia al fine di valutare la circolazione idrodinamica a sottoscala presso le aree portuali ed al contempo inserirsi in uno schema di circolazione a scala più ampia sufficientemente rappresentativo della circolazione costiera.

La maglia di calcolo di tipo non strutturato è stata opportunamente infittita in prossimità dell'area portuale, in modo tale da passare da una risoluzione a largo di un centinaio di metri a pochi metri sotto costa.

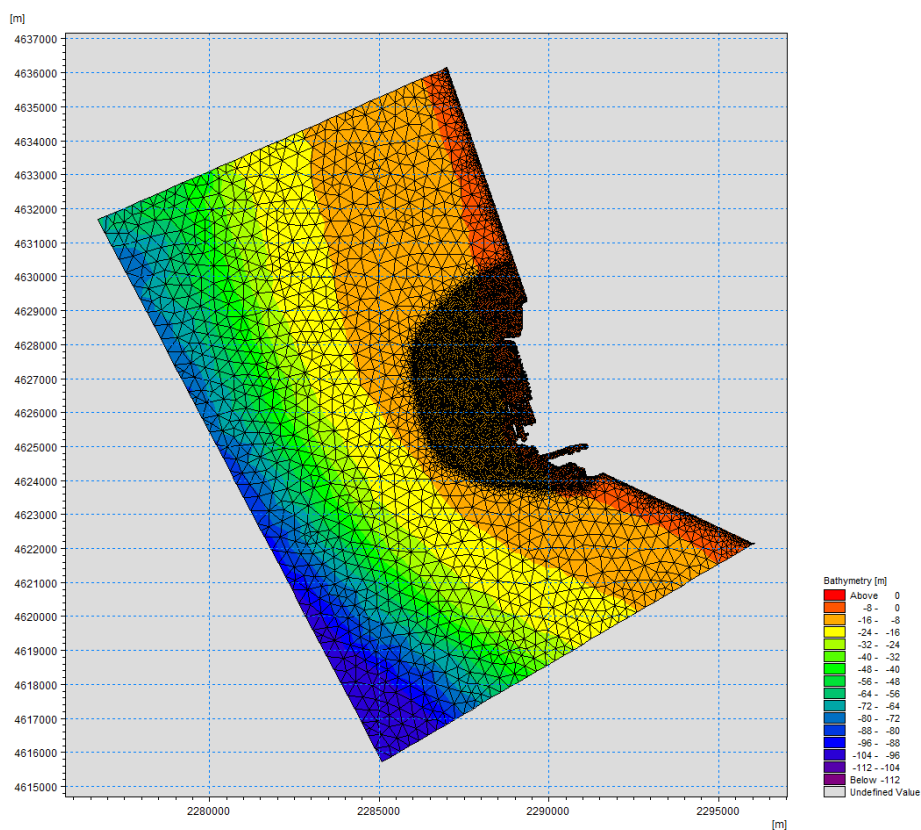
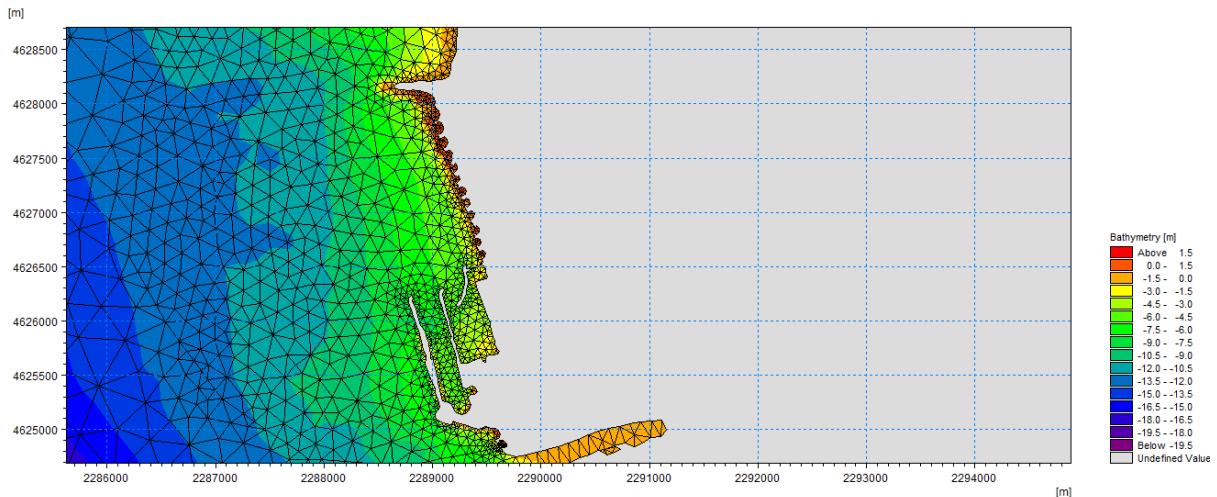


Figura 4.1: Mesh Computazionale di Calcolo del Modello Idrodinamico





**Figura 4.2: Mesh Computazionale di Calcolo del Modello Idrodinamico con Dettaglio sull'Area Portuale**

La batimetria dell'area di studio è stata reperita da:

- ✓ Carte nautiche dal software IMC (<https://www.c-map.com/all-charts/chart-features/>);
- ✓ PIANO PRELIMINARE DI DRAGAGGIO E GESTIONE SEDIMENTI (Doc. P0031150-D-5-OM51-OM-REL-01\_00);
- ✓ PLANIMETRIA DI DRAGAGGIO E AUSILI ALLA NAVIGAZIONE - Tav. 1/2 (Doc. P0031150-D-5-OM51-OM-DRW-01\_00);
- ✓ PLANIMETRIA DI DRAGAGGIO E AUSILI ALLA NAVIGAZIONE - Tav. 2/2 (Doc. P0031150-D-5-OM51-OM-DRW-02\_00).

Il modello è stato configurato in moda da considerare 3 livelli verticali in coordinate sigma al fine di condurre le simulazioni lungo la colonna d'acqua tenendo conto della stratificazione e della densità.

#### 4.5.2 Condizioni al contorno ed iniziali

La forzante di marea applicata ai boundary aperti è stata estratta dal modello DTU10 Ocean Tide (Technical University of Denmark) [13][14][15][16], mentre le condizioni al contorno per le correnti (valori di velocità, salinità e temperatura) sono estratte dal database di rianalisi HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM).

Entrambi i database hanno fornito le condizioni iniziali anche per i campi del livello dell'acqua e delle correnti.

Le condizioni al contorno per il modello d'onda, invece, sono state ottenuti da CMEMS MED - Waves, il database di hindcast del Mediterranean Sea Waves forecasting system (WAM 4.5.4). Tale database viene aggiornato annualmente e consiste in dati di onda orari aventi una risoluzione spaziale di 0.042° nel Mar Mediterraneo.

Tali dati sono stati opportunamente validati mediante comparazione con i dati forniti dalle boe appartenenti alla Rete Ondameterica Nazionale (RON), secondo quanto esposto nello Studio Meteomarina (doc. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01\_00).

#### 4.5.3 Forzanti

I campi di pressione atmosferica e del vento spazio e tempo varianti estratti dal database globale ECMWF ERA5, pubblicato dall'European Centre for Medium-Range Weather Forecast, sono stati utilizzati come forzante meteorologica.

I dati di vento sono stati opportunamente validati mediante comparazione con le misure di vento rilevate dalle stazioni di Civitavecchia, Anzio e Ponza della Rete Mareografica Nazionale (RMN), come ampiamente descritto nello Studio Meteomarina (doc P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01\_00).

#### 4.5.4 Presenza di punti di presa/scarico

Gli scarichi idrici variabili nel tempo forniti dal delta del fiume Tevere sono stati inseriti nel modello ed estratti dai relativi dati storici del Global Flood Awareness System (GloFAS).

---

## 5 VALORI SOGLIA E PARAMETRI DI CONFRONTO

Il parametro della torbidità, da considerare come effetto della fase di dragaggio, non ha riscontro a livello normativo in termini di limiti di concentrazione di sedimento sospeso.

In merito alle indicazioni sulle attività di escavo, la normativa nazionale vigente è costituita ad oggi dal solo Decreto Ministeriale n.172 del 15 luglio 2016 che regola le modalità e le norme tecniche per le operazioni di dragaggio nei siti di interesse nazionale (art. 5-bis, comma 6 legge 28 gennaio 1994 n. 84) e quindi non applicabile al contesto progettuale esaminato.

Il Decreto Ministeriale n. 173 del 15 luglio 2016 regola le modalità e i criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini, e pertanto, applicato in fase successiva alle attività di escavo, quale ad esempio il ripascimento.

Appare chiaro, quindi, che non esiste al momento un riferimento normativo ad hoc per valutare la dispersione dei sedimenti dovuti ad attività di dragaggio.

Di conseguenza, come riportato nel Piano Preliminare di Dragaggio (Doc. No P0031150-D-5-OM51-OM-REL-01\_00) le tecniche di dragaggio ottimizzate e *taylorizzate* sull'area di progetto dovranno essere valutate congiuntamente con i risultati del monitoraggio ambientale Ante Operam e in base alla caratterizzazione del sedimento interessato dal dragaggio stesso.

Relativamente al monitoraggio Ante Operam, si prevede di eseguire un monitoraggio con boa di analisi della torbidità, per un mese nel periodo autunnale, al fine di individuare dei valori di preallerta e di soglia per eseguire dei confronti durante le fasi di dragaggio. Per maggiori dettagli sulla tematica Monitoraggio, si rimanda al Piano di Monitoraggio Ambientale (Doc. P0031150-D-0-MP00-AM-REL-24\_00).

## 6 RISULTATI PRELIMINARI SULLA DISPERSIONE DEI SEDIMENTI DOVUTA AD ATTIVITÀ DI DRAGAGGIO

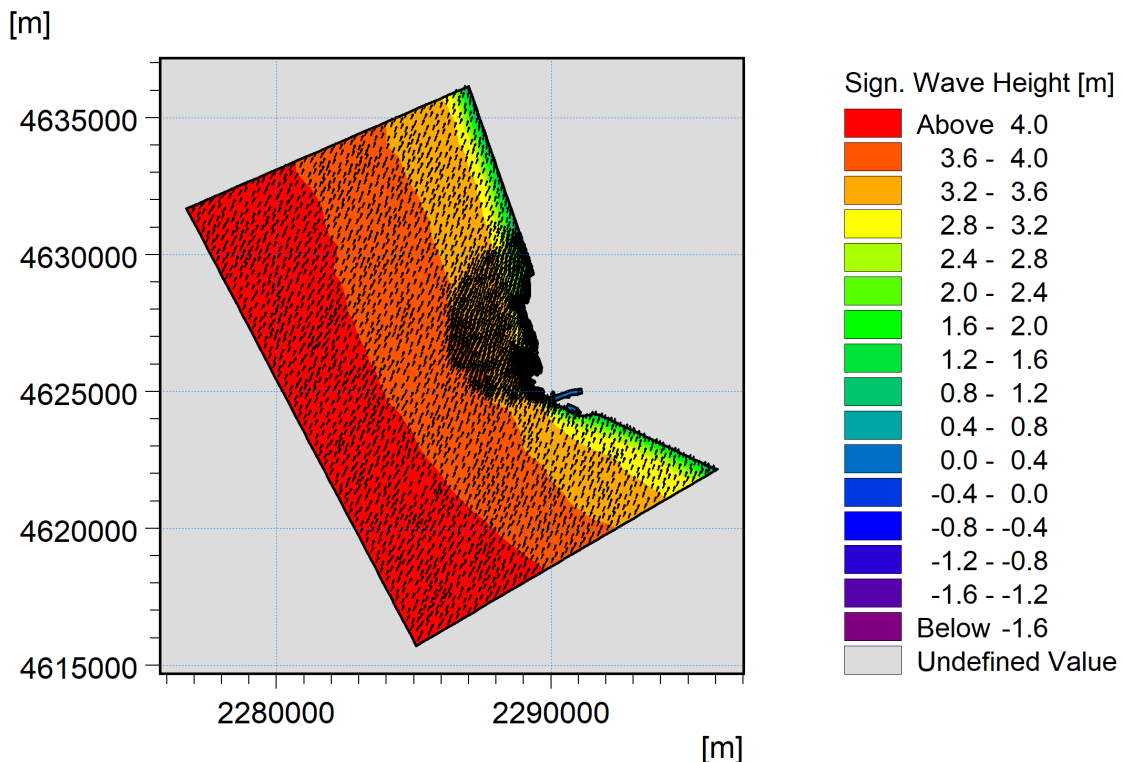
Nel presente capitolo, in base al regime idrodinamico dell'area di studio, sono presentati i risultati preliminari della possibile dispersione dei sedimenti dovuti all'attività di dragaggio, se eseguita tenendo conto delle assunzioni riportate nei precedenti capitoli.

### 6.1 IDRODINAMICA GENERALE

Come riportato in precedenza, le condizioni idrodinamiche e di onda generali sono state simulate per un intero anno tipo (2018, caratterizzato da diversi picchi di mareggiate).

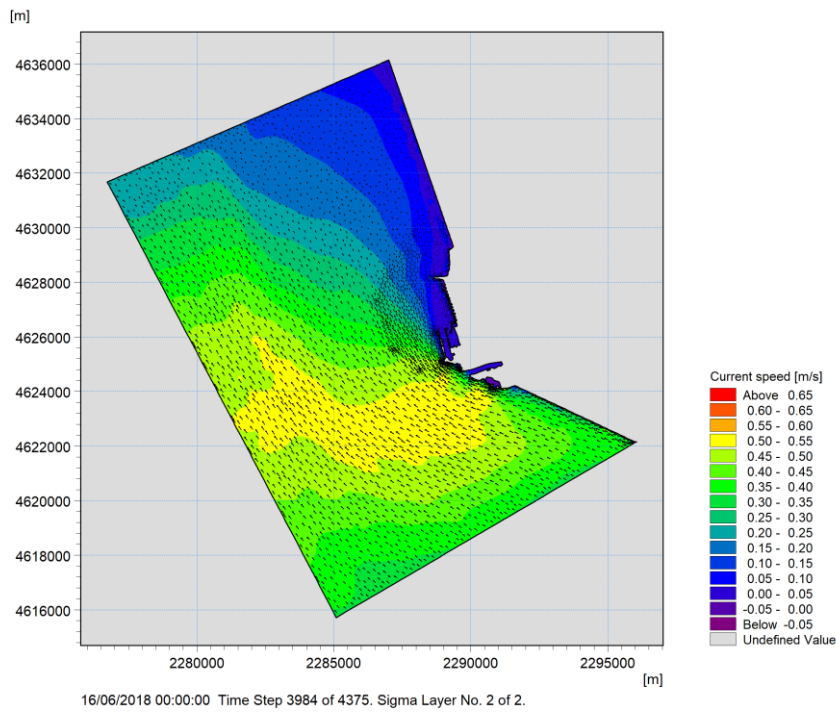
In via generale, il regime di corrente tipico è determinato principalmente dagli eventi di Scirocco (Sud-Est) e Libeccio (Sud-Ovest). Tale regime di vento favorisce lo sviluppo di mareggiate più intense provenienti da Sud-Ovest (Figura 6.1).

Il regime idrodinamico, invece, è caratterizzato da un flusso dominante orientato da Sud-Est a Nord-Ovest (Figura 6.2). Tale regime di corrente è inoltre caratterizzato dall'instaurarsi di una zona d'ombra a Nord dell'area di studio, chiaramente visibile in figura. Inoltre, il regime sostenuto del suddetto pattern idrodinamico tende a generare una circolazione anticiclonica sia nell'area a Sud che in quella a Nord della nuova struttura portuale (Figura 6.3).

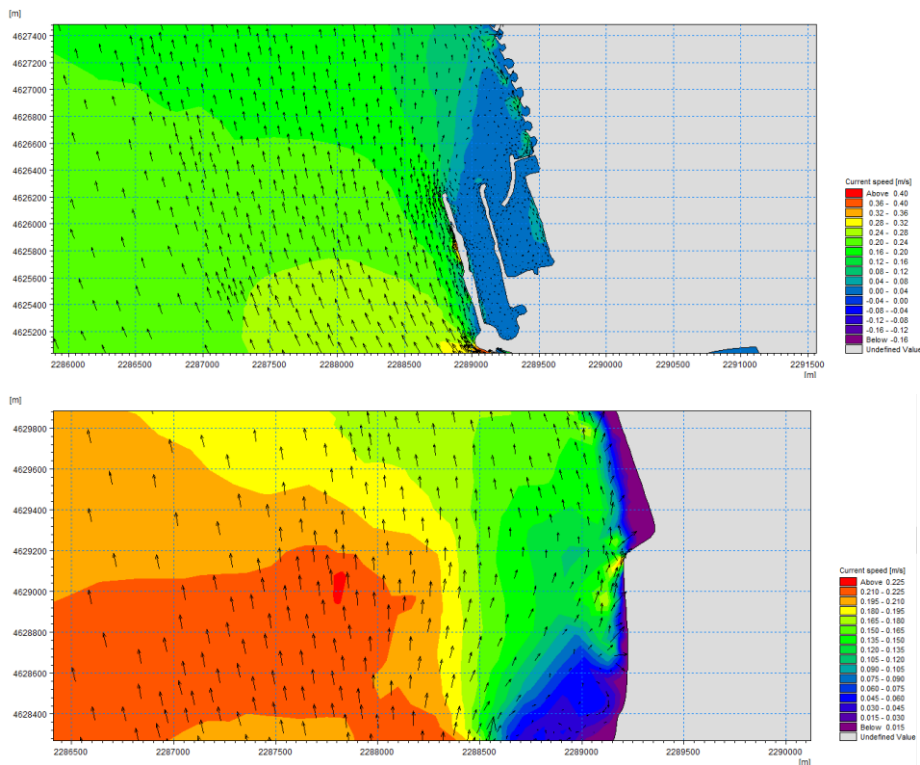


02/03/2018 18:00:00 Time Step 1458 of 8760.

Figura 6.1: Campo di Onda Tipico dell'Area di Studio (da Sud Ovest)

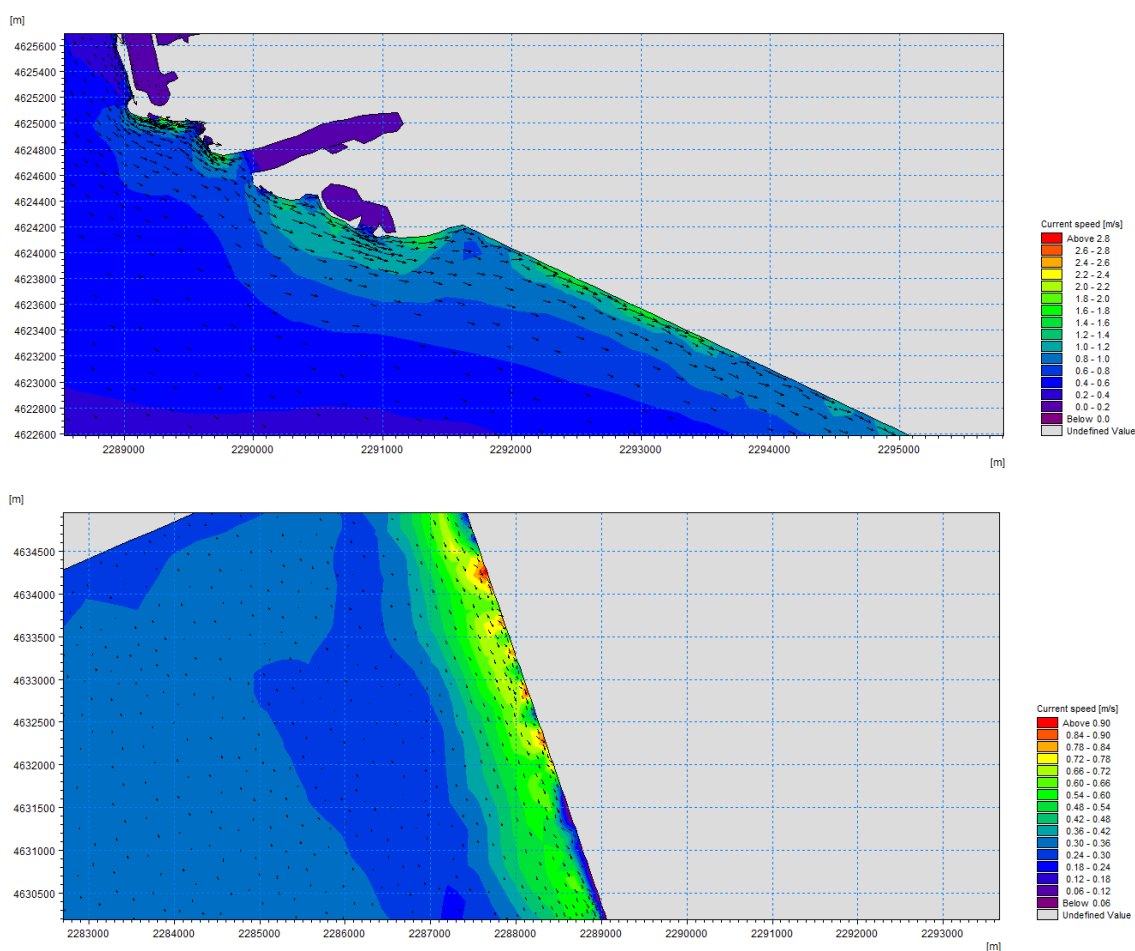


**Figura 6.2: Campo di Corrente Tipico dell'Area di Studio**



**Figura 6.3: Strutture a Regime Anticiclonico a Sottoscala Associati al Campo di Corrente Tipico dell'Area di Studio**

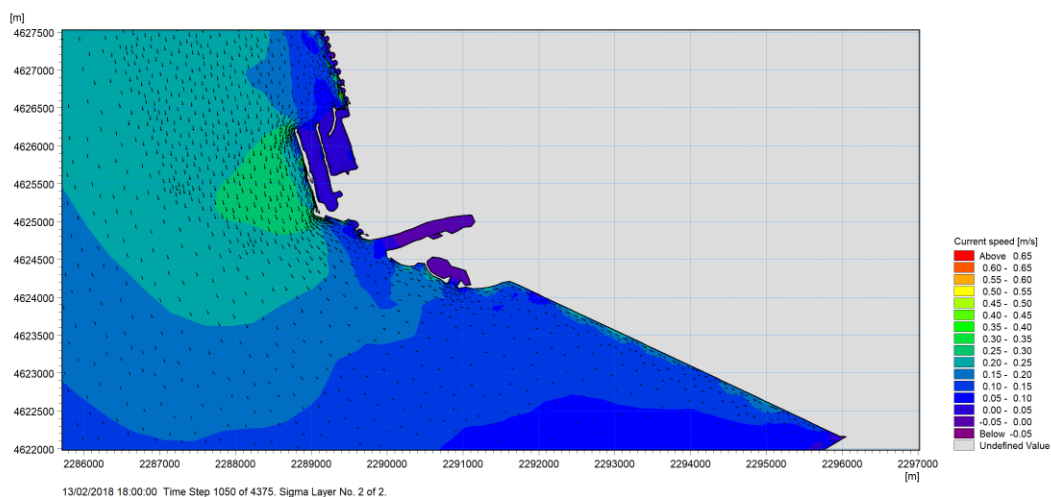
È inoltre interessante notare l'instaurarsi di una importante corrente litoranea associata agli eventi di mareggiata provenienti da Sud-Ovest, diretta verso Sud-Est, piuttosto marcata in prossimità della costa a Sud dell'area di studio, nonché visibile a Nord (Figura 6.4).



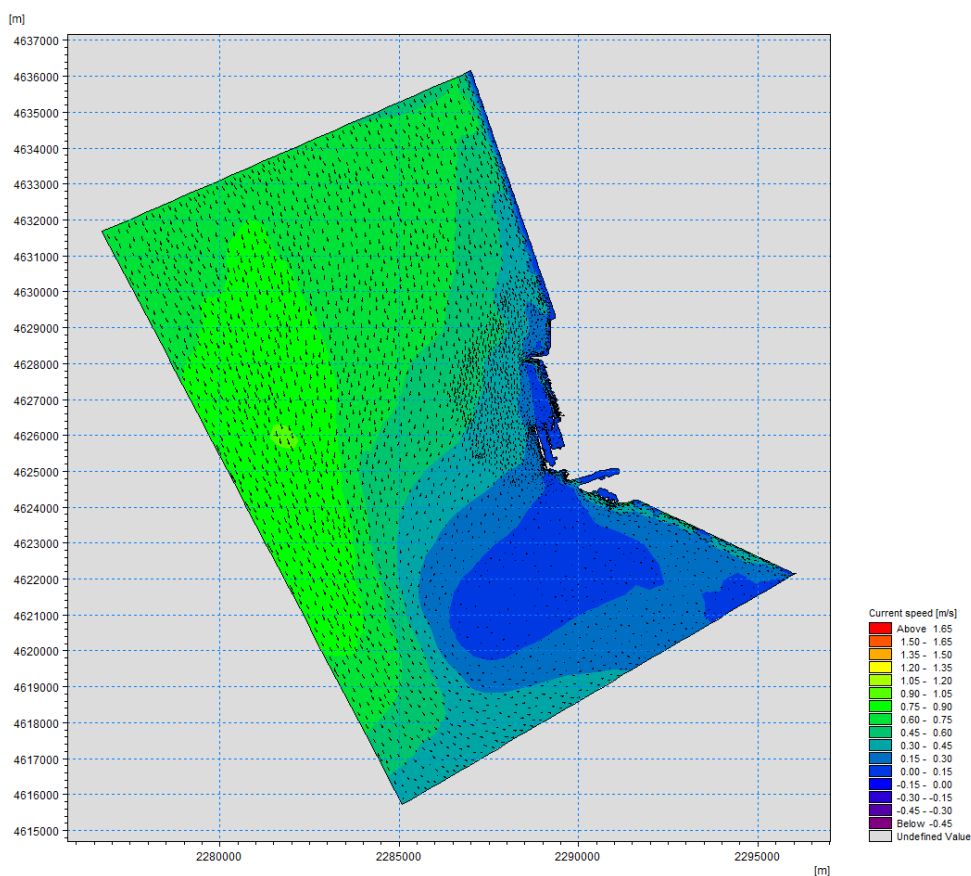
**Figura 6.4: Corrente Litoranea Associate al Campo di Mareggiata Tipico dell'Area di Studio**

Con frequenza minore, le condizioni di venti di Maestrale (Nord-Ovest) generano mareggiate minori, le quali sembrano essere responsabili dell'instaurarsi dell'aumento del regime idrodinamico circolazione in prossimità dell'imboccatura del porto (Figura 6.5). Il regime idrodinamico tipico associato ad eventi di Maestrale è riportato in Figura 6.6.

Inoltre, si genera una zona d'ombra a Sud dell'area di studio, come si osserva in Figura 6.6. A tale regime di corrente si osserva un generale aumento dell'intensità delle correnti in prossimità dei bassi fondali e nei dintorni della foce del fiume Tevere (Figura 6.7).



**Figura 6.5: Campo di Corrente Indotto da Mareggiate di Maestrale (da Nord-Ovest)**



**Figura 6.6: Campo di Corrente Indotto dal Regime di Maestrale (da Nord-Ovest) Tipico dell'Area di Studio**

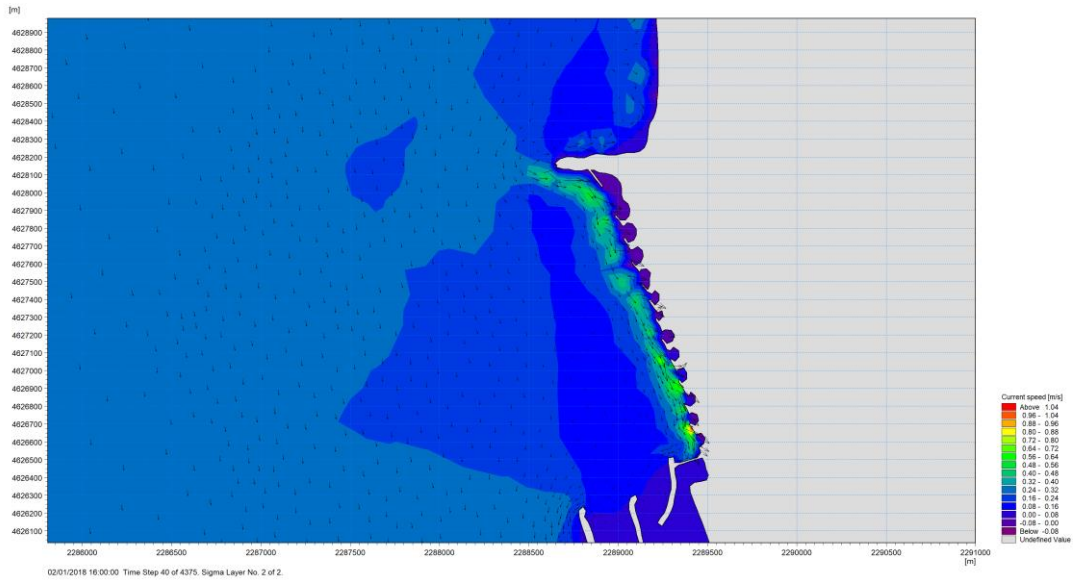


Figura 6.7: Campo di Corrente Sotto Costa Indotto dal Regime di Maestrale (da Nord-Ovest)

## 6.2 DISPERSIONE DEI SEDIMENTI

### 6.2.1 Primo Scenario

Come già espresso in precedenza, nel primo scenario di dragaggio le simulazioni di dispersione dei sedimenti dovute ad attività di dragaggio sono state condotte secondo il metodo delle finestre mobili, fino a coprire l'intera durata di un anno tipico dal punto di vista delle condizioni meteomarine (i.e. 2018).

La dispersione dei sedimenti nell'area, considerando quindi l'intero range di finestre idrodinamiche, è riportata in Figura 6.8.

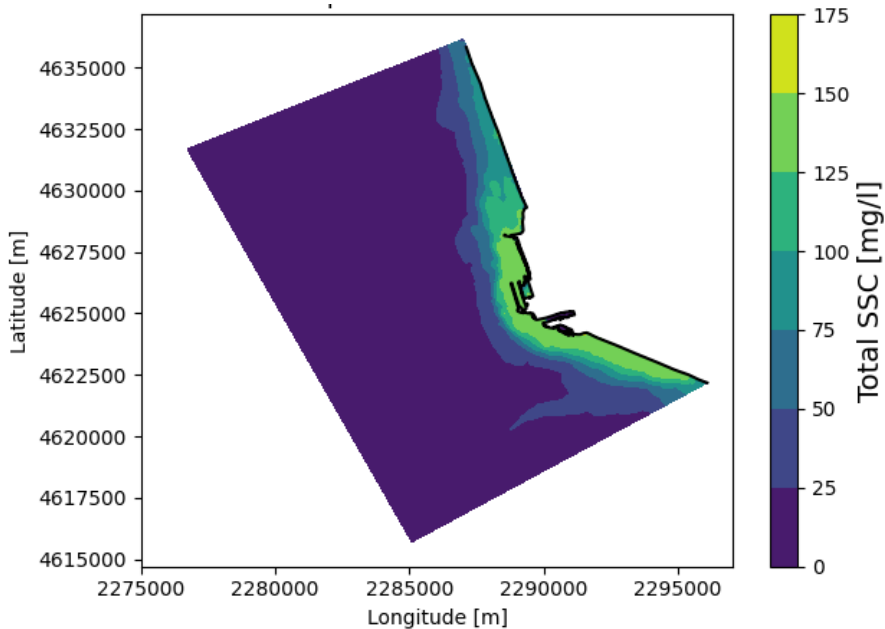


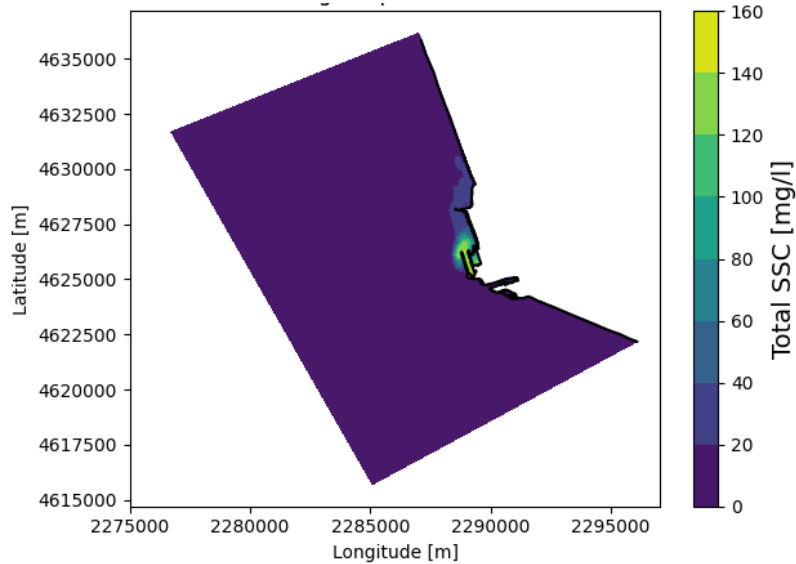
Figura 6.8: Concentrazione di sedimento sospeso nell'area dovuto alle attività di dragaggio, primo Scenario



Il plume di dispersione rispetto al dominio di calcolo, rappresentato dal litorale, interessa in particolare l'area portuale ed il tratto di costa più a sud, con valori di concentrazione massima di sedimenti sospesi fino a circa 150 mg/l.

In base all'idrodinamica dell'area e all'andamento del pennacchio, è possibile individuare diversi scenari temporali di dispersione, rispetto all'area di litorale indagata.

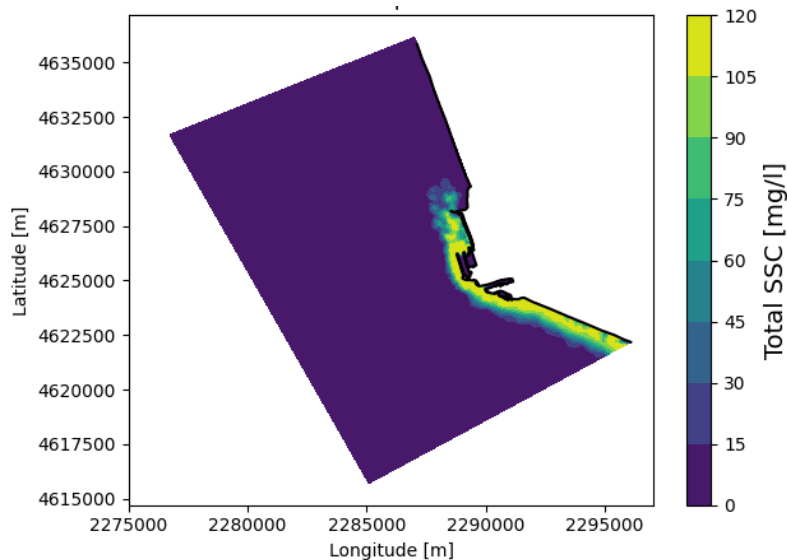
Per quanto riguarda l'area di dragaggio, in particolare le unità stratigrafiche individuate 1, 2 e 3, si riporta la concentrazione di sedimento sospeso prevista durante le attività, in una finestra temporale compresa tra i 31 ed i 100 giorni.



**Figura 6.9: Concentrazione di sedimento sospeso nell'area di dragaggio, primo Scenario**

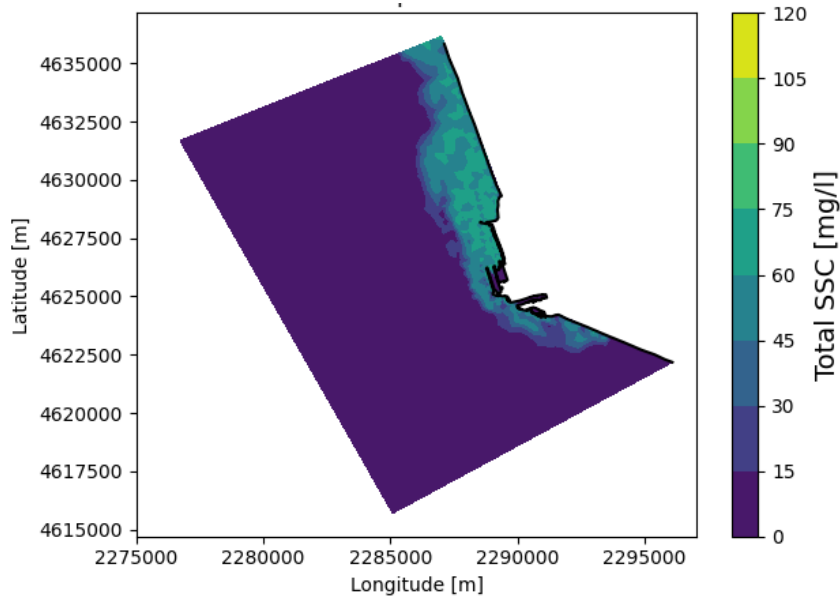
Le attività di dragaggio, concentrate in questa area, determinano una concentrazione di sedimento sospeso tra i 100 mg/l e i 120 mg/l.

Nella fascia litorale più a sud, nonché l'area portuale risultano concentrazioni di sedimento superiori a 100 mg/l per una durata media compresa tra i 7 ed i 30 giorni, come riportato nella figura seguente:



**Figura 6.10: Concentrazione di sedimento sospeso nell'area del porto e a sud del litorale, primo Scenario**

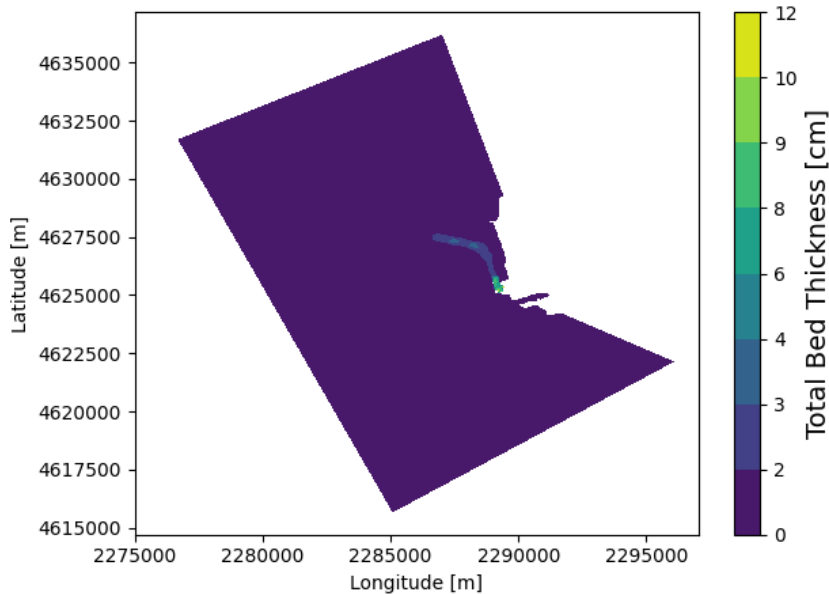
Infine, nella fascia litorale a Nord rispetto all'area portuale, si riscontra una concentrazione media di circa 60 mg/l di breve durata.



**Figura 6.11: Concentrazione di sedimento sospeso nell'area del porto e a nord del litorale, primo Scenario**

Come descritto in precedenza, le simulazioni sono state protrate per circa due settimane dopo la cessazione delle attività di dragaggio al fine di valutare la deposizione del sedimento sospeso sul fondale.

La quantità massima di sedimento depositato al termine delle simulazioni è riportata in Figura 6.12.



**Figura 6.12: Spessore massimo di sedimento depositato a seguito delle attività di dragaggio, primo Scenario**

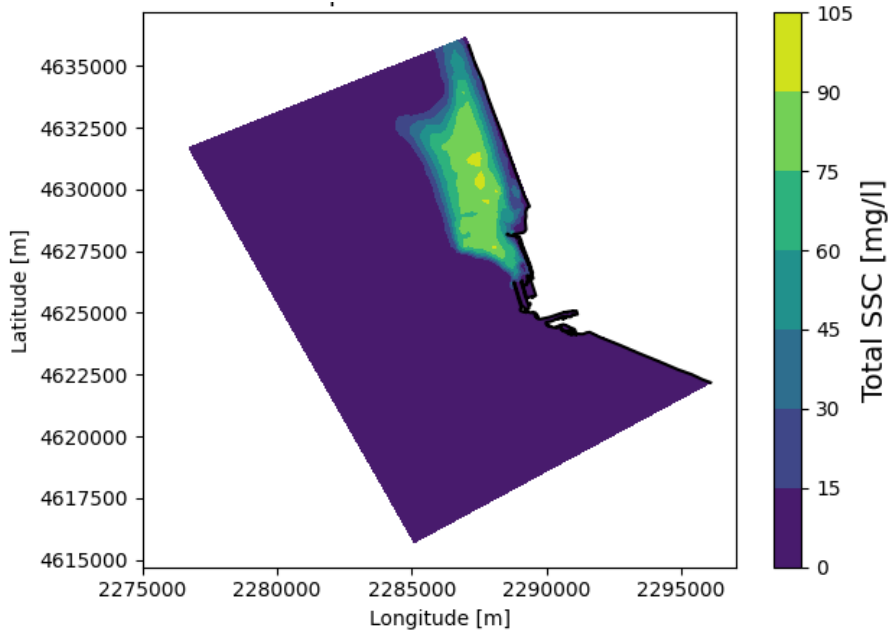
In base a quanto sopra esposto, si può osservare che il flusso dominante di corrente, diretto a Nord-Ovest, tende a tenere confinato il sedimento sospeso nell'area portuale fintanto che l'area di dragaggio è limitata alle prime due zone, corrispondenti alle quote -4.5 e 11 m, mentre il flusso di corrente costiera dovuto a Maestrale, più frequente

nel periodo Maggio-Settembre, può potenzialmente essere associato ad una dispersione a più larga scala che interessa la fascia costiera più a Sud.

### 6.2.2 Secondo Scenario

Nel seguente scenario, le simulazioni di dispersione dei sedimenti dovute ad attività di dragaggio condotte da due draghe a carico minore sono state condotte in modo da coprire l'asse temporale da Ottobre a Maggio.

La massima *plume* di dispersione dei sedimenti risultante nell'area è riportata in Figura 6.13.



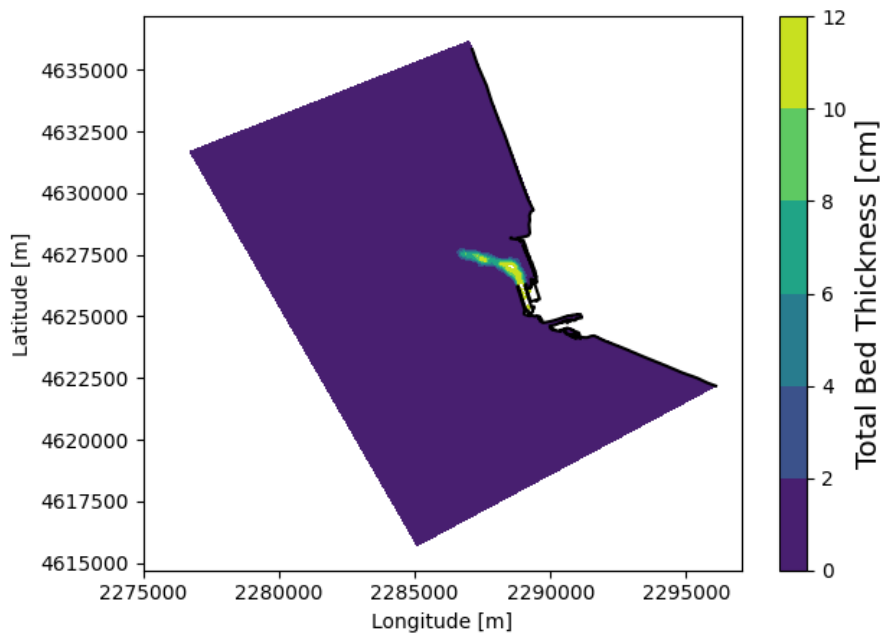
**Figura 6.13: Concentrazione di sedimento sospeso nell'area di dragaggio, secondo Scenario**

Rispetto ai risultati evidenziati nel caso del primo scenario, la concentrazione massima di sedimento è caratterizzata da valori massimi non superiori a 98 mg/l, nonché da dispersione interamente diretta a largo verso Nord, mentre l'area litorale risulta poco interessata dal pennacchio di dispersione.

Tale distribuzione risulta essere associata al regime prevalente osservato lungo l'asse temporale coperto dalle simulazioni, caratterizzato da regime idrodinamico diretto verso Nord-Ovest.

Di conseguenza, rispetto al caso precedente, l'area interna al porto risulta priva di sedimento sospeso trasportato, dagli event meteorologici provenienti da Nord responsabili del trasporto e dispersione di sedimento sia nell'area portuale che lungo la zona litorale Sud, del tutto assenti durante l'arco temporale qui considerato.

La quantità massima di sedimento depositato al termine delle simulazioni è riportata in Figura 6.14.

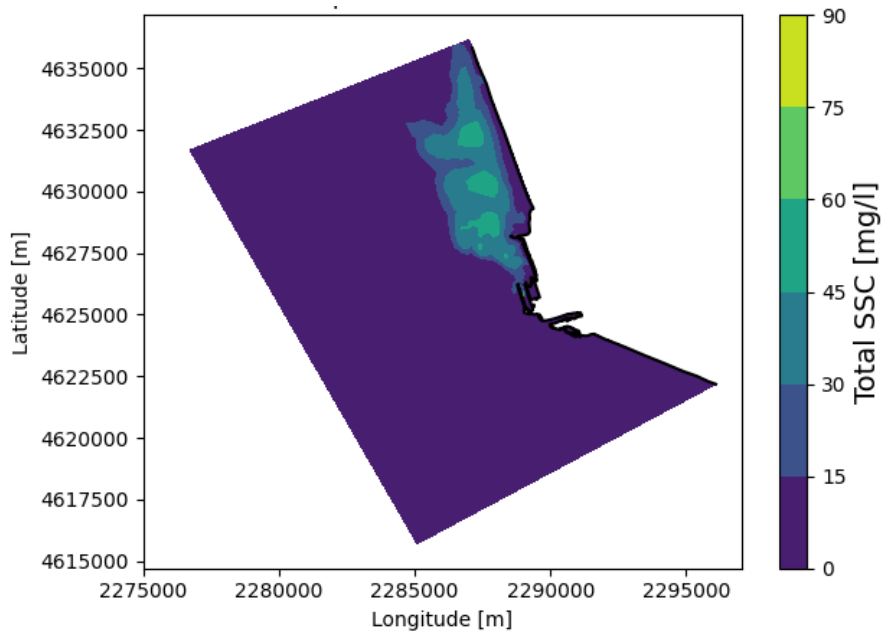


**Figura 6.14: Spessore massimo di sedimento depositato a seguito delle attività di dragaggio, secondo Scenario**

Le quantità massime di sedimento deposto sono in linea con i risultati precedenti. Alcune lievi differenze riguardanti maggiori spessore nel canale esterno sono imputabili al regime idrodinamico presente al termine delle simulazioni, il quale, in quanto estivo, favorisce una maggiore sedimentazione a fronte un regime di dispersione ridotto.

### 6.2.3 Terzo Scenario

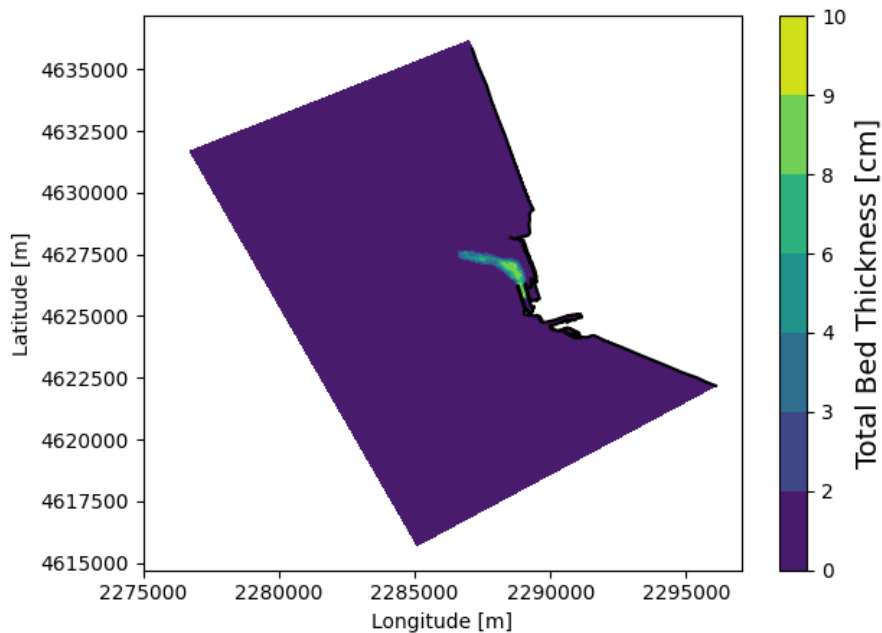
Il terzo scenario, nel quale sono state condotte simulazioni di dispersione dei sedimenti dovute ad attività di dragaggio condotte da una draga TSHD del tipo Rohde Nielsen Njord R, caratterizzata da una velocità di crociera di 15 nodi e una capacità di stoccaggio di 6.000 m<sup>3</sup>, operante nel canale esterno, mentre le attività di dragaggio nel bacino interno sono realizzate da una draga, corrispondente a quella precedentemente descritta, che svolge l'attività nelle aree interne confinate, grazie alla presenza di opportune panne anti-torbidità per dragaggio. Le attività sono sempre svolte, lungo l'asse temporale da Ottobre a Maggio. Lo scenario così descritto è caratterizzato dalla seguente massima *plume* di dispersione dei sedimenti (Figura 6.15).



**Figura 6.15: Concentrazione di sedimento sospeso nell'area di dragaggio, terzo Scenario**

Il pennacchio di massima dispersione risultante è del tutto simile al caso precedente, con valori massimi non superiori a 87 mg/l, nonché da dispersione interamente diretta a largo verso Nord, mentre l'area litorale risulta poco interessata dal pennacchio di dispersione.

La quantità massima di sedimento depositato al termine delle simulazioni è riportata in Figura 6.16.



**Figura 6.16: Spessore massimo di sedimento depositato a seguito delle attività di dragaggio, terzo Scenario**

Le quantità massime di sedimento depositato ad opera del dragaggio del canale esterno risultano inferiori rispetto ai risultati precedenti, grazie all'utilizzo delle panne per le attività di dragaggio all'interno del canale.

### 6.3 METODOLOGIE DI RIDUZIONE DELLA DISPERSIONE

La dispersione dei sedimenti, simulata preliminarmente all'esecuzione del monitoraggio Ante Operam e alla caratterizzazione del sedimento, ha considerato l'utilizzo di draghe idrauliche tipo TSHD. Come riportato nel precedente Capitolo 5, ad oggi non esiste un riferimento normativo *ad hoc* per identificare valori soglia "assoluti" associati alla dispersione dei sedimenti dovuti ad attività di dragaggio. Di conseguenza, come riportato nel "PIANO PRELIMINARE DI DRAGAGGIO E GESTIONE SEDIMENTI" (Doc. No P0031150-D-5-OM51-OM-REL-01\_00) le tecniche di dragaggio ottimizzate e *taylorizzate* sull'area di progetto dovranno essere valutate congiuntamente con i risultati del monitoraggio ambientale Ante Operam in modo che sia possibile individuare dei valori di preallerta e di soglia per eseguire dei confronti durante le fasi di dragaggio. Per maggiori dettagli sulla tematica Monitoraggio, si rimanda al Piano di Monitoraggio Ambientale (Doc. P0031150-D-0-MP00-AM-REL-24\_00).

Nell'area in esame non risultano presenti specifici elementi di sensibilità ambientale (in primis biocenosi) interessati dalle attività descritte e simulate, tuttavia, in funzione dell'importanza di garantire la massima compatibilità ambientale delle operazioni nonché secondo un principio di cautela, prima dell'avvio della fase esecutiva, saranno individuate apposite misure di mitigazione e gestione che consentano di minimizzare – per quanto tecnicamente possibile – la dispersione dei sedimenti. Tali misure, possono essere preliminarmente sintetizzate (in maniera non esaustiva) come di seguito elencate:

- ✓ in funzione delle risultanze della attività di Monitoraggio Ambientale, le attività potranno essere rimodulate (ed eventualmente temporaneamente sospese), in caso di superamento dei valori soglia di torbidità come stabiliti sulla base dei dati associati al "bianco":
- ✓ analogamente a quanto sopra riportato, in funzione delle risultanze della attività di Monitoraggio Ambientale, potranno essere attivate specifiche misure di mitigazione e contenimento, in caso di superamento dei valori di allerta, quali, a titolo di esempio:
  - uso di una draga meccanica di tipo ambientale (es. EcoGrab);
  - messa in opera di panne galleggianti (o analoghe tipologie di barriere temporanee) in grado di contenere i solidi risospesi dal dragaggio;
  - il trasporto del materiale dragato dovrà avvenire mediante imbarcazione con stiva di carico a tenuta (bettolina o pontone), che dovrà minimizzare la possibilità di dispersione del materiale stivato.

## 7 CONCLUSIONI

Il presente studio modellistico preliminare si è posto l'obiettivo di simulare la dispersione dei sedimenti durante le operazioni di dragaggio previste per la realizzazione del nuovo Porto Crocieristico "Fiumicino-Isola Sacra Project", al fine di identificare gli effetti ambientali (torbidità idrica locale) dovuti alla dispersione di solidi sospesi.

L'unità fisiografica in cui ricade il tratto di costa oggetto di studio è compresa tra Capo Lınaro a Nord e Capo Anzio a Sud e si estende per circa 90 km; la foce del Fiume Tevere è situata nel tratto centrale di tale unità; il paraggio in esame risulta, pertanto, esposto ad un ampio settore di traversia, tutto principale, di ampiezza pari a circa 150°, compreso tra 160°N (Capo Anzio) e 310°N (Capo Lınaro). Ponendosi al largo di tali estremi geografici, ad una profondità di circa 100 m e ad una distanza di circa 13 Km dalla costa, il paraggio è geograficamente esposto ad un settore di traversia più ampio che si estende tra 120°N (Capo Circeo) e 320°N (Porto S. Stefano).

Per quanto concerne la circolazione d'insieme relativa all'unità fisiografica in esame, le simulazioni idrodinamiche effettuate evidenziano una prevalenza delle correnti associate a Scirocco, dirette da Sud-Est a Nord-Ovest, con tendenza alla formazione di una circolazione anticiclonica sia nell'area a Sud che in quella a Nord del complesso portuale. In condizioni di vento di Maestrale, invece, si osserva un generale aumento dell'intensità delle correnti in prossimità dei bassi fondali e nei dintorni della foce del fiume Tevere.

L'impostazione scelta è atta a rappresentare le attività secondo un approccio modellistico preliminare caratterizzato da un elevato livello di cautela. Non ha quindi tenuto in considerazione che le attività di dragaggio, come descritto nel "PIANO PRELIMINARE DI DRAGAGGIO E GESTIONE SEDIMENTI" (Doc. No P0031150-D-5-OM51-OM-REL-01\_00), potranno essere svolte anche tramite attività di dragaggio selettivo ecologico, caratterizzate quindi da minori interazioni ambientali. Sempre secondo un approccio cautelativo, non sono state modellate le possibili misure di mitigazione preliminarmente individuate.

La stima complessiva del volume dragato è pari a circa 3.000.000 m<sup>3</sup>.

La modellazione numerica della circolazione costiera e della dispersione dei sedimenti ha evidenziato che, come atteso, il dragaggio comporta la formazione di un plume di torbida che, potenzialmente, potrebbe interessare anche aree litorali.

La distribuzione spaziale del plume di torbida è principalmente influenzata dalle caratteristiche idrodinamiche dell'area sopra descritte ed è spazialmente e temporalmente associata alla concomitanza con eventi meteomarinari significativi.

Nello scenario di simulazione più cautelativo, associato all'impiego di una draga di dimensioni generose, il plume di dispersione dei sedimenti interessa quindi un'area estesa a nord e a sud del porto, in particolare l'area portuale ed il tratto di costa più a sud, con valori di concentrazione massima di sedimenti sospesi fino a circa 150 mg/l.

Gli altri scenari di simulazione, prevententi l'impiego di draghe di dimensioni minori e considerando un arco temporale più lungo, escludente i mesi estivi caratterizzati da attività di balneazione, evidenziano una concentrazione massima di sedimento sospeso compresa tra 87 e 98 mg/l con estensione del pennacchio di torbida nella sola area a nord al largo.

Tali valori, saranno confrontati con i risultati del monitoraggio ante-operam, al fine di individuare dei valori di preallerta e di soglia atti a modulare operativamente le attività di dragaggio. Per maggiori dettagli sulla tematica Monitoraggio, si rimanda al Piano di Monitoraggio Ambientale (Doc. P0031150-D-0-MP00-AM-REL-24\_00).

La quantità massima di sedimento deposto al termine delle simulazioni (12 cm) è associata esclusivamente alle attività da svilupparsi nelle aree riguardanti la struttura portuale, quindi in un ambiente già di per sé confinato (e facilmente perimetrabile e confinabile).

Tenuto conto di quanto sopra riportato, al fine di ottimizzare al massimo lo sviluppo delle attività, nonché minimizzare le possibili interferenze ambientali conseguenti, verranno sviluppati dedicati approfondimenti tecnico-procedurali che, sull'input dei dati di monitoraggio ante-operam, garantiranno la migliore gestione delle modalità esecutive ed operative dell'attività di dragaggio dell'area del futuro porto crocieristico "Fiumicino-Isola Sacra Project".

LSA01/EDI:/eba04

## REFERENZE

- [1] Holthuijsen, L.H., N. Booij and R.C. Ris, 1993, A spectral wave model for the coastal zone, Proceedings 2nd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, Louisiana, July 25-28, 1993, New York, pp. 630-641
- [2] Holthuijsen, L.H., N. Booij and R. Padilla-Hernandez, 1997, A curvi-linear, third-generation coastal wave model, Conf. Coastal Dynamics '97, Plymouth, 128-136
- [3] Holthuijsen, L.H., N. Booij, R. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong, 1997, A verification of the third-generation wave model "SWAN" along the southern North Sea coast, Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES'97, ASCE, 49-63
- [4] Holthuijsen, L.H., R.C. Ris and N. Booij, 1998, A verification of the third-generation wave model SWAN, 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, 1998, Melbourne, Florida, 223-230
- [5] Holthuijsen, L.H., N. Booij and I.J.G. Haagsma, 1998, Comparing 1st-, 2nd - and 3rd-generation coastal wave modelling, 26th Int. Conf. Coastal Engng., Copenhagen, 140-149 Admiralty Tide Tables, 2012., Vol2.
- [6] Komen, G.J., P.A.E.M. Janssen, V. Makin, K. Mastenbroek and W. Oost, 1998: Review: On the sea state dependence of the Charnock parameter, J. Glob Atmos. Ocean System, 5, 367-388.
- [7] Komen, G.J., Cavaleri, L., Doneland, M., Hasselmann, K., Hasselmann S. and Janssen, P.A.E.M. (1994) Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge University Press, UK, 560pp.
- [8] Young, I. and L.A. Verhagen, 1996: 'The growth of fetch-limited waves in water of finite depth. Part I and II.', Coastal Engineering, 29 pp.47-99.
- [9] Young, I. and R.M. Gorman, 1995: 'Measurements of the evolution of ocean wave spectra due to bottom friction', J. Geophys. Res, 100, C6, pp.10987- 11004.
- [10] Young, I.R., 1999: Wind generated ocean waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.
- [11] Mehta, A.J., Hayter, E.J., Parker, W.R., Krone, R.B., and Teeter, A.M., 1989. Cohesive Sediment Transport. I: Process Description. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 115(8): 1076–1093.
- [12] R.L. Soulsby, L. Hamm, G. Klopman, D. Myrhaug, R.R. Simons, G.P. Thomas, Wave-current interaction within and outside the bottom boundary layer, Coastal Engineering, Volume 21, Issues 1–3, 1993, Pages 41-69.
- [13] Andersen, O. B. (1999), Shallow water tides in the northwest European shelf region from Topex/Poseidon altimetry, J. Geophys. Res., 104(C4), 7729–7741.
- [14] Andersen, O. B., and P. Knudsen, 2009, DNSCO8 mean sea surface and mean dynamic topography models, J. Geophys. Res., 114, C11001, doi:10.1029/2008JC005179.
- [15] Munk, W. H. and D. E. Cartwright, 1966, Tidal Spectroscopy and Prediction. Philos. Trans. R. Soc. London, A, 259:533-583.
- [16] Lyard, F., F. Lefèvre, T. Letellier and O. Francis, (2006), Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004, Ocean Dynamics, 56, 394-415.
- [17] La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere, 2017. ISPRA.