

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

Ing. Valentina BALATA - Project Engineer

Ing. Alessandro PIAZZA - Coordinamento Opere Civili

Ing. Damiano SCARCELLA - Coordinamento Opere Marittime

Arch. Sara GOTTARDO - Coordinamento Architettura e Landscape

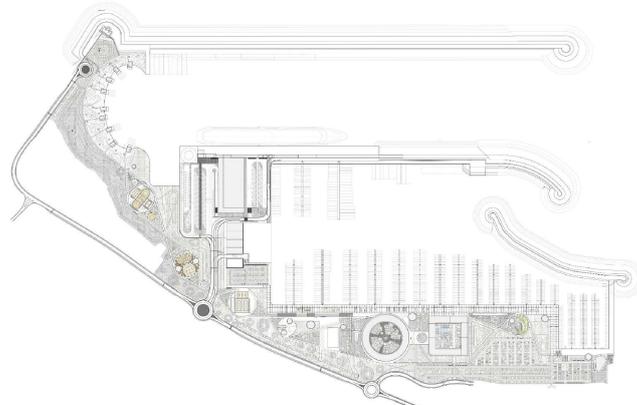
UNITÀ DI PROGETTO

Ing. Massimo GUIDI - Dirigente Comune di Fiumicino

## PORTO TURISTICO-CROCIERISTICO DI FIUMICINO ISOLA SACRA

CUP:F1122000320007

### PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA



### OPERE MARITTIME RELAZIONI SPECIALISTICHE STUDIO IDRO-MORFODINAMICO

COMMESSA	SERVIZIO LOTTO	OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROG.	REV.	SCALA
P0031150	D0	OM00	RS	REL	05	01	

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA
00	Emissione per approvazione	L.SARTINI	E.DUCHINI	A.ODASSO	31/07/2023
01	Integrazioni	L.SARTINI	E.DUCHINI	A.ODASSO	06/2024
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

NOME FILE: P0031150-D-0-OM00-RS-REL-05\_01

**PORTO TURISTICO-CROCIERISTICO DI FIUMICINO ISOLA  
SACRA**

**STUDIO MORFODINAMICO**

**P0031150-D-0-OM00-RS-REL-05\_01**

---

## INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>2</b>
<b>ABBREVIAZIONI E ACRONIMI</b>	<b>4</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
<b>2 SCOPO DEL DOCUMENTO</b>	<b>7</b>
<b>3 AREA DI STUDIO</b>	<b>8</b>
<b>4 MODELLISTICA MORFODINAMICA</b>	<b>9</b>
4.1    MODULO IDRODINAMICO	9
4.2    MODULO DI ONDA	11
4.3    MODULO MORFODINAMICO	12
4.4    SIMULAZIONI IDRO-MORFODINAMICHE	12
<b>5 APPLICAZIONE ALL'AREA DI STUDIO</b>	<b>14</b>
5.1.1    Dominio di Calcolo ed Input Batimetrico	14
5.1.2    Condizioni al Contorno ed Iniziali – Marea e Moto Ondoso	15
5.1.3    Forzanti Meteorologiche	15
5.1.4    Presenza di punti di presa/scarico	15
5.1.5    Input Sedimentario	16
<b>6 RISULTATI</b>	<b>18</b>
6.1    IDRODINAMICA GENERALE	18
6.2    CONFIGURAZIONE ATTUALE	18
6.3    CONFIGURAZIONE DI PROGETTO	22
6.4    SINTESI DEI RISULTATI	30
6.4.1    Confronto tra Configurazioni Attuale e di Progetto	30
6.4.2    Configurazione di Progetto – Evoluzione Media Annuale dei Fondali	33
<b>7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI</b>	<b>35</b>
<b>REFERENZE</b>	<b>37</b>

## LISTA DELLE TABELLE

Tabella 4.1:	Set di Simulazioni Selezionate e Relativo Fattore di Scala Morfologico	13
Tabella 5.1:	Tabella di Sintesi delle Unità Geotecniche (Doc. No. P0031150-D-0-MP00-GI-REL-03_00)	17
Tabella 6.1:	Risultati Relativi alle Stime dei Tassi di Sedimentazione nelle Aree Dragate	30

## LISTA DELLE FIGURE

Figura 3.1:	Unità Fisiografica	8
Figura 4.1:	Schema Riassuntivo della Catena Modellistica Morfodinamica	9
Figura 5.1:	Mesh Computazionale di Calcolo del Modello Morfodinamico, Configurazione di Progetto	14
Figura 5.2:	Batimetria del Modello Morfodinamico	15
Figura 5.3:	Punti di Scarico Fluviale Implementati nel Modello Morfodinamico	16
Figura 5.4:	Aree 1-5 di Caratterizzazione Geotecnica (Doc. No. P0031150-D-0-MP00-GI-REL-03_00)	17
Figura 6.1:	Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione Attuale	18
Figura 6.2:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione Attuale	19
Figura 6.3:	Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione Attuale	19
Figura 6.4:	Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione Attuale	20
Figura 6.5:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione Attuale	20
Figura 6.6:	Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione Attuale	21
Figura 6.7:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione Attuale	21
Figura 6.8:	Tasso di Accumulo/Erosione (a destra) Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione Attuale	22
Figura 6.9:	Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione di Progetto	22
Figura 6.10:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione di Progetto	23
Figura 6.11:	Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione di Progetto	23
Figura 6.12:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione di Progetto	24
Figura 6.13:	Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione di Progetto	24
Figura 6.14:	Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione di Progetto	25
Figura 6.15:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione di Progetto	25
Figura 6.16:	Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione di Progetto	25
Figura 6.16:	Campo di Velocità Medio Annuo	26
Figura 6.17:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Annuo, Configurazione di Progetto	26
Figura 6.18:	Tasso di Accumulo/Erosione Medio Annuo, Configurazione di Progetto	26
Figura 6.19:	Evoluzione Media Annuo del Fondo Marino	27
Figura 6.20:	Ubicazione dei Punti di Estrazione dei Risultati del Modello Morfodinamico	27
Figura 6.21:	Serie Temporali della Cumulata di Sedimentazione estratta presso diversi Punti all'Interno del Canale di Navigazione	28

---

Figura 6.22:	Aree di Analisi ai Fini della Valutazione dei Tassi di Sedimentazione	28
Figura 6.23:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto	30
Figura 6.24:	Campo di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto	31
Figura 6.25:	Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Nord-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto	31
Figura 6.26:	Campo di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Nord-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto	32
Figura 6.27:	Area di Studio e Presenza dell’Area Naturale Protetta “Secche di Tor Paterno”	33
Figura 6.28:	Andamento Temporale della Concentrazione di Sedimento Sospeso e della Cumulata di Sedimentazione in Prossimità dell’Area Naturale Protetta “Secche di Tor Paterno”	34

---

## ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

<b>CMEMS</b>	Copernicus Marine Environment Monitoring Service
<b>ECMWF</b>	European Center of Medium-range Weather Forecast
<b>ERA5</b>	ECMWF Reanalysis 5th generation
<b>GloFAS</b>	Global Flood Awareness System
<b>HYCOM</b>	Hybrid Coordinate Ocean Model
<b>RON</b>	Rete Ondametrica Nazionale

## 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 in maniera disomogenea 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 preliminare 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). È 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.

## 2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente elaborato è stato integrato per rispondere alle richieste di integrazioni della Commissione Tecnica PNRR-PNIEC (Prot. MASE-2024-0011678 del 09/02/2024), della Soprintendenza Speciale per il PNRR del MIC (Prot. MASE-2024-0023735 del 08/02/2024) e alla richiesta di integrazioni/osservazioni VIAN 007/2024 della Regione Lazio - "Direzione Regionale ambiente, cambiamenti climatici, transizione energetica e sostenibilità, parchi" (Prot. MASE-2024-0056308 del 25/03/2024), nell'ambito della Procedura di VIA (PNIEC-PNRR) ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.n.152/2006, avviata con Istanza del 6 Ottobre 2023, per il "Progetto per la realizzazione del Porto turistico-crociéristico di Fiumicino - Isola Sacra".

La Commissione Tecnica PNRR-PNIEC, in particolare, ha richiesto quanto segue: "Si richiede di revisionare lo "Studio idro-morfodinamico", prendendo in considerazione la realizzazione, attualmente in corso, delle opere a mare relative al Porto Commerciale di Fiumicino, allo scopo di valutare l'effetto della futura morfologia costiera sulla dinamica delle acque e dei sedimenti. Stante le valutazioni del tasso di sedimentazione previsto nelle aree di dragaggio, indicate nello "Studio idro-morfodinamico", si richiede di predisporre un piano di manutenzione delle aree di dragaggio, che prenda in considerazione in particolare quantità dei sedimenti da movimentare, frequenza e durata stimate delle operazioni".

Pertanto, il presente documento costituisce lo "Studio Morfodinamico" nell'ambito dello Studio di Impatto Ambientale per il progetto riferito all'intervento di costruzione del progetto consistente nella realizzazione di un porto con funzione di approdo crociéristico e diportistico.

Il presente studio si pone l'obiettivo di **revisionare il precedente studio morfodinamico (doc. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-05\_00) avente lo scopo di** definire una valutazione della possibile variazione del fondale marino a seguito della realizzazione della costruzione portuale prevista per l'area in esame.

Al fine di evidenziare eventuali impatti della costruzione portuale lungo l'area costiera adiacente e di stimare i tassi di sedimentazione attesi lungo il canale di navigazione e all'interno dell'area del bacino di manovra, verranno eseguite simulazioni numeriche delle condizioni idro-morfodinamiche nell'area di studio.

Saranno prese in considerazione due configurazioni: lo scenario attuale e lo scenario di progetto.

**Nel presente studio, lo scenario di progetto è configurato in modo tale da essere comprensivo sia del layout finale del porto turistico nonché del porto commerciale, a differenza della configurazione utilizzata nella prima versione dello studio nella quale era prevista la sola presenza del layout finale del porto turistico.**

I dati meteorologici di base sono quelli definiti all'interno dello Studio Meteorologico sviluppato per il presente progetto.

Lo studio morfodinamico analizzerà l'idro-morfodinamica costiera nell'area di studio e stimerà l'evoluzione media annua dei fondali marini mediante modelli numerici che riproducono i principali processi costieri. I processi di sedimentazione saranno studiati mediante analisi di onde, correnti, batimetria, granulometria dei fondali e geometria delle aree dragate.

**Nel presente studio, inoltre, sono stati implementati gli input di trasporto solido del fiume Tevere ricavati mediante simulazioni di trasporto solido effettuate con modello idraulico ( P0031150-D-0-MP00-GI-REL-09\_00).**

Lo studio fornirà una valutazione quantitativa delle tendenze erosive o di deposizione per condizioni tipiche meteorologiche. Le analisi saranno eseguite attraverso la combinazione di diverse metodologie basate fortemente su modellistica numerica allo stato dell'arte.

### 3 AREA DI STUDIO

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

## 4 MODELLISTICA MORFODINAMICA

Lo studio utilizzerà i dati meteomarinari definiti all'interno dello studio Meteomarino (Doc. No. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01\_00) come input e valuterà i seguenti aspetti principali:

- ✓ Evoluzione dei fondali marini;
- ✓ Volumi di trasporto dei sedimenti;
- ✓ Aree di deposizione dei sedimenti e valori min/max;
- ✓ Aree di erosione dei sedimenti e valori min/max;
- ✓ Trasporto sedimentario costiero – confronto tra configurazione attuale e di progetto;
- ✓ Tassi di sedimentazione nelle aree dragate.

Lo studio è basato su modellistica numerica idro-morfodinamica allo stato dell'arte. In particolare, il modello Delft3D è stato utilizzato per la simulazione della propagazione delle onde, dei flussi idrodinamici e dei processi di trasporto, compresa la dinamica dei sedimenti. I moduli applicati sono Delft3D-WAVE, -FLOW e -MOR. Tali moduli lavorano in cascata e interagiscono in continuo tra di loro come mostrato dal seguente diagramma di flusso generale (Figura 4.1).

Nei capitoli seguenti vengono brevemente descritte le caratteristiche principali del modello numerico e successivamente viene presentata l'applicazione al presente caso studio, in termini di dati di input, schematizzazione del dominio di calcolo e di risultati ottenuti.

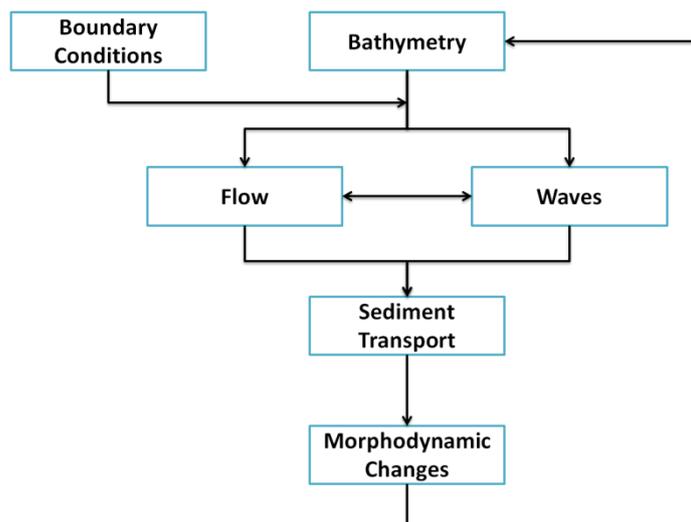


Figura 4.1 Schema Riassuntivo della Catena Modellistica Morfodinamica

### 4.1 MODULO IDRODINAMICO

Il modulo idrodinamico Delft3D-FLOW simula fenomeni di flusso e trasporto non stazionari bidimensionali (2DH, in profondità) o tridimensionali (3D) derivanti da forzanti mareali e/o meteorologiche, incluso l'effetto delle differenze di densità dovute a una distribuzione non uniforme della temperatura e della salinità (correnti di densità).

Dato che la colonna d'acqua nella zona costiera può essere assunta non stratificata e ben rappresentata da un profilo di densità barotropica, è stata adottata la modalità 2DH per simulare l'area del Progetto.

Il modello descrive onde, correnti, trasporto di sedimenti e cambiamenti del livello del fondo marino attraverso una serie di equazioni matematiche basate sulla conservazione della massa, della quantità di moto, dell'energia.

Il modulo principale di Delft3D è il modulo FLOW che calcola i flussi idrodinamici multidimensionali e i fenomeni di trasporto, compresi i sedimenti, principalmente forzati dal campo d'onda fornito dal modulo WAVE.

Delft3D-FLOW calcola i processi di flusso e trasporto non stazionari derivanti da forzanti mareali e meteorologiche su una griglia rettilinea o curvilinea.

Alcune delle caratteristiche di Delft3D-FLOW includono la descrizione di:

- ✓ forzante mareale;
- ✓ forza di Coriolis;
- ✓ correnti di densità;
- ✓ processi di avvezione/diffusione;
- ✓ correnti di densità;
- ✓ vento e pressione atmosferica spazio/tempo varianti;
- ✓ modelli di turbolenza avanzati basati su viscosità turbolenta;
- ✓ sorgenti e pozzi tempo varianti;
- ✓ nesting e decomposizione del dominio di calcolo;
- ✓ stress indotto da onde.

Il modulo è in grado di simulare 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 Delft3D-FLOW 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  $x, y, z$  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:

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

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

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.

Le simulazioni sono state effettuate accoppiando i codici Delft3D-WAVE e Delft3d-FLOW, con lo scambio di dati bidirezionale. Con questo accoppiamento vengono presi in considerazione gli effetti delle onde sulla corrente (tramite forzante, maggiore turbolenza e maggiore stress di taglio al fondo) e gli effetti del flusso sulle onde (tramite set-up, rifrazione della corrente e maggiore attrito del fondo).

## 4.2 MODULO DI ONDA

Per la caratterizzazione delle onde nell'area di studio, è stato utilizzato il modello di onda Delft3D-WAVE, il cui core è basato sul modello spettrale d'onda di terza generazione SWAN [1][2][3][4][5]. Il modello simula la crescita, il decadimento e la trasformazione delle onde generate dal vento e delle onde nelle aree di largo e costiere.

Delft3D-WAVE 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.

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.

Il modello 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 MODULO MORFODINAMICO

Delft3D-MOR calcola il trasporto di sedimenti (sia il carico totale sospeso che il carico totale al fondo) e i cambiamenti morfologici per un numero arbitrario di frazioni coesive e non coesive.

Le onde che si propagano verso le acque poco profonde inducono, in prossimità del fondo marino, una corrente oscillante orizzontale avente la direzione di propagazione delle onde. Questa corrente rappresenta la causa principale del sollevamento dei sedimenti, che si verifica quando lo stress sul fondo marino supera la resistenza all'attrito tra le particelle di sabbia. Il sedimento sollevato è esposto all'azione della corrente oscillante e alla gravità.

A causa della asimmetria della corrente orbitale, dovuta a sua volta alla asimmetria della forma d'onda tipica delle acque basse, le particelle subiscono movimenti diversi lungo la direzione di propagazione delle onde e lungo la direzione opposta: risulta quindi un trasporto netto (trasporto "cross-shore") verso la costa o verso il largo, in relazione al rapporto tra velocità di caduta dei sedimenti e velocità orbitale delle onde.

Il trasporto dei sedimenti dipende dalle caratteristiche del fondo marino, dei sedimenti e delle onde incidenti. In caso di onde frangenti, avvicinandosi obliquamente alla battigia, la quantità di moto del flusso induce una corrente litoranea che scorre parallela alla costa, confinata principalmente nella zona di "breaking" dell'onda. Sebbene le correnti costiere abbiano generalmente una bassa velocità, sono importanti nei processi litorali perché fluiscono lungo la riva per lungo tempo, trasportando sedimenti mossi dalle onde frangenti. A causa di queste correnti, il sedimento sollevato dalle onde viene trasportato parallelamente alla costa (trasporto costiero).

Sia le correnti che le onde fungono da forze motrici e sono state incorporate un'ampia varietà di formule di trasporto. Per il carico sospeso questo modulo si collega al solutore di avvezione-diffusione 2D o 3D del modulo D-Flow FM; gli effetti della densità possono essere presi in considerazione.

Una caratteristica essenziale di questo modulo è la relazione dinamica con i moduli Delft3D-WAVE e Delft3D-FLOW, che consentono ai flussi e alle onde di adattarsi alla batimetria locale e consentono simulazioni su diverse scale temporali, da giorni (impatto tempesta) ad anni (dinamica del sistema). Può tenere conto della composizione del fondale e quindi costruire una registrazione stratigrafica.

### 4.4 SIMULAZIONI IDRO-MORFODINAMICHE

Alcuni eventi meteomarinari significativi sono stati selezionati per riprodurre la forzante che caratterizza il clima tipico dell'area di studio sulla scala temporale della mareggiata, opportunamente combinato con le variazioni di marea.

Inoltre, Delft3D-FLOW/MOR permette di definire un fattore di scala morfologico: è utile per aumentare a livello spurio il tasso di variazioni morfologiche e quindi riprodurre le tendenze evolutive su periodi di tempo più lunghi dell'arco temporale simulato. A questo proposito, sono stati definiti due diversi set di simulazioni:

- ✓ **Run a breve termine:** mareggiate singole di durata limitata. La durata di tali eventi è stata definita sulla base del clima tipico. In particolare, sono stati individuati 3 eventi significativi corrispondenti a mareggiate importanti provenienti da diversi settori direzionali: da Sud-Ovest, da Nord-Ovest ed infine da Sud, come riportato in Tabella 4.1.

Ogni mareggiata simulata è preceduta e seguita da un periodo tipico di 20 giorni caratterizzato da marea combinata con vento debole (circa 4 m/s) e onde ridotte onde (cioè  $\leq 0.4$  m).

Per i run a breve termine, il fattore di scala morfologico è impostato pari ad 1 durante il picco delle tempeste, al fine di valutare correttamente i cambiamenti dei fondali marini indotti dalle tempeste, mentre un fattore di 2 viene utilizzato nei 20 giorni precedenti e successivi alla tempesta.

I run a breve termine sono stati eseguiti sia nella configurazione di progetto che in quella attuale, al fine di effettuare un confronto dei risultati ed evidenziare potenziali variazioni morfodinamiche indotte dal progetto nell'area di studio.

- ✓ **Run a lungo termine:** le simulazioni sono ottenute combinando run a medio termine (Run T01, Tabella 4.1) e adottando un valore più elevato di fattore di scala morfologico, necessario per scalare ogni parte del run a medio termine fino alla sua reale frequenza di occorrenza lungo l'anno. I risultati di queste simulazioni sono utilizzati per stimare l'evoluzione media annua del fondo marino.

I run a lungo termine sono stati eseguiti solo nella configurazione di progetto al fine di stimare i tassi di sedimentazione nelle aree dragate.

**Tabella 4.1: Set di Simulazioni Selezionate e Relativo Fattore di Scala Morfologico**

Evento Meteomarinico	Durata Simulazione (giorni)	Fattore di Scala Morfologico
Run Sud-Ovest	6	1
Run Nord-Ovest	4	1
Run Sud	8	1
Run T01	75	3

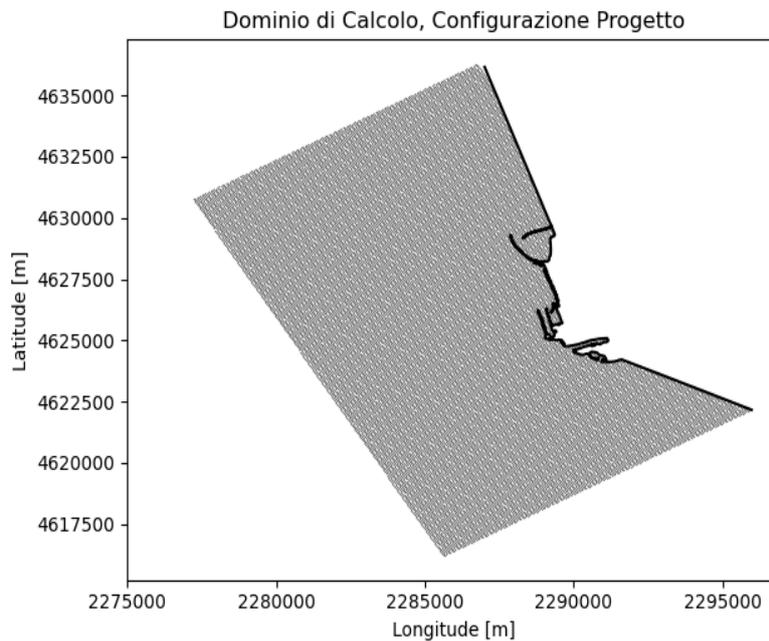
## 5 APPLICAZIONE ALL'AREA DI STUDIO

Le impostazioni del modello idro-morfodinamico sono riassumibili come segue.

### 5.1.1 Dominio di Calcolo ed Input Batimetrico

La maglia 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 strutturato (362-509 elementi) è a risoluzione di pochi metri, tale da rappresentare i processi costieri di dettaglio a sottoscala (Figura 5.1, configurazione di progetto **aggiornata**).



**Figura 5.1: Mesh Computazionale di Calcolo del Modello Morfodinamico, Configurazione di Progetto**

La batimetria dell'area di studio (Figura 5.2, configurazione di progetto) è stata definita considerando le seguenti fonti di dati:

- ✓ Carte nautiche dal software IMC (<https://www.c-map.com/all-charts/chart-features/>);
- ✓ Dati misurati forniti dal Cliente (campagna di misure 2022, Doc. No. P0031150-2-H02);
- ✓ Aree oggetto di dragaggio - schemi progettuali (Doc. No. P0031150-2-H02).

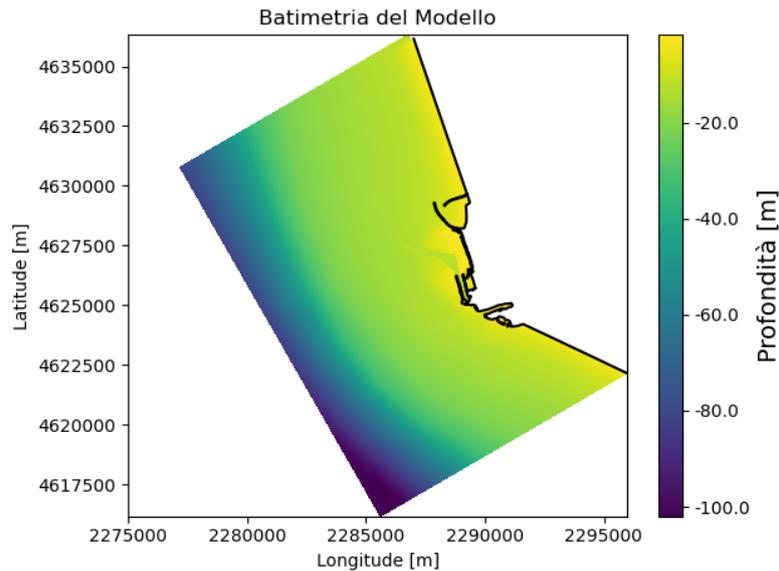


Figura 5.2: Batimetria del Modello Morfodinamico

### 5.1.2 Condizioni al Contorno ed Iniziali – Marea e Moto Ondoso

La forzante di marea applicata ai contorni aperti è stata estratta dai modelli OTPS e TPXO. Questi modelli sono stati sviluppati dalla Oregon State University [13][14]. Le previsioni si basano su soluzioni di marea inversa barotropica globale e/o regionale ottenute con il modello OTIS (OSU Tidal Inversion Software), che utilizza database misurati per le oscillazioni di marea hindcast nel punto di interesse. TPXO è una versione attuale di un modello globale delle maree oceaniche, che meglio si adatta, in senso minimo quadrato, alle equazioni di marea di Laplace e ai dati medi lungo traccia di TOPEX / Poseidon e Jason (sulle tracce TOPEX / POSEIDON dal 2002) ottenuti con OTIS.

Le condizioni al contorno per il modello d'onda, invece, sono state ottenute 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 Ondametrica Nazionale (RON), secondo quanto esposto nello Studio Meteomarina (Doc. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01\_00).

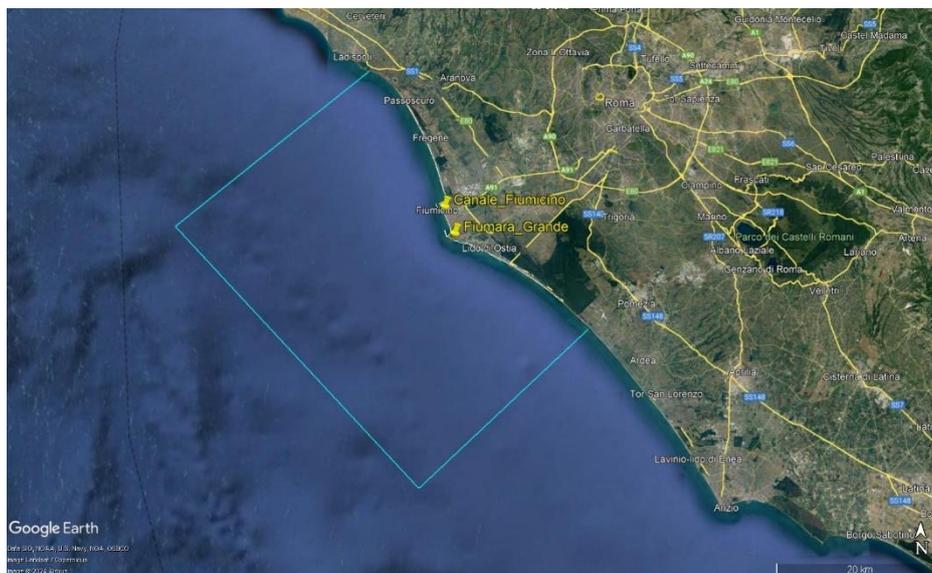
### 5.1.3 Forzanti Meteorologiche

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. No. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01\_00).

### 5.1.4 Presenza di punti di presa/scarico

Gli scarichi idrici del fiume Tevere, sono stati **generati mediante opportune simulazioni idrauliche ( P0031150-D-0-MP00-GI-REL-09\_00 ) ed inseriti nel modello in termini di portata e trasporto solido in prossimità di entrambi i punti di scarico di Fiumara Grande e del Canale di Fiumicino (Figura 5.3).**



**Figura 5.3: Punti di Scarico Fluviale Implementati nel Modello Morfodinamico**

### 5.1.5 Input Sedimentario

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 progetto (Doc. No. P0031150-D-0-MP00-GI-REL-03\_00), la quale si compone di quattro unità principali (Figura 5.4), caratterizzate da frazioni differenti di sedimenti (Tabella 5.1).



Figura 5.4: Aree 1-5 di Caratterizzazione Geotecnica (Doc. No. P0031150-D-0-MP00-GI-REL-03\_00)

Tabella 5.1: Tabella di Sintesi delle Unità Geotecniche (Doc. No. P0031150-D-0-MP00-GI-REL-03\_00)

Unità geologica	Unità geotecnica	Descrizione	Simbolo
	MMG	Unità antropica	
	lb	Unità fangosa	
A	Ia	Unità sabbiosa	
B	IIa	Unità argillosa	
B	IIb	Unità argillosa	
C		Unità ghiaiosa	

## 6 RISULTATI

### 6.1 IDRODINAMICA GENERALE

Studi precedenti condotti sull'area in esame (Doc. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-03\_00) hanno evidenziato che in via generale, il regime di corrente tipico nell'area costiera 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.

Il regime idrodinamico è quindi caratterizzato da un flusso dominante orientato da Sud-Est a Nord-Ovest. 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.

È inoltre evidente 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.

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.

Inoltre, si genera una zona d'ombra a Sud dell'area di studio. 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.

### 6.2 CONFIGURAZIONE ATTUALE

Come già descritto in precedenza, le simulazioni numeriche nella configurazione attuale sono state condotte nella sola modalità a breve termine, al fine di valutare la naturale dispersione di sedimenti ad opera delle mareggiate principali che caratterizzano l'area, nonché i tassi di accumulo ed erosione associati ad esse, ed effettuare infine un confronto con la configurazione di progetto.

La mareggiata proveniente da Sud-Ovest, caratterizzata dalle altezze d'onda significative più elevate, è responsabile del regime idrodinamico medio **nell'area portuale** riportato in Figura 6.1.

Si evidenziano strutture vorticosi significative, nonché l'instaurarsi di importanti correnti litoranee, particolarmente evidenti nel tratto più a Sud del litorale.

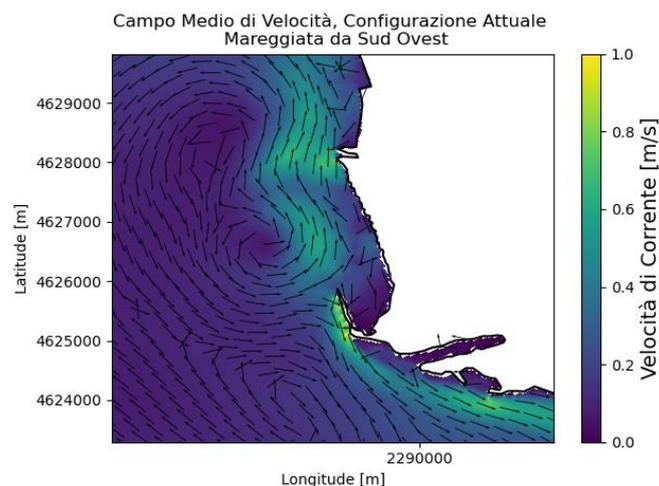


Figura 6.1: Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione Attuale

Il regime idrodinamico medio è responsabile di un'importante azione di dispersione di sedimento, la cui massima concentrazione è riportata in Figura 6.2 **sull'intero dominio di calcolo e nel dettaglio dell'area portuale**.

La concentrazione massima di sedimento non supera gli  $0.067 \text{ kg/m}^3$ ; si sottolinea inoltre che il campo di dispersione riportato riguarda in via cautelativa la concentrazione massima di sedimento evidenziato durante l'intera durata delle simulazioni, mentre il campo medio si attesta su valori decisamente inferiori.

Il tasso finale di accumulo/erosione di sedimento (Figura 6.3) evidenzia una condizione di stabilità attraverso la quasi totalità del dominio di calcolo, mentre sporadiche zone di accumulo si osservano in prossimità delle aree costiere.

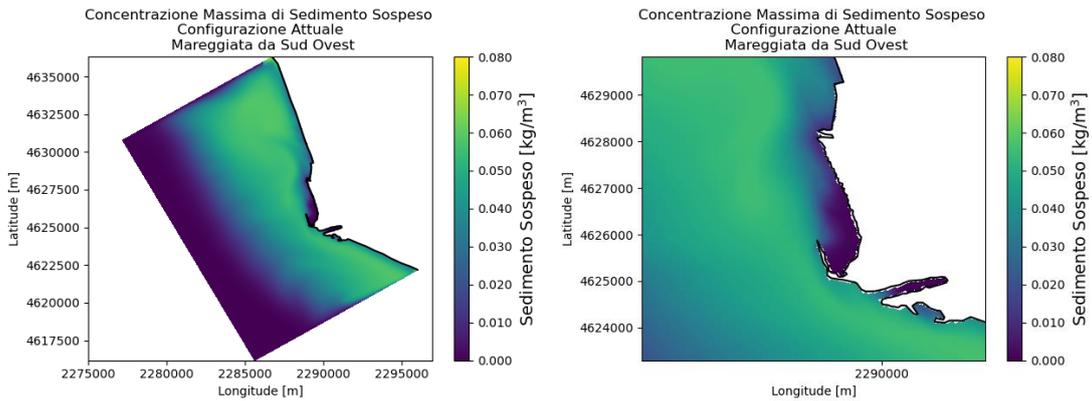


Figura 6.2: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione Attuale

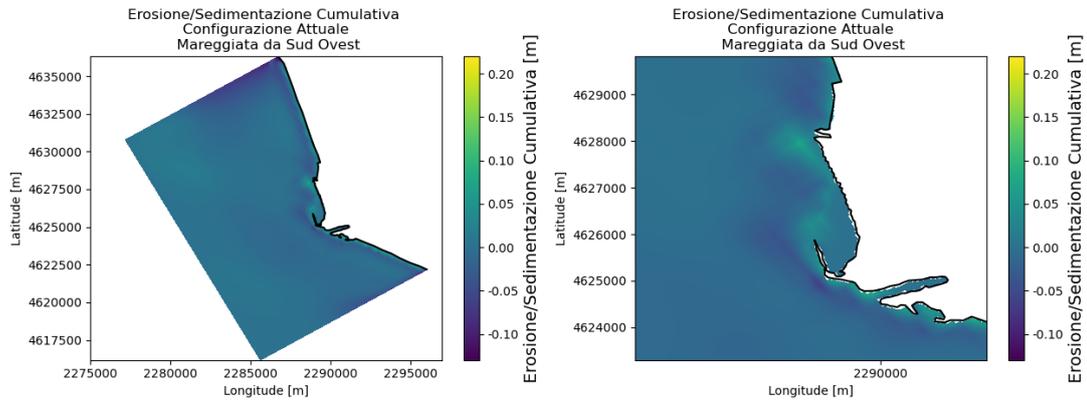
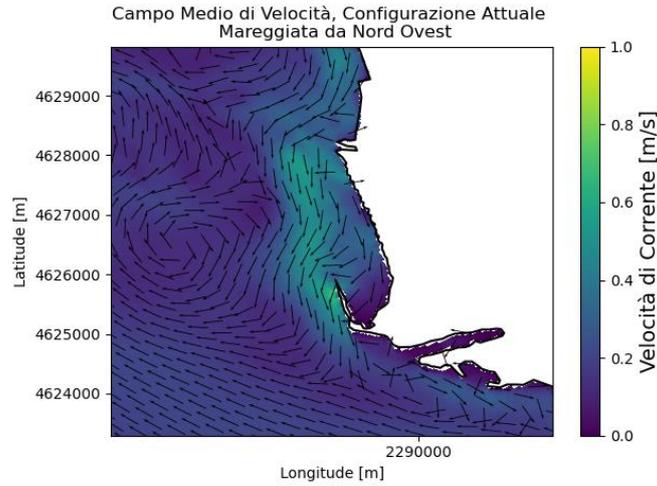


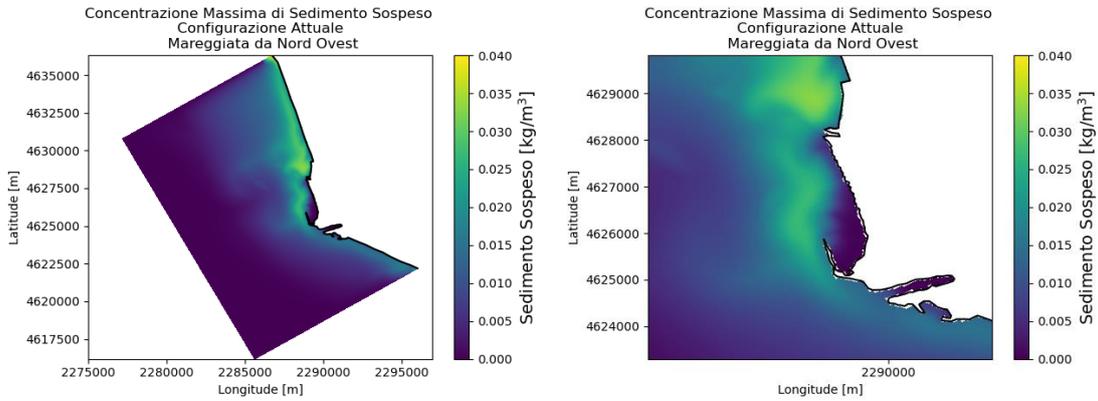
Figura 6.3: Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione Attuale

Il campo di corrente associato a mareggiata da Nord-Ovest, come atteso, è responsabile dell'instaurarsi di un regime idrodinamico nell'area portuale a minore intensità, nonché in termini di correnti litoranee (Figura 6.4).

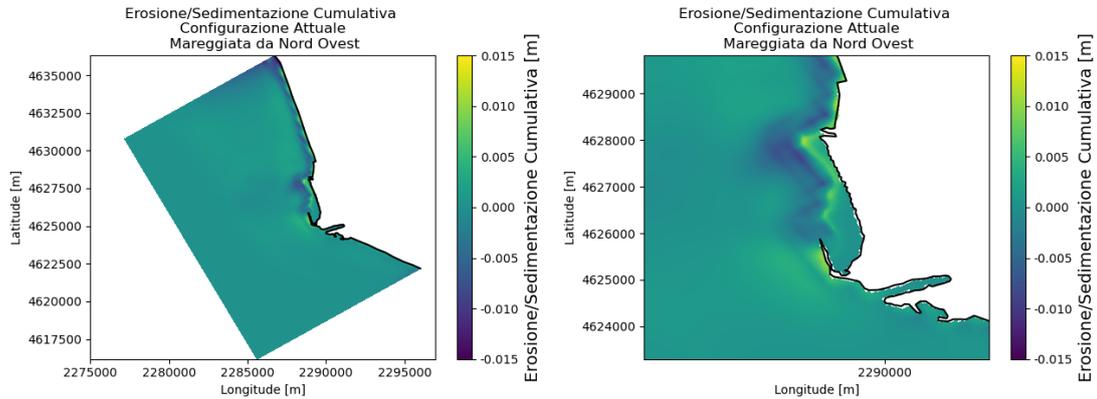


**Figura 6.4: Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione Attuale**

La concentrazione massima di sedimento sospeso indotta dalla mareggiata è inferiore su tutto il dominio di calcolo rispetto alla mareggiata precedente (Figura 6.5), nonché il tasso di accumulo/erosione ad opera della stessa è praticamente trascurabile (Figura 6.6).



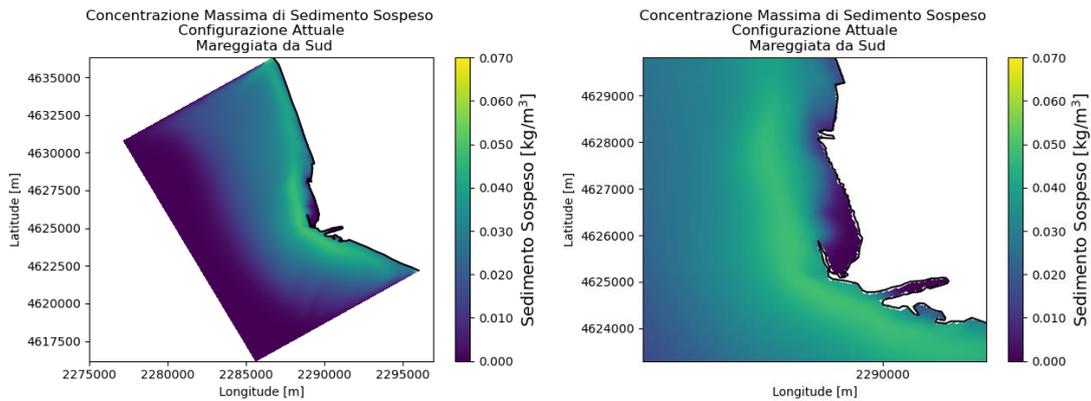
**Figura 6.5: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione Attuale**



**Figura 6.6: Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione Attuale**

Una condizione simile a quella descritta per la mareggiata proveniente da Sud-Ovest, si evidenzia anche per le mareggiate provenienti da Sud.

Il sedimento sospeso tende ad essere sospinto verso Nord (Figura 6.7), mentre il tasso di erosione (Figura 6.8) è del tutto simile a quello riportato in Figura 6.3; si osserva, invece, una lieve tendenza all'accumulo in prossimità del tratto litoraneo Nord.



**Figura 6.7: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione Attuale**

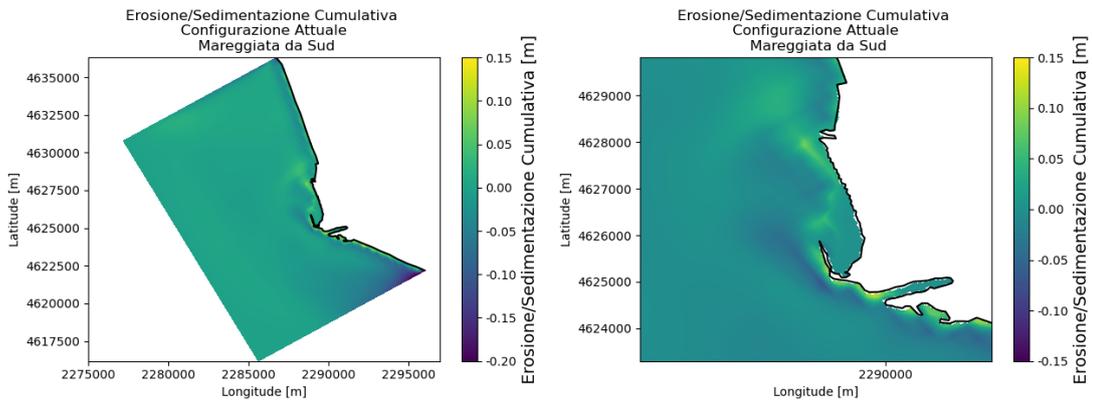


Figura 6.8: Tasso di Accumulo/Erosione (a destra) Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione Attuale

### 6.3 CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Le simulazioni numeriche nella configurazione di progetto sono state condotte sia in modalità a breve termine, al fine di valutare la naturale dispersione di sedimenti ad opera delle mareggiate principali che caratterizzano l'area, nonché i tassi di accumulo ed erosione associati ad esse allo scopo di effettuare un confronto con la configurazione attuale, che a lungo termine, con lo scopo di definire l'evoluzione media annua del fondo marino dettata dalla costruzione delle opere progettuali in esame.

Per quanto concerne la mareggiata più intensa proveniente da Sud-Ovest, le simulazioni idrodinamiche condotte nella configurazione di progetto evidenziano un aumento della vorticità del campo di corrente rispetto alla configurazione attuale indotto in particolare dalla presenza del porto commerciale (Figura 6.9).

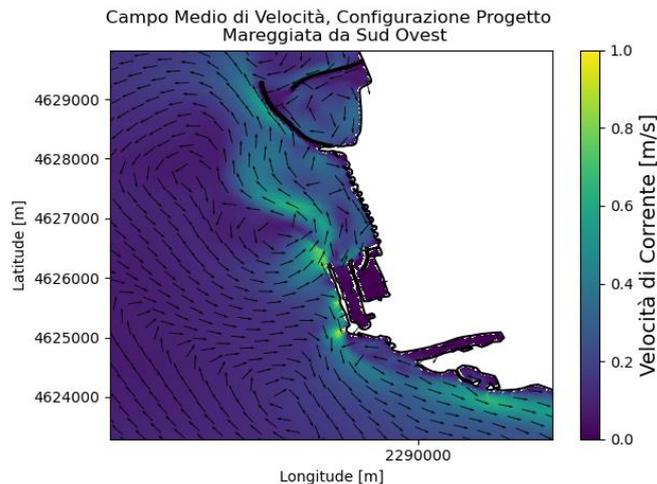
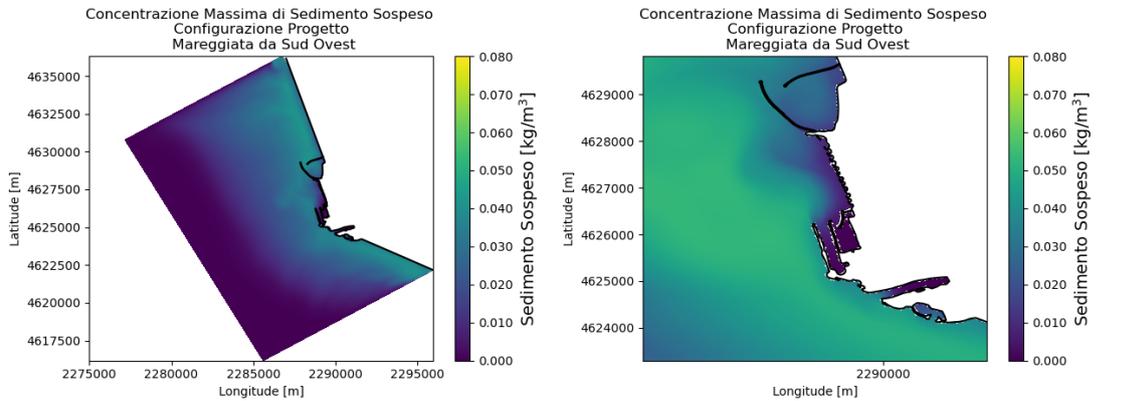


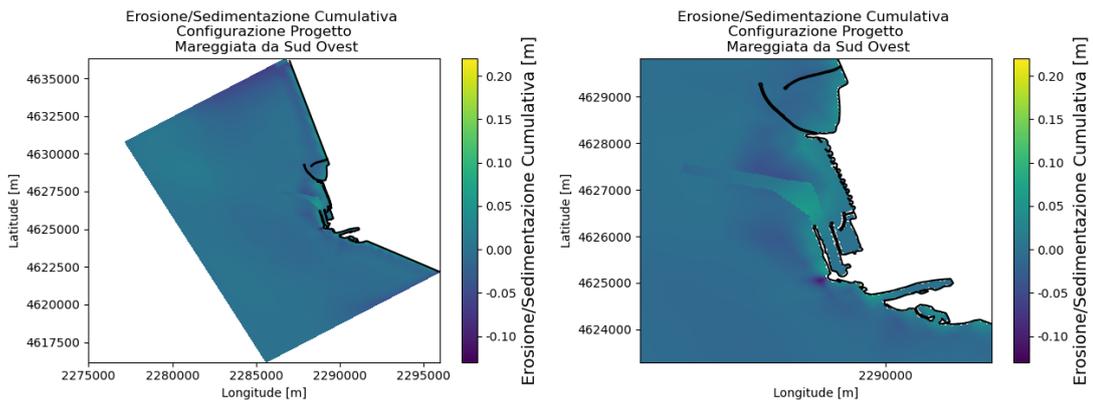
Figura 6.9: Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione di Progetto

È possibile osservare un lieve aumento della concentrazione di sedimento sospeso in prossimità dell'uscita dell'imbocco dell'area portuale, mentre le concentrazioni sull'intero dominio di calcolo appaiono di tenore inferiore rispetto alla configurazione attuale (Figura 6.10).

Le zone di accumulo di sedimento in prossimità dell'area portuale risultano essere più accentuate ed omogenee rispetto a quanto riscontrato in configurazione attuale (Figura 6.11). Come atteso si nota deposizione di sedimento in corrispondenza delle aree dragate (canale di accesso e bacino di evoluzione).

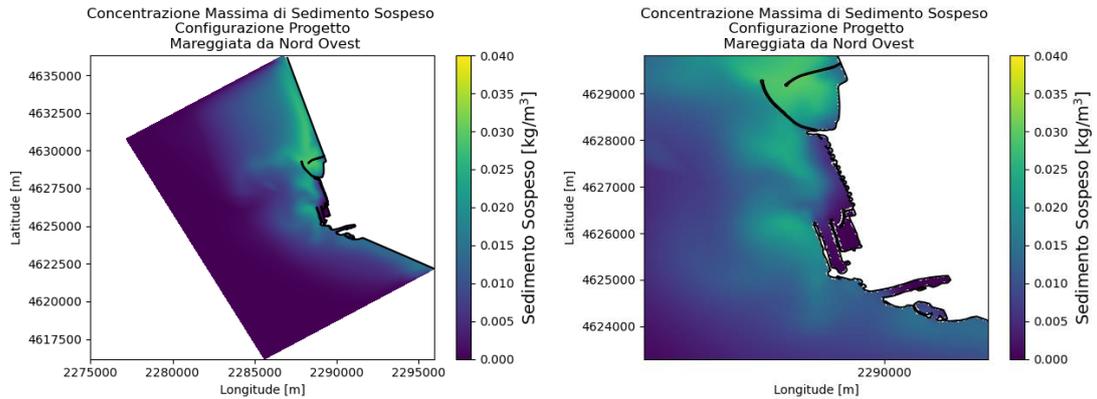


**Figura 6.10: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione di Progetto**

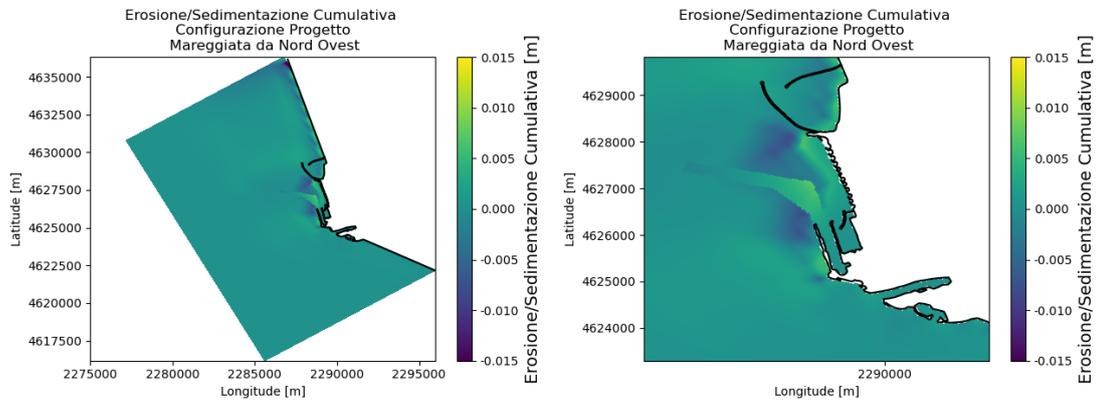


**Figura 6.11: Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud-Ovest, Configurazione di Progetto**

Nel caso di mareggiata proveniente da Nord-Ovest, la configurazione di progetto sembra favorire un confinamento della dispersione di sedimento sospeso all'interno del porto commerciale e nell'area compresa tra i due porti (Figura 6.12); nonostante ciò, la permanenza del sedimento in tali aree risulta essere piuttosto limitata e di conseguenza le zone di accumulo di sedimento in generale nell'area indagata risultano essere di lieve entità (ordine di grandezza di 1 cm, Figura 6.13). Come per la mareggiata precedente il sedimento tende ad accumularsi nelle aree dragate.

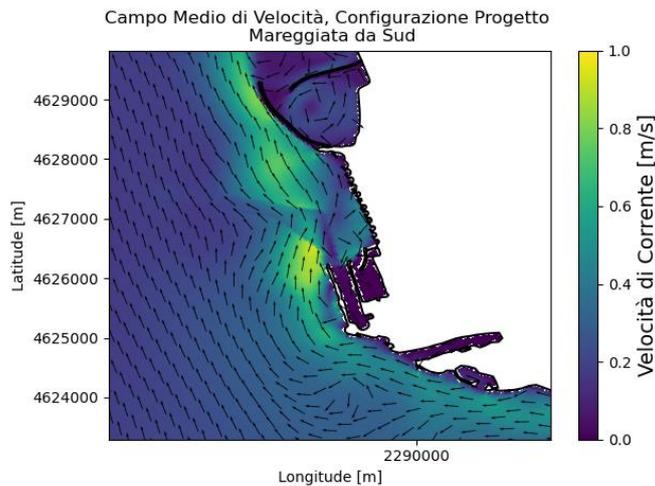


**Figura 6.12: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione di Progetto**

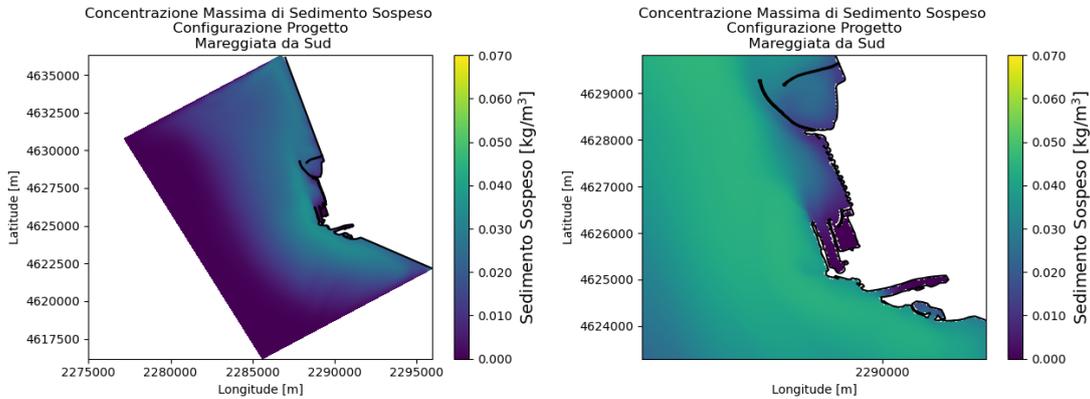


**Figura 6.13: Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Nord-Ovest, Configurazione di Progetto**

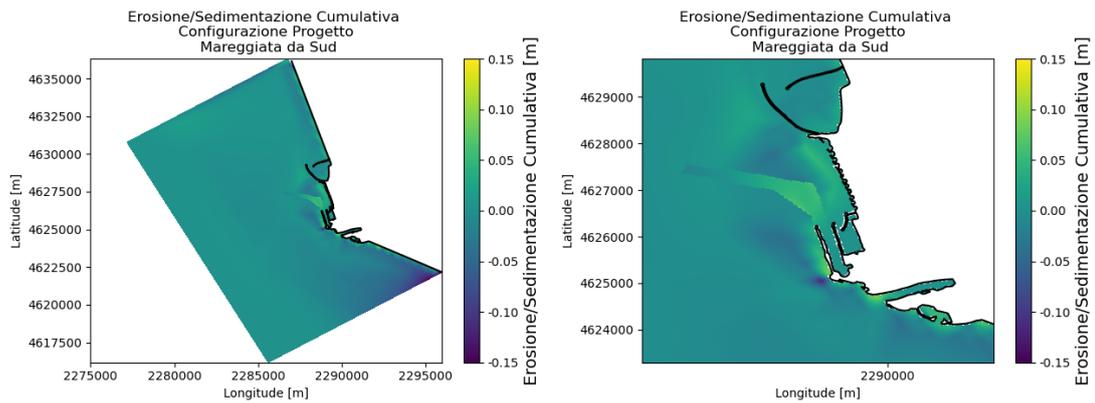
Nel caso di mareggiata proveniente da Sud, infine, la presenza del porto commerciale sembra favorire l'instaurarsi di una circolazione più netta diretta verso Nord (Figura 6.14) che favorisce la dispersione del sedimento al di fuori dell'area portuale (Figura 6.15). Si nota tuttavia un accumulo di sedimento di circa 10 cm nelle aree dragate, in particolare in corrispondenza del bacino di evoluzione (Figura 6.16).



**Figura 6.14: Campo di Velocità Medio Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione di Progetto**



**Figura 6.15: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione di Progetto**



**Figura 6.16: Tasso di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud, Configurazione di Progetto**

Una volta analizzate le principali tendenze morfodinamiche dell'area dovute al verificarsi delle mareggiate tipiche, è stata analizzata la condizione media annua.

Il campo di velocità medio annuale è mostrato in Figura 6.17. Il flusso principale è diretto, come atteso, prevalentemente verso Nord-Ovest, con evidente presenza di corrente litoranea significativa e vorticità marcata.

Di conseguenza, la massima dispersione di sedimento sospeso interessa gran parte del dominio di calcolo, con concentrazioni maggiori nelle aree più a Nord (Figura 6.18).

La presenza di vorticità accentuata dalla presenza del porto commerciale sembra favorire l'accumulo di sedimento nelle aree dragate per l'accesso delle navi al porto turistico; i valori maggiori, pari a circa 30 cm, interessano il bacino di evoluzione (Figura 6.19).

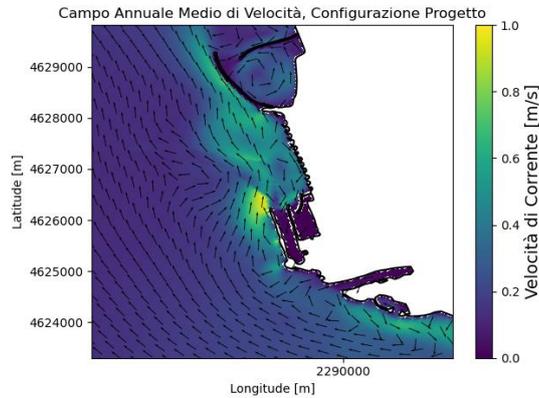


Figura 6.17: Campo di Velocità Medio Annuo

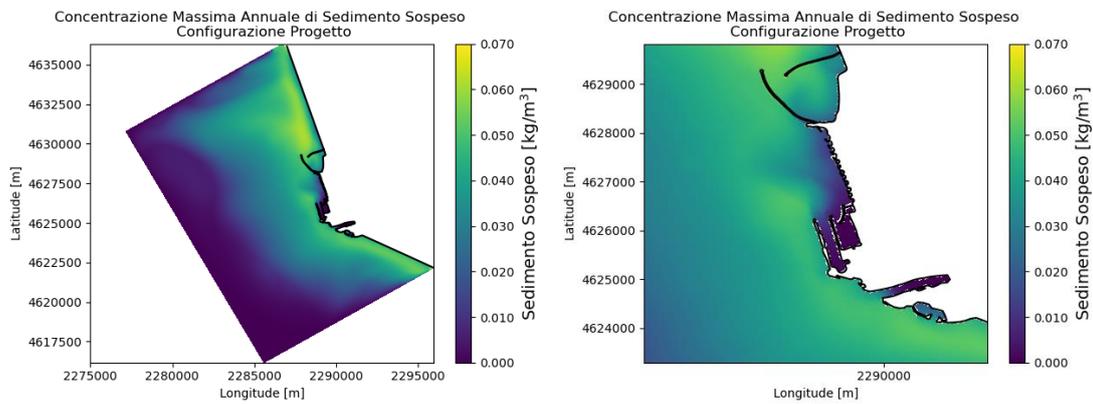


Figura 6.18: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Annuo, Configurazione di Progetto

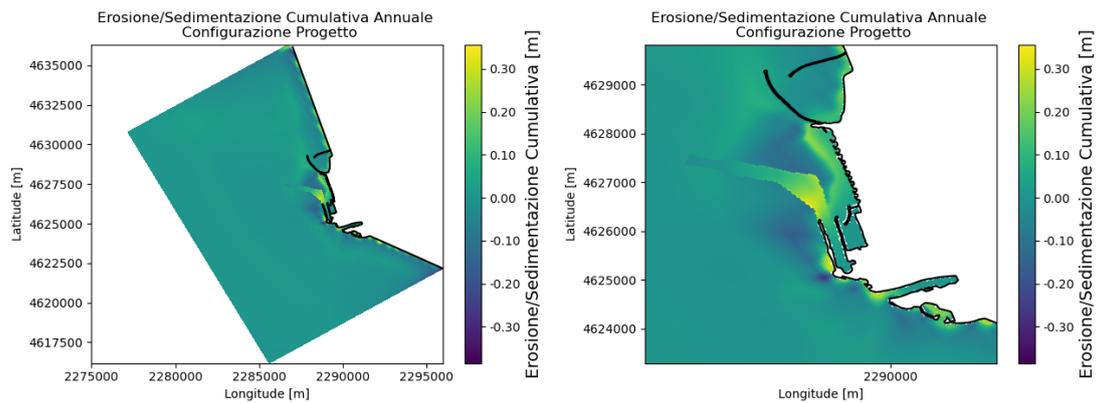
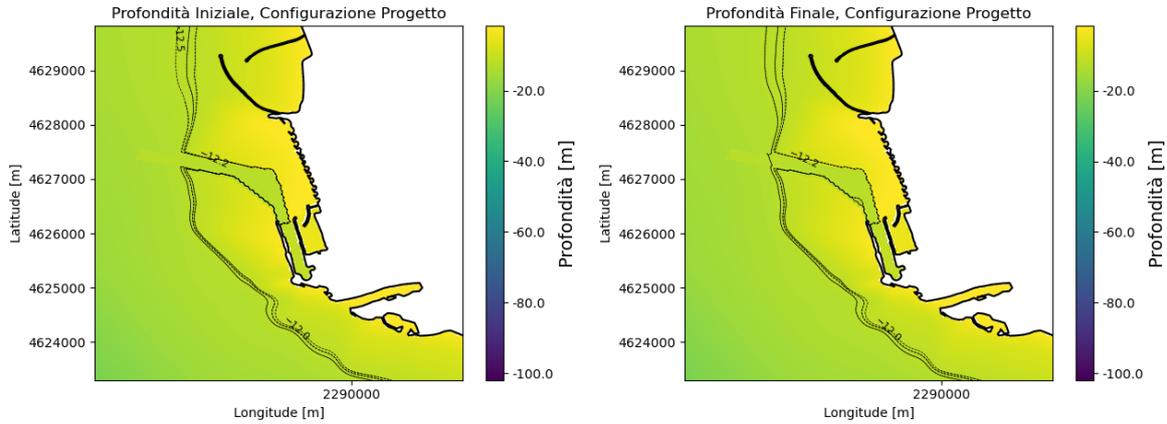


Figura 6.19: Tasso di Accumulo/Erosione Medio Annuo, Configurazione di Progetto

In Figura 6.20 è mostrata la batimetria dell'area di studio nella configurazione di progetto, all'istante iniziale e all'istante finale della simulazione effettuata. Dalle figure si nota che l'evoluzione media annua dei fondali porta alla formazione di una zona di accumulo nei pressi dell'imboccatura portuale e all'interno del canale di navigazione delle navi da crociera e degli yacht.



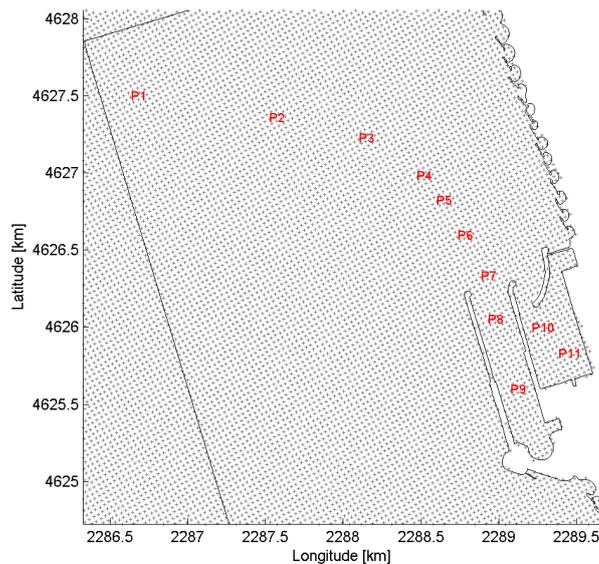
**Figura 6.20: Evoluzione Media Annua del Fondo Marino**

Al fine di valutare i tassi di sedimentazione all'interno delle aree dragate per la navigazione, sono state estratte le serie temporali di evoluzione del fondale marino in prossimità di diversi punti, i più interessanti dei quali ubicati lungo il canale di accesso al terminal (P1, P2 e P3), in prossimità del bacino di evoluzione (P4, P5 e P6), lungo il canale interno rispettivamente all'ingresso Terminal in corrispondenza dell'estremità della diga foranea (P7), a circa metà del molo Claudio (P8), a circa metà dell'area di ormeggio (P9) ed infine nel bacino della Marina (P10 e P11) (Figura 6.21).

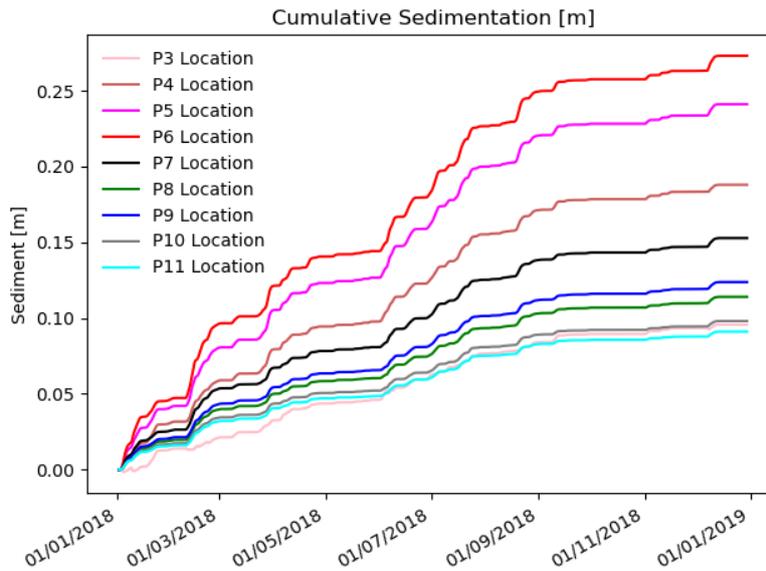
È possibile osservare quindi in Figura 6.22 i diversi andamenti della curva cumulativa di sedimentazione annuale in prossimità dei punti selezionati; le distribuzioni non vengono riportate per i punti P1 e P2 in quanto ritenute trascurabili. Al termine della simulazione, la quantità massima di sedimento depositato è di circa 0.27 per la località P6, mentre gli altri valori oscillano tra gli 0.10 e 0.25 metri.

Le quantità maggiori sembrano dunque depositarsi nell'area del bacino di evoluzione (P4, P5 e P6), mentre all'imboccatura del terminal traghetti e nella sua area più interna (punti P7, P8 e P9) le quantità medie di sedimenti depositato oscillano tra 0.10 e 0.15 m. Nell'area portuale più interna (punti P10 e P11), ed nella parte più interna del canale di accesso (punto P3) la quantità di sedimento accumulato non supera gli 0.10 m mediamente nell'anno.

Come già evidenziato in precedenza, le quantità rilevate in prossimità della parte più esterna del canale di accesso (P1 e P2) sono trascurabili e dunque non vengono riportate nel grafico.

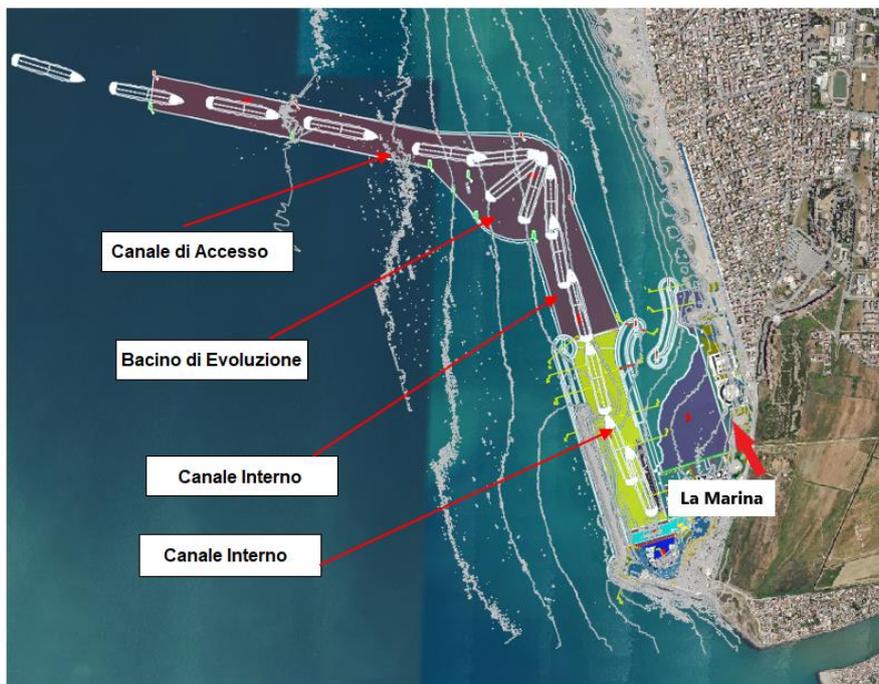


**Figura 6.21: Ubicazione dei Punti di Estrazione dei Risultati del Modello Morfodinamico**



**Figura 6.22: Serie Temporali della Cumulata di Sedimentazione estratta presso diversi Punti all'Interno del Canale di Navigazione**

Al fine di valutare i tassi di sedimentazione attesi nelle aree dragate per l'accesso delle navi all'interno dell'area portuale, sono state considerate quattro aree di analisi, omogenee dal punto di vista delle caratteristiche batimetriche (Figura 6.23). La prima area (Canale di Accesso) è quella rappresentativa del canale di accesso al largo, zona compresa attualmente tra circa 12.5 m e 10 m di profondità, la seconda area (Bacino di Evoluzione) è rappresentativa del bacino esterno di evoluzione delle navi, zona compresa attualmente tra circa 10 m e 6 m di profondità, mentre la terza area consiste nell'area più interna del canale di navigazione, caratterizzata da profondità medie attuali di circa 6 m (Canale Interno). L'ultima area (La Marina) è quella più interna del porto e a ridosso di costa, attualmente caratterizzata da fondali molto bassi.



**Figura 6.23: Aree di Analisi ai Fini della Valutazione dei Tassi di Sedimentazione**

All'interno delle aree di navigazione, considerata la loro notevole estensione, si osserva una sedimentazione variabile, caratterizzata da differenti tempi di sedimentazione:

- ✓ più lenta nelle aree maggiormente confinate quali l'imboccatura portuale e il bacino di attracco delle navi (Canale Interno, Figura 6.23), in quanto interessate da regime idrodinamico meno intenso;
- ✓ più rapida in prossimità del bacino di evoluzione e della parte più esterna del canale di accesso, in quanto soggette a regime idrodinamico vorticoso e significativo, favorita inoltre dal brusco cambio di batimetria delle due aree scavate che fungono tra "trappola sedimentaria" del flusso di corrente.

Si osservi infatti che, sebbene i tassi di sedimentazione siano stati valutati come media annua, l'azione maggiormente dispersiva del sedimento sospeso è attuata come si è osservato dalle mareggiate tipiche provenienti da Sud-Ovest, responsabili dell'instaurarsi di un regime di corrente anticiclonico nell'area portuale, come riportato in Figura 6.9. Tale regime induce un flusso di corrente, favorito dalla presenza del porto commerciale, diretto verso il bacino di evoluzione, il cui brusco gradiente batimetrico induce sedimentazione.

Tale aspetto è legato non solo direttamente alle caratteristiche geometriche delle aree indagate ma anche alle caratteristiche del campo idrodinamico altamente variabile che si instaura in prossimità del bacino stesso e alla natura del sedimento presente nell'area di studio.

I risultati delle valutazioni sono mostrati in termini di valori medi per area in Tabella 6.1 per le aree indagate (La Marina, Canale Interno, Bacino di Evoluzione e Canale di Accesso), in termini di tasso di sedimentazione ( $m^3/h/m$ ), tempo in cui si verifica un riempimento medio di circa 1 m e tasso medio annuo di sedimentazione (m/anno).

La tabella mostra che mediamente nell'anno il Bacino di Evoluzione è interessato da tassi medi di sedimentazione annuale di circa 0.25 m, mentre il Canale Interno (Imboccatura Portuale e "Superyacht and Cruise Marina") di circa 0.12 m. Nelle restanti aree sono invece attesi tassi medi annui non superiori a 0.10 m.

Al fine di risolvere l'interferenza con le condotte sottomarine esistenti, si veda l'analisi sviluppata e riportata integralmente nel documento di progetto "P0031150-D-0-OM00-RS-REL-08\_00 - Identificazione degli Interventi di Risoluzione della Interferenza del Canale di Accesso Navi con le Condotte Esistenti", dove è stato ottimizzato il layout del canale di accesso in porto, che permette la completa risoluzione della problematica. Rispetto quindi alla precedente ipotesi progettuale, la rimodulazione proposta, oltre che escludere i possibili impatti ambientali della realizzazione di by pass delle condotte stesse o di altri interventi strutturali su di esse (comprese possibili situazioni emergenziali, sversamenti, etc.), consente significative ottimizzazioni tecniche e ambientali.

Tenuto conto della soluzione, per le aree di non sovrapposizione tra il precedente layout e il layout proposto (interessanti meno del 30% dei volumi oggetto di dragaggio), comunque caratterizzate da una evidente omogeneità di contesto ambientale, dovranno essere effettuate le indagini geofisiche e di verità a mare, unitamente alle caratterizzazioni ambientali ai sensi del D.M. 173/2016. Sulla scorta delle informazioni di cui sopra, da ottenersi nel corso della progettazione esecutiva e prima dell'avvio dei lavori (per le aree interessate), sarà possibile riconfermare la sostanziale invarianza delle condizioni di progetto, delle valutazioni riportate e degli strumenti di verifica operativa (eventuali aggiustamenti della posizione/microscala) del rispetto di tali assunzioni.

Tabella 6.1: Risultati Relativi alle Stime dei Tassi di Sedimentazione nelle Aree Dragate

Area di Dragaggio	Profondità del Dragaggio (m)	Tasso di Sedimentazione (m <sup>3</sup> /h/m)	Tempo per 1 m di Sedimentazione Media (mesi)	Tasso medio annuo di sedimentazione (m/anno)
Yacht La Marina	4.5	0.0059	120	0.10
Canale Interno – Imboccatura Portuale e “Superyacht and Cruise Marina”	11.5	0.0142	100	0.12
Bacino di Evoluzione	12.0	0.0303	48	0.25
Canale di Accesso	12.0	0.0109	133	0.09

## 6.4 SINTESI DEI RISULTATI

### 6.4.1 Confronto tra Configurazioni Attuale e di Progetto

In sintesi, è possibile valutare i risultati delle simulazioni morfodinamiche come segue.

- ✓ In condizioni di mareggiata proveniente da Sud Ovest, nella configurazione progettuale è possibile osservare un lieve aumento della concentrazione di sedimento sospeso in prossimità dell'uscita dell'imbocco dell'area portuale (Figura 6.24);
- ✓ In condizioni di mareggiata proveniente da Sud Ovest, **il tasso di erosione/deposito risulta essere più significativo nella configurazione progettuale in prossimità delle aree portuali** (Figura 6.25): le differenze tra le due configurazioni sono confinate all'area compresa tra i due porti in cui si nota che nella configurazione progettuale il sedimento tende a depositarsi nelle aree dragate.

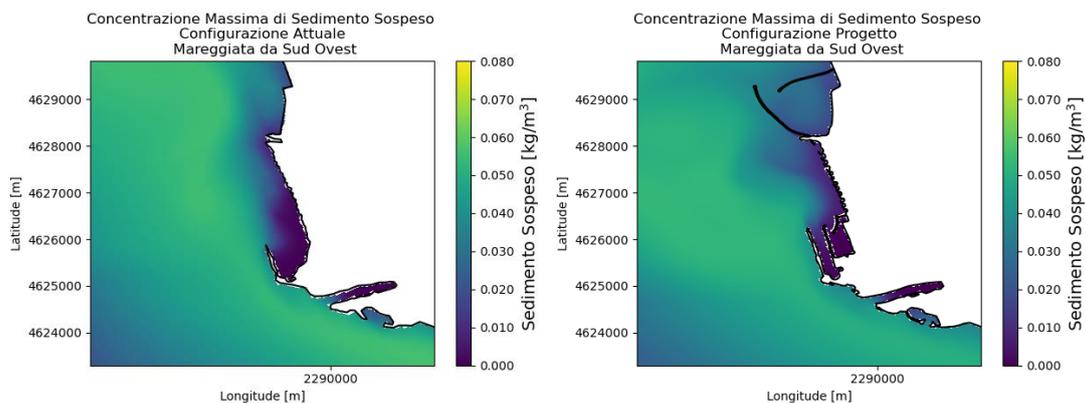
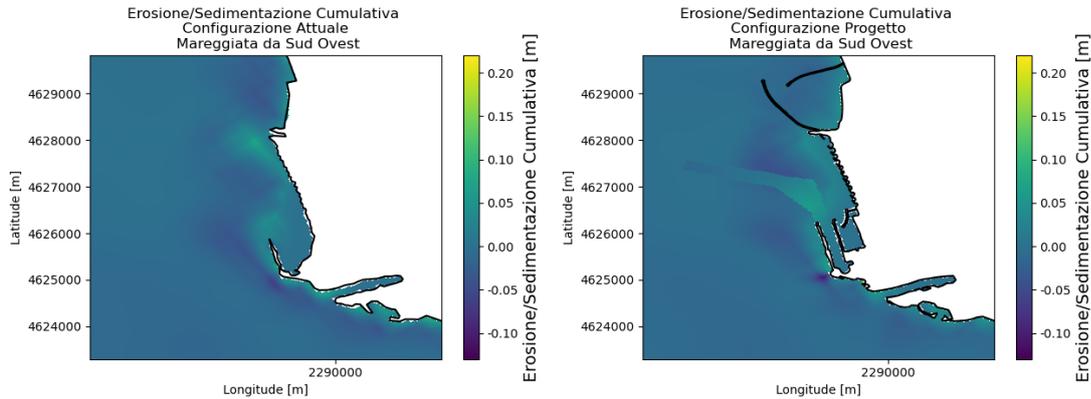
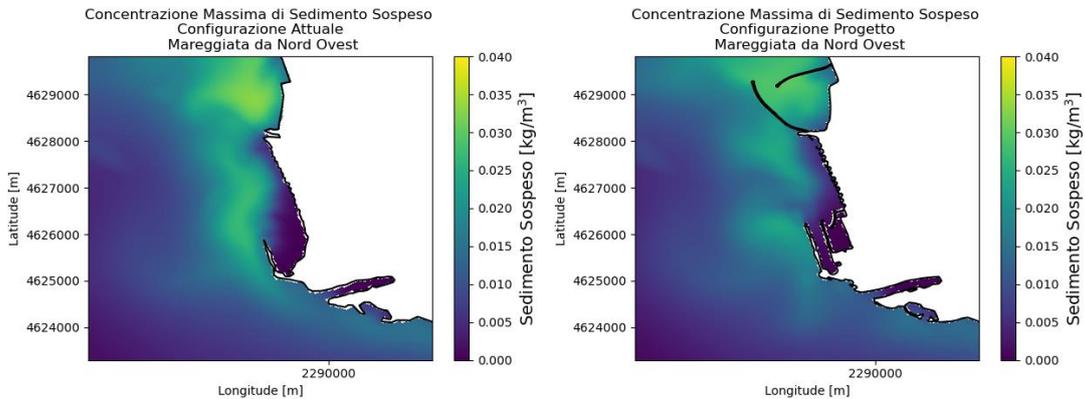


Figura 6.24: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto

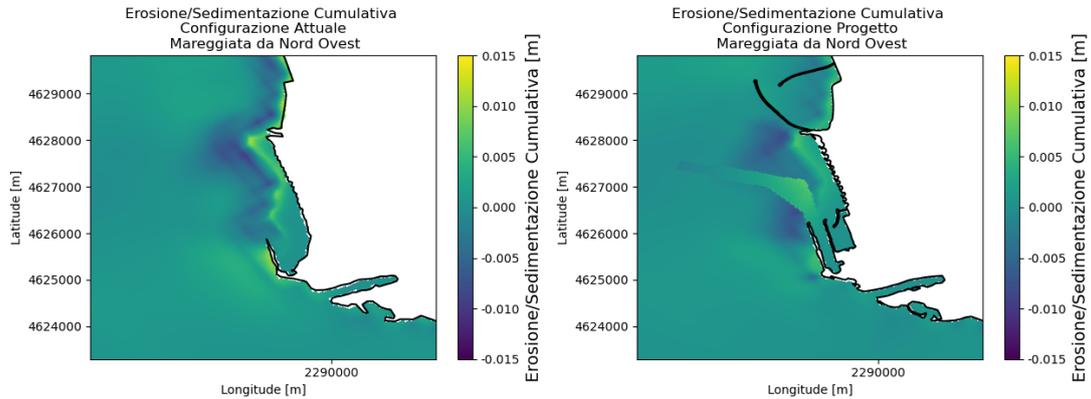


**Figura 6.25: Campo di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto**

- ✓ In caso di mareggiata proveniente da Nord-Ovest, la configurazione di progetto e la presenza del porto commerciale sembrano favorire un confinamento della dispersione di sedimento sospeso all'interno di quest'ultimo (Figura 6.26);
- ✓ In caso di mareggiata proveniente da Nord-Ovest, si osservano tassi erosivi nelle due configurazioni del tutto simili, mentre le zone di leggero accumulo di sedimento a ridosso della diga portuale di sopralfutto risultano essere assenti nel caso di configurazione di progetto in cui si nota la deposizione del sedimento in corrispondenza delle aree dragate per l'accesso delle navi al porto (Figura 6.27). Non si notano differenze significative allontanandosi dai due porti.

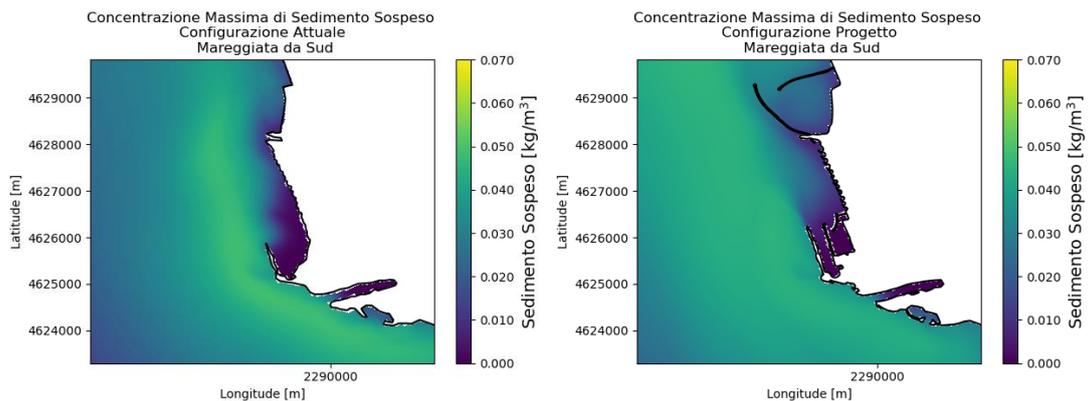


**Figura 6.26: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Nord-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto**

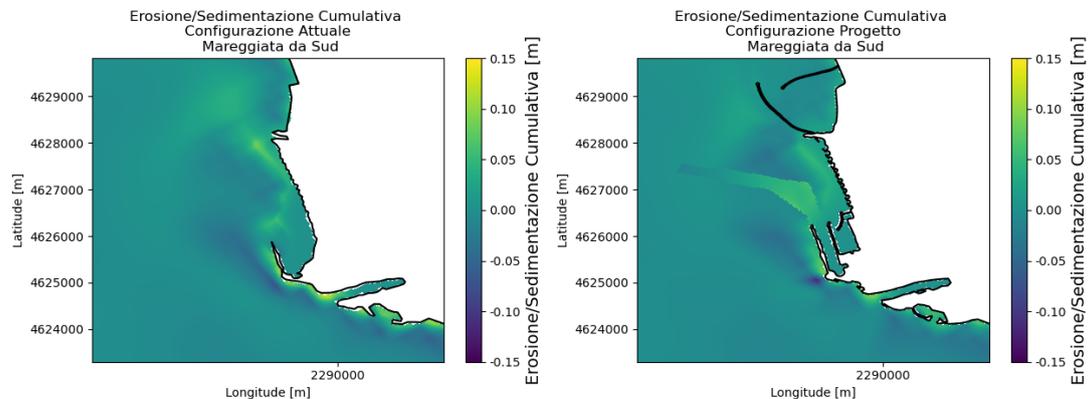


**Figura 6.27: Campo di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Nord-Ovest – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto**

- ✓ Nel caso di mareggiata proveniente da Sud, infine, la presenza del porto commerciale sembra favorire l'instaurarsi di una circolazione più netta diretta verso Nord che favorisce la dispersione del sedimento al di fuori dell'area portuale (Figura 6.28). Nella configurazione di progetto si nota tuttavia un accumulo di sedimento di circa 10 cm nelle aree dragate, in particolare in corrispondenza del bacino di evoluzione. Non si notano differenze significative di erosione/sedimentazione nelle aree a nord e a sud del complesso portuale (Figura 6.31).



**Figura 6.28: Campo di Concentrazione Massima di Sedimento Sospeso Associato a Mareggiata da Sud – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto**



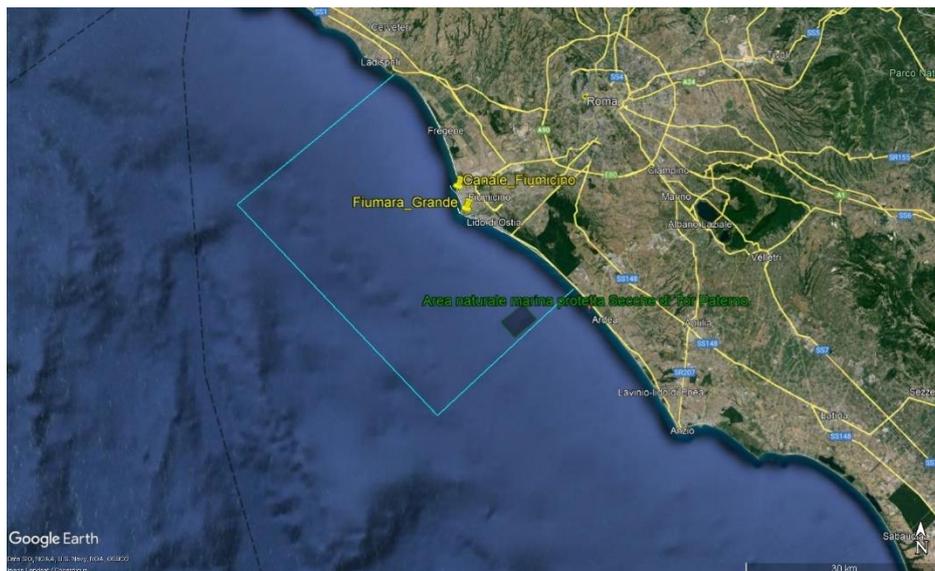
**Figura 6.29: Campo di Accumulo/Erosione Associato a Mareggiata da Sud – Configurazione Attuale/Configurazione di Progetto**

#### 6.4.2 Configurazione di Progetto – Evoluzione Media Annua dei Fondali

Per quanto riguarda l'evoluzione morfodinamica media annuale relativa alla configurazione di progetto, si evidenzia quanto segue:

- ✓ La dispersione di sedimento sospeso interessa gran parte del dominio di calcolo, con concentrazioni maggiori nelle aree a Nord della foce settentrionale del fiume Tevere;
- ✓ I fondali marini interessati dal progetto sono soggetti a sedimentazione nel lungo termine, caratterizzata da tassi variabili a seconda dell'area considerata;
- ✓ Tale sedimentazione è strettamente correlata alla disponibilità di sedimento mobile, alla natura del sedimento, alla batimetria, alle condizioni meteomarine, alle caratteristiche geometriche delle aree dragate e del bacino portuale che inducono variazioni al campo di moto ondoso e alla circolazione costiera;
- ✓ Mediamente nell'anno il Bacino di Evoluzione può essere interessata da tassi di sedimentazione di circa 0.25 m; il Canale Interno (Imboccatura Portuale e "Superyacht and Cruise Marina") da tassi di sedimentazione di circa 0.12 m. Nelle restanti aree sono invece attesi tassi medi annui non superiori a circa 0.10 m.

Infine, data la presenza nell'area di studio dell'Area Naturale Protetta costituita dalle Secche di Tor Paterno, ubicate al largo della costa romana (Figura 6.30), è stata valutato il possibile impatto dettato dalla realizzazione delle opere portuali in esame sulla suddetta area.

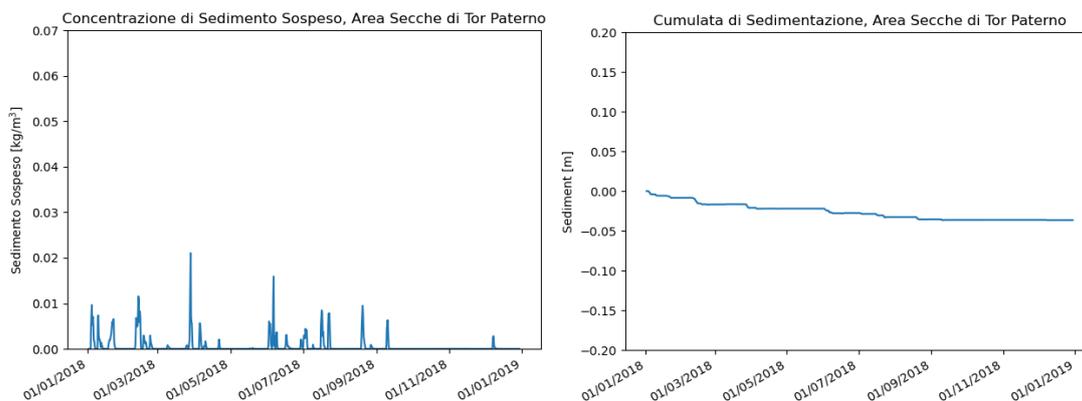


**Figura 6.30: Area di Studio e Presenza dell'Area Naturale Protetta "Secche di Tor Paterno"**

In particolare, con riferimento alla condizione media annua, non si evidenziano condizioni alterate di accumulo di sedimenti o fenomeni erosivi significativi, come si evince dalla valutazione del campo a larga scala riportato in Figura 6.19.

Per quanto concerne la concentrazione massima di sedimento sospeso, si evidenzia una condizione normale di naturale dispersione, come riportato in Figura 6.18.

L'analisi delle serie temporali di sedimento sospeso e della cumulata di sedimentazione condotta in prossimità di un punto ubicato al centro dell'area naturale protetta, conferma la condizione sopra descritta. La concentrazione di sedimento sospeso è contenuta, e non si evidenzia tendenza all'accumulo di sedimento (Figura 6.31).



**Figura 6.31: Andamento Temporale della Concentrazione di Sedimento Sospeso e della Cumulata di Sedimentazione in Prossimità dell'Area Naturale Protetta "Secche di Tor Paterno"**

## 7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

Il presente studio, basato su simulazioni numeriche idro-morfodinamiche, ha fornito una valutazione della possibile variazione del fondale marino nell'area di studio, nella configurazione attuale e nella configurazione di progetto, **caratterizzata dalla presenza del Porto Commerciale e del Porto Turistico.**

L'area di studio appartiene all'unità fisiografica 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).

I principali dati di base dello studio sono la relazione meteomarina (Doc. No. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01\_00) e lo studio di caratterizzazione geotecnica dell'area (Doc. No. P0031150-D-0-MP00-GI-REL-03\_00).

**Sono stati implementati gli input di trasporto solido del fiume Tevere ottenuti mediante opportune simulazioni di trasposto solido effettuate con modello idraulico ( P0031150-D-0-MP00-GI-REL-09\_00).**

Per quanto concerne la circolazione generale nell'area di esame, le simulazioni idrodinamiche effettuate evidenziano una prevalenza delle correnti provenienti da Sud-Est e propaganti verso 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.

Sono state condotte simulazioni idro-morfodinamiche nella configurazione attuale e nella configurazione di progetto, al fine di individuare potenziali effetti delle opere a progetto sui litorali adiacenti e per effettuare una stima dei tassi di sedimentazione attesi nelle aree dragate.

Al fine di indagare i potenziali effetti delle opere a progetto sull'ambiente circostante, dal punto di vista della morfodinamica costiera, sono state selezionate alcune mareggiate significative, sono state poi implementate nella catena modellistica ed è stato infine effettuato il confronto dei risultati ottenuti nelle due configurazioni indagate, attuale e di progetto.

I risultati non hanno evidenziato effetti rilevanti **delle opere** sull'ambiente circostante: il progetto non sembra apportare modifiche significative ai campi di moto ondoso, circolazione costiera e morfodinamica costiera nell'area di studio. Le leggere variazioni idro-morfodinamiche rilevate rimangono circoscritte all'area compresa tra le due foci del fiume Tevere.

Sono poi state effettuate simulazioni di lungo termine, sulla configurazione di progetto, al fine di analizzare l'evoluzione media annua dei fondali marini nell'area di studio e di stimare i tassi di sedimentazione attesi nelle aree dragate. I principali risultati delle simulazioni sono i seguenti:

- ✓ le aree oggetto del dragaggio saranno soggette a sedimentazione nel lungo termine, con tassi variabili a seconda della zona considerata;
- ✓ **sono stati stimati i seguenti tassi di sedimentazione media annua: il Bacino di Evoluzione può essere interessato da tassi di sedimentazione di circa 0.25 m; il Canale Interno (Imboccatura Portuale e "Superyacht and Cruise Marina") da tassi di sedimentazione di circa 0.12 m. Nelle restanti aree sono invece attesi tassi medi annui non superiori a circa 0.10 m;**
- ✓ **le aree più soggette a sedimentazione sono quelle del bacino di evoluzione e dell'imboccatura portuale e area "Superyacht and Cruise Marina": dati i relativi tassi di sedimentazione, dopo un periodo di circa 3 anni potrebbe essere necessario effettuare la manutenzione delle aree dragate al fine di mantenere le profondità necessarie per un uso sicuro di tali aree da parte delle imbarcazioni;**
- ✓ **non si evidenziano cambiamenti significativi nel regime morfodinamico delle aree limitrofe all'area portuale, nonché in prossimità dei litorali adiacenti; le aree naturali presenti nell'area di studio non risultano impattate dalla realizzazione delle opere portuali.**

Infine, allo scopo di ottimizzare la programmazione delle attività di escavo e la gestione dei materiali, si suggerisce fortemente di pianificare una campagna annuale di misura della sedimentazione nelle aree evidenziate come maggiormente soggette a tale processo. Sulla base delle rilevazioni sul tasso di sedimentazione, sarà possibile fornire alcune raccomandazioni operative quali, per esempio, la riduzione della velocità della nave in marcia addietro nel tratto di interesse (dall'estremità della diga fino all'ormeggio) in modo tale da ridurre i fenomeni di squat ed aumentare il franco sotto chiglia netto disponibile.

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] Egbert, G. D., A. F. Bennett, and Foreman M. G. G. , 1994, "TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model", J. Geophys. Res., 99(C12), 24821-24852, doi:10.1029/94JC01894.
- [14] Egbert, G. D., Erofeeva, S. Y., 2002, "Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides", J. Atmos. Oceanic Technol., 19, 183-204.
- [15] La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere, 2017. ISPRA.