

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

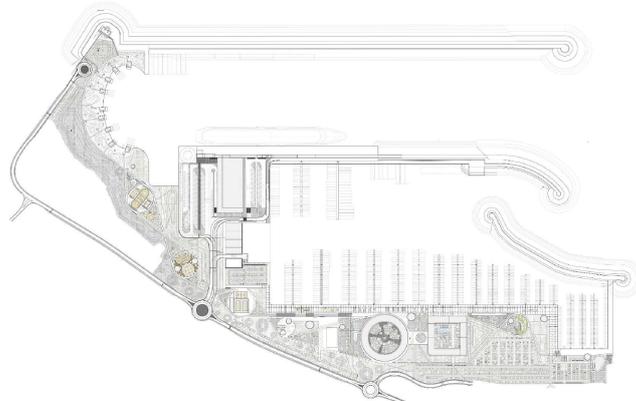
UNITÀ DI PROGETTO

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 DI AGITAZIONE ONDOSA RESIDUA PORTUALE

COMMESSA	SERVIZIO LOTTO	OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROG.	REV.	SCALA
P0031150	D0	OM00	RS	REL	02	00	-

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA
00	Emissione per approvazione	G. CUOMO	D. SCARCELLA	A. ODASSO	31/07/2023
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

NOME FILE: P0031150-D-0-OM00-RS-REL-02_00

INDICE

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI	3
1 INTRODUZIONE	5
2 SITO DI INTERESSE	8
2.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA	8
3 DATI DISPONIBILI	9
3.1 CONFIGURAZIONE PORTUALE A BASE DELLA PROGETTAZIONE	9
3.2 BATIMETRIA	10
3.3 DATI ONDAMETRICI	11
3.4 LIVELLI	11
4 STUDIO DI AGITAZIONE	12
4.1 PREMESSA	12
4.2 SET-UP DEL MODELLO DI AGITAZIONE	12
4.2.1 Geometria e griglia di calcolo	12
4.2.2 Batimetria	13
4.2.3 Condizioni al contorno	16
5 ANALISI DEI RISULTATI	17
5.1 PREMESSA	17
5.2 RISULTATI	18
5.2.1 Premessa	18
5.2.2 Onde monocromatiche	18
5.2.3 Onde irregolari	20
6 CONCLUSIONI	24
7 RIFERIMENTI	25

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3-1 Condizioni meteomarine di progetto alla profondità di -25.0 m l.m.m.	11
Tabella 3-2 Livelli di progetto	11
Tabella 5-1 Condizioni meteomarine di progetto alla profondità di -25.0 m l.m.m.	17

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 Inquadramento del sito di interesse (mappa: https://earth.google.com/web/)	8
Figura 3.1 Planimetria di progetto	9
Figura 3.2 Rilievi batimetrici forniti dal Cliente (RINA)	10
Figura 3.3 Prescrizioni sulle profondità di dragaggio di progetto	10
Figura 4.1 Griglia di calcolo del modello numerico	12
Figura 4.2 Mappa batimetrica dei fondali inclusi nel dominio di calcolo	13
Figura 4.3 Dominio di calcolo	14
Figura 4.4 Mesh di calcolo – zoom sottocosta nell'area di studio	15
Figura 4.5 Coefficienti di riflessione assegnati alle strutture esistenti	16
Figura 5.1 Propagazione di un'onda monocromatica secondo lo scenario frequente. Pannello di sinistra, mappa delle onde con evidenza della fase delle onde. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo	18
Figura 5.2 Propagazione di un'onda monocromatica secondo lo scenario 1:5 anni. Pannello di sinistra, mappa delle onde con evidenza della fase delle onde. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo	19
Figura 5.3 Propagazione di un'onda monocromatica secondo lo scenario 1:50 anni. Pannello di sinistra, mappa delle onde con evidenza della fase delle onde. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo	20
Figura 5.4 Propagazione di un'onda irregolare secondo lo scenario frequente. Pannello di sinistra, mappa delle altezze d'onda. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo	21
Figura 5.5 Propagazione di un'onda irregolare secondo lo scenario 1:5 anni. Pannello di sinistra, mappa delle altezze d'onda. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo	22
Figura 5.6 Propagazione di un'onda irregolare secondo lo scenario 1:50 anni. Pannello di sinistra, mappa delle altezze d'onda. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo	23

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

l.m.m.	Livello medio mare
s.l.m.m	Sul livello medio mare
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
HW	High water (acqua alta)
LW	Low water (acqua bassa)
CD	Chart datum – Sistema di riferimento altimetrico
TR	Periodo di ritorno (Return Period)
R.C.G.	Royal Caribbean Group
D.P.R.	Decreto del Presidente della Repubblica
UTM	Universal Transverse Mercator
IS	Sistema Internazionale
SLD	Stato Limite di Danno
SLU	Stato Limite Ultimo
WGS	World Geodetic System
ROM	Racomendaciones de Obras Maritimas
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione
EN	Identifica norme elaborate dal CEN (Comitè Européen de Normalisation)
BS	British Standard
US	United States
PIANC	Permanent International Association of Navigational Congresses
APAT	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
DOC	Documento
SLE	Stato Limite di Esercizio
SLO	Stato Limite di Operatività
SLC	Stato Limite di Prevenzione del Collasso
GEN	Gennaio
FEB	Febbraio
MAR	Marzo
APR	Aprile
MAG	Maggio
GIU	Giugno
LUG	Luglio
AGO	Agosto
SET	Settembre
OTT	Ottobre
NOV	Novembre
DIC	Dicembre

Studio di agitazione ondosa residua portuale

P0031150-D-0-OM00-RS-REL-02_00

OPCM	Ordinanze del Presidente del Consiglio dei Ministri
STR	Strutture
GEO	Geotecnica
NNO	Nord Nord-Ovest
SSE	Sud Sud-Est
FEM	Finite Element Method
LEM	Limit Equilibrium Method

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 Traianea 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). 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*.

Studio di agitazione ondosa residua portuale

P0031150-D-0-OM00-RS-REL-02_00

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 SITO DI INTERESSE

2.1 LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

Il sito oggetto del presente studio è l'area costiera del Porto di Fiumicino presso la località di Isola Sacra, con latitudine 41.749° e longitudine 12.223°.



Figura 2.1 Inquadramento del sito di interesse (mappa: <https://earth.google.com/web/>)

3 DATI DISPONIBILI

3.1 CONFIGURAZIONE PORTUALE A BASE DELLA PROGETTAZIONE

Ai fini progettuali e per la sottomissione del masterplan, il Cliente (RINA) ha condiviso la planimetria generale del porto di Fiumicino in località Isola Sacra, aggiornata a Settembre 2022.

Sono state estratte le informazioni geometriche che saranno alla base della modellazione oggetto del presente studio. Le opere portuali, così come la linea di costa aggiornata, sono state estratte lungo l'isolinesa +0.00 m l.m.m. La seguente figura mostra la planimetria generale di input e al suo fianco la schematizzazione della geometria da usare nel modello di calcolo.

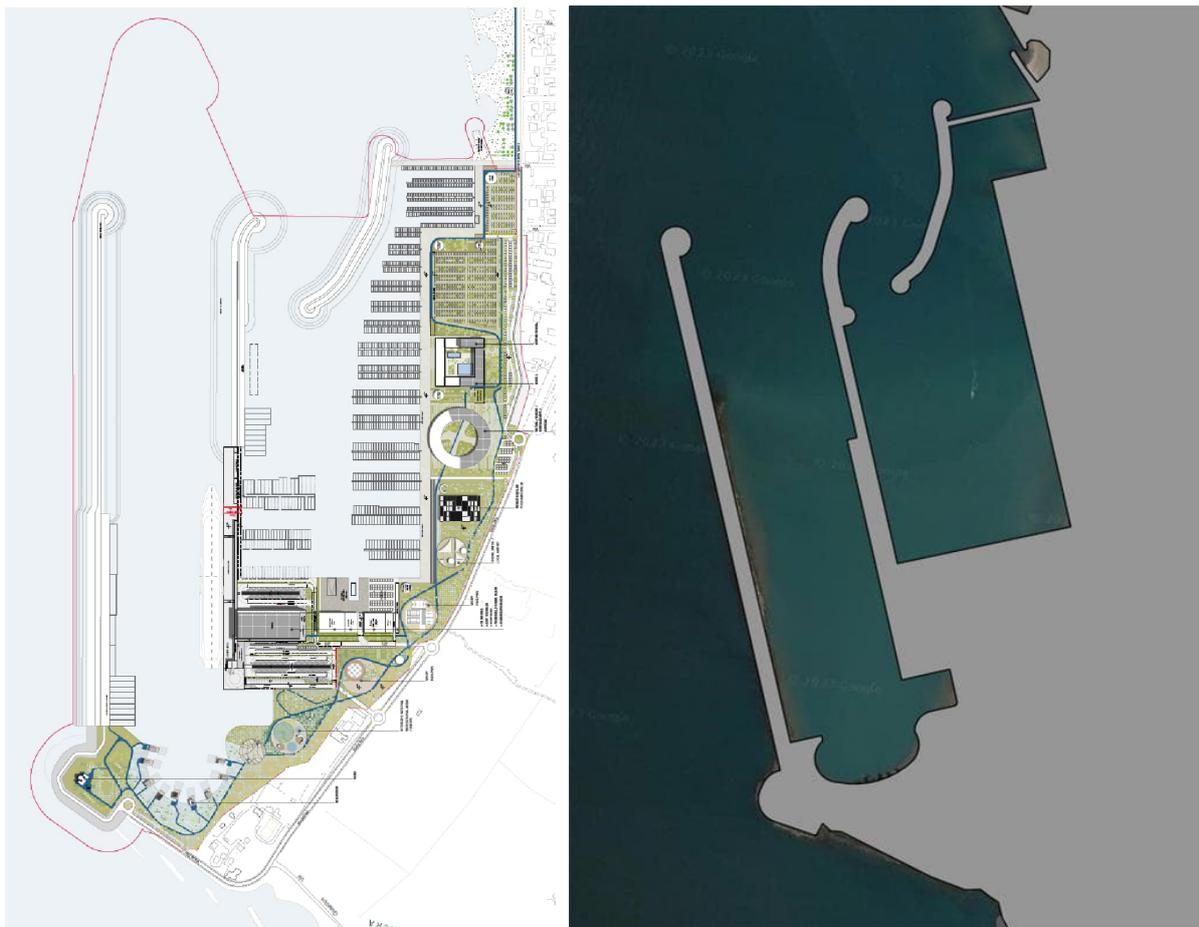


Figura 3.1 Planimetria di progetto

3.2 BATIMETRIA

Vista la necessità di rappresentare correttamente l'interazione del moto ondoso incidente con le opere marittime del porto, è stato necessario rappresentare nel modello non solo le opere di protezione previste per il porto ma anche le caratteristiche dei fondali nelle aree di interesse, che includono i bacini portuali, il canale dragato e il cerchio di evoluzione. Ciò al fine di rappresentare i più rilevanti fenomeni di trasformazione delle onde mentre queste si propagano in acque basse lungo fondali dolcemente acclivi. A tal fine, si è scelto di rappresentare nel dominio di calcolo la configurazione del fondo marino non solo in corrispondenza del porto e nelle sue immediate vicinanze, ma anche in zone relativamente più distanti, fino a coprire un'area di interesse che raggiunge una profondità di circa 12.5m s.l.m.m. Tali informazioni sono state estratte combinando i risultati di diversi studi forniti da RINA, in particolare:

- i rilievi batimetrici aggiornati di tutta l'area di interesse (Figura 3.2),
- le quote di progetto previste per i dragaggi del canale di accesso e del cerchio di evoluzione del porto, oltre alle profondità dei bacini del porto (Figura 3.3).



Figura 3.2 Rilievi batimetrici forniti dal Cliente (RINA)

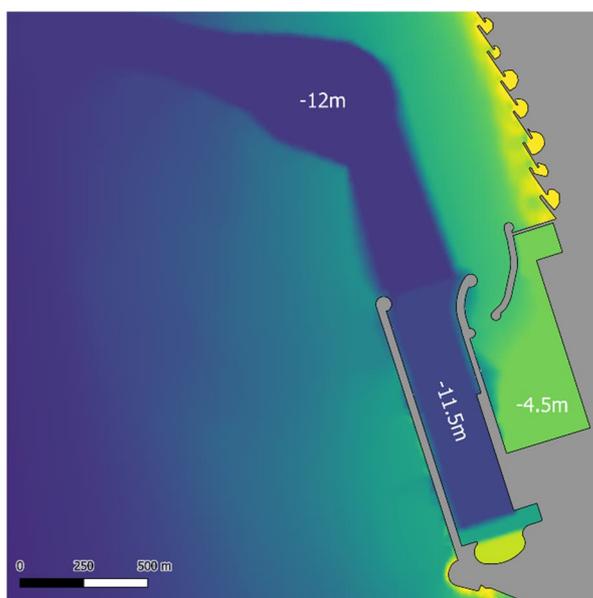


Figura 3.3 Prescrizioni sulle profondità di dragaggio di progetto

3.3 DATI ONDAMETRICI

Le condizioni meteomarine di ingresso sono state definite a partire dallo studio meteomarino alla base delle attività di progettazione, condiviso dal Cliente (RINA) in Settembre 2022.

Il moto ondoso di progetto è stato estratto alla profondità di -25.0 m l.m.m per diversi scenari di modellazione con probabilità di accadimento decrescente (Tabella 3-1): da frequente (5 giorni all'anno), ad avente periodo di ritorno T_R di 5 e 50 anni.

Tabella 3-1 Condizioni meteomarine di progetto alla profondità di -25.0 m l.m.m.

Scenario	H_s	T_p	d
-	M	s	m
<i>Frequente (5 giorni all'anno)</i>	3.4	8.0	25.0
<i>Periodo di ritorno T_R 1:5 anni</i>	5.8	11.0	
<i>Periodo di ritorno T_R 1:50 anni</i>	7.0	12.0	

3.4 LIVELLI

Sono stati associati i dati di variazione del livello del mare dovuto alle maree o ad altri effetti con le condizioni estreme per i diversi periodi di ritorno, a partire dai risultati dello studio meteomarino svolto da Rina.

Tabella 3-2 Livelli di progetto

Scenario	Sovralzo
-	m
<i>Frequente (5 giorni all'anno)</i>	+0.78
<i>Periodo di ritorno T_R 1:5 anni</i>	+0.98
<i>Periodo di ritorno T_R 1:50 anni</i>	+1.05

4 STUDIO DI AGITAZIONE

4.1 PREMESSA

La valutazione dell'agitazione nel Porto di Fiumicino è stata fatta attraverso l'utilizzo del modello numerico ARTEMIS (Agitation and Refraction with Telemac on a MildSlope) (e.g., Aelbrecht, 1997 [1]; EDF R&D, 2010 [2]), che costituisce parte della suite di calcolo idrodinamico agli elementi finiti TELEMAC (EDF R&D). ARTEMIS è in grado di modellare i principali fenomeni che determinano la trasformazione del moto ondoso da largo a riva e la sua interazione con le strutture costiere, quali lo shoaling, la rifrazione e diffrazione, la riflessione, dissipazione per frangimento, attrito al fondo. Tra le ipotesi fondamentali vi sono quelle di:

- fluido non viscoso e incomprimibile,
- moto irrotazionale,
- configurazione del fondale che non varia nel tempo,
- configurazione del fondale poco acclive e altezza d'onda piccola rispetto alla profondità, che permettono di considerare la teoria lineare delle onde.

ARTEMIS risolve le equazioni estese per fondali a debole pendenza proposte da Booij (1981) [3] e De Girolamo, Kostense e Dingemans (1988) [4]. La formulazione originale, che combina gli effetti di rifrazione e diffrazione fu invece derivata da Berkhoff (1972, 1976) [5] e successivamente modificata da Smith e Sprinks (1975) [6] per integrare gli effetti dissipativi associati al frangimento del moto ondoso e all'attrito al fondo.

Le ipotesi semplificative adottate nel modello sono:

- non avviene trasmissione dell'onda attraverso le strutture rigide (ad esempio le barriere frangiflutti);
- non si tiene in conto l'eventuale fenomeno della tracimazione (overtopping) delle strutture;
- sono trascurati gli effetti della propagazione d'onda legati alla presenza di correnti.

4.2 SET-UP DEL MODELLO DI AGITAZIONE

4.2.1 Geometria e griglia di calcolo

Le caratteristiche principali della griglia di calcolo settata nel modello numerico sono:

- estensione totale = 16.5 km²,
- numero elementi triangolari = 338'056,
- numero nodi = 170'747,
- massima risoluzione spaziale = 3 m,
- minima risoluzione spaziale = 15 m.

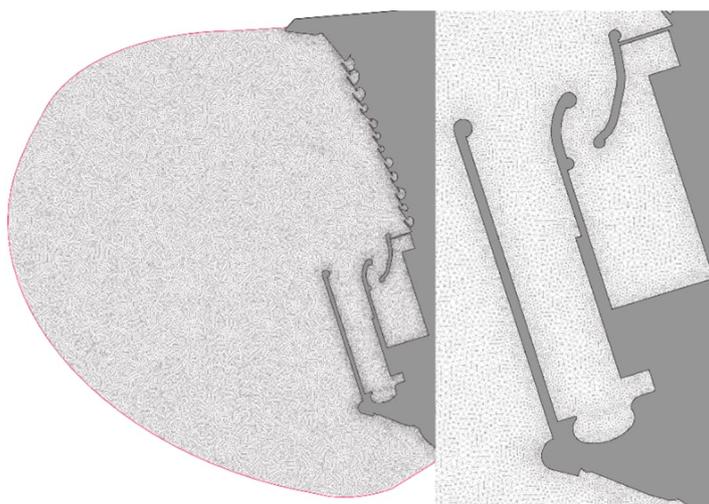


Figura 4.1 Griglia di calcolo del modello numerico

4.2.2 Batimetria

La conformazione della costa ha reso necessario caratterizzare un'area che si estende oltre l'inizio del canale di navigazione attuale. Nelle seguenti figure è mostrata l'estensione del dominio: il modello è stato ottimizzato a livello computazionale escludendo la parte della foce del fiume Tevere, ininfluente rispetto alle finalità del presente studio.

I dati sono stati elaborati mediante il software QGis per ottenere la mappa batimetrica georeferenziata riportata in Figura 4.2.

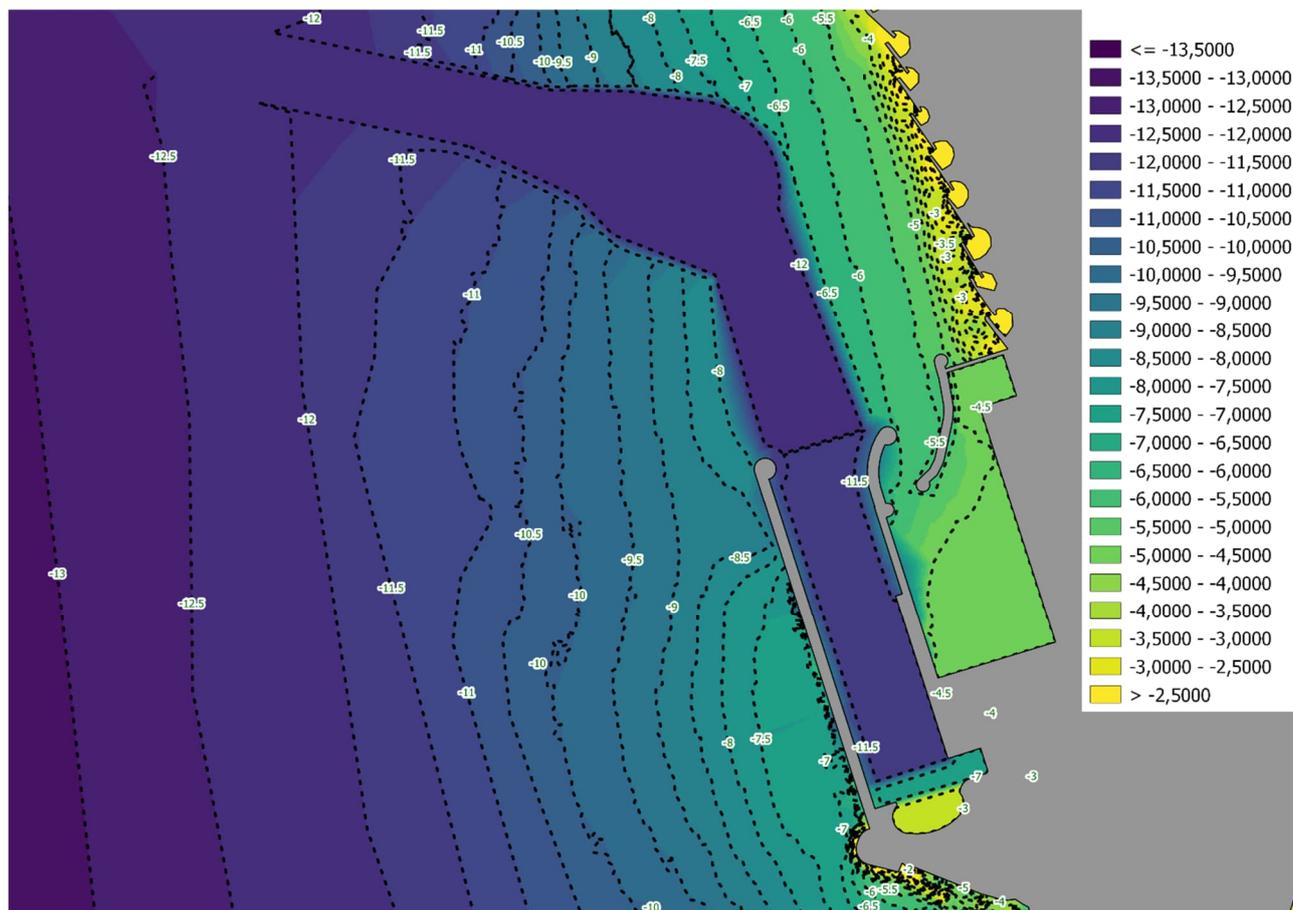


Figura 4.2 Mappa batimetrica dei fondali inclusi nel dominio di calcolo

Si è poi proceduto alla discretizzazione del dominio di calcolo in elementi triangolari di dimensione variabile (mesh non strutturata). L'ottimizzazione è stata in seguito ottenuta aumentando la risoluzione della griglia (riducendo cioè la dimensione dei triangoli che la compongono) in prossimità della costa e delle strutture. Ciò ha garantito l'accurata modellazione dei complessi processi fisici analizzati e una adeguata stabilità numerica del modello.

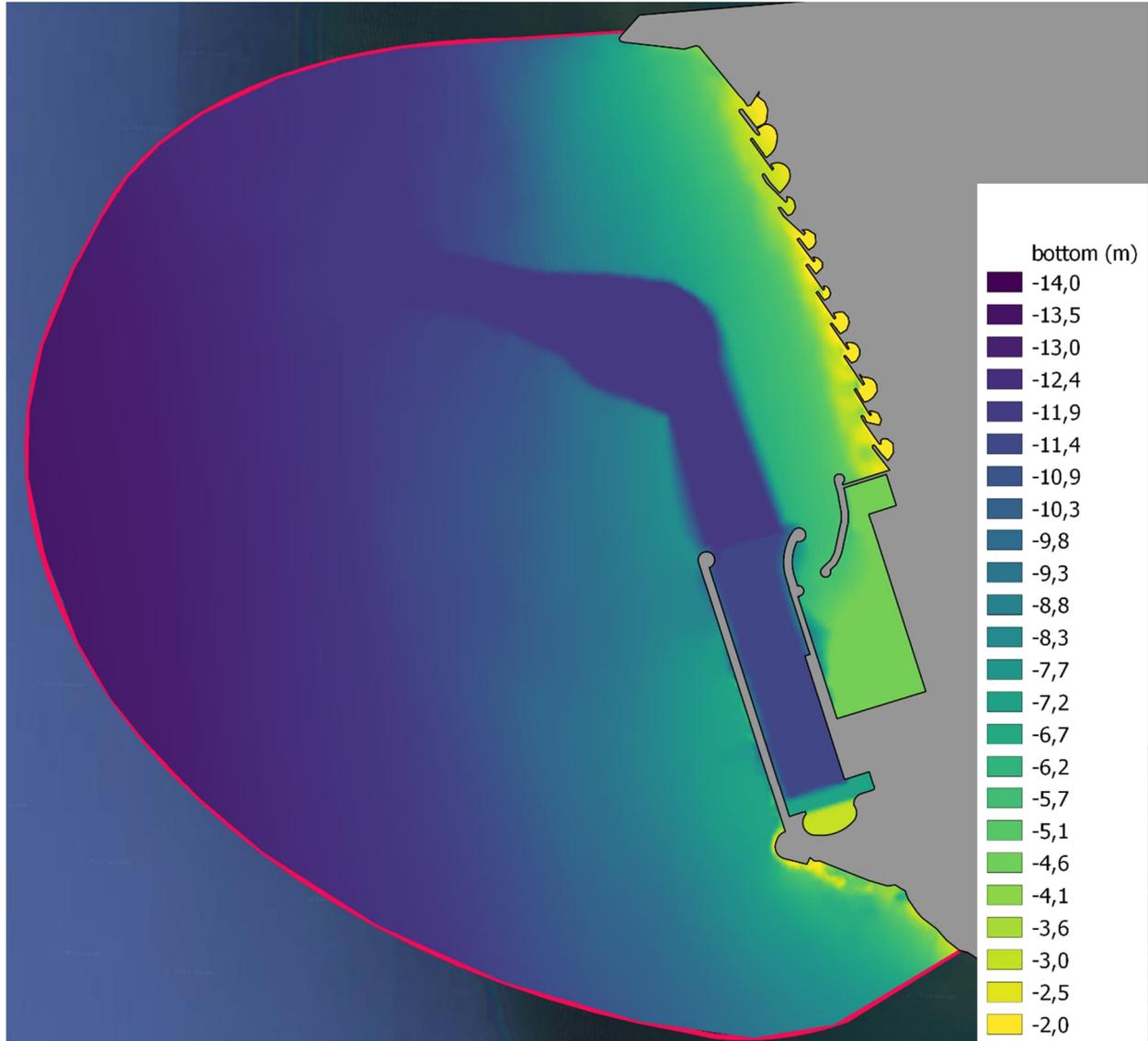


Figura 4.3 Dominio di calcolo

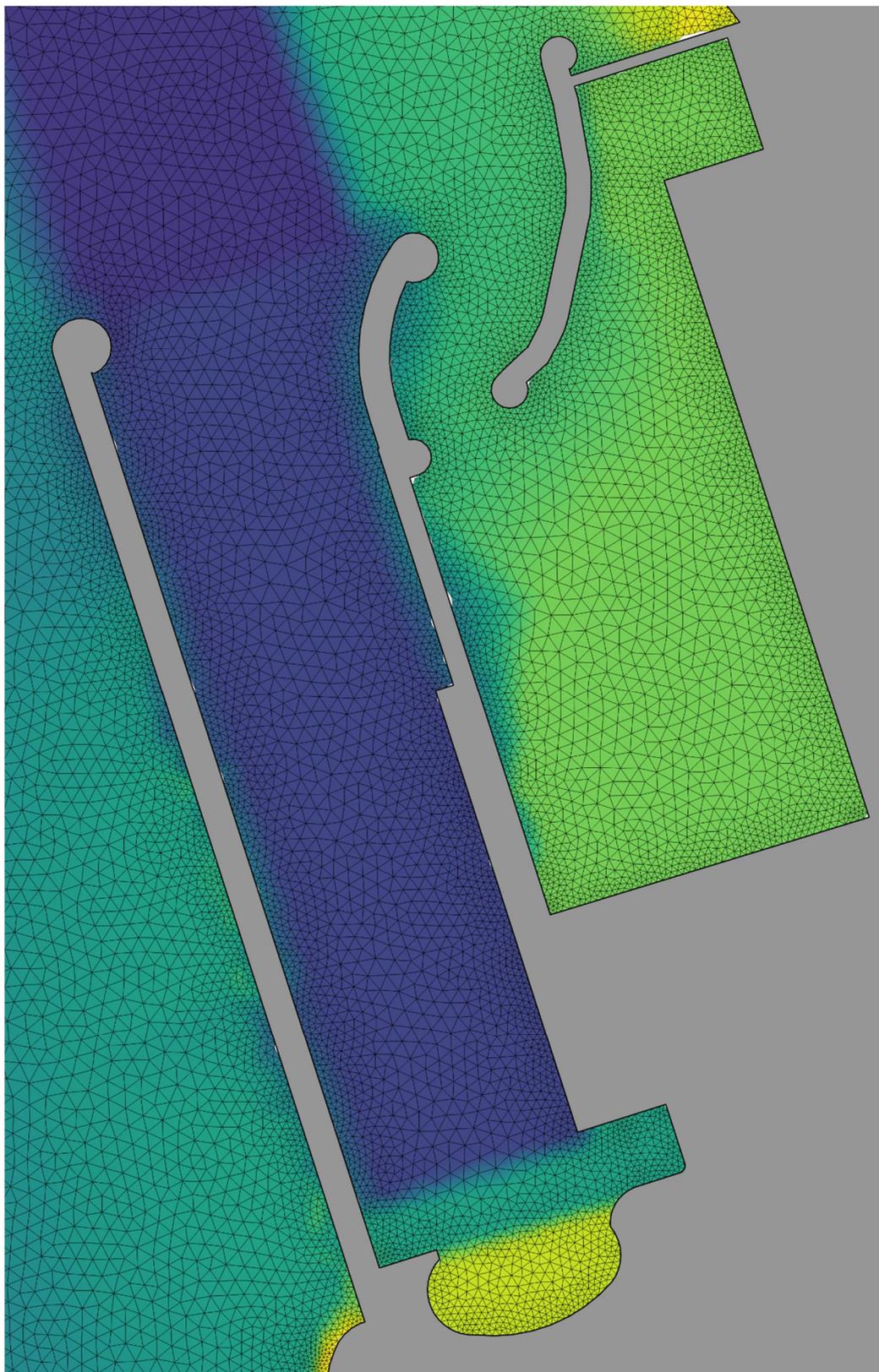


Figura 4.4 Mesh di calcolo – zoom sottocosta nell'area di studio

4.2.3 Condizioni al contorno

I fenomeni che avvengono durante la trasformazione del moto ondoso da largo a riva dipendono dalle caratteristiche morfologiche dei fondali ma anche dalla conformazione della costa e dalla geometria di eventuali ostacoli (naturali e non). L'analisi delle opere esistenti ha portato alla caratterizzazione del coefficiente di riflessione ($0.0 < Cr < 1.0$) per le seguenti tipologie di strutture individuate lungo il perimetro costiero:

- Spiagge sabbiose $Cr = 0.20$,
- Scogliere naturali o artificiali tra $Cr = 0.40 - 0.50$
- Banchine verticali $Cr = 0.95$.
- Banchine verticali antiriflettenti* $Cr = 0.60$.

*Solo per le simulazioni con onde irregolari

In Figura 4.5 si riporta la suddivisione della costa in base al coefficiente di riflessione assegnato.

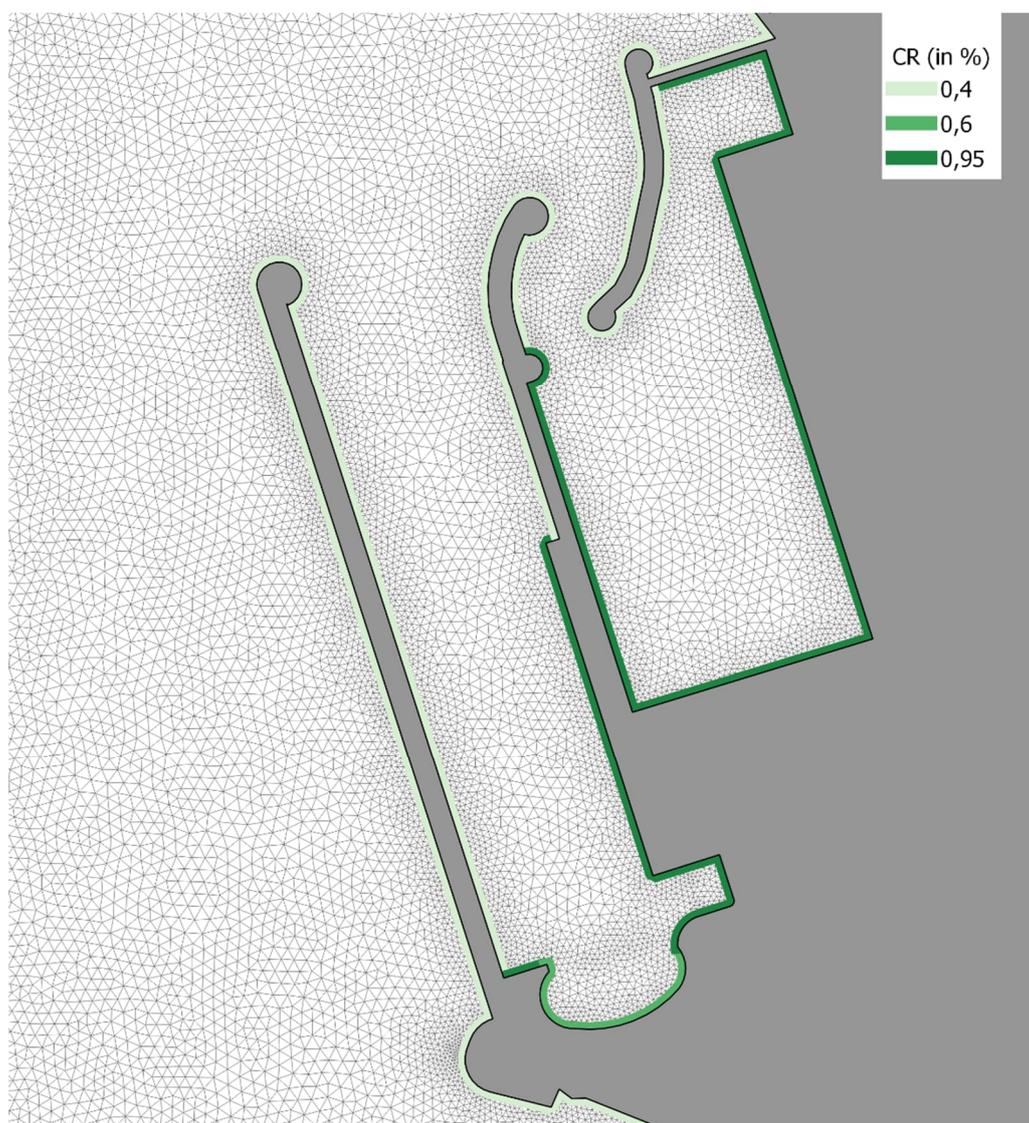


Figura 4.5 Coefficienti di riflessione assegnati alle strutture esistenti

5 ANALISI DEI RISULTATI

5.1 PREMESSA

I risultati delle simulazioni numeriche sono riportati di seguito in forma di mappe cromatiche di agitazione ondosa corrispondenti alle condizioni di moto ondose incidenti a largo riportate in Tabella 3-1, alle quali sono stati associati i relativi limiti di ammissibilità prescritti dalla normativa tecnica di riferimento [7] per l'agitazione interna all'interno dei bacini portuali:

- **condizione di "comfort"** (particolarmente importante nel caso di porti in cui si prevede la presenza prolungata di persone a bordo delle imbarcazioni) $H_s = 0.15 \text{ m}$ per eventi con frequenza massima complessiva indicativamente non superiore a 5 giorni/anno;
- **condizione di "sicurezza"** $H_s = 0.30 \text{ m}$ per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 5 anni;
- **condizione "limite"** $H_s = 0.50 \text{ m}$ per eventi con periodo di ritorno indicativamente non inferiore a 50 anni.

Di conseguenza sono stati settati i seguenti limiti per ciascuno scenario di simulazione:

Tabella 5-1 Condizioni meteomarine di progetto alla profondità di -25.0 m l.m.m.

Scenario	Condizioni limite	H_s
-	-	m
Frequente (5 giorni all'anno)	Comfort	0.15
Periodo di ritorno T_R 1:5 anni	Sicurezza	0.30
Periodo di ritorno T_R 1:50 anni	Limite	0.50

5.2 RISULTATI

5.2.1 Premessa

Per gli scenari selezionati, è stata svolta la propagazione analitica dell'onda di progetto con il metodo di Goda [8] dalla profondità di -25 m l.m.m. alla -12.5 m l.m.m. Le condizioni d'onda così ottenute sono state usate come condizioni al contorno a largo per il modello di agitazione, sia per le simulazioni condotte con onde monocromatiche che irregolari.

5.2.2 Onde monocromatiche

Si riportano graficamente i risultati delle simulazioni in termini di evoluzione dell'altezza d'onda mentre queste si propagano da largo verso riva. Inoltre, viene illustrato il dettaglio dei bacini portuali principale e del marina, con i relativi limiti ammissibili per lo scenario selezionato, ed in particolare:

- campitura rossa per aree caratterizzate da altezza d'onda residua superiore al limite di riferimento
- campitura gialla per aree caratterizzate da altezza d'onda residua inferiore al limite di riferimento.

I risultati sono riportati in:

- Figura 5.1 per lo scenario frequente,
- Figura 5.2 per lo scenario con periodo di ritorno T_R di 5 anni,
- Figura 5.3 per lo scenario con periodo di ritorno T_R di 50 anni,

Per lo scenario frequente, la maggior parte del marina presenta un'agitazione al di sotto dei limiti ammissibili mentre il bacino portuale principale al di sopra della soglia prescritta.

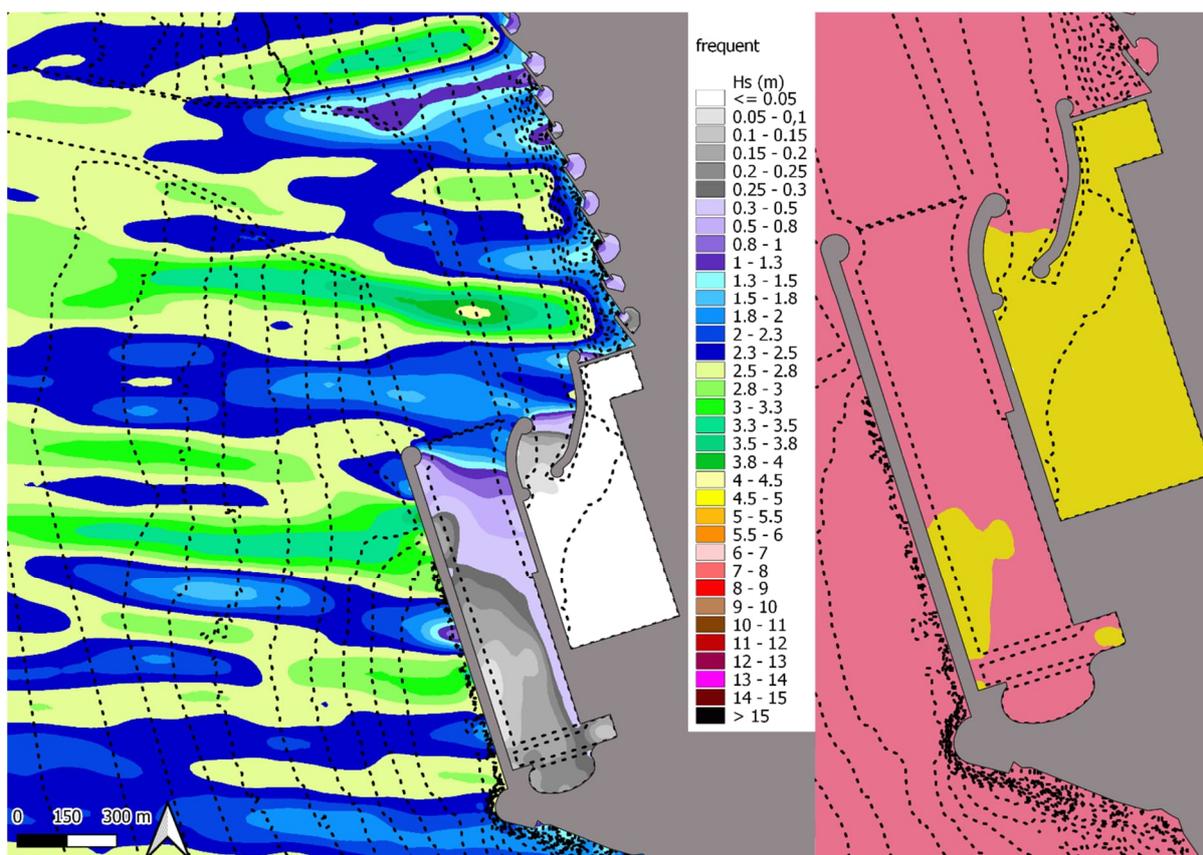


Figura 5.1 Propagazione di un'onda monocromatica secondo lo scenario frequente. Pannello di sinistra, mappa delle onde con evidenza della fase delle onde. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo

Per lo scenario con periodo di ritorno RP 1:5 anni, la totalità del marina presenta un'agitazione al di sotto dei limiti ammissibili mentre il bacino portuale principale al di sopra della soglia prescritta solo in vicinanza della testata all'imboccatura.

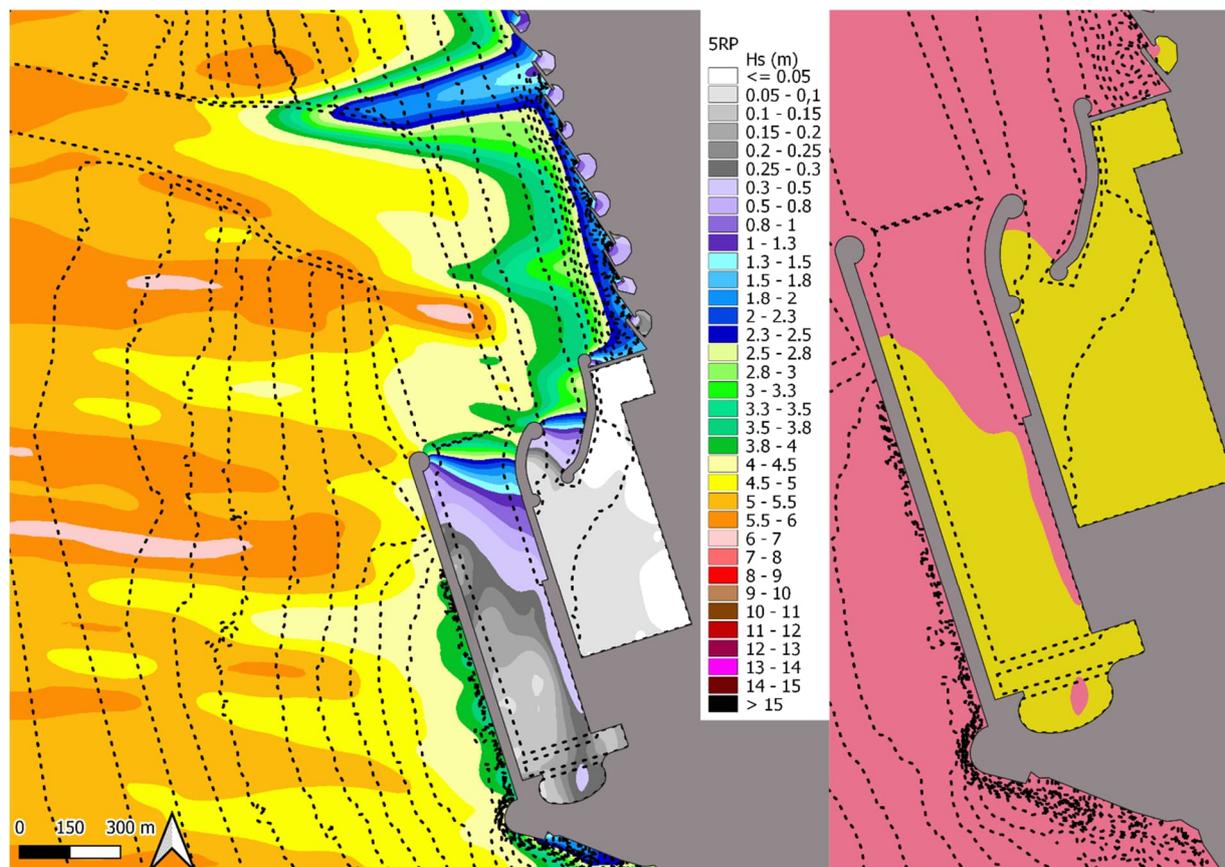


Figura 5.2 Propagazione di un'onda monocromatica secondo lo scenario 1:5 anni. Pannello di sinistra, mappa delle onde con evidenza della fase delle onde. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo

Per lo scenario con periodo di ritorno RP 1:50 anni, la totalità del marina presenta un'agitazione al di sotto dei limiti ammissibili mentre il bacino portuale principale al di sopra della soglia prescritta solo in vicinanza della testata all'imboccatura.

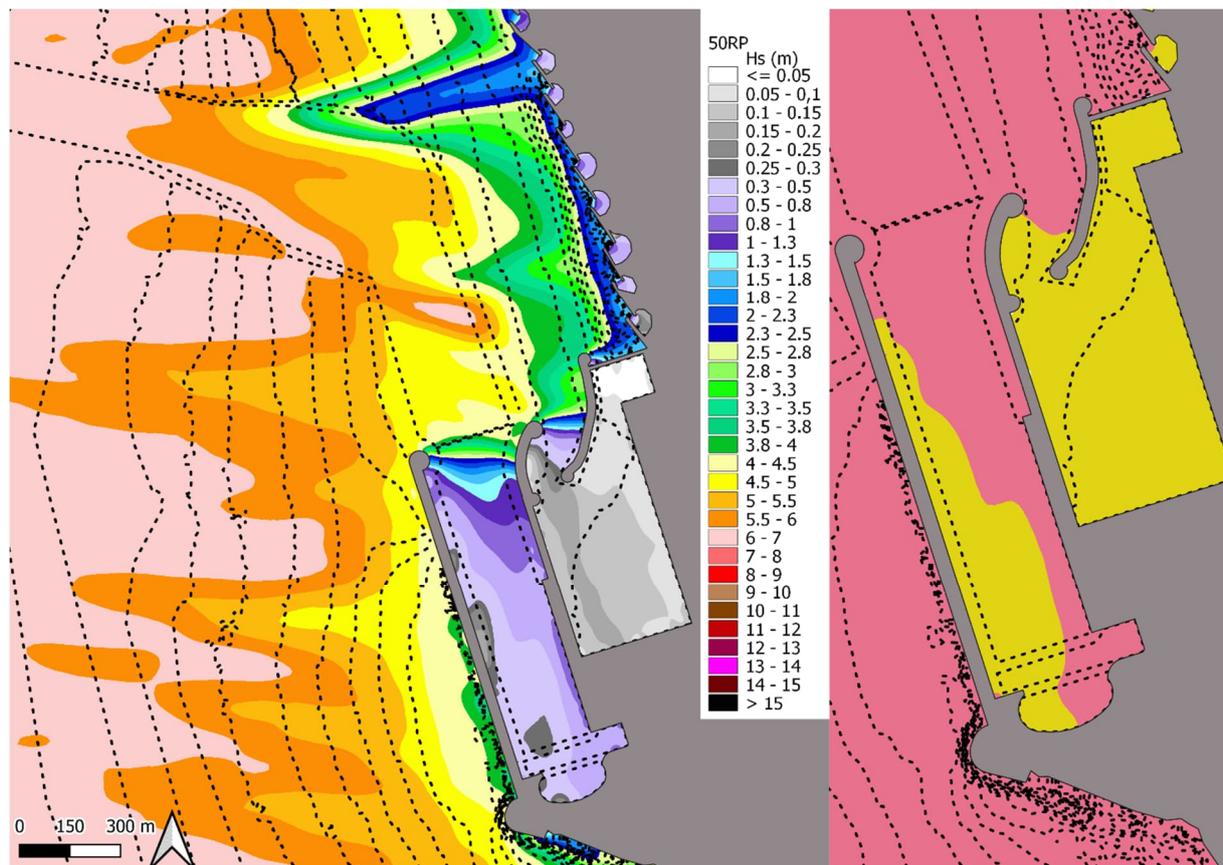


Figura 5.3 Propagazione di un'onda monocromatica secondo lo scenario 1:50 anni. Pannello di sinistra, mappa delle onde con evidenza della fase delle onde. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo

5.2.3 Onde irregolari

Una volta ottenuti i risultati preliminari attraverso lo studio semplificato con onde monocromatiche si è passati a un livello di analisi più approfondito:

- utilizzando onde irregolari
- considerando la riflessione parziale dovuta all'introduzione di banchine antiriflettenti.

Si riportano i risultati grafici delle analisi per le condizioni d'onda irregolare, così come fatto per le onde monocromatiche.

I risultati sono riportati in:

- Figura 5.4 per lo scenario frequente,
- Figura 5.5 per lo scenario con periodo di ritorno RP 1:5 anni,
- Figura 5.6 per lo scenario con periodo di ritorno RP 1:50 anni,

Per lo scenario frequente, la maggior parte del marina presenta un'agitazione al di sotto dei limiti ammissibili, tranne per le aree in prossimità dell'imboccatura. Il bacino portuale principale presenta un'agitazione al di sopra della soglia prescritta.

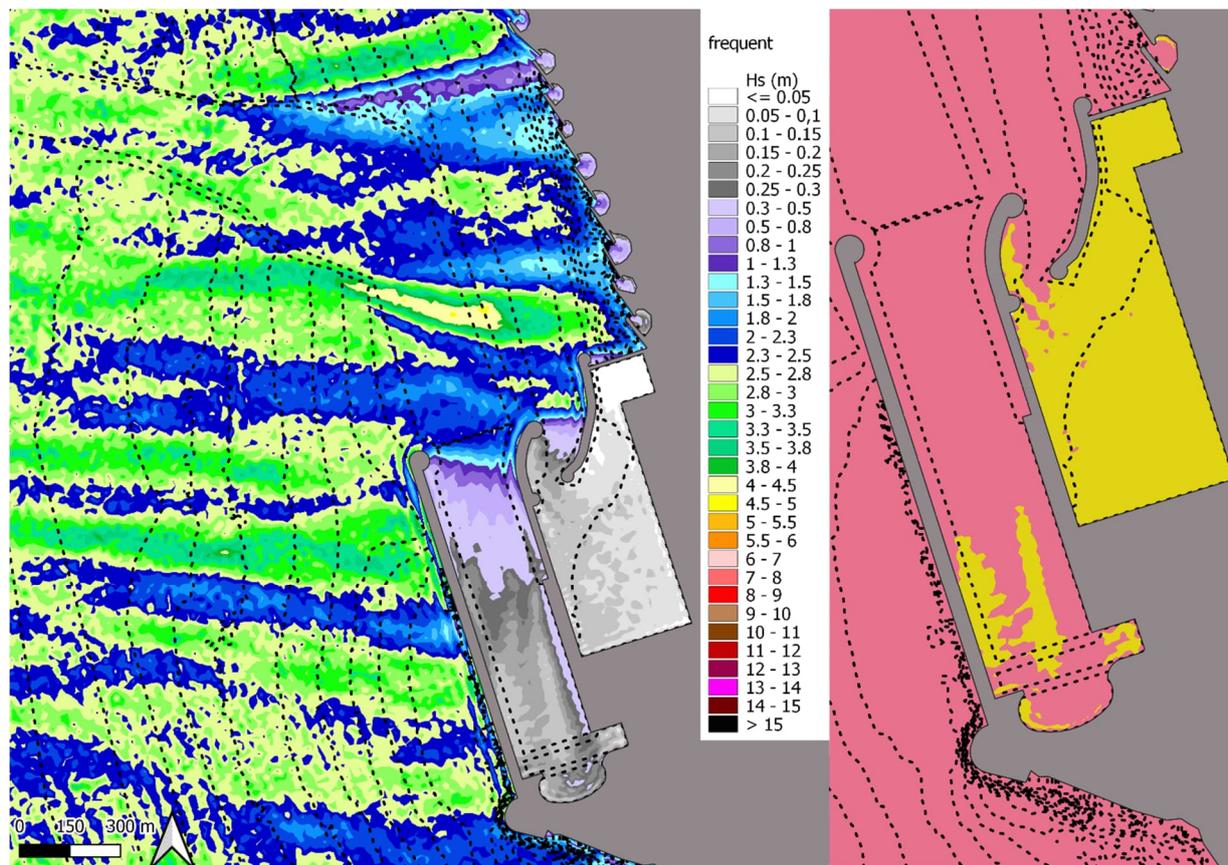


Figura 5.4 Propagazione di un'onda irregolare secondo lo scenario frequente. Pannello di sinistra, mappa delle altezze d'onda. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo

Per lo scenario con periodo di ritorno RP 1:5 anni, la quasi totalità del marina presenta un'agitazione al di sotto dei limiti ammissibili mentre il bacino portuale principale al di sopra della soglia prescritta solo in vicinanza della testata all'imboccatura.

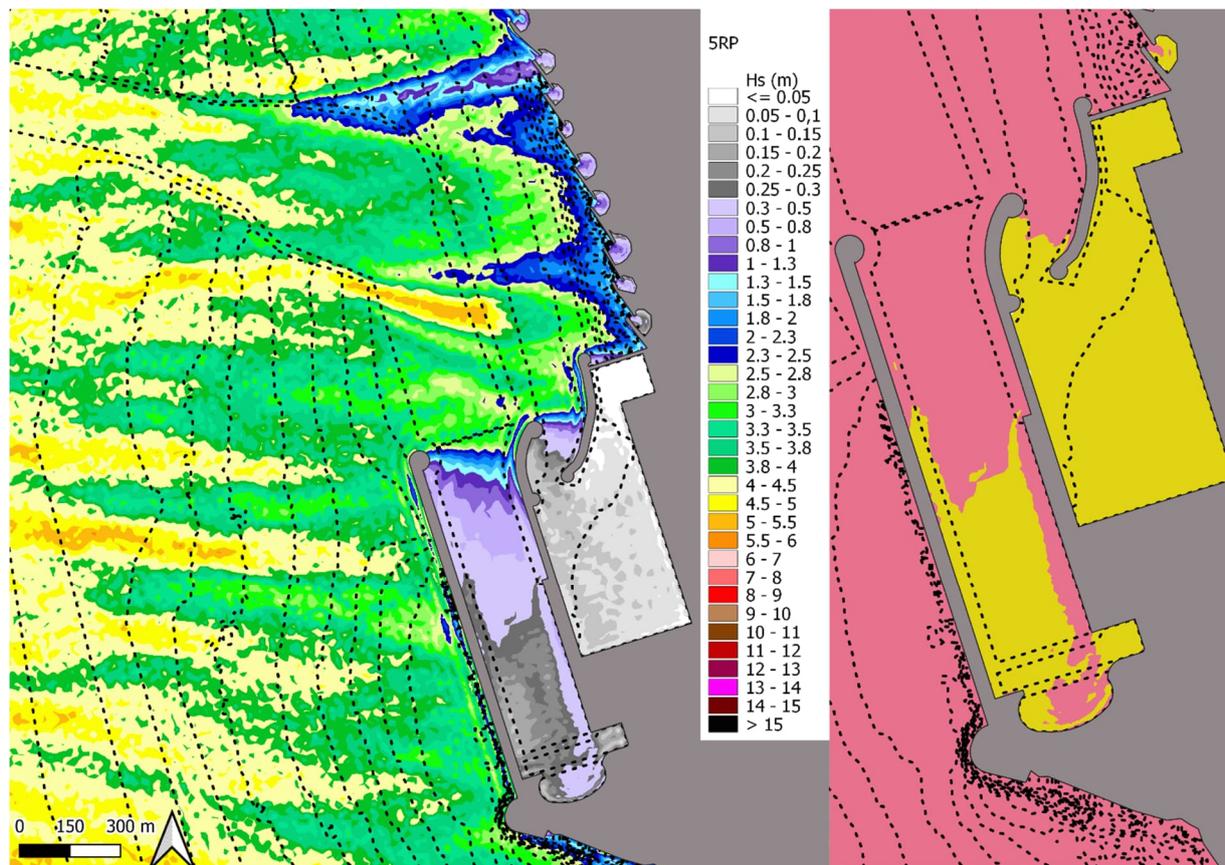


Figura 5.5 Propagazione di un'onda irregolare secondo lo scenario 1:5 anni. Pannello di sinistra, mappa delle altezze d'onda. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo

Per lo scenario con periodo di ritorno RP 1:50 anni, la totalità del marina presenta un'agitazione al di sotto dei limiti ammissibili mentre il bacino portuale principale al di sopra della soglia prescritta solo in vicinanza della testata all'imboccatura.

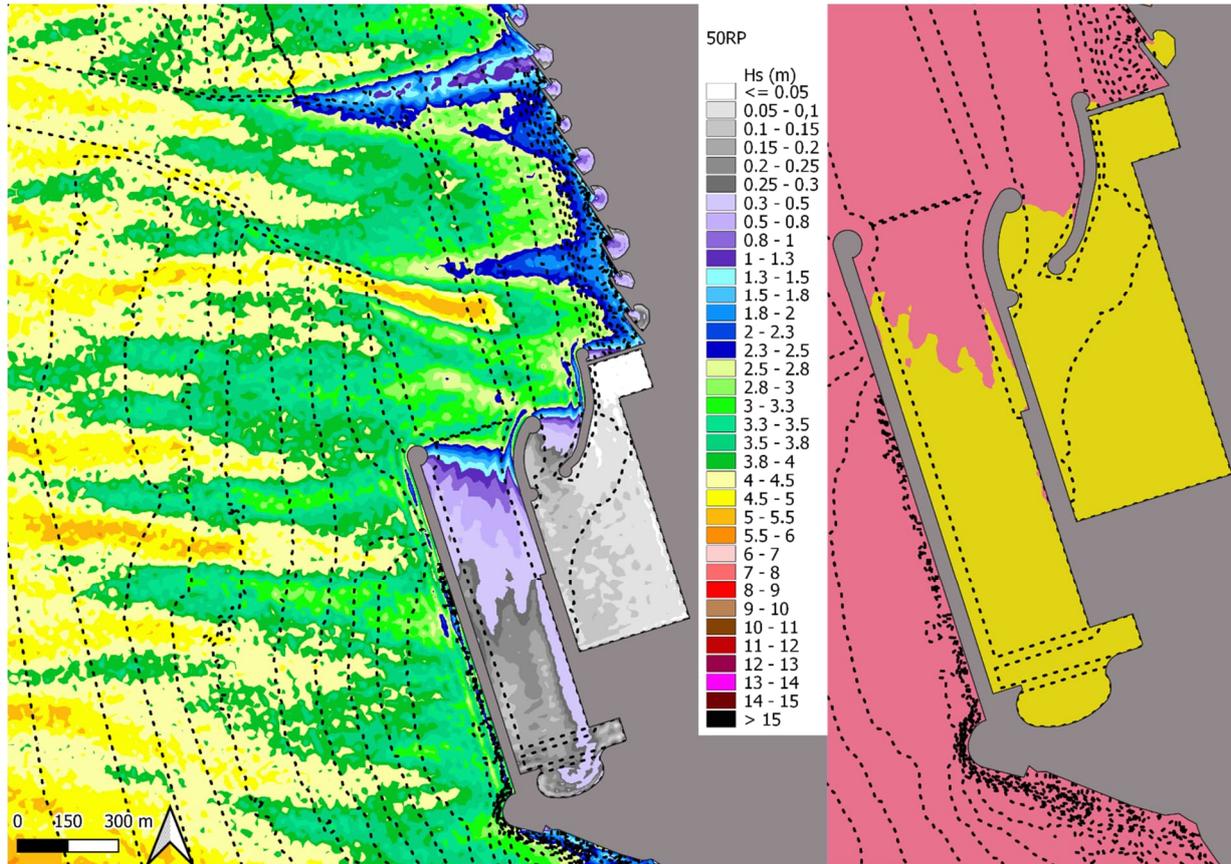


Figura 5.6 Propagazione di un'onda irregolare secondo lo scenario 1:50 anni. Pannello di sinistra, mappa delle altezze d'onda. Pannello di destra, particolare dei bacini portuali con scala di colori delle onde al di sopra e al di sotto dei limiti di ammissibilità, rispettivamente colore rosso e giallo

6 CONCLUSIONI

Il presente documento illustra lo studio di agitazione svolto per il porto di Fiumicino presso la località di Isola Sacra.

Sono state raccolte le informazioni e i dati per le attività di modellazione dalla documentazione messa a disposizione dal Cliente (RINA).

La valutazione dell'agitazione nel Porto di Fiumicino è stata fatta attraverso l'utilizzo del modello numerico ARTEMIS (Agitation and Refraction with TELEMAC on a MildSlope).

Sono state svolte le simulazioni per diversi scenari di progettazione e per le condizioni di onda regolare e irregolare:

- frequente,
- periodo di ritorno RP 1:5 anni,
- periodo di ritorno RP 1:50 anni,

All'interno del bacino del marina, i limiti prescritti per l'agitazione ondosa sono rispettati nella quasi totalità dell'area interna portuale.

7 RIFERIMENTI

- [1] Aelbrecht, D., 1997. ARTEMIS 3.0: a finite element model for predicting wave agitation in coastal areas and harbours including dissipation. In: Computer modelling of seas and coastal regions III. International conference. Eds.: J.R. Acinas and C.A. Brebbia, 343-352.
- [2] EDF R&D, 2010. Agitation d'un plan d'eau par la houle. Logiciel ARTEMIS. Version 6. Notice théorique et manuel utilisateur. 134 pp.
- [3] Booij, N. Gravity waves on water with non-uniform depth and current. Delft (Netherlands): PhD thesis Technical University of Delft, 1981.]
- [4] De Girolamo, P., Kostense, J.K. and Dingemans, M.W. Inclusion of wave breaking in a mild-slope model. Venice : International Conference on Computer Modelling in Ocean Engineering, 1988.
- [5] Berkhoff, J.C.W. Mathematical models for simple harmonic linear water waves. Wave diffraction and refraction. s.l.: Delft Hydraulics Lab Publication. 163.
- [6] Smith, R. 1974 Edge waves on a beach of mild slope. Quart. J. Mech. Appl. Math. 27, 102–110.
- [7] Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici. AIPCN – PIANC ASSOCIAZIONE INTERNAZIONALE DI NAVIGAZIONE Sezione Italiana. Febbraio 2002.
- [8] Random Seas and Design of Maritime Structures. Yoshimi Goda (Yokohama National University, Japan). Advanced Series on Ocean Engineering. June 2010.

Studio di agitazione ondosa residua portuale

P0031150-D-0-OM00-RS-REL-02_00



RINA Consulting S.p.A. | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.

Via Cecchi, 6 - 16129 GENOVA | P. +39 010 31961 | rinaconsulting@rina.org | www.rina.org

C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. € 20.000.000,00 i.v.