

FIUMICINO  
WATERFRONT

SOGGETTO ESECUTORE E FINANZIATORE



INTERVENTO N. 146



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

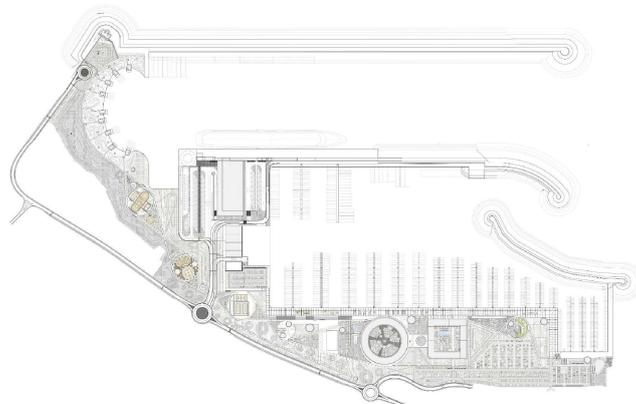
UNITÀ DI PROGETTO

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 IDRODINAMICO E DI QUALITÀ DELLE ACQUE PORTUALI

COMMESSA	SERVIZIO LOTTO	OPERA	DISCIPLINA	TIPO	PROG.	REV.	SCALA
P0031150	D0	OM00	RS	REL	04	00	-

REV.	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA
00	Emissione per approvazione	C. EVANGELISTA	E. DUCHINI	A. ODASSO	31/07/2023
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

NOME FILE: P0031150-D-0-OM00-RS-REL-04\_00

## INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>LISTA DELLE APPENDICI</b>	<b>1</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 LAVORO</b>	<b>8</b>
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>9</b>
<b>4 MODELLO IDRODINAMICO</b>	<b>11</b>
4.1 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE	11
4.2 DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO	13
4.3 FORZANTE DEL MODELLO	15
4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO	15
4.5 ANALISI DEI RISULTATI	15
4.5.1 Mese di Giugno	16
4.5.2 Mese di Marzo	17
<b>5 QUALITÀ DELLE ACQUE</b>	<b>20</b>
5.1 CONDIZIONI INIZIALI	20
5.2 CONDIZIONI AL CONTORNO	22
5.3 AREE DI INTERESSE	22
5.4 ANALISI DEI RISULTATI	23
5.4.1 Scenario 1	23
5.4.2 Scenario 2	32
5.4.3 Scenario 3	40
5.4.4 Scenario 4	48
<b>6 CONCLUSIONI</b>	<b>57</b>
6.1 RACCOMANDAZIONI	59
<b>REFERENZE</b>	<b>60</b>

## LISTA DELLE APPENDICI

Appendice A: Mike 21/3 Flow Model FM

## LISTA DELLE TABELLE

	Pag.
Tabella 5.1: Schema delle Simulazioni Effettuate per la Verifica della Qualità delle Acque	20

## LISTA DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 3.1: Layout di Progetto e Dragaggi	10
Figura 4.1: Andamento della Velocità del Vento nel Mese di Giugno 2020	11
Figura 4.2: Andamento della Velocità del Vento nel Mese di Marzo 2020	12
Figura 4.3: Andamento del Livello Idrometrico nel Mese di Giugno 2020	12
Figura 4.4: Andamento del Livello Idrometrico nel Mese di Marzo 2020	13
Figura 4.5: Dominio e Maglie di Calcolo	14
Figura 4.6: Batimetria del Dominio di Calcolo	15
Figura 4.7: Circolazione della Corrente nel Dominio di Calcolo	16
Figura 4.8: Circolazione della Corrente nel Bacino Portuale	17
Figura 4.9: Circolazione della Corrente nel Dominio di Calcolo	18
Figura 4.10: Circolazione della Corrente nel Bacino Portuale	19
Figura 5.1: Condizione Iniziale 1	21
Figura 5.2: Condizione Iniziale 2	22
Figura 5.3: Aree di Interesse	23
Figura 5.4: Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno	24
Figura 5.5: Evoluzione del Tracciante dopo 5 Giorni	25
Figura 5.6: Evoluzione del Tracciante dopo 10 Giorni	26
Figura 5.7: Evoluzione del Tracciante al Termine dei 15 Giorni	27
Figura 5.8: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere	28
Figura 5.9: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna	28
Figura 5.10: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna	29
Figura 5.11: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore	29
Figura 5.12: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni	30
Figura 5.13: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto	31
Figura 5.14: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord	31
Figura 5.15: Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno	33
Figura 5.16: Evoluzione del Tracciante dopo 5 Giorni	34
Figura 5.17: Evoluzione del Tracciante dopo 10 Giorni	35
Figura 5.18: Evoluzione del Tracciante al Termine dei 15 Giorni	36
Figura 5.19: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere	37
Figura 5.20: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna	37
Figura 5.21: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna	38
Figura 5.22: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore	38
Figura 5.23: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni	39
Figura 5.24: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto	39
Figura 5.25: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord	40
Figura 5.26: Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno	41

---

Figura 5.27:	Evoluzione del Tracciante dopo 5 Giorni	42
Figura 5.28:	Evoluzione del Tracciante dopo 10 Giorni	43
Figura 5.29:	Evoluzione del Tracciante al Termine dei 15 Giorni	44
Figura 5.30:	Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Diporto	45
Figura 5.31:	Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord	45
Figura 5.32:	Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore	46
Figura 5.33:	Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni	46
Figura 5.34:	Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere	47
Figura 5.35:	Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna	47
Figura 5.36:	Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna	48
Figura 5.37:	Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno	49
Figura 5.38:	Evoluzione del Tracciante dopo 5 Giorni	50
Figura 5.39:	Evoluzione del Tracciante dopo 10 Giorni	51
Figura 5.40:	Evoluzione del Tracciante al Termine dei 15 Giorni	52
Figura 5.41:	Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Diporto	53
Figura 5.42:	Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord	53
Figura 5.43:	Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore	54
Figura 5.44:	Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni	54
Figura 5.45:	Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere	55
Figura 5.46:	Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna	55
Figura 5.47:	Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna	56

---

## ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

<b>RCG</b>	Royal Caribbean Cruises Ltd
<b>DHI</b>	Danish Hydraulic Institute
<b>HD</b>	Hydrodynamic
<b>AD</b>	Advection - Dispersion
<b>TR</b>	Transport
<b>FM</b>	Flexible Mesh

## 1 INTRODUZIONE

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

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

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

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

Il progetto sviluppato da IP prevedeva la realizzazione di 1.400 posti barca e di un cantiere nautico da 10.300 mq. A questi si aggiungevano oltre 40.000 mq di edilizia, destinata in gran parte a residenze, ma anche ad un albergo e superfici commerciali, di ristorazione e di servizio.

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

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

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

Lo *Studio di Fattibilità* completato nel 2018 (SDF2018), ha esaminato preliminarmente tutti i necessari profili amministrativi, economici, progettuali e di mercato ed è stato sottoposto volontariamente a *Conferenza dei Servizi Preliminare* e *Scoping Ambientale* nel 2019 (CSP2019, SA2019). Il procedimento si è concluso con alcune prescrizioni, ma senza evidenziare cause ostative allo sviluppo della Variante e all'introduzione della funzione crocieristica, confermando la 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*.

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 PFTF adeguato sulla base delle prescrizioni ricevute e ad elaborare il *Progetto Esecutivo*, eventualmente per lotti, in modo da affidare e completare i lavori di costruzione delle opere funzionali agli obiettivi del Giubileo nei tempi previsti.

## 2 SCOPO DEL LAVORO

Il fine del presente studio è quello di fornire una stima dei tempi di ricambio idrico all'interno del futuro porto turistico di Fiumicino, e di evidenziare quindi potenziali criticità per la qualità delle acque all'interno del bacino.

A tale scopo, per prima cosa è stato simulato il campo idrodinamico nell'area di studio e all'interno del futuro porto, per due distinti periodi dell'anno al fine di valutare la variabilità degli effetti dell'azione del vento e dell'oscillazione del livello del mare.

La circolazione idrodinamica ottenuta è stata utilizzata come input per il calcolo del trasporto di materiale. Le simulazioni di trasporto sono state svolte considerando la presenza di sostanza inquinante generica in entrambi i sottobacini del layout portuale di progetto, ipotizzando diversi scenari di rilascio del tracciante da parte delle imbarcazioni, come dettagliatamente descritto di seguito nella metodologia (par. 3).

I risultati del modello di trasporto infine hanno consentito di valutare la qualità delle acque all'interno del bacino portuale nella sua configurazione di progetto, in termini di tempi di ricambio idrico andando ad individuare possibili criticità in aree specifiche.

### 3 METODOLOGIA

Si riporta di seguito la metodologia seguita per svolgere lo studio idrodinamico e di qualità delle acque, comprensiva di assunzioni teoriche, condizioni simulate e modelli utilizzati.

Per prima cosa è stato simulato il campo idrodinamico nell'area di studio e all'interno del futuro porto in condizioni sfavorevoli per il ricambio idrico, ovvero in assenza di onda, considerando solamente l'azione del vento sull'intero dominio di calcolo e la presenza di livello idrometrico al contorno del dominio stesso. Le simulazioni idrodinamiche svolte sono caratterizzate dalla durata di un mese per considerare la completa variazione del livello del mare dovuta alla marea astronomica. La circolazione dell'area di studio infine è stata simulata considerando due condizioni climatiche distinte al fine di valutare la variabilità degli effetti dell'azione del vento e dell'oscillazione del livello del mare:

- ✓ Condizione Climatica 1: simulazione del campo idrodinamico nel mese di giugno a rappresentazione della stagione estiva che sarà certamente caratterizzata da una maggiore attività turistica;
- ✓ Condizione Climatica 2: simulazione del campo idrodinamico nel mese di marzo caratterizzato da un regime di vento più intenso.

Per la definizione delle condizioni climatiche si è fatto riferimento allo Studio Meteomarina [1]. Il modello utilizzato per le simulazioni è il DHI Mike 21/3 HD Flow Model FM (Appendice A).

Le condizioni idrodinamiche ottenute sono state in seguito utilizzate come condizioni iniziali nel modello DHI Mike 21/3 AD (o TR) per il calcolo del trasporto di materiale. In questo caso il materiale trasportato è identificato come generico tracciante. Le simulazioni sono state svolte considerando due diverse condizioni iniziali:

- ✓ Condizione Iniziale 1: presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht;
- ✓ Condizione Iniziale 2: presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica.

Per entrambe le condizioni iniziali, e per ciascuna delle condizioni climatiche suddette, sono state svolte 15 simulazioni della durata di 15 giorni, inizializzate nei primi 15 giorni del mese (Tabella 5.1), per un totale di quattro scenari simulati e 60 simulazioni svolte:

- ✓ Scenario 1, presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di giugno;
- ✓ Scenario 2, presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di marzo;
- ✓ Scenario 3, presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di giugno;
- ✓ Scenario 4, presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di marzo.

Dai risultati del modello di trasporto è stato possibile valutare la qualità delle acque all'interno del bacino portuale nella sua configurazione di progetto, in termini di tempi di ricambio idrico.

Tutte le simulazioni sono state svolte nella configurazione di progetto, tenendo quindi conto dei dragaggi previsti nelle aree mostrate di seguito, in Figura 3.1.

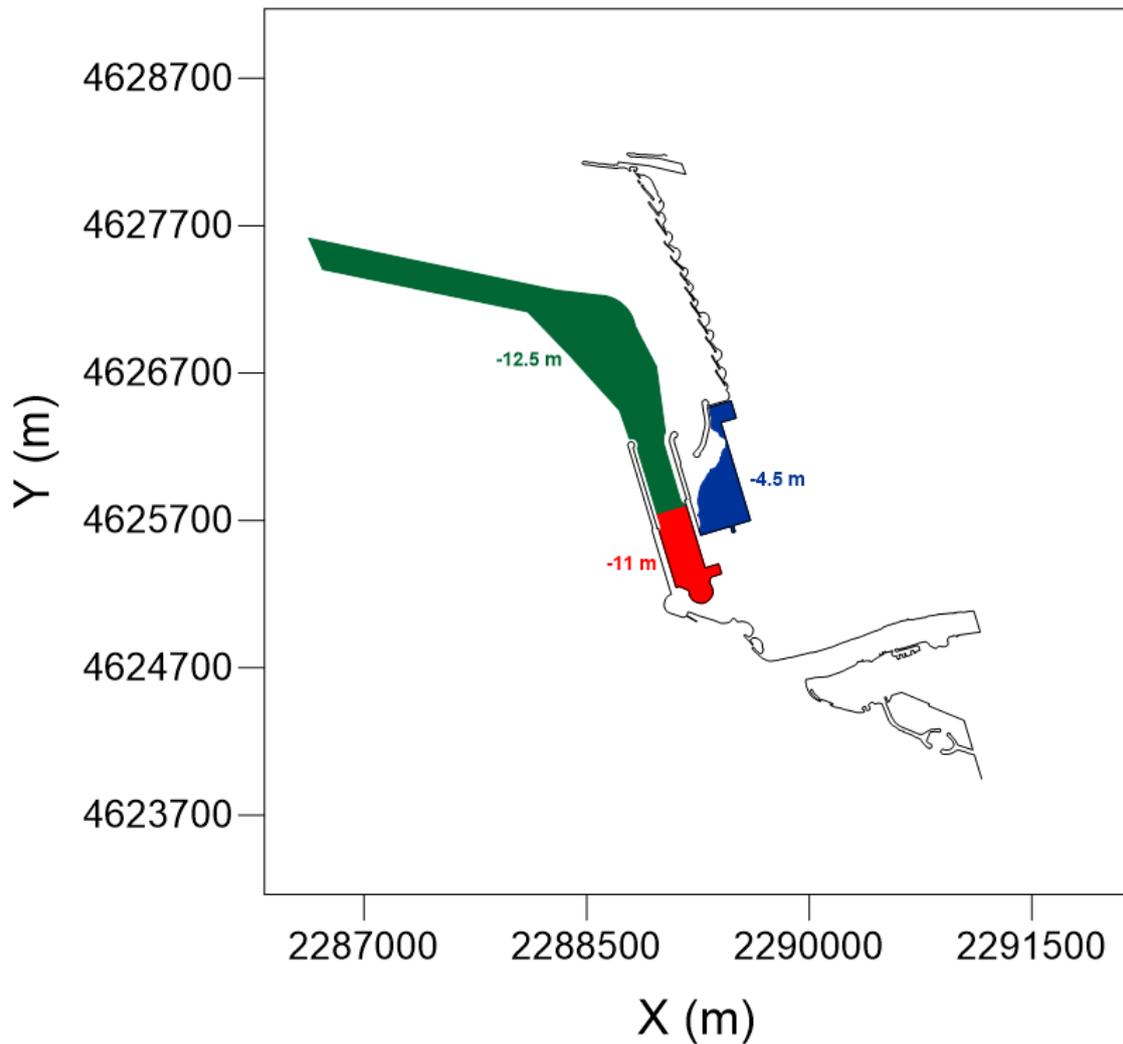


Figura 3.1: Layout di Progetto e Dragaggi

## 4 MODELLO IDRODINAMICO

Lo studio della circolazione delle acque all'interno del Porto Turistico di Fiumicino e la conseguente verifica della qualità, sono stati condotti tramite il modello numerico Mike 21/3 Flow Model FM, costituito da diversi moduli di calcolo. In particolare, le simulazioni sono state svolte con i seguenti moduli (Appendice A):

- ✓ Modulo Idrodinamico (HD);
- ✓ Modulo di Avvezione e Dispersione o di Trasporto (AD o TR).

Il modulo idrodinamico, basato sulla risoluzione numerica delle equazioni bidimensionali per le acque basse, costituisce la base computazionale dell'intero modello numerico Mike 21 FM e di tutti suoi moduli. Il modulo consiste quindi nelle equazioni di continuità, del moto, di temperatura, salinità e densità. Il modulo di trasporto, basato sui risultati del primo, permette la valutazione della qualità delle acque tramite l'utilizzo di un tracciante.

Nei paragrafi seguenti si descrivono le impostazioni utilizzate sia in relazione alla definizione delle condizioni climatiche considerate sia alle impostazioni del modello in termini di definizione del dominio di simulazione che di settaggio dei parametri idraulici di riferimento.

### 4.1 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE

Per la definizione delle condizioni climatiche da prendere in considerazione nelle simulazioni del campo idrodinamico si è fatto riferimento allo Studio meteomarinario [1].

Nello specifico, per quanto riguarda il vento è stata analizzata la serie temporale disponibile per capire quali fossero le condizioni più opportune da considerare. È stato in seguito scelto di utilizzare la serie temporale di vento relativa ai mesi di giugno e marzo dell'anno 2020, in quanto sono risultati essere tra i più energetici (nelle rispettive stagioni) dell'intera serie temporale e caratterizzati da completezza delle misure di vento e livello idrometrico.

In riferimento al livello idrometrico sono state considerate le serie temporali della stazione di misura di Anzio [1] contemporanee al vento sopramenzionato. Si noti che l'oscillazione del livello del mare in questo caso è comprensiva dell'effetto della marea astronomica, dell'azione del vento e delle condizioni bariche.

L'andamento del vento considerato è riportato in Figura 4.1 e Figura 4.2, mentre il livello è rappresentato in Figura 4.3 e Figura 4.4, rispettivamente per i mesi di giugno e marzo.

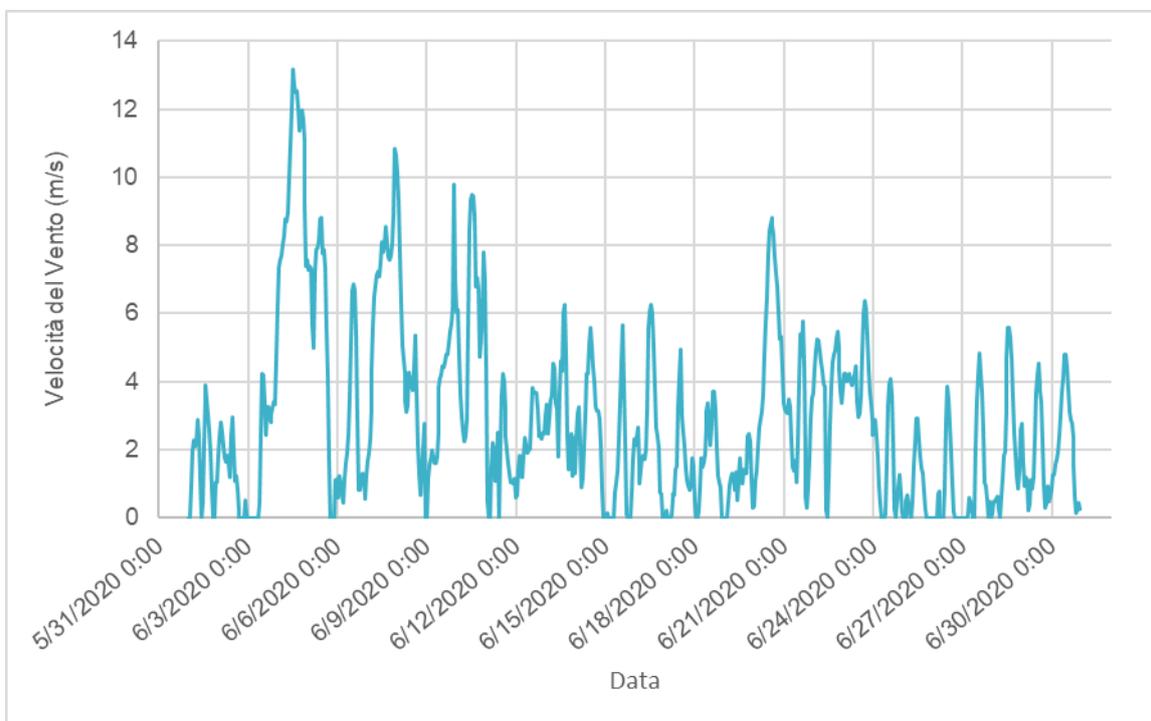
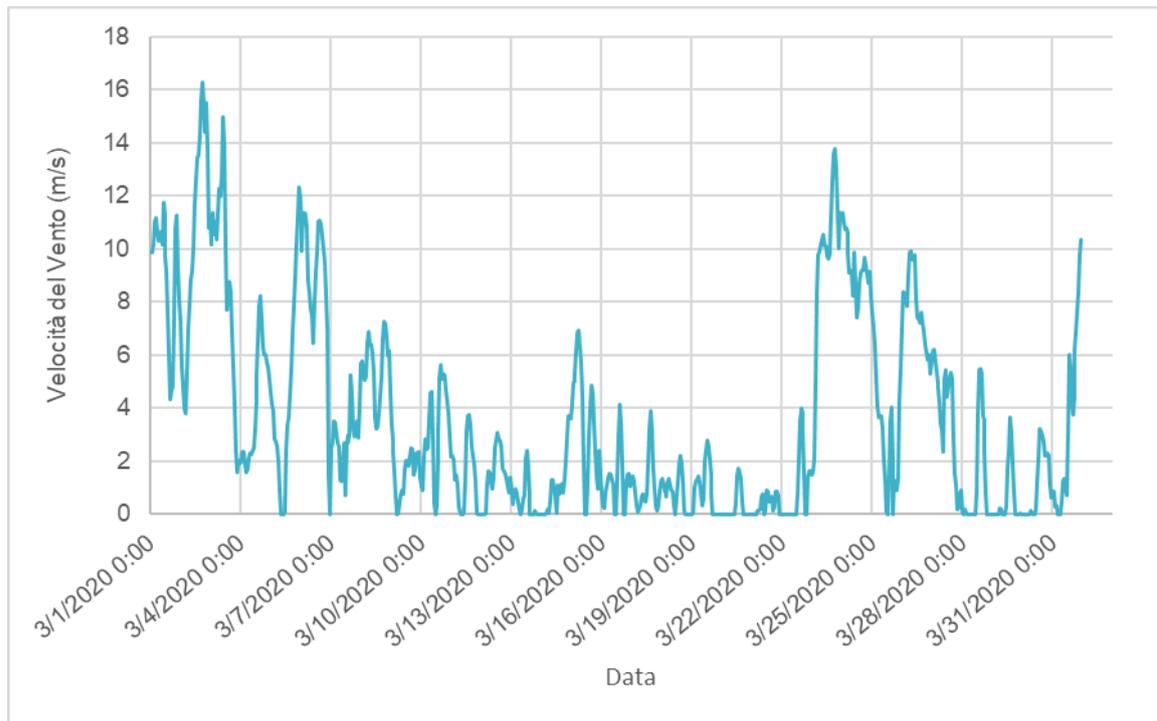
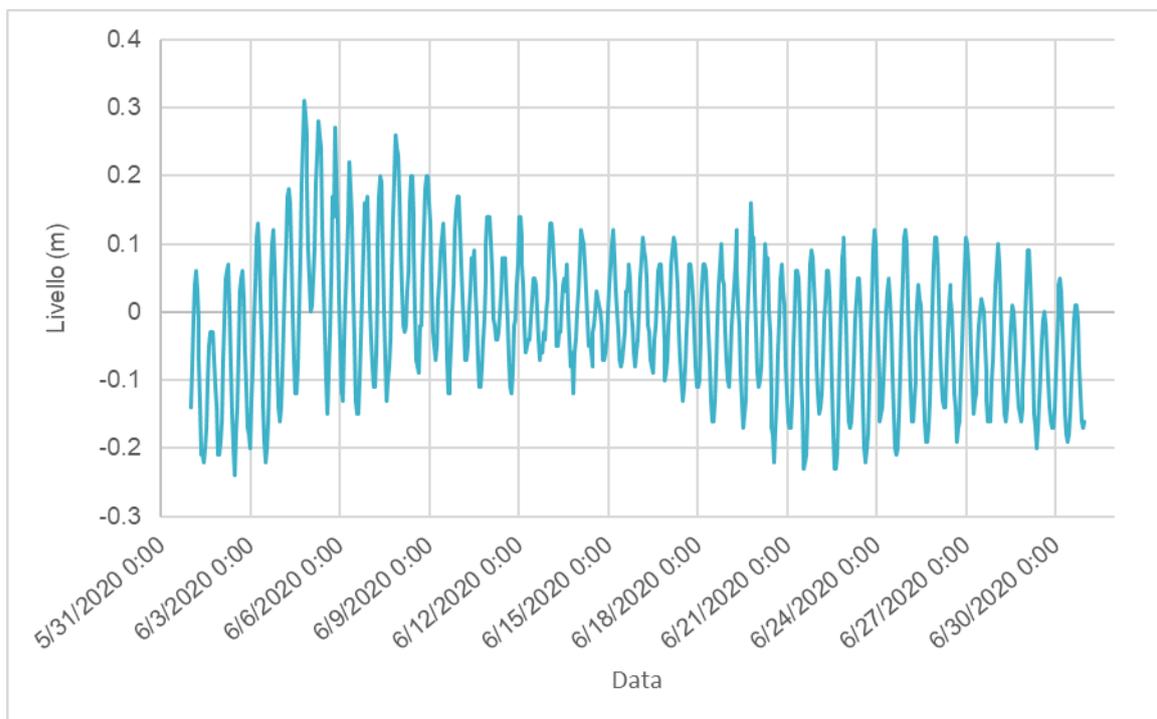


Figura 4.1: Andamento della Velocità del Vento nel Mese di Giugno 2020



**Figura 4.2: Andamento della Velocità del Vento nel Mese di Marzo 2020**



**Figura 4.3: Andamento del Livello Idrometrico nel Mese di Giugno 2020**

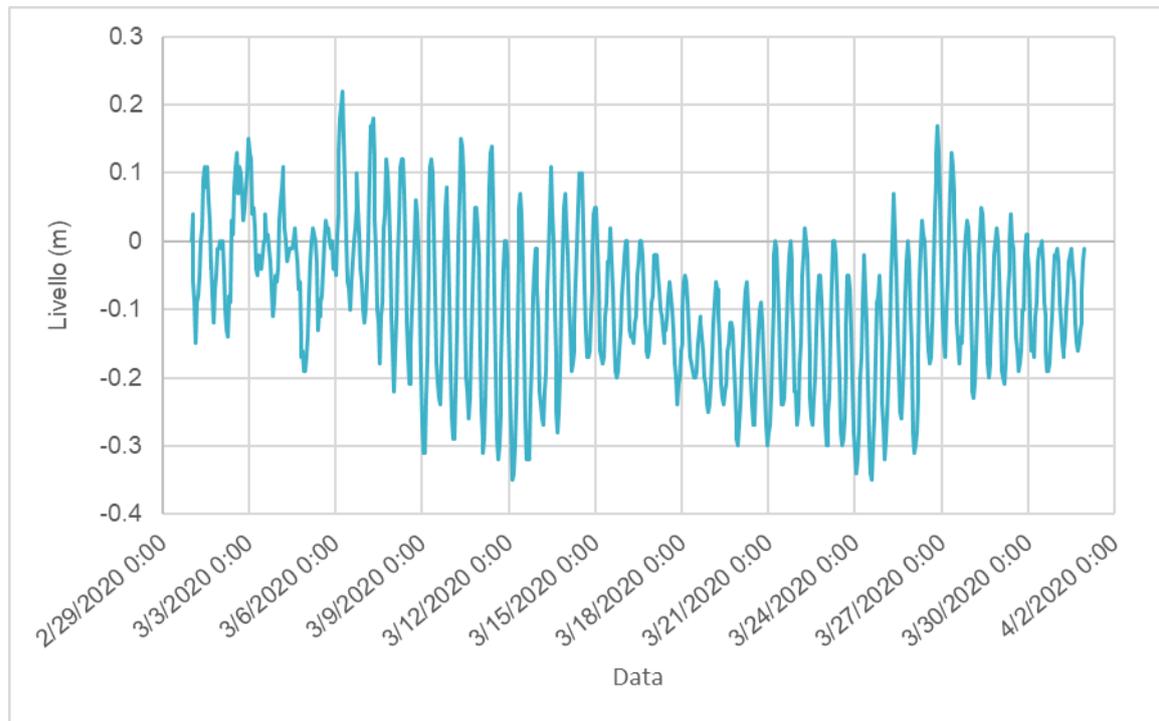


Figura 4.4: Andamento del Livello Idrometrico nel Mese di Marzo 2020

## 4.2 DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

Per la definizione del dominio di calcolo è stata considerata una mesh a maglie triangolari a passo variabile. Al fine di ottimizzare i tempi di calcolo, infatti, il dominio è stato diviso in due sotto aree caratterizzate da diverse risoluzioni spaziali:

- ✓ Area costiera comprendente il bacino portuale e gli immediati dintorni, avente una risoluzione di 50 m;
- ✓ Area di largo, caratterizzata da una risoluzione di 150 m.

In Figura 4.5 è riportata la maglia di calcolo con indicazione dei codici identificativi, 1 è il codice che indica la terra ("land boundary"), 2 è il codice relativo al bordo di largo ("open boundary"). La Figura 4.6 invece mostra la batimetria considerata dal modello che tiene conto del layout portuale di progetto e dei dragaggi previsti.

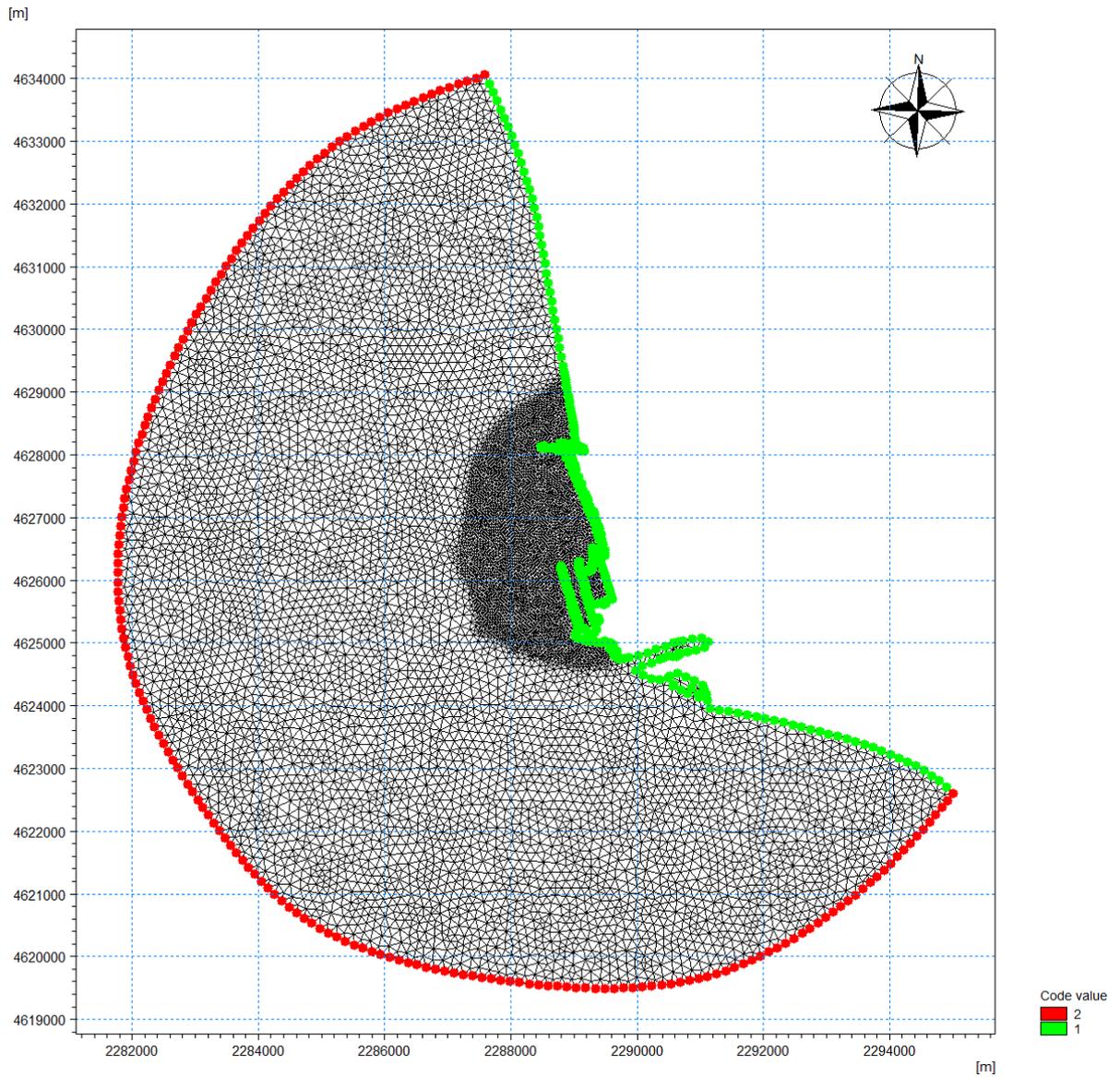


Figura 4.5: Dominio e Maglie di Calcolo

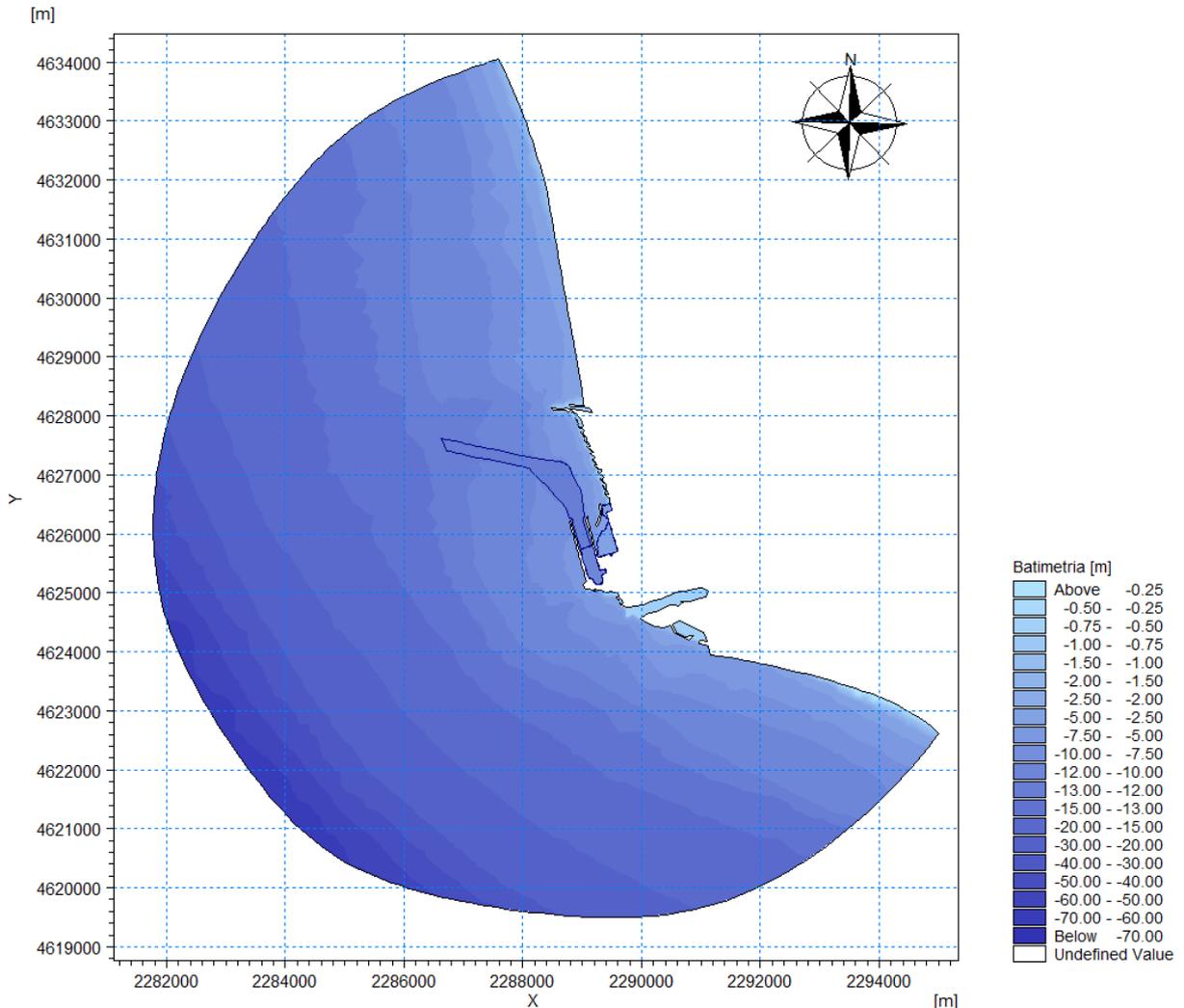


Figura 4.6: Batimetria del Dominio di Calcolo

### 4.3 FORZANTE DEL MODELLO

Come precedentemente accennato nel paragrafo 4.1, il presente modello idrodinamico è forzato in input da una serie temporale di vento, relativa ai periodi di riferimento 01/03/2020 - 31/03/2020 e 01/06/2020 - 30/06/2020, di dati di vento caratterizzati da intensità e direzione di provenienza, costante nello spazio dell'intero dominio di calcolo. Al fine di simulare una condizione sfavorevole per il ricambio idrico all'interno del bacino portuale, le simulazioni non contemplano la presenza di moto ondoso.

### 4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno del modello idrodinamico sono costituite da serie temporali, relative ai periodi suddetti, dei livelli idrometrici rappresentativi delle condizioni di marea (par. 4.1), costanti lungo tutto il contorno circolare del dominio di calcolo. Mike 21 FM corregge automaticamente i livelli in base ai valori di vento in input.

### 4.5 ANALISI DEI RISULTATI

Si riportano di seguito le descrizioni dei risultati del modello idrodinamico per le Condizioni Climatiche 1 e 2, in termini di campo idrodinamico nell'intero dominio di calcolo e nella zona interessata dal bacino portuale.

### 4.5.1 Mese di Giugno

In generale le intensità di corrente generate dal campo di vento e dal livello idrometrico caratterizzante il mese di giugno (Figura 4.7) si presentano dell'ordine dei cm/s. In Figura 4.7 si nota che le correnti più elevate vengono a formarsi nella zona circostante il molo esterno della configurazione di progetto del porto e sono caratterizzate da circa 0.03 m/s ad ovest del bacino e 0.01 m/s nei pressi dell'imboccatura portuale. All'interno del porto invece i valori di velocità di corrente sono inferiori di circa un ordine di grandezza (Figura 4.8).

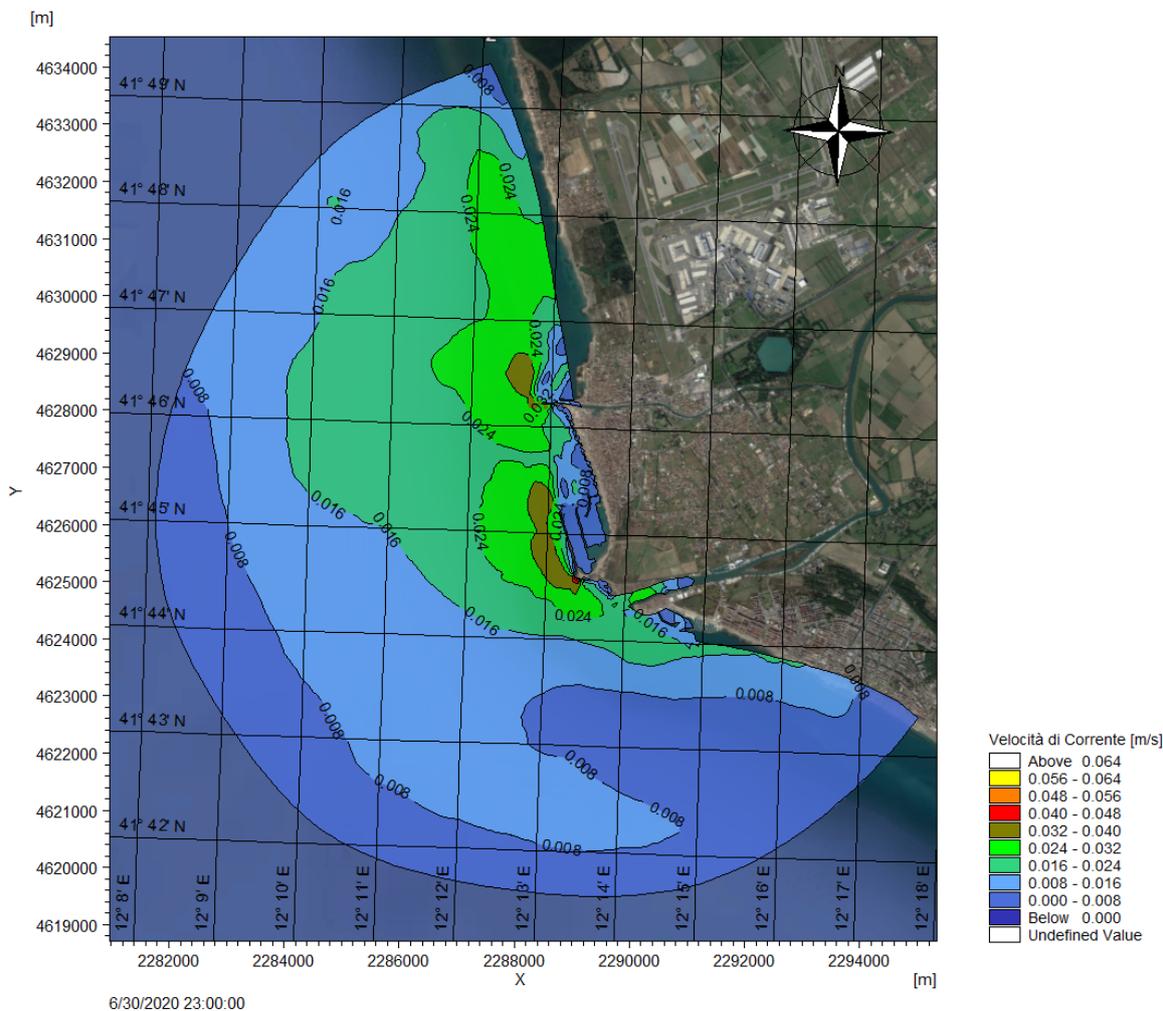


Figura 4.7: Circolazione della Corrente nel Dominio di Calcolo

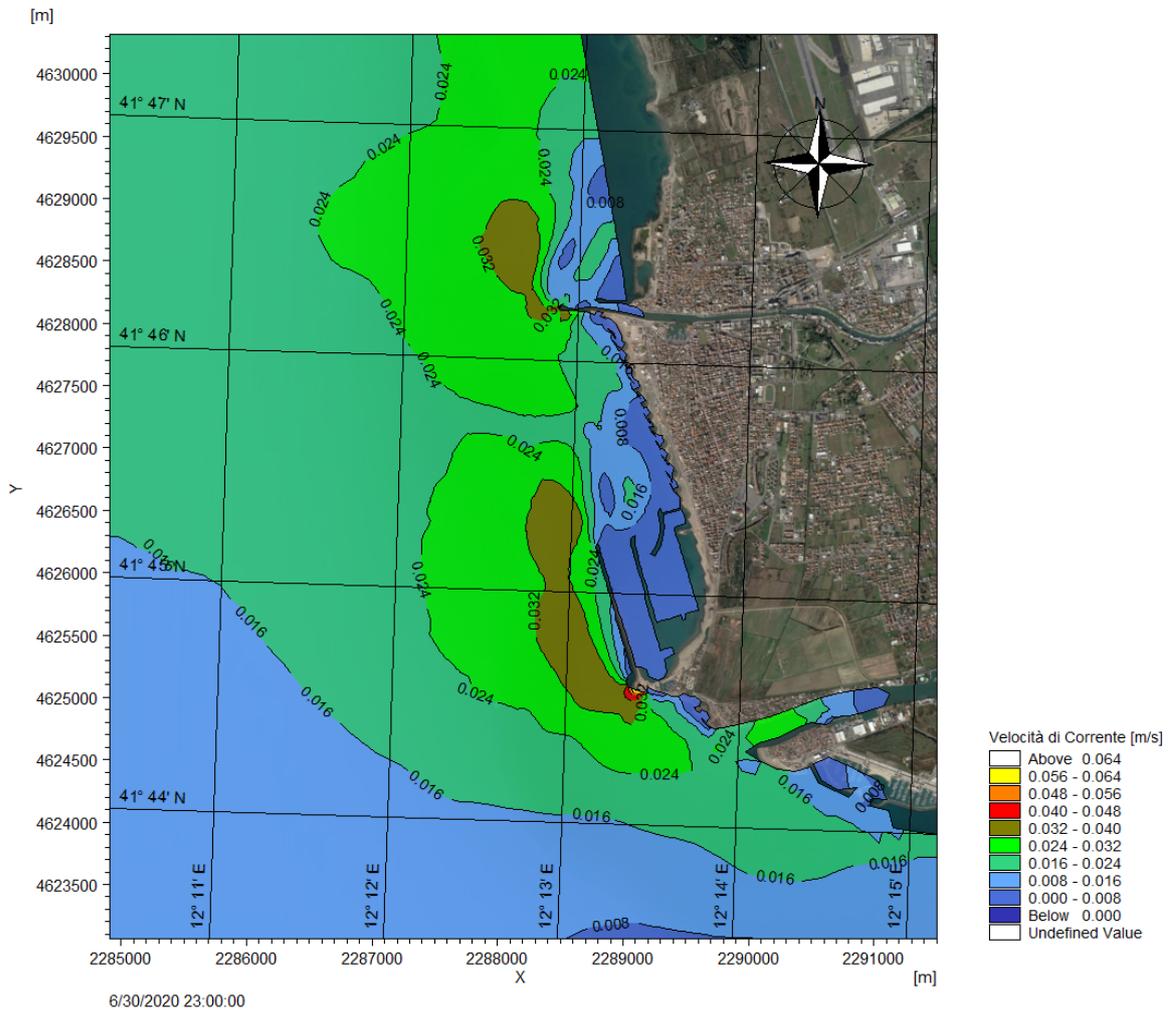
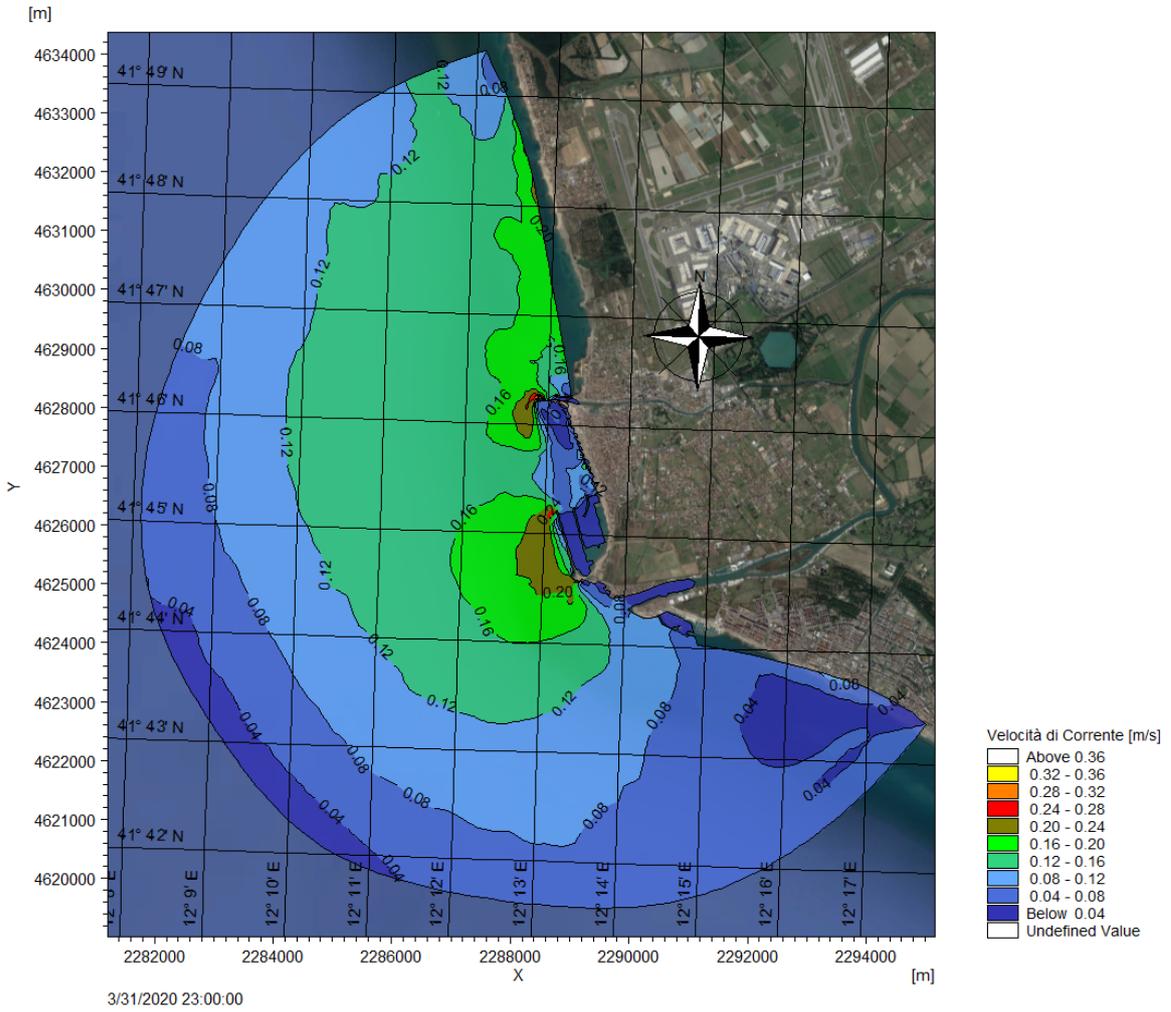


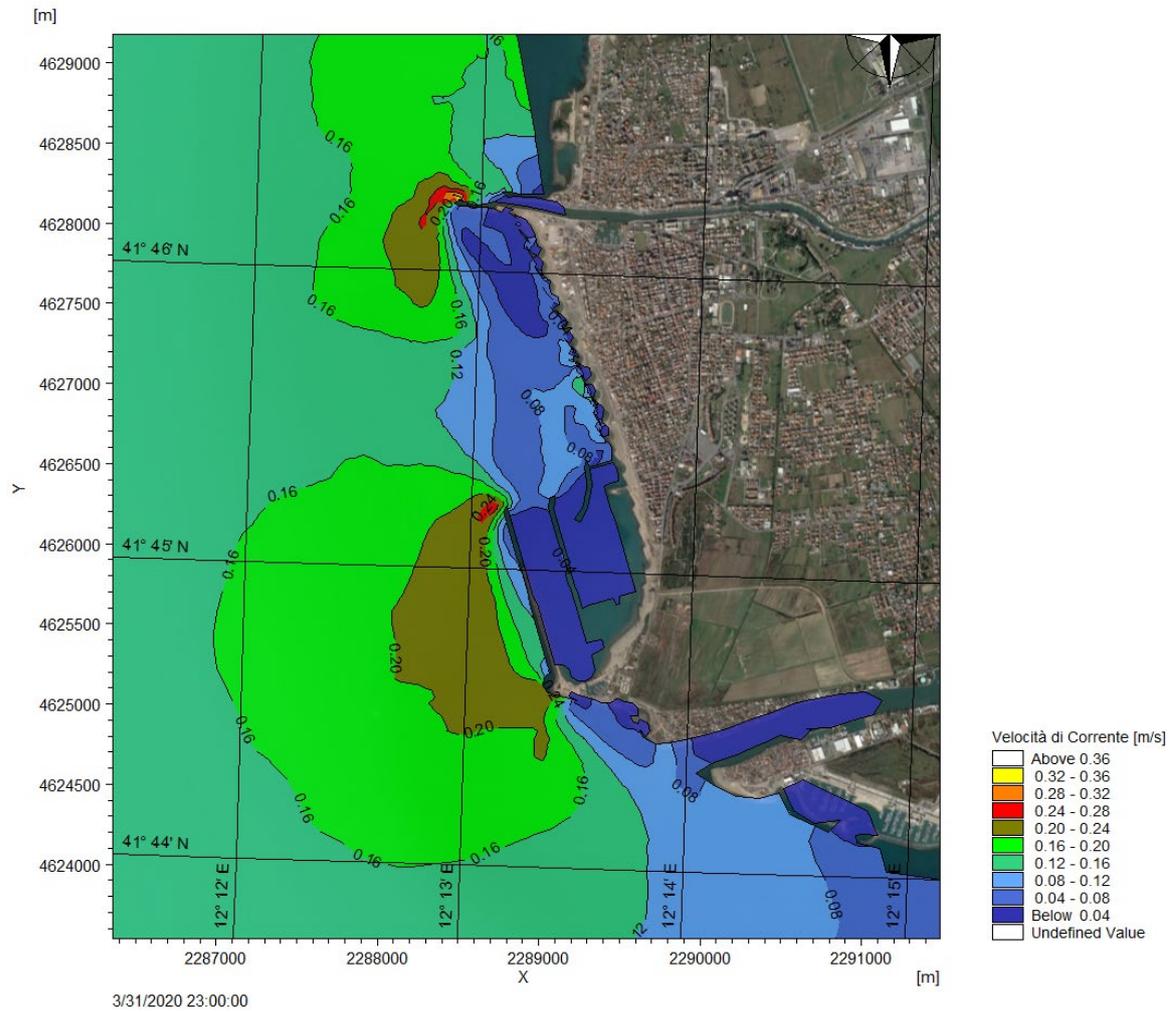
Figura 4.8: Circolazione della Corrente nel Bacino Portuale

#### 4.5.2 Mese di Marzo

Nel caso della corrente generata dal campo di vento e dalla variazione del livello del mare durante il mese di marzo, l'intensità di corrente risulta leggermente più elevata rispetto a quella ottenuta per il mese di giugno. Dalla Figura 4.9 infatti si evince che nell'area circostante il porto, ad ovest del bacino, le velocità di corrente arrivano anche a circa 0.25 m/s. La zona prospiciente l'imboccatura portuale è caratterizzata in generale da intensità di corrente dell'ordine dei cm/s che raggiungono valori di circa 0.1 m/s in corrispondenza delle testate dei moli. All'interno del porto invece si ha una condizione analoga a quella del mese di giugno (Figura 4.10).



**Figura 4.9: Circolazione della Corrente nel Dominio di Calcolo**



**Figura 4.10: Circolazione della Corrente nel Bacino Portuale**

## 5 QUALITÀ DELLE ACQUE

Per la verifica della qualità delle acque all'interno del bacino portuale è stato utilizzato il modulo "Transport", incluso in Mike 21/3 Flow Model FM. Questo modulo calcola il trasporto di materiale, basandosi sulle condizioni di circolazione del modello idrodinamico. In questo caso il materiale trasportato è identificato come generico tracciante.

Lo studio è stato effettuato considerando il trasporto del tracciante per sola avvezione, ovvero lo spostamento è dovuto soltanto alla velocità media della corrente. Sono stati esclusi il trasporto per dispersione, dovuto a gradiente di concentrazione, ed il processo di decadimento dipendente esclusivamente dal tempo.

Il campo di velocità di una corrente è fortemente influenzato dall'azione del vento sulla superficie libera; una variazione del campo di vento può ragionevolmente comportare una variabilità dei tempi di ricambio idrico all'interno del mese di riferimento.

Si riportano di seguito gli scenari simulati:

- ✓ Scenario 1, presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di giugno;
- ✓ Scenario 2, presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di marzo;
- ✓ Scenario 3, presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di giugno;
- ✓ Scenario 4, presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di marzo.

Per ogni scenario sono state effettuate pertanto quindici simulazioni della durata di quindici giorni, inizializzate nei primi quindici giorni consecutivi del mese, per un totale di 60 simulazioni. Di seguito è riportato uno schema di esempio delle simulazioni effettuate (Tabella 5.1)

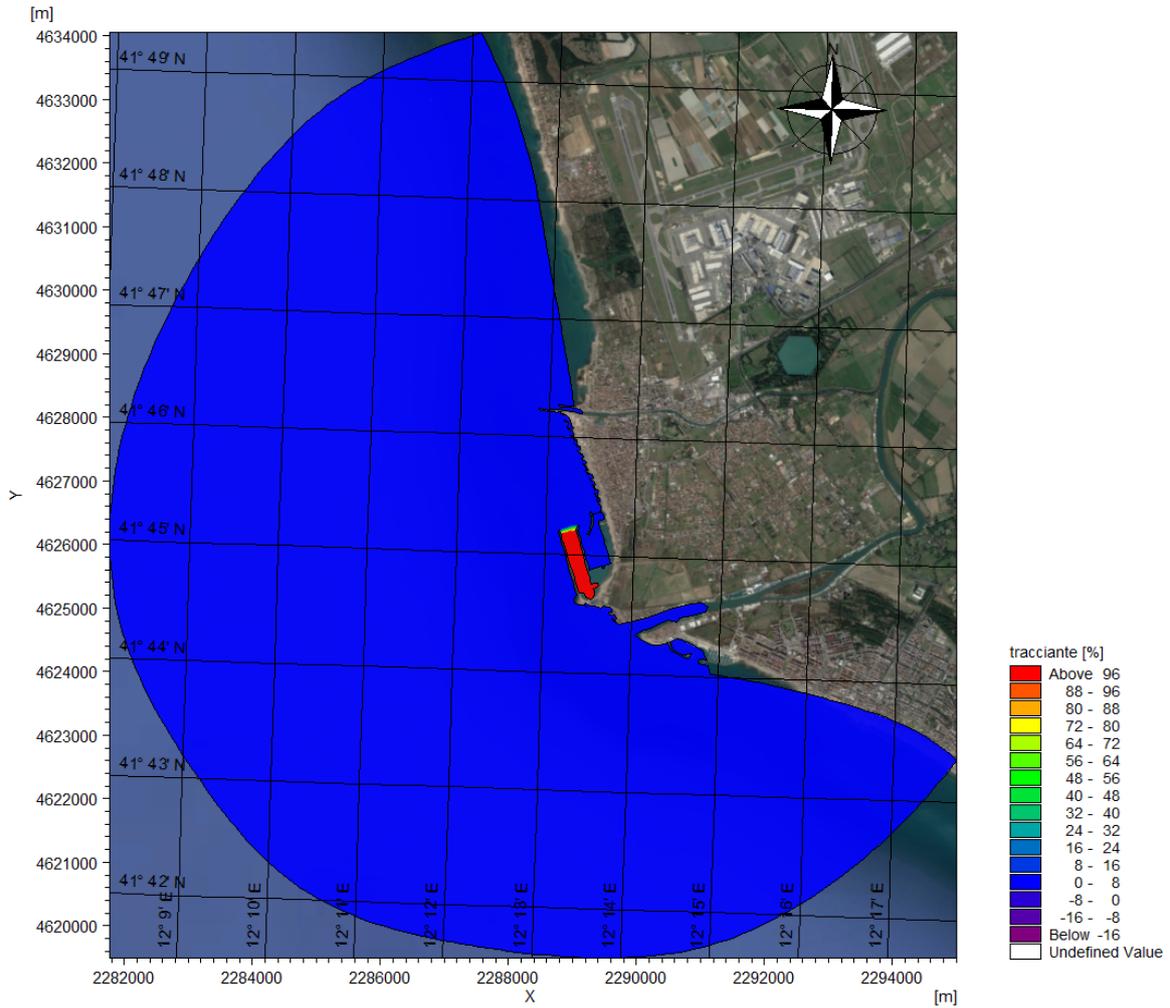
**Tabella 5.1: Schema delle Simulazioni Effettuate per la Verifica della Qualità delle Acque**

ID Run	Giorni del Mese																																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29											
1	█																																							
2		█																																						
3			█																																					
4				█																																				
5					█																																			
6						█																																		
7							█																																	
8								█																																
9									█																															
10										█																														
11											█																													
12												█																												
13													█																											
14														█																										
15															█																									

### 5.1 CONDIZIONI INIZIALI

Per ogni simulazione svolta è stata posta una condizione iniziale sulla presenza di tracciante all'interno dell'area di calcolo distinguendo i due scenari come segue:

- ✓ Condizione Iniziale 1, all'istante zero l'interno l'area adibita a ormeggio yacht e terminal crociere (in rosso) è caratterizzata da una percentuale di tracciante pari al 100%, mentre la restante porzione di dominio (in blu) presenta lo 0% di materiale;
- ✓ Condizione Iniziale 2, all'istante zero l'interno l'area prevista per il diporto (in rosso) è caratterizzata da una percentuale di tracciante pari al 100%, mentre la restante porzione di dominio (in blu) presenta lo 0% di materiale.



**Figura 5.1: Condizione Iniziale 1**

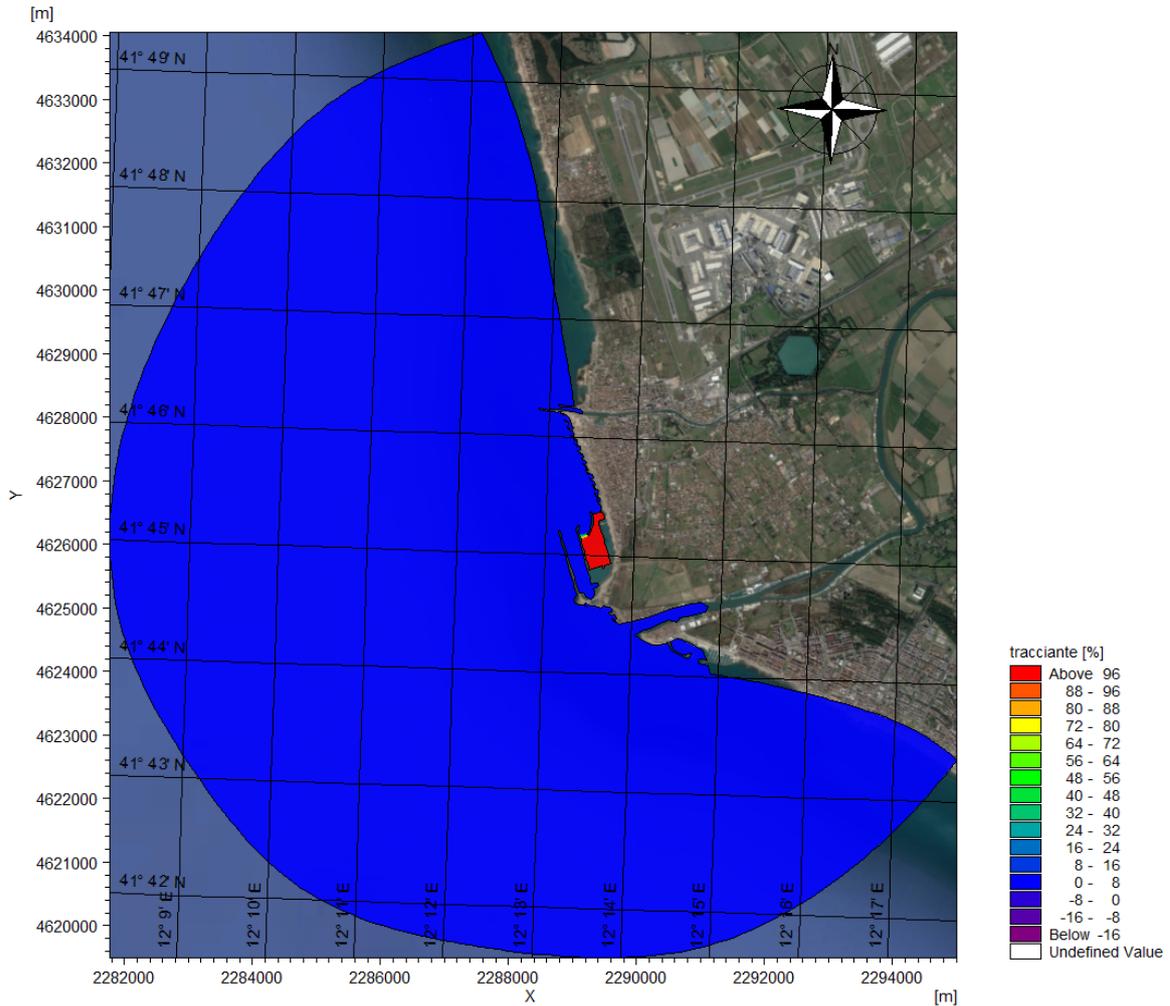


Figura 5.2: Condizione Iniziale 2

## 5.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

Per ognuna delle simulazioni è stata posta una condizione al contorno di largo relativa alla presenza di traccianti. Si ipotizza l'assenza di gradiente di percentuale di traccianti tra il dominio di calcolo (area portuale) e l'esterno dell'area, ovvero la percentuale di materiale è pari a zero all'interno e all'esterno del contorno del dominio da entrambi i lati del contorno.

## 5.3 AREE DI INTERESSE

L'evoluzione della quantità di traccianti all'interno del dominio di calcolo è stata analizzata ed è presentata nel par. 5.4 relativamente a cinque aree distinte (Figura 5.3):

- ✓ Area Crociere, comprendente l'intera porzione di porto interessata dal terminal crociere e dai posti barca previsti per l'ormeggio degli yacht;
- ✓ Area Crociere Interna, coincidente approssimativamente con l'area per cui è previsto un fondale di -11 m;
- ✓ Area Crociere Esterna, ovvero la restante parte dell'Area Crociere, caratterizzata da una profondità di -12.5m;
- ✓ Area Diporto, coincidente comprendente l'intera area riservata alla diportistica;
- ✓ Area Diporto Nord, coincidente con la porzione nord-est più protetta dell'area diporto.

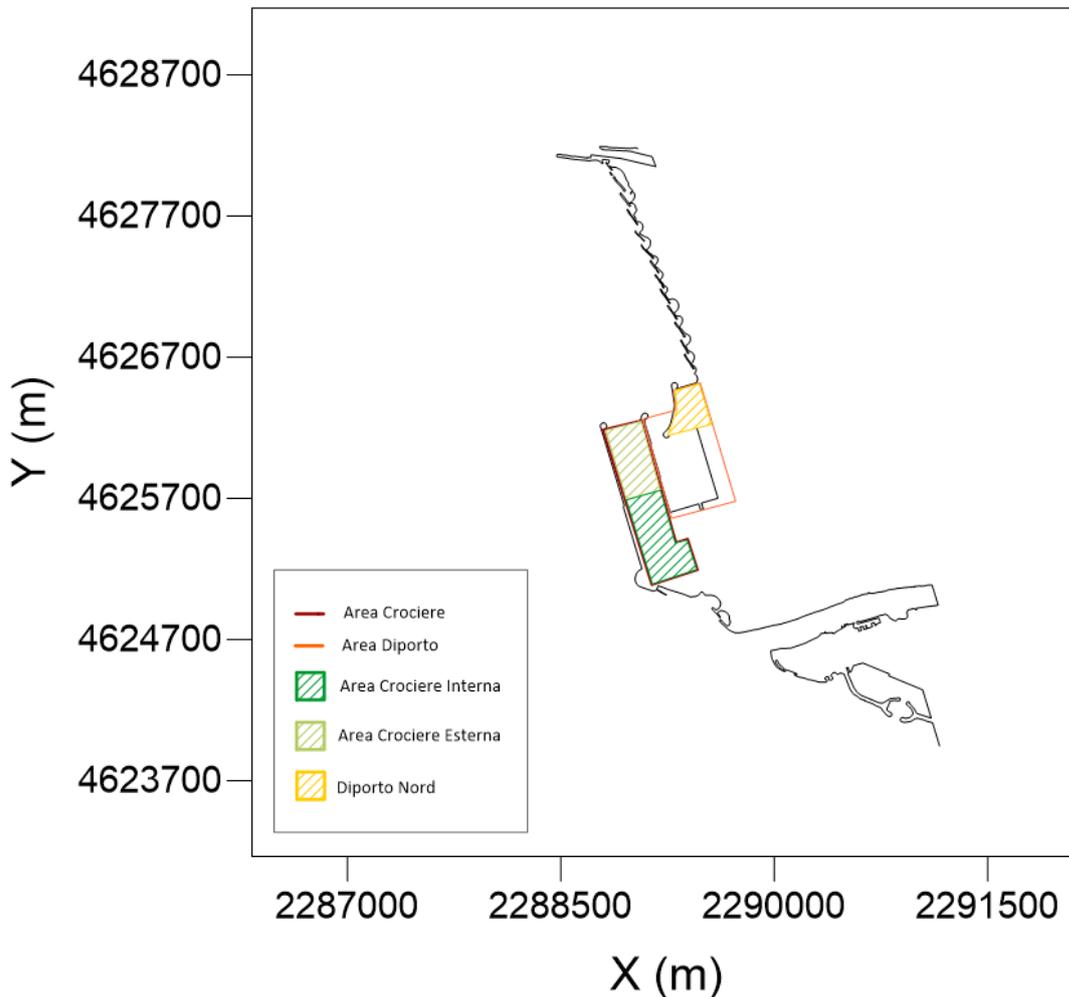


Figura 5.3: Aree di Interesse

## 5.4 ANALISI DEI RISULTATI

Di seguito sono riportati i risultati del modello di trasporto richiesti per la verifica della qualità delle acque, quindi per la stima dei tempi di ricambio idrico. Per ciascuna delle simulazioni sono stati ottenuti due diversi tipi di output:

- ✓ Evoluzione temporale della quantità di tracciante all'interno dell'intero dominio di calcolo in formato grafico, al fine di capire come la percentuale di materiale evolve nello spazio e nel tempo a causa delle correnti;
- ✓ "Mass Budget" per ciascuna delle quattro aree di analisi (Figura 5.3), ovvero le curve di percentuale di tracciante nel tempo relative all'area di interesse, per la stima dei tempi di ricambio idrico del bacino portuale.

### 5.4.1 Scenario 1

Si ricorda che questo scenario è relativo alla presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di giugno.

A titolo di esempio, di seguito in Figura 5.4, Figura 5.5, Figura 5.6 e Figura 5.7, si riportano gli output grafici del modello, relativi alla Simulazione n. 1 dello Scenario 1, in termini di evoluzione temporale del tracciante sull'intero dominio di calcolo, corrispondenti alla condizione del tracciante rispettivamente dopo 1, 5, 10 e 15 giorni dalla condizione iniziale.

Si riportano di seguito le curve di evoluzione del tracciante nel tempo. In Figura 5.8, Figura 5.9 e Figura 5.10 sono mostrate le curve di abbattimento della percentuale di tracciante nel tempo nelle aree interessate dalla presenza

del tracciante stesso alla condizione iniziale. Considerando la totalità dell'Area Crociere, al termine dei 15 giorni delle simulazioni, è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 36% e il 46%, il tracciante quindi (dato il 100% nell'istante iniziale) si è abbattuto in media del 60% circa. Considerando le due aree Interna ed Esterna si nota che nell'Area Crociere Esterna il tracciante riesce ad abbattersi anche del 90% in 15 giorni (Figura 5.9), mentre nell'Area Crociere Interna, come atteso, la situazione sembra essere più critica ed il massimo abbattimento che si ottiene al termine dei 15 giorni è circa pari al 55% (Figura 5.10). Considerando la media dei risultati delle 15 simulazioni svolte, si evince che in media nell'area più esterna si ottiene un buon valore di abbattimento, l'80% circa in due settimane, mentre nell'area più interna la quantità di tracciante si abbatte in media del 40%. Di conseguenza, in riferimento all'intera Area Crociere, il tracciante riesce ad abbattersi mediamente del 60% in 15 giorni (Figura 5.11 e Figura 5.12). Nel corso delle simulazioni, in base all'idrodinamica del mese di giugno, il tracciante riesce a penetrare seppur in minima parte nell'area adibita all'ormeggio delle imbarcazioni da diporto. In Figura 5.13 infatti si vede come in quest'area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, ci sia in media un aumento del 2.5% circa nella prima settimana (180 ore) e poi un leggero calo della percentuale di tracciante nel resto del tempo di simulazione. L'area Diporto Nord infine è interessata da un valore medio di tracciante di circa 0.2% (Figura 5.14)

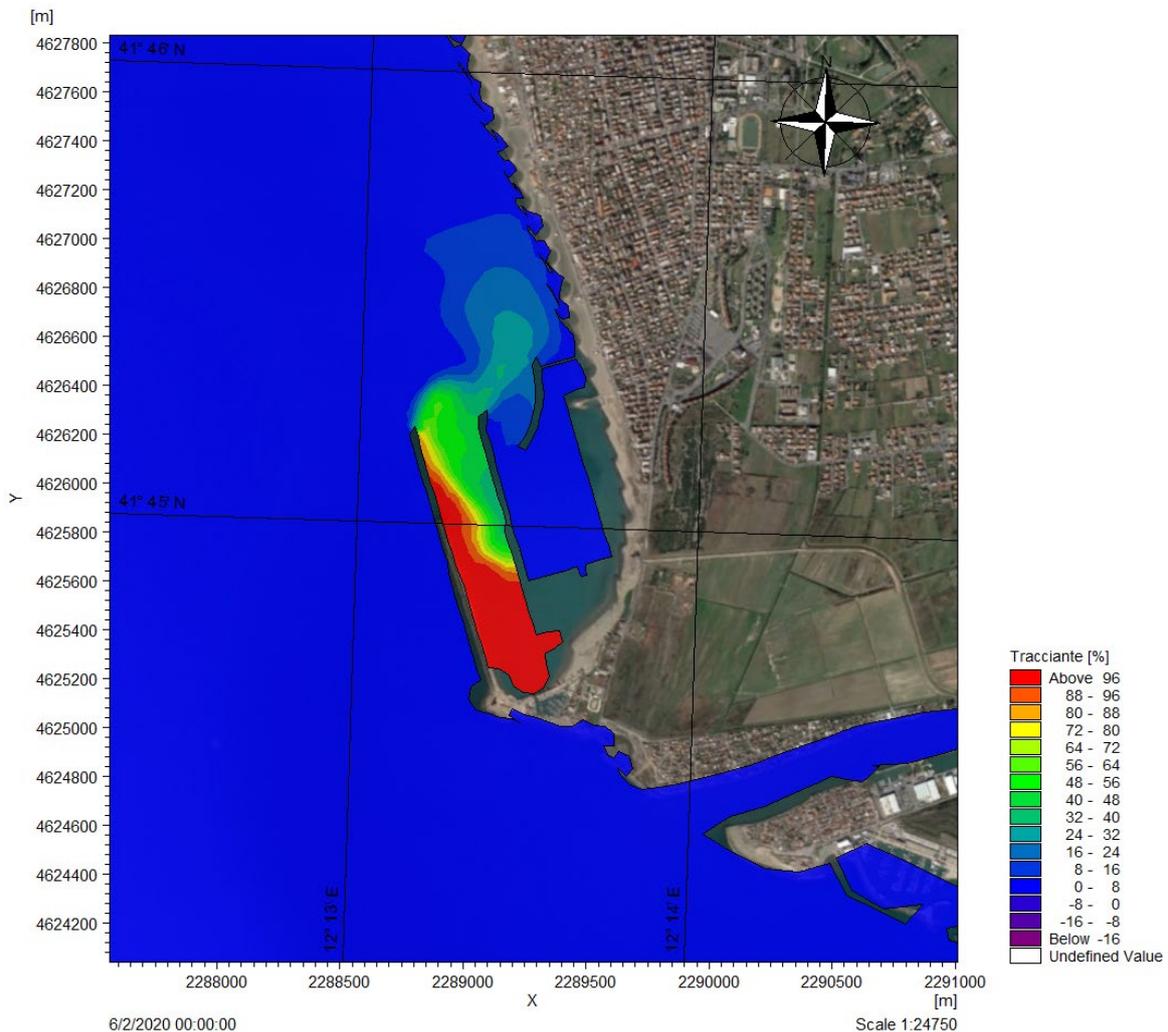
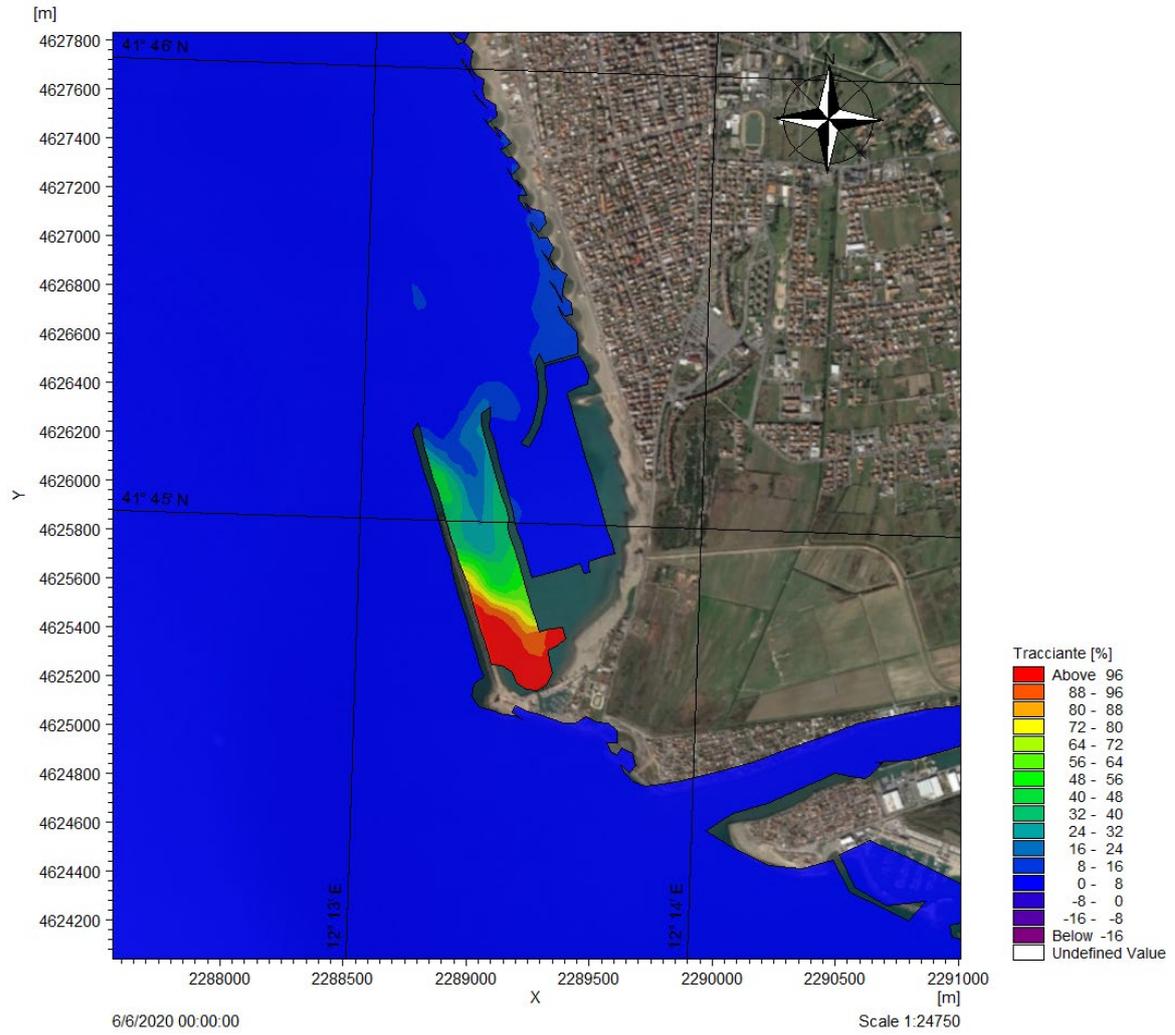
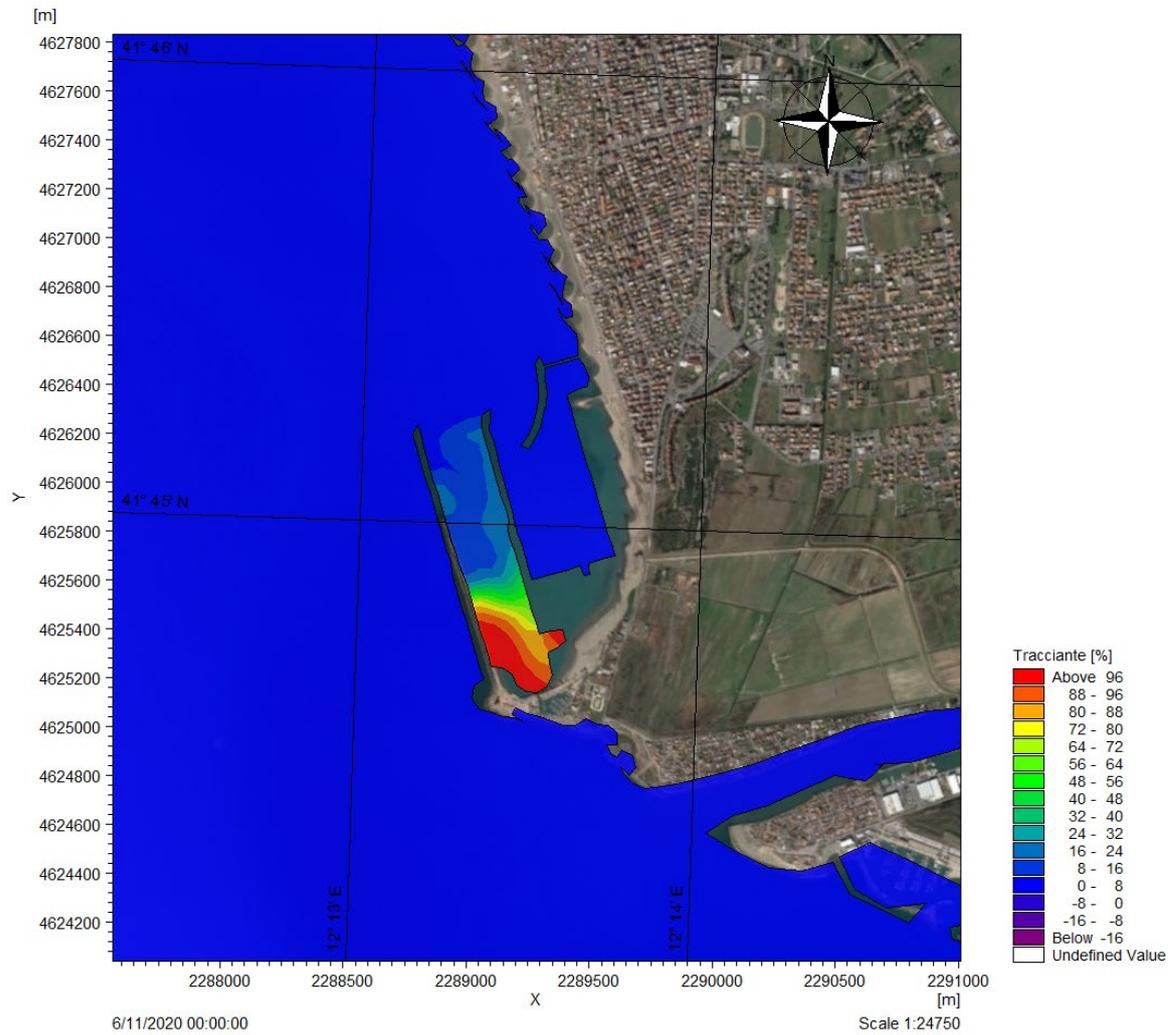


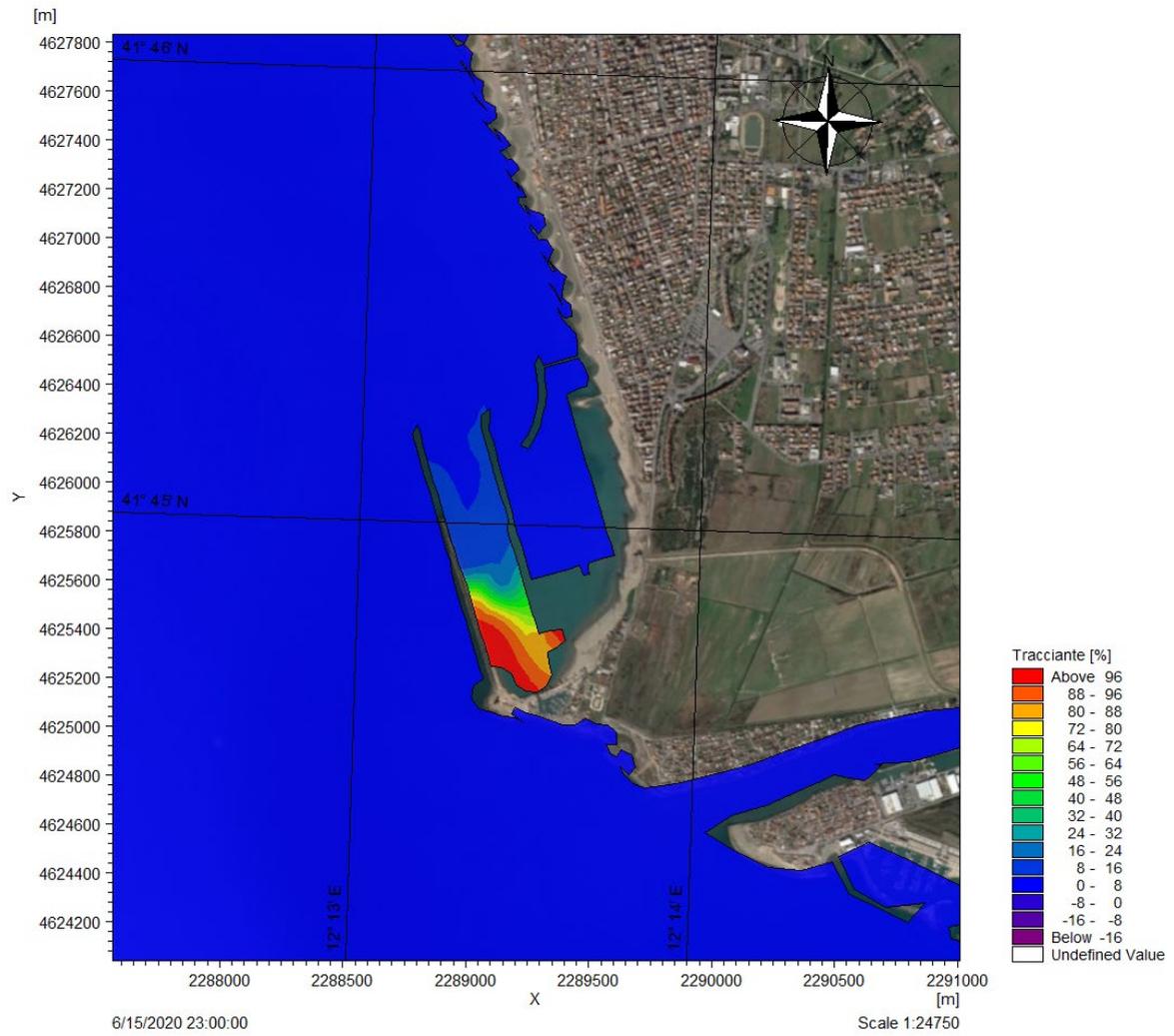
Figura 5.4: Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno



**Figura 5.5: Evoluzione del Tracciate dopo 5 Giorni**



**Figura 5.6: Evoluzione del Tracciate dopo 10 Giorni**



**Figura 5.7: Evoluzione del Tracciate al Termine dei 15 Giorni**

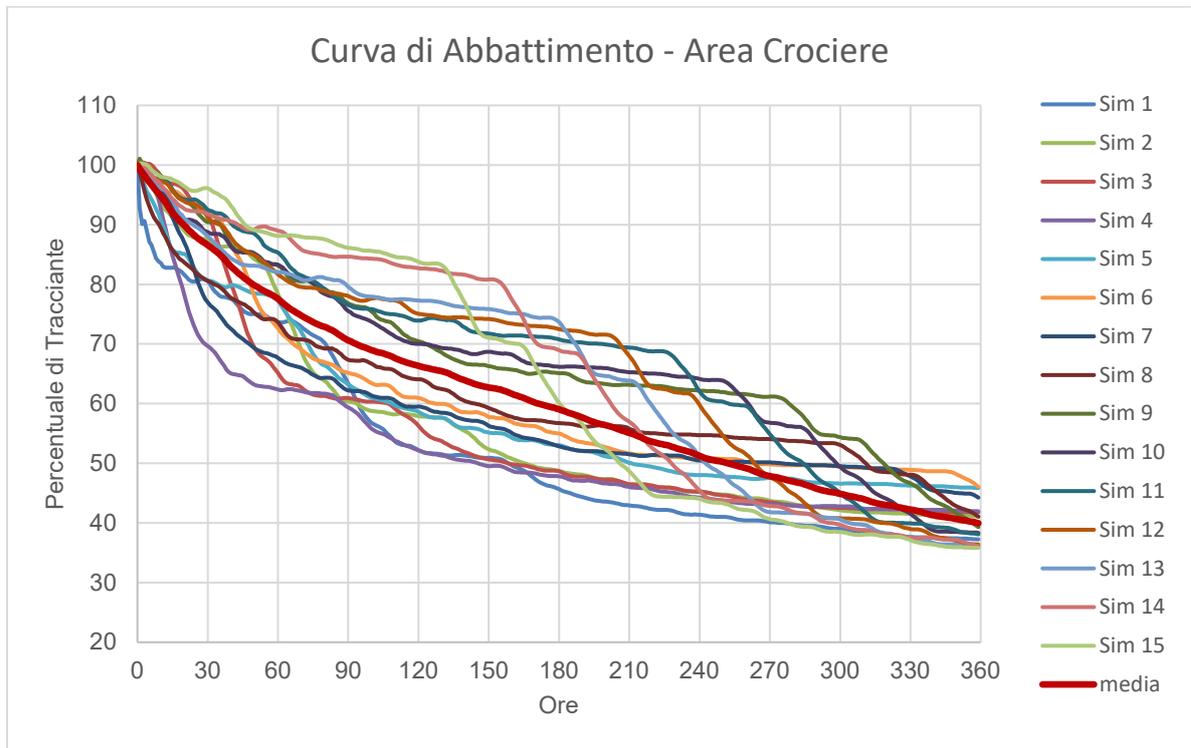


Figura 5.8: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere

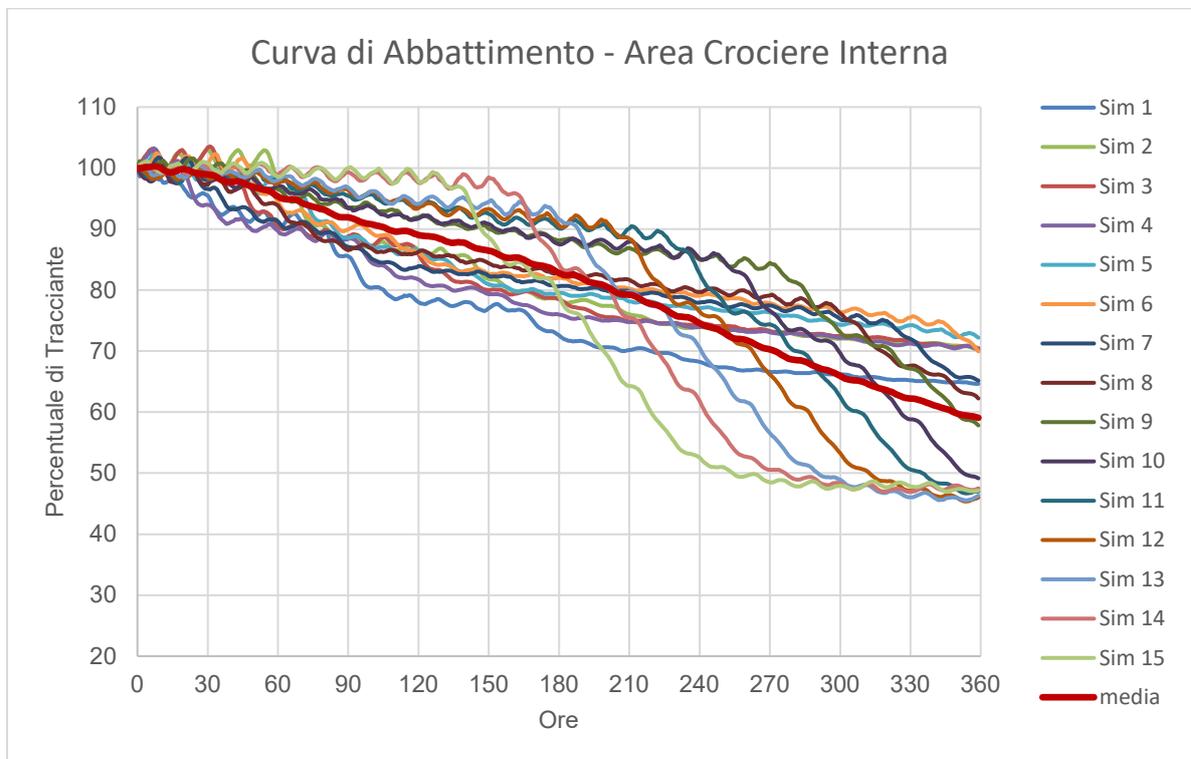


Figura 5.9: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna

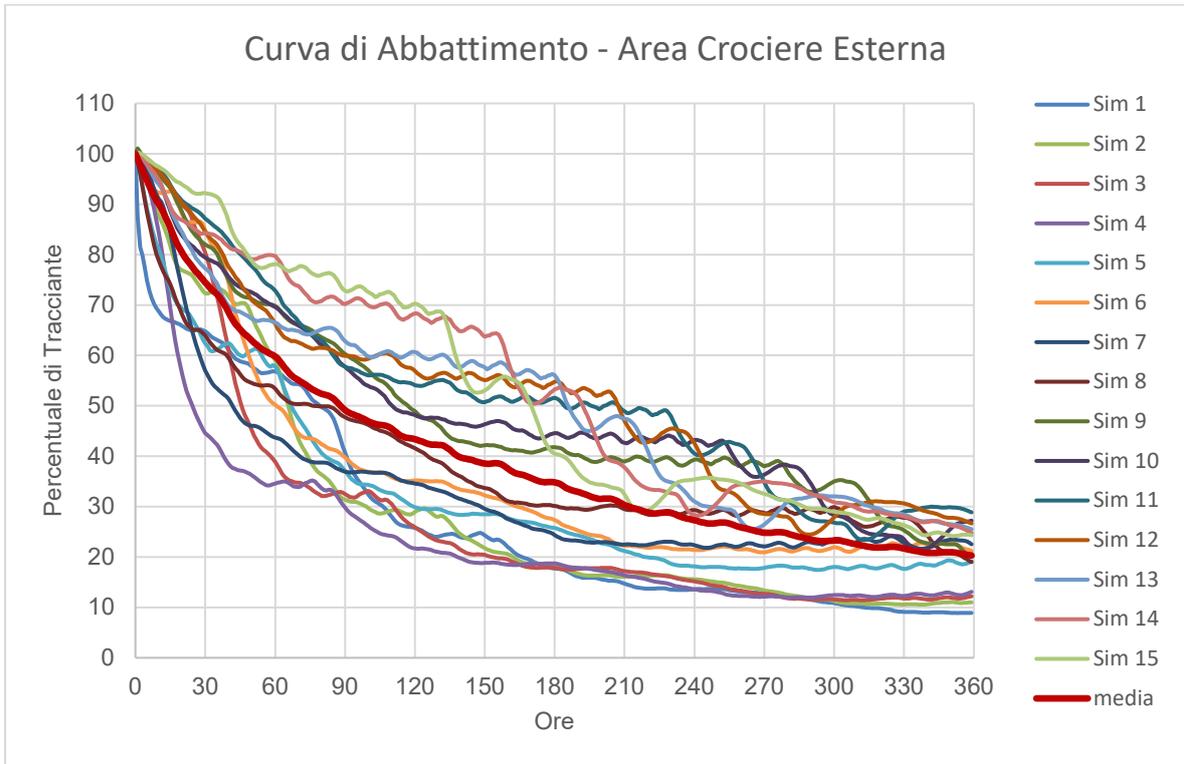


Figura 5.10: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna

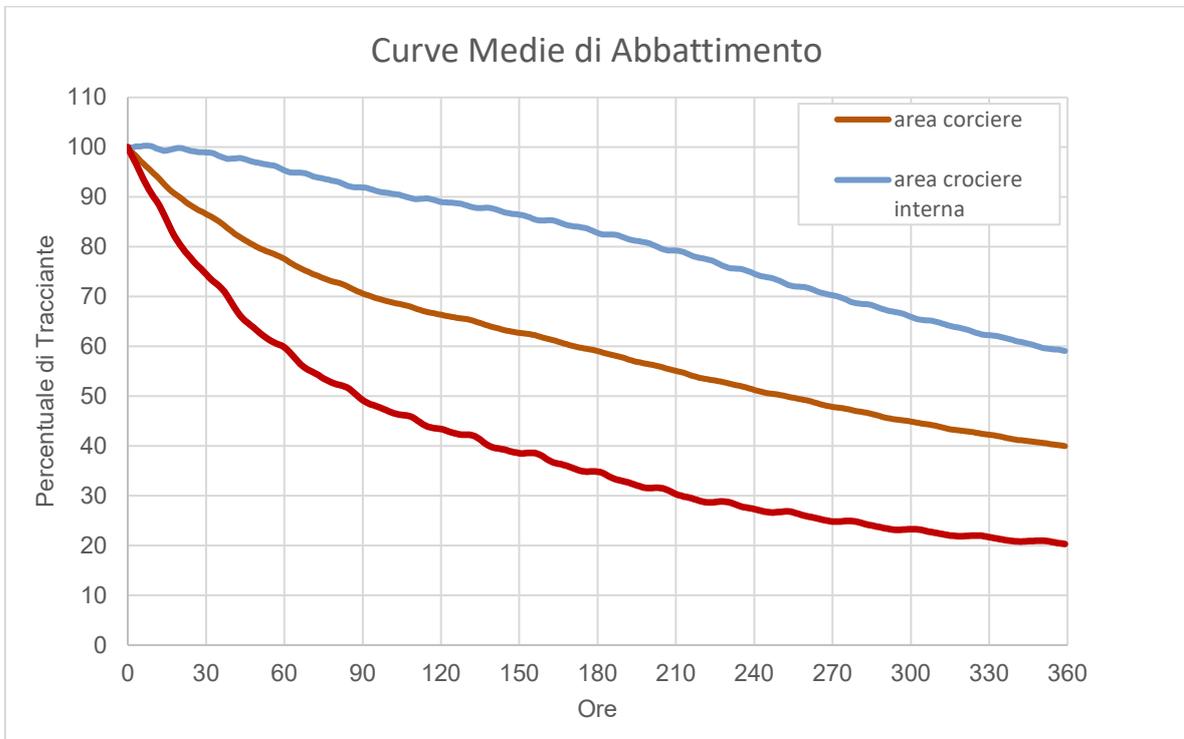


Figura 5.11: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore

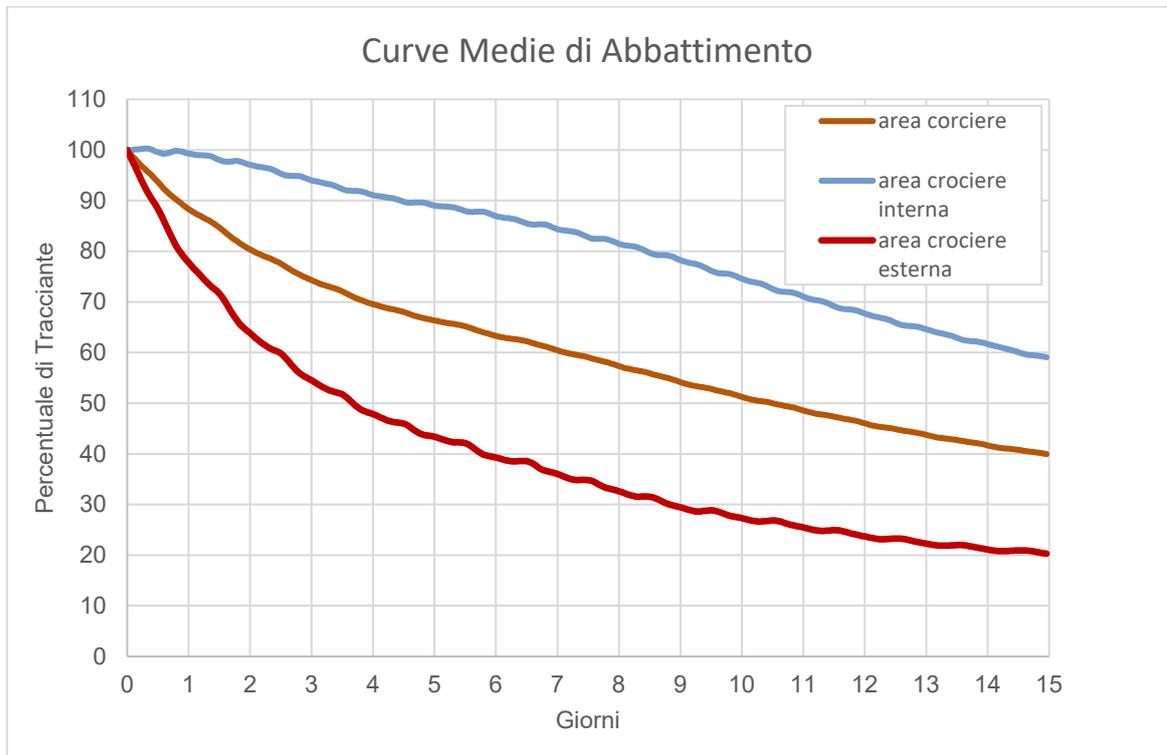
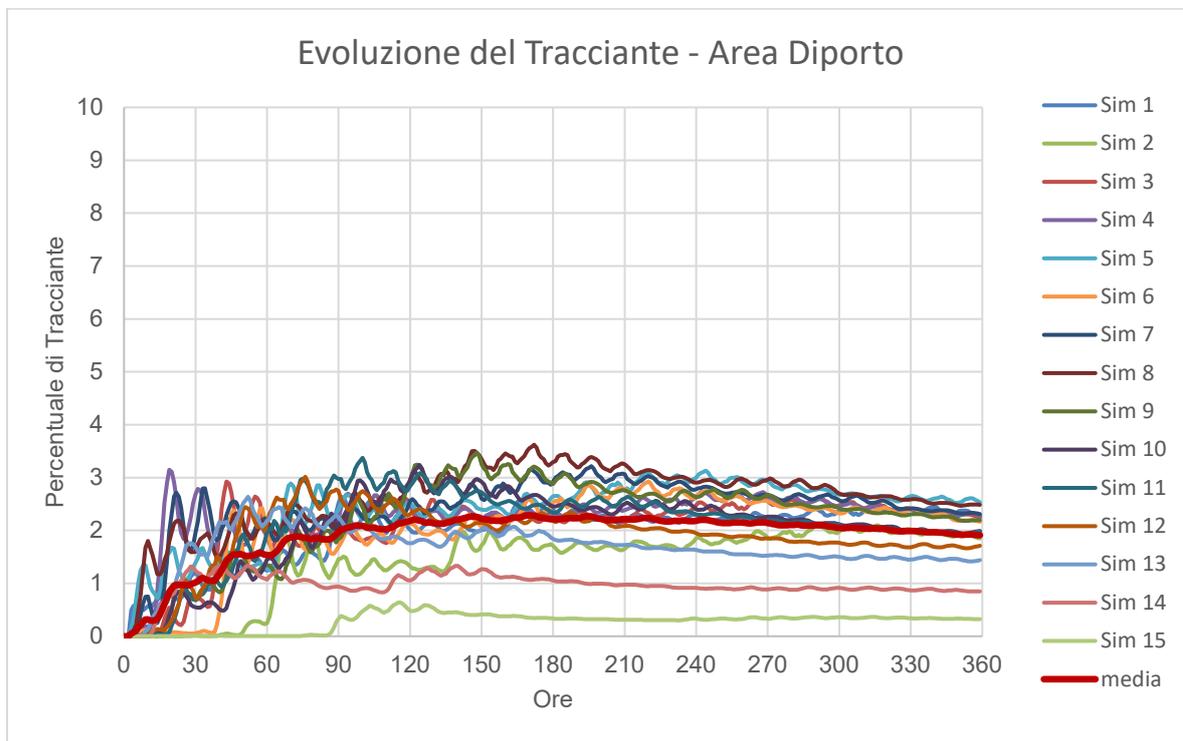
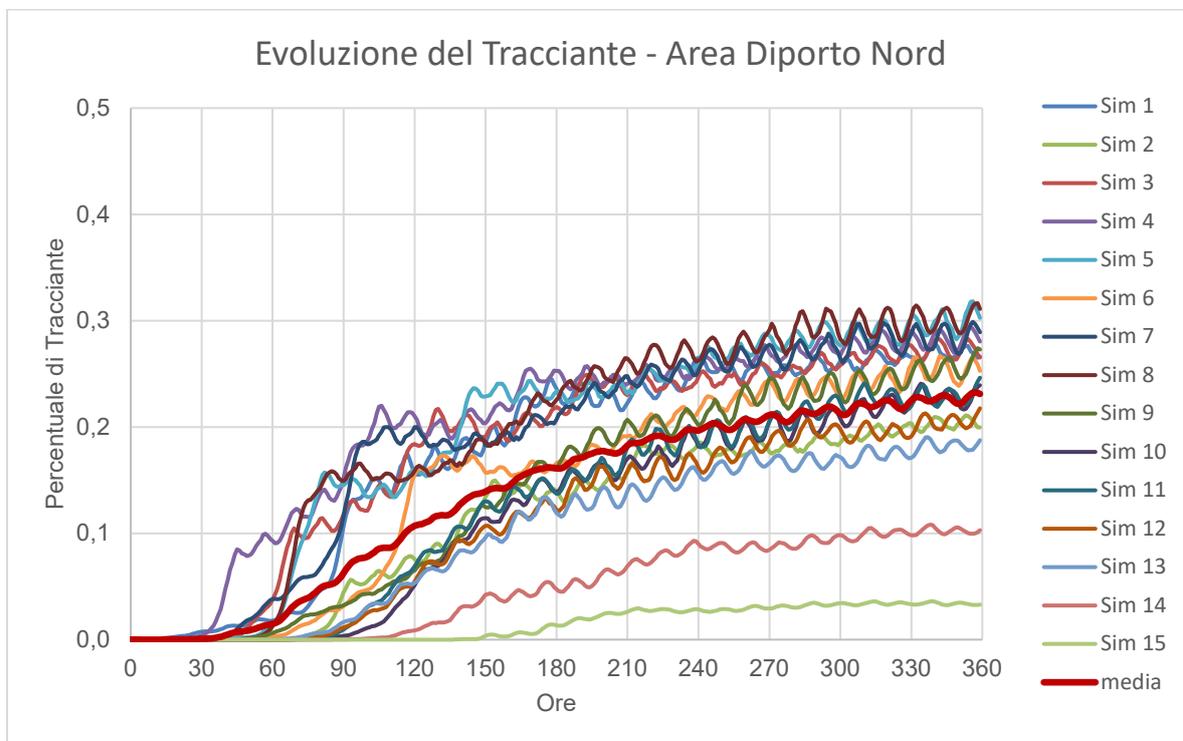


Figura 5.12: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni



**Figura 5.13: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto**



**Figura 5.14: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord**

## 5.4.2 Scenario 2

Si ricorda che questo scenario è relativo alla presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di marzo.

A titolo di esempio, di seguito in Figura 5.15, Figura 5.16, Figura 5.17 e Figura 5.18 si riportano gli output grafici del modello, relativi alla Simulazione n. 1 dello Scenario 2, in termini di evoluzione temporale del tracciante sull'intero dominio di calcolo, corrispondenti alla condizione del tracciante rispettivamente dopo 1, 5, 10 e 15 giorni dalla condizione iniziale.

Si riportano di seguito le curve di evoluzione del tracciante nel tempo. In Figura 5.19, Figura 5.20 e Figura 5.21 sono mostrate le curve di abbattimento della percentuale di tracciante nel tempo nelle aree interessate dalla presenza del tracciante stesso alla condizione iniziale. Considerando la totalità dell'Area Crociere, al termine dei 15 giorni delle simulazioni, è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 18% e il 44%, il tracciante quindi (dato il 100% nell'istante iniziale) si è abbattuto in media del 70% circa. Considerando le due aree Interna ed Esterna si nota che nell'Area Crociere Esterna il tracciante riesce ad abbattersi quasi del 90% in 15 giorni (Figura 5.20), mentre nell'Area Crociere Interna il massimo abbattimento che si ottiene al termine dei 15 giorni è circa pari all'80% (Figura 5.21). Considerando la media dei risultati delle 15 simulazioni svolte, si evince che in media nell'area più esterna si ottiene un buon valore di abbattimento, il 75% circa in due settimane, mentre nell'area più interna la quantità di tracciante si abbatte in media poco più del 60%. Nel corso delle simulazioni, in base all'idrodinamica del mese di marzo, il tracciante riesce a penetrare seppur in minima parte nell'area adibita all'ormeggio delle imbarcazioni da diporto. In Figura 5.24 infatti si vede come in quest'area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, la percentuale aumenti fino all'1% senza avere la possibilità di ridursi nel tempo. L'area Diporto Nord infine è interessata da un valore medio di tracciante di circa 0.1% (Figura 5.25).

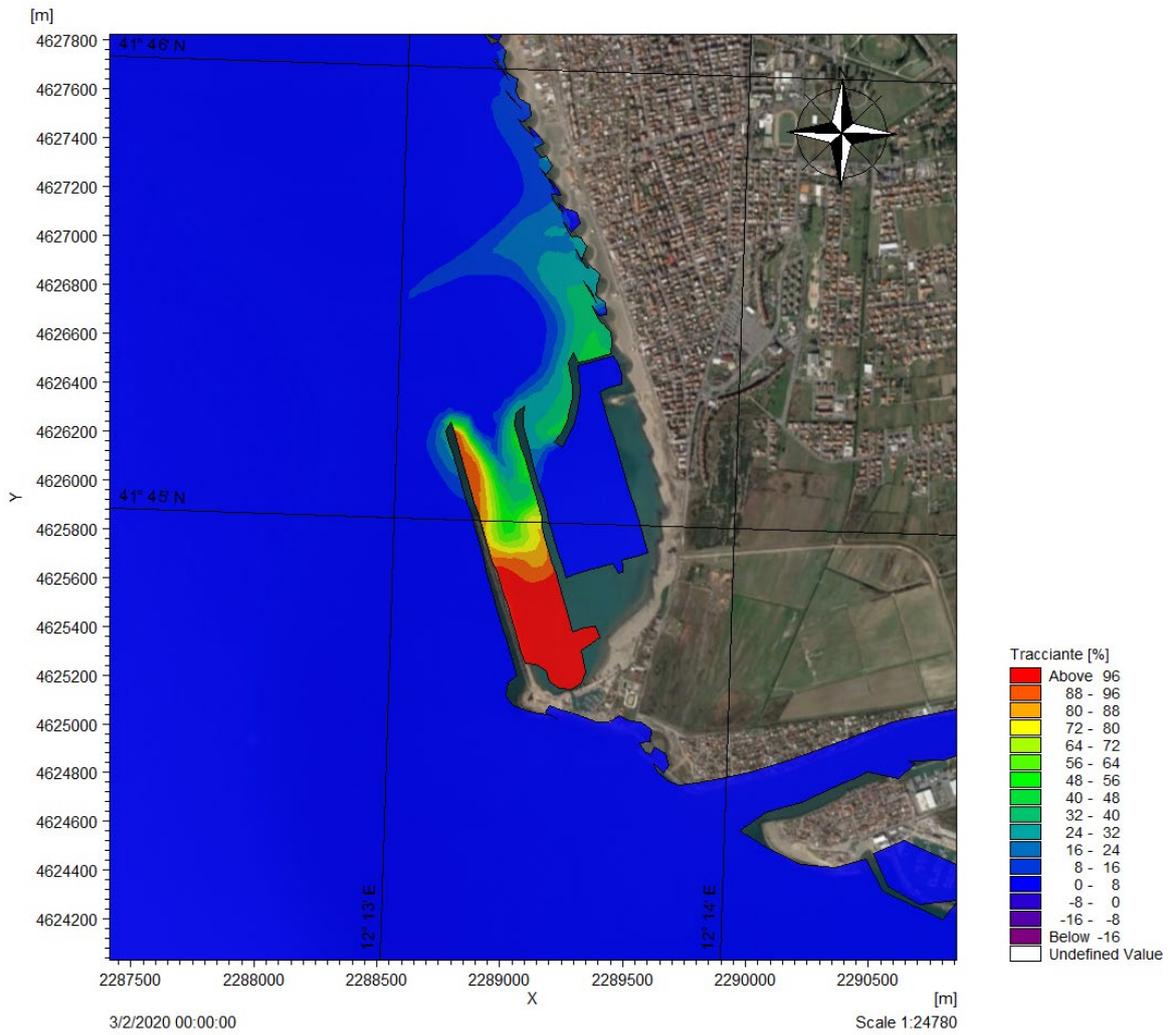
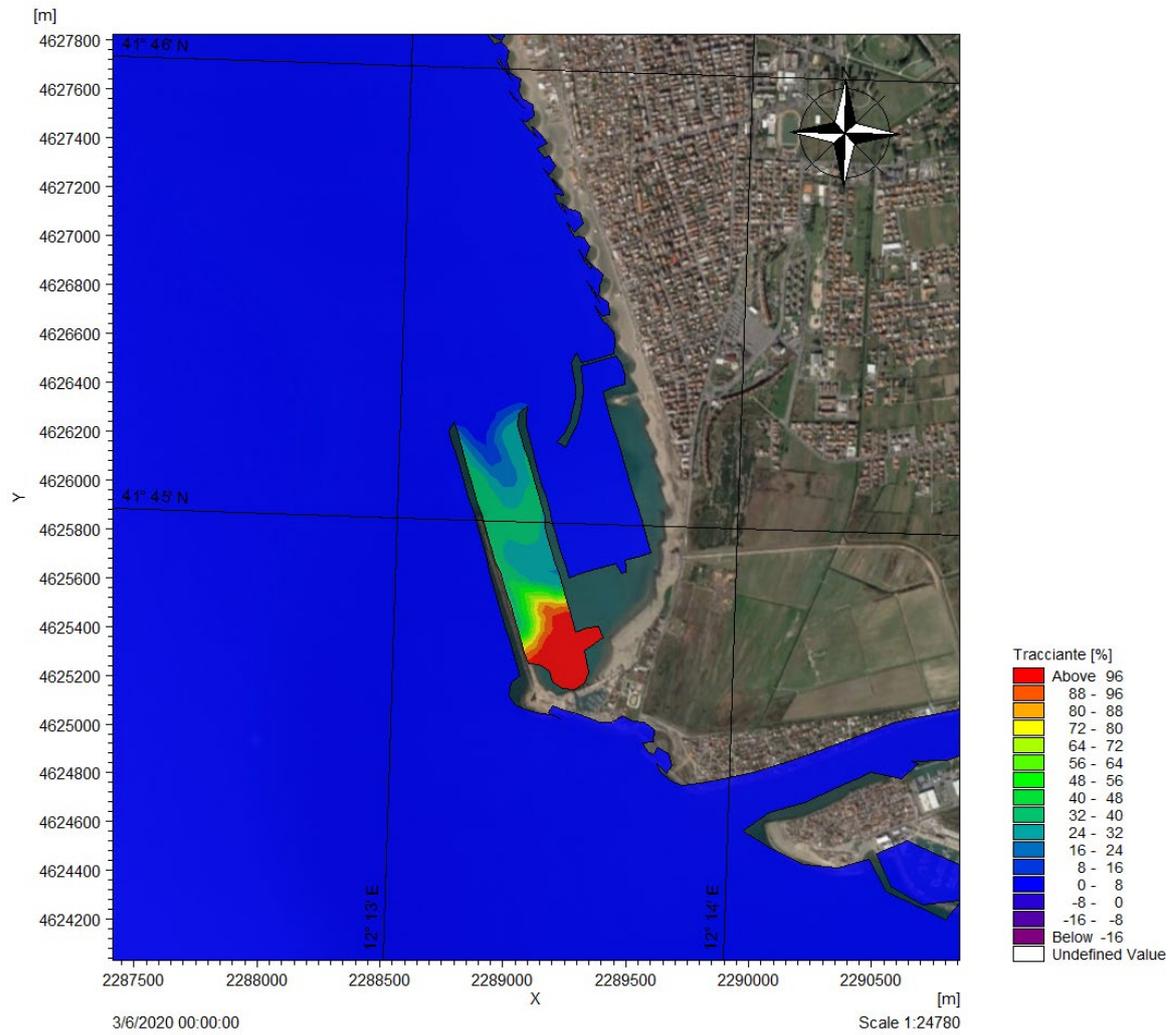
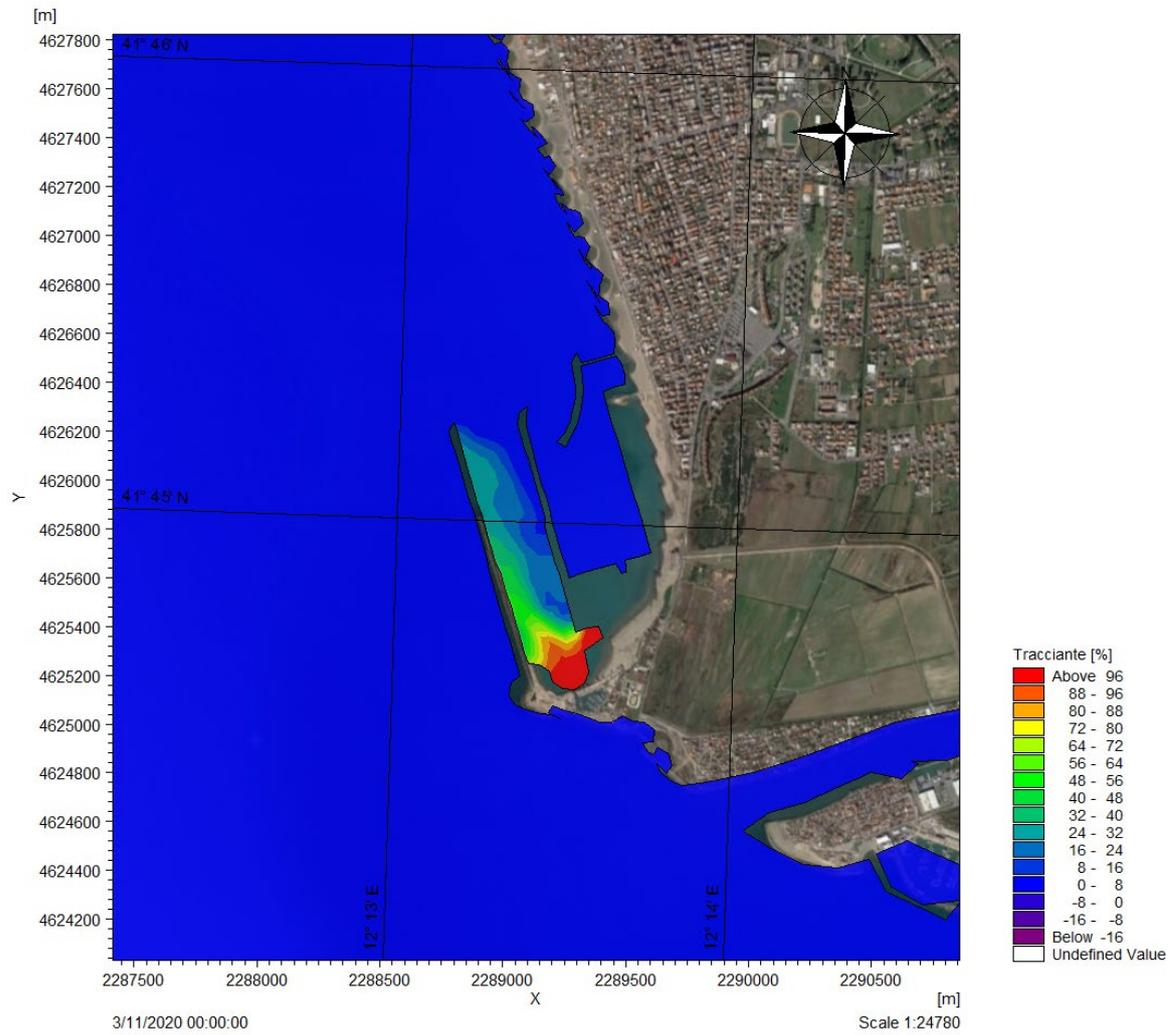


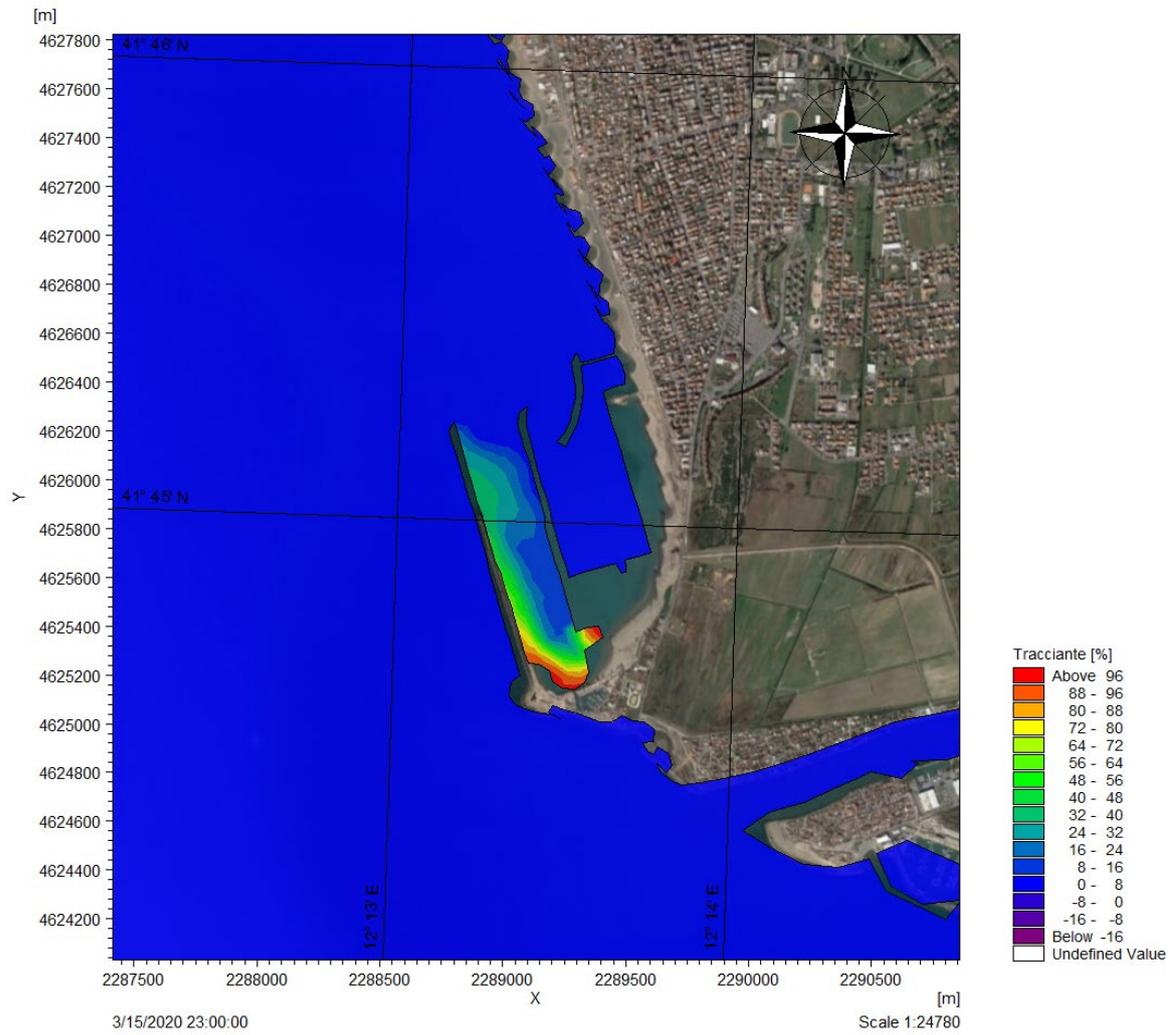
Figura 5.15: Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno



**Figura 5.16: Evoluzione del Tracciate dopo 5 Giorni**



**Figura 5.17: Evoluzione del Tracciate dopo 10 Giorni**



**Figura 5.18: Evoluzione del Tracciate al Termine dei 15 Giorni**

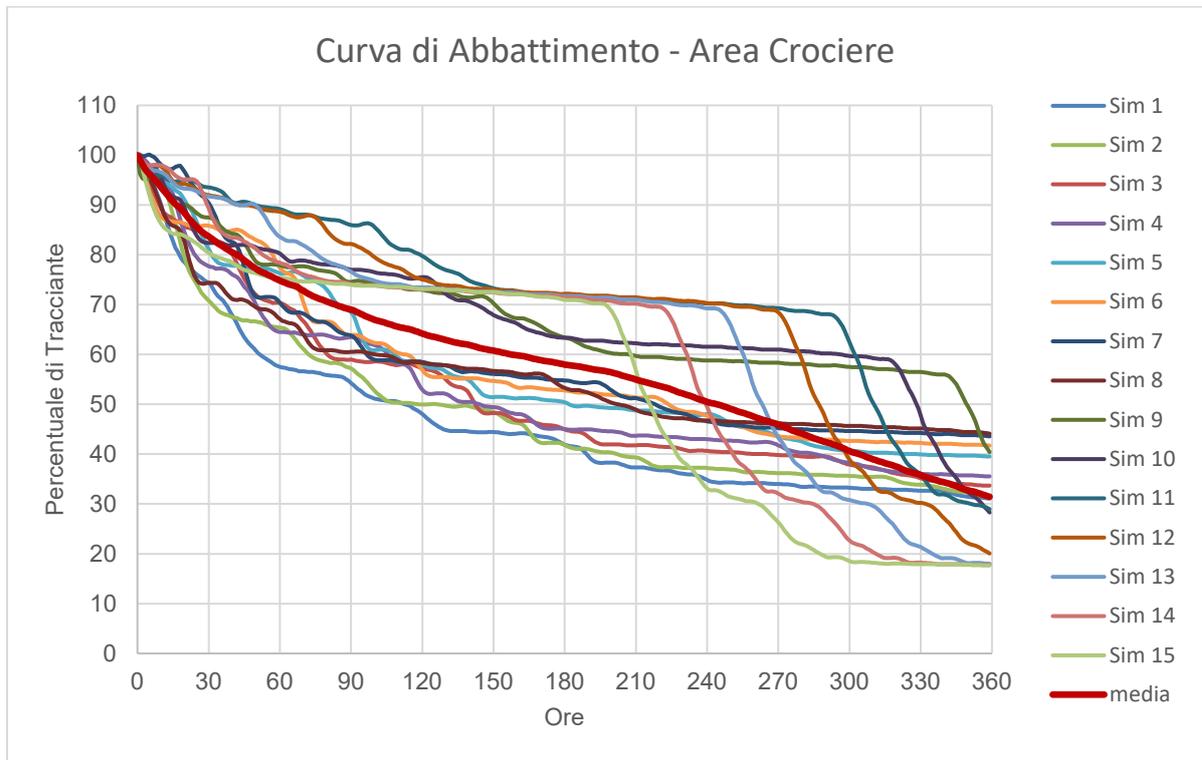


Figura 5.19: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere

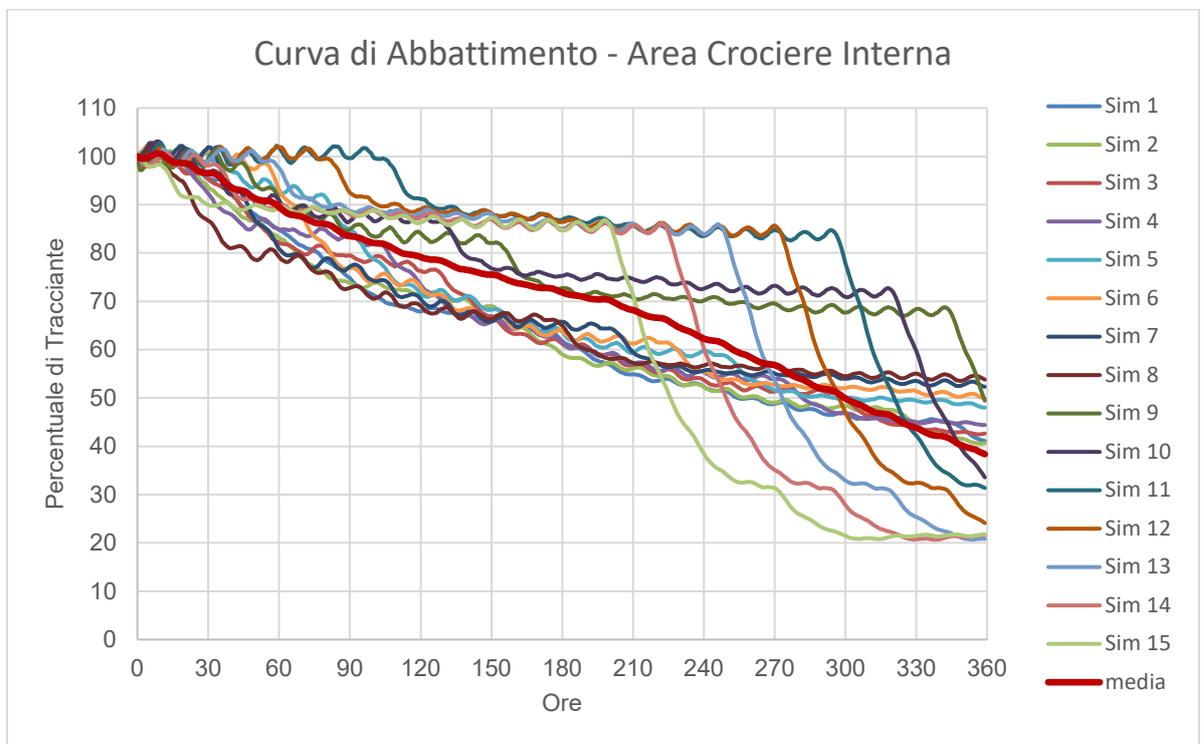
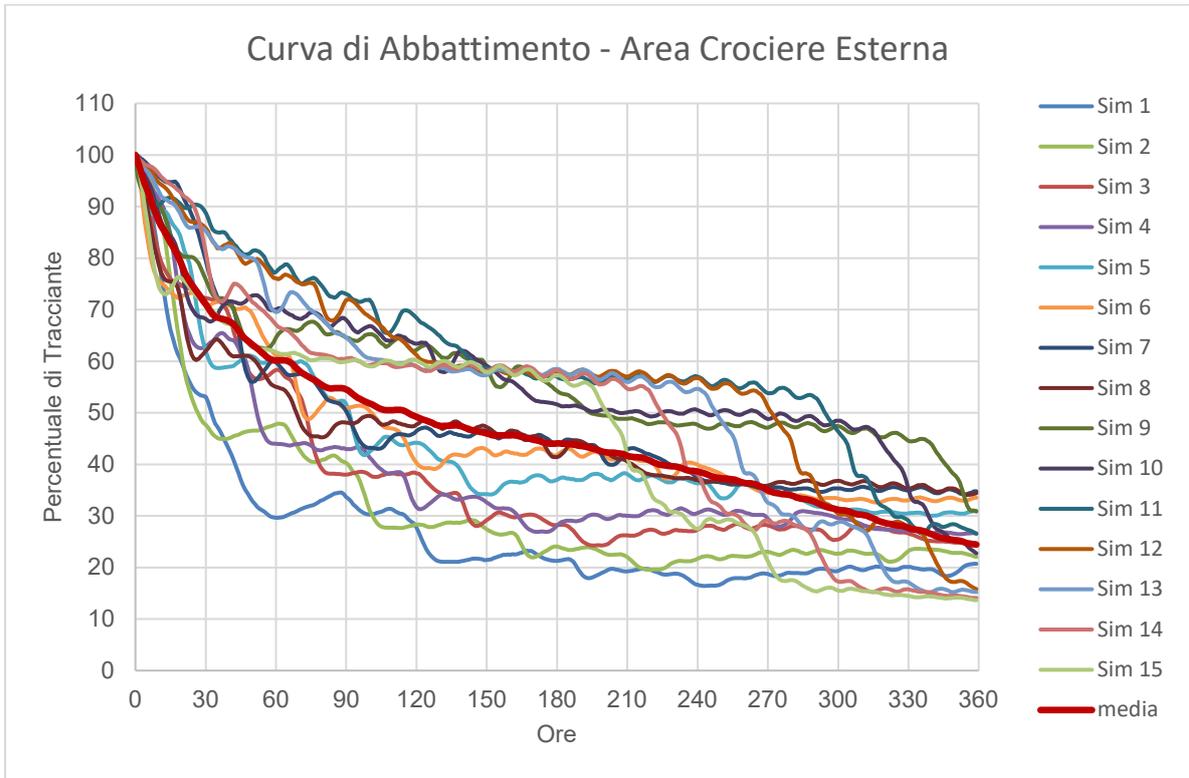
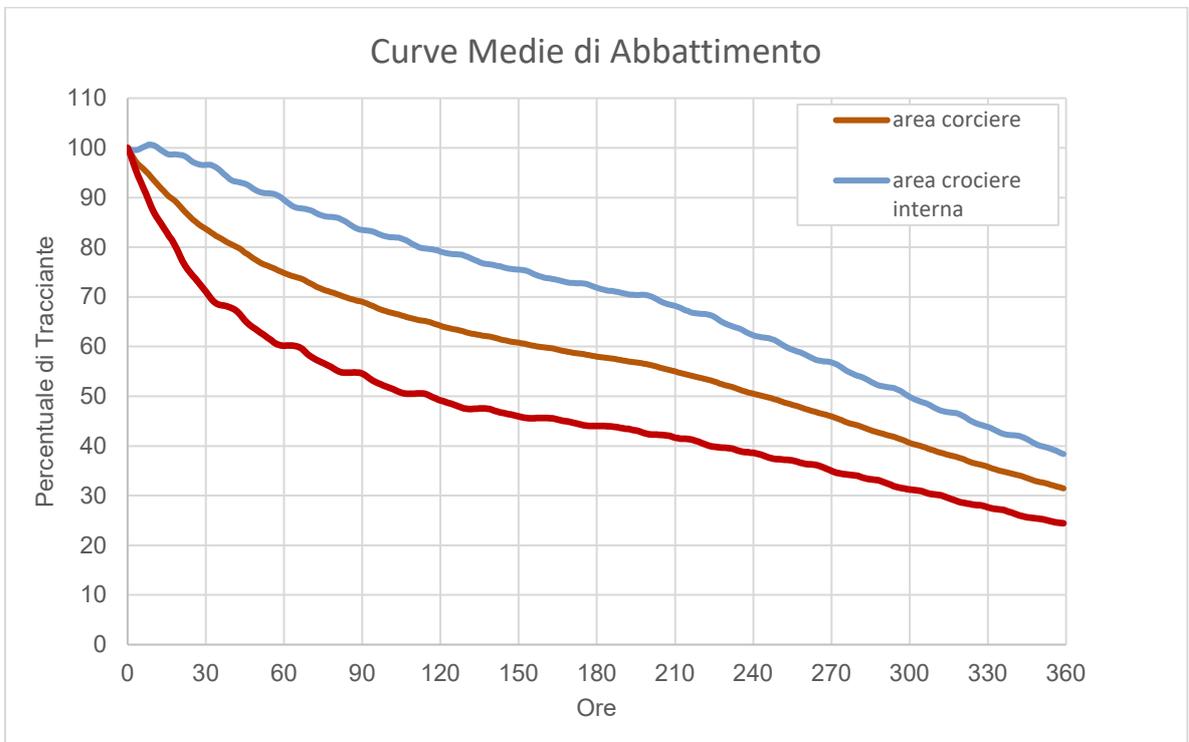


Figura 5.20: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna



**Figura 5.21: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna**



**Figura 5.22: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore**

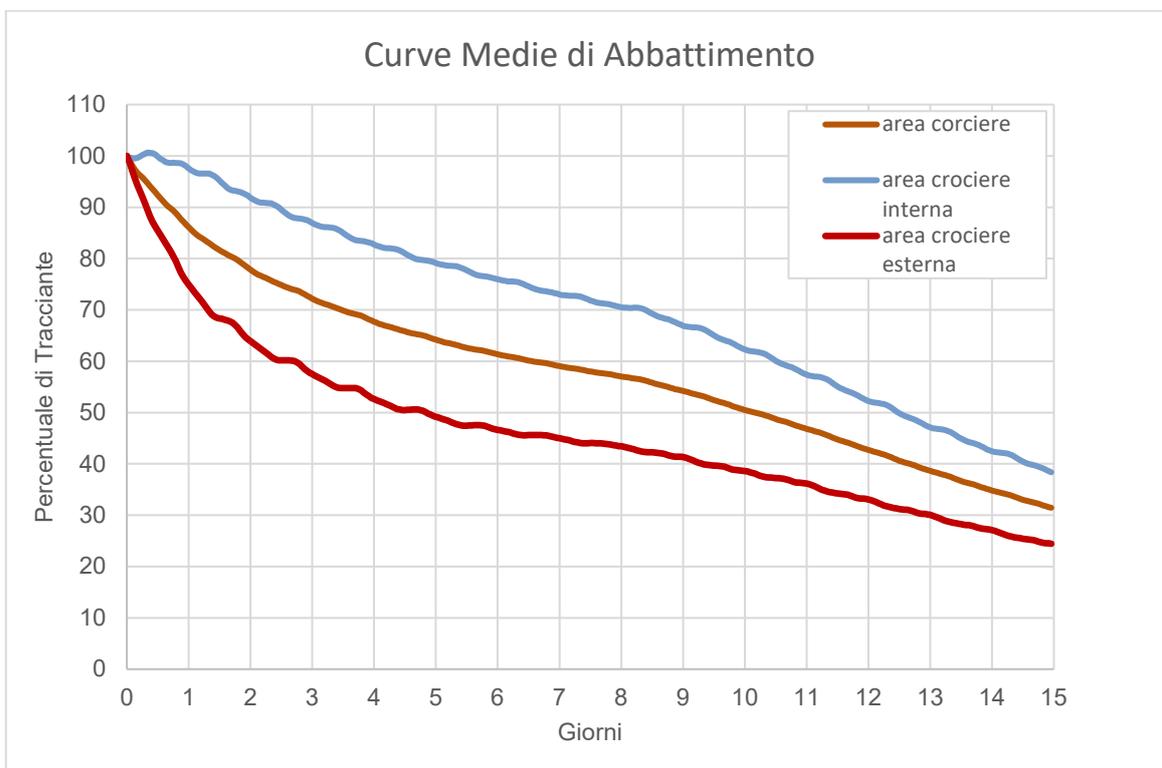


Figura 5.23: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni

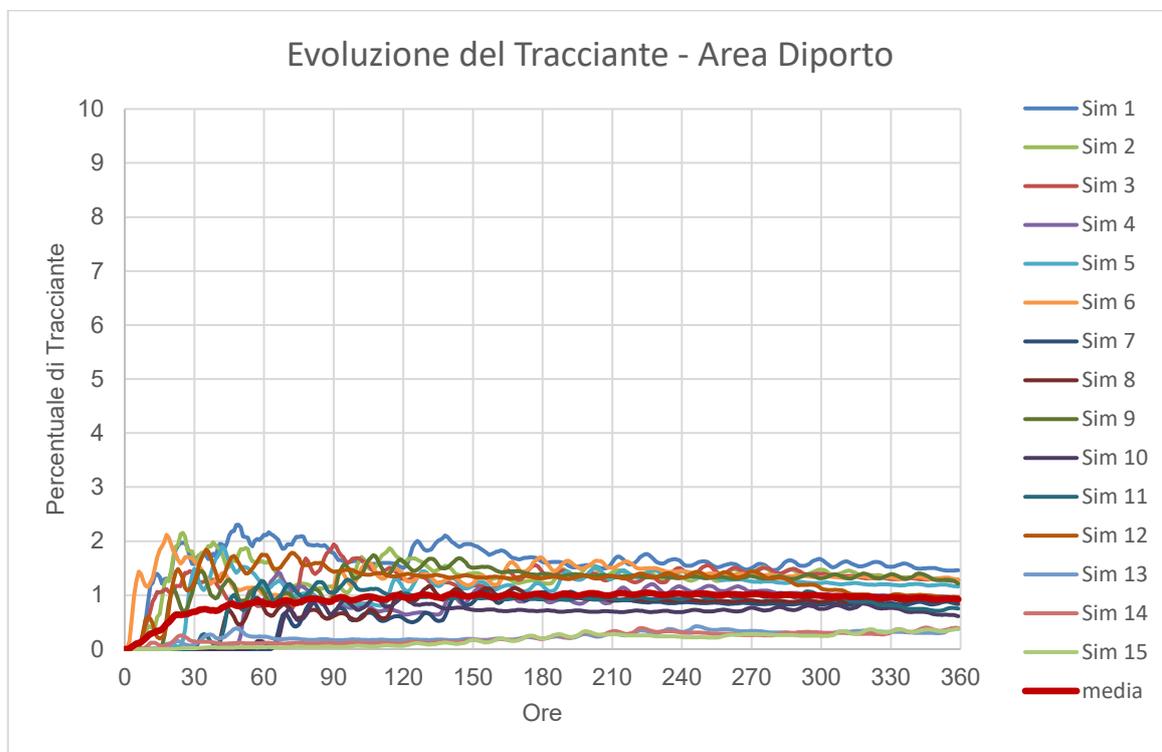


Figura 5.24: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto

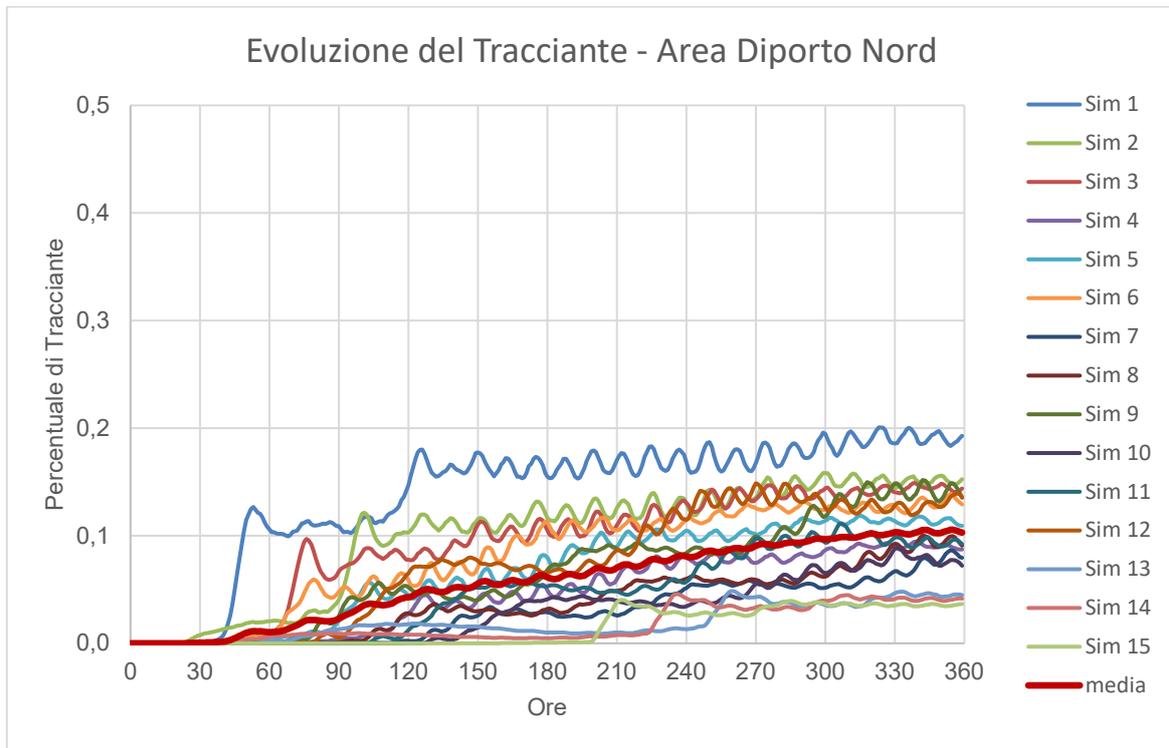


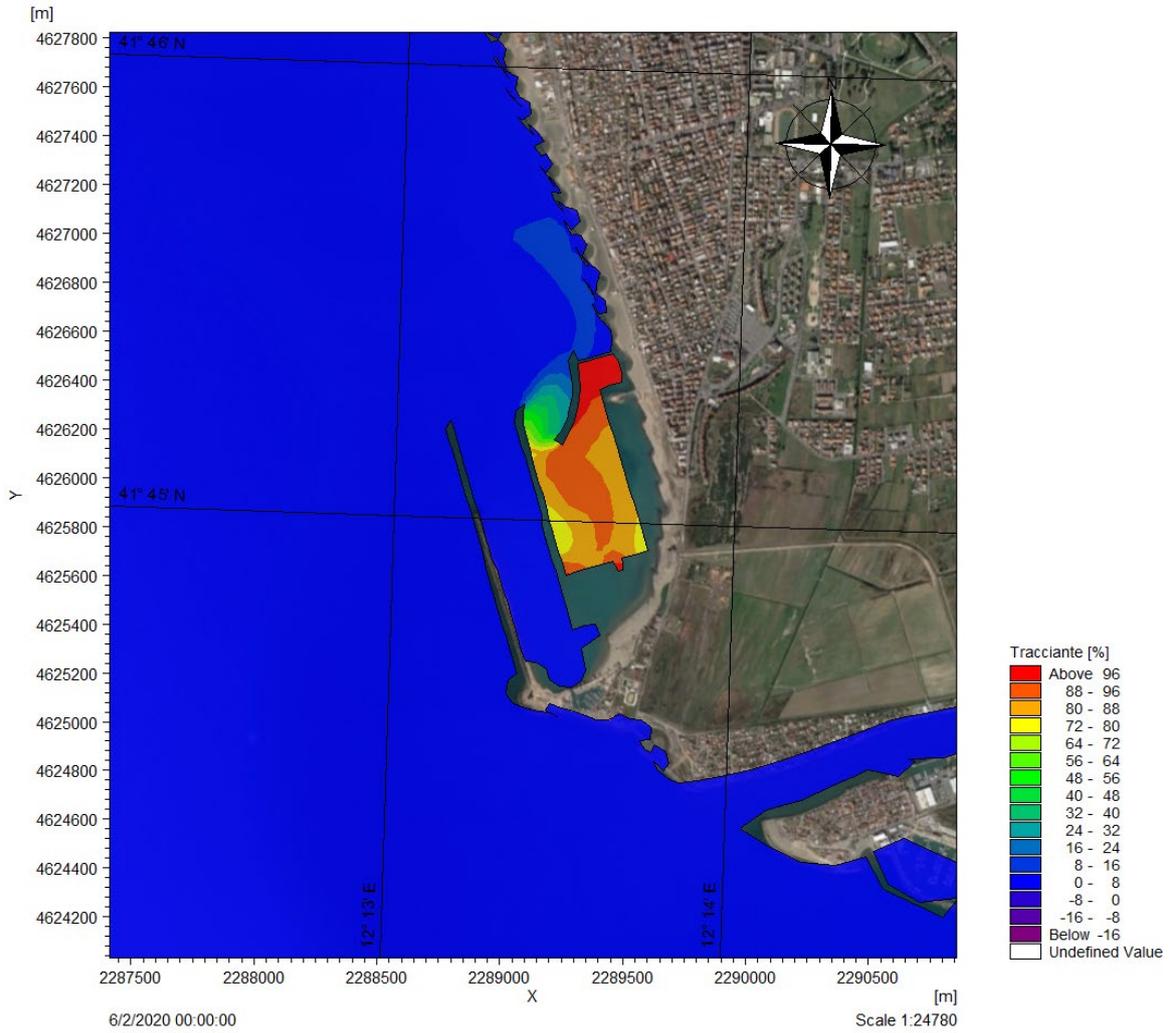
Figura 5.25: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord

### 5.4.3 Scenario 3

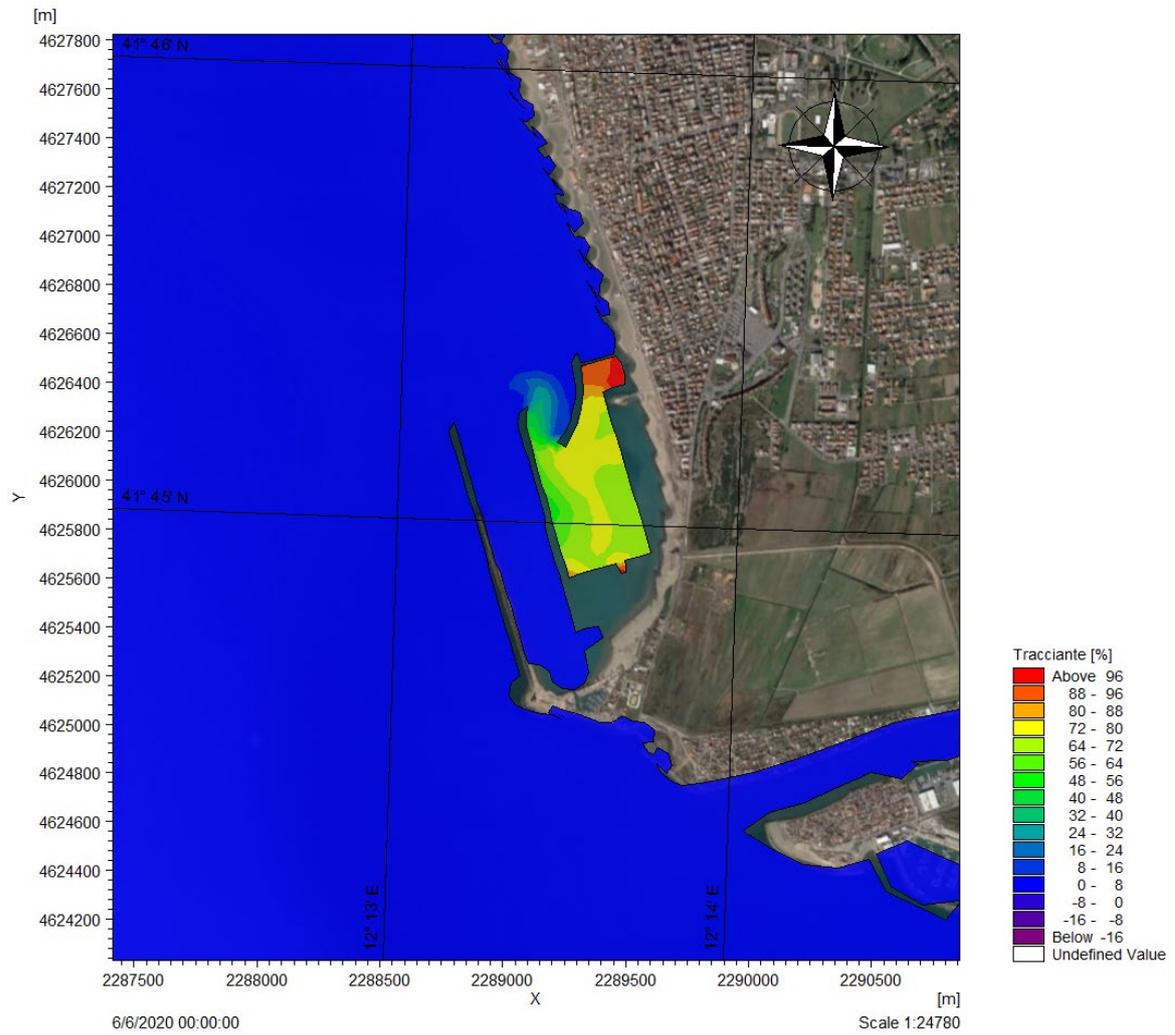
Si ricorda che questo scenario è relativo alla presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di giugno.

A titolo di esempio, di seguito in Figura 5.26, Figura 5.27, Figura 5.28 e Figura 5.29 si riportano gli output grafici del modello, relativi alla Simulazione n. 1 dello Scenario 3, in termini di evoluzione temporale del tracciante sull'intero dominio di calcolo, corrispondenti alla condizione del tracciante rispettivamente dopo 1, 5, 10 e 15 giorni dalla condizione iniziale.

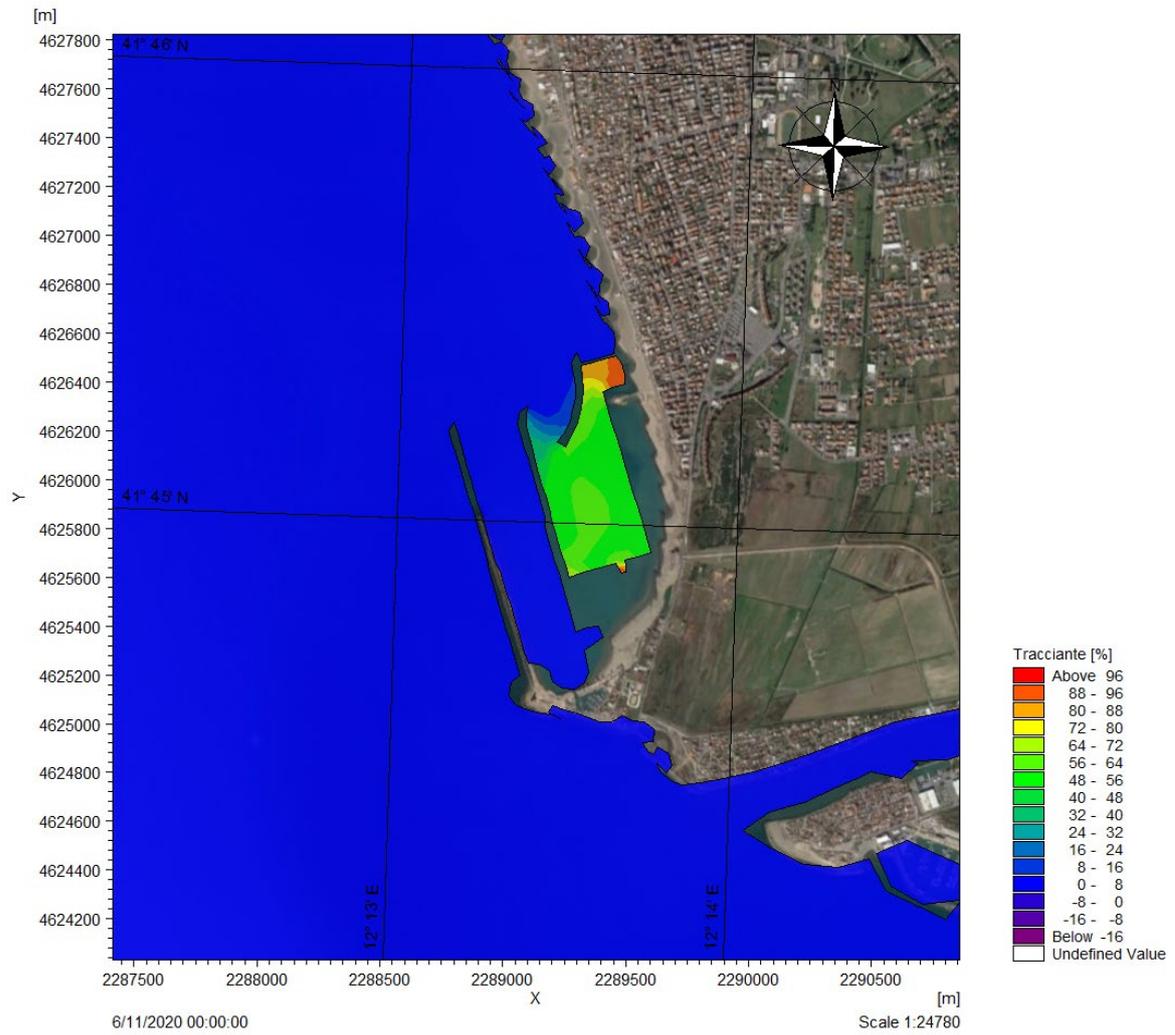
Si riportano di seguito le curve di evoluzione del tracciante nel tempo. In Figura 5.30 e Figura 5.31 sono mostrate le curve di abbattimento della percentuale di tracciante nel tempo nelle aree interessate dalla presenza del tracciante stesso alla condizione iniziale. Considerando la totalità dell'Area Diporto, al termine dei 15 giorni delle simulazioni, è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 53% e il 63%, in media il tracciante (dato il 100% nell'istante iniziale) si è abbattuto del 40% circa. Considerando l'Area Diporto Nord si nota che il tracciante riesce ad abbattersi quasi del 30% in 15 giorni (Figura 5.31). Le curve medie sono riportate anche in Figura 5.32 e Figura 5.33. Nel corso delle simulazioni, in base all'idrodinamica del mese di giugno, il tracciante riesce a penetrare seppur in minima parte nell'Area Crociere. In Figura 5.34 infatti si vede come in quest'area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, la percentuale aumenti fino al 5%, in media fino al 2.5%, circa l'1% per l'Area Crociere Esterna (Figura 5.36) e circa l'1.5% per l'Area Crociere Interna (Figura 5.35).



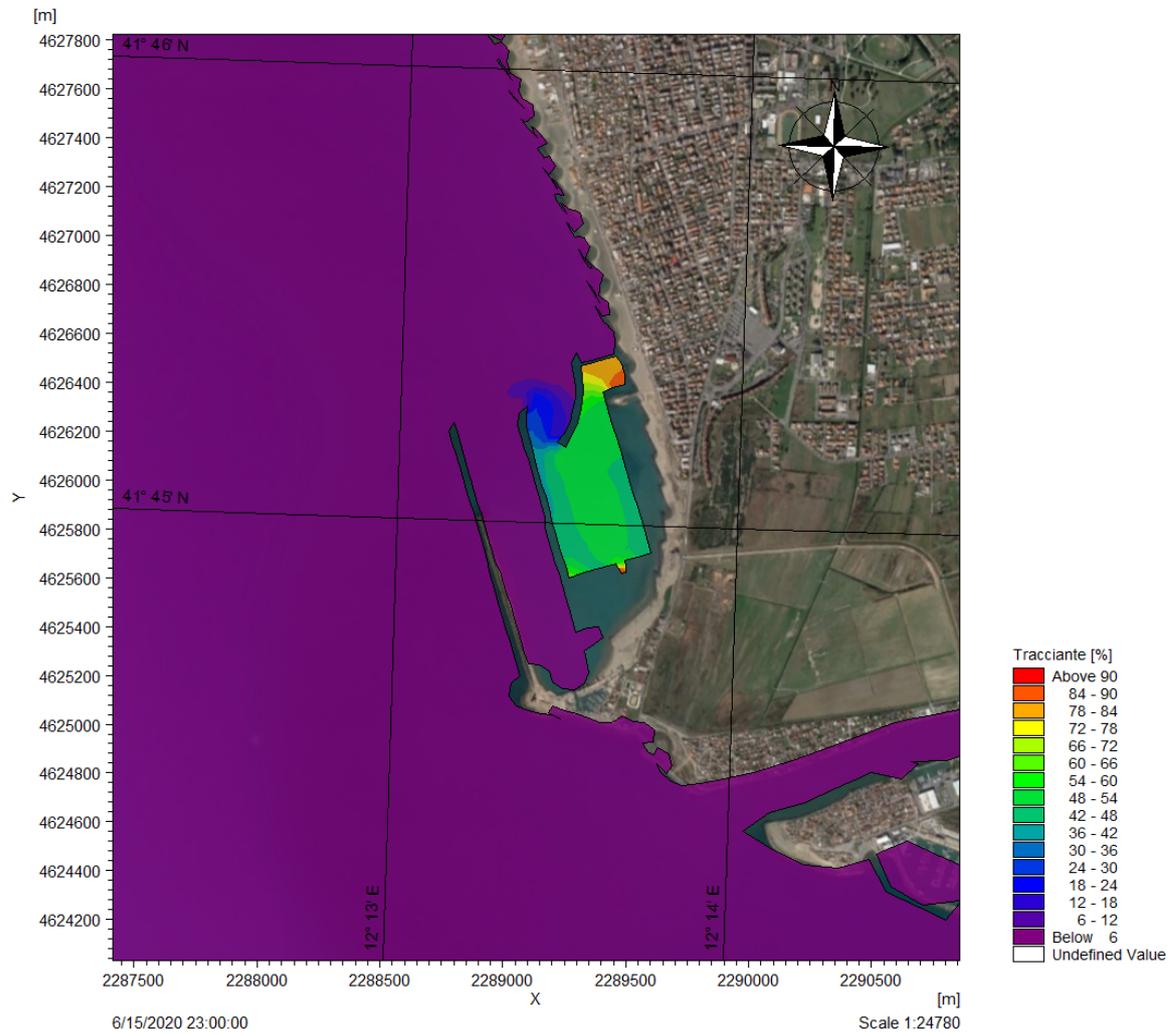
**Figura 5.26: Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno**



**Figura 5.27: Evoluzione del Tracciate dopo 5 Giorni**



**Figura 5.28: Evoluzione del Tracciate dopo 10 Giorni**



**Figura 5.29: Evoluzione del Tracciate al Termine dei 15 Giorni**

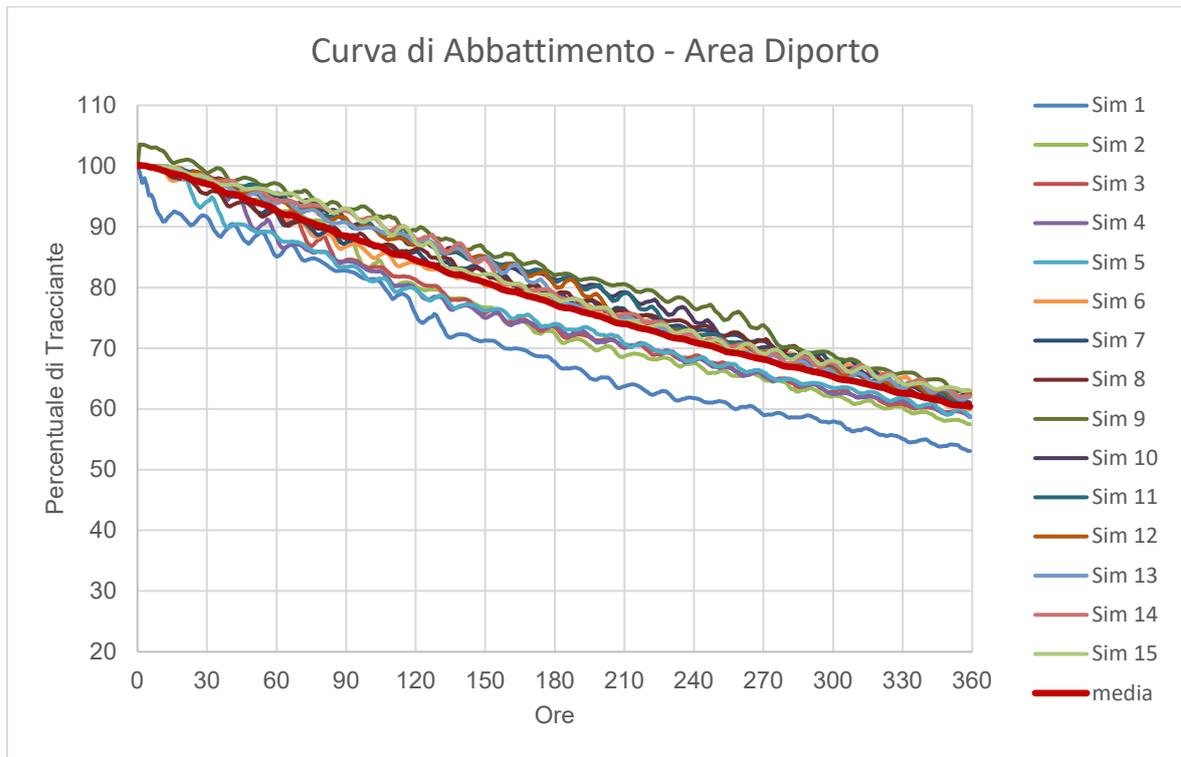


Figura 5.30: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Diporto

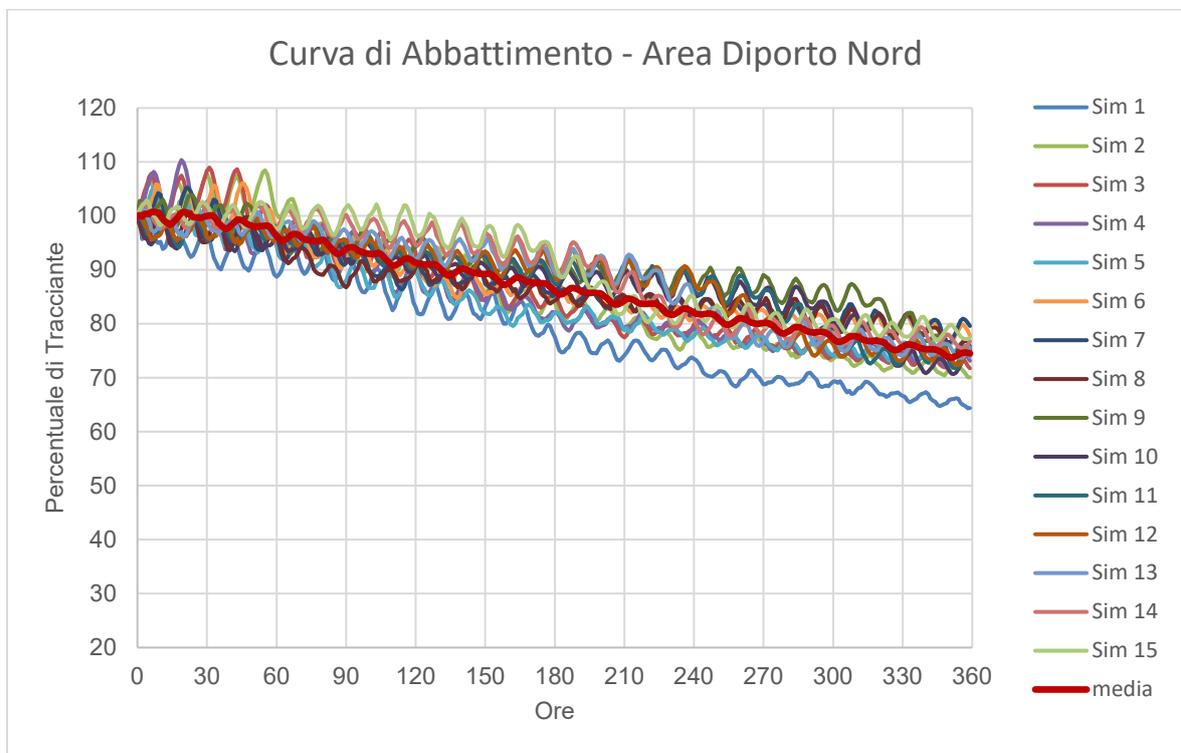


Figura 5.31: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord

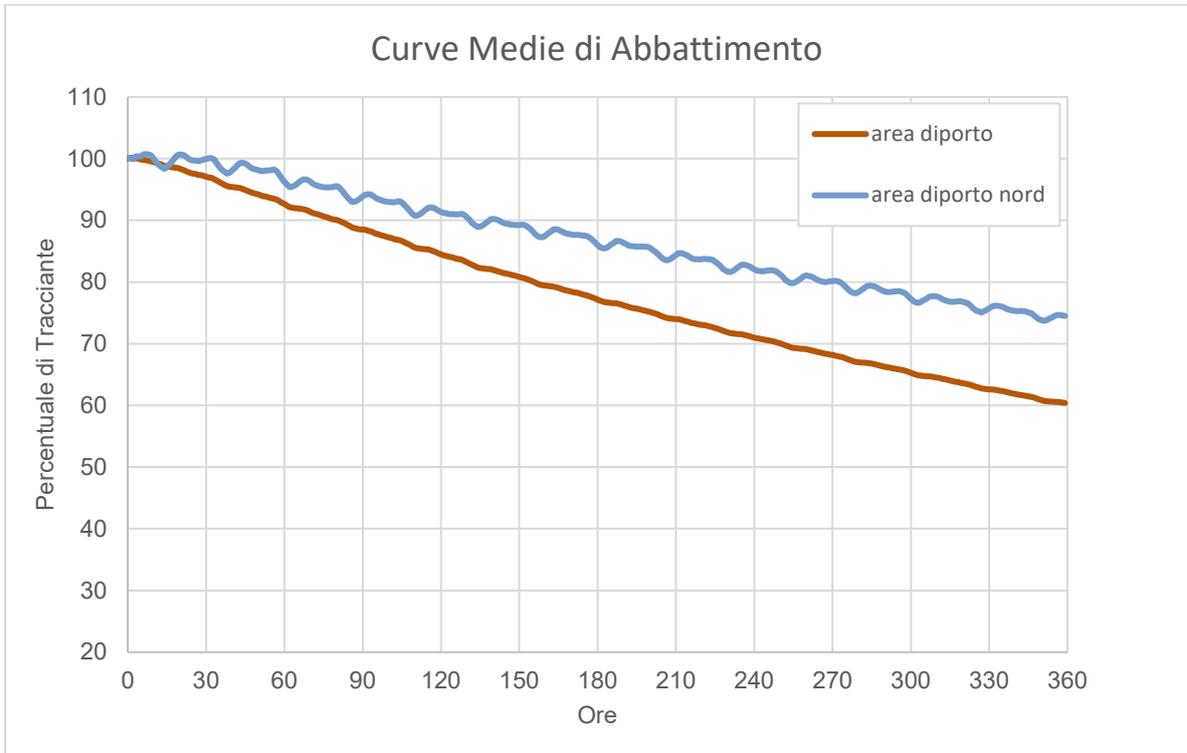


Figura 5.32: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore

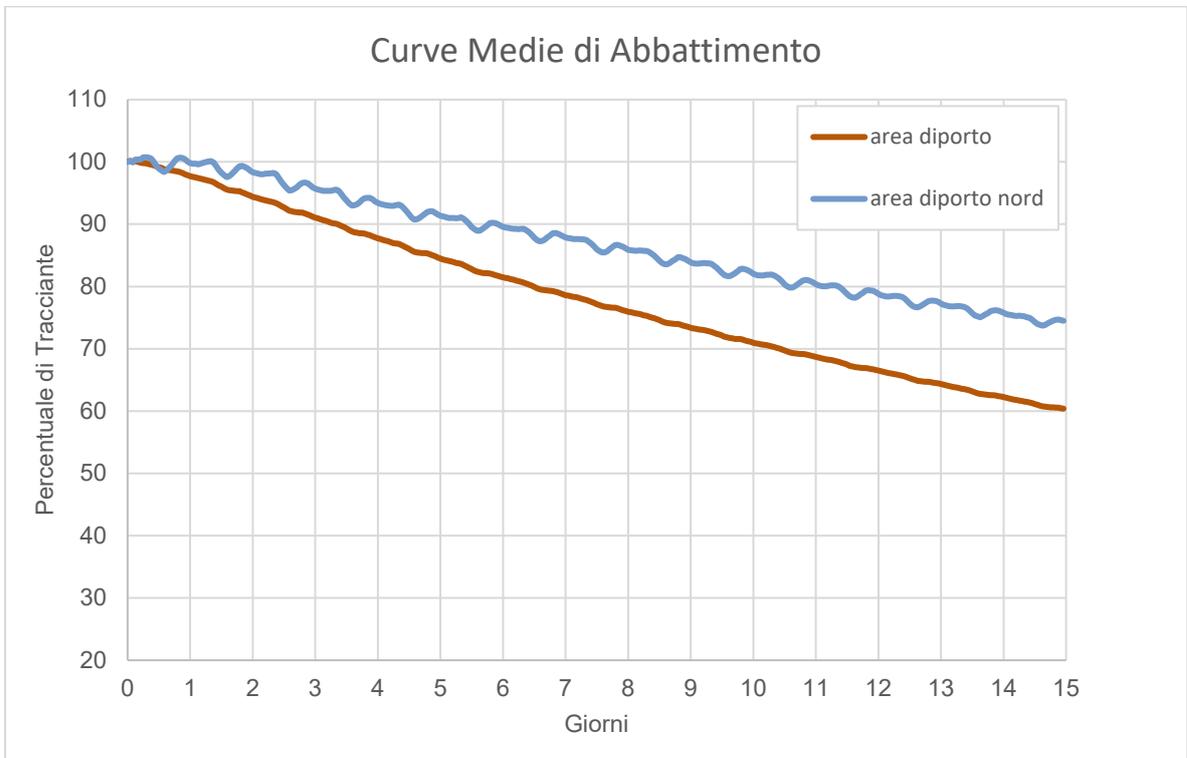


Figura 5.33: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni

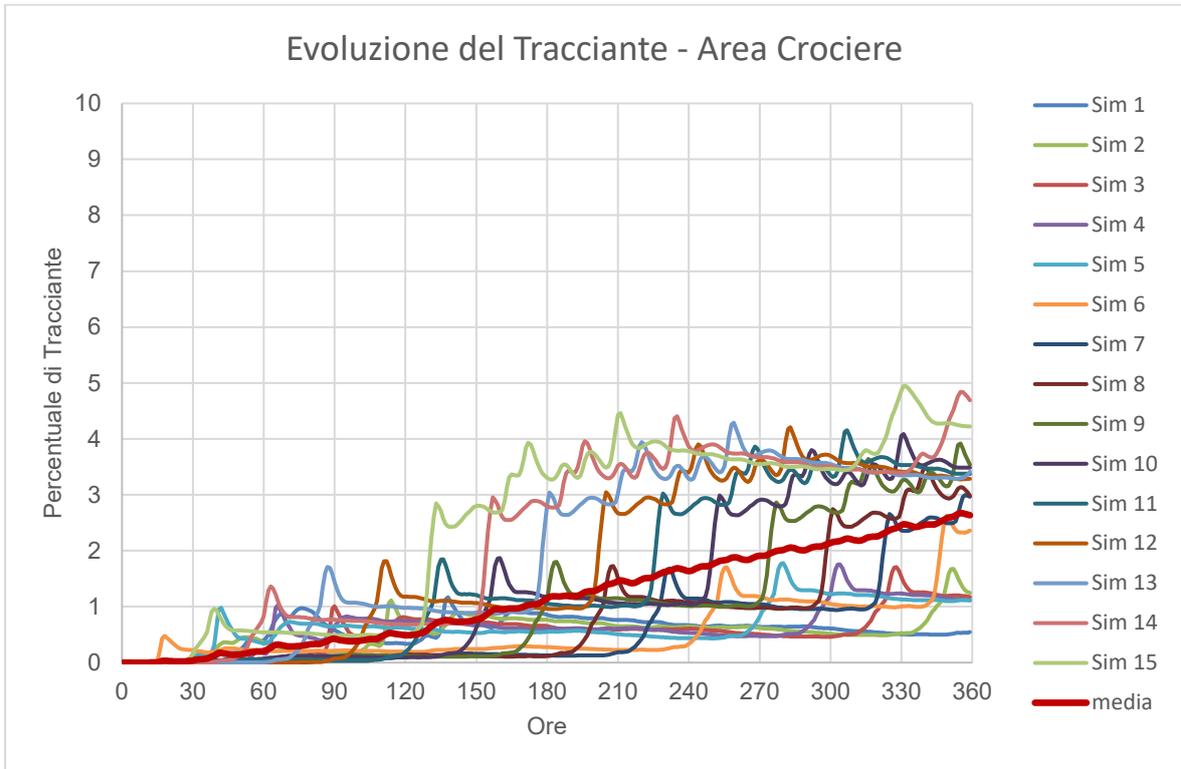


Figura 5.34: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere

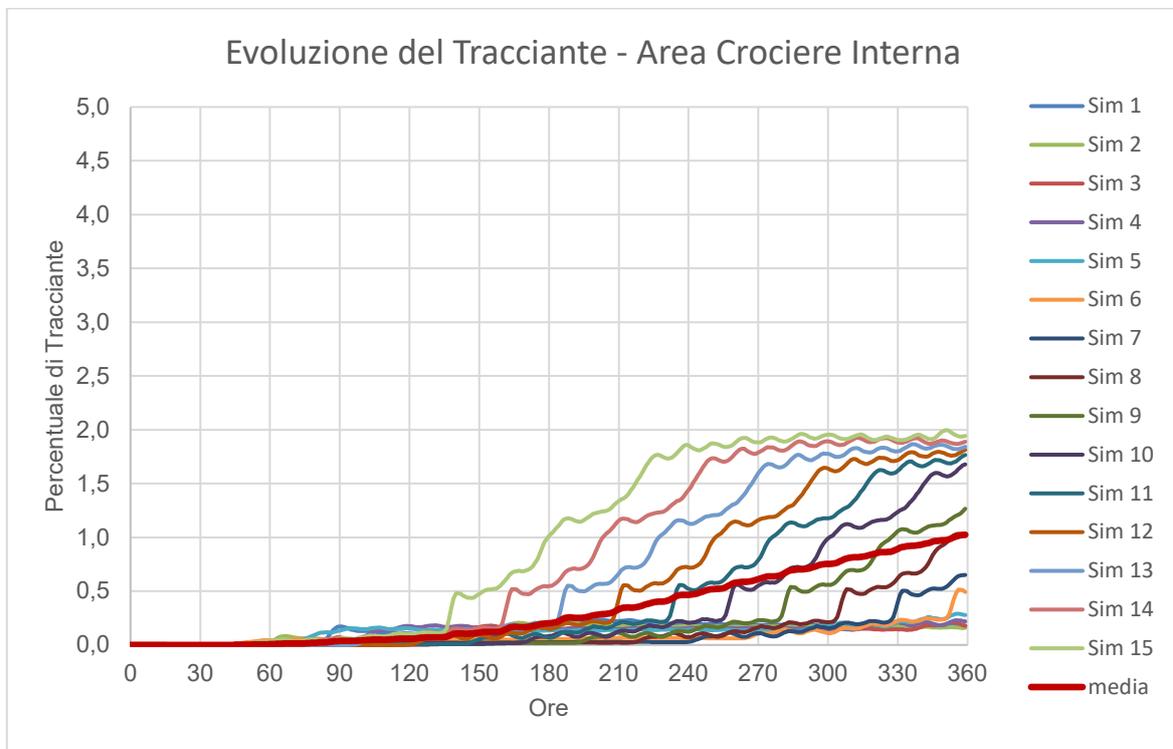


Figura 5.35: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna

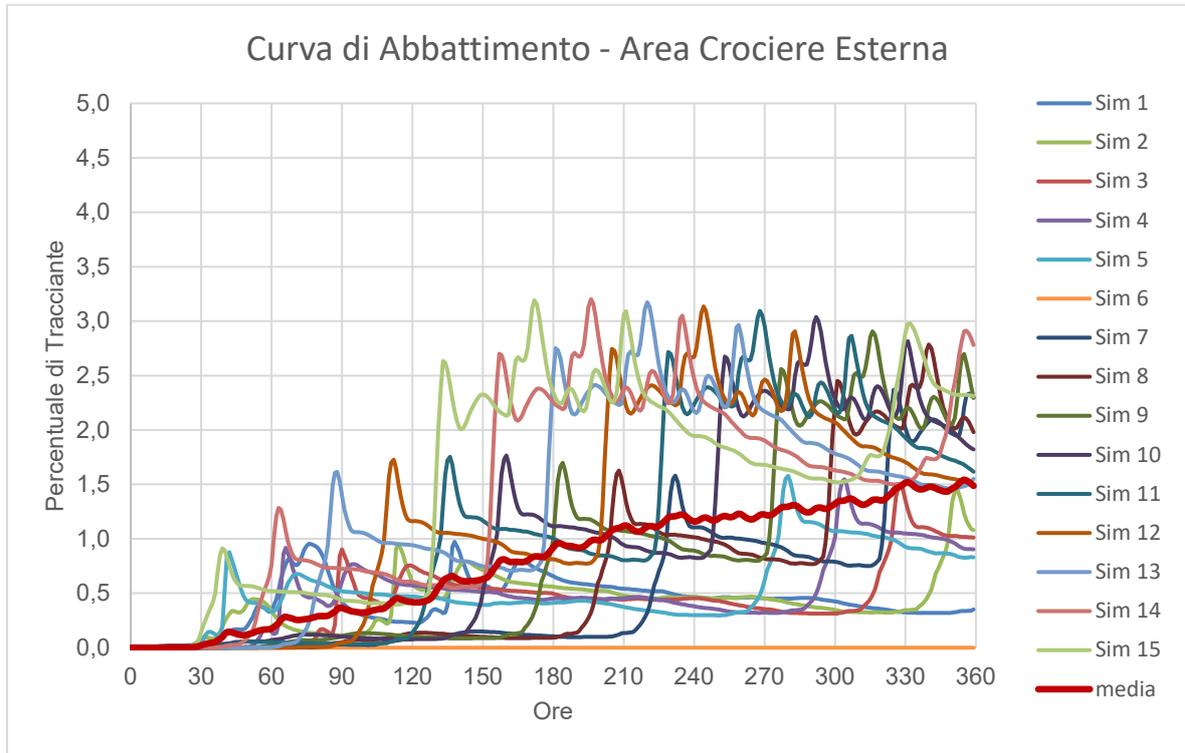


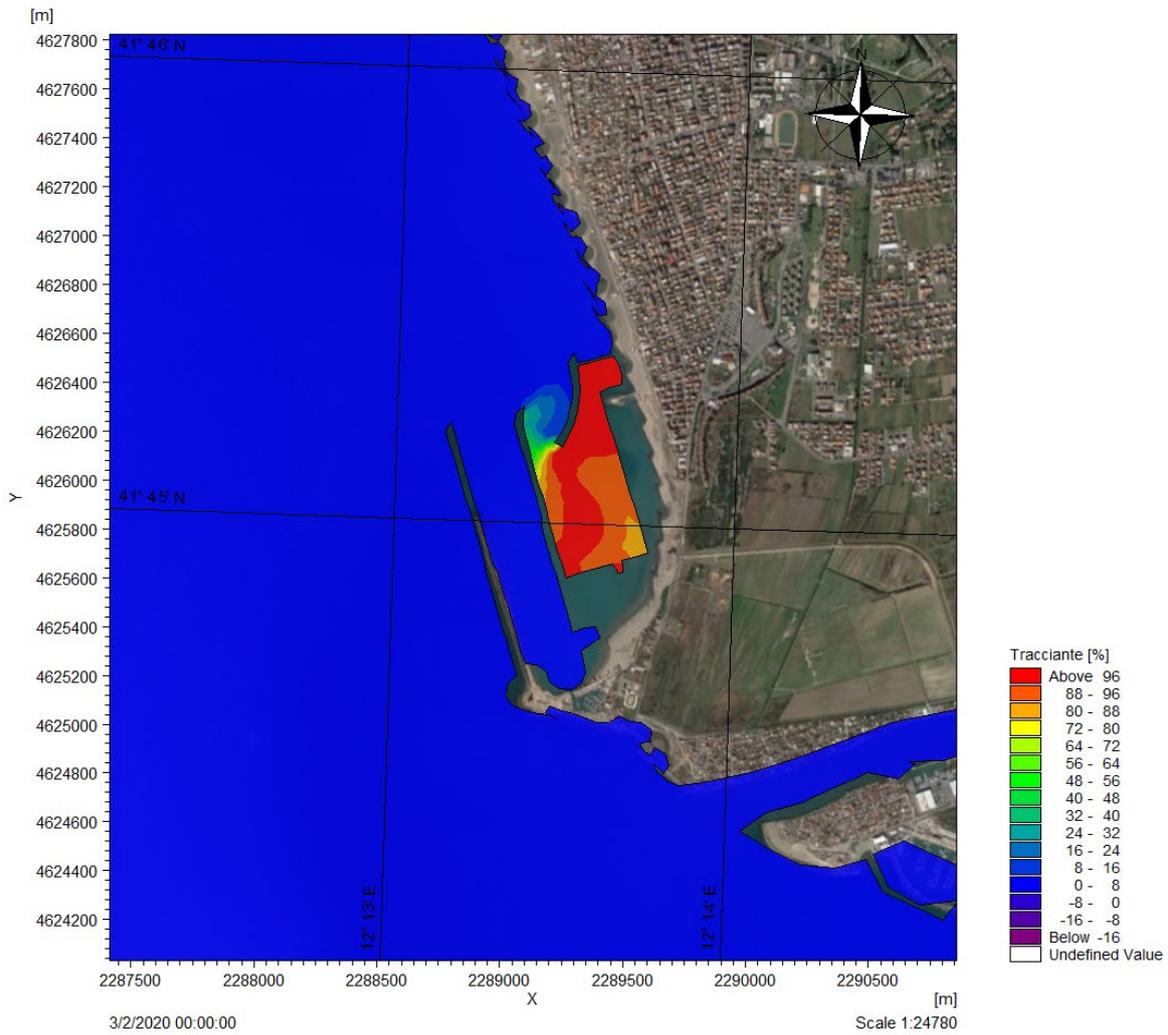
Figura 5.36: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna

#### 5.4.4 Scenario 4

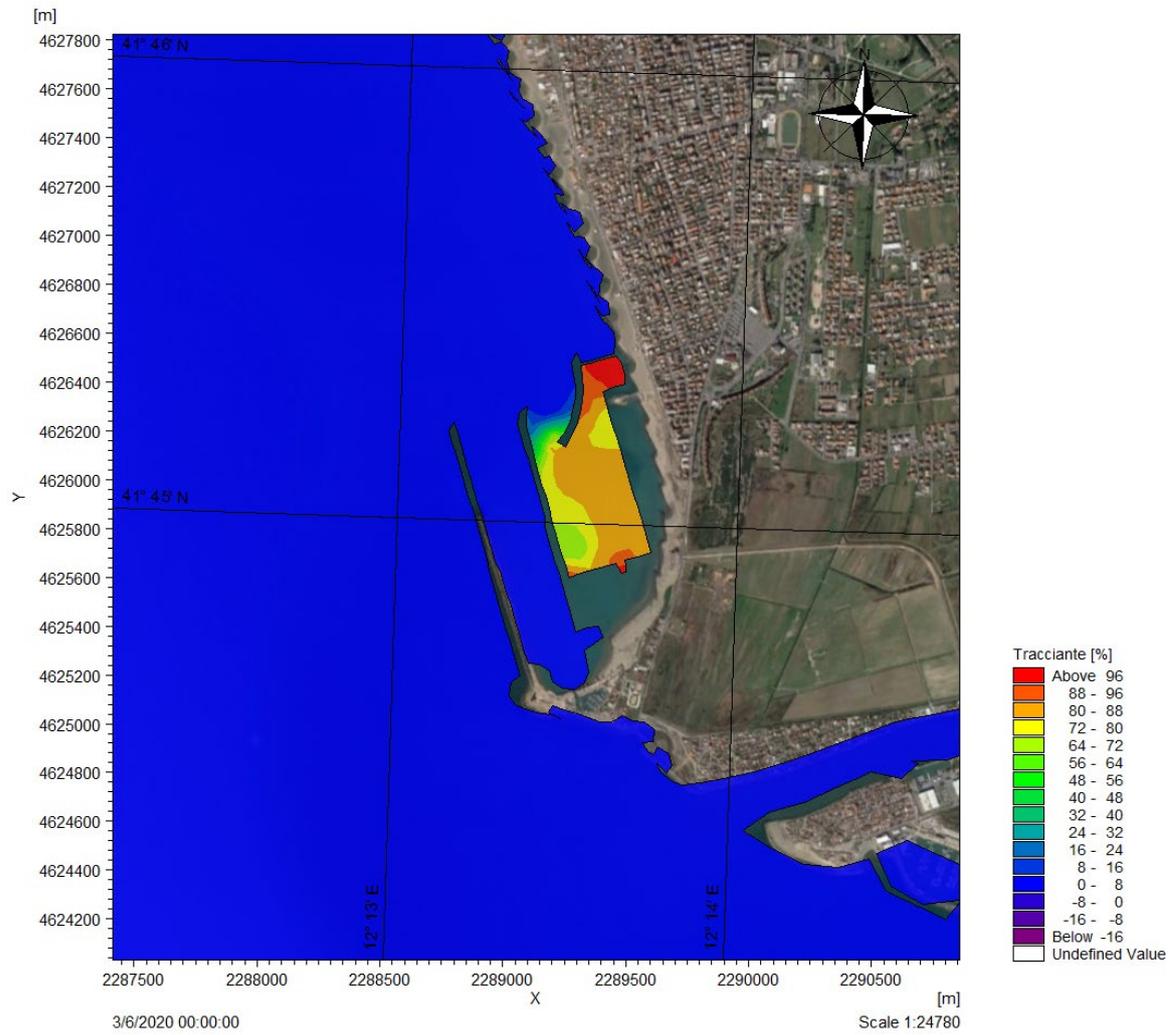
Si ricorda che questo scenario è relativo alla presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di marzo.

A titolo di esempio, di seguito in Figura 5.37, Figura 5.38, Figura 5.39 e Figura 5.40 si riportano gli output grafici del modello, relativi alla Simulazione n. 1 dello Scenario 4, in termini di evoluzione temporale del tracciante sull'intero dominio di calcolo, corrispondenti alla condizione del tracciante rispettivamente dopo 1, 5, 10 e 15 giorni dalla condizione iniziale.

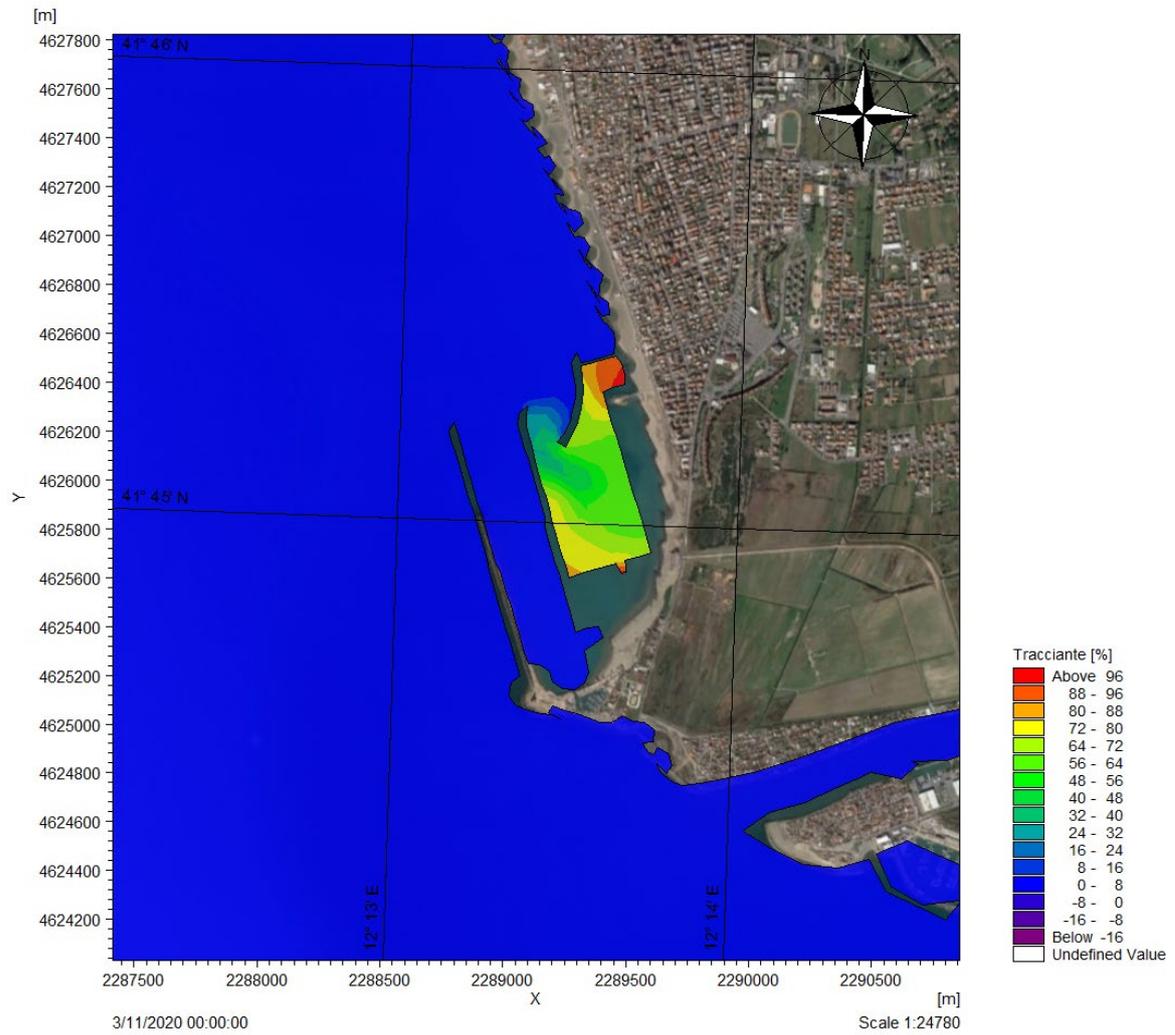
Si riportano di seguito le curve di evoluzione del tracciante nel tempo. In Figura 5.41 e Figura 5.42 sono mostrate le curve di abbattimento della percentuale di tracciante nel tempo nelle aree interessate dalla presenza del tracciante stesso alla condizione iniziale. Considerando la totalità dell'Area Diporto, al termine dei 15 giorni delle simulazioni, è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 45% e il 60%, in media il tracciante (dato il 100% nell'istante iniziale) si è abbattuto più del 45% circa (Figura 5.41). Considerando l'Ara Diporto Nord si nota che il tracciante riesce ad abbattersi quasi del 35% in 15 giorni (Figura 5.42). Le curve medie sono riportate anche in Figura 5.43 e Figura 5.44. Nel corso delle simulazioni, in base all'idrodinamica del mese di marzo, il tracciante riesce a penetrare seppur in minima parte nell'Area Crociere. In Figura 5.45 infatti si vede come in quest'area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, la percentuale aumenti quasi fino al 10% in circa 10 giorni (240 ore) per poi diminuire fino a circa l'8%. In media si ha un aumento del 6% in 15 giorni nell'intera Area Crociere, mentre del 3% nell'Area Interna ed Esterna (Figura 5.46 e Figura 5.47).



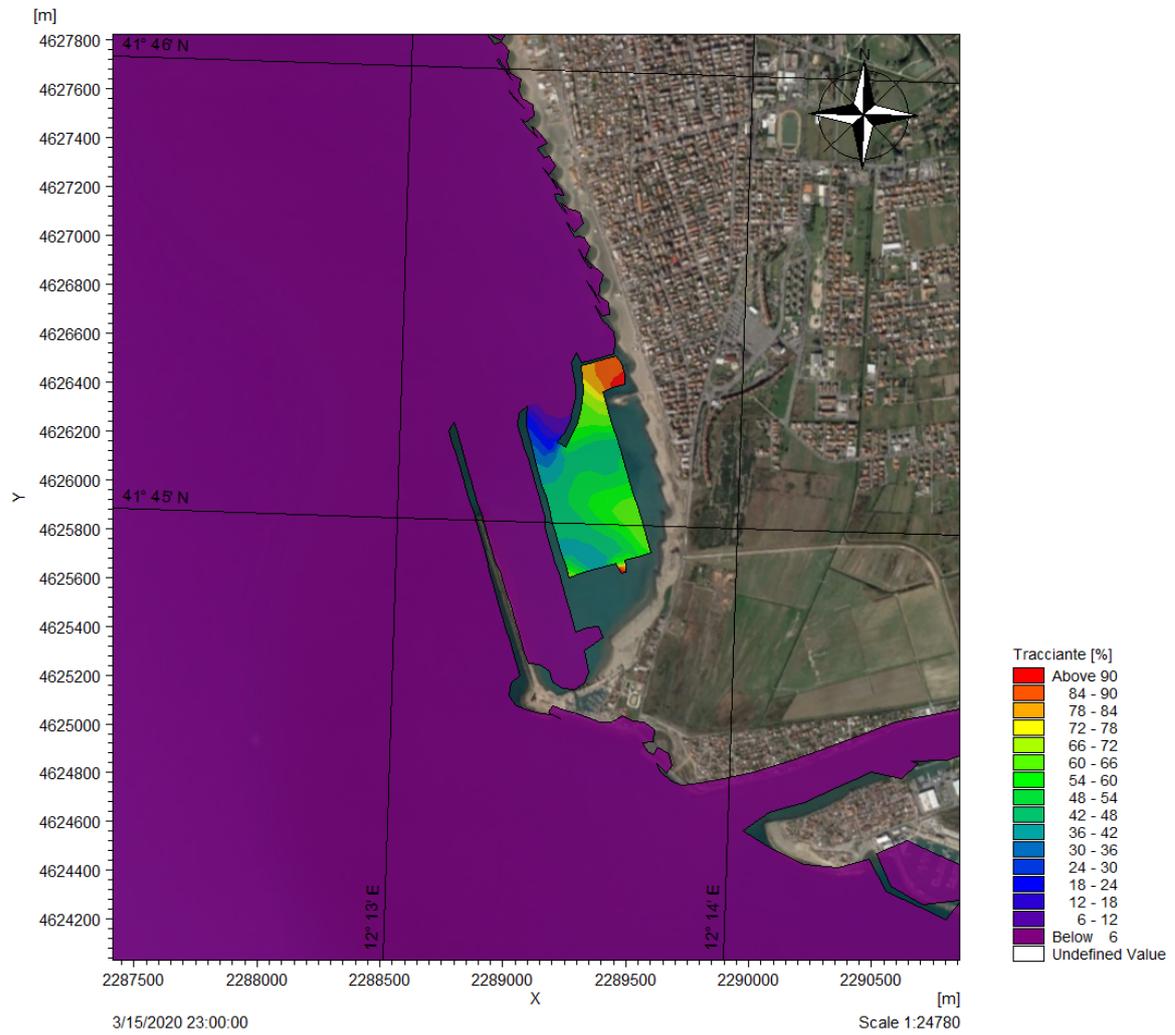
**Figura 5.37: Evoluzione del Tracciante dopo 1 Giorno**



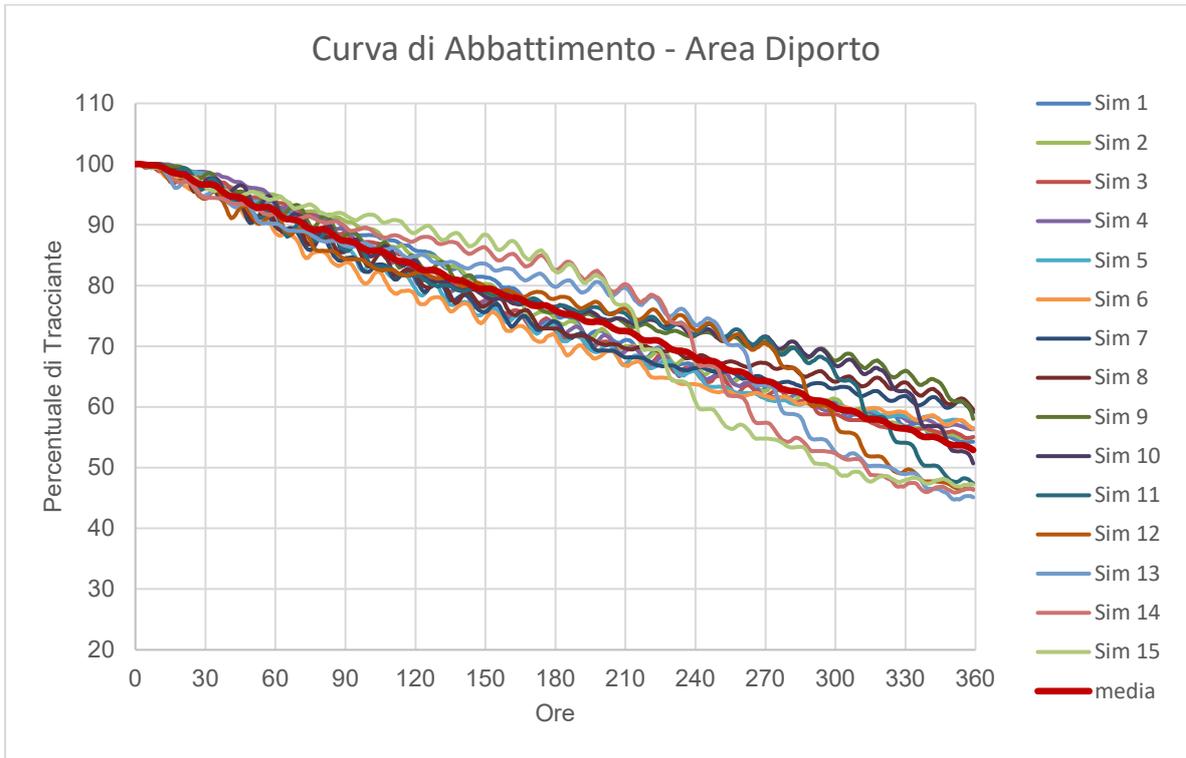
**Figura 5.38: Evoluzione del Tracciate dopo 5 Giorni**



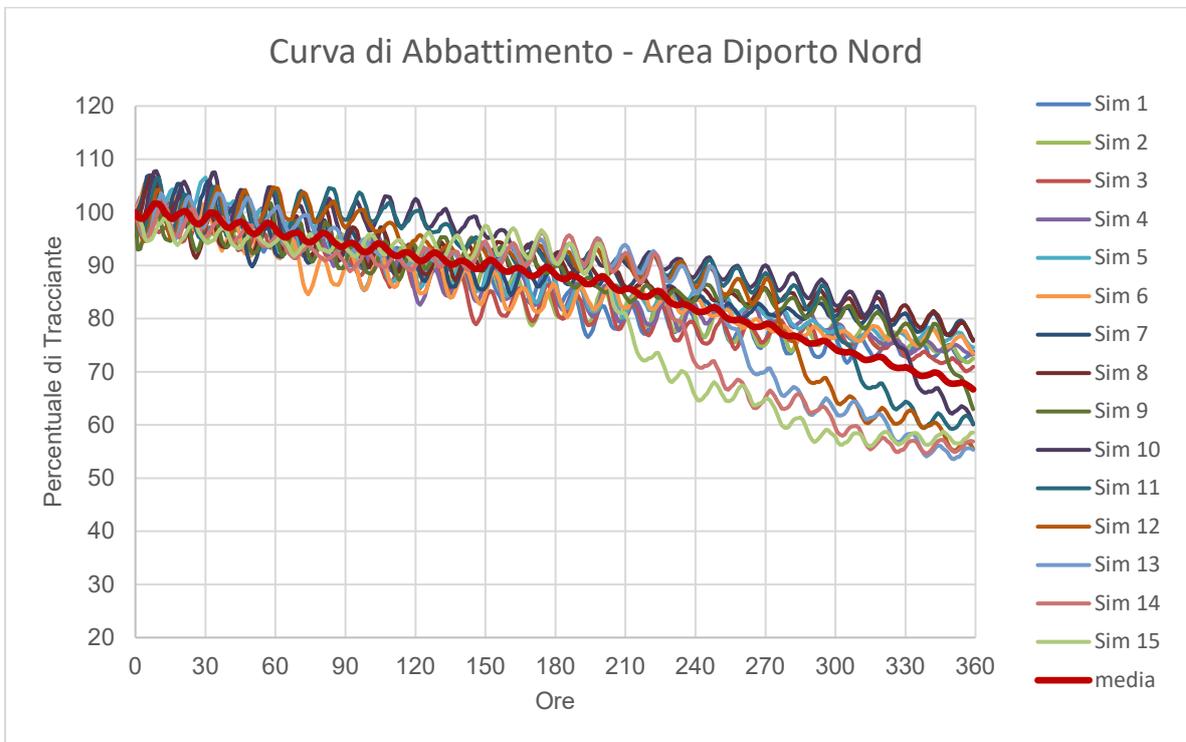
**Figura 5.39: Evoluzione del Tracciate dopo 10 Giorni**



**Figura 5.40: Evoluzione del Tracciate al Termine dei 15 Giorni**



**Figura 5.41: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Diporto**



**Figura 5.42: Curve di Abbattimento della Quantità di Tracciante – Area Diporto Nord**

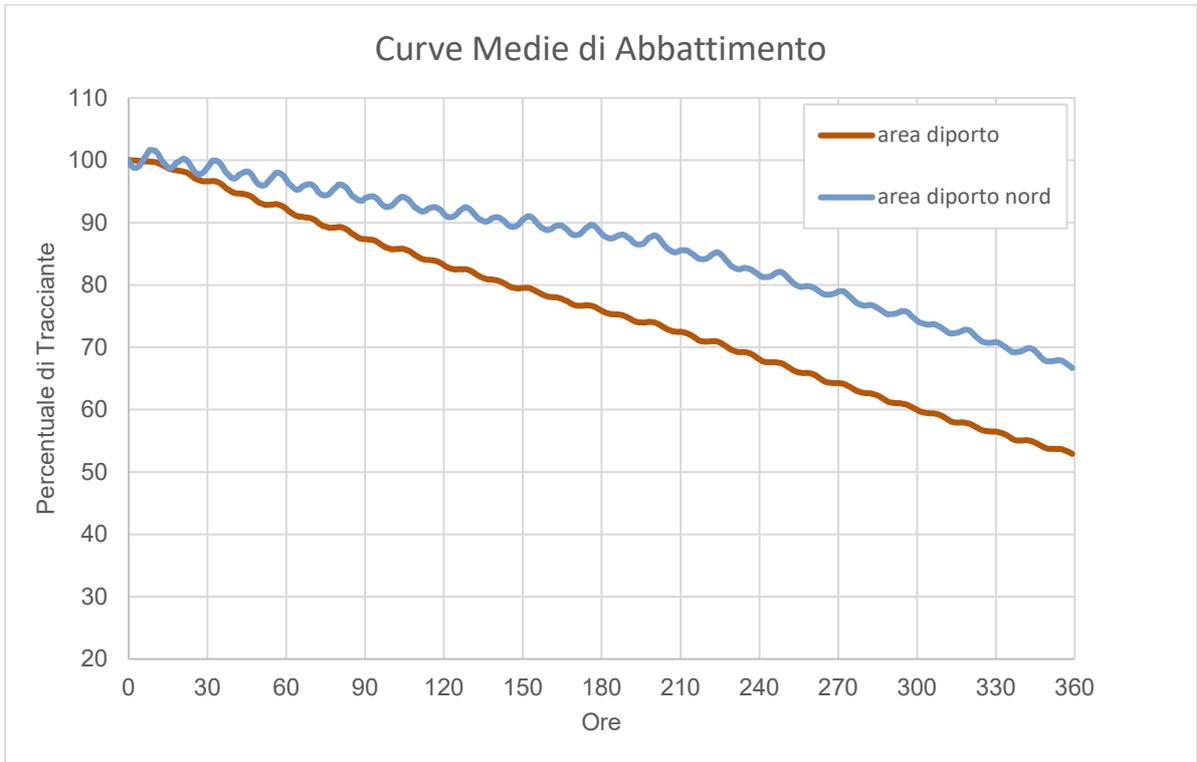


Figura 5.43: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Ore

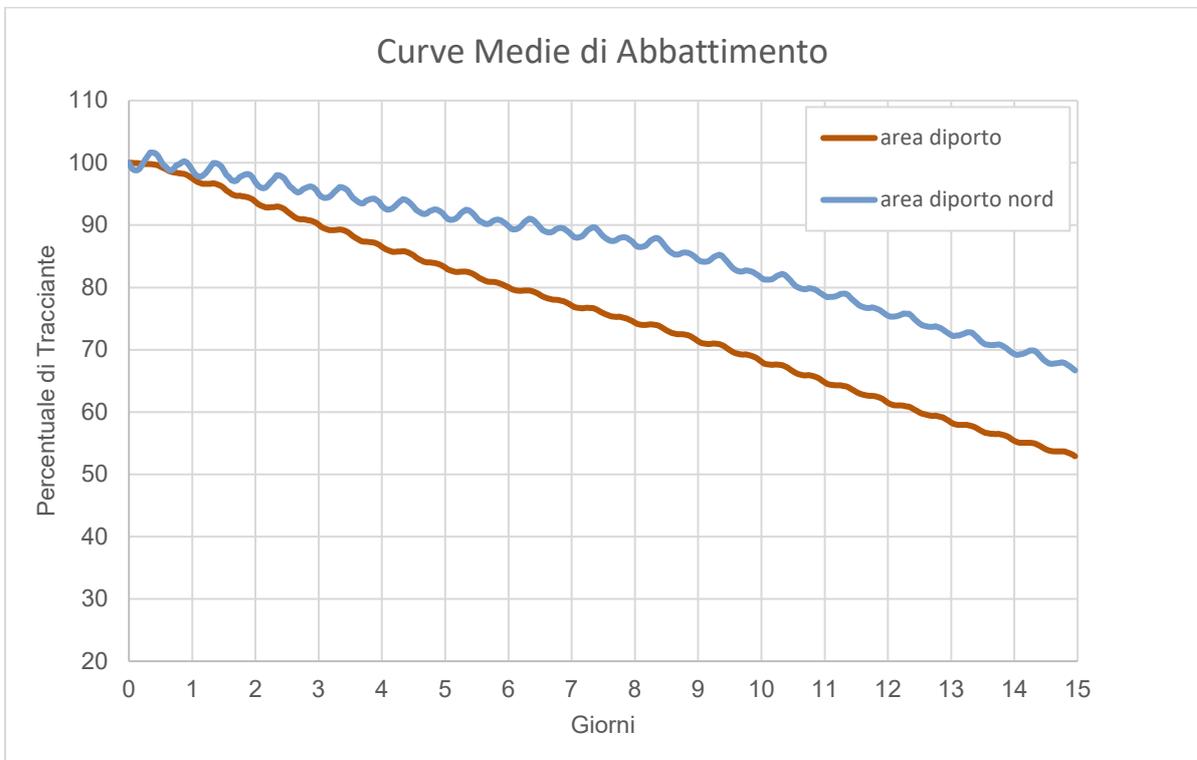
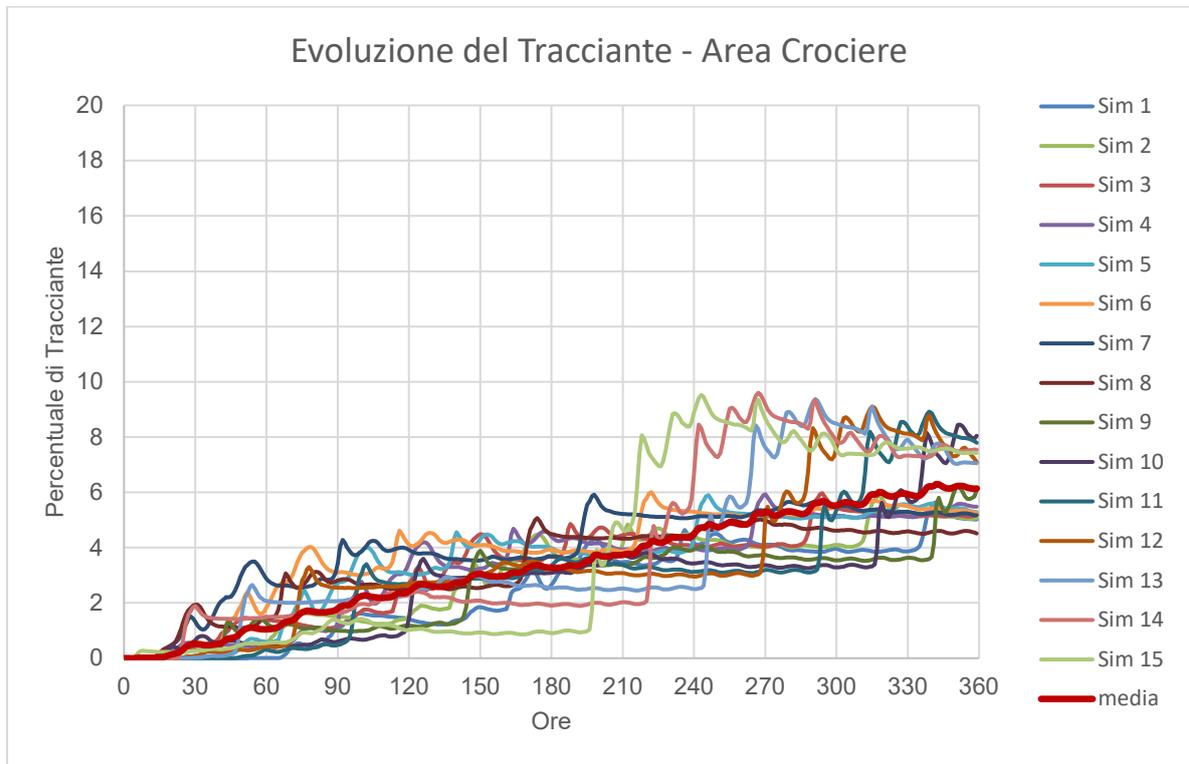
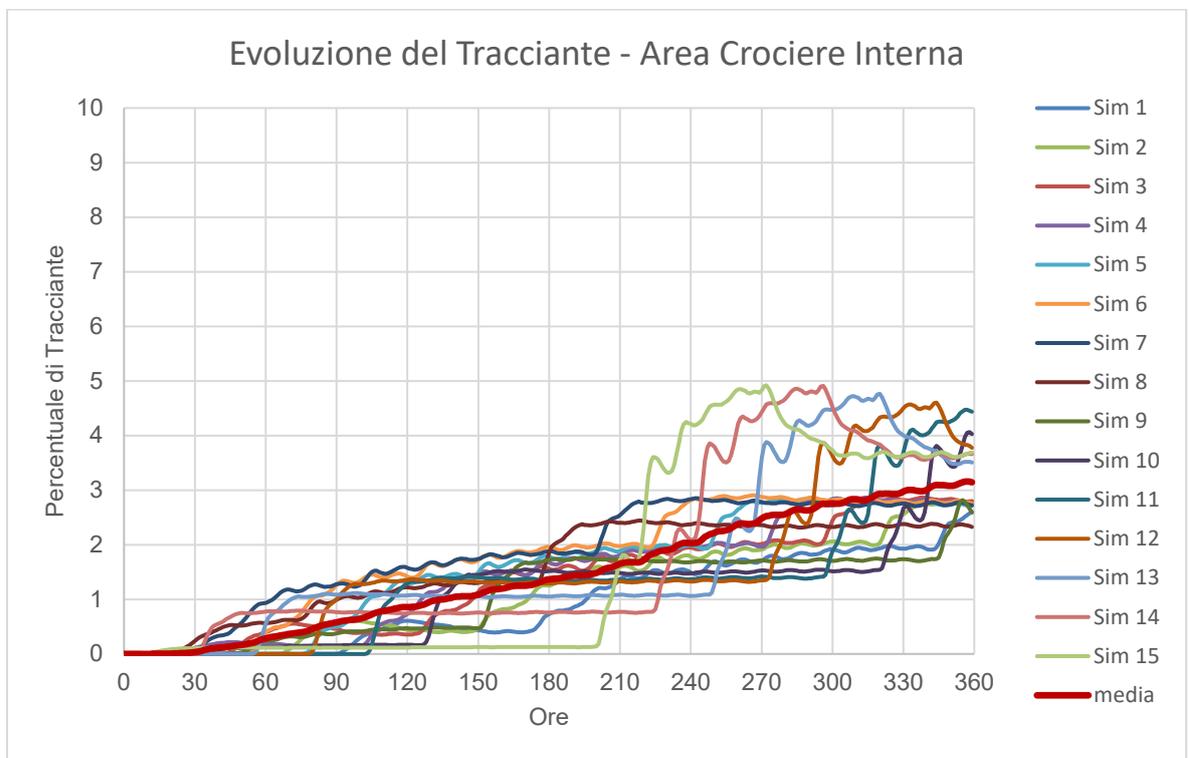


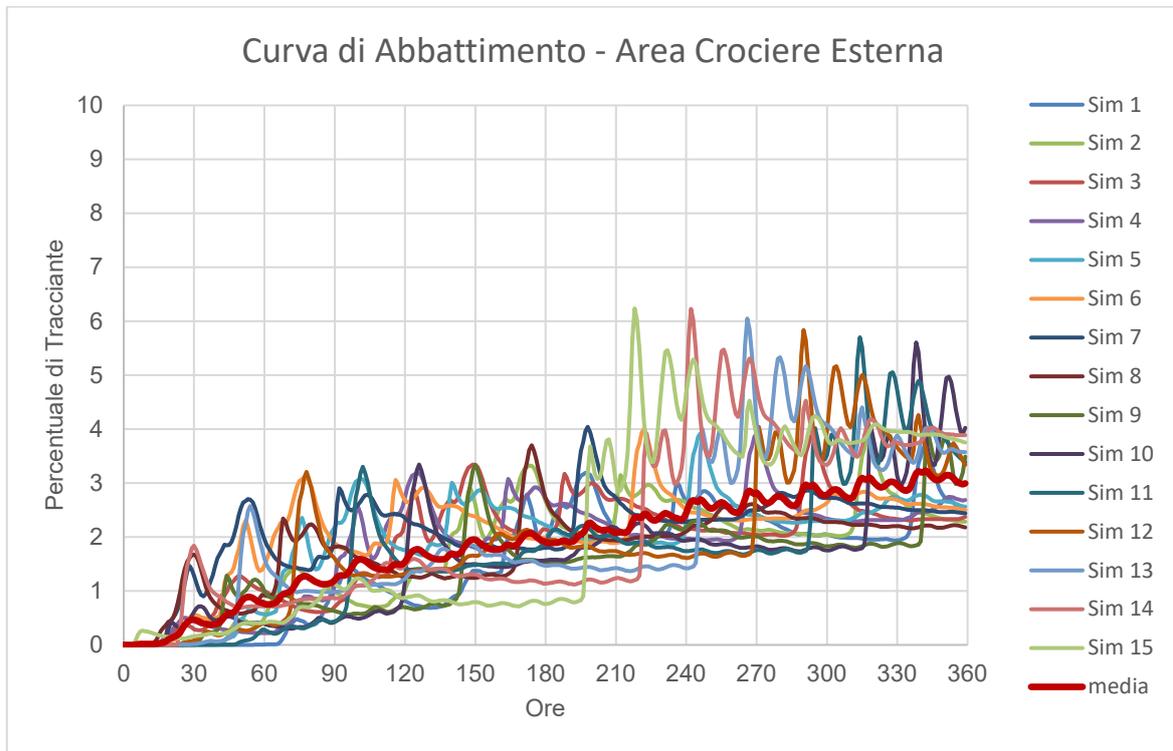
Figura 5.44: Curve Medie di Abbattimento – Tempo in Giorni



**Figura 5.45: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere**



**Figura 5.46: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Interna**



**Figura 5.47: Curve di Evoluzione della Quantità di Tracciante – Area Crociere Esterna**

## 6 CONCLUSIONI

Lo scopo principale del presente documento è quello di fornire un'indicazione del processo di ricircolo delle acque all'interno del futuro porto turistico di Fiumicino, considerato quindi nel suo layout di progetto. Tale studio ha permesso di conseguenza di valutare l'idrodinamica dell'area di interesse e all'interno del bacino portuale in condizioni cautelative, ovvero principalmente in assenza di onda e trascurando la circolazione generale. Le simulazioni idrodinamiche mensili di seguito descritte infatti sono caratterizzate dall'azione del vento e dell'oscillazione del livello marino dovuta alla marea astronomica e al sopralzo di tempesta. Successivamente, le simulazioni di trasporto del materiale hanno permesso di identificare le aree portuali maggiormente penalizzate dal campo di corrente e quelle che invece godono di un ricircolo migliore delle acque.

Per quanto riguarda l'idrodinamica dell'area di studio, essa è stata simulata considerando due condizioni climatiche distinte al fine di valutare la variabilità degli effetti dell'azione del vento e dell'oscillazione del livello del mare:

- ✓ Condizione Climatica 1, simulazione del campo idrodinamico nel mese di giugno a rappresentazione della stagione estiva che sarà certamente caratterizzata da una maggiore attività turistica;
- ✓ Condizione Climatica 2, simulazione del campo idrodinamico nel mese di marzo caratterizzato da un regime di vento più intenso.

Per la definizione delle condizioni climatiche si è fatto riferimento allo Studio Meteomarina [1]. Il modello utilizzato per le simulazioni è il DHI Mike 21/3 HD Flow Model FM (Appendice A).

Dai risultati delle simulazioni idrodinamiche si evince che:

- ✓ in generale le intensità di corrente generate dal campo di vento e dal livello idrometrico tipici della condizione estiva (in tal caso mese di giugno) si presentano dell'ordine dei cm/s. Le correnti che vengono a formarsi nella zona circostante il molo esterno della configurazione di progetto del porto sono caratterizzate da circa 0.03 m/s ad ovest del bacino e 0.01 m/s nei pressi dell'imboccatura portuale. All'interno del porto invece i valori di velocità di corrente sono inferiori di circa un ordine di grandezza;
- ✓ la corrente generata dal campo di vento e dalla variazione del livello del mare durante il mese di marzo risulta leggermente più elevata rispetto a quella ottenuta per il mese di giugno. Nell'area circostante il porto, ad ovest del bacino, le velocità di corrente arrivano anche a circa 0.25 m/s, la zona prospiciente l'imboccatura portuale è caratterizzata in generale da intensità di corrente dell'ordine dei cm/s che raggiungono il valore di circa 0.1 m/s in corrispondenza delle testate dei moli. All'interno del porto invece si hanno correnti molto simili a quelle ottenute per la condizione climatica estiva;
- ✓ le correnti caratterizzate da una maggiore intensità interessano principalmente l'esterno del porto, in particolare la zona prospiciente il molo esterno della configurazione di progetto;
- ✓ la zona più critica dell'area di studio è proprio quella interna al bacino portuale in cui si vengono a creare correnti basse, inferiori anche di due ordini di grandezza rispetto a quelle esterne al porto.

Le condizioni idrodinamiche ottenute sono state in seguito utilizzate come condizioni iniziali nel modello DHI Mike 21/3 AD (o TR) per il calcolo del trasporto di materiale. In questo caso il materiale trasportato è identificato come generico tracciante. Le simulazioni sono state svolte considerando due diverse condizioni iniziali:

- ✓ Condizione Iniziale 1, presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht;
- ✓ Condizione Iniziale 2, presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica.

Per entrambe le condizioni iniziali, e per ciascuna delle condizioni climatiche suddette, sono state svolte 15 simulazioni della durata di 15 giorni, inizializzate nei primi 15 giorni del mese (Tabella 5.1), per un totale di quattro scenari simulati e 60 simulazioni svolte:

- ✓ Scenario 1, presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di giugno;
- ✓ Scenario 2, presenza del tracciante nell'area del porto interessata da terminal crociere e yacht nel mese di marzo;
- ✓ Scenario 3, presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di giugno;
- ✓ Scenario 4, presenza del tracciante nell'area del porto dedicata alla diportistica nel mese di marzo.

Il modello di trasporto ha prodotto due tipi di output:

- ✓ Evoluzione temporale della quantità di tracciante all'interno dell'intero dominio di calcolo in formato grafico, al fine di capire come la percentuale di materiale evolve nello spazio e nel tempo a causa delle correnti;

- ✓ “Mass Budget” per ciascuna delle quattro aree, ovvero le curve di percentuale di tracciante nel tempo relative all’area di interesse, per la stima dei tempi di ricambio idrico del bacino portuale.

Di seguito è riportata una descrizione dei risultati per ciascuno scenario e per ogni area del porto considerata.

- ✓ Scenario 1;
  - Area Crociere, al termine dei 15 giorni delle simulazioni, è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 36% e il 46%, il tracciante quindi (dato il 100% nell’istante iniziale) si è abbattuto in media del 60% circa;
  - Area Crociere Esterna, il tracciante riesce ad abbattersi anche del 90% in 15 giorni, mentre in media al termine della simulazione si è abbattuto dell’80%;
  - Area Crociere Interna, la situazione è più critica ed il massimo abbattimento che si ottiene al termine dei 15 giorni è circa pari al 55%, mentre in media il tracciante si abbatte del 40%;
  - Area Diporto, quest’area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, presenta in media un aumento del 2.5% circa nel corso della prima settimana (180 ore) e poi un leggero calo della percentuale di tracciante che si assesta sul 2% nel resto del tempo di simulazione;
  - Area Diporto Nord, in base all’idrodinamica dell’area il tracciante non riesce a penetrare in grande quantità in questa zona che risulta essere interessata da un valore medio di tracciante di circa 0.2%.
- ✓ Scenario 2;
  - Area Crociere, dopo 15 giorni di simulazione, è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 18% e il 44%, il tracciante quindi (dato il 100% nell’istante iniziale) si è abbattuto in media del 70% circa;
  - Area Crociere Esterna, il tracciante riesce ad abbattersi anche quasi del 90% in 15 giorni, considerando la media dei risultati delle 15 simulazioni svolte, si evince che nell’area più esterna si ottiene un buon valore di abbattimento, il 75% circa in due settimane;
  - Area Crociere Interna, il massimo abbattimento che si ottiene al termine dei 15 giorni è circa pari all’80%, mentre in media la quantità di tracciante si abbatte poco più del 60%;
  - Area Diporto, quest’area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, presenta in media un aumento percentuale fino all’1%;
  - Area Diporto Nord, in base all’idrodinamica dell’area il tracciante non riesce a penetrare in grande quantità in questa zona che risulta essere interessata da un valore medio di tracciante di circa 0.1%.
- ✓ Scenario 3;
  - Area Diporto, al termine delle simulazioni, è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 53% e il 63%, in media il tracciante si è abbattuto del 40% circa;
  - Area Diporto Nord, mediamente il tracciante riesce ad abbattersi quasi del 30% in 15 giorni;
  - Area Crociere il tracciante riesce a penetrare seppur in minima parte, infatti si vede come in quest’area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, la percentuale aumenti fino al 5%, in media fino al 2.5%;
  - Area Crociere Esterna, mediamente la quantità di tracciante aumenta nel tempo fino all’1%;
  - Area Crociere Interna, mediamente la quantità di tracciante aumenta nel tempo fino all’1.5%.
- ✓ Scenario 4;
  - Area Diporto, dopo 15 giorni di simulazione è presente una percentuale di tracciante compresa tra il 45% e il 60%, in media il tracciante (100% nell’istante iniziale) si è abbattuto più del 45% circa;
  - Area Diporto Nord, la quantità di tracciante si abbatte al massimo del 45%, mediamente invece quasi del 35% in 15 giorni;
  - Area Crociere, il tracciante riesce a penetrare seppur in minima parte, infatti si vede come in quest’area, caratterizzata inizialmente dallo 0% di tracciante, la percentuale aumenti quasi fino al 10% in circa 10 giorni (240 ore) per poi diminuire fino a circa l’8% (Figura 5.45). In media si ha un aumento del 6 in 15 giorni;
  - Area Crociere Esterna, in media la quantità di tracciante cresce nel tempo fino a 3%;
  - Area Crociere Interna, in media la quantità di tracciante cresce nel tempo fino a 3%.

Tutte le simulazioni sono state svolte considerando la sola avvezione, ovvero lo spostamento della sostanza dovuto soltanto alla velocità media della corrente, è stata invece trascurata la dispersione. Per questo motivo e per quelli sopracitati i risultati del modello sono da considerarsi cautelativi.

## 6.1 RACCOMANDAZIONI

Dalla lettura dei risultati delle analisi si evince che le varie aree del porto individuate nello studio possono avere una risposta diversa in termini di ricircolo delle acque portuali in caso di scarico di sostanze, variabile anche a seconda del periodo dell'anno. A tal proposito, di seguito si riportano gli intervalli di tracciante residuo (%) nelle aree di interesse al termine dei 15 giorni di simulazione e delle considerazioni sulle aree stesse:

- ✓ Area Crociere: dato il 100% di tracciante nell'istante iniziale all'interno dell'area stessa, presenta un residuo di tracciante compreso tra l'8% e il 46% a seconda del mese considerato. Nel caso in cui il tracciante (100%) nell'istante iniziale venga scaricato nell'area diporto, l'Area Crociere presenta una percentuale residua nell'intervallo 0.5 – 8%.
- ✓ Area Crociere Esterna: dato il 100% di tracciante nell'intera Area Crociere, è caratterizzata da un valore di tracciante residuo variabile nell'intervallo 9 – 35%, a seconda del mese considerato. Nel caso il tracciante (100%) venga scaricato nell'area diporto, l'area esterna ha un residuo nell'intervallo 0 - 5%.
- ✓ Area Crociere Interna: dato il 100% di tracciante nell'intera Area Crociere, presenta una percentuale residua di tracciante variabile tra il 20% e il 72%, a seconda del mese considerato. Nel caso di scarico di tracciante (100% all'istante iniziale) nell'area diporto, l'area interna presenta in entrambe le condizioni climatiche un residuo compreso tra il 2.5% e il 4.5%.
- ✓ Area Diporto: dato il 100% di tracciante nell'istante iniziale all'interno dell'area stessa, è caratterizzata da una percentuale residua di tracciante variabile tra il 46% e il 63% circa, a seconda del mese considerato. Nello scenario in cui l'inquinante (100%) sia scaricato nell'area crociere, l'Area Diporto presenta un residuo variabile nell'intervallo 0.3 – 2.5% tra i mesi di giugno e marzo.
- ✓ Area Diporto Nord: dato il 100% di tracciante nell'istante iniziale all'interno dell'intera Area Diporto, è caratterizzata da una percentuale residua di tracciante variabile tra il 58% e l'80% circa, a seconda del mese considerato. Nello scenario in cui il tracciante (100%) venga scaricato nell'area crociere, l'Area Diporto Nord presenta un residuo variabile nell'intervallo 0.0 – 0.3% tra i mesi di giugno e marzo.

All'interno del futuro porto le aree più sfavorite per il ricambio idrico, in base all'idrodinamica della zona e alla geometria del layout portuale proposto, sono sicuramente l'Area Crociere Interna e l'Area Diporto Nord, ovvero quelle maggiormente protette in tutto il bacino. Una possibilità per cercare di migliorare il ricircolo delle acque e quindi la loro qualità, potrebbe essere l'immissione di portate d'acqua aggiuntive e opportunamente dimensionate, localizzate nelle due aree suddette, tenendo sempre a mente la connotazione cautelativa dei risultati presentati nello studio. Volendo modificare la circolazione che si verrebbe a creare all'interno del bacino, nell'ambito della progettazione esecutiva si potrà valutare la predisposizione di varchi attraverso le strutture di protezione del porto, considerandone la protezione al fondo per evitare potenziale erosione al piede delle strutture.

CEV02/ELDUH:eba04

## REFERENZE

[1] RINA, «Studio Meteomarino, Doc. No. P0031150-D-0-OM00-RS-REL-01\_00,» 2023.

## **Appendice A: Mike 21/3 Flow Model FM**

Il codice di calcolo Mike 21 Flow Model FM è stato sviluppato per applicazioni oceanografiche, costiere e nelle zone di estuario. Il modello si compone di diversi moduli, di cui il principale è l'Hydrodynamic Module (HD). Quest'ultimo può avere un utilizzo "stand-alone" o costituire la base computazionale per la simulazione di diversi fenomeni fisici strettamente dipendenti dagli aspetti idrodinamici.

Il modulo HD può essere accoppiato:

- ✓ Al Transport Module (TR), utilizzato per modellare l'evoluzione del trasporto di uno o più traccianti;
- ✓ Al modulo ECO Lab/Oil Spill Module, utilizzato per lo studio di propagazione di inquinanti, nel caso si vogliono simulare le reazioni delle sostanze inquinanti;
- ✓ Al Particle Tracking Module, usato per lo studio di propagazione di inquinanti, quando si voglia modellare solo il movimento delle particelle;
- ✓ Al Mud Transport Module, usato in caso di limi e argille, ad esempio per modellare i plume in prossimità delle foci fluviali;
- ✓ Al Sand Transport Module, utilizzato se il tracciante è costituito da sabbie;
- ✓ Al modulo d'onda SW per simulare la generazione di correnti litoranee di moto ondoso.

Il modulo idrodinamico (HD) permette di tenere conto dei seguenti aspetti:

- ✓ Flooding and drying (quando si debba studiare il trasporto litoraneo di sedimenti);
- ✓ Gradienti di densità;
- ✓ Attrito al fondo;
- ✓ Forza di Coriolis;
- ✓ Effetto del vento;
- ✓ Gradienti di pressione;
- ✓ Coperture di ghiaccio;
- ✓ Effetto delle maree;
- ✓ Moto ondoso (attraverso i radiation stress);
- ✓ Precipitazione/evaporazione;
- ✓ Apporti puntuali (pozzi e sorgenti).

Il modulo TR, legato dinamicamente al modulo idrodinamico, modella i processi di avvezione e dispersione dei traccianti. Questo modulo è basato sulla risoluzione numerica delle equazioni di Navier - Stokes, valide per fluidi incomprimibili e soggette all'ipotesi di Boussinesq e alla pressione idrostatica. Si riporta di seguito l'equazione di continuità per il trasporto:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z} = F_c + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_v \frac{\partial C}{\partial z} \right) - k_p C + C_s S$$

Dove  $F_c$  è il termini di diffusività orizzontale indicato da:

$$F_c = \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] C$$

Di seguito l'equazione utilizzata per la modellazione 2D, mediata sulla profondità:

$$\frac{\partial h\bar{C}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}C}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}C}{\partial y} = hF_c - hk_p \bar{C} + hC_s S$$

La discretizzazione spaziale delle equazioni è fatta con il metodo dei volumi finiti con i valori centrati sul singolo elemento (cell-centered finite volume method) che prevede la non sovrapposizione degli elementi contigui. Il

dominio di calcolo è discretizzato sul piano orizzontale attraverso una griglia non strutturata a maglie triangolari o quadrangolari. L'integrazione temporale è fatta tramite uno schema esplicito.

Per le simulazioni bisogna introdurre i seguenti dati di input relativi ad ogni componente:

- ✓ Tipo di componente;
- ✓ Formulazione scelta per il calcolo dei coefficienti di dispersione;
- ✓ Legge di decadimento;
- ✓ Condizioni iniziali;
- ✓ Condizioni al contorno.

Il modello restituisce un output in termini di evoluzione temporale della concentrazione dei componenti.