

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

CUP C39B18000060006

CIG 7690329440

RIF. PERIZIA

P.3062

TITOLO PROGETTO

NUOVA DIGA FORANEA DEL PORTO DI GENOVA AMBITO BACINO SAMPIERDARENA

TITOLO ELABORATO:

**STUDIO DEI FENOMENI DISPERSIVI E DELL'INFLUENZA
DELLE ACQUE PORTUALI SULLE COSTE**

ELABORATO N°:

MI046R-PF-D-I-R-022-00

NOME FILE:

MI046R-PF-D-I-R-022-00.docx

DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
30/4/2021	M.Del Bianco	P.De Girolamo	A.Lizzadro
REVISIONE	N°	DATA	DESCRIZIONE
	00	30/4/2021	EMISSIONE PER APPROVAZIONE

PROGETTISTI	PROGETTAZIONE
<p>Mandatario:  Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche Dott. Ing. Antonio Lizzadro</p> <p>   </p> <p>STUDIO BALLERINI INGEGNERI ASSOCIATI  ALBERTO ALBERT INGEGNERE</p>	<p></p> <p>Dott. Ing. Antonio Lizzadro</p>

D.E.C.	VERIFICATO	VALIDATO R.U.P.	IL RESP. DELL'ATTUAZIONE
Ing. Francesca Arena	RINA CHECK	Ing. Marco Vaccari	Dott. Umberto Benezzioli
.....

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE OCCIDENTALE

REALIZZAZIONE DELLA NUOVA DIGA FORANEA DEL PORTO DI GENOVA AMBITO BACINO DI SAMPIERDARENA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Studio dei fenomeni dispersivi e dell'influenza delle acque portuali sulle coste

INDICE

1. PREMESSE	3
1.1. Introduzione	3
1.2. Obiettivi e metodologia di lavoro	3
1.3. Sintesi dei risultati ottenuti	10
1.4. Contenuti dello studio	12
2. DATI BASE DI RIFERIMENTO	14
2.1. Forzanti meteomarine	14
2.2. Portate idriche del torrente Bisagno e Polcevera	16
2.3. Dati batimetrici	17
3. MODELLI NUMERICI UTILIZZATI	19
3.1. Implementazione del modello idrodinamico RMA-2	19
3.2. Implementazione del modello RMA-4	22
4. ANALISI DELLA CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA	23
5. QUALITÀ DELLE ACQUE PORTUALI: RICAMBIO IDRICO DEL PORTO E INFLUENZA SULLE COSTE ADIACENTI	27
6. ANALISI DELLA SITUAZIONE ATTUALE	30
6.1. Analisi della circolazione idrica per i diversi scenari selezionati	30
6.2. Analisi del ricambio idrico e dell'influenza sulle coste adiacenti	34
7. ANALISI DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO	42
7.1. Circolazione idrica ottenuta per i diversi scenari esaminati	42
7.2. Analisi del ricambio idrico e dell'influenza sulle coste adiacenti	43
7.3. Risultati delle simulazioni: campo idrodinamico	48
7.4. Risultati delle simulazioni: ricambio idrico	51
7.5. Risultati ottenuti: influenza sulle coste adiacenti	55

APPENDICE A: Tabelle e rose dei venti ricostruiti dal DICCA al largo di Genova

APPENDICE B: Frequenza dei venti osservati all'aeroporto di Genova

APPENDICE C: Descrizione dei modelli numerici RMA-2/RMA-4

ALLEGATO 1: Risultati del campo idrodinamico

ALLEGATO 2: Risultati del campo di concentrazione

ALLEGATO 3: Variazione della concentrazione nel tempo nei punti "target"

1. PREMESSE

1.1. Introduzione

Il presente documento è stato redatto nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica per la realizzazione della nuova diga foranea e riguarda lo studio del ricambio idrico del porto e della influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti per le tre soluzioni delle opere foranee selezionate.

Lo studio è stato condotto dalla Modimar S.r.l. ed è stato curato dagli Ingg. Giuseppe Vella, Marco Del Bianco e Giancarlo Milana, con il coordinamento tecnico-scientifico del Prof. Ing. Paolo De Girolamo e dall'Ing. Paolo Contini.

1.2. Obiettivi e metodologia di lavoro

1.2.1. Obiettivi

La finalità del presente lavoro è stata quella di valutare come le nuove opere esterne portuali previste dalla configurazione della Nuova Diga Foranea del Porto di Genova possano modificare rispetto alla situazione attuale:

- (i) la capacità di ricambio idrico naturale del porto;
- (ii) l'influenza delle stesse acque portuali sulle coste adiacenti.

Si tratta quindi non di una valutazione assoluta, ma relativa rispetto alla situazione attuale. La soluzione selezionata per le nuove opere esterne del Porto di Genova, denominata Soluzione 3, è presentata negli schemi planimetrici di Figura 1-1 dove sono distinte le due fasi realizzative a) e b).

L'analisi della qualità delle acque relativa allo stato di fatto è stata investigata nella fase conoscitiva del progetto. Per comodità di lettura si riportano in questo documento i principali risultati ottenuti.

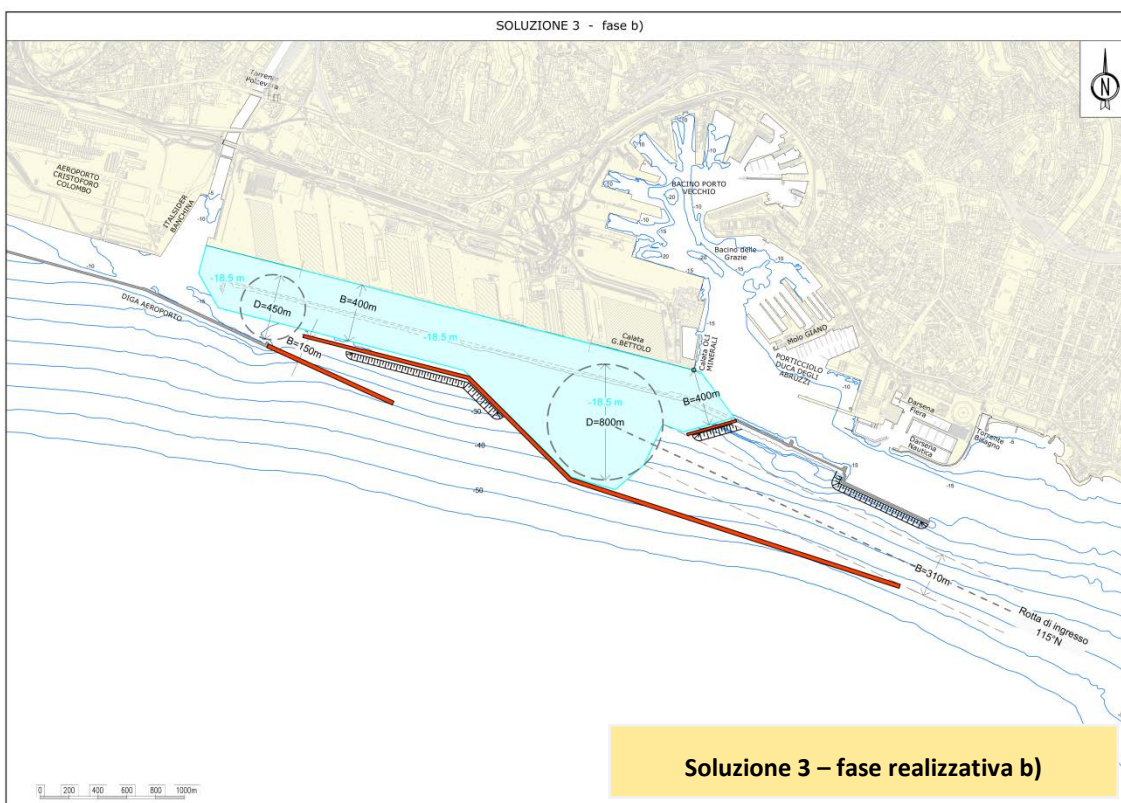
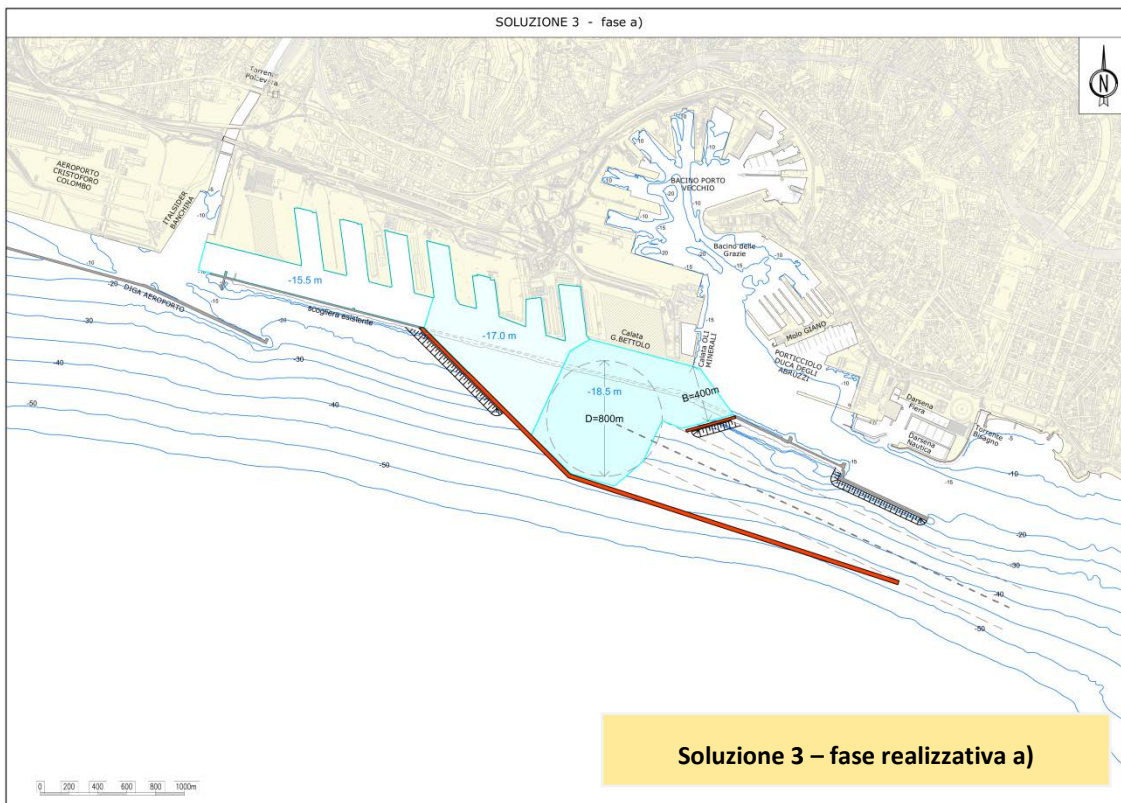


FIGURA 1-1. CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA DELLA SOLUZIONE 3. FASE REALIZZATIVA A) IN ALTO, FASE REALIZZATIVA B) IN BASSO.

1.2.2. Metodologia di lavoro

La capacità di ricambio di un bacino portuale dipende in primo luogo dalla conformazione planimetrica (geometria) del porto, inclusa la sua imboccatura, poiché attraverso di essa avvengono gli scambi idrici tra il porto e il mare aperto. Fissata la geometria del porto, il ricambio idrico dipende dalle forzanti idrodinamiche, ovvero:

- i. dalle condizioni meteomarine (maree, vento e moto ondoso) in grado di forzare la circolazione portuale;
- ii. dalla presenza di foci di corsi d'acqua, o comunque di scarichi di acque di drenaggio urbano, che si immettono all'interno del porto.

Nel caso di aree fortemente urbanizzate, come nel caso in questione, i corsi d'acqua costituiscono anche il potenziale vettore principale di possibili sostanze inquinanti che potrebbero degradare la qualità delle acque portuali e delle coste adiacenti.

La conformazione planimetrica attuale delle opere foranee del porto di Genova (vedi Figura 1-2) rientra nello schema di porto "con diga foranea principale isolata in mare e parallela alla costa". Generalmente questa tipologia di schema garantisce un buono scambio tra le acque del porto e il mare aperto (ricambio idrico) a ragione della presenza di almeno due imboccature, cosa che non avviene ad esempio per i porti dotati di una sola imboccatura, come quelli ricadenti negli schemi a "bacino" e a "moli convergenti".

La soluzione di progetto mantiene lo schema dello stato di fatto, ovvero quello della diga foranea principale isolata in mare che garantisce una doppia imboccatura portuale, per cui non ci si aspetta che dal punto di vista della qualità delle acque portuali si possano verificare sostanziali differenze rispetto allo stato attuale.

Nel Porto di Genova attualmente si immettono due corsi d'acqua a regime torrentizio (vedi Figura 1-2), ovvero il Polcevera e il Bisagno. Inoltre sono presenti tre imboccature portuali: (i) la bocca di Levante utilizzata dal naviglio maggiore, (ii) la Bocca di Ponente centrale posta in prossimità della foce del torrente Polcevera e (iii) e la Bocca Ovest posta ad Ovest della diga che protegge l'aeroporto, queste ultime utilizzate esclusivamente dal naviglio minore.



FIGURA 1-2 - INQUADRAMENTO DEL PORTO DI GENOVA E DEI PRINCIPALI PUNTI SENSIBILI AMBIENTALI.

Le analisi di ricambio idrico di un porto generalmente vengono effettuate con due obiettivi:

- i. valutare la possibilità del verificarsi di fenomeni di ristagno delle acque portuali, che potrebbero causare o accentuare fenomeni di degrado della qualità delle stesse acque;
- ii. valutare la possibilità che le acque del porto, generalmente di qualità inferiori rispetto a quelle del mare aperto, possano interessare zone da preservare dal punto di vista ambientale (praterie di posidonie, aree marine protette, zone turistico balneari, allevamenti di mitilicoltura, ecc.) poste in prossimità dello stesso porto.

Per quanto riguarda le condizioni meteomarine alle quali fare riferimento per l'esecuzione di questo tipo di studi, di solito ci si riferisce a condizioni caratterizzate da alte pressioni atmosferiche e quindi da forzanti idrodinamiche deboli che favoriscono fenomeni di ristagno delle acque portuali. Si tratta di situazioni meteorologiche che hanno una elevata frequenza di occorrenza durante i mesi estivi. In queste situazioni meteorologiche aumenta anche l'impatto delle acque portuali sulla qualità delle acque marine costiere poste in adiacenza allo stesso porto.

Per contro durante le mareggiate, ovvero in presenza di venti sostenuti e conseguente moto ondoso, la circolazione idrodinamica risulta più intensa con spiccato comportamento turbolento e quindi migliora la capacità di ricambio idrico del porto e diminuisce la concentrazione di eventuali sostanze inquinanti all'interno di esso. Pertanto aumentano anche i fenomeni di dispersione e diffusione delle sostanze inquinanti che fuoriescono dal porto e quindi diminuisce il loro impatto sulla qualità delle acque marine costiere.

Tenendo conto di questi concetti generali, per la redazione del presente studio si è operato come segue:

- i. sono stati analizzati in primo luogo i principali vettori che potenzialmente potrebbero apportare sostanze inquinanti nel Porto di Genova, riconoscendo che essi sono costituiti dal Torrente Polcevera e dal Torrente Bisagno;
- ii. sono stati esaminati gli studi eseguiti nel passato relativi a questi due corsi d'acqua con l'obiettivo di definire la correlazione tra le loro portate e il tempo di ritorno degli eventi;
- iii. sono stati individuati i "target" ambientali significativi posti nelle adiacenze del Porto di Genova dove la qualità delle acque marine costiere possa essere influenzata dalle acque portuali che fuoriescono dalle imboccature esistenti. Le aree marine protette più prossime al Porto di Genova, riportate in Figura 1-2, sono:
 - area SIC/ZSC Fondali Boccadasse - Nervi, posta ad Est del Porto ad una distanza dall'imboccatura di levante di circa 2 km;
 - area SIC Natura 2000 di Arenzano-Punta Ivrea posta a circa 10 km ad Ovest della Bocca Ovest del porto.

Utilizzando un approccio cautelativo, si è deciso di utilizzare come "target" ambientali le "pocket beaches" riportate in Figura 1-2 poste rispettivamente a Ovest (spiaggia di Voltri) e a Est (spiagge di Albaro e di Quarto dei Mille) del Porto di Genova.

- iv. Sono state analizzate le condizioni meteomarine tipiche estive di Genova che sono caratterizzate, in presenza di alte pressioni, dalle seguenti situazioni meteorologiche:
 - assenza di vento, e quindi presenza della sola marea astronomica in grado di generare la circolazione idrodinamica nel porto e al di fuori di esso;
 - presenza di marea astronomica e di vento di debole intensità (non superiore a 6 m/s) proveniente da Scirocco, non variabile nel tempo, tipico di condizioni di debole circolazione atmosferica estiva;
 - presenza di marea astronomica e di vento di debole intensità proveniente da Libeccio (non superiore a circa 4 m/s), non variabile nel tempo, tipico di condizioni di debole circolazione atmosferica estiva;

- presenza di un regime di brezze termiche che alterna durante la notte la brezza di terra, con direzione e intensità costanti, e durante il giorno la brezza di mare con rotazione oraria del vento.

Sulla base dello studio meteomarinario e dei dati anemometrici riportati in Appendice A e B, si è stimato che complessivamente queste condizioni meteorologiche si verificano per circa l' 80% del tempo durante il periodo estivo. Per quanto riguarda i venti esaminati che, come detto, sono tipici di condizioni estive, si è constatato che la loro intensità non è in grado di generare moto ondoso in grado di forzare una circolazione idrodinamica significativa e pertanto si è deciso di non tenerne conto a favore di sicurezza.

- v. Sono stati definiti i seguenti *scenari meteorologici* oggetto delle simulazioni:
- Scenario 0: presenza della sola marea astronomica;
 - Scenario 1: marea astronomica e vento uniforme nello spazio e costante nel tempo proveniente da Scirocco di intensità pari a 6 m/s;
 - Scenario 2: marea astronomica e vento uniforme nello spazio e costante nel tempo proveniente da Libeccio di intensità pari a 4 m/s;
 - Scenario 3: marea astronomica e regime dei venti variabili nello spazio e nel tempo dato dall'alternanza di una brezza di origine termica diurna (con rotazione oraria) e notturna.

Ciascuno di questi scenari meteorologici è stato combinato con un evento idrologico (precipitazione) tale da dar luogo a deflussi di piena contemporanei dei due torrenti Bisagno e Polcevera, caratterizzati da una portata al colmo con tempo di ritorno pari a due anni. Si evidenzia che i due corsi d'acqua presentano un regime torrentizio e quindi sono caratterizzati da portate medie annue molto piccole, le quali hanno una scarsa rilevanza dal punto di vista dell'idrodinamica del bacino portuale. Per tale ragione si è scelto un evento di piena con tempo di ritorno di 2 anni il quale, in ragione della sua frequenza di accadimento, è di estremo interesse per uno studio di questo tipo, presentando inoltre una elevata probabilità di verificarsi durante il periodo estivo.

La scelta della contemporaneità delle piene con tempo di ritorno di due anni dei due torrenti è giustificata dal fatto che i due corsi d'acqua sono prossimi uno all'altro e ambedue presentano un bacino idrografico di piccola estensione. Per quanto riguarda il Bisagno la portata defluente a mare è stata attribuita alla sua foce principale, localizzata subito ad Est dell'attuale imboccatura portuale di

levante in adiacenza alla zona fiera, anche se è in fase di realizzazione un suo scolmatore che porterà una quota parte delle sue portate di piena a sfociare a mare più ad Est. Questa scelta è dovuta al fatto che lo scolmatore entrerà in funzione solo per portate più elevate rispetto a quella simulata, ovvero caratterizzate da un tempo di ritorno di 5 anni.

La durata temporale di ciascuna simulazione relativa agli scenari sopra descritti e accoppiati all'evento di piena dei due torrenti è stata di 5 giorni.

Il lavoro è stato diviso in due fasi.

Nella prima fase sono stati calcolati i campi idrodinamici sia per lo scenario attuale che per quello di progetto.

Nella seconda fase, noti i campi idrodinamici, si è ipotizzato che i due corsi d'acqua immettano a mare durante gli eventi di piena (ciascuno caratterizzato da un opportuno idrogramma di piena) una sostanza (inquinante).

Seguendo un approccio estremamente cautelativo, si è quindi assunto che la ipotetica sostanza inquinante immessa a mare dalle due foci fluviali sia caratterizzata:

- da una concentrazione unitaria (100%);
- da una durata che coincide con il verificarsi dei due eventi di piena dei corsi d'acqua;
- da una legge di decadimento nel tempo nulla (soluto o marker passivo).

Sicuramente quello sopra delineato è il peggiore scenario che si possa immaginare il cui fine è solo quello di esasperare i fenomeni per poterne più facilmente valutare le differenze, rispetto alla situazione attuale, indotte dalle opere portuali. Pertanto i risultati ottenuti non devono essere valutati in senso assoluto.

I risultati delle simulazioni eseguite, espressi sottoforma di variazione della concentrazione della sostanza passiva immessa a mare dai due corsi d'acqua, sono stati posti a confronto con i risultati ottenuti nei punti di valutazione per lo stato attuale. Nello specifico per verificare la capacità di ricambio idrico del bacino portuale sono stati selezionati dei punti di osservazione ubicati in prossimità delle imboccature portuali (indicati con la lettera P) e all'interno del bacino di Sampierdarena (indicati con la lettera S). Per monitorare il possibile impatto della diffusione e dispersione del soluto passivo all'esterno dell'ambito portuale sono stati individuati alcuni target ambientali posti lungo il litorale limitrofo al porto (indicati con la lettera C).

I risultati ottenuti, confrontati con i risultati ottenuti per lo stato di fatto, hanno mostrato che non sono da attendersi sostanziali variazioni né in termini di ricambio idrico portuale, né in termini di impatto delle acque portuali sulle coste adiacenti.

Per quanto riguarda questo secondo aspetto si è peraltro osservato che gli unici scenari meteorologici che sono in grado di influire sulla qualità delle acque lungo le coste adiacenti al Porto di Genova sono costituiti dallo scenario 1 (vento da Scirocco) e dallo scenario 2 (vento da Libeccio).

Si è peraltro osservato: (i) che la costa maggiormente sensibile alla qualità delle acque portuali è quella posta ad Est del porto in quanto è localizzata in stretta adiacenza ad esso; (ii) che lo scenario meteorologico che maggiormente influenza la costa posta a Levante è quello con vento da Libeccio (Scenario 2).

Per quanto riguarda i modelli numerici impiegati, lo studio è stato effettuato utilizzando il codice Surface Water Modeling System (SMS) sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers. In particolare i campi idrodinamici sono stati calcolati con il codice RMA-2, i cui risultati sono stati successivamente utilizzati come forzanti per il modello di qualità delle acque RMA-4.

RMA-2 risolve, mediante la tecnica degli elementi finiti, le equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds integrate lungo la verticale per flussi turbolenti. RMA-4 risolve, mediante la tecnica degli elementi finiti, l'equazione di convezione e diffusione integrata lungo la verticale di una sostanza conservativa o non conservativa. Entrambi i modelli appartengono al sistema di modellazione SMS-TABS. La descrizione dei codici di calcolo e i riferimenti bibliografici sono riportati nell'Appendice C.

1.3. Sintesi dei risultati ottenuti

La valutazione della capacità di ricambio idrico del bacino portuale e dell'influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti per la Soluzione 3 è stata eseguita analizzando i possibili effetti indotti da una sostanza passiva immessa dalle foci dei torrenti Polcevera e Bisagno in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno di 2 anni in presenza di quattro scenari meteorologici tipici della stagione estiva, ovvero quando in generale si manifestano le maggiori criticità per le problematiche connesse alla qualità delle acque marine.

Le stesse valutazioni sono state eseguite per lo stato attuale del Porto di Genova allo scopo di verificare rispetto ad esso le variazioni, in termini di concentrazione del tracciante passivo immesso, nei punti di controllo interni al bacino portuale e per i "target ambientali" prescelti posti in prossimità delle aree marine costiere localizzate a levante e a ponente del porto.

Le simulazioni idrodinamiche hanno permesso di valutare quanto segue:

- i. la conformazione delle nuove opere foranee, unitamente agli interventi di approfondimento dei fondali all'interno del bacino Sampierdarena, non ostacola in modo significativo il deflusso delle portate associate agli eventi di piena del Polcevera e del Bisagno;
- ii. sia in fase a) che in fase b), l'apertura della nuova imboccatura portuale, la realizzazione dell'ampio avamporto nello specchio di mare prospiciente a Calata Bettolo e l'approfondimento dei fondali, generano una corrente di richiamo diretta verso l'interno del porto che favorisce il deflusso delle acque del Bisagno all'interno del bacino portuale trovando sbocco nel nuovo avamporto;
- iii. si osserva una netta riduzione, rispetto alla situazione attuale, delle velocità delle correnti all'interno del bacino Sampierdarena. Tale effetto risulta ancor più evidente per la fase realizzativa b) a seguito della quale, con lo spostamento della diga foranea e l'approfondimento dei fondali, si verifica un aumento significativo della sezione idraulica del bacino.

Come già accennato per valutare la capacità di ricambio idrico del bacino portuale è stata studiata, a favore di sicurezza, la diffusione e la dispersione in mare di un tracciante passivo che fuoriesce dalle foci dei due torrenti Polcevera e Bisagno con concentrazione unitaria e che non decade nel tempo.

Le simulazioni condotte con il modello RMA-4, utilizzando i campi idrodinamici ottenuti per i quattro scenari meteorologici di riferimento, hanno permesso di valutare la diffusione/dispersione del tracciante all'interno del dominio di calcolo per una finestra temporale di 5 giorni.

Al fine di valutare il ricambio idrico delle acque portuali, sono stati selezionati dei "punti di osservazione" ubicati in prossimità delle tre imboccature portuali esistenti (bocca di levante, bocca di ponente e bocca ovest) e all'interno del bacino Sampierdarena. Utilizzando un approccio simile, per valutare l'impatto delle acque portuali sulle coste adiacenti, sono stati individuati come "target ambientali" alcuni punti posti in prossimità delle spiagge di Voltri (a Ponente del Porto) e di Albaro e Quarto dei Mille (a Levante del Porto). In corrispondenza dei punti di osservazione e dei target ambientali, è stata rappresentata la variazione nel tempo della concentrazione della sostanza passiva immessa a mare dalle foci fluviali.

L'analisi dei risultati relativi al campo di concentrazione ha fornito i seguenti risultati:

- i. la realizzazione delle nuove opere foranee prevista dalla Soluzione 3, la formazione dell'ampio avamposto nello specchio di mare prospiciente alla Calata Bettolo e l'approfondimento dei fondali, determinano un significativo aumento del volume del bacino portuale. Questo comporta una generale riduzione delle velocità delle correnti e favorisce i fenomeni di diffusione dispersione all'interno del bacino di Sampierdarena e del nuovo avamposto. L'apertura di una nuova imboccatura e le dimensioni del nuovo bacino portuale consentono di ridurre comunque la concentrazione del tracciante che, al termine dei 5 giorni di simulazione, presenta valori poco elevati, con modeste variazioni rispetto allo stato attuale. Pertanto si può ritenere che il naturale ricambio idrico del bacino portuale sia garantito per tutte e tre le soluzioni selezionate;
- ii. nei "punti target" posizionati in prossimità delle spiagge di Albaro e Quarto dei Mille si osserva una riduzione generale della concentrazione rispetto allo stato attuale;
- iii. nei punti target posizionati nei pressi della spiaggia di Voltri i valori di concentrazione ottenuti per la soluzione di progetto non subiscono significative variazioni rispetto allo stato attuale.

1.4. Contenuti dello studio

Il presente rapporto è strutturato come segue. Nel Capitolo 2 sono riportati i dati di base di riferimento utilizzati per la redazione dello studio. I modelli numerici utilizzati e la loro implementazione al sito in esame è descritta nel Capitolo 3.

Nel Capitolo 4 si descrivono le condizioni al contorno implementate per il calcolo dei campi idrodinamici le quali sono costituite dalle scenari meteorologici e dagli eventi di piena del Bisagno e del Polcevera. Nel Capitolo 5 viene descritta la metodologia utilizzata per l'analisi (i) del ricambio idrico e (ii) dell'impatto delle acque portuali sulle coste adiacenti.

Nel Capitolo 6 si riporta la sintesi dei risultati ottenuti per la situazione attuale, mentre nel Capitolo 7 si riportano i risultati ottenuti per la Soluzione 3, in fase a) e in fase b) relativi alle nuove opere foranee.

Nell'Allegato 1 sono riportati per la Soluzione 3 i risultati completi del campo idrodinamico ottenuti per i 4 scenari meteorologici esaminati.

Nell'Allegato 2 sono riportati i risultati dei campi di concentrazione utilizzando le stesse modalità di rappresentazione descritte per l'Allegato 1.

Infine per eseguire il confronto quantitativo tra le varie soluzioni e quella attuale, nell'Allegato 3 si riportano i grafici ottenuti espressi in temine di variazione temporale della concentrazione per i punti di controllo posti sia all'interno che all'esterno del porto.

Per facilitare la lettura del presente documento e il confronto tra le varie configurazioni per le opere esterne portuali con la situazione attuale, nel capitolo 7 si riporta una sintesi dei risultati contenuti in Allegato e in particolare:

- per quanto riguarda il campo idrodinamico un solo istante temporale che coincide con il culmine dell'evento di piena del Polcevera che è caratterizzato dalla maggiore portata di piena;
- per il campo di concentrazione invece si riporta quello relativo all'istante temporale seguente di 10 ore l'evento di piena;
- per la variazione temporale della concentrazione si riportano solo alcuni punti significativi posti all'interno e all'esterno del porto.

2. DATI BASE DI RIFERIMENTO

2.1. Forzanti meteomarine

Per la definizione delle forzanti di tipo meteomarine (marea astronomica e vento) si è fatto riferimento ai risultati riportati nello Studio Meteomarine di progetto.

Nell'ambito del suddetto studio si sono analizzati: le variazioni di livello indotte dalla marea astronomica; i dati anemometrici relativi alle stazioni di Genova Sestri, Genova RMN-ISPRA e Genova Punta Vagno-ARPAL e quelli relativi al vento in mare ricostruiti dal DICCA dell'Università di Genova. Si riportano in allegato al presente documento alcune analisi anemometriche di tipo stagionale valide sia per il vento a largo che per quello in costa.

2.1.1. Marea astronomica

La marea astronomica nel Golfo di Genova è di tipo misto semidiurno con due alte e due basse maree, di ampiezza diversa. L'ampiezza di marea risulta contenuta, con escursioni di livello comprese mediamente tra +/- 10 cm. Durante le fasi sizigiali si ha un aumento dell'ampiezza della marea che può raggiungere occasionalmente 15 cm.

La conoscenza delle costanti armoniche consente la ricostruzione dell'oscillazione di marea nel tempo. A tal riguardo si è fatto riferimento alle costanti armoniche (ampiezza H e fase g°) fornite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare per il porto di Genova riportate in Tabella 2-1.

TABELLA 2-1. COSTANTI ARMONICHE PER IL PORTO DI GENOVA (FONTE I.I.M.M.)

PORTO	Coordinate Geografiche		Costanti armoniche H in centimetri - g in gradi										Z ₀ (m)
	Lat. °N	Lon. °E		M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₄	M _{S4}	
GENOVA	44° 24'	8° 54'	H	8.5	3.3	1.7	0.9	3.6	1.6	1.2	0.6	0.4	0.15
			g°	251	268	235	268	201	118	201	038	100	

2.1.2. Regime dei venti

I venti al largo si presentano in prevalenza dal settore di Tramontana. A questi si alternano venti provenienti da Libeccio-Mezzogiorno e da Scirocco-Levante. I venti risultano più intensi nei mesi autunnali e invernali (velocità media superiore a 7 m/s) per ridursi in primavera e in estate (velocità media 4 m/s).

Il regime dei venti in mare nella stagione estiva è più mite rispetto alle altre stagioni, i venti prevalenti provengono da Tramontana e da Libeccio-Mezzogiorno.

I venti sottocosta risentono dei rilievi dell'Appennino, dell'instaurarsi di un regime di brezze di terra e di mare, ma anche della presenza degli edifici e delle infrastrutture della città.

I venti osservati dalla stazione meteo dell'aeroporto Genova-Sestri provengono in maggior misura dal primo e dal secondo quadrante, con velocità comprese in genere tra 2 e 6 m/s. In estate il regime di venti è contraddistinto da venti moderati, che si presentano in prevalenza da grecale, scirocco e libeccio. Solo occasionalmente viene superata la velocità di 6,0 m/s (frequenza di superamento pari al 10%).

In Figura 2-1 sono riportati i diagrammi di distribuzione direzionale di riferimento per i venti estivi. Il regime dei venti al largo è stato definito sulla base dei dati ricostruiti dal DICCA al largo di Genova, per il regime dei venti in costa si è fatto riferimento ai dati registrati dalla stazione anemometrica dell'aeroporto di Genova.

In appendice A sono riportate le tabelle e le rose di distribuzione dei venti ricostruiti dal DICCA al largo di Genova. In appendice B sono riportate le frequenze di superamento dei venti registrati all'aeroporto di Genova.

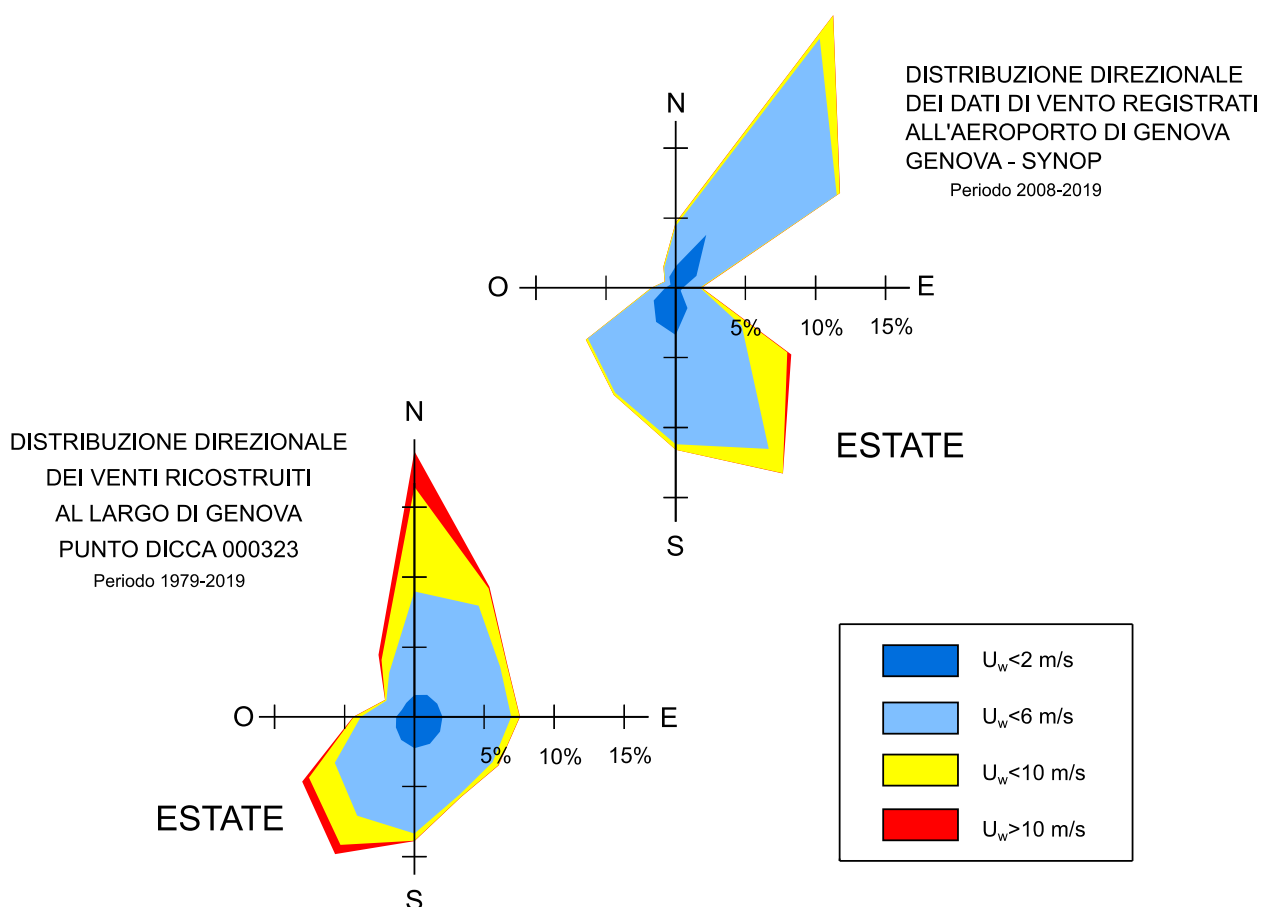


FIGURA 2-1. DISTRIBUZIONE DIREZIONALE NELLA STAGIONE ESTIVA DEI VENTI AL LARGO DI GENOVA (DICCA POINT 000323) E IN COSTA (GENOVA - SESTRI SYNOP).

2.2. Portate idriche del torrente Bisagno e Polcevera

Il porto di Genova è caratterizzato dalla presenza dello sbocco a mare dei torrenti Polcevera e Bisagno. Le foci di entrambi i corsi d'acqua sono contraddistinte da manufatti arginali di sbocco a mare. In Figura 2-2 è riportato uno stralcio aerofotografico dello sbocco a mare dei due torrenti.

Il torrente Polcevera ha un bacino idrografico di circa 138 km² e la sua foce si colloca all'interno del porto di Genova in prossimità della Bocca di Ponente.

Il torrente Bisagno ha un bacino idrografico di circa 92 km². Lungo il suo percorso, fortemente antropizzato, raccoglie le acque di diversi corsi d'acqua minori. L'opera di sbocco a mare è ubicata in corrispondenza dell'imboccatura di Levante in adiacenza al molo sopraflutto del porto turistico di Genova dove si svolge la fiera.



FIGURA 2-2 – OPERE DI FOCE DEI TORRENTI POLCEVERA (SINISTRA) E BISAGNO (DESTRA)

Al fine di rappresentare un evento di piena frequente, sono stati definiti degli idrogrammi sintetici di piena utilizzando una portata al colmo con tempo di ritorno T_r pari a due anni ($T_r = 2$ anni).

Per la definizione delle portate di piena del torrente Bisagno si è fatto riferimento al “Piano di bacino del torrente Bisagno - Idrologia” redatto dall’Autorità di bacino della regione Liguria.

Per le portate di piena del torrente Polcevera si è fatto riferimento al “Piano di bacino del torrente Polcevera” nonché allo “Studio idrologico del bacino del torrente Polcevera” (2019), redatto nell’ambito del Progetto Esecutivo delle opere di costruzione necessarie al ripristino strutturale e funzionale del Viadotto sul Torrente Polcevera.

TABELLA 2-2. VALORI DI PORTATA AL COLMO ALLA FOCE PER I TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO PER DIFFERENTI TEMPI DI RITORNO

Tempo di ritorno (anni)	Torrente Polcevera Q (m ³ /s)	Torrente Bisagno Q (m ³ /s)
2	340	175
5	749	300
10	939	416
30	1239	650
50	1379	790
100	1569	1018
200	1758	1301

2.3. Dati batimetrici

Per la generazione della griglia di calcolo dei modelli numerici sono state utilizzate diverse fonti di dati come di seguito indicato.

Per la definizione della batimetria esterna al porto di Genova si è fatto riferimento a:

- Database EMODnet che fornisce un modello digitale dei fondali dei mari europei (DTM) generato da rilievi batimetrici e rilevazioni satellitari;
- Carte nautiche edite dall'Istituto Idrografico della Marina: n°106 (scala 1:30.000) del 2006, n°55 - Porto di Genova (scala 1:10.000) del 2005, n°54 - Voltri Aeroporto (scala 1:10.000) del 2005;

Per la definizione della batimetria interna al porto è stata utilizzata la base cartografica comprensiva delle linee batimetriche fornita dall'Autorità di Sistema Portuale.

I suddetti dati sono stati integrati con le informazioni batimetriche provenienti dalla recente campagna rilievi condotta da SOCOTEC ITALIA S.r.l. (2019) eseguita per conto dell'RTP nell'ambito del presente incarico che ha riguardato lo specchio acqueo prospiciente alla diga foranea.

In Figura 2-3 è rappresentata la planimetria dell'area in esame dove sono indicate le diverse sorgenti di dati batimetrici utilizzate per costruire la batimetria complessiva della zona oggetto delle simulazioni.

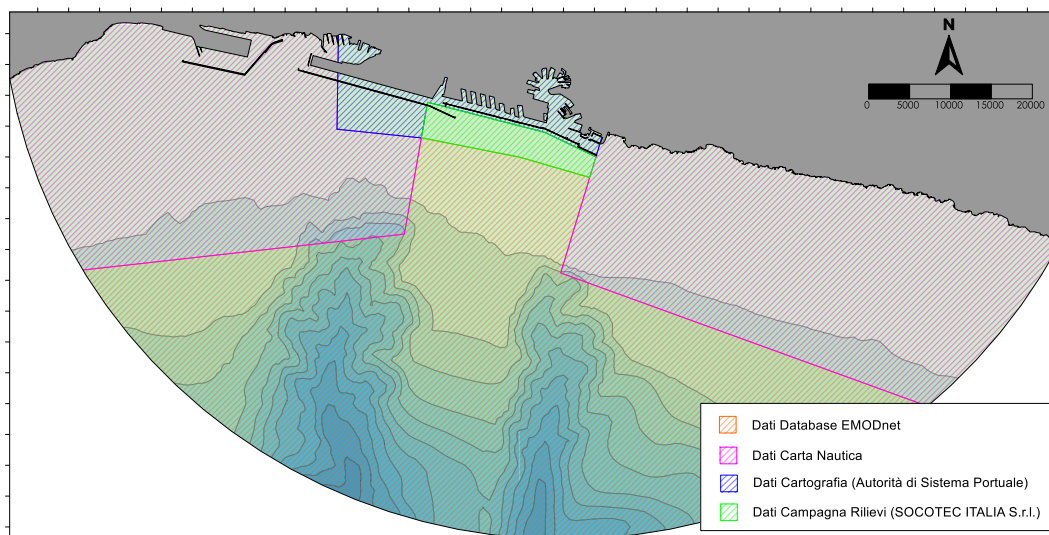


FIGURA 2-3. BATIMETRIA DI RIFERIMENTO CON INDICAZIONE DELLA FONTE DEI DATI.

Le simulazioni per lo scenario di intervento sono state condotte considerando anche i necessari interventi di dragaggio previsti in futuro per adeguare le profondità degli specchi acquei all'interno del bacino portuale alle nuove esigenze operative dettate dalla nave di progetto.

Nello specifico, con riferimento agli schemi planimetrici riportati nel precedente Capitolo, a seguito della la fase costruttiva a) sono state previste le seguenti profondità di progetto:

- lungo il canale d'accesso: -20 m s.l.m.m.;
- all'interno dell'avamposto: -18.5 m s.l.m.m.;
- nella parte a levante del bacino Sampierdarena: -17 m s.l.m.m.;
- nella parte a ponente del bacino Sampierdarena: -15.5 m s.l.m.m..

Per la fase costruttiva b), a seguito dello spostamento della diga foranea verso mare, è stato previsto un ulteriore approfondimento alla quota di -18.5 m s.l.m.m. dell'intero specchio acqueo del bacino di Sampierdarena.

3. MODELLI NUMERICI UTILIZZATI

Lo studio è stato effettuato utilizzando il codice Surface Water Modeling System (SMS) sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers. In particolare i campi idrodinamici sono stati calcolati con il codice RMA-2, i cui risultati sono stati successivamente utilizzati come forzanti per il modello di qualità delle acque RMA-4.

RMA-2 risolve, mediante la tecnica degli elementi finiti, le equazioni di Navier-Stokes, mediate alla Reynolds, integrate lungo la verticale per flussi turbolenti a superficie libera. RMA-4 risolve, sempre mediante la tecnica degli elementi finiti, l'equazione di convezione e diffusione integrata lungo la verticale di una sostanza conservativa o non conservativa. Entrambi i modelli appartengono al sistema di modellazione SMS-TABS. La descrizione dei codici di calcolo e i riferimenti bibliografici sono riportati nell'Appendice C.

Per lo studio della qualità delle acque è stata utilizzato un tracciante passivo immesso con concentrazione unitaria in corrispondenza delle foci fluviali del Polcevera e del Bisagno durante un evento di piena contemporaneo caratterizzato da un tempo di ritorno di due anni.

Si sottolinea che la scelta di utilizzare un marker passivo, quindi caratterizzato dall'assenza di una legge di decadimento naturale è da considerarsi cautelativa in quanto rappresenta la condizione più sfavorevole ai fini della valutazione del ricambio idrico e del possibile impatto sui "target ambientali".

3.1. Implementazione del modello idrodinamico RMA-2

Le equazioni idrodinamiche sono risolte mediante la tecnica numerica degli elementi finiti utilizzando uno schema implicito nel tempo. Gli elementi che discretizzano il dominio di calcolo possono essere di forma triangolare e quadrilatera in modo tale da poter seguire contorni (costituiti dalla costa e da opere marittime) di forma irregolare incluse le foci fluviali, in corrispondenza delle quali può essere immessa una portata variabile nel tempo.

Le forzanti esterne possono essere di diversa natura. Nel caso in esame sono state simulate: i) la variazione di livello dovuta alla marea astronomica, ii) l'azione del vento sulla superficie libera, iii) le portate in ingresso dalle foci torrenti Polcevera e Bisagno.

3.1.1. Definizione del dominio di calcolo

Il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni è rappresentato in Figura 3-1 e si estende lungo il litorale ligure per circa 35 km, da Arenzano a Recco. Il contorno lato

mare del dominio di calcolo, di forma semicircolare, delimita un'area di superficie pari a circa 350 km².

Per l'applicazione del modello di calcolo idrodinamico è risultato necessario effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del dominio (“*mesh*”), considerando la reale batimetria interna ed esterna al porto, la conformazione delle opere portuali e della linea di costa. A scopo esemplificativo si riporta in Figura 3-2 la *mesh* di calcolo utilizzata per le simulazioni dello stato attuale.

Nella procedura di elaborazione della griglia di calcolo la dimensione degli elementi è stata condizionata imponendo lungo i contorni un passo di discretizzazione pari a: 40 m nella zona di interesse in prossimità delle 2 foci; 50 m in tutto l'ambito portuale e nei tratti di costa limitrofi alle foci; 100 m lungo i tratti di costa più esterni del dominio e 1000 m lungo il contorno lato mare del dominio. Di conseguenza la dimensione minima dei quadrilateri nell'area di interesse pari a 40 m × 40 m=1600 m². Complessivamente il dominio di calcolo è costituito da circa 19500 elementi (in maggior misura quadrilateri) per un numero totale di nodi pari circa a 57900.

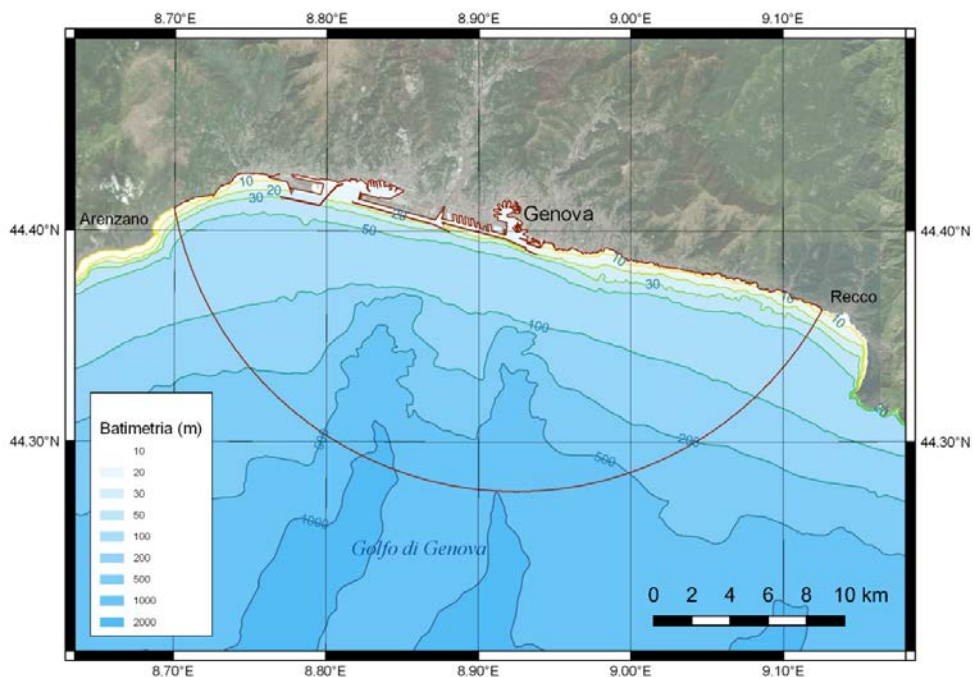


FIGURA 3-1. ESTENSIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO UTILIZZATO PER LE SIMULAZIONI.

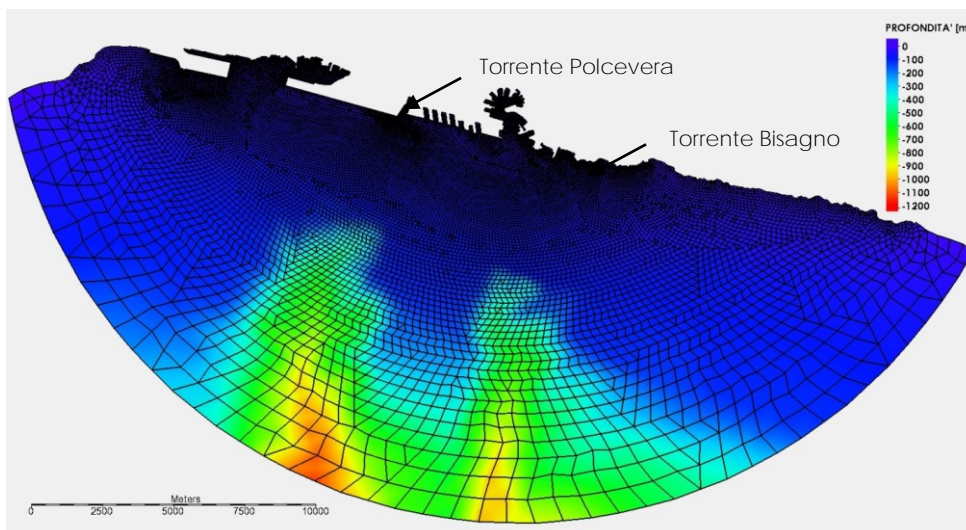


FIGURA 3-2 - BATIMETRIA DI RIFERIMENTO ALL'INTERNO DEL DOMINIO FLUIDO DI CALCOLO E RELATIVA GRIGLIA DI CALCOLO UTILIZZATA.

3.1.2. Definizione delle condizioni al contorno

Per le simulazioni dei differenti scenari, sono state utilizzate le seguenti condizioni contorno:

- variazioni della superficie libera indotta dalla marea astronomica, imposta lungo il contorno lato mare del modello;
- portata fluviale in ingresso, imposta in corrispondenza delle foci dei torrenti Polcevera e Bisagno,
- flusso nullo lungo i contorni rappresentativi della linea di costa e delle opere portuali.

Per la marea astronomica si è utilizzata un'oscillazione dei livelli rappresentativa di una fase sizigiale di media ampiezza, definita sulla base delle costituenti armoniche fornite per il Porto di Genova dall'Istituto Idrografico della Marina.

In Figura 3-3 è riportato, a titolo esemplificativo, un estratto dell'oscillazione di marea applicata al contorno del modello numerico avente durata pari a 48 ore.

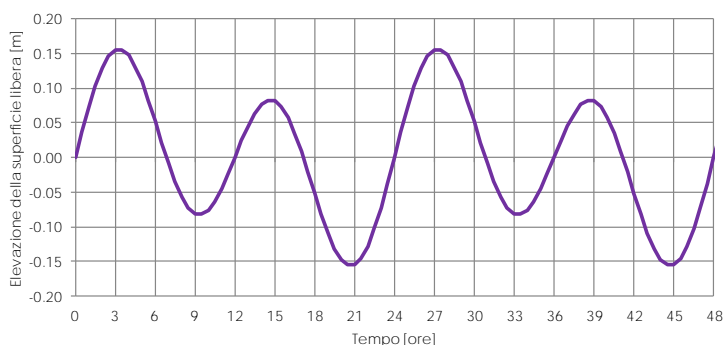


FIGURA 3-3. OSCILLAZIONE DI MAREA APPLICATA LUNGO IL CONTORNO LATO MARE

Per simulare la portata idrica in ingresso dei corsi d'acqua sono stati applicati gli idrogrammi sintetici di piena riportati in Figura 3-4, associati ad eventi con tempo di ritorno di 2 anni, che raggiungono al colmo una portata di 340 m³/s per il Polcevera e una portata al colmo di 175 m³/s per il Bisagno.

Si osserva che in ambedue gli idrogrammi si è assunto il permanere per circa un'ora della portata massima al colmo dell'evento di piena e che la durata degli eventi sia di circa 11 ore per il Bisagno e di circa 14 ore per il Polcevera.

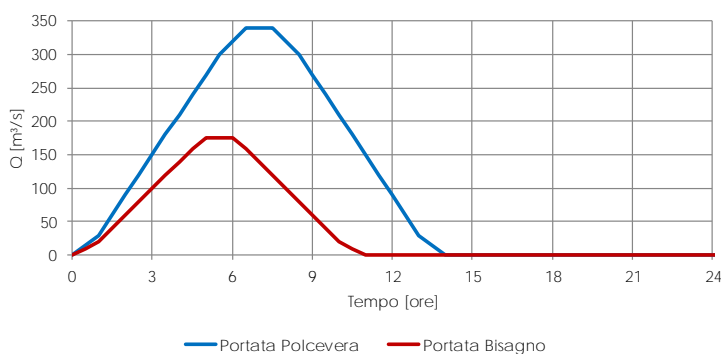


FIGURA 3-4. IDROGRAMMI SINTETICI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 2 ANNI, PER I TORRENTI POLCEVERA (ROSSO) E BISAGNO (BLU).

3.1.3. Parametri di calcolo

Le simulazioni idrodinamiche sono state estese ad una finestra temporale complessiva di 120 ore (corrispondenti a 5 gg) con un passo temporale di 30 minuti.

Al fondale marino è stato assegnato un coefficiente di scabrezza di Manning uniforme pari a $n=0,025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, mentre per la chiusura della turbolenza idrodinamica (eddy-viscosity E [Pa.s]) è stato adottato un metodo di calcolo che, fissato il valore del numero adimensionale P di Peclet, consente al modello RMA-2 di determinare il valore di E ad ogni iterazione, basandosi sulle dimensioni caratteristiche e le velocità ottenute all'interno di ogni singolo elemento.

Le simulazioni sono state condotte assumendo un valore di $P=15$ (il valore di P suggerito per l'applicazione del modello RMA-2 è compreso tra 15 e 40).

3.2. Implementazione del modello RMA-4

Le simulazioni condotte con il modello RMA-4 utilizzano lo dominio di calcolo e la stessa griglia di calcolo implementata per le simulazioni idrodinamiche condotte con il modello RMA-2.

Le simulazioni di dispersione/diffusione hanno riguardato una finestra temporale di 120 ore (corrispondenti a 5 gg) con un passo temporale di 30 minuti utilizzando come

forzante idrodinamica i campi di velocità ottenuti per i diversi scenari con il modello RMA-2.

È stato inserito nel modello un costituente passivo che non decade nel tempo avente concentrazione iniziale nulla in tutto il dominio di calcolo.

Le condizioni al contorno sono state applicate in corrispondenza della foce dei torrenti Polcevera e Bisagno applicando una concentrazione costante pari al 100%. Tale condizione impone che il volume in ingresso ad un certo istante di calcolo abbia una concentrazione del tracciante pari al 100%.

4. ANALISI DELLA CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA

Le simulazioni idrodinamiche sono state eseguite per valutare il campo di circolazione rispetto ad una finestra temporale complessiva di 120 ore (5 gg) nell'ambito della quale si verificano gli eventi di piena contemporanei dei due torrenti (Polcevera e Bisagno) in presenza di condizioni meteorologiche differenti costituite da 4 scenari.

Gli eventi di piena considerati hanno un tempo di ritorno di 2 anni.

Dal punto di vista meteorologico nello Scenario 0 si è assunta l'assenza di vento e la presenza di una marea astronomica di media entità, che si verifica in prossimità di una fase di sizigia. Si tratta di uno scenario molto frequente nel periodo estivo che presenta, in termini di assenza di vento (ovvero vento inferiore a circa 2 m/s), una frequenza di accadimento pari a circa il 20% del tempo.

Nello Scenario 1, in aggiunta alla marea astronomica, si è presa in esame la presenza di un vento proveniente da Scirocco di intensità pari a 6 m/s uniforme sull'area e costante dopo una fase di crescita di 12 ore, per 48 ore. A questo scenario si può attribuire sempre nel periodo estivo una frequenza di accadimento pari a circa il 25% del tempo, dove la frequenza è valutata sempre rispetto al vento.

Nello Scenario 2, in aggiunta alla marea astronomica, si è presa in esame la presenza di un vento proveniente da Libeccio avente una intensità di 4 m/s uniforme sull'area e costante per 72 ore, a seguito di una fase di crescita di 12 ore. A questo scenario si può attribuire, sempre nel periodo estivo, una frequenza di accadimento pari a circa 18% del tempo, dove la frequenza è valutata sempre rispetto al vento.

Infine nello Scenario 3 in aggiunta alla marea astronomica si è presa in esame la presenza di un vento termico variabile tra il giorno e la notte alternando una brezza di terra di intensità di 2 m/s ad una brezza di mare di intensità di 6 m/s. A questo scenario si può attribuire, in relazione al vento nel periodo estivo, una frequenza di accadimento pari a circa il 15% del tempo.

Complessivamente quindi i quattro scenari meteorologici esaminati descrivono l'80% delle condizioni meteomarine che si verificano nel periodo estivo.

Si riporta di seguito la sintesi degli scenari presi in esame.

Nei diagrammi di Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3 e Figura 4-4 sono rappresentati i diagrammi che mostrano le variazioni nel tempo delle forzanti idrodinamiche dovute alle portate fluviali e all'azione del vento per i quattro scenari analizzati.

SCENARIO 0 (marea astronomica)

- marea astronomica
- portate di piena con $T_r=2$ anni: Polcevera 340 m³/s, Bisagno (175 m³/s)

SCENARIO 1 (Scirocco)

- marea astronomica
- portate di piena con $T_r=2$ anni: Polcevera 340 m³/s, Bisagno (175 m³/s)
- vento di Scirocco (135 °N) con velocità di 6 m/s e durata 48 ore;

SCENARIO 2 (Libeccio/Mezzogiorno)

- marea astronomica
- portate di piena con $T_r=2$ anni: Polcevera 340 m³/s, Bisagno (175 m³/s)
- vento di Libeccio (225 °N) con velocità di 4 m/s e durata 72 ore;

SCENARIO 3 (Brezza estiva)

- marea astronomica
- portate di piena con $T_r=2$ anni: Polcevera 340 m³/s, Bisagno (175 m³/s)
- regime di brezza estiva rappresentato da un'alternanza di venti da terra durante le ore notturne, provenienti da NordEst (45°N) di velocità 2 m/s, e di venti da Mezzogiorno-Libeccio (225 °N) durante le ore diurne di velocità 6 m/s.

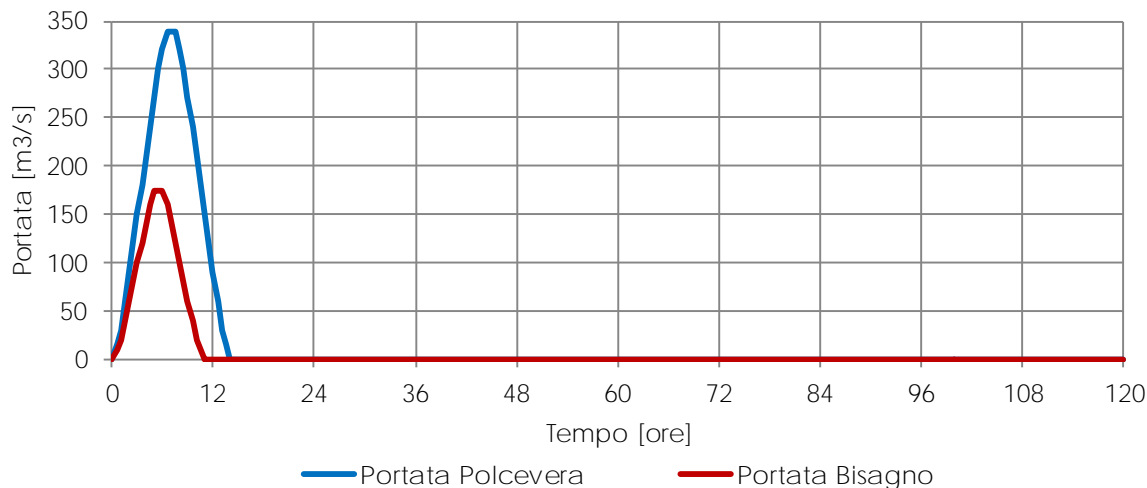


FIGURA 4-1. CONDIZIONI DI PORTATA PER LO SCENARIO 0.

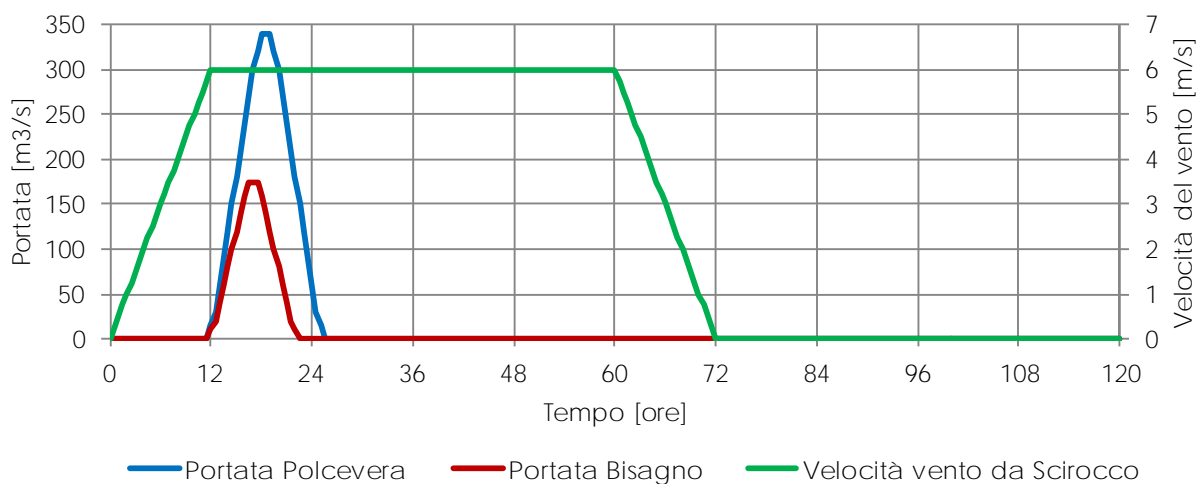


FIGURA 4-2. CONDIZIONI DI PORTATA E VENTO PER LO SCENARIO 1

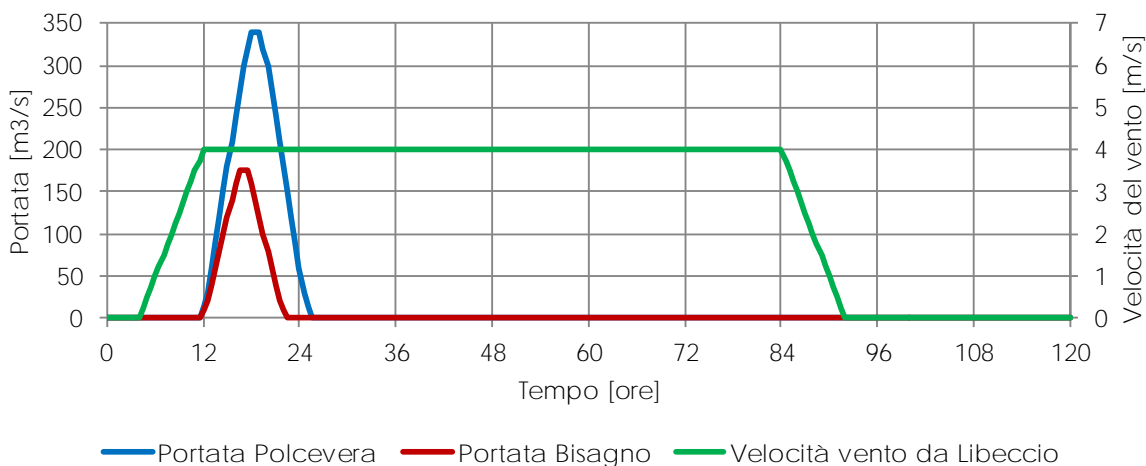


FIGURA 4-3. CONDIZIONI DI PORTATA E VENTO PER LO SCENARIO 2

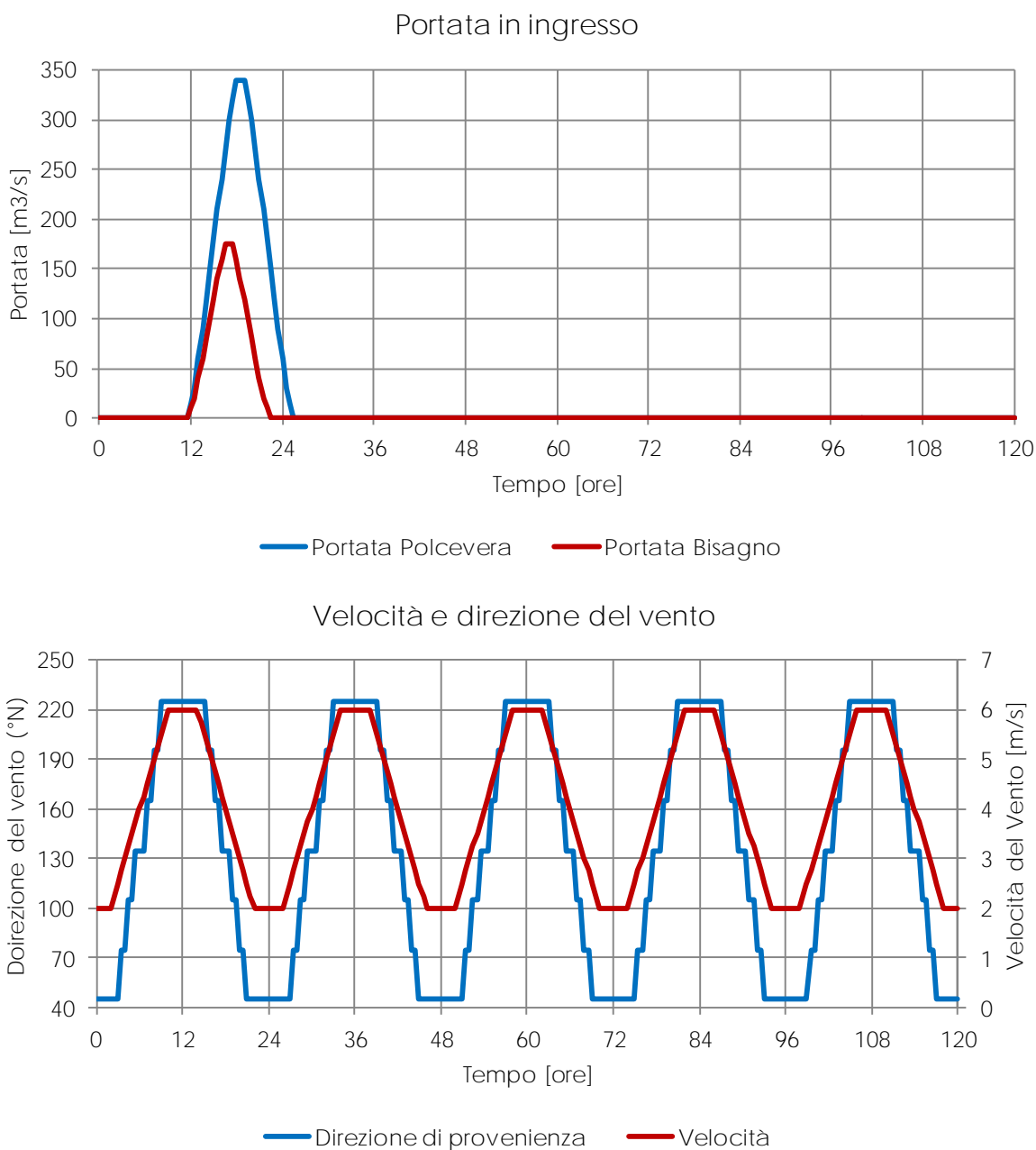


FIGURA 4-4. CONDIZIONI DI PORTATA E VENTO PER LO SCENARIO 3.

5. QUALITÀ DELLE ACQUE PORTUALI: RICAMBIO IDRICO DEL PORTO E INFLUENZA SULLE COSTE ADIACENTI

Come già accennato la finalità del presente lavoro è quella di valutare come le nuove opere esterne portuali previste dalla configurazione di progetto possano modificare rispetto alla situazione attuale:

- la capacità di ricambio idrico naturale del porto;
- l'influenza delle stesse acque portuali sulle coste adiacenti.

Si tratta quindi non di una valutazione assoluta, ma relativa rispetto alla situazione attuale.

Per conseguire questi obiettivi si è ipotizzata che una possibile fonte di immissione a mare di una sostanza inquinante possa essere costituita dalle acque dei torrenti Polcevera e Bisagno e che tale evenienza si possa verificare durante un evento di piena contemporaneo dei due corsi d'acqua caratterizzato da un tempo di ritorno di due anni. Questa ipotesi è stata introdotta a ragione del regime torrentizio dei due corsi d'acqua.

Seguendo un approccio estremamente cautelativo, si è quindi assunto che la ipotetica sostanza inquinante immessa a mare dalle due foci fluviali sia caratterizzata:

- da una concentrazione unitaria (100%);
- da una durata che coincide con il verificarsi dei due eventi di piena dei corsi d'acqua;
- da una legge di decadimento nel tempo nulla (soluto o marker passivo).

Sicuramente quello sopra delineato è il peggiore scenario che si possa immaginare il cui fine è solo quello di esasperare i fenomeni per poterne più facilmente valutare le differenze, rispetto alla situazione attuale, indotte dalle opere portuali. Pertanto i risultati ottenuti non devono essere valutati in senso assoluto.

Per valutare la capacità di ricambio idrico del bacino portuale si è rappresentata la variazione nel tempo della concentrazione del soluto passivo in corrispondenza di "punti di osservazione" (vedi Figura 5-1) ubicati all'interno del bacino Sampierdarena (indicati con la lettera S) e in prossimità delle imboccature portuali (indicati con la lettera P). Le coordinate di questi punti di osservazione sono indicate in Tabella 5-1.



FIGURA 5-1. LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE.

TABELLA 5-1. PUNTI DI OSSERVAZIONE ALL'INTERNO DELL'AMBITO PORTUALE

PUNTO	Coordinate UTM	
	Est [m]	Nord [m]
P1	485864	4917850
P2	490156	4916578
P3	495077	4915288
P4	493798	4915865
P5	485388	4918691
S1	490449	4916783
S2	491164	4916598
S3	491918	4916417
S4	492995	4916131

Invece per valutare l'impatto delle acque portuali sulle coste adiacenti è stata presa in esame la variazione della concentrazione del soluto passivo in dei "punti di osservazione" localizzati all'esterno dell'ambito portuale dove sono stati individuati alcuni "target ambientali" posti lungo il litorale limitrofo al porto.

Come target ambientali sono stati individuate le spiagge limitrofe al porto poste sia a ponente, in località Voltri (Figura 5-2), sia a levante, in località Albaro e Quarto dei Mille (Figura 5-3) in prossimità dell'area SIC/ZSC Fondali Boccadasse - Nervi. Le coordinate dei punti di osservazione relativi ai "target ambientali" selezionati sono indicati in Tabella 5-2.

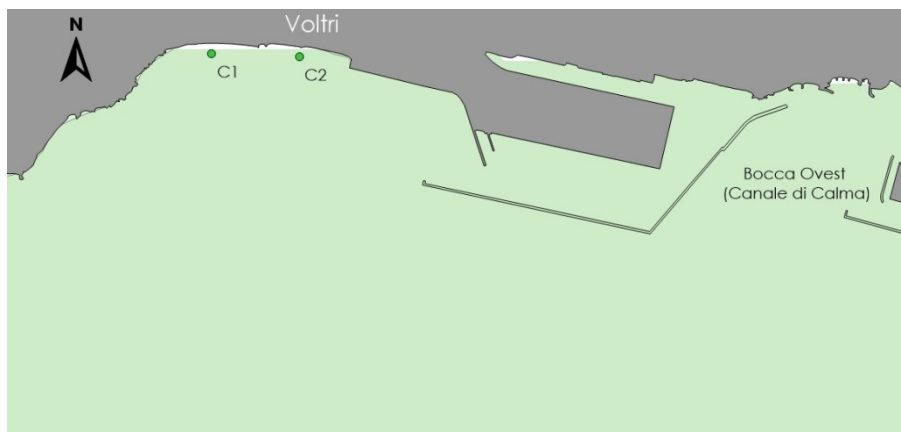


FIGURA 5-2. INDIVIDUAZIONE DEI TARGET AMBIENTALI SELEZIONATI AD OVEST DEL PORTO DI GENOVA IN PROSSIMITÀ DEL LITORALE DI VOLTRI.

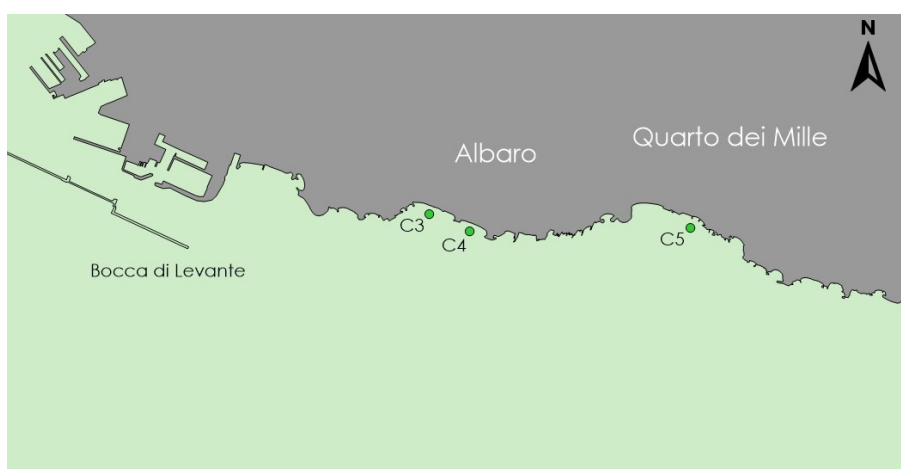


FIGURA 5-3. INDIVIDUAZIONE DEI TARGET AMBIENTALI SELEZIONATI AD EST DEL PORTO DI GENOVA IN CORRISPONDENZA DELLE SPIAGGE IN LOCALITÀ ALBARO E QUARTO DEI MILLE.

TABELLA 5-2. COORDINATE DEI TARGET AMBIENTALI INDIVIDUATI LUNGO I LITORALI ADIACENTI AL PORTO DI GENOVA.

PUNTO	Coordinate UTM	
	Est [m]	Nord [m]
C1	479810	4919262
C2	480592	4919233
C3	497000	4915323
C4	497316	4915187
C5	499077	4915210

6. ANALISI DELLA SITUAZIONE ATTUALE

Nel presente capitolo viene riportata una sintesi dei risultati delle analisi effettuate per la valutazione della capacità di ricambio idrico delle acque portuali e del loro impatto sulle coste adiacenti per la situazione attuale. Per maggiori dettagli si rimanda allo studio condotto nella fase conoscitiva “Studio dei fenomeni dispersivi e dell'influenza delle acque portuali sulle coste – stato di fatto”.

6.1. Analisi della circolazione idrica per i diversi scenari selezionati

Sulla base dei risultati ottenuti con il modello RMA-2 per i diversi scenari presi in esame, presentati nei diagrammi di Figura 6-1, Figura 6-2, Figura 6-3 e Figura 6-4, è possibile fare le seguenti osservazioni:

- in assenza di vento (Scenario 0) il deflusso dei torrenti Polcevera e Bisagno risulta prevalente per la circolazione idrica mentre la marea astronomica ha un modesto contributo sul campo di circolazione. Al cessare della portata dei due corsi d'acqua il campo di velocità tende ad annullarsi rapidamente. Si osserva che la portata del Polcevera inizialmente defluisce attraverso la bocca di ponente del porto ma successivamente si suddivide defluendo anche attraverso il canale di calma dell'aeroporto. Il Bisagno invece, sfociando a mare, determina una corrente che si sviluppa in adiacenza al molo sopraflutto del porto turistico e si riversa nell'imboccatura di levante. Ciò nonostante non riesce a defluire all'interno del porto.
- in presenza di un vento di Scirocco (Scenario 1) si instaura una corrente diretta da Levante verso Ponente che si sviluppa a tergo delle dighe foranee, nel bacino Sampierdarena e nel canale di calma. Questo aspetto favorisce ulteriormente il deflusso del torrente Polcevera verso Ponente all'interno del canale di calma dell'aeroporto. Il Bisagno presenta un comportamento molto simile a quanto ottenuto in assenza di vento ma si osserva che la corrente riesce a penetrare maggiormente all'interno del bacino portuale.
- in presenza di vento di Libeccio (Scenario 2) viene a formarsi una corrente diretta da Ponente verso Levante di minore intensità rispetto al caso precedente. La circolazione indotta dal vento di Libeccio determina però un diverso deflusso del Polcevera che viene forzato a scorrere attraverso la bocca di Ponente e in parte all'interno del bacino Sampierdarena.

- il campo idrodinamico ottenuto per lo Scenario 3 determinato dalla piena dei torrenti Polcevera e Bisagno in presenza di un regime di brezze di mare alternate a brezze di terra nelle ore notturne, si discosta poco dai risultati ottenuti in assenza di vento per lo Scenario 0. La minor intensità delle brezze estive considerate e la loro ridotta durata non contribuisce a formare un campo di velocità rilevante.

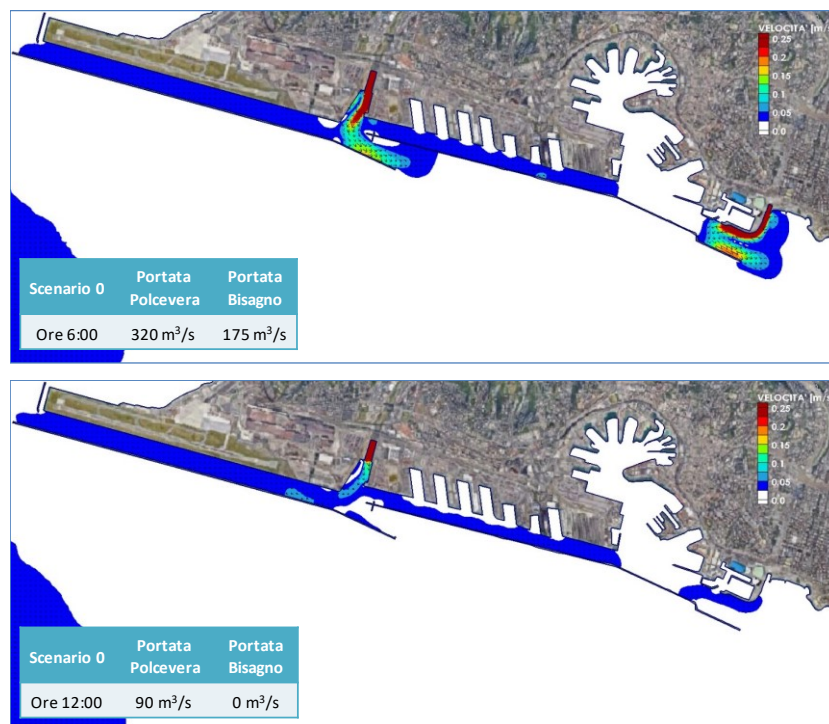


FIGURA 6-1 – STATO ATTUALE - SCENARIO 0: CAMPO DI VELOCITÀ OTTENUTO ALLE ORE 6:00 E ALLE ORE 12:00.



FIGURA 6-2 - STATO ATTUALE - SCENARIO 1: CAMPO DI VELOCITÀ OTTENUTO ALLE ORE 18:00 E ALLE ORE 24:00.



FIGURA 6-3 - STATO ATTUALE - SCENARIO 2: CAMPO DI VELOCITÀ OTTENUTO ALLE ORE 18:00 E ALLE ORE 24:00.



FIGURA 6-4 - STATO ATTUALE - SCENARIO 3: CAMPO DI VELOCITÀ OTTENUTO ALLE ORE 18:00 E ALLE ORE 24:00.

6.2. Analisi del ricambio idrico e dell'influenza sulle coste adiacenti

Nel presente paragrafo sono riportati i risultati ottenuti per le simulazioni condotte con il modello RMA-4 per valutare la dispersione di un costituente passivo (marker o tracciante) immesso dai torrenti Polcevera e Bisagno in occasione di un evento di piena simultaneo con tempo di ritorno $Tr = 2$ anni.

I risultati, riportati nelle figure a seguire, sono presentati in forma di campi spaziali di concentrazione del marker e andamento temporale nei punti di osservazione selezionati all'interno dell'ambito portuale e in corrispondenza dei target ambientali.

In assenza di vento (Scenario 0 - Figura 6-5), o in presenza di un regime di brezze di mare/terra (Scenario 3 - Figura 6-12) la dispersione dei costituenti immessi dal Polcevera e dal Bisagno rimane per lo più confinata all'ambito portuale. La concentrazione ottenuta all'interno del porto al termine dei 5 giorni di simulazione (Figura 6-6) risulta compresa tra il 2% e il 12% nel bacino Sampierdarena con valori massimi, compresi tra il 40% e il 50% nel canale di calma dell'aeroporto. Una frazione del costituente immesso dal Polcevera transita attraverso l'imboccatura portuale di ponente e si disperde in mare aperto.

Il vento da Scirocco (Scenario 1 - Figura 6-7) induce una corrente che determina la dispersione del soluto passivo verso Ponente. Gli apporti del Bisagno sono condotti all'interno del porto e vengono poi dispersi nel bacino di Sampierdarena dove a seguito di 5 giorni di simulazione si ottengono concentrazioni comprese tra il 3% e il 7% (Figura 6-8). Gli apporti del Polcevera vengono dispersi attraverso il canale di calma dell'aeroporto e raggiungono il bacino portuale di Genova Voltri.

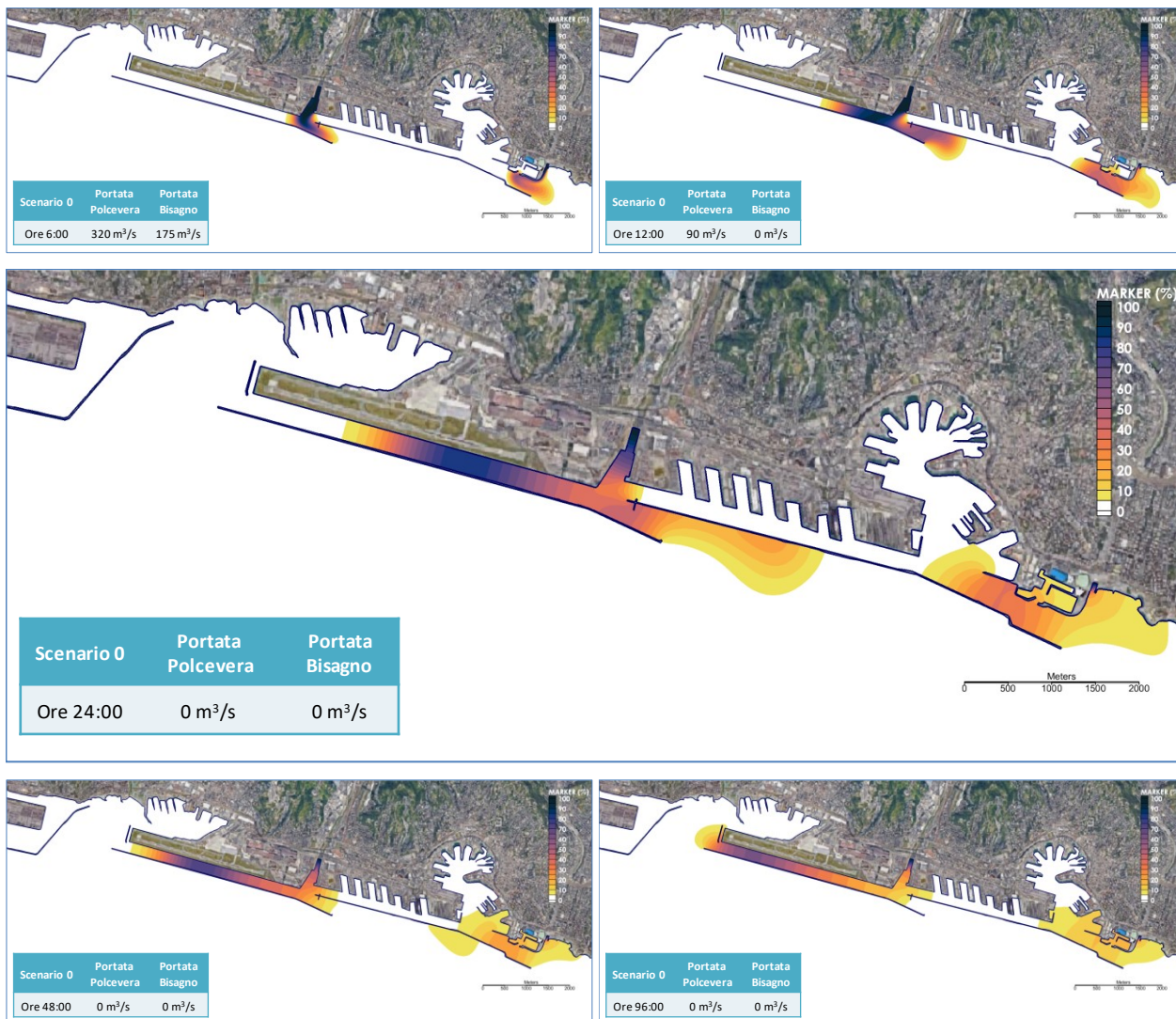


FIGURA 6-5- STATO ATTUALE – SCENARIO 0.
 CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 24:00, 36:00, 48:00 E 96:00.

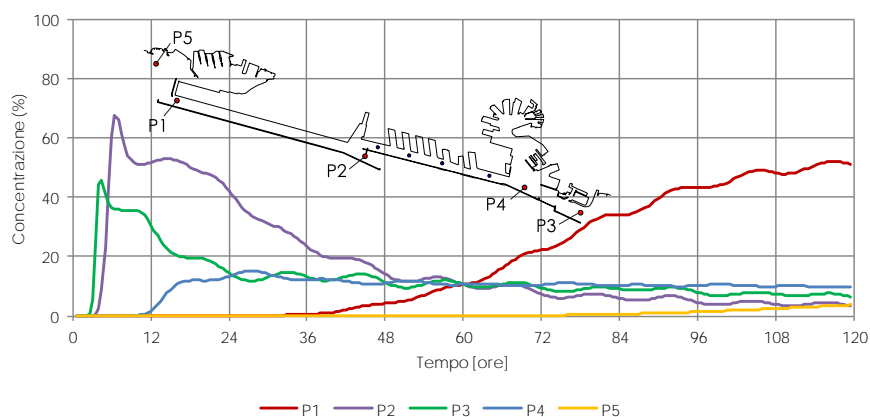


FIGURA 6-6. SCENARIO 0 (SOLO MAREA ASTRONOMICA). ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE.

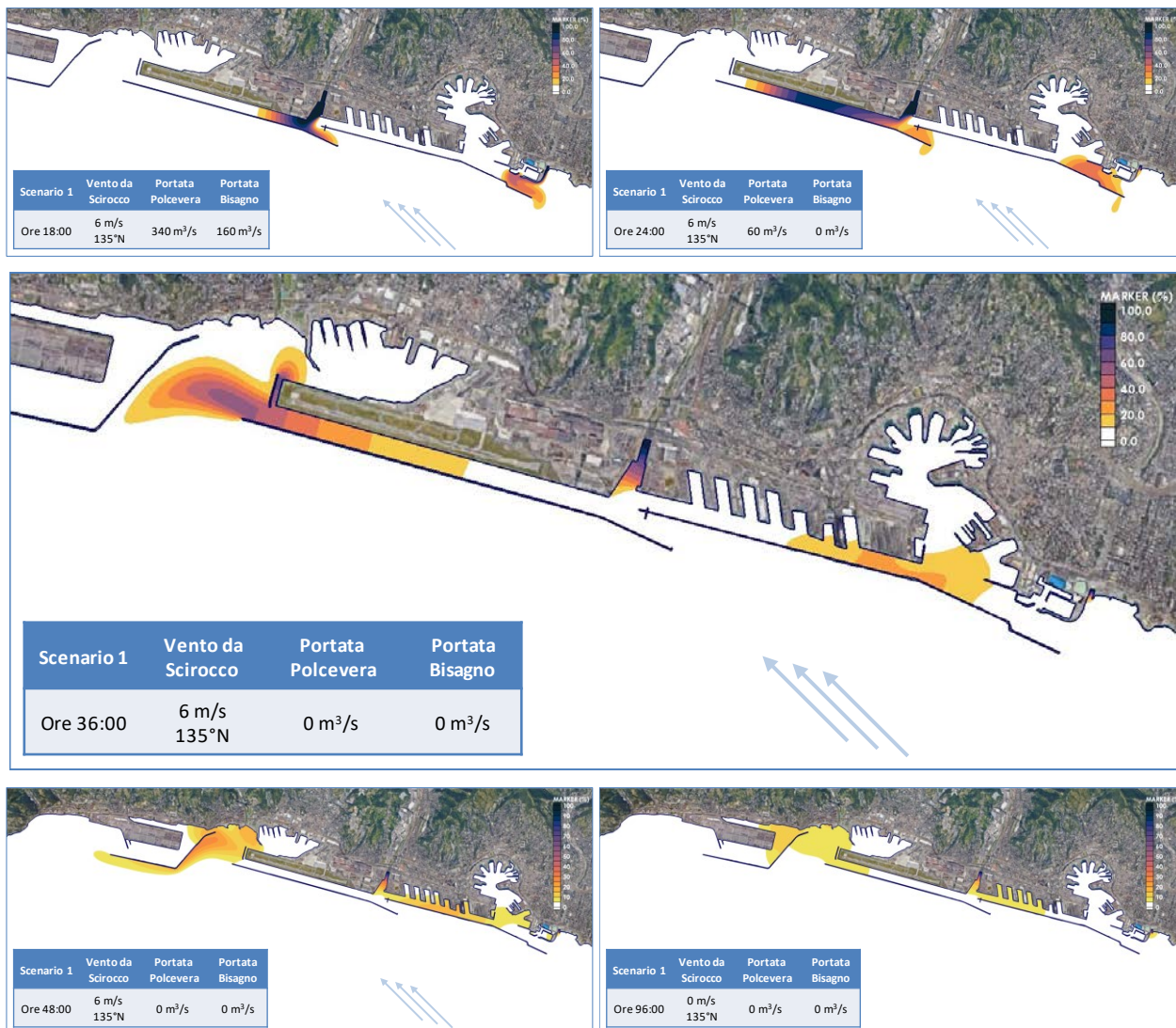


FIGURA 6-7- STATO ATTUALE - SCENARIO 1
 CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 24:00, 36:00, 48:00 E 96:00.

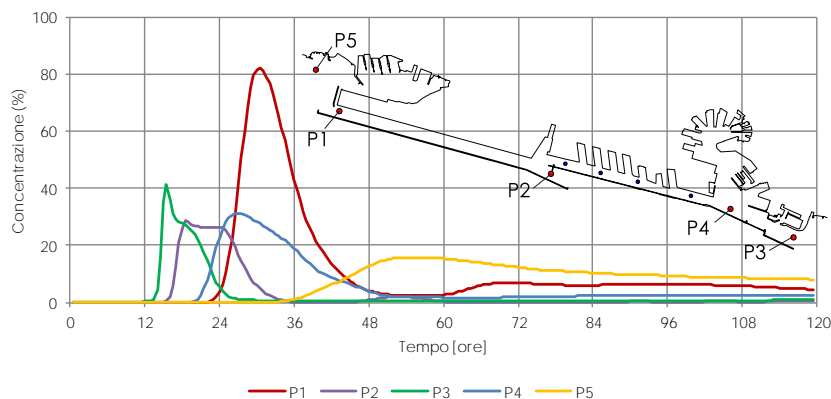


FIGURA 6-8. SCENARIO 1 (SCIROCCO): ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE.

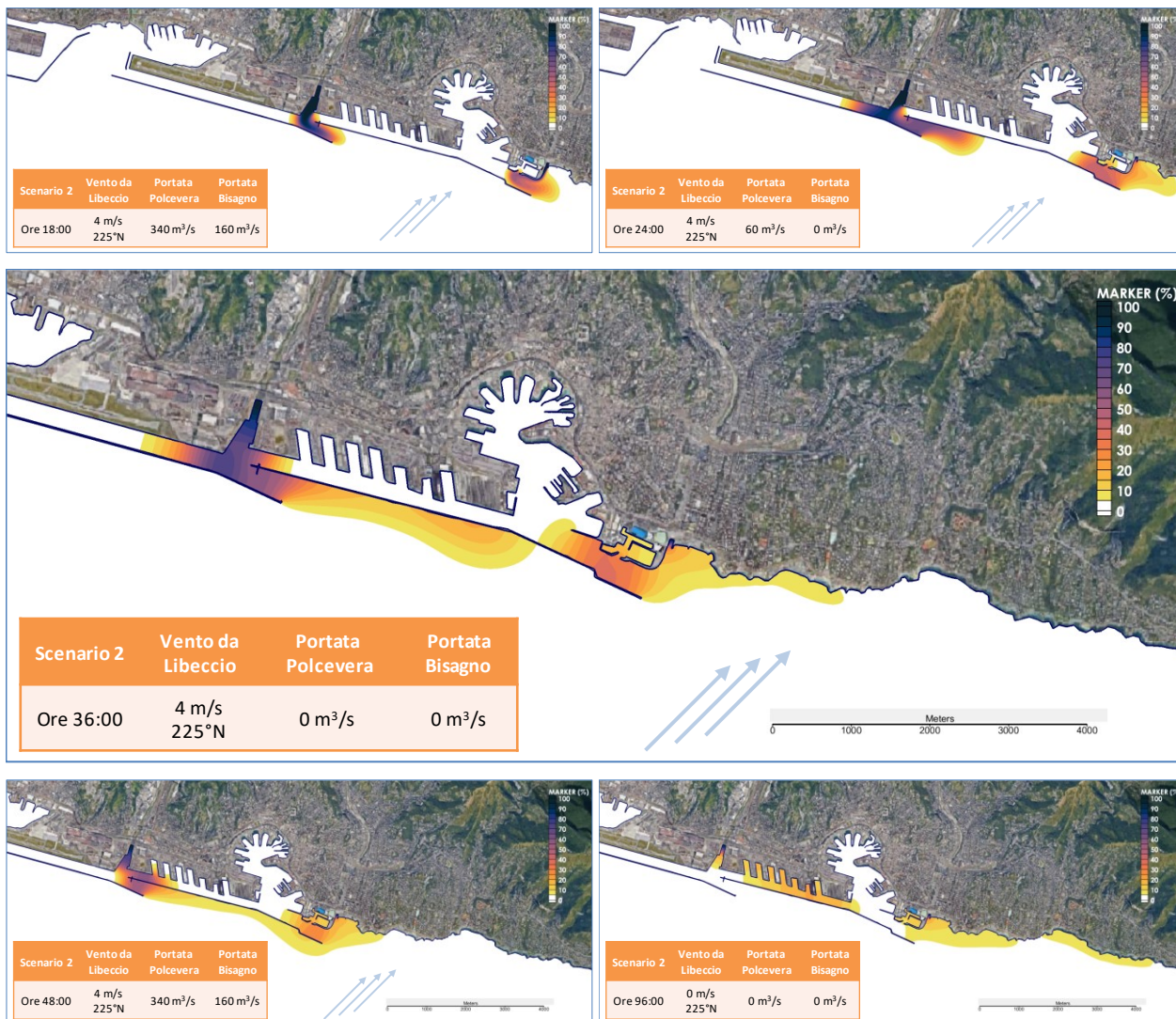


FIGURA 6-9- STATO ATTUALE - SCENARIO 2
 CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 24:00, 36:00, 48:00 E 96:00.

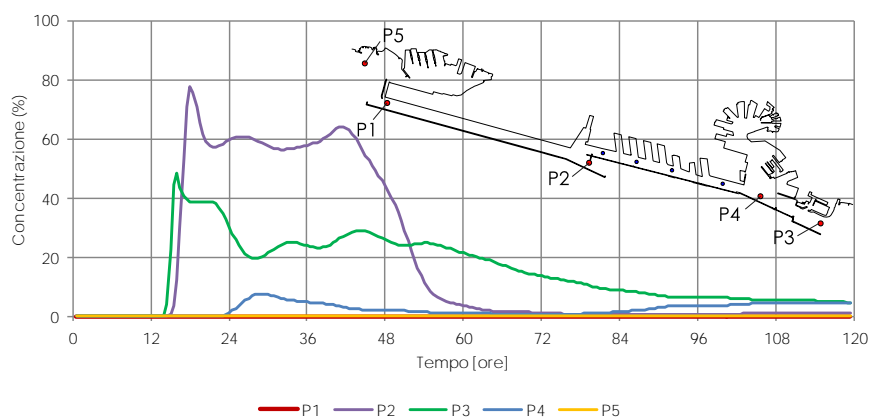


FIGURA 6-10. SCENARIO 2 (LIBECCIO): ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE.

Il vento da Libeccio (Scenario 2 - Figura 6-9) genera una corrente che disperde il soluto passivo verso Levante. Gli apporti del Polcevera, che in parte si disperdono nel canale di calma dell'aeroporto, vengono poi trasportati dalla corrente all'interno del bacino Sampierdarena dove, a fine simulazione, la concentrazione massima risulta del 16% in prossimità della Calata Massaua.

In Figura 6-11 è mostrato l'andamento della concentrazione del marker nei punti di osservazione in ambito portuale ottenuto per lo scenario 2.

Il regime di brezze estive (Scenario 3 - Figura 6-11), come già indicato in precedenza, presenta un comportamento analogo allo Scenario 0 caratterizzato dalla sola marea astronomica. L'alternarsi delle brezze di mare e delle brezze di terra contribuisce a generare un campo idrodinamico che non favorisce la fuoriuscita del tracciante dall'ambito portuale (Figura 6-12).

In Figura 6-13 e Figura 6-14 sono presentati i risultati ottenuti nei punti rappresentativi dei target ambientali.

I grafici mostrano l'andamento della concentrazione in funzione del tempo ottenuti rispettivamente per lo Scenario 1 (vento da Scirocco) e per lo Scenario 2 (vento da Libeccio). Non sono riportati i risultati relativi allo Scenario 0 e allo Scenario 3 perché per questi due scenari dopo 5 giorni di simulazione il tracciante passivo non ha raggiunto i target ambientali.

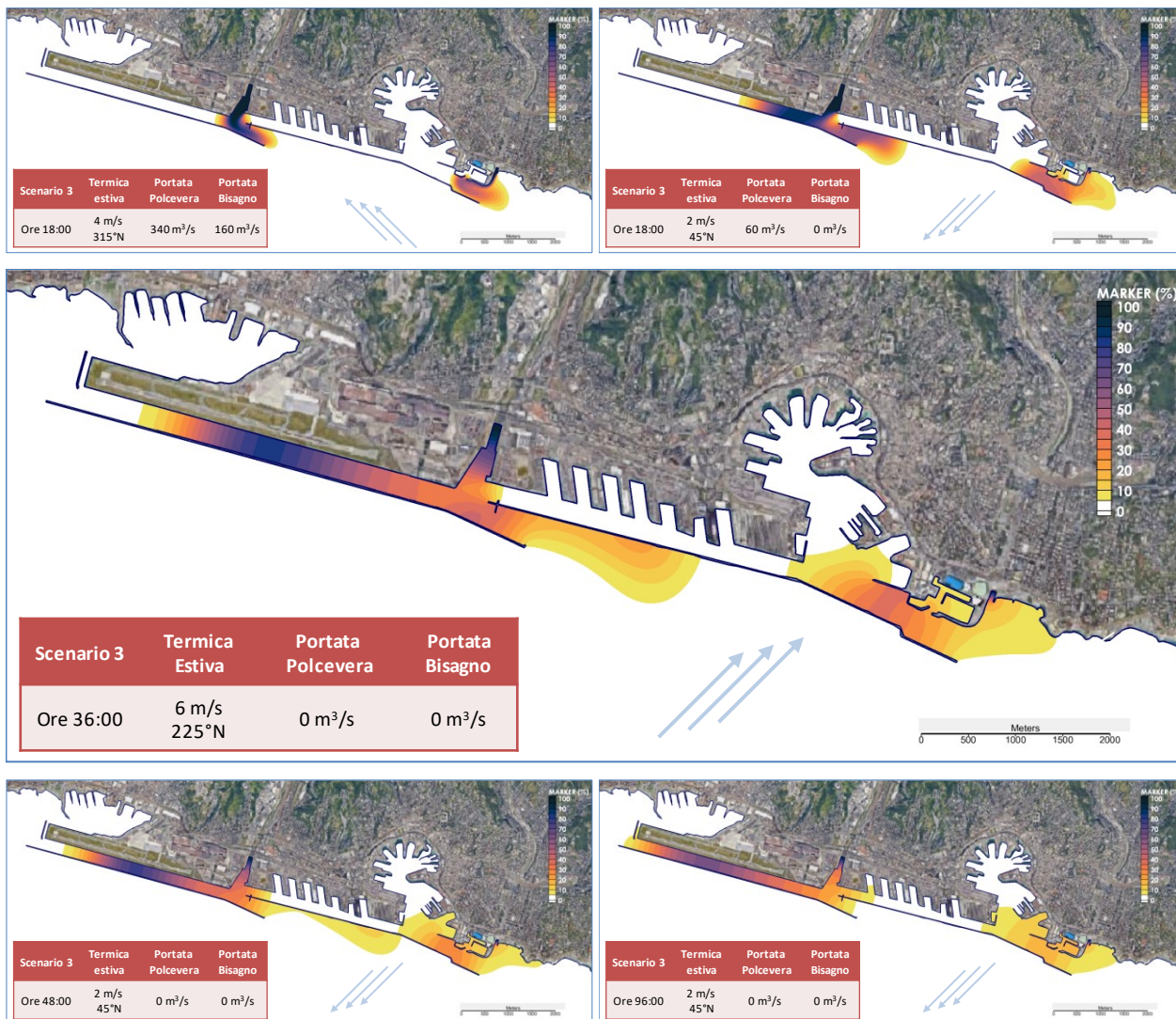


FIGURA 6-11- STATO ATTUALE - SCENARIO 3
 CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 24:00, 36:00, 48:00 E 96:00.

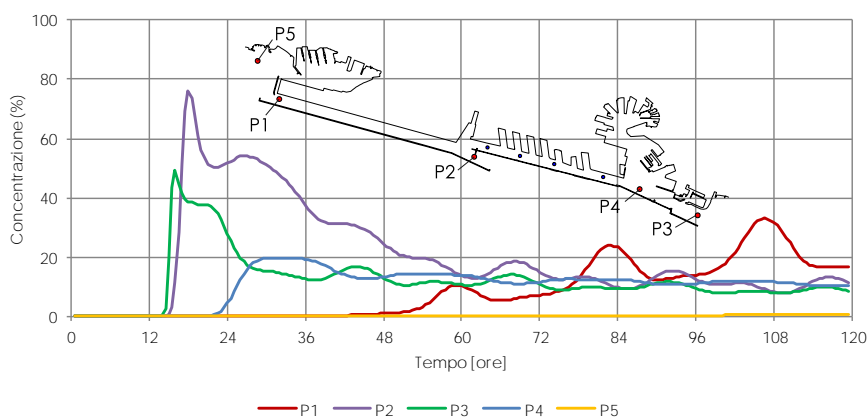


FIGURA 6-12. SCENARIO 3 (REGIME BREZZE ESTIVE): ANDAMENTO DELLA
 CONCENTRAZIONE NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO
 DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE.

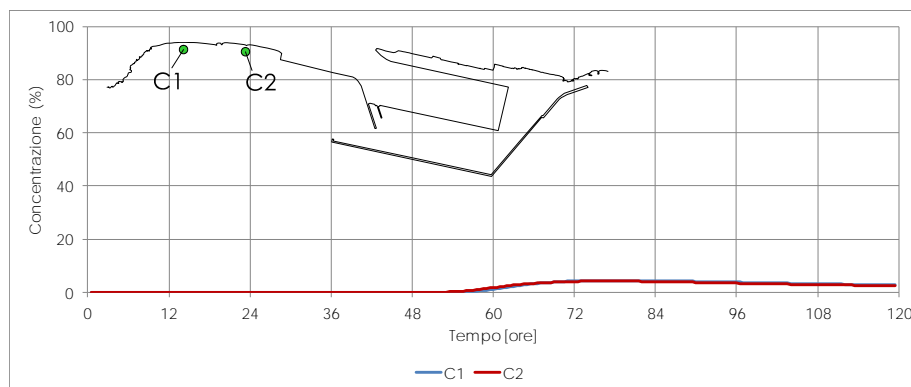


FIGURA 6-13. STATO ATTUALE - ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI C1 E C2 POSTI LUNGO IL LITORALE A PONENTE DEL PORTO PER LO SCENARIO 1 (VENTO DA SCIROCCO).

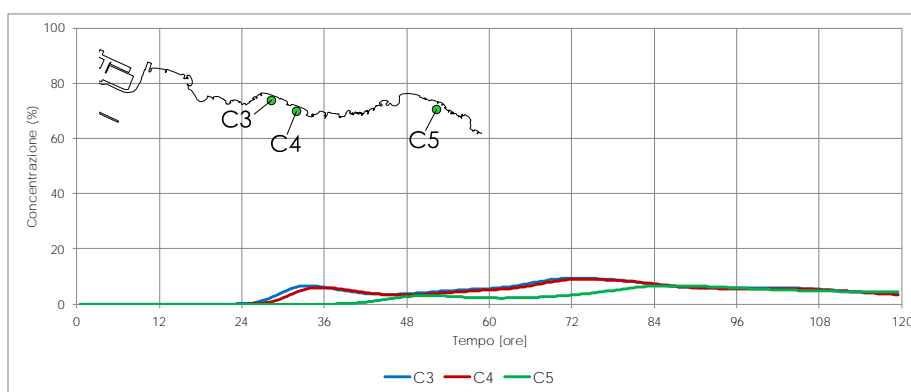


FIGURA 6-14. STATO ATTUALE - ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI C3, C4 E C5 POSTI LUNGO IL LITORALE A LEVANTE DEL PORTO PER LO SCENARIO 2 (VENTO DA LIBECCIO).

I risultati delle simulazioni condotte mostrano chiaramente che la circolazione forzata dai venti risulta determinante per la diffusione del tracciante all'interno del dominio di calcolo.

In assenza di vento (Scenario 0) o in presenza di un regime di brezze estive (Scenario 3) il tracciante rimane confinato all'interno del Porto di Genova e non si disperde lungo i litorali limitrofi al porto.

La portata del Polcevera defluisce all'interno del canale di calma dell'aeroporto, in maggior misura, e attraverso la bocca di ponente, in minor misura e pertanto determina generalmente una maggiore concentrazione del marker localizzata dietro alla diga dell'aeroporto e all'esterno della diga foranea del bacino Sampierdarena.

Gli apporti del Bisagno, inferiori rispetto al Polcevera, si distribuiscono prevalentemente in prossimità dell'imboccatura di levante del porto e tendono ad essere diffusi all'interno del bacino portuale.

In presenza della sola marea astronomica o in presenza di un regime di brezze estive la circolazione indotta non è sufficiente a garantire il ricambio idrico per cui, dopo 5 giorni di simulazioni, il tracciante è ancora presente in concentrazioni significative nell'ambito portuale e risulta maggiormente concentrato nel canale di calma e in corrispondenza dell'imboccatura di levante. Altrove la concentrazione tende a ridursi nel tempo.

In presenza delle correnti provocate dai venti i risultati sono molto differenti.

Il vento da Scirocco (Scenario 1) genera una corrente che favorisce la dispersione verso ponente del tracciante portandolo, dopo circa 60 ore dall'inizio della simulazione, fino alle spiagge di Voltri, dove si registra una concentrazione massima pari al 4%.

Viceversa il vento da Libeccio (Scenario 2) induce una circolazione che favorisce la diffusione del tracciante immesso dai due corsi d'acqua verso Levante. Il campo di concentrazione del tracciante risente ovviamente di questa differente circolazione idrica.

Il marker riesce in questo caso a raggiungere le spiagge di Albaro e Quarto dei Mille, selezionati come target ambientali. In un primo momento si osserva l'arrivo dei contributi del Bisagno (dopo circa 24 ore) e successivamente (dopo circa 72 ore) si osserva un secondo picco di concentrazione. La somma dei contributi del Polcevera e del Bisagno determina, dopo 72 ore, una concentrazione prossima al 10%.

7. ANALISI DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO

Nel presente capitolo sono riportati i principali risultati delle simulazioni condotte per la Soluzione 3 in fase costruttiva a) e b).

Nell'Allegato 1 sono riportati i risultati del *campo idrodinamico* ottenuti per i 4 scenari meteorologici esaminati.

Nell'Allegato 2 sono riportati per la Soluzione 3 in fase a) e b) i risultati del *campo di concentrazione* ottenuti per i 4 scenari meteorologici esaminati.

Per eseguire il confronto quantitativo tra la soluzione di progetto e lo stato attuale, nell'Allegato 3 si riportano i risultati ottenuti rappresentati in termini di variazione temporale della concentrazione per i *punti di osservazione* posti sia all'interno che all'esterno del porto.

Per facilitare la lettura del presente documento e il confronto tra la configurazione di progetto e la situazione attuale, si riporta di seguito una sintesi dei risultati e in particolare:

- per il *campo idrodinamico* un solo istante temporale coincidente con il colmo dell'evento di piena del Polcevera, caratterizzato da un valore di portata di 340 m³/s;
- per il *campo di concentrazione* sono riportati i risultati ottenuti a 10 ore dall'esaurimento degli eventi di piena;
- per la variazione temporale della concentrazione si riportano solo alcuni punti significativi posti all'interno e all'esterno del porto.

7.1. Circolazione idrica ottenuta per i diversi scenari esaminati

I grafici di Figura 7-1 mostrano il campo idrodinamico ottenuto per la Soluzione 3 in fase a) per i diversi scenari di simulazione presi in esame.

I campi di velocità mostrati coincidono con il colmo di piena del torrente Polcevera (340 m³/s), mentre la portata del Bisagno (160 m³/s) è di poco inferiore al valore al colmo (175 m³/s).

Allo stesso modo in Figura 7-2 sono mostrati i campi di velocità ottenuti per la Soluzione 2 in fase b).

Nell'Allegato 1 sono riportati i campi di velocità ad intervalli di tre ore relativi allo Scenario 0 (ore 6:30, 9:30 e 12:30) e agli Scenari 1, 2 e 3 (ore 18:00, 21:00 e 24:00).

7.2. Analisi del ricambio idrico e dell'influenza sulle coste adiacenti

I campi di concentrazione del marker passivo immesso dai torrenti Polcevera e Bisagno ottenuti per i diversi scenari di simulazione sono riportati in Figura 7-3 per la Soluzione 3 in fase a) e in Figura 7-4 per la Soluzione 3 in fase b).

I diagrammi mostrano la concentrazione percentuale del marker ottenuta dopo circa 10 ore dal termine degli eventi di piena del Polcevera e del Bisagno.

Nell'Allegato 2 è possibile osservare l'evoluzione dei campi di concentrazione per diversi intervalli temporali relativi allo Scenario 0 (ore 6:30, 9:30, 12:30, 24:30, 36:30 e 84:30) e agli Scenari 1, 2 e 3 (ore 18:00, 21:00, 24:00, 36:00, 48:00 e 96:00).

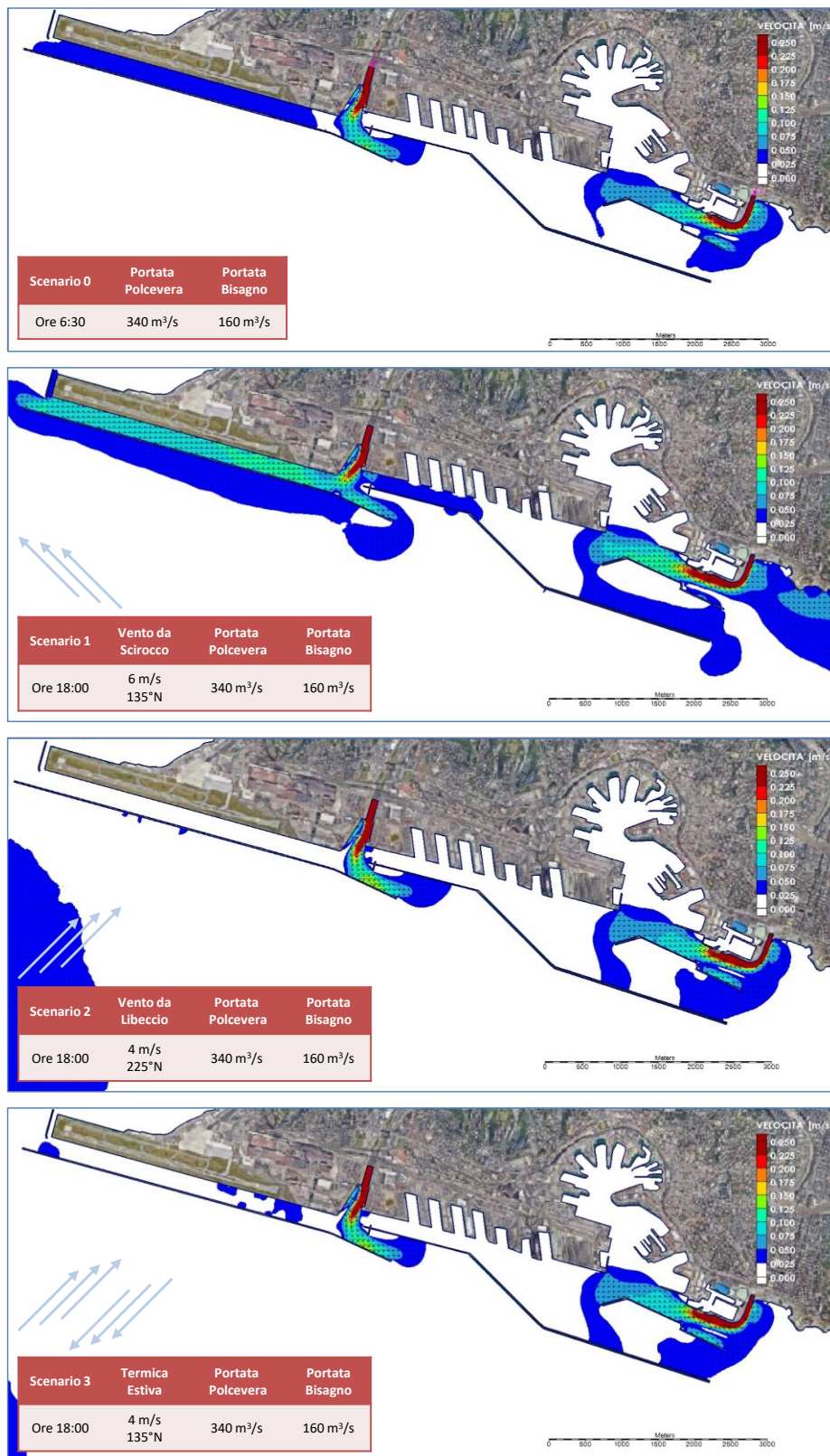


FIGURA 7-1- SOLUZIONE 3 – FASE A - CAMPO IDRODINAMICO PER I DIVERSI SCENARI DI SIMULAZIONE IN CORRISPONDENZA DEL COLMO DI PIENA DEL TORRENTE POLCEVERA.

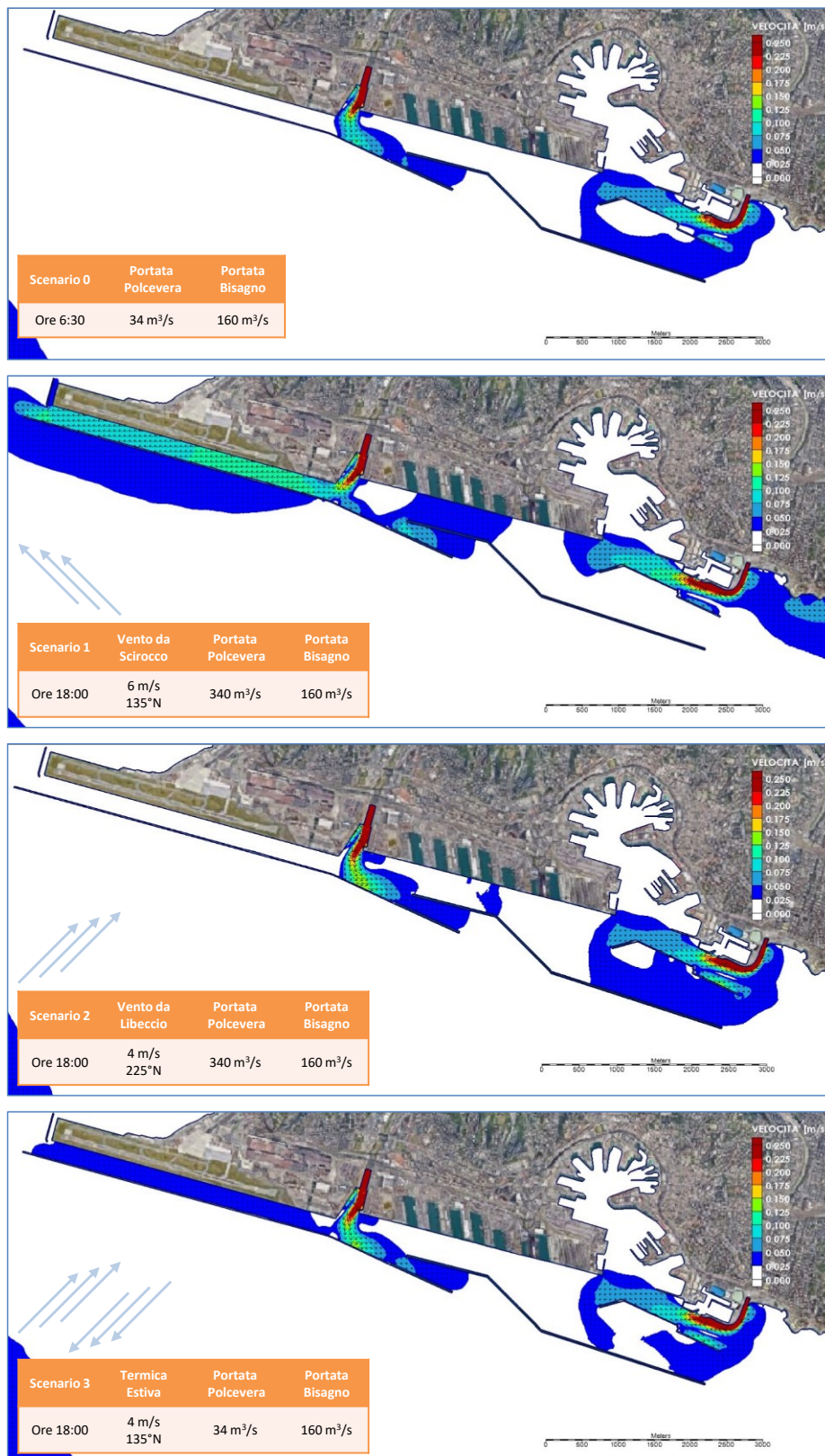


FIGURA 7-2- SOLUZIONE 3 – FASE B - CAMPO IDRODINAMICO PER I DIVERSI SCENARI DI SIMULAZIONE IN CORRISPONDENZA DEL COLMO DI PIENA DEL TORRENTE POLCEVERA.



FIGURA 7-3- SOLUZIONE 3 – FASE A -CONCENTRAZIONE DEL MARKER OTTENUTA PER I DIVERSI SCENARI DI SIMULAZIONE A CIRCA 10 ORE DAL TERMINE DEGLI EVENTI DI PIENA DEL POLCEVERA E DEL BISAGNO.



FIGURA 7-4- SOLUZIONE 3 – FASE B - CONCENTRAZIONE DEL MARKER OTTENUTA PER I DIVERSI SCENARI DI SIMULAZIONE A CIRCA 10 ORE DAL TERMINE DEGLI EVENTI DI PIENA DEL POLCEVERA E DEL BISAGNO.

7.3. Risultati delle simulazioni: campo idrodinamico

In Figura 7-5 e in Figura 7-6 è presentato il confronto tra i campi di velocità ottenuti per lo stato attuale e quelli ottenuti per la Soluzione S3 in fase costruttiva a) (S3.a), e in fase costruttiva b) (S3.b).

Le immagini rappresentano i risultati relativi ai tre scenari simulati in presenza di marea astronomica e vento, Scenario 1–Scirocco, Scenario 2-Libeccio, Scenario 3-Termica estiva, nell'istante di massima piena per il torrente Polcevera.

Il campo idrodinamico ottenuto in assenza di vento (Scenario 0) si discosta poco dai risultati ottenuti in presenza di un regime di brezze termiche estive (Scenario 3), pertanto in questa sede si è scelto di mostrare solo il confronto relativo allo Scenario 3, che risulta più significativo in termini di frequenza di accadimento.

Le simulazioni idrodinamiche hanno permesso di valutare quanto segue:

- i. la conformazione delle nuove opere foranee, prevista dalla soluzione S3 di progetto, unitamente agli interventi futuri di approfondimento dei fondali all'interno del bacino Sampierdarena, non ostacola in modo significativo il deflusso delle portate associate agli eventi di piena del Polcevera e del Bisagno che mantiene le seguenti peculiarità riscontrate anche per lo stato attuale:
 - la portata del Polcevera, in assenza di forzanti significative (Scenario 0 e Scenario 3), tende a defluire inizialmente attraverso la bocca di ponente per poi suddividersi in due flussi, defluendo anche attraverso il canale di calma dell'aeroporto. In presenza di vento da scirocco (Scenario 1) le acque del Polcevera tendono a defluire verso ponente attraverso il canale di calma dell'aeroporto, mentre in presenza di vento da libeccio (Scenario 2) il flusso è forzato attraverso la bocca di ponente. Tale comportamento è ben evidenziato seguendo l'evoluzione temporale dei campi di velocità mostrato nelle immagini riportate in allegato;
 - Il Bisagno, sfociando a mare, determina una corrente che tende ad aderire al molo di sopraflutto del bacino della zona fiera, verso la sua destra idraulica, entrando in tal modo nel bacino portuale.
- ii. sia in fase a) che in fase b), l'apertura della nuova imboccatura portuale, la realizzazione dell'ampio avamposto nello specchio di mare prospiciente a Calata Bettolo e l'approfondimento dei fondali, determinano una differente

- circolazione all'interno del bacino portuale caratterizzata da una corrente di richiamo diretta verso l'interno del porto che favorisce il deflusso delle acque del Bisagno all'interno del bacino portuale trovando sbocco nel nuovo avamporto;
- iii. la soluzione di progetto presenta una netta riduzione, rispetto alla situazione attuale, delle velocità delle correnti all'interno del bacino Sampierdarena. Tale effetto risulta ancor più evidente per la fase costruttiva b) a seguito della quale, con lo spostamento della diga foranea e l'approfondimento dei fondali, si verifica un aumento significativo della sezione idraulica del bacino;
 - iv. La soluzione di progetto S3.a, caratterizzata da una nuova imboccatura portuale aperta a levante, favorisce il deflusso delle acque del Bisagno all'interno del bacino portuale con una corrente diretta verso ponente che si intensifica in presenza di venti da scirocco. La velocità della corrente tende a ridursi nel nuovo avamporto, dove la sezione idraulica aumenta sensibilmente. La massa d'acqua confluita nell'avamporto si ripartisce in due flussi: il primo defluisce all'interno del bacino Sampierdarena, il secondo fuoriesce dalla nuova imboccatura portuale orientata verso levante.
 - v. L'avanzamento verso mare della diga di Sampierdarena, l'approfondimento di tutto il bacino alla quota -18.50 m sul l.m.m., unitamente al prolungamento della diga dell'aeroporto, previsti per la fase realizzativa b) (soluzione S3.b) favoriscono il deflusso delle portate all'interno del bacino portuale, con conseguente riduzione dell'intensità dei flussi uscenti dalle imboccature di levante e di ponente. Il campo di velocità alla foce del Polcevera, trovando uno specchio acqueo più ampio, si esaurisce all'interno dell'ambito portuale a tergo della diga dell'aeroporto.

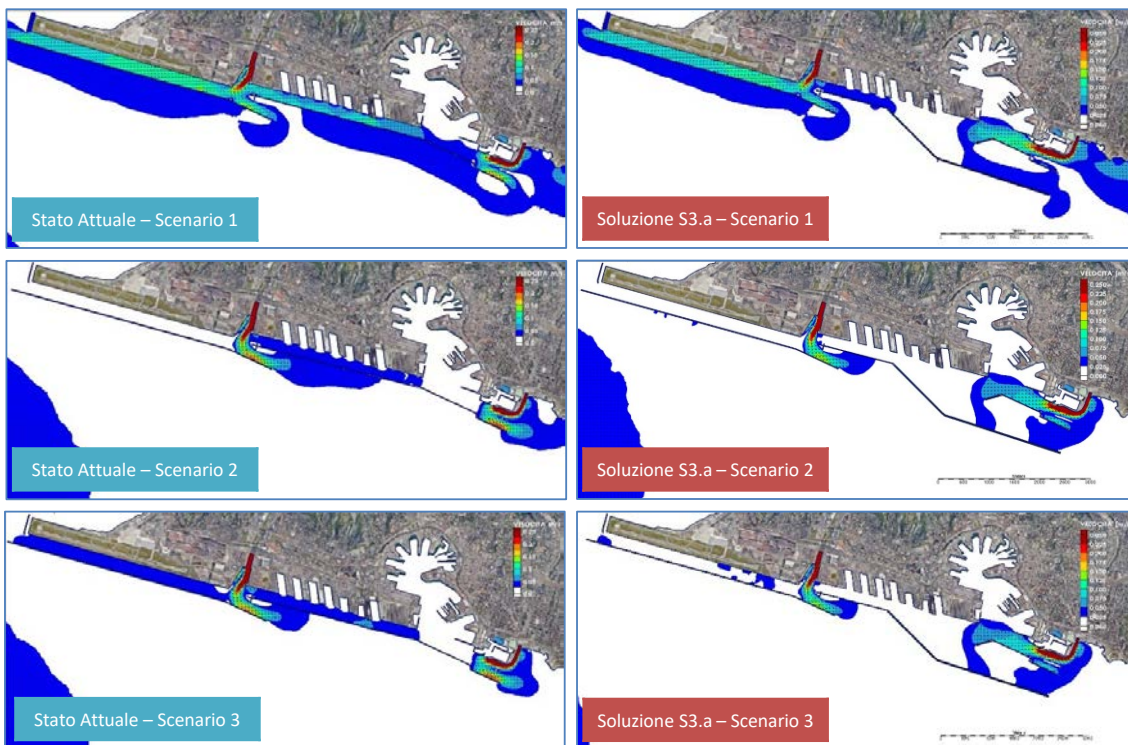


FIGURA 7-5. CONFRONTO TRA I CAMPI DI VELOCITÀ PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE S3.a RELATIVO AGLI SCENARI: 1-SCIROCCO, 2-LIBECCIO, 3 TERMICA ESTIVA. PORTATA POLCEVERA $Q=340 \text{ m}^3/\text{s}$ (COLMO DI PIENA). PORTATA BISAGNO $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$.

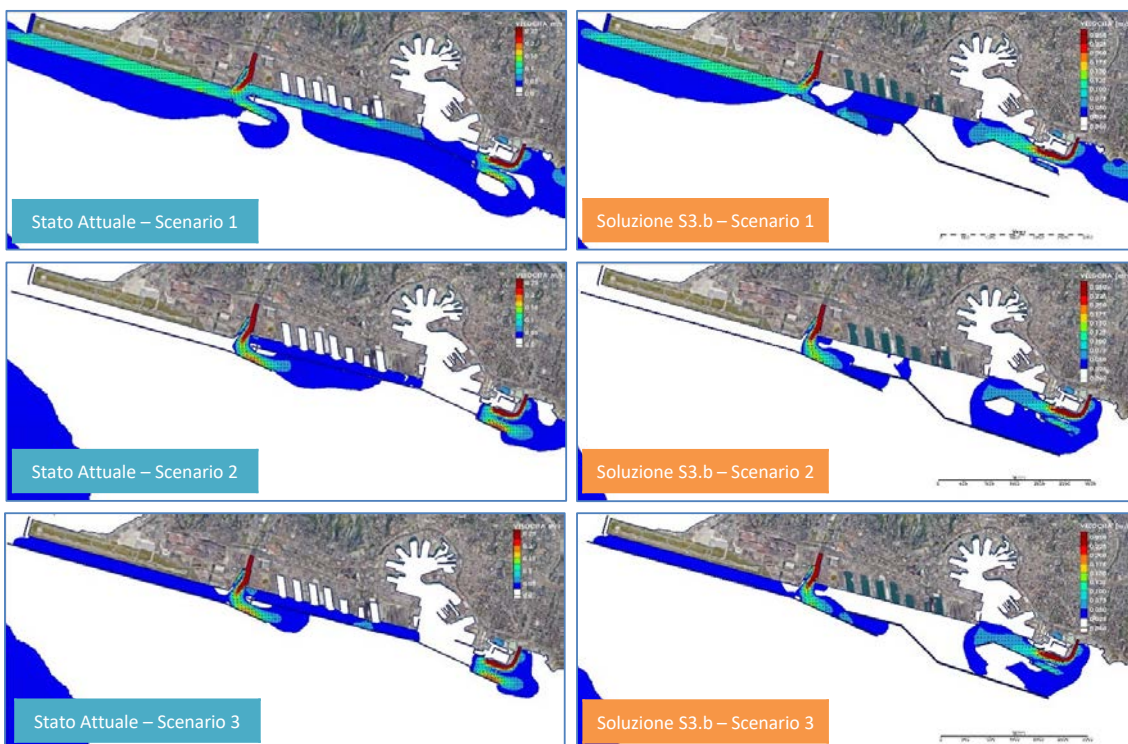


FIGURA 7-6. CONFRONTO TRA I CAMPI DI VELOCITÀ PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE S3.b RELATIVO AGLI SCENARI: 1-SCIROCCO, 2-LIBECCIO, 3 TERMICA ESTIVA. PORTATA POLCEVERA $Q=340 \text{ m}^3/\text{s}$ (COLMO DI PIENA). PORTATA BISAGNO $Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.4. Risultati delle simulazioni: ricambio idrico

Nei diagrammi di Figura 7-6, Figura 7-7 e Figura 7-8 viene mostrato il confronto tra i campi di concentrazione del soluto passivo ottenuti per lo stato attuale e quelli ottenuti per la Soluzione S3 in fase realizzativa a) (S3.a), e in fase realizzativa b) (S3.b).

Le immagini rappresentano i risultati relativi ai tre scenari simulati in presenza di marea astronomica e vento, Scenario 1–Sirocco, Scenario 2-Libeccio, Scenario 3-Termica estiva, a 10 ore dall'esaurimento degli eventi di piena dei torrenti Polcevera e Bisagno.

I risultati ottenuti in assenza di vento (Scenario 0) si discostano poco dai risultati ottenuti in presenza di un regime di brezze termiche estive (Scenario 3), pertanto in questa sede si è scelto di mostrare solo il confronto relativo allo Scenario 3, che risulta più significativo in termini di frequenza di accadimento.

Nei grafici riportati in Figura 7-10, Figura 7-11 e Figura 7-12 è riportato il confronto tra l'andamento temporale della concentrazione del marker passivo ottenuta per lo stato attuale e per la soluzione di progetto (in fase a e in fase b) nei punti di osservazione posti in corrispondenza dell'imboccatura di ponente (P2), dell'imboccatura di levante (P3) e all'interno del bacino storico (P4) per i diversi scenari analizzati.

L'analisi dei risultati relativi al campo di concentrazione ha fornito i seguenti risultati:

- i. la realizzazione delle nuove opere foranee, la formazione dell'ampio avamposto nello specchio di mare prospiciente alla Calata Bettolo previsti soluzione di progetto S3, unitamente al futuro approfondimento dei fondali, determinano un significativo aumento del volume liquido del bacino portuale. Questo comporta una generale riduzione delle velocità delle correnti e favorisce i fenomeni di diffusione e dispersione all'interno del bacino di Sampierdarena, ma allo stesso tempo consente di ridurre in modo significativo la concentrazione del tracciante al termine dei 5 giorni di simulazione. La concentrazione finale presenta in genere valori poco elevati, con modeste variazioni rispetto allo stato attuale. Pertanto si può ritenere che il ricambio idrico del bacino portuale sia garantito per la soluzione di progetto;
- ii. per la Soluzione di progetto in fase a) (S3.a), caratterizzata dall'apertura di una nuova imboccatura verso levante, si è riscontrato che la dispersione dei costituenti immessi dal Polcevera e dal Bisagno, in assenza di vento (Scenario 0) o in presenza di un regime di termica estiva (Scenario 3) rimane confinata prevalentemente all'ambito portuale, al pari di quanto accade per lo stato attuale.

Gli apporti del Polcevera si disperdono in maggior misura all'interno del canale di calma dell'aeroporto, dove rimangono confinati fino al termine della simulazione, e attraverso l'attuale bocca di ponente con valori di concentrazione lievemente superiori rispetto alla configurazione attuale. In presenza di venti di scirocco (Scenario 1) il costituente, al pari di quanto ottenuto per lo stato attuale, viene spinto attraverso il canale di calma e trova sbocco all'estremità Ovest del canale di calma in zona Genova Voltri. Il flusso in presenza di venti di libeccio (Scenario 2) è diretto in prevalenza verso levante, il costituente viene così disperso in parte all'interno del bacino Sampierdarena e in parte all'esterno del porto, attraverso la bocca di ponente.

Gli apporti del Bisagno vengono richiamati in misura maggiore all'interno del bacino portuale e vengono trasportati all'interno del nuovo avamposto attraverso il varco previsto tra il bacino delle Grazie e il nuovo avamposto. Grazie all'elevato volume a disposizione il nuovo avamposto presenta una capacità ricettiva maggiore che consente di diffondere il soluto al suo interno, ottenendo, alla fine dei 5 giorni di simulazione, bassi valori di concentrazione. Tale effetto risulta più evidente in presenza di venti di scirocco.

L'ampliamento del bacino Sampierdarena, conseguente all'avanzamento della diga foranea e all'approfondimento dei fondali previsto dalla fase realizzativa b) (Soluzione S3.b) riduce l'intensità dei flussi favorendo una maggior diffusione degli apporti del Polcevera e del Bisagno al suo interno.

Tuttavia la maggiore capacità ricettiva del nuovo bacino Sampierdarena ampliato consente di ottenere, al termine dei 5 giorni di simulazione, valori di concentrazione confrontabili con quelli ottenuti per lo stato attuale.

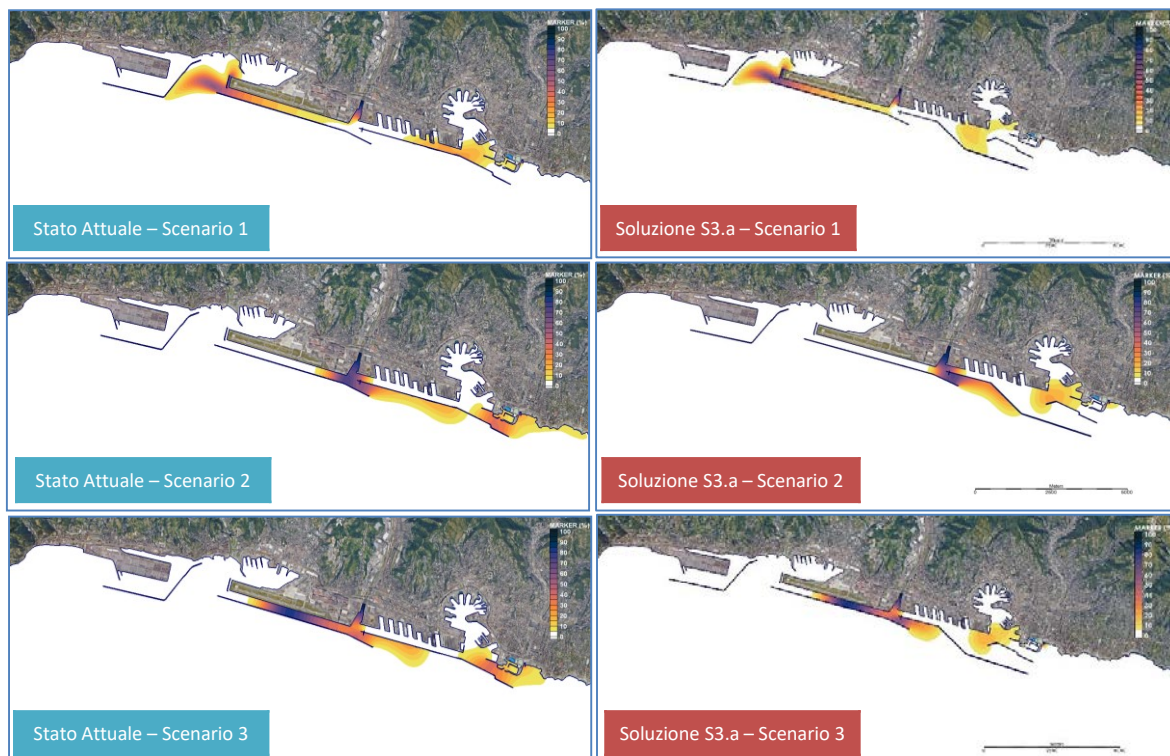


FIGURA 7-7. CONFRONTO TRA I CAMPI DI CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO PASSIVO PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE S3.a RELATIVO AGLI SCENARI: 1-SCIROCCO, 2-LIBECCIO, 3 TERMICA ESTIVA A 10 ORE DAL TERMINE DEGLI EVENTI DI PIENA.

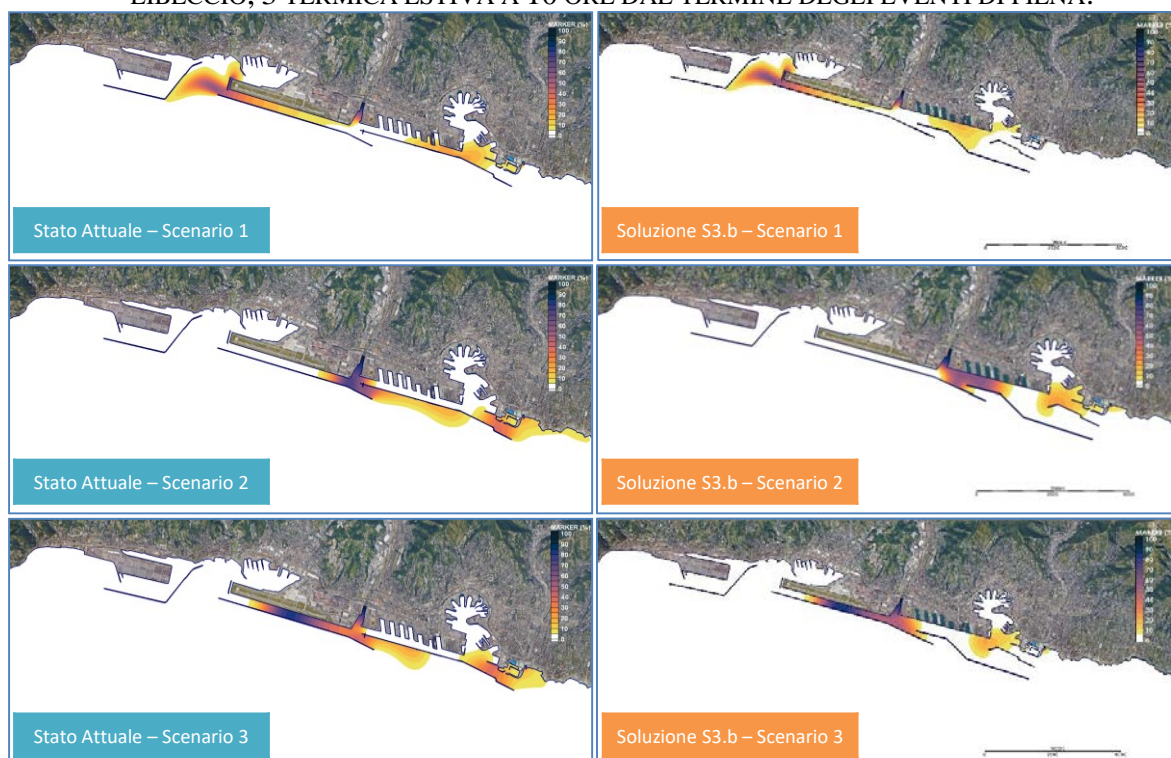


FIGURA 7-8. CONFRONTO TRA I CAMPI DI CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO PASSIVO PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE S3.b RELATIVO AGLI SCENARI: 1-SCIROCCO, 2-LIBECCIO, 3-TERMICA ESTIVA A 10 ORE DAL TERMINE DEGLI EVENTI DI PIENA.

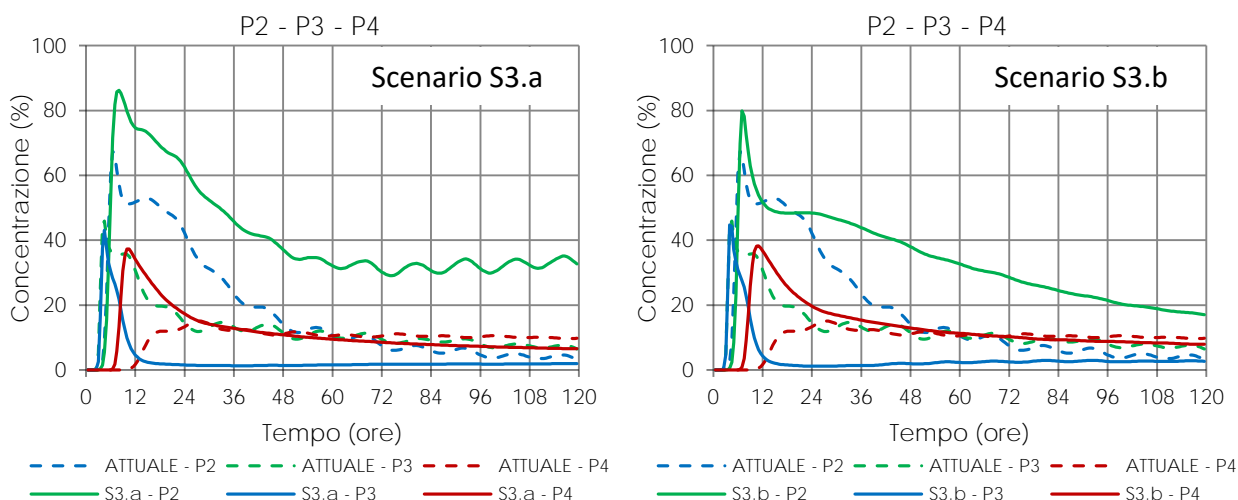


FIGURA 7-9. SCENARIO 0 – SOLO MAREA ASTRONOMICA. CONFRONTO TRA LA CONCENTRAZIONE DEL MARKER OTTENUTA PER LO STATO ATTUALE E LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3 (FASE A E FASE B) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN CORRISPONDENZA DELL'IMBOCCATURA DI PONENTE (P2), DELL'IMBOCCATURA DI LEVANTE (P3) E ALL'INTERNO DEL BACINO STORICO (P4).

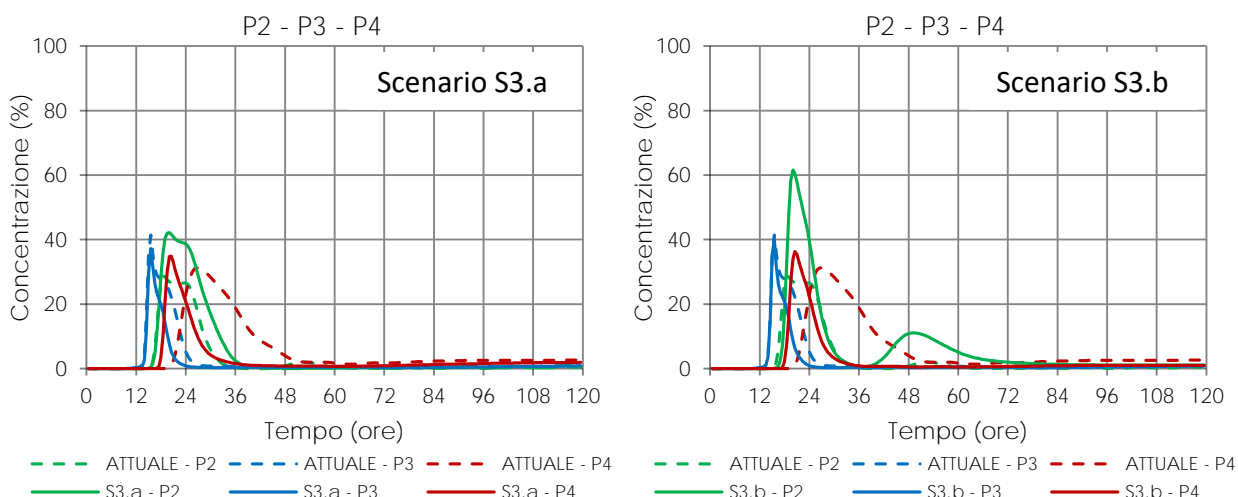


FIGURA 7-10. SCENARIO 1 – SCIROCCO. CONFRONTO TRA LA CONCENTRAZIONE DEL MARKER OTTENUTA PER LO STATO ATTUALE E LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3 (FASE A E FASE B) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN CORRISPONDENZA DELL'IMBOCCATURA DI PONENTE (P2), DELL'IMBOCCATURA DI LEVANTE (P3) E ALL'INTERNO DEL BACINO STORICO (P4).

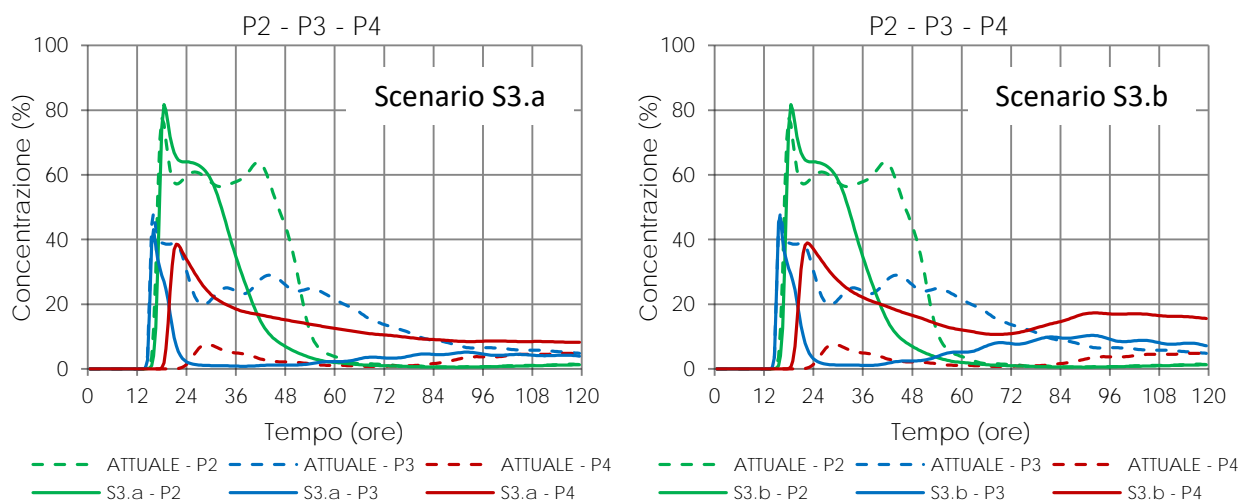


FIGURA 7-11. SCENARIO 2 – LIBECCIO. CONFRONTO TRA LA CONCENTRAZIONE DEL MARKER OTTENUTA PER LO STATO ATTUALE E LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3 (FASE A E FASE B) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN CORRISPONDENZA DELL'IMBOCCATURA DI PONENTE (P2), DELL'IMBOCCATURA DI LEVANTE (P3) E ALL'INTERNO DEL BACINO STORICO (P4).

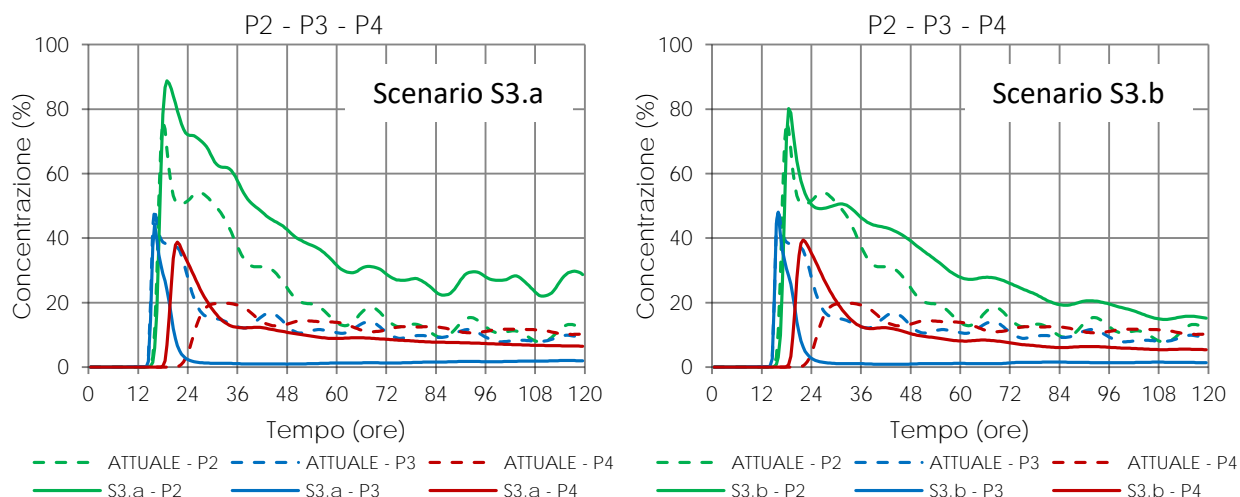


FIGURA 7-12. SCENARIO 3–TERMICA ESTIVA. CONFRONTO TRA LA CONCENTRAZIONE DEL MARKER OTTENUTA PER LO STATO ATTUALE E LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3 (FASE A E FASE B) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN CORRISPONDENZA DELL'IMBOCCATURA DI PONENTE (P2), DELL'IMBOCCATURA DI LEVANTE (P3) E ALL'INTERNO DEL BACINO STORICO (P4).

7.5. Risultati ottenuti: influenza sulle coste adiacenti

I risultati ottenuti per la soluzione di progetto S3 hanno evidenziato che, al pari di quanto accade per lo stato attuale, la circolazione forzata dai venti risulta determinante per la dispersione del tracciante all'esterno dell'ambito portuale.

In assenza di vento (Scenario 0) o in presenza di un regime di brezze estive (Scenario 3) il tracciante rimane confinato all'interno del porto e non si disperde lungo i litorali limitrofi al porto.

Il vento da Scirocco (Scenario 1) genera una corrente che favorisce la dispersione verso ponente del costituente passivo immesso dai due corsi d'acqua portandolo, dopo circa 60 ore dall'inizio della simulazione, fino alle spiagge di Voltri. Viceversa il vento da Libeccio (Scenario 2) forza una circolazione che ha la capacità di trasportare il tracciante verso Levante all'esterno dell'ambito portuale.

Nell'Allegato 3 sono riportati i valori di concentrazione nel tempo ottenuti nei punti C1, C2 in prossimità di Voltri e nei punti C3, C4 e C5 in prossimità delle spiagge di Albaro e Quarto dei Mille ad Est del porto. I grafici permettono di confrontare i risultati ottenuti per lo stato attuale e per la soluzione S3 in fase a) e in fase b), con vento di Scirocco e con vento di Libeccio.

Nei grafici di Figura 7-13 e di Figura 7-14, per facilitare il confronto dei risultati, viene mostrata la riduzione di concentrazione in volume rispetto allo stato attuale ottenuta nei punti di osservazione C2 e C3 in corrispondenza dei target ambientali "spiagge di Voltri" (vedi Figura 5-2) e di "Albaro - Quarto dei Mille" posti rispettivamente a ponente e a levante del porto (vedi Figura 5-3).

Valori positivi, mostrati in verde, indicano una riduzione di concentrazione in volume rispetto allo stato attuale, viceversa valori negativi, mostrati in rosso, indicano un aumento di concentrazione rispetto allo stato attuale.

Per facilitare la lettura dei grafici è importante ricordare che la concentrazione media del tracciante nel punto C2, ottenuta per lo stato attuale in presenza di Scirocco, è pari a circa l'1.8%, e risulta pari al 2.8% al termine dei 5 giorni di simulazione.

Nel punto C3, per lo scenario di libeccio, la concentrazione media del tracciante ottenuta per lo stato attuale è pari a circa il 5%, e risulta pari al 3.5% al termine dei 5 giorni di simulazione.

Sulla base dei risultati ottenuti per le simulazioni relative alla soluzione di progetto è possibile fare le seguenti conclusioni:

- i. la soluzione di progetto S3 non determina un impatto significativo sulle coste adiacenti al porto. Non si è osservata infatti una rilevante variazione rispetto allo stato attuale dei fenomeni di dispersione dei traccianti passivo immessi dai torrenti Polcevera e Bisagno in occasione di evento di piena con tempo di ritorno $Tr = 2$ anni;

- ii. nei “punti target” posizionati nei pressi della spiaggia di Voltri i valori di concentrazione non subiscono variazioni significative rispetto allo stato attuale: la riduzione di concentrazione, calcolata come differenza rispetto allo stato attuale è molto modesta (+/- 2%);
- iii. nei “punti target” posizionati in prossimità delle spiagge di Albaro e Quarto dei Mille, ad Est del porto, si osserva una generale riduzione della concentrazione del tracciante rispetto allo stato attuale. Tale riduzione di concentrazione risulta in media compresa tra 1.5% e 3.5%.

PUNTO DI OSSERVAZIONE C2 – TARGET AMBIENTALE SPIAGGIA DI VOLTRI

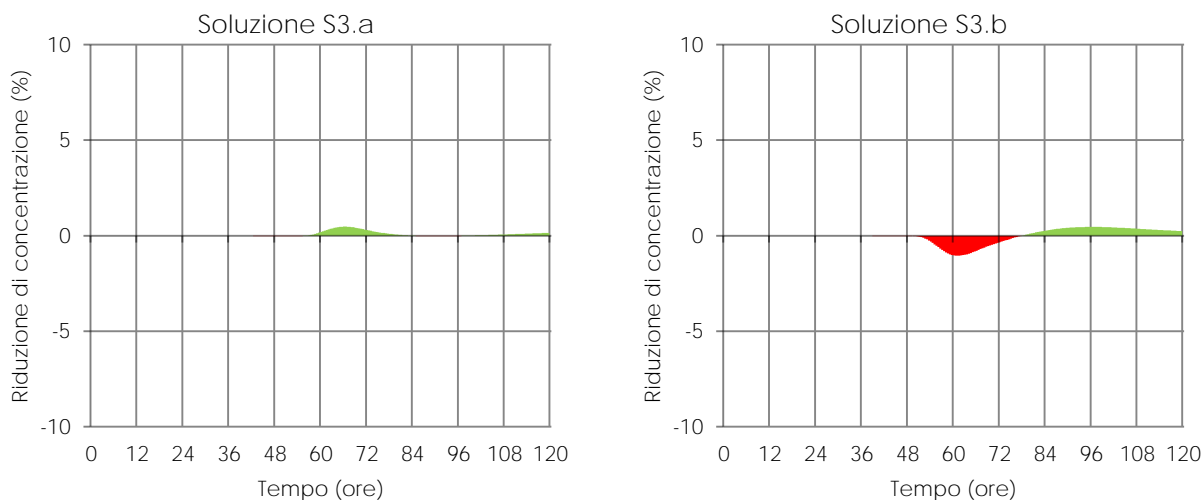


FIGURA 7-13. RIDUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DEL TRACCIANTE PASSIVO NEL PUNTO C2 (TARGET “SPIAGGE DI VOLTRI”) OTTENUTA PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3, IN FASE A) E IN FASE B), RISPETTO ALLO STATO ATTUALE. SCENARIO 1 (SCIROCCO).

PUNTO DI OSSERVAZIONE C3 – TARGET AMBIENTALE ALBARO – QUARTO DEI MILLE

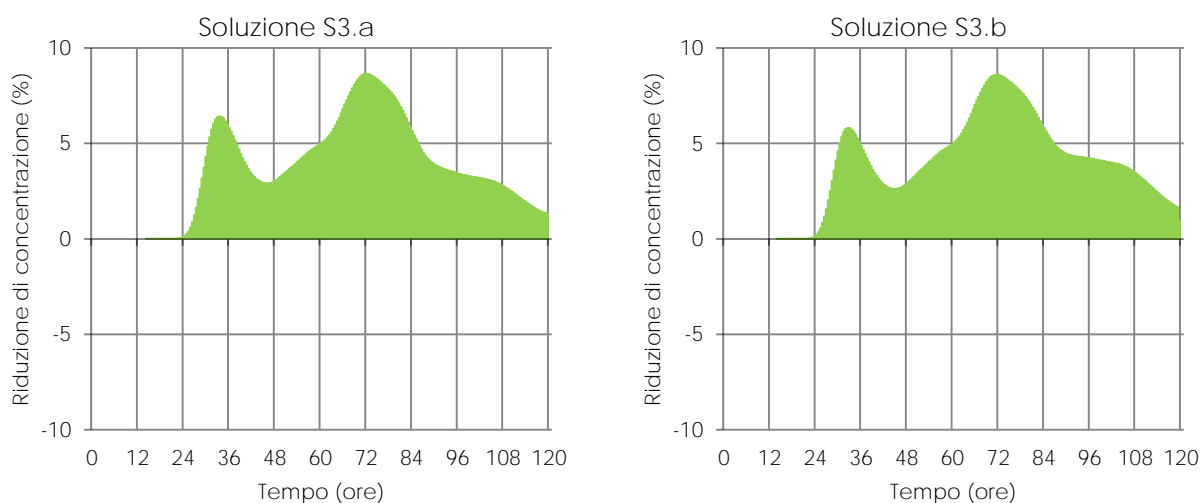


FIGURA 7-14. RIDUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DEL TRACCIANTE PASSIVO NEL PUNTO DI OSSERVAZIONE C3 (TARGET AMBIENTALE “ALBARO – QUARTO DEI MILLE”) OTTENUTA PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3 IN FASE A) E IN FASE B) RISPETTO ALLO STATO ATTUALE. SCENARIO 2 (LIBECCIO)

BIBLIOGRAFIA

Autorità di bacino della regione Liguria.(2017). *Piano di bacino del Torrente Bisagno*

Autorità di bacino della regione Liguria (2017). *Piano di bacino del Torrente Polcevera*

Italferr S.p.A. - RINA (2019). *Studio idrologico del bacino del torrente Polcevera*

Autorità di Bacino Regione Liguria (2014). *Approfondimento idraulico dei piani di bacino dei torrenti Bisagno e Chiaravagna. Torrente Bisagno e Rio Fereggiano – Analisi idrologica e idraulica, DHI-ART*

APPENDICE A

Tabelle e rose dei venti ricostruiti dal DICCA al largo di Genova

Sono stati acquisiti i dati di vento ricostruiti dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) dell'Università di Genova, nell'ambito del progetto MeteOcean, con un procedura di rianalisi per tutto il Mediterraneo dal 1979 al 2018 con cadenza oraria.

Il vento, fornito a 10 metri di altezza sul livello del mare, è stato ricostruito utilizzando il modello di circolazione atmosferica non idrostatico WRF-ARW.

Sono di seguito riportati i risultati dell'analisi statistiche condotte sui dati di vento acquisiti nel punto 000323, di coordinate 44.04°N - 8.74°E, al largo del Golfo di Genova.

I diagrammi e le tabelle di seguito riportati mostrano la frequenze di superamento stagionali per settori di traversia di 15° per diverse soglie di velocità (2.0, 4.0, 6.0, 10.0, 12.0 m/s).

Le stagioni sono così suddivise (convenzione meteorologica)

Inverno: Gennaio, Febbraio, Marzo:

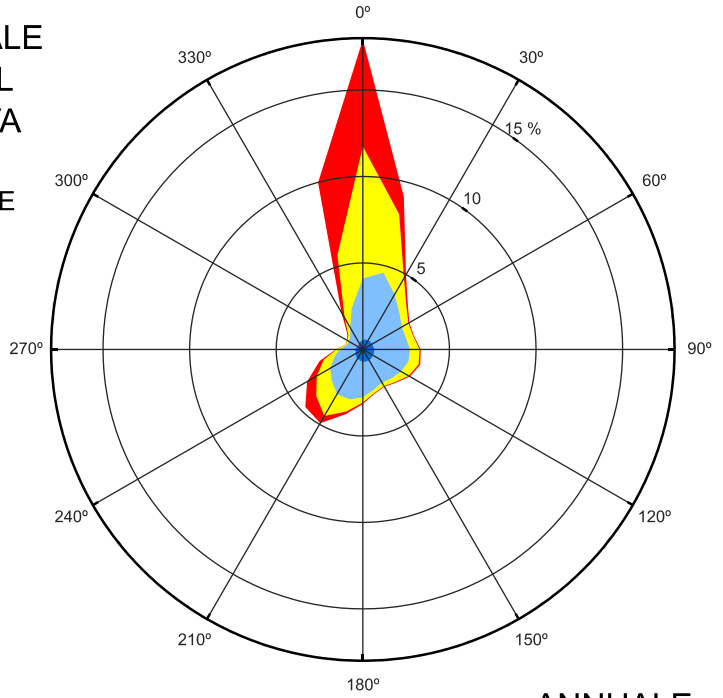
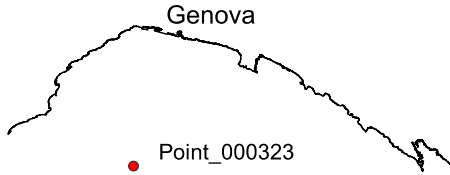
Primavera: Aprile, Maggio, Giugno

Estate: Luglio, Agosto, Settembre

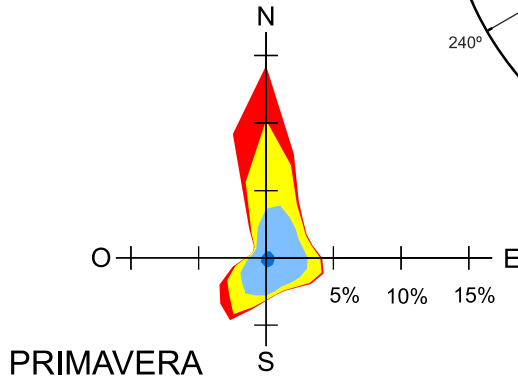
Autunno: Ottobre, Novembre, Dicembre

**DISTRIBUZIONE DIREZIONALE
 DEI VENTI RICOSTRUITI DAL
 DICCA AL LARGO DI GENOVA
 NEL PUNTO 000323**

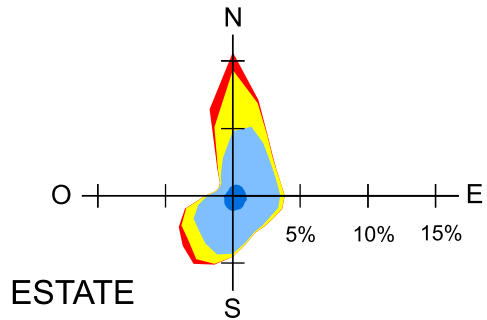
Coordinate LAT: 44.00°N, LON 8.74°E
 Periodo 1979-2018



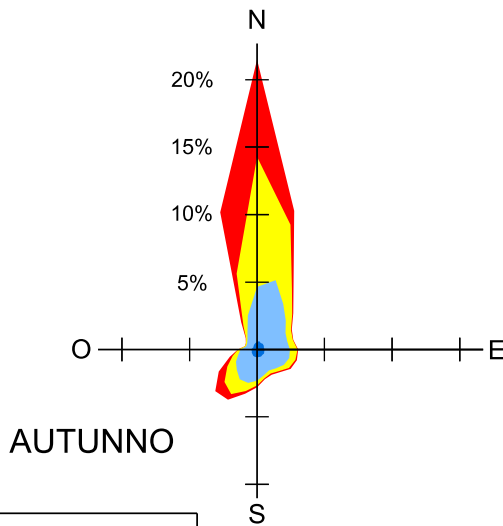
ANNUALE



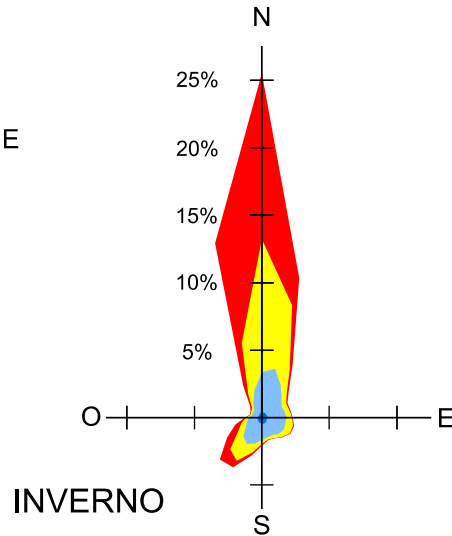
PRIMAVERA



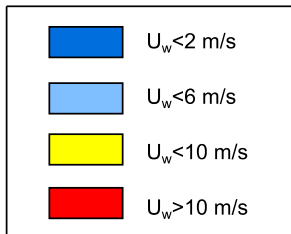
ESTATE



AUTUNNO



INVERNO



INVERNO		Frequenza di superamento				
		>2 m/s	>4 m/s	>6 m/s	>10 m/s	>12 m/s
TRAMONTANA	(345-15 °N)	48.4	45.7	40.4	22.0	12.7
GRECALE	(30-60 °N)	8.4	5.7	3.1	0.7	0.3
LEVANTE	(75-105 °N)	5.7	3.3	1.6	0.2	0.1
SCIROCCO	(120-150 °N)	5.0	2.6	1.2	0.1	0.0
MEZZOGIORNO	(165-195 °N)	5.4	3.1	1.6	0.4	0.2
LIBECCIO	(210-240 °N)	10.5	8.2	6.1	2.6	1.6
PONENTE	(255-285 °N)	3.3	2.1	1.4	0.6	0.4
MAESTRALE	(300-330 °N)	4.1	3.0	2.2	1.0	0.6
Totale		90.8	73.7	57.4	27.7	16.0

PRIMAVERA		Frequenza di superamento				
		>2 m/s	>4 m/s	>6 m/s	>10 m/s	>12 m/s
TRAMONTANA	(345-15 °N)	30.4	26.9	21.7	8.6	3.8
GRECALE	(30-60 °N)	10.5	6.1	2.9	0.5	0.2
LEVANTE	(75-105 °N)	10.2	6.1	3.1	0.4	0.1
SCIROCCO	(120-150 °N)	7.8	3.9	1.9	0.2	0.1
MEZZOGIORNO	(165-195 °N)	8.0	4.1	1.8	0.2	0.1
LIBECCIO	(210-240 °N)	12.7	9.4	6.4	2.1	1.2
PONENTE	(255-285 °N)	4.1	2.4	1.3	0.2	0.1
MAESTRALE	(300-330 °N)	3.9	2.4	1.5	0.4	0.2
Totale		87.6	61.4	40.4	12.7	5.7

ESTATE		Frequenza di superamento				
		>2 m/s	>4 m/s	>6 m/s	>10 m/s	>12 m/s
TRAMONTANA	(345-15 °N)	22.3	17.1	11.7	2.9	1.0
GRECALE	(30-60 °N)	10.3	4.4	1.3	0.1	0.0
LEVANTE	(75-105 °N)	8.3	3.3	0.9	0.0	0.0
SCIROCCO	(120-150 °N)	6.6	1.8	0.5	0.0	0.0
MEZZOGIORNO	(165-195 °N)	10.2	3.8	1.1	0.1	0.0
LIBECCIO	(210-240 °N)	13.1	8.4	4.7	1.2	0.5
PONENTE	(255-285 °N)	5.1	2.7	1.2	0.1	0.0
MAESTRALE	(300-330 °N)	3.2	1.5	0.7	0.1	0.0
Totale		79.2	42.9	22.0	4.6	1.6

AUTUNNO		Frequenza di superamento				
		>2 m/s	>4 m/s	>6 m/s	>10 m/s	>12 m/s
TRAMONTANA	(345-15 °N)	40.8	36.6	30.0	12.9	6.1
GRECALE	(30-60 °N)	10.4	6.2	2.8	0.4	0.1
LEVANTE	(75-105 °N)	7.2	4.0	1.6	0.2	0.1
SCIROCCO	(120-150 °N)	5.6	2.7	1.4	0.3	0.2
MEZZOGIORNO	(165-195 °N)	6.7	3.4	1.6	0.4	0.2
LIBECCIO	(210-240 °N)	10.4	7.6	5.4	2.2	1.1
PONENTE	(255-285 °N)	3.2	1.8	0.9	0.2	0.1
MAESTRALE	(300-330 °N)	3.4	2.0	1.2	0.4	0.2
Totale		87.7	64.3	44.9	17.1	8.1

APPENDICE B

Frequenze di superamento annuale ed estiva della velocità dei venti registrati dalla stazione SYNOP di Genova-Sestri nel periodo 2008-2019 suddivise per classi di direzione di provenienza.

Dir (°N)	Frequenza di superamento. ANNUALE				
	>2 m/s	>4 m/s	>6 m/s	>10 m/s	>12 m/s
0	5.46	2.95	1.34	0.11	0.04
30	26.30	10.87	5.21	0.24	0.03
60	15.90	6.94	1.37	0.03	0.01
90	2.20	0.82	0.22	0.01	0.00
120	7.95	6.09	3.44	0.36	0.11
150	9.10	4.47	1.62	0.08	0.02
180	5.52	1.77	0.62	0.03	0.01
210	3.81	1.05	0.50	0.08	0.02
240	2.95	0.59	0.14	0.00	0.00
270	0.94	0.23	0.06	0.00	0.00
300	0.67	0.25	0.11	0.01	0.00
330	1.52	0.85	0.36	0.02	0.00
Tot	82.3	36.9	15.0	1.0	0.2

Dir (°N)	Frequenza di superamento. ESTATE				
	>2 m/s	>4 m/s	>6 m/s	>10 m/s	>12 m/s
0	3.15	1.03	0.26	0.03	0.01
30	18.19	4.53	1.94	0.03	0.00
60	11.87	3.22	0.27	0.01	0.00
90	1.35	0.53	0.13	0.03	0.01
120	9.15	7.22	4.10	0.33	0.06
150	13.69	6.31	2.04	0.03	0.00
180	8.23	1.00	0.40	0.00	0.00
210	6.05	0.69	0.19	0.00	0.00
240	5.62	0.69	0.18	0.00	0.00
270	1.00	0.18	0.09	0.00	0.00
300	0.47	0.13	0.04	0.00	0.00
330	0.86	0.33	0.12	0.01	0.01
Tot	79.6	25.8	9.7	0.5	0.1

APPENDICE C

Descrizione dei modelli RMA-2 e RMA-4

Il sistema TABS è stato sviluppato dalla United States Army Engineering Waterways Experiment Station per simulare numerosi problemi idrodinamici costieri. Il sistema SMS-TABS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

I programmi contenuti nel pacchetto TABS possono essere usati per analizzare le variazioni di livello ed il campo di velocità per problemi idrodinamici in acque costiere.

I programmi del pacchetto TABS contengono, inoltre, codici rivolti sia alla simulazione della diffusione e dispersione di inquinanti che di trasporto solido. Il modulo SMS 13.0 viene utilizzato per costruire la "mesh" di calcolo agli elementi finiti della regione simulata e per applicare le condizioni al contorno. Le informazioni che descrivono le griglie vengono quindi salvate in un file geometrico ed in uno o più file in cui sono contenute le condizioni al contorno.

Il software TABS è utilizzato per eseguire analisi idrodinamiche di tipo numerico. I risultati del modello sono memorizzati in file contenenti, tra le altre cose, i livelli di superficie idrica e il campo di velocità in ciascun nodo della griglia presa in esame. Questi file contenenti i risultati possono essere visualizzati mediante SMS-TABS che consente di creare grafici vettoriali a colori che descrivono i risultati.

I due componenti principali del sistema TABS, il codice RMA-2 per la determinazione del campo idrodinamico ed il codice RMA-4 per l'analisi della qualità delle acque, vengono descritti sinteticamente nel seguito.

Codice RMA-2

Il modello numerico RMA2 risolve mediante la tecnica degli elementi finiti le equazioni per flussi turbolenti di Navier-Stokes mediate alla Reynolds integrate lungo la verticale. L'attrito è calcolato con le equazioni di Manning o di Chezy e per definire le caratteristiche turbolente sono utilizzati i coefficienti di viscosità turbolenta.

Il modello tiene conto della forza di deviazione di Coriolis, dell'attrito sul fondo e dell'azione esercitata dal vento sulla superficie idrica.

Le equazioni sono risolte mediante la tecnica numerica degli elementi finiti utilizzando uno schema implicito nel tempo. Gli elementi possono essere di forma triangolare e quadrilatera in modo tale da poter seguire contorni (costituiti dalla costa e da opere marittime) di forma irregolare incluse le foci fluviali in corrispondenza delle quali può essere immessa una portata variabile nel tempo.

Originariamente, l'RMA-2 è stato sviluppato da Norton ed altri (1973) della Resource Managment Associates, Inc. di Davis, in California. Diverse modifiche al codice originale sono state apportate da alcuni ricercatori della Waterway Experiment Station (Thomas e McAnally, 1991).

Si riportano le equazioni di conservazione della quantità di moto integrate lungo la verticale risolte dal modello numerico. La descrizione completa del modello è riportata al seguente link: <http://smsdocs.aquaveo.com/rma2.pdf>.

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{gv}{C^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi = 0$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{gv}{C^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \sin \psi = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

dove

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT⁻¹]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT⁻¹]

t = tempo [T]

g = accelerazione dovuta alla gravità [LT⁻²]

h = profondità dell'acqua [L]

a = quota del fondo [L]

ρ = densità del fluido [ML⁻³]

E_{xx} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione x [MT⁻¹L⁻¹]

E_{yy} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

E_{xy} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione x [$MT^{-1}L^{-1}$]

E_{yx} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

C = coefficiente di scabrezza di Chezy (derivato dal coefficiente di Manning n) [$L^{2/3}T^{-1}$]

ζ = coefficiente di taglio empirico []

V_a = velocità del vento [LT^{-1}]

ψ = direzione del vento []

Codice RMA-4

RMA-4 è un codice agli elementi finiti per lo studio della qualità delle acque ed è stato concepito per simulare processi di avvezione e diffusione in ambienti acquatici. Il modello può essere utilizzato per lo studio del trasporto di una qualsiasi sostanza conservativa e non conservativa che può essere sia disciolta in acqua o può trovarsi in condizioni di galleggiamento neutro all'interno della colonna d'acqua. Il modello può essere utilizzato per studiare i processi fisici connessi al mescolamento di sostanze solubili e non in bacini chiusi, corsi d'acqua, baie, estuari e zone costiere. La descrizione completa del modello è riportata al seguente link: <http://smsdocs.aquaveo.com/rma4.pdf>

La forma dell'equazione di trasporto integrata lungo la verticale risolta da RMA-4 è la seguente:

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc \right) = 0$$

dove:

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT^{-1}]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT^{-1}]

t = tempo [T]

c = concentrazione del costituente [ML^{-3}]

D_x = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione x [L^2T^{-1}]

D_y = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione y [L^2T^{-1}]

σ = sorgente o uscita locale del costituente [$MT^{-1}L^{-2}$]

k = tasso di decadimento del costituente [T^{-1}]

Allegato 1: Risultati del campo idrodinamico

INDICE

SOLUZIONE 3 FASE A	2
SOLUZIONE 3 FASE B	7

SOLUZIONE 3 FASE A

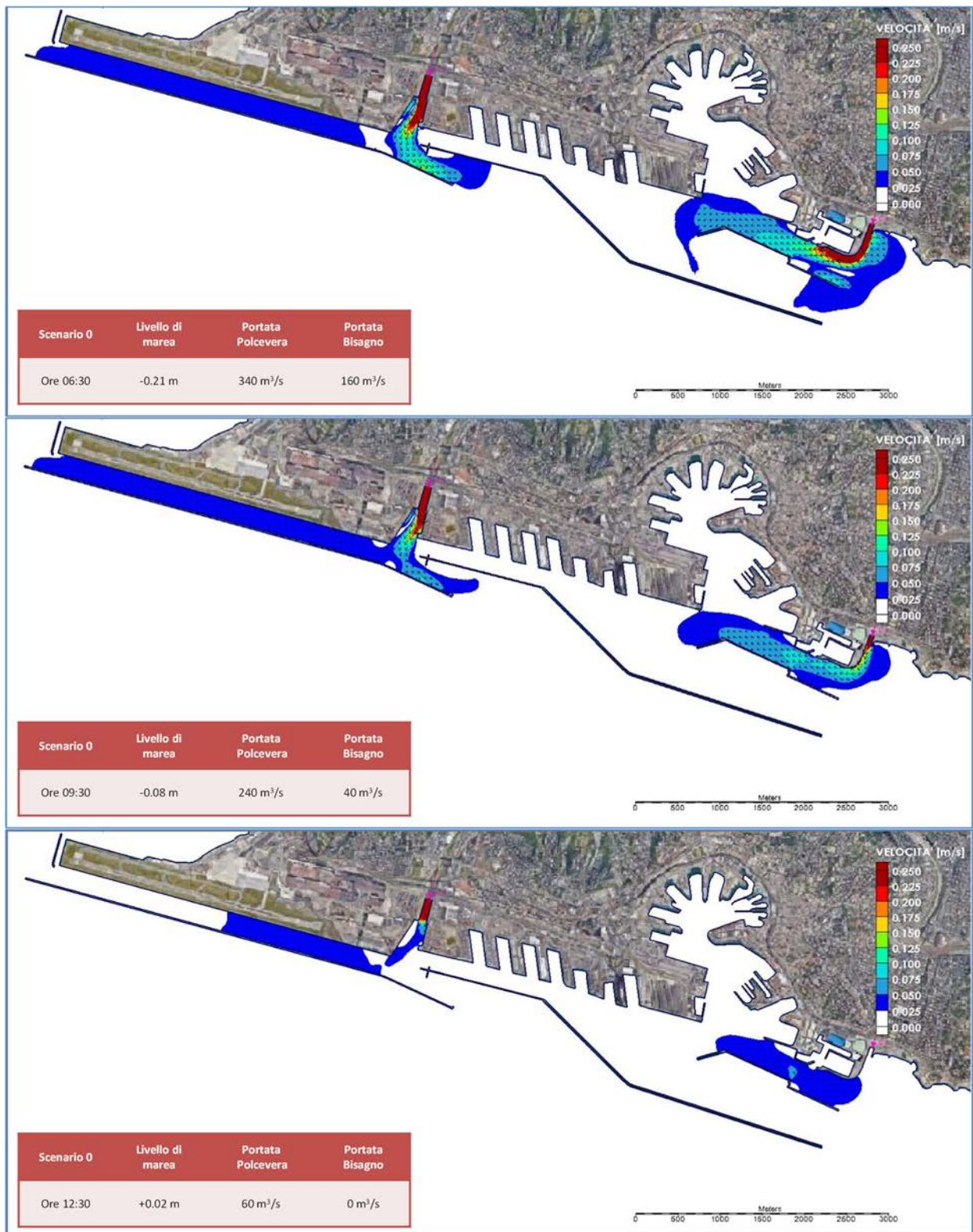


FIGURA 1. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 0: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 06:30, 09:30 E 12:30

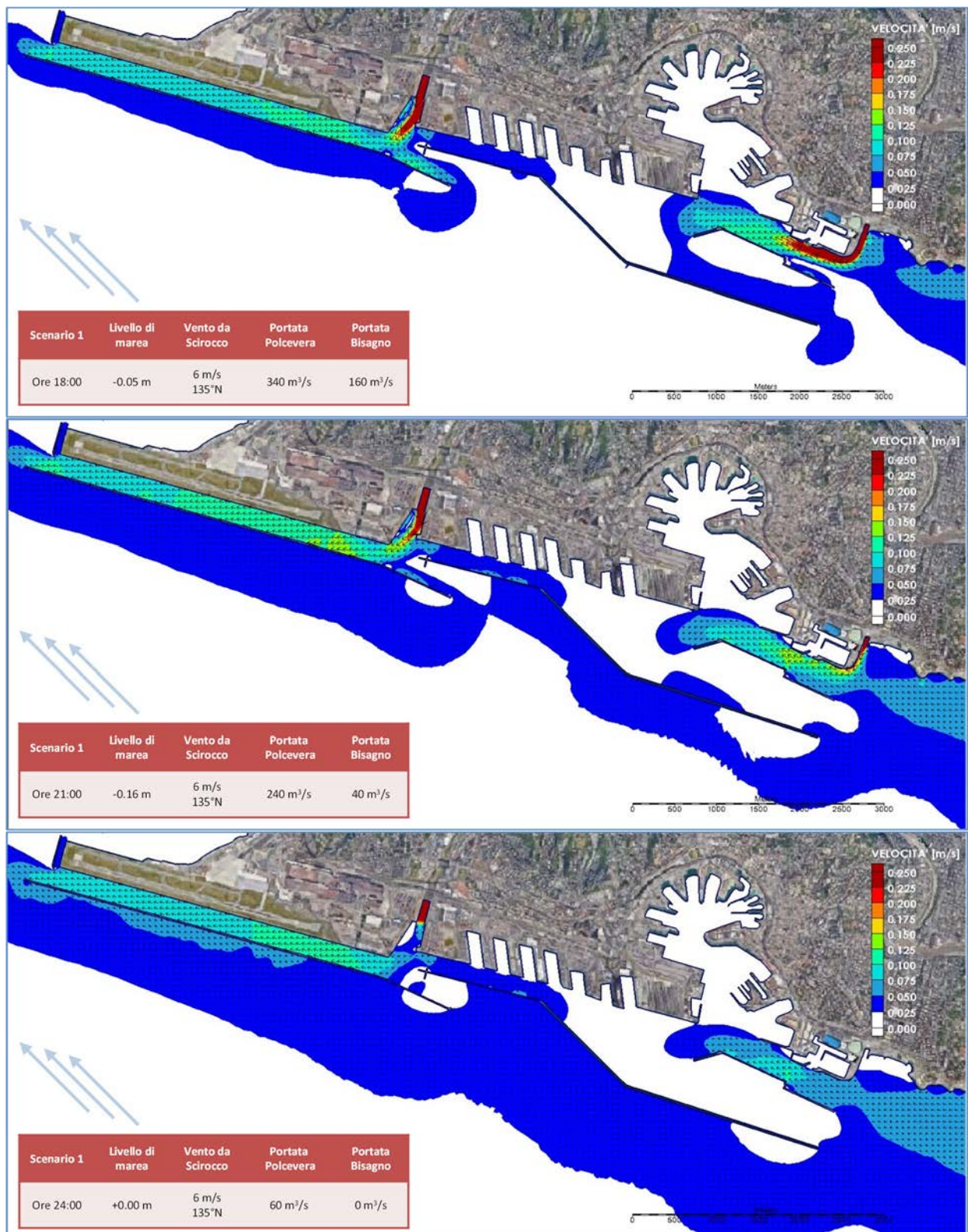


FIGURA 2. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 1: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

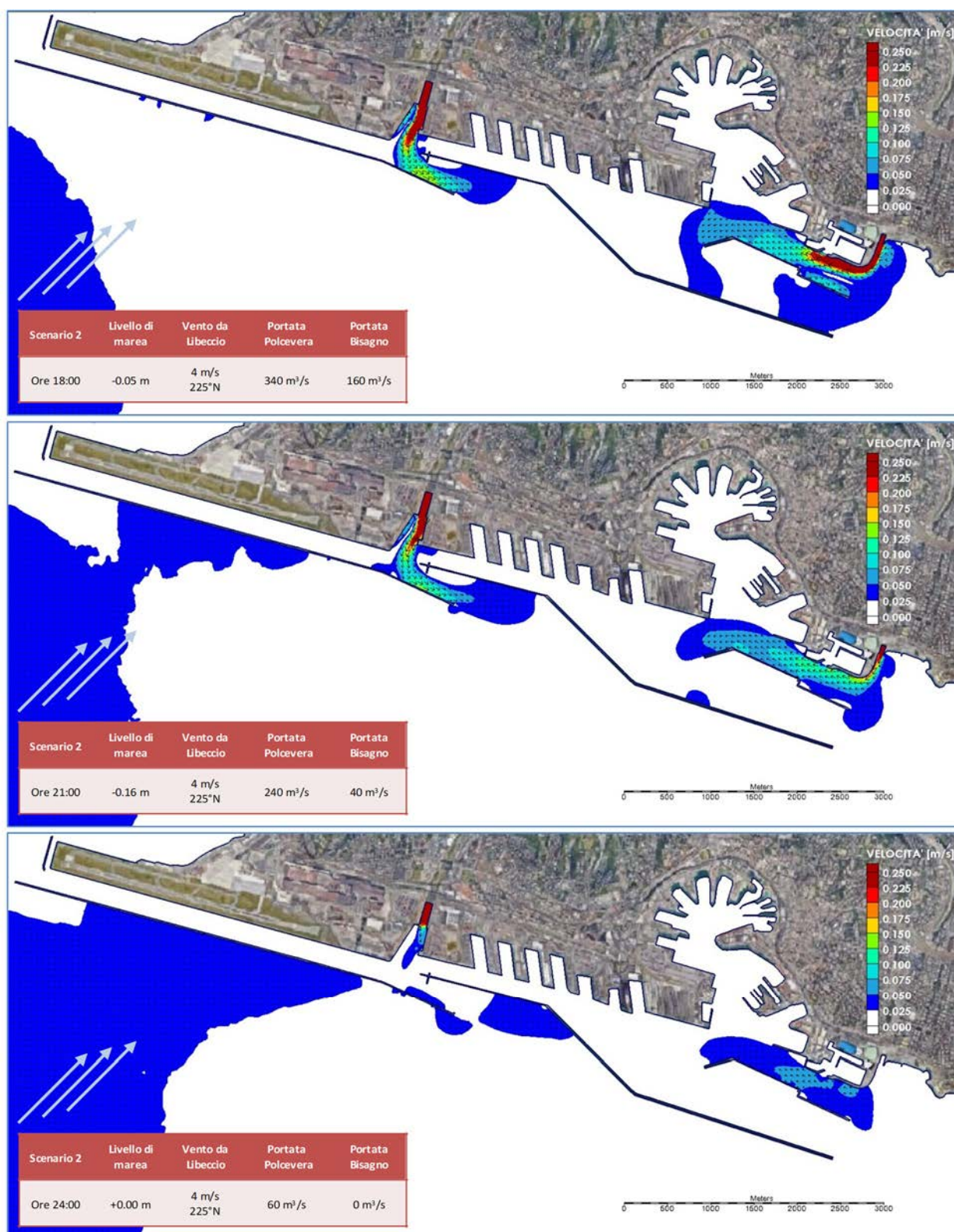


FIGURA 3. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 2: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

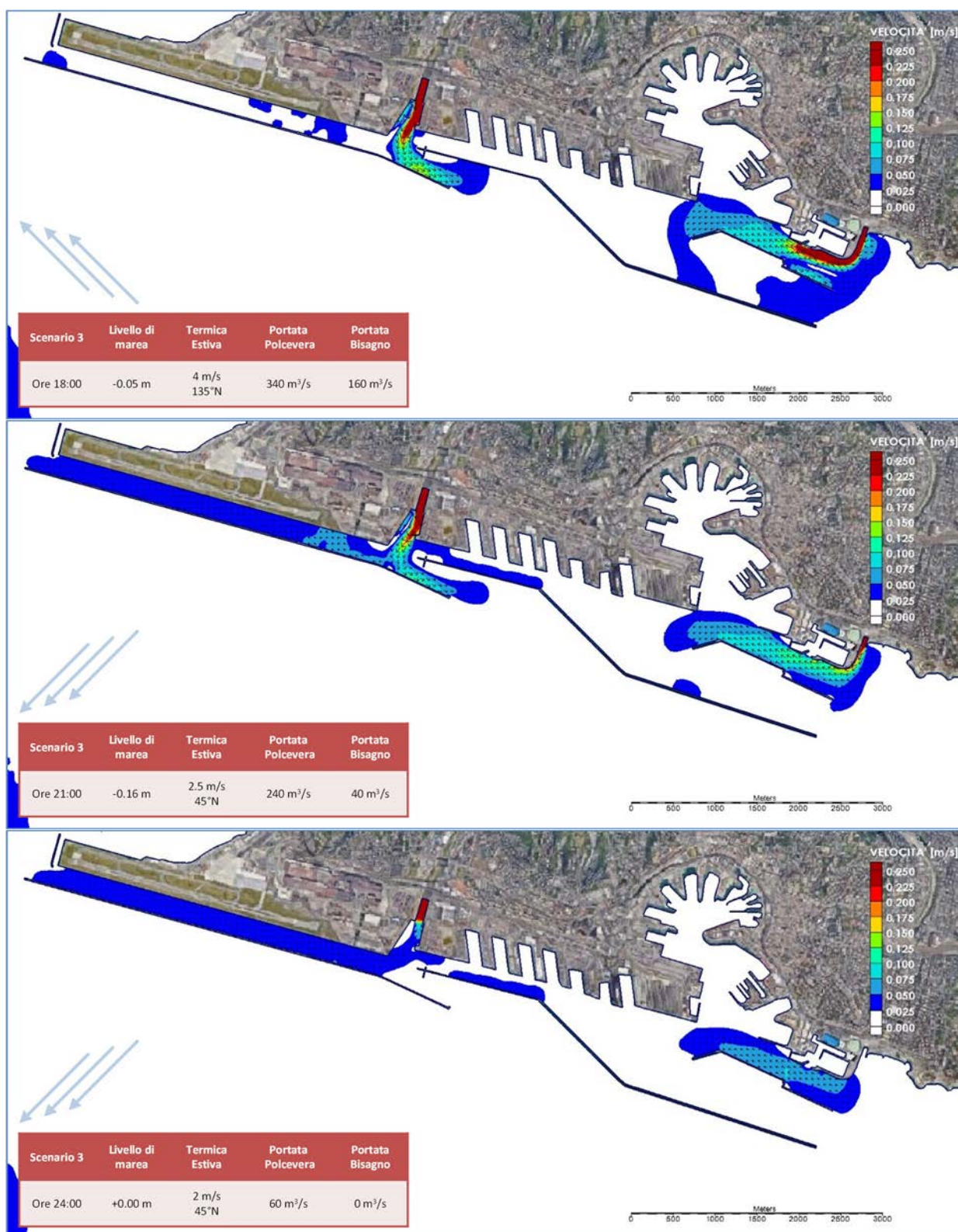


FIGURA 4. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 3: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

SOLUZIONE 3 FASE B

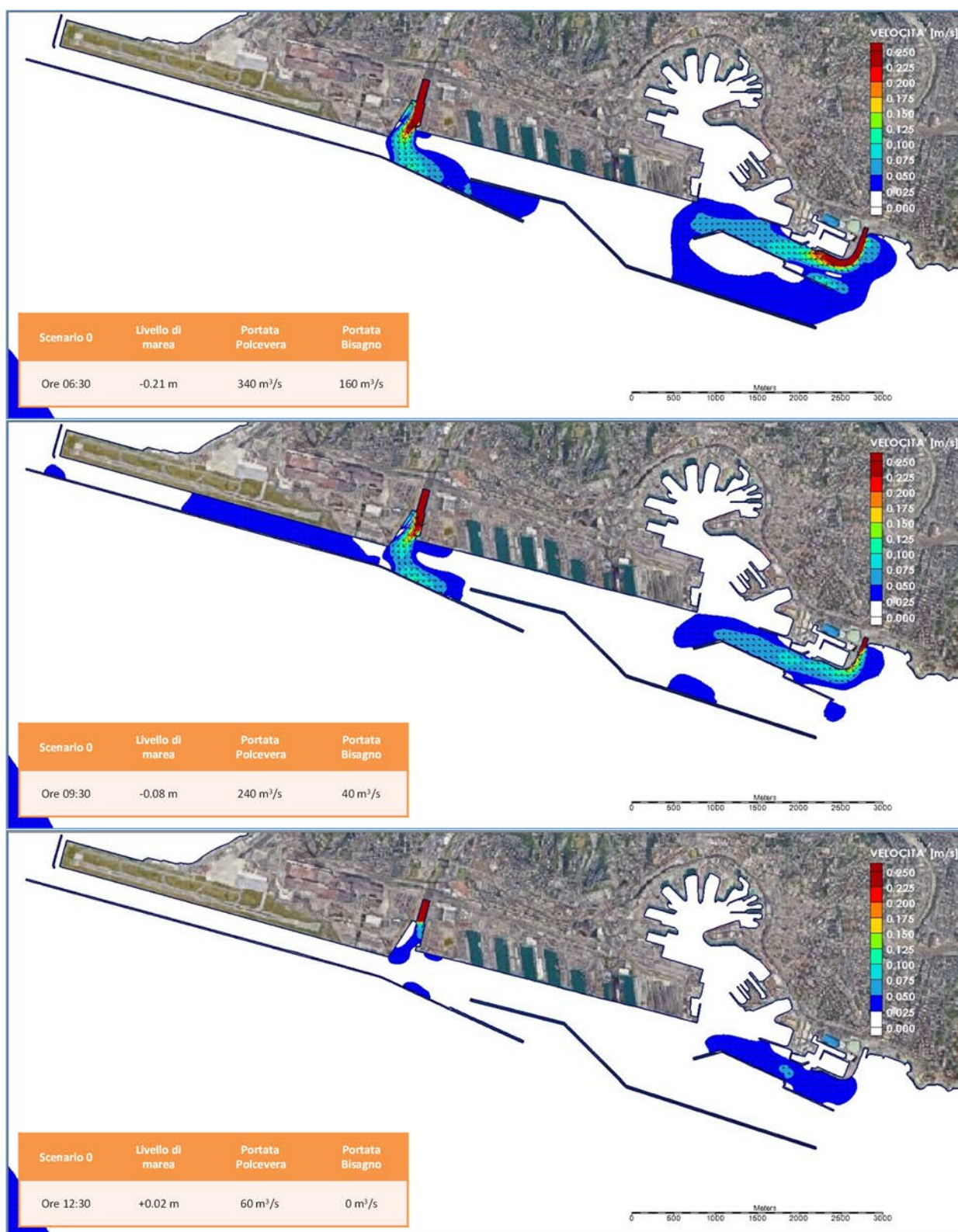


FIGURA 5. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 0: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 06:30, 09:30 E 12:30

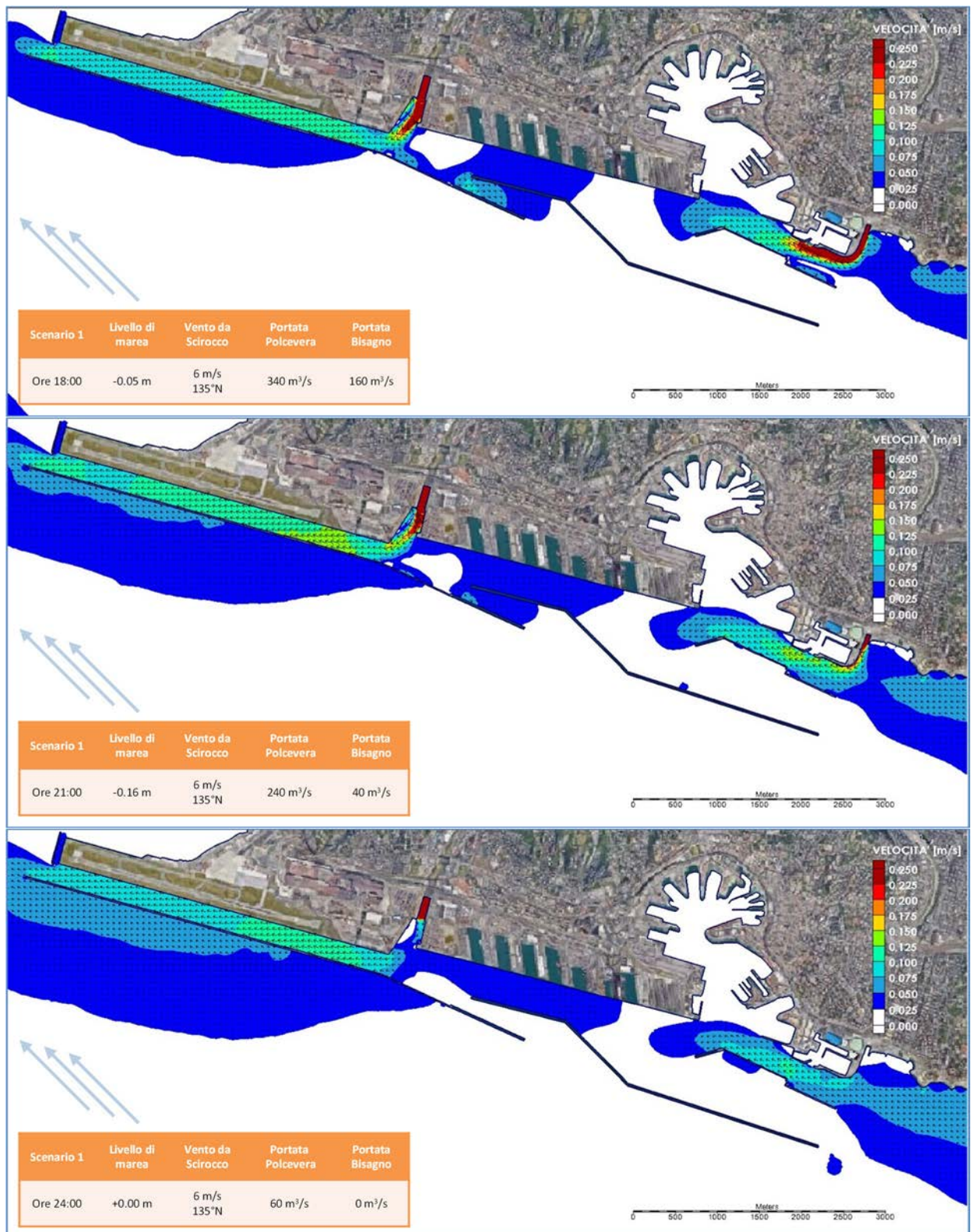


FIGURA 6. SOLUZIONE 3- FASE B, SCENARIO 1: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

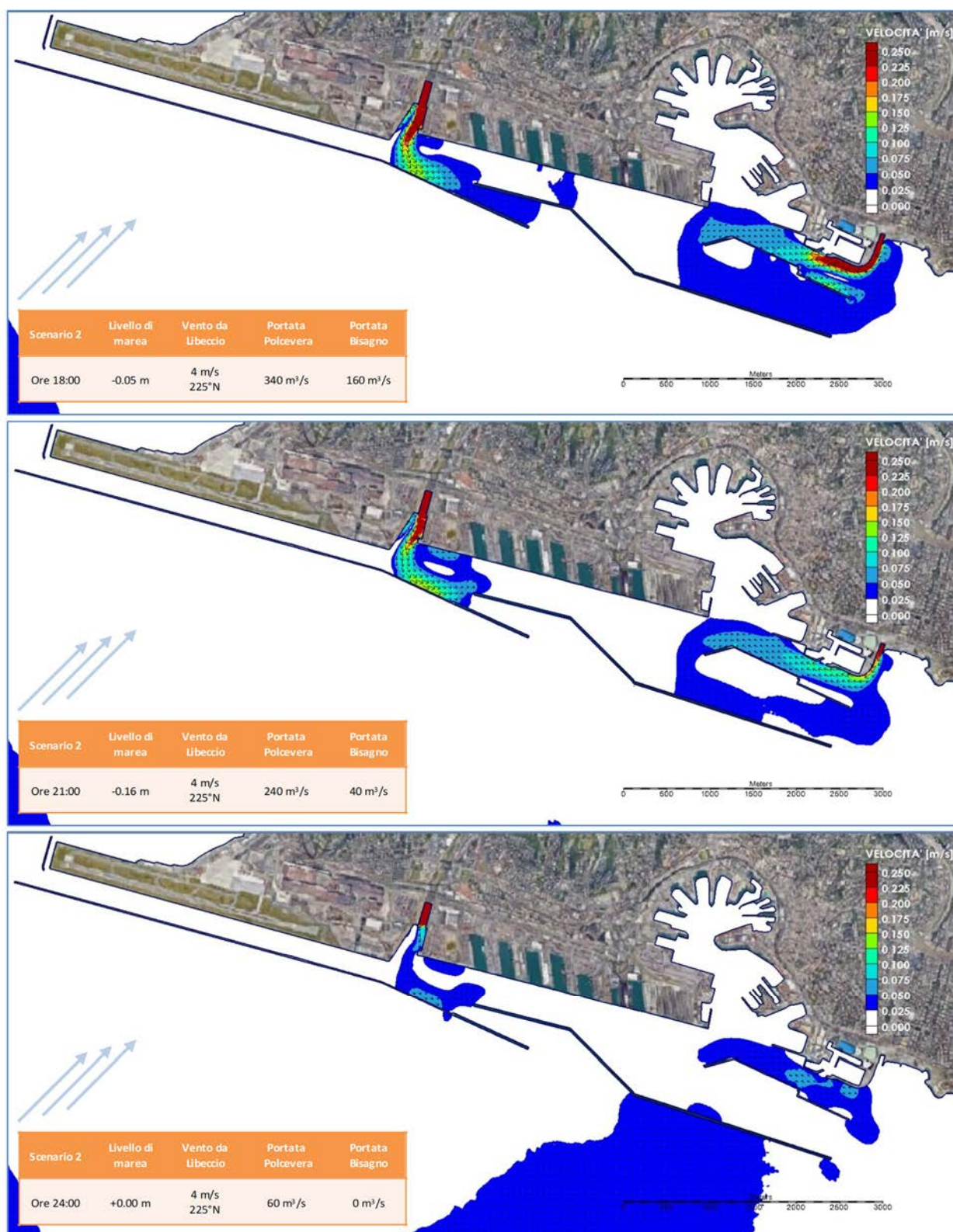


FIGURA 7. SOLUZIONE 3- FASE B, SCENARIO 2: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

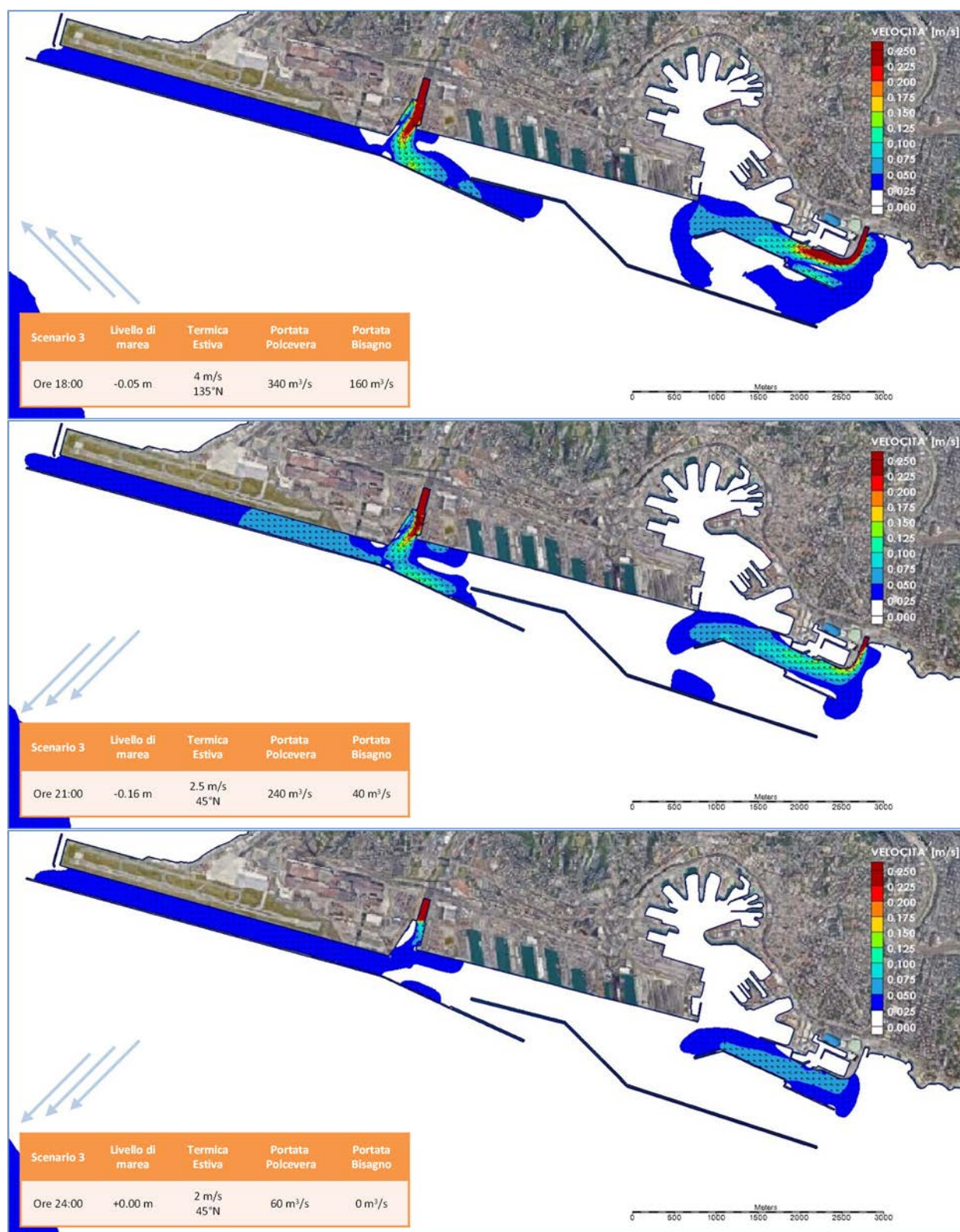


FIGURA 8. SOLUZIONE 3- FASE B, SCENARIO 3: CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

ALLEGATO 2: Risultati del campo di concentrazione

INDICE

SOLUZIONE 3 FASE A	2
SOLUZIONE 3 FASE B	11

SOLUZIONE 3 FASE A

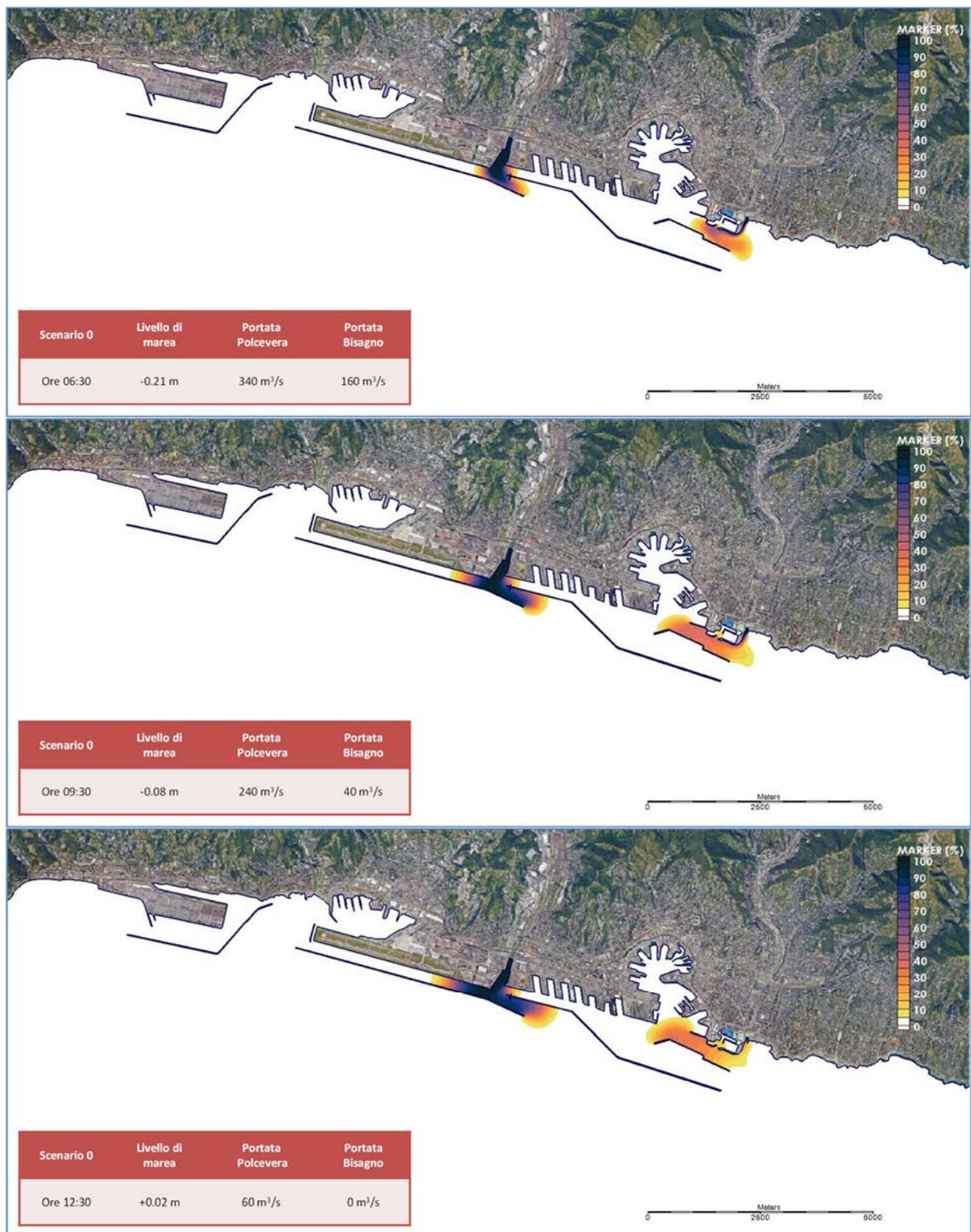


FIGURA 1. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 0: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 06:30, 09:30 E 12:30

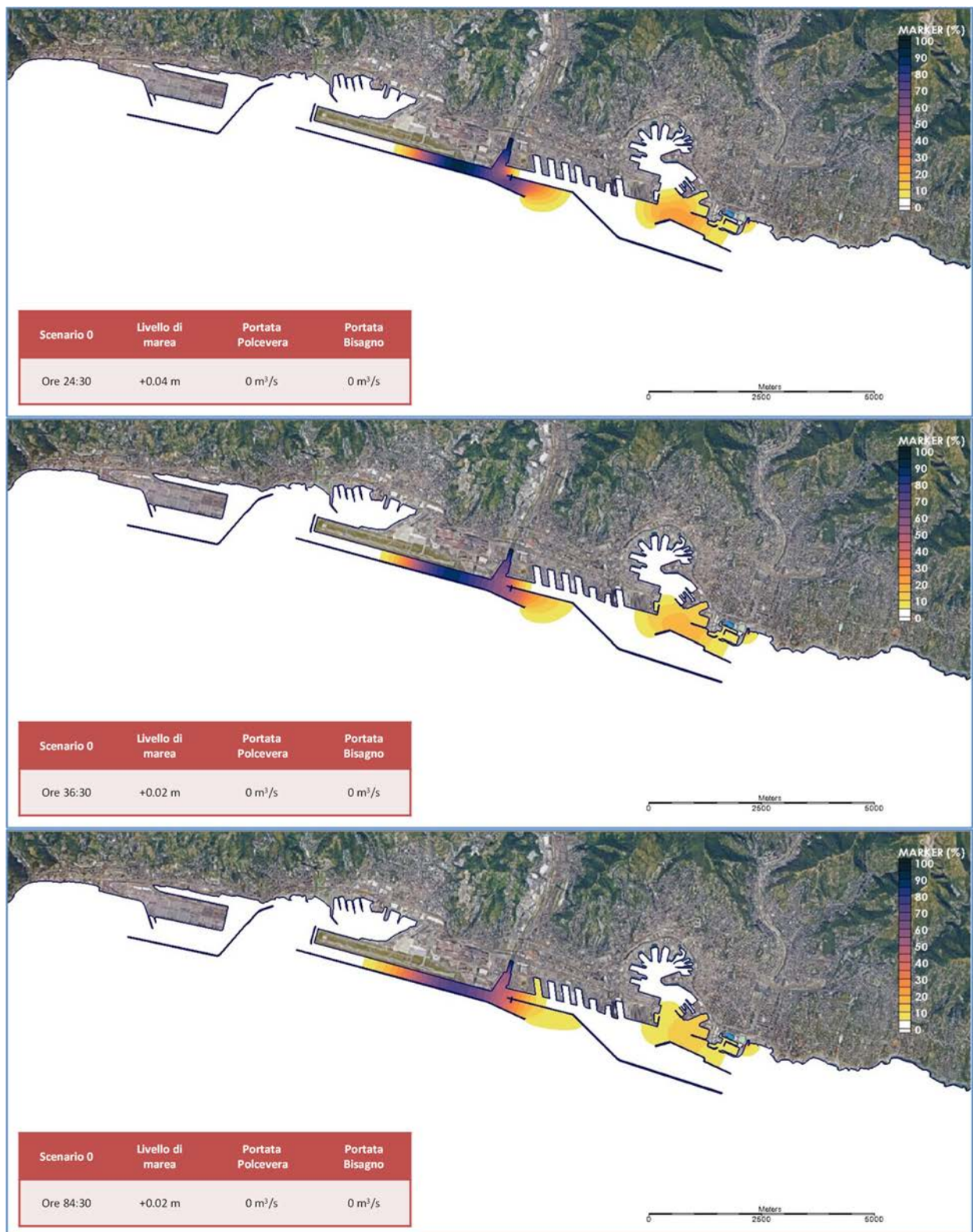


FIGURA 2. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 0: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 24:30, 36:30 E 84:30

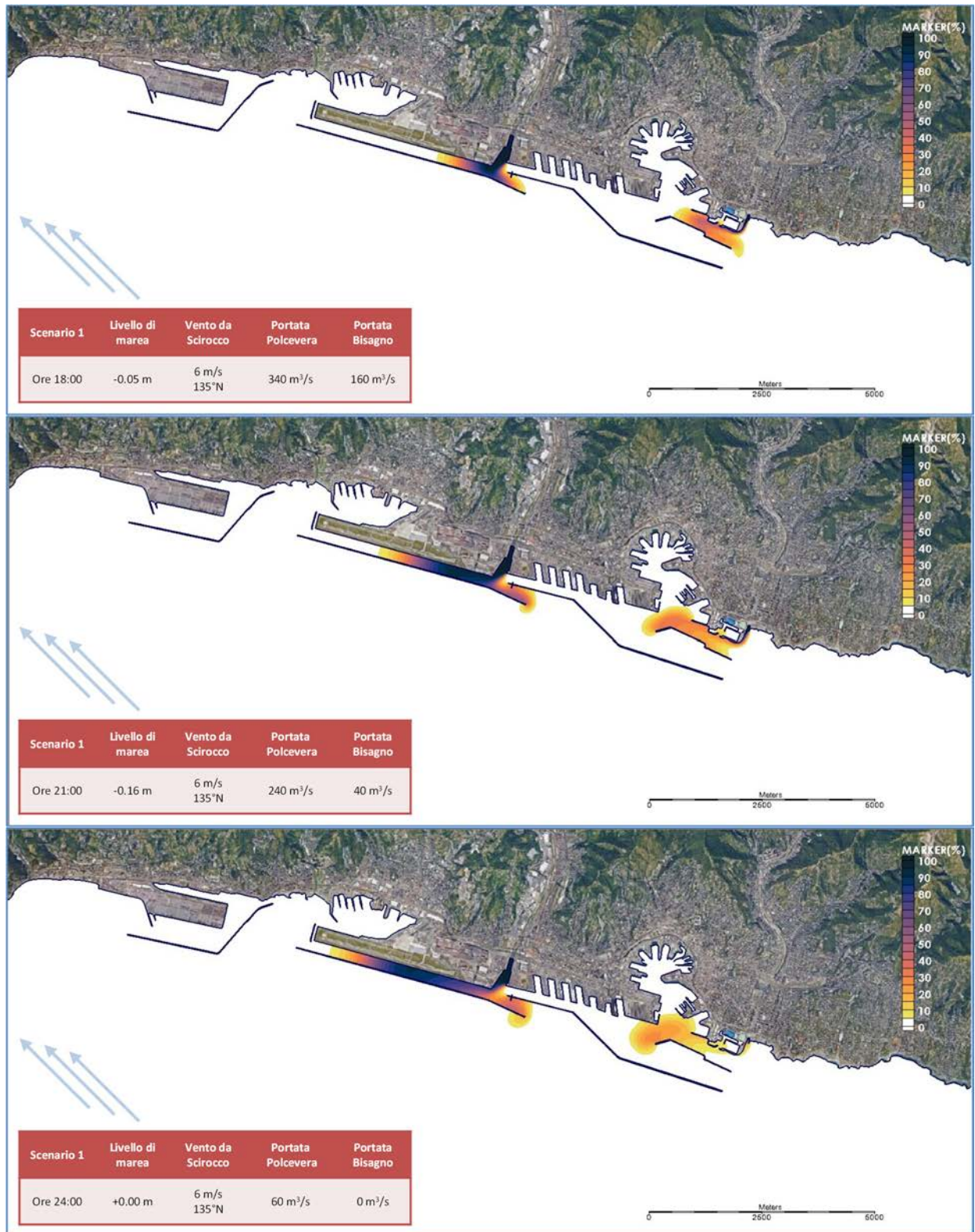


FIGURA 3. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 1: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

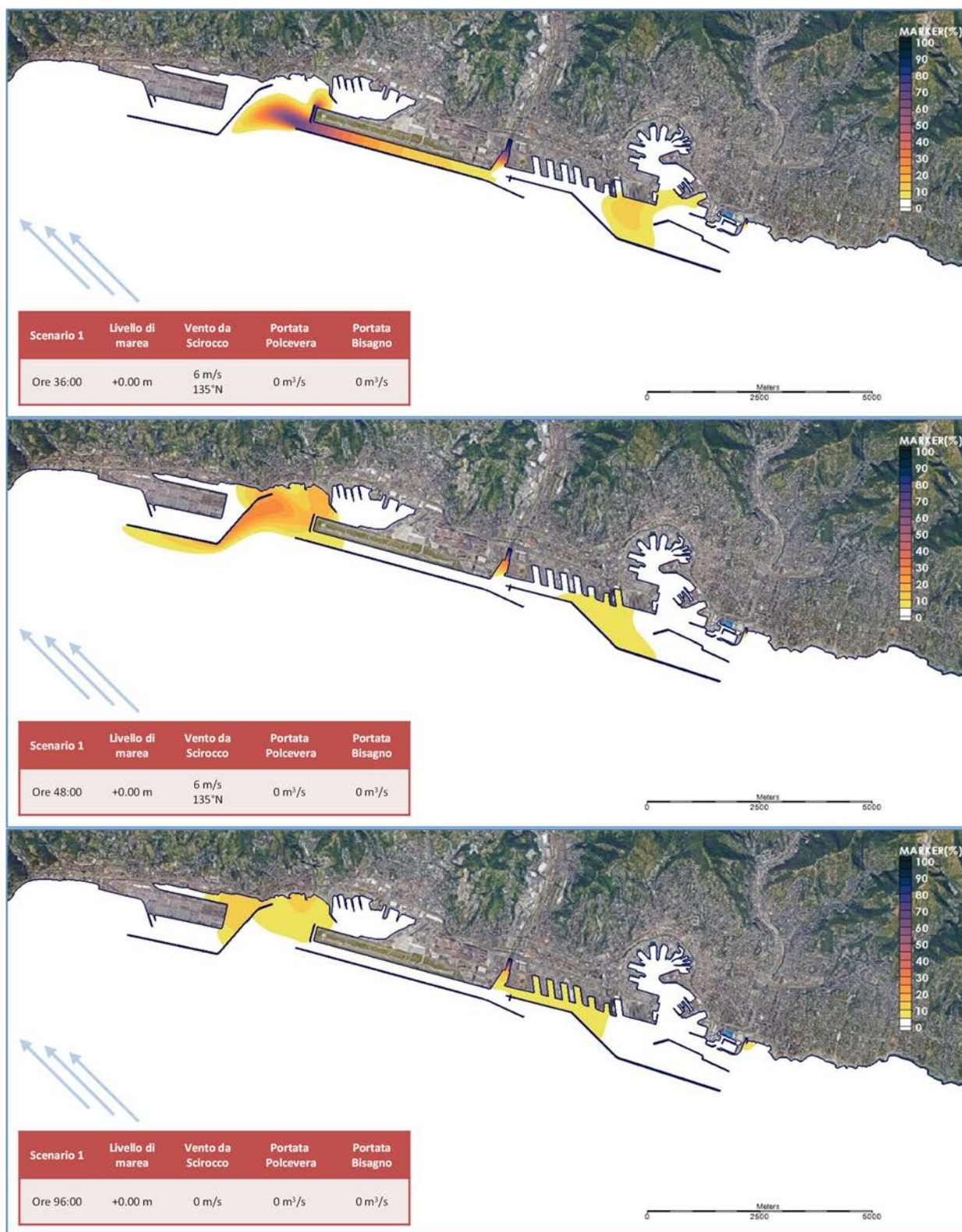


FIGURA 4. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 1: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 36:00, 48:00 E 96:00

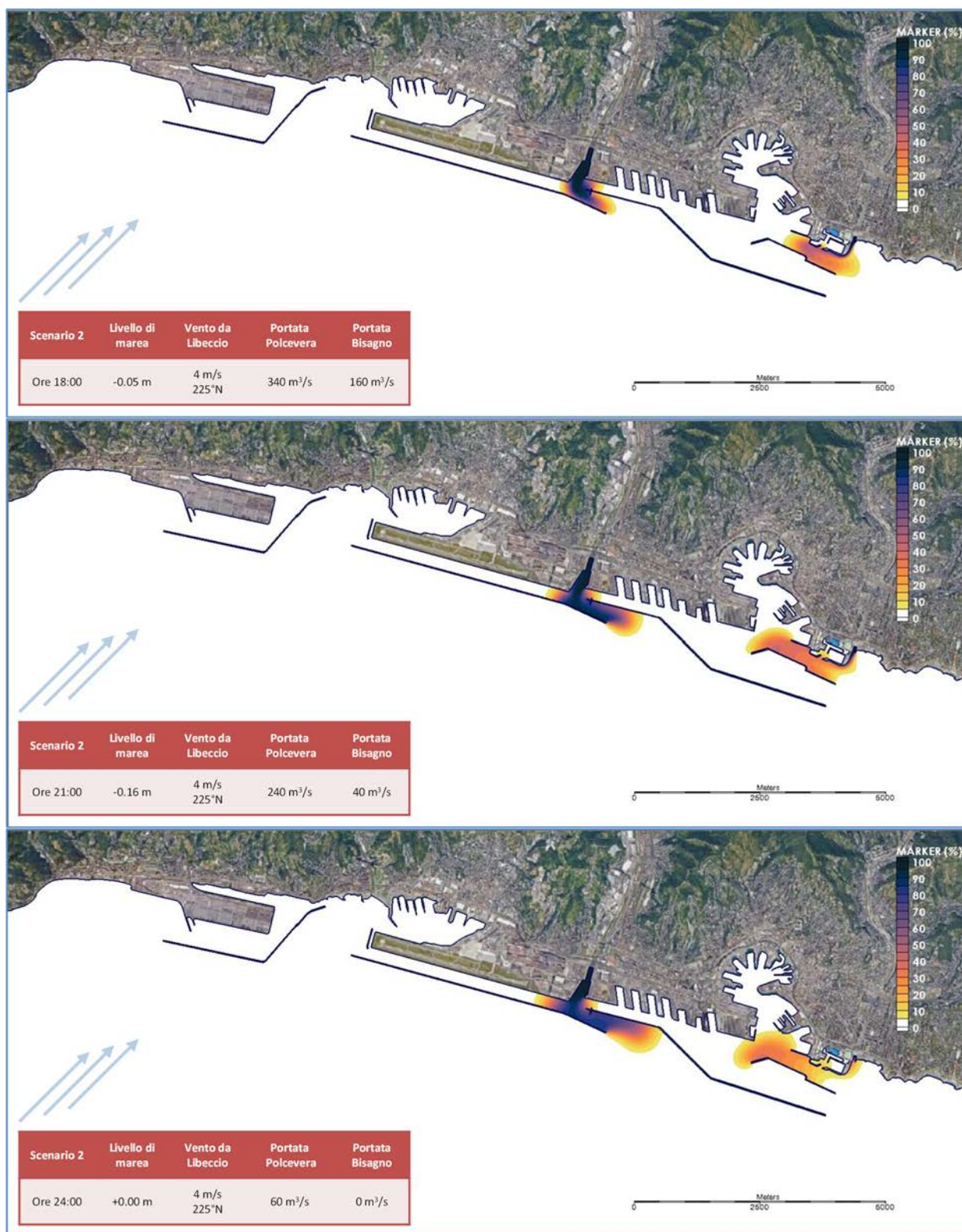


FIGURA 5. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 2: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

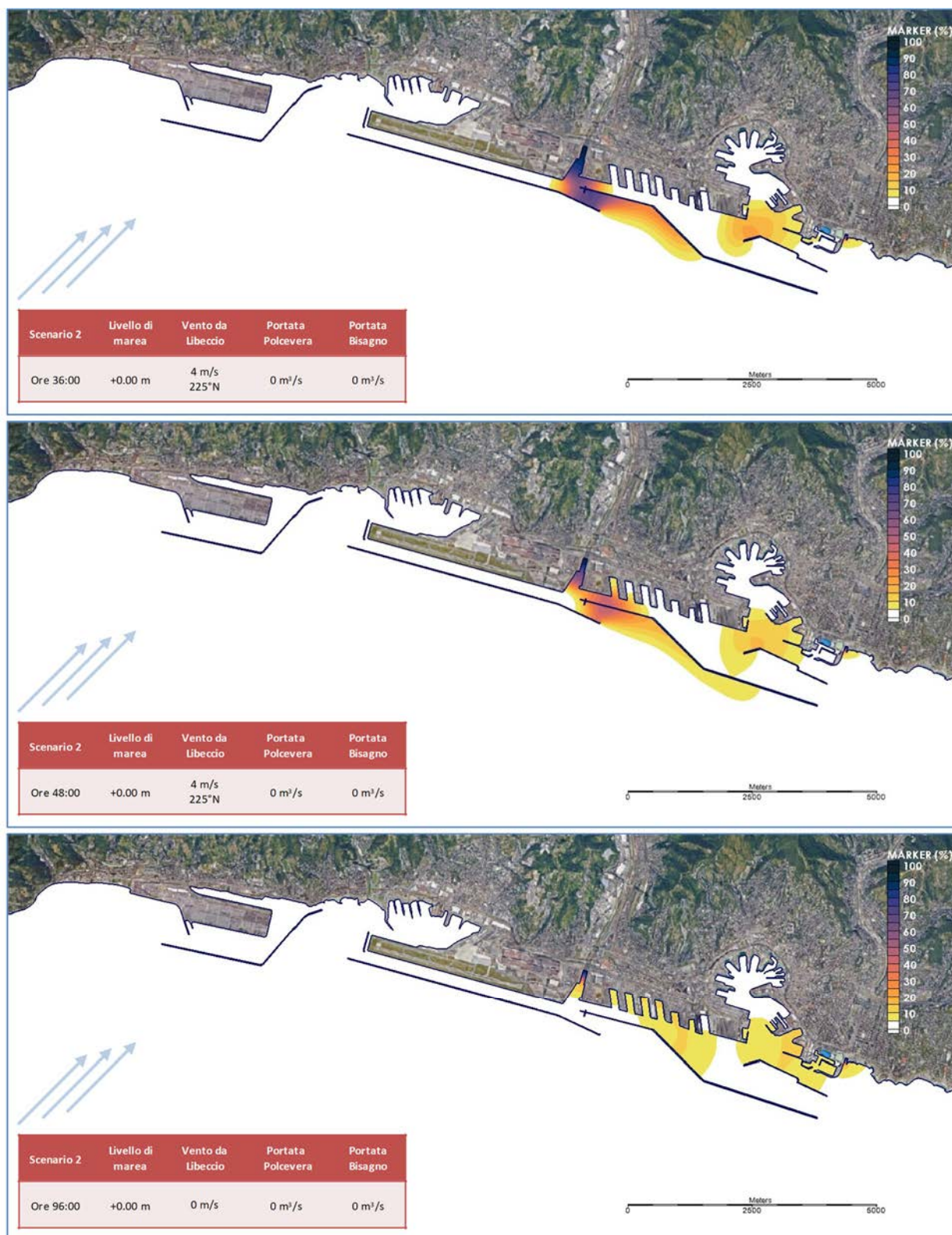


FIGURA 6. SOLUZIONE 3– FASE A, SCENARIO 2: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 36:00, 48:00 E 96:00

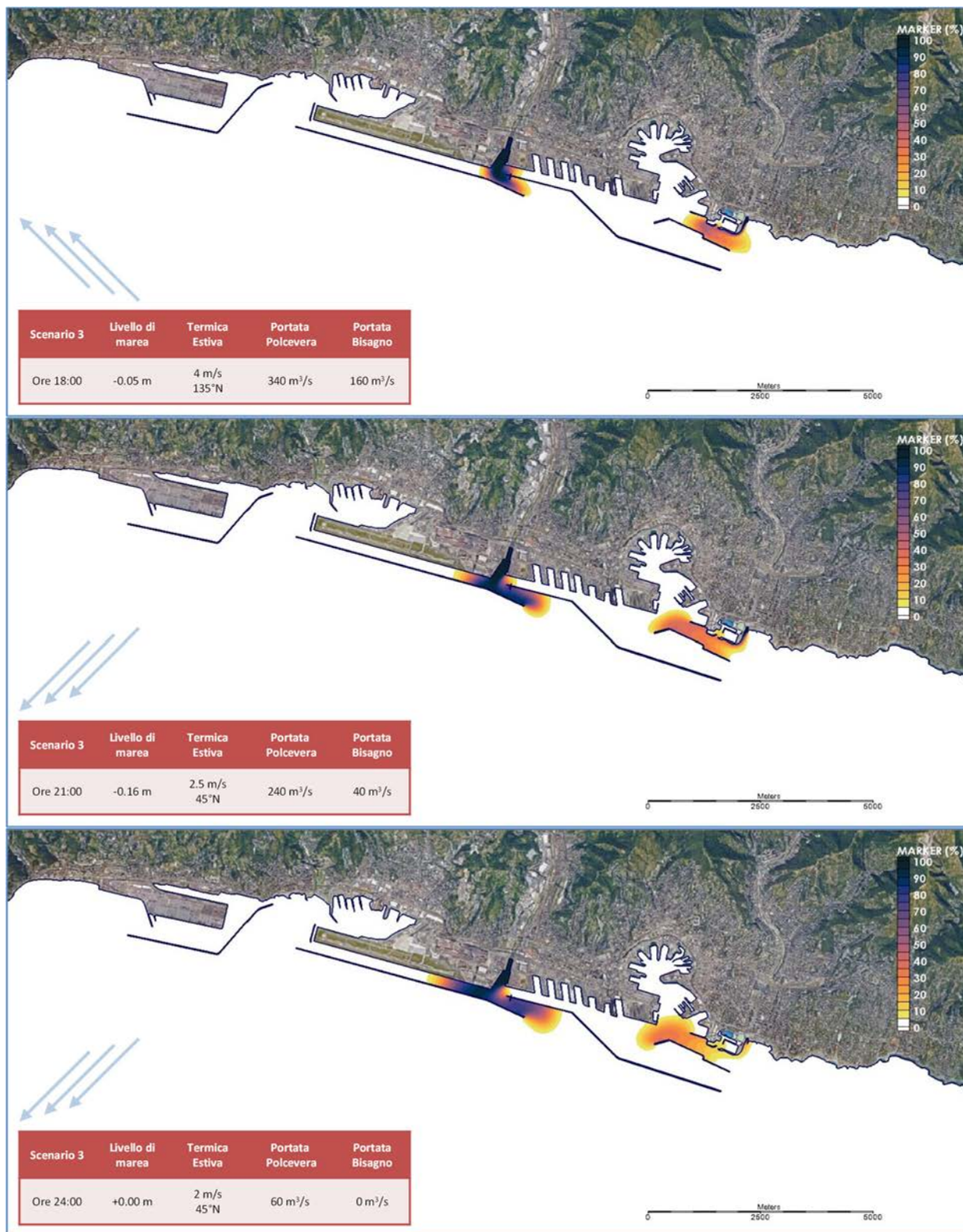


FIGURA 7. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 3: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

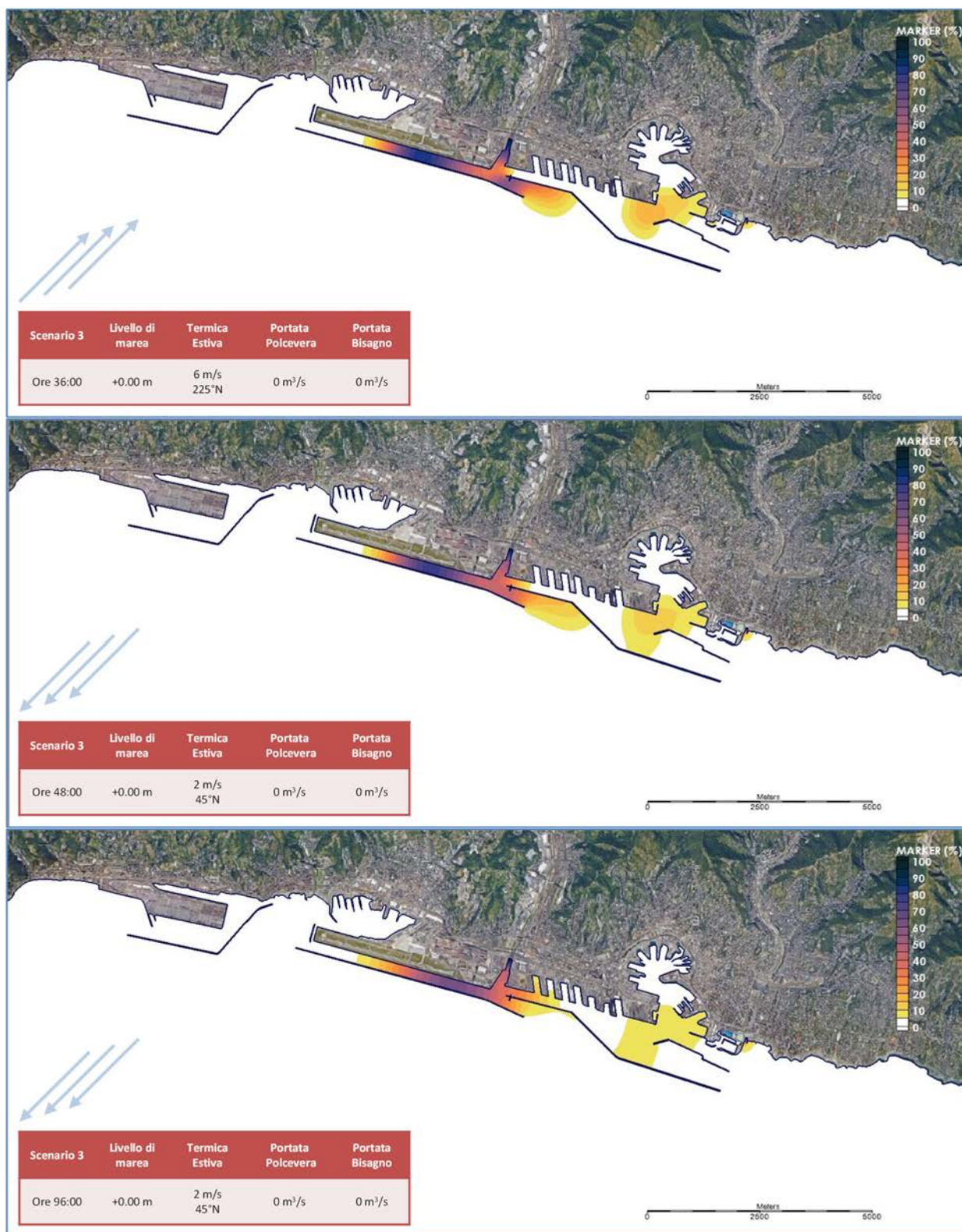


FIGURA 8. SOLUZIONE 3–FASE A, SCENARIO 3: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 36:00, 48:00 E 96:00

SOLUZIONE 3 FASE B

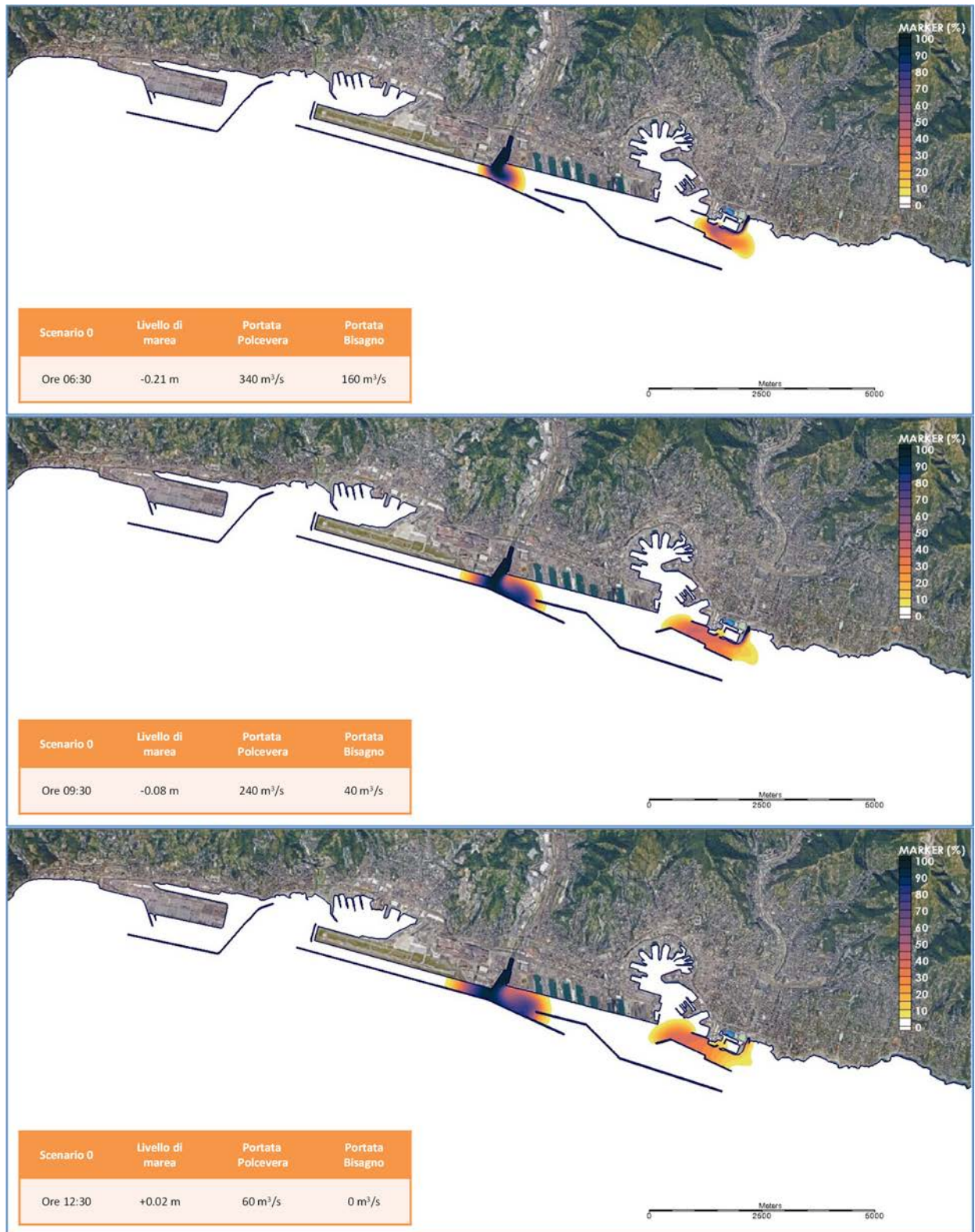


FIGURA 9. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 0: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 06:30, 09:30 E 12:30

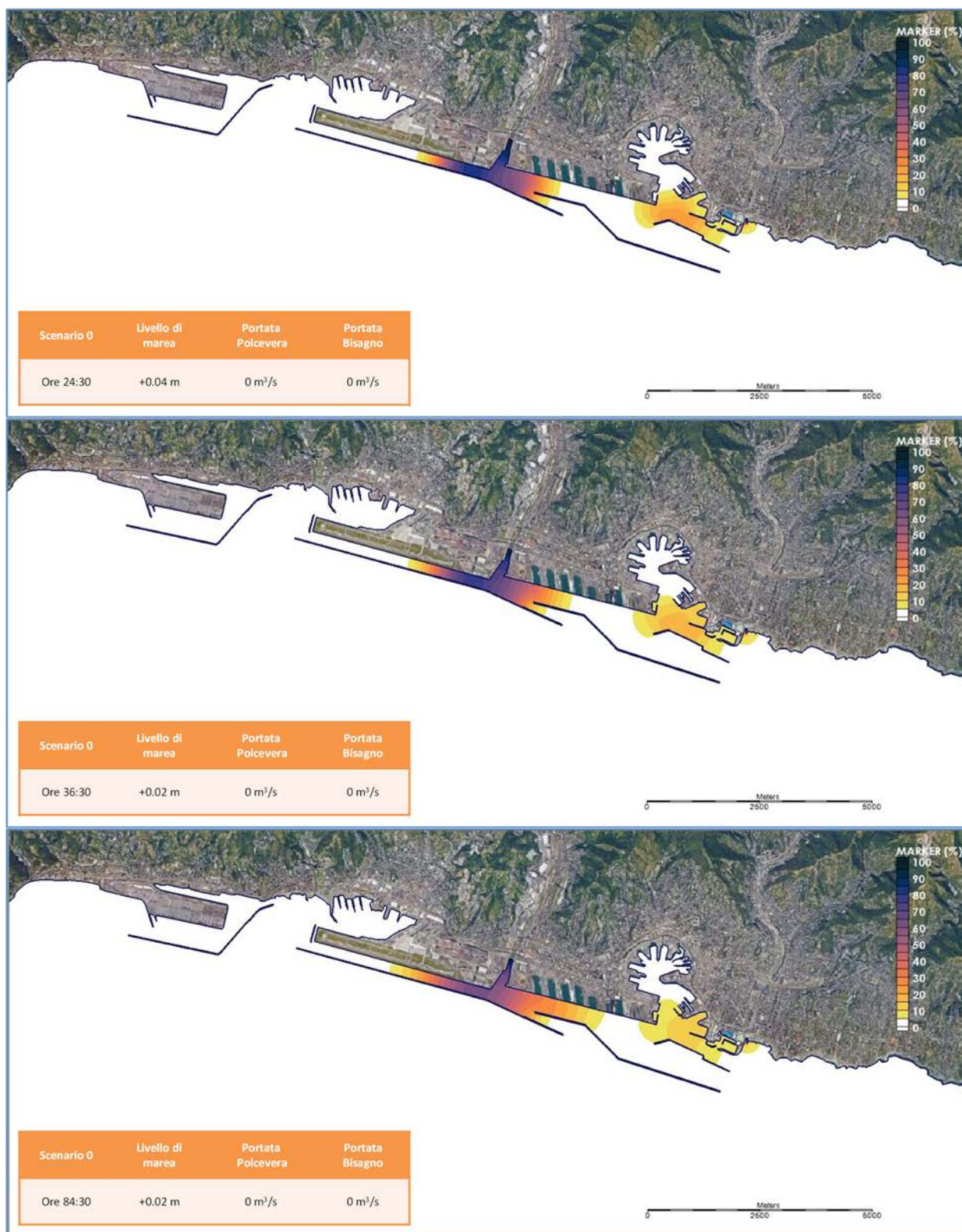


FIGURA 10. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 0: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 24:30, 36:30 E 84:30

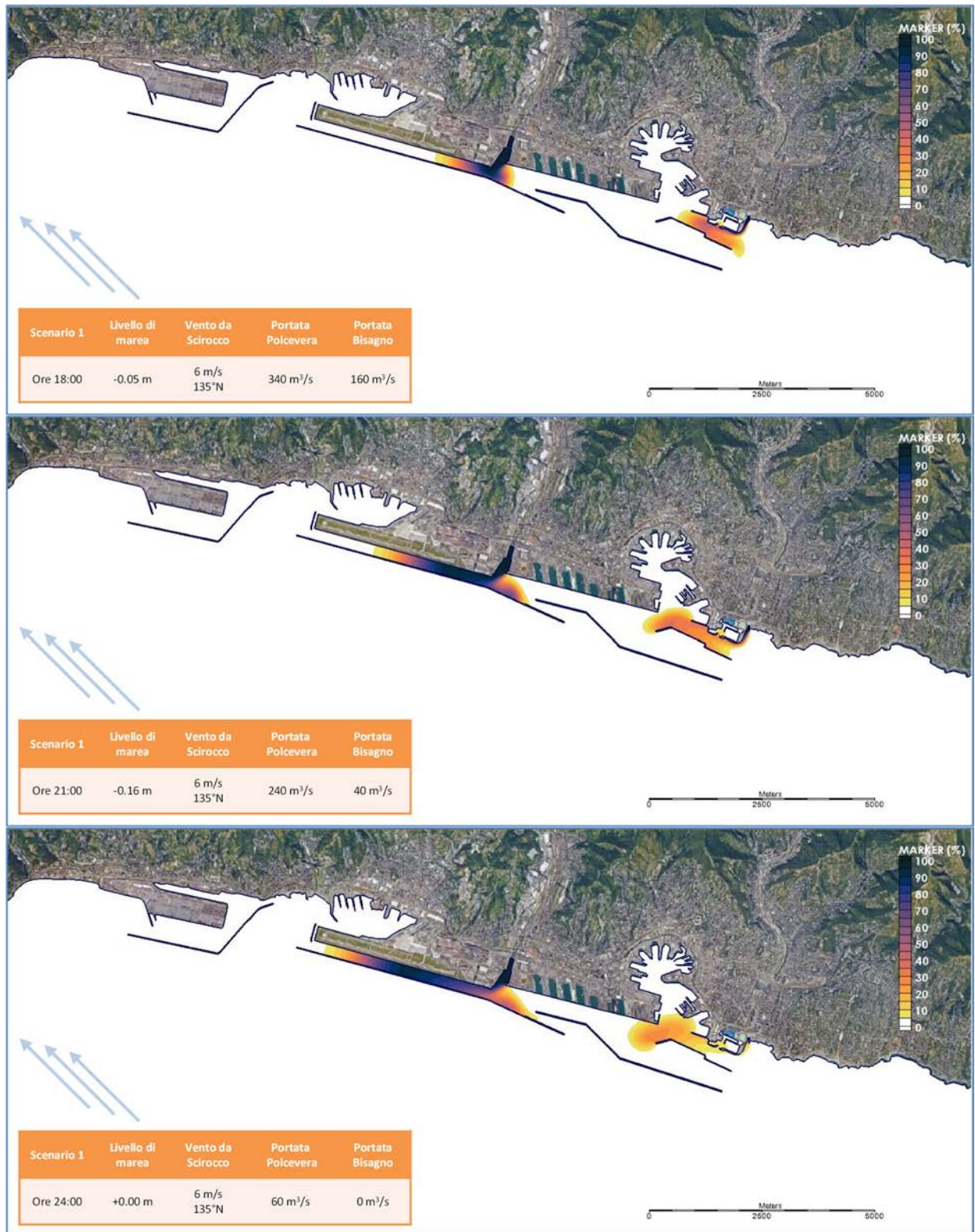


FIGURA 11. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 1: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

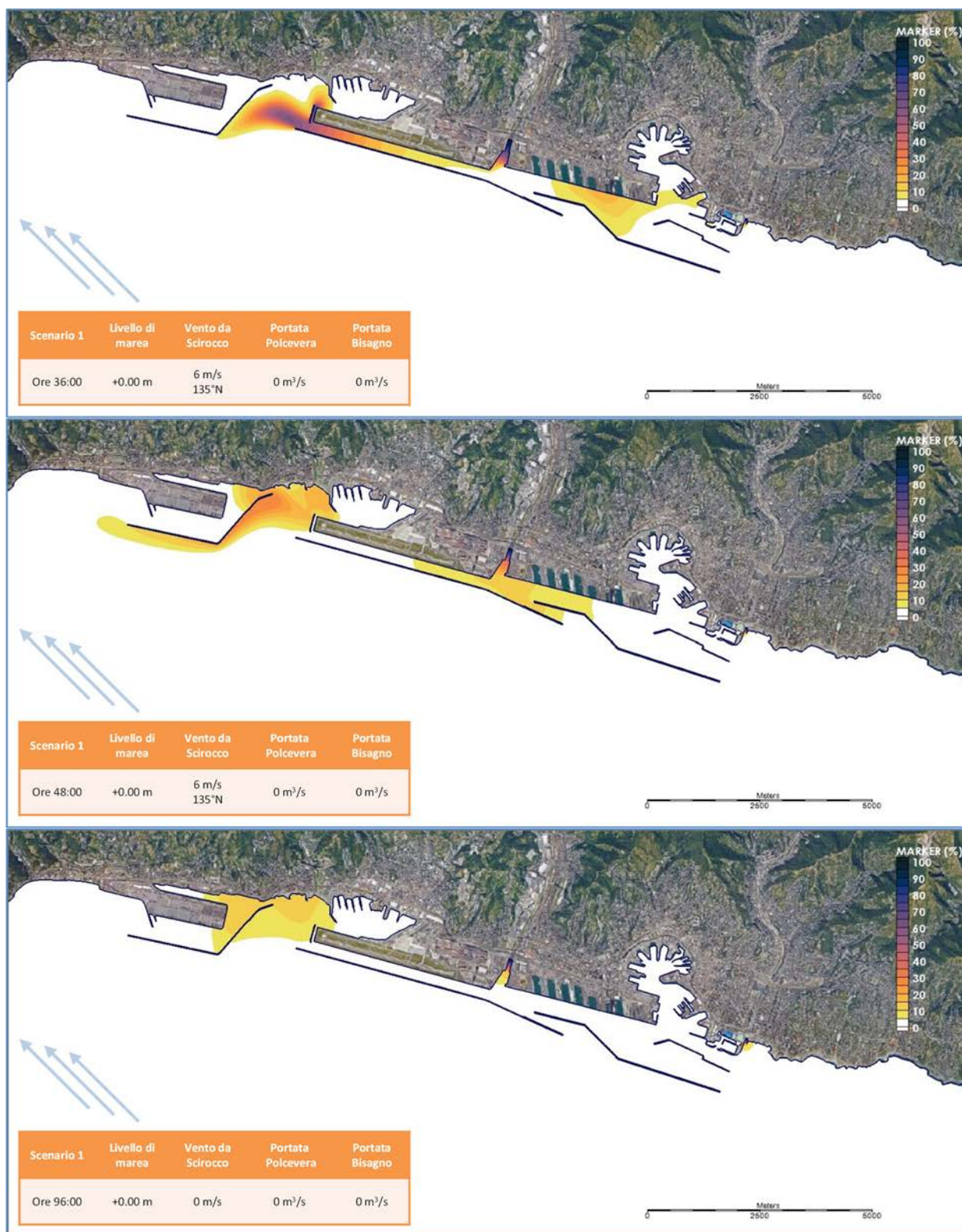


FIGURA 12. SOLUZIONE 3- FASE B, SCENARIO 1: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 36:00, 48:00 E 96:00

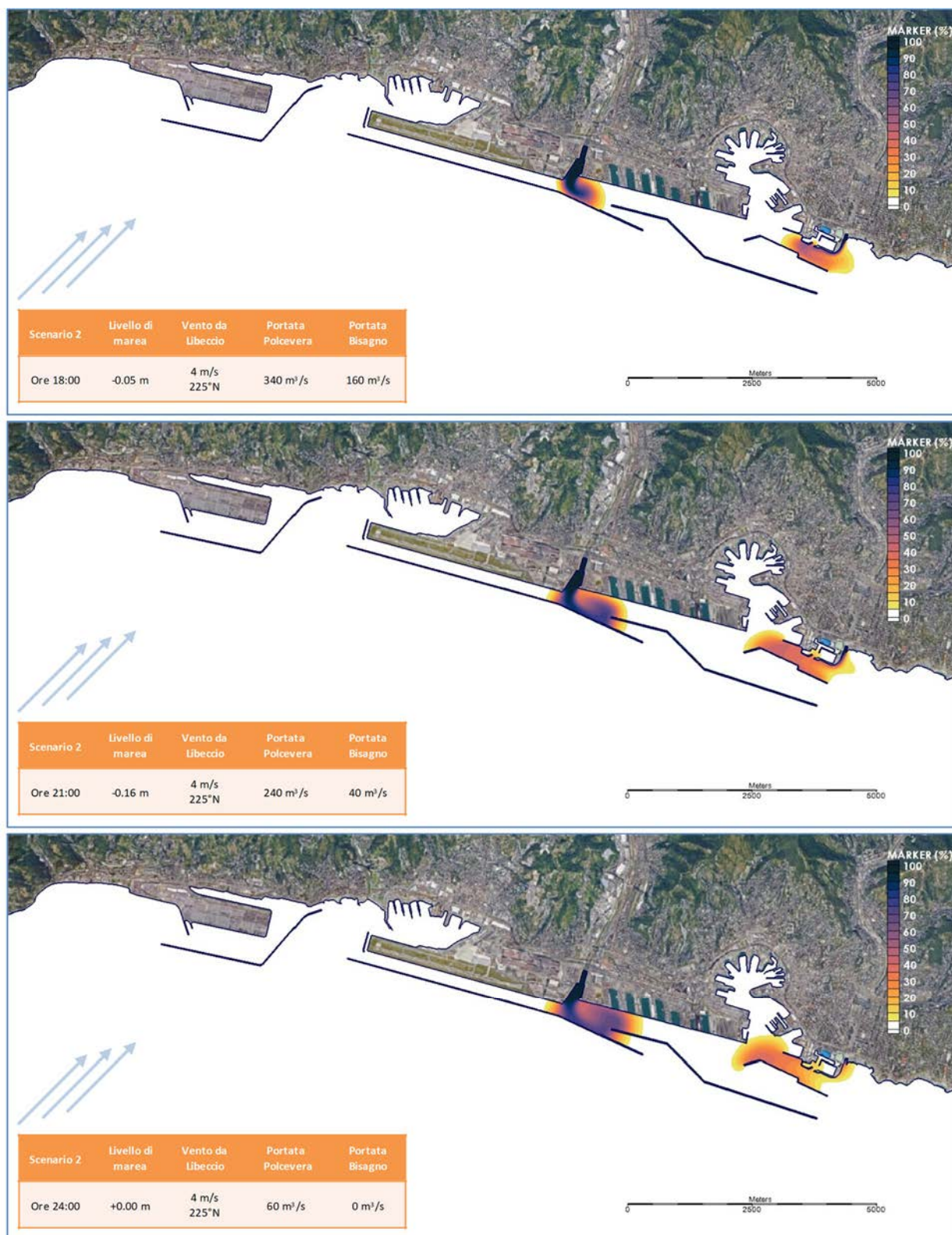


FIGURA 13. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 2: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

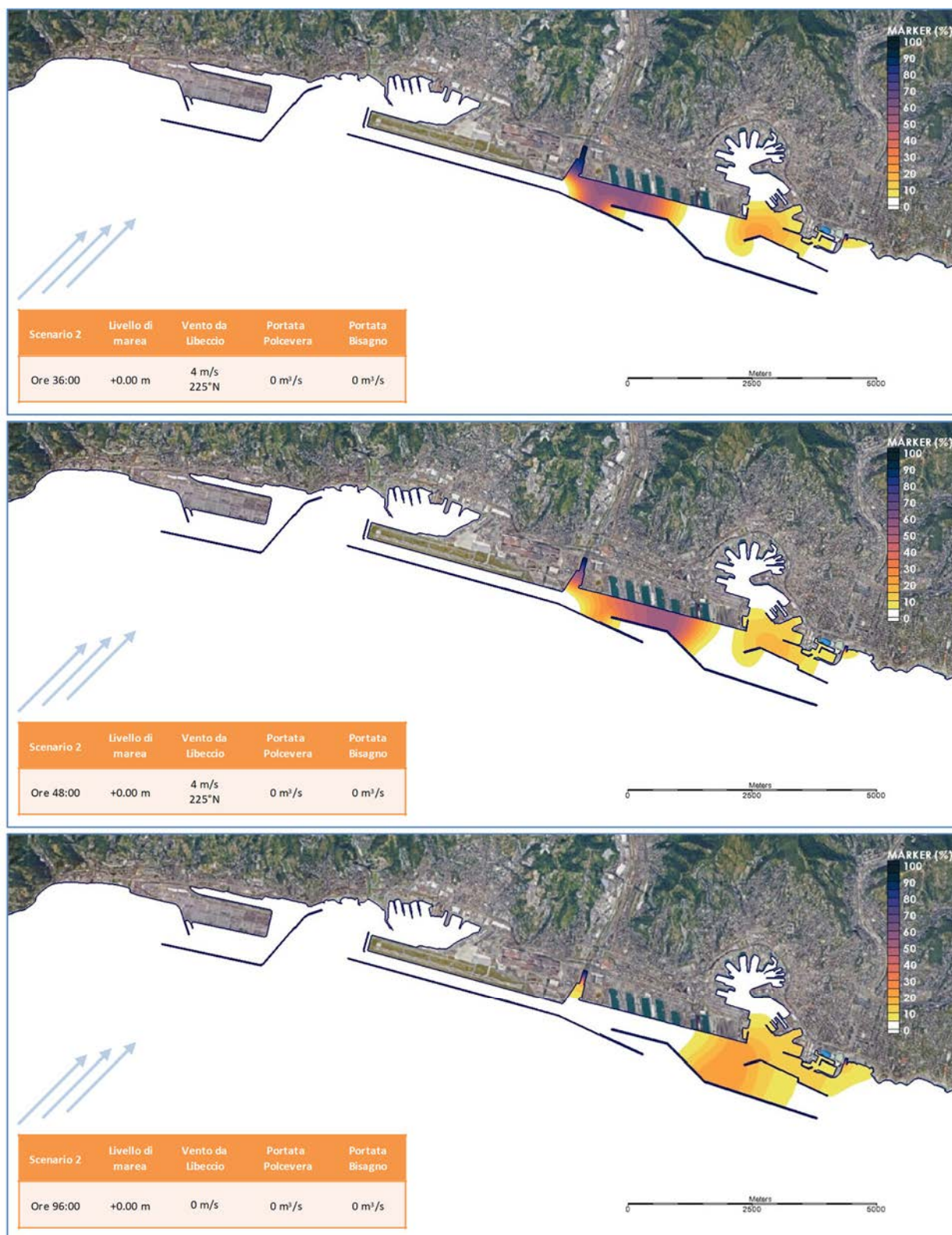


FIGURA 14. SOLUZIONE 3– FASE B, SCENARIO 2: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 36:00, 48:00 E 96:00

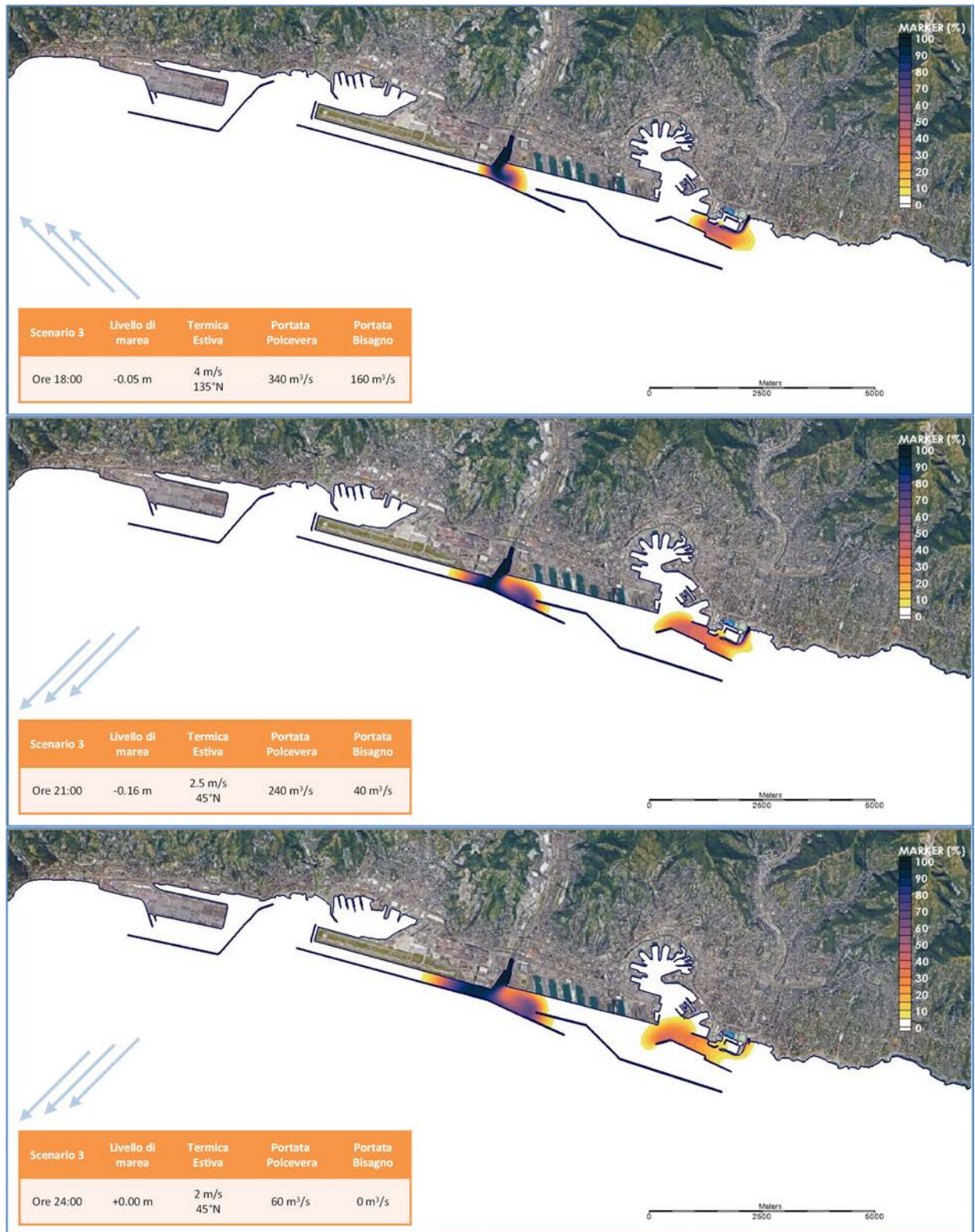


FIGURA 15. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 3: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 18:00, 21:00 E 24:00

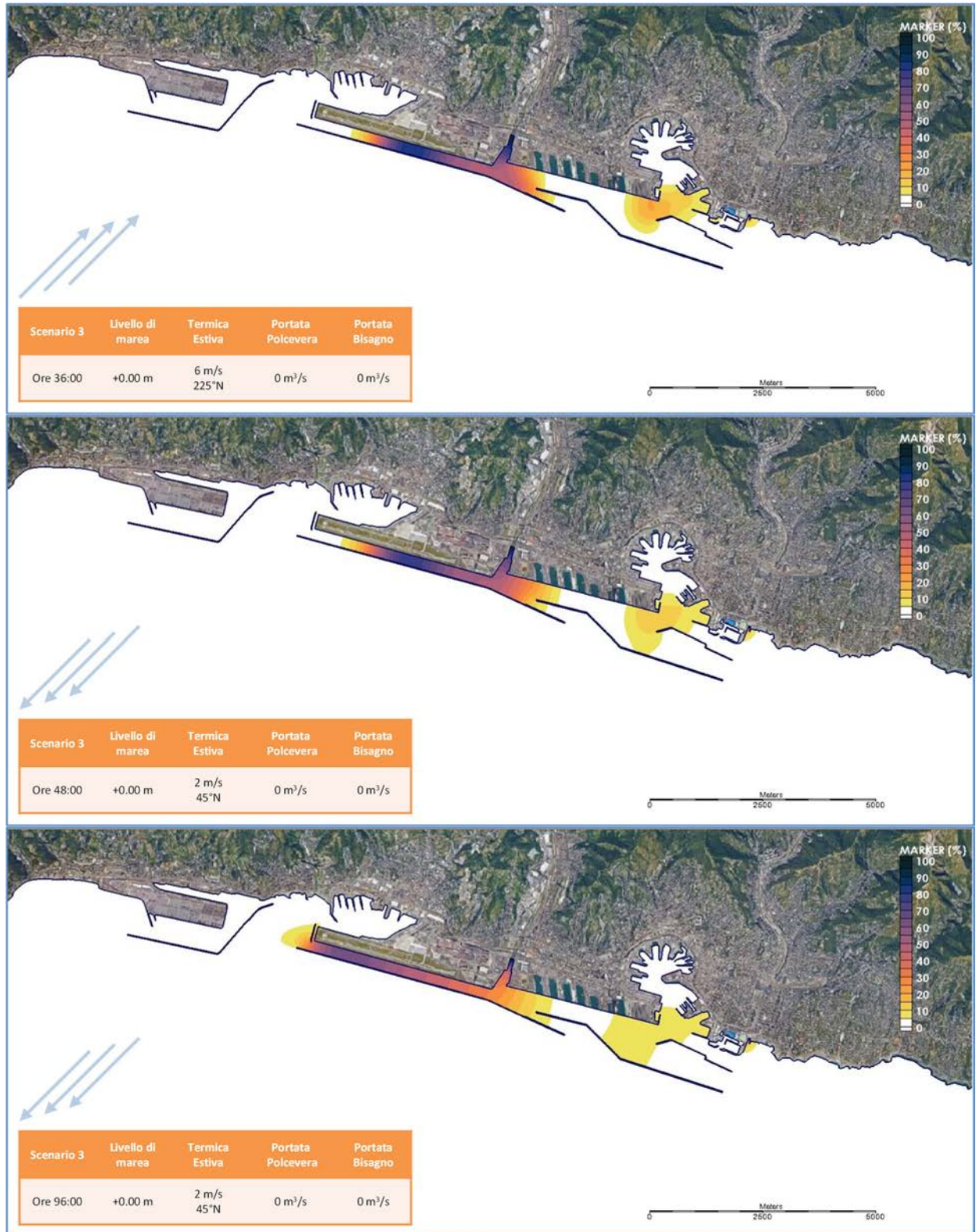


FIGURA 16. SOLUZIONE 3– FASE B, SCENARIO 3: CONCENTRAZIONE DEL MARKER PER LE ORE 36:00, 48:00 E 96:00

ALLEGATO 3: Variazione della concentrazione nel tempo nei punti "target"

INDICE

CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET ALL'INTERNO DEL PORTO – SOLUZIONE 3 FASE A	2
CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET ALL'INTERNO DEL PORTO – SOLUZIONE 3 FASE B	7
CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET LUNGO IL LITORALE ADIACENTE AL PORTO – SOLUZIONE 3 FASE A	12
CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET LUNGO IL LITORALE ADIACENTE AL PORTO – SOLUZIONE 3 FASE B	15

**CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET ALL'INTERNO DEL PORTO –
SOLUZIONE 3 FASE A**

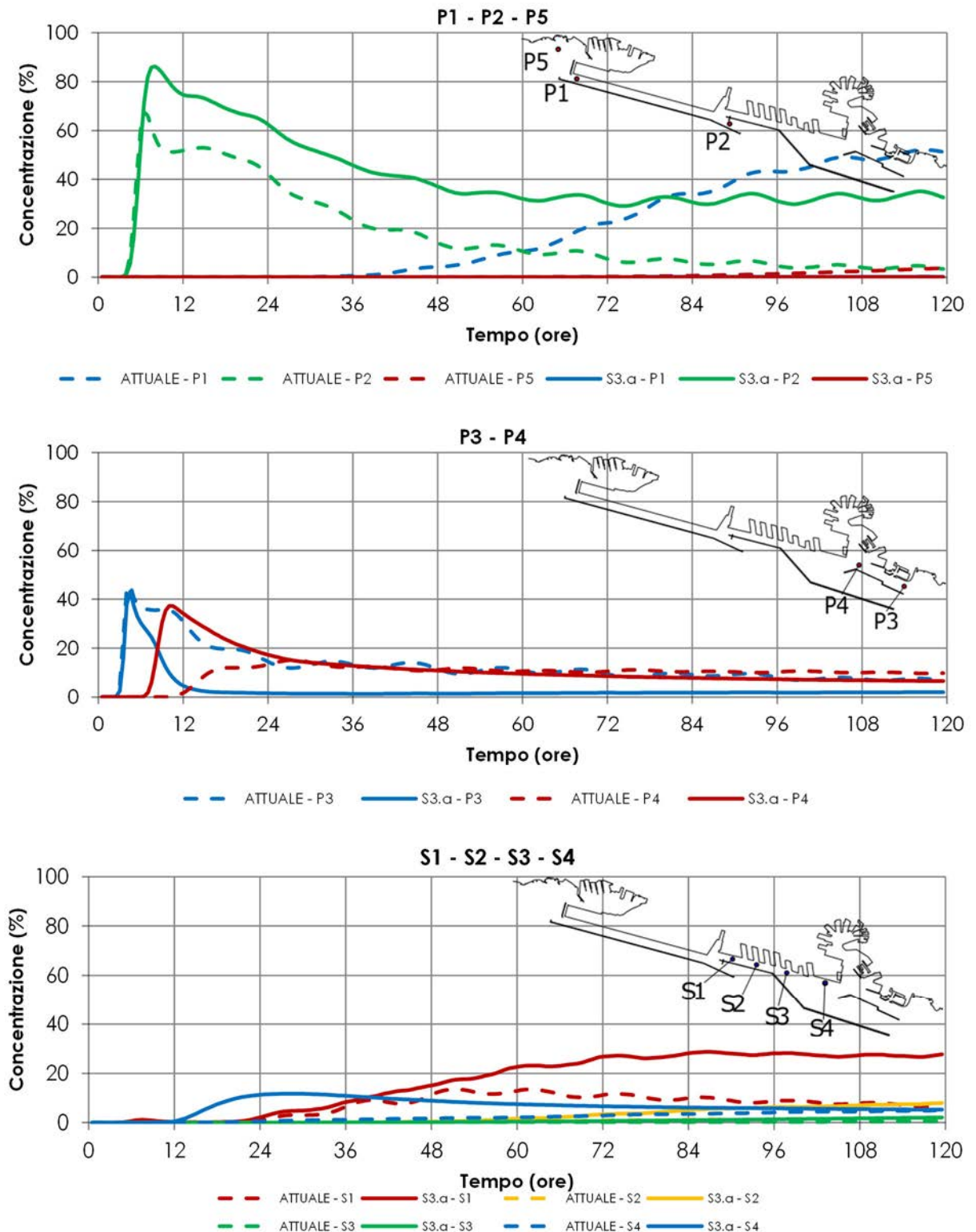


FIGURA 1. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 0 (SOLO MAREA ASTRONOMICA):
 ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI
 ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI
 PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA

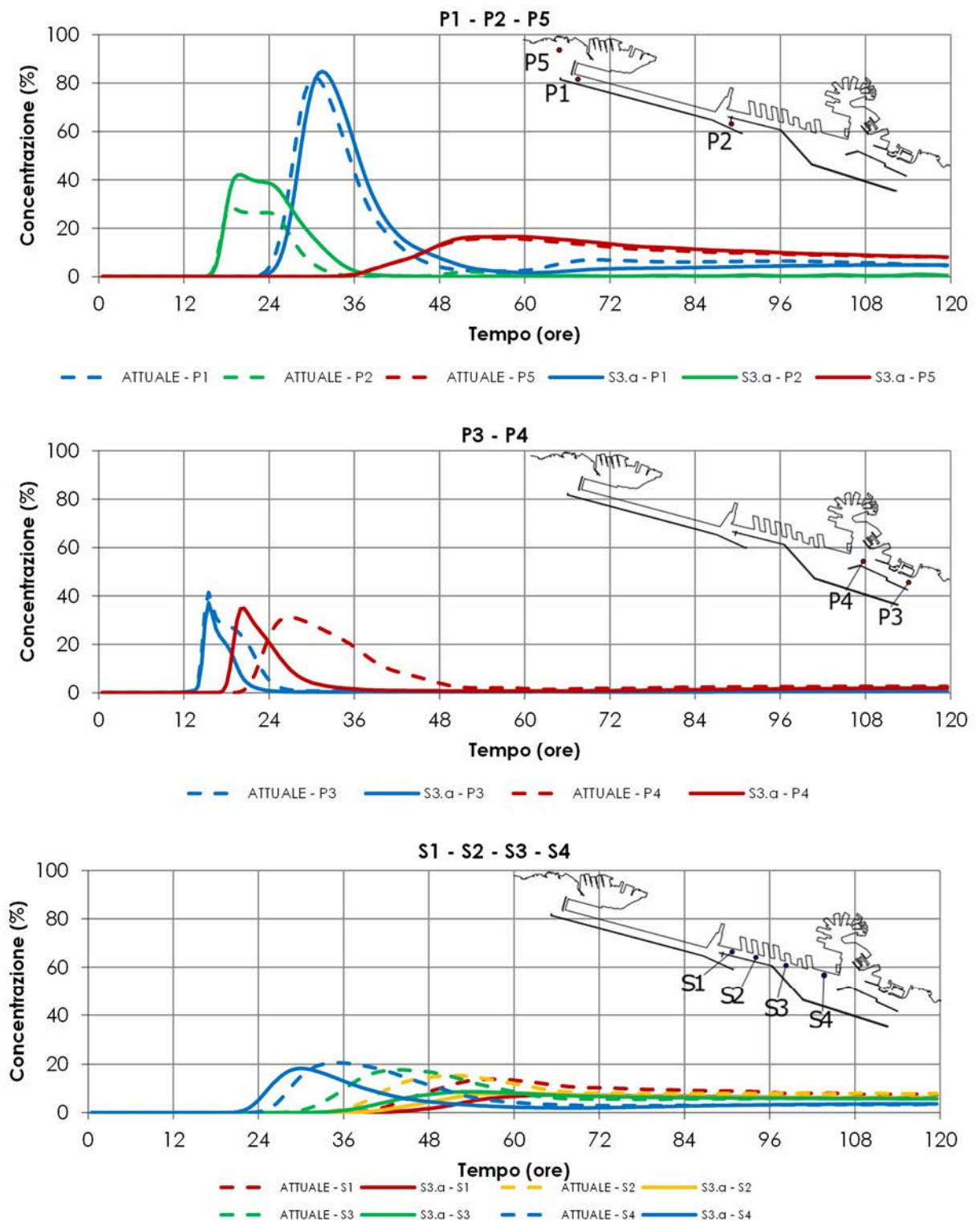


FIGURA 2. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 1 (SCIROCCO): ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA

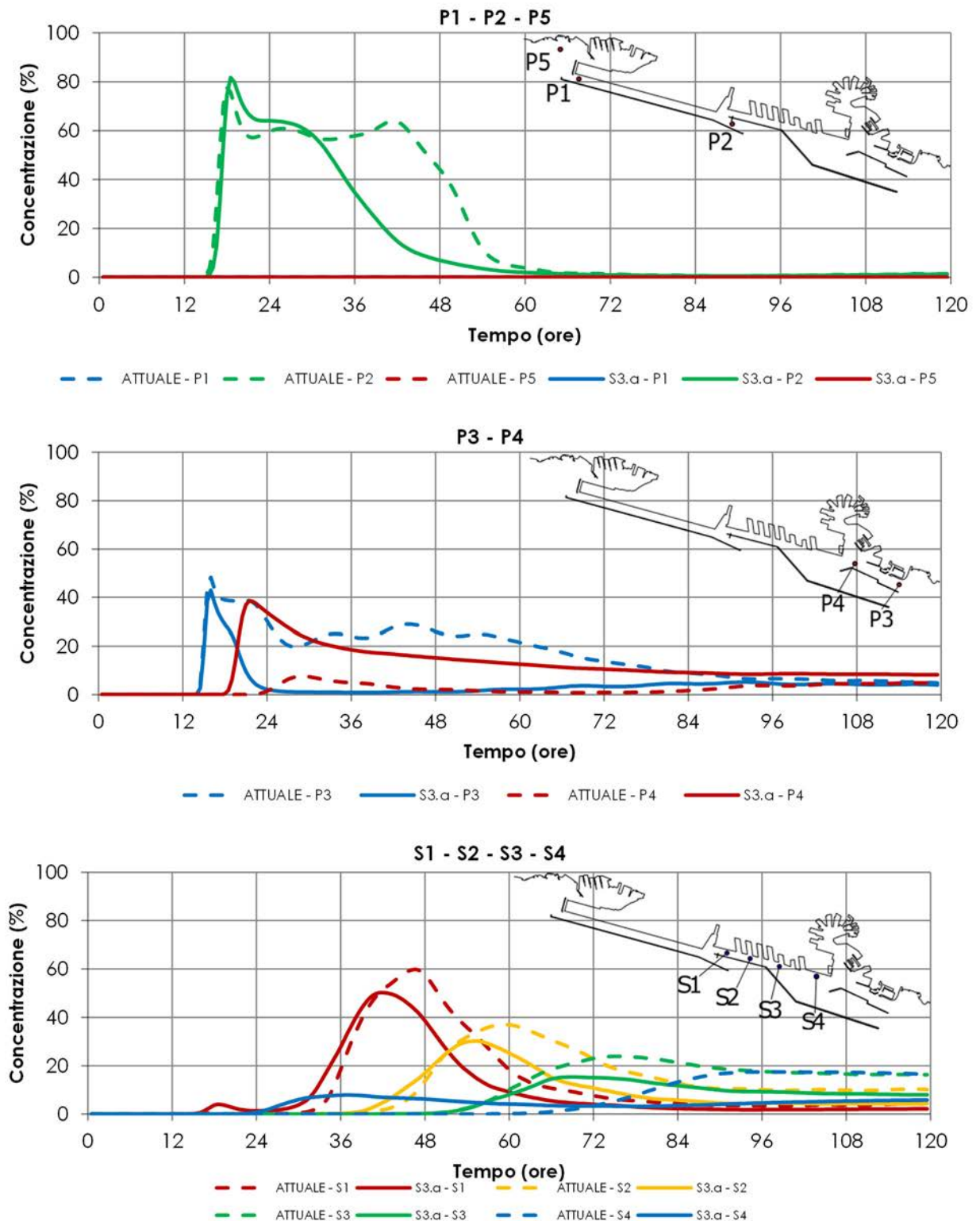


FIGURA 3. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 2 (LIBECCIO): ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA

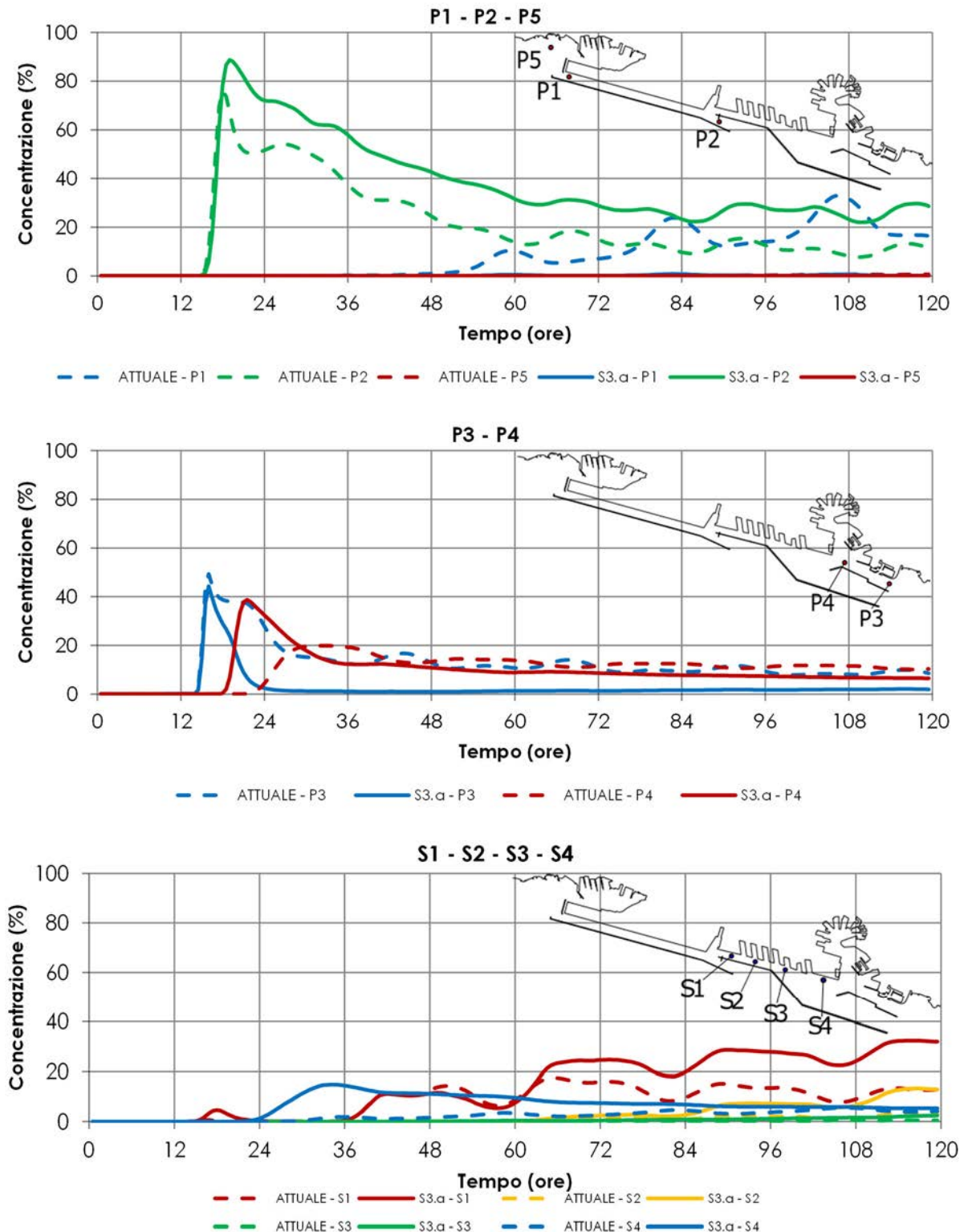


FIGURA 4. SOLUZIONE 3 – FASE A, SCENARIO 3 (REGIME BREZZE ESTIVE):
 ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI
 ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI
 PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA

**CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET ALL'INTERNO DEL PORTO –
SOLUZIONE 3 FASE B**

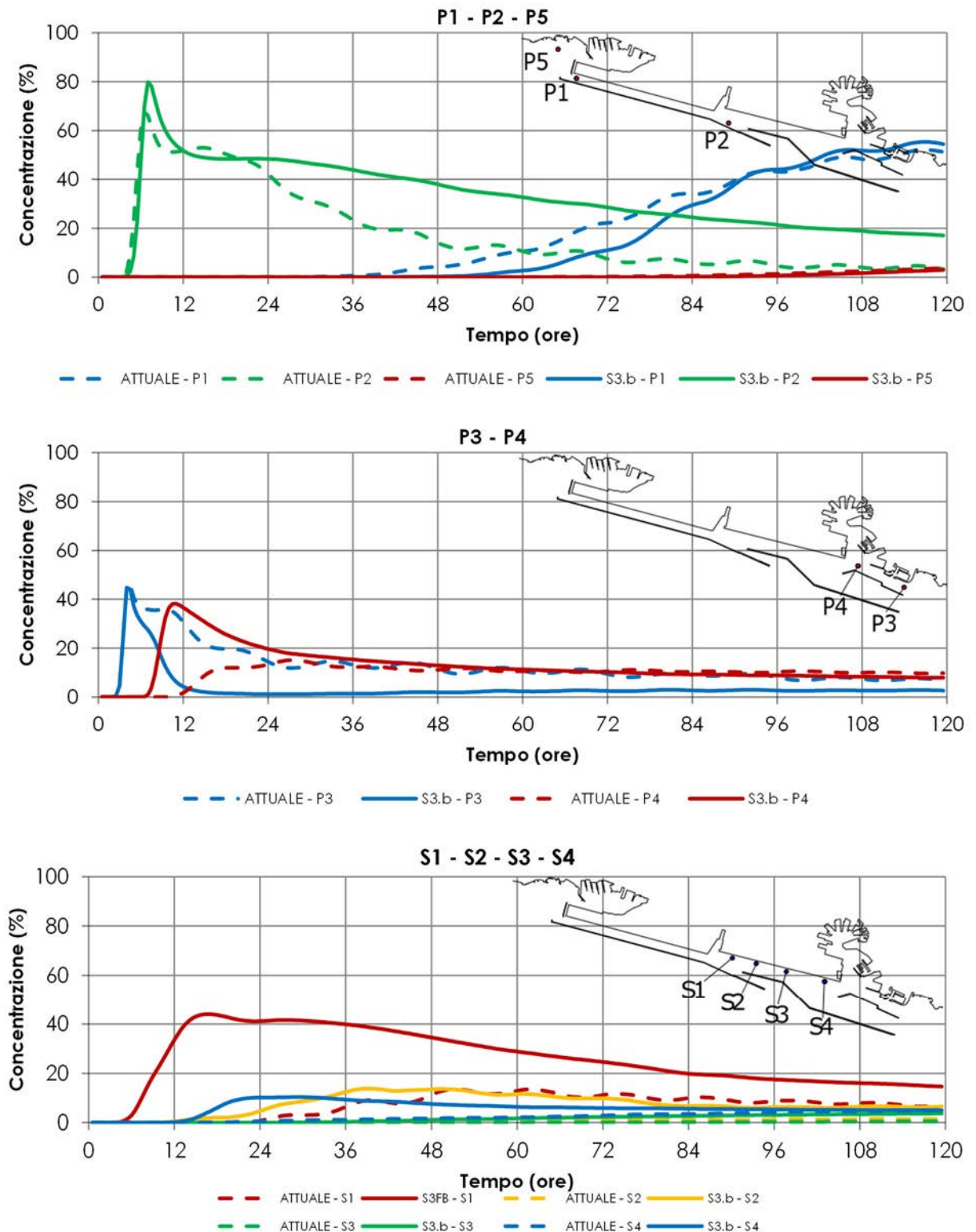


FIGURA 5. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 0 (SOLO MAREA ASTRONOMICA): ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA

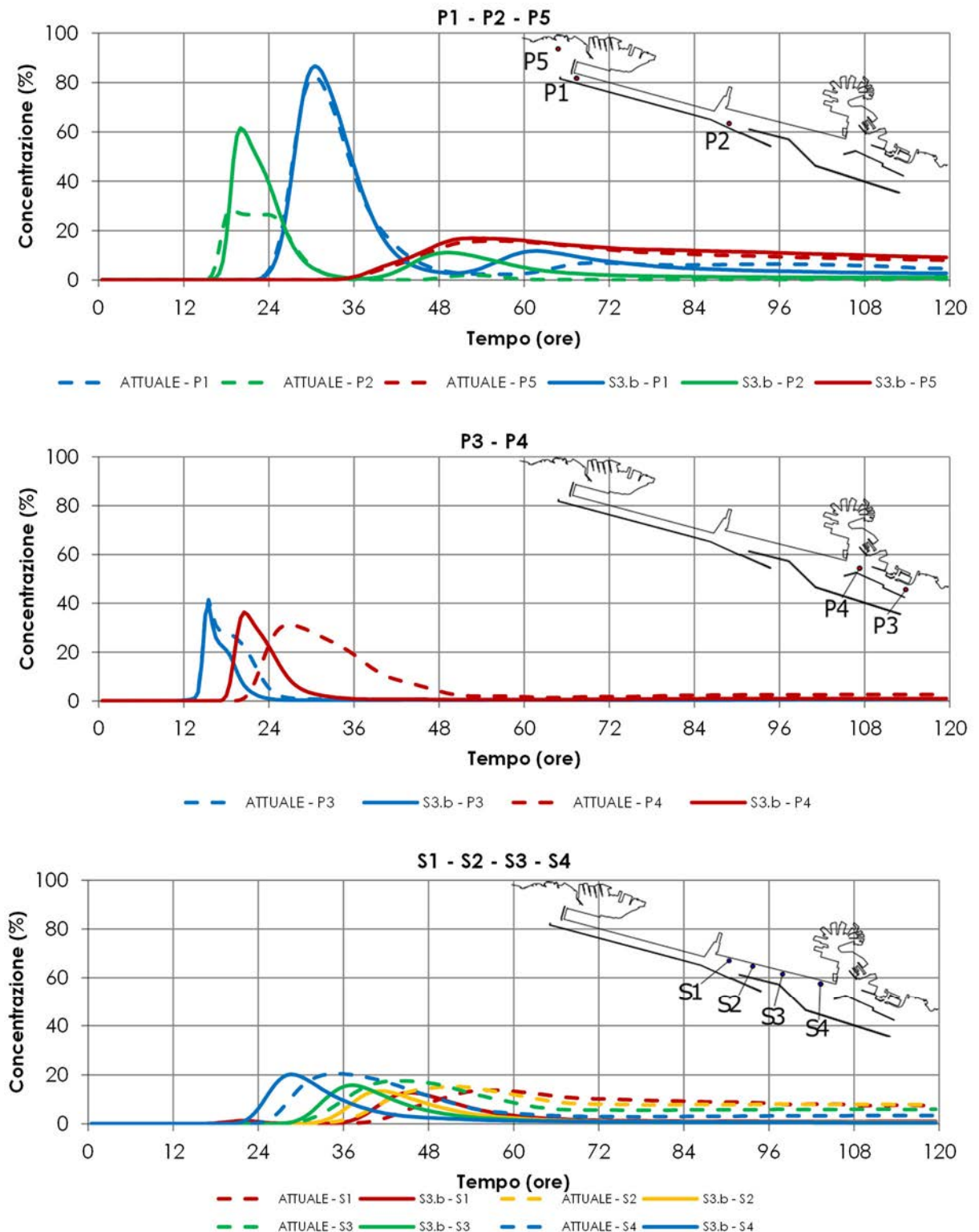


FIGURA 6. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 1 (SCIROCCO): ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA

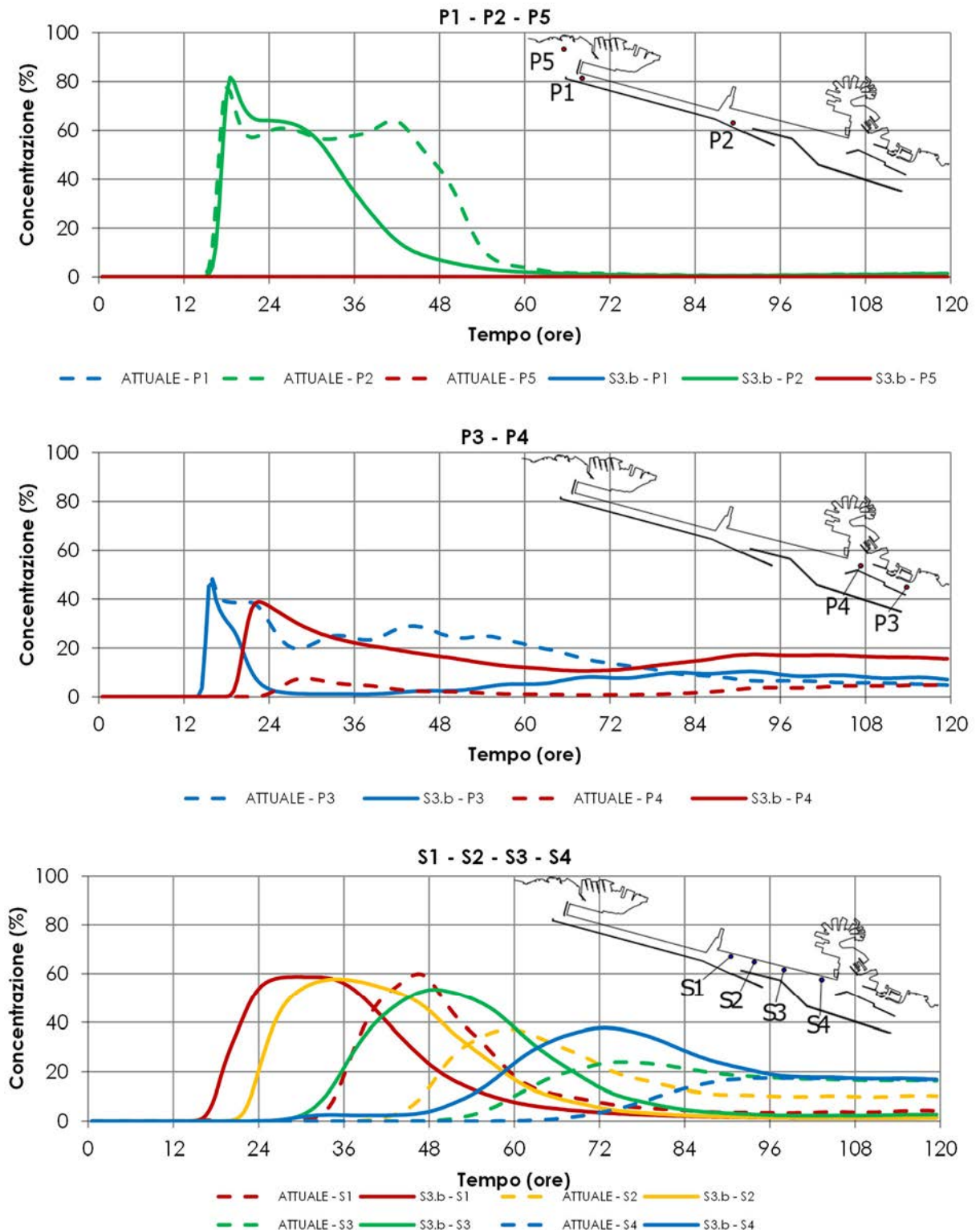


FIGURA 7. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 2 (LIBECCIO): ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA.

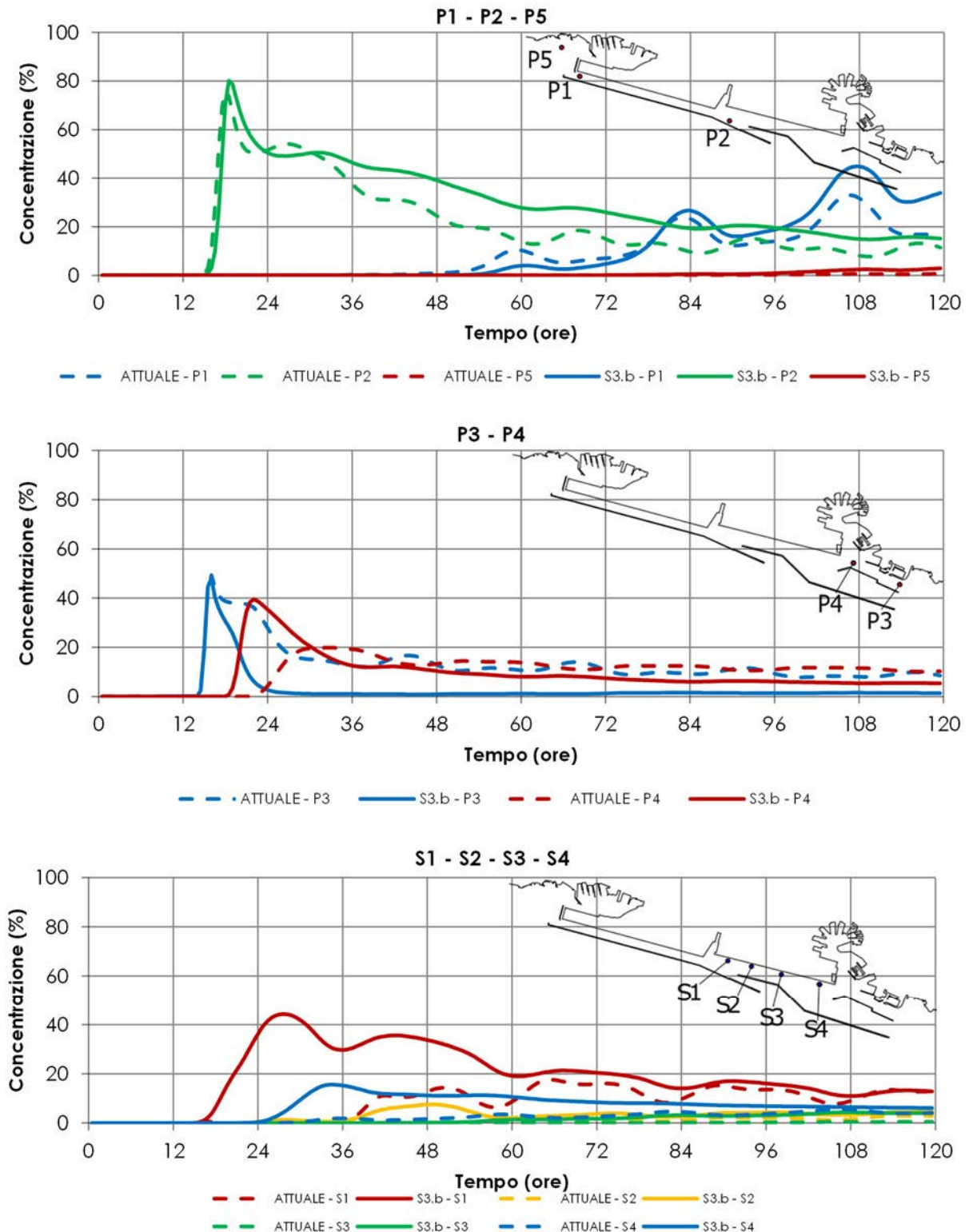


FIGURA 8. SOLUZIONE 3 – FASE B, SCENARIO 3 (REGIME BREZZE ESTIVE):
 ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI P1, P2, P3, P4 E P5 UBICATI
 ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE E IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE E DEI
 PUNTI S1, S2, S3 E S4 UBICATI IN PROSSIMITÀ DEL BACINO SAMPIERDARENA

**CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET LUNGO IL LITORALE
ADIACENTE AL PORTO – SOLUZIONE 3 FASE A**

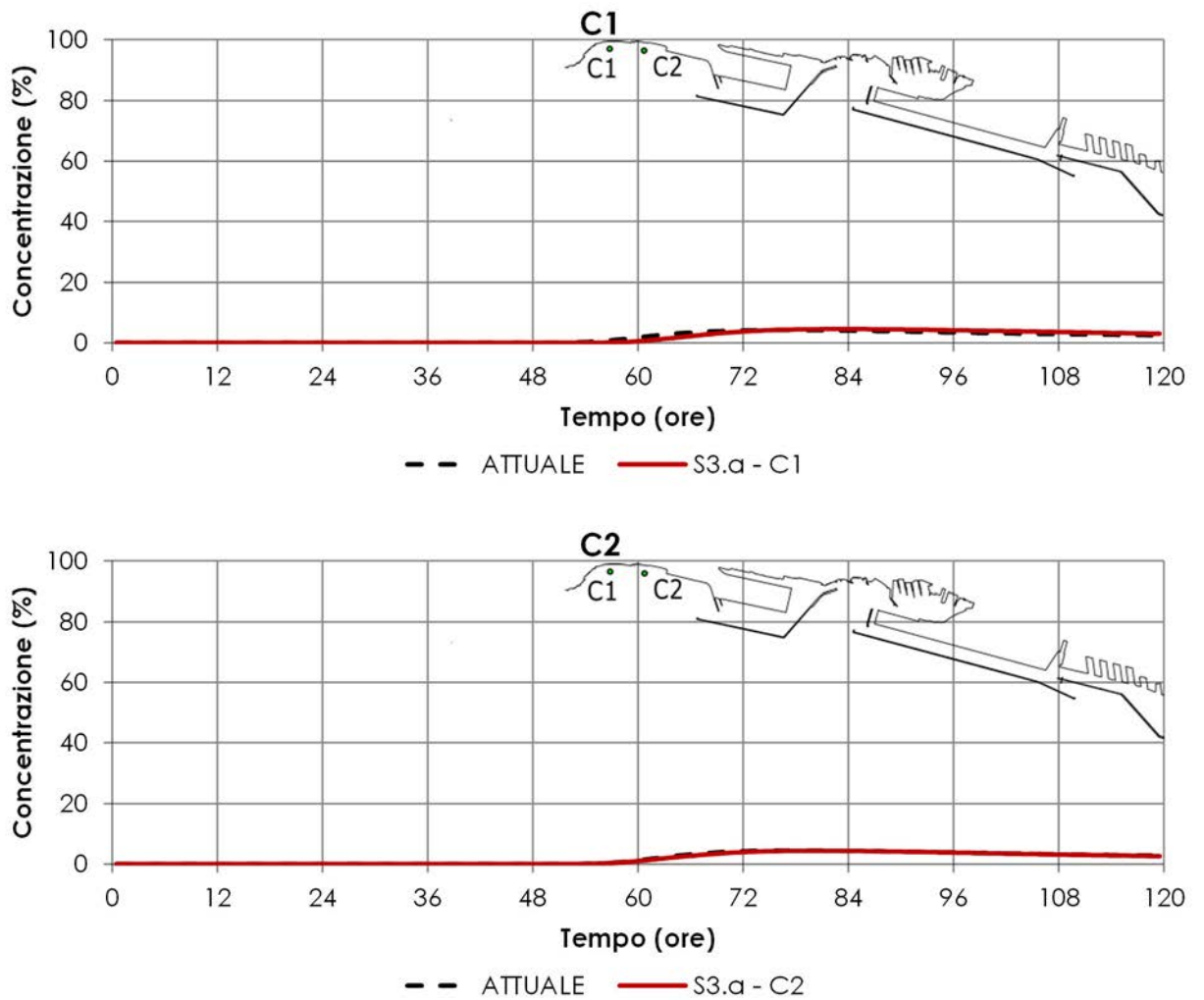


FIGURA 9. SOLUZIONE 3 – FASE A, ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI C1 E C2 POSTI LUNGO IL LITORALE A PONENTE DEL PORTO PER LO SCENARIO 1 (VENTO DA SCIROCCO).

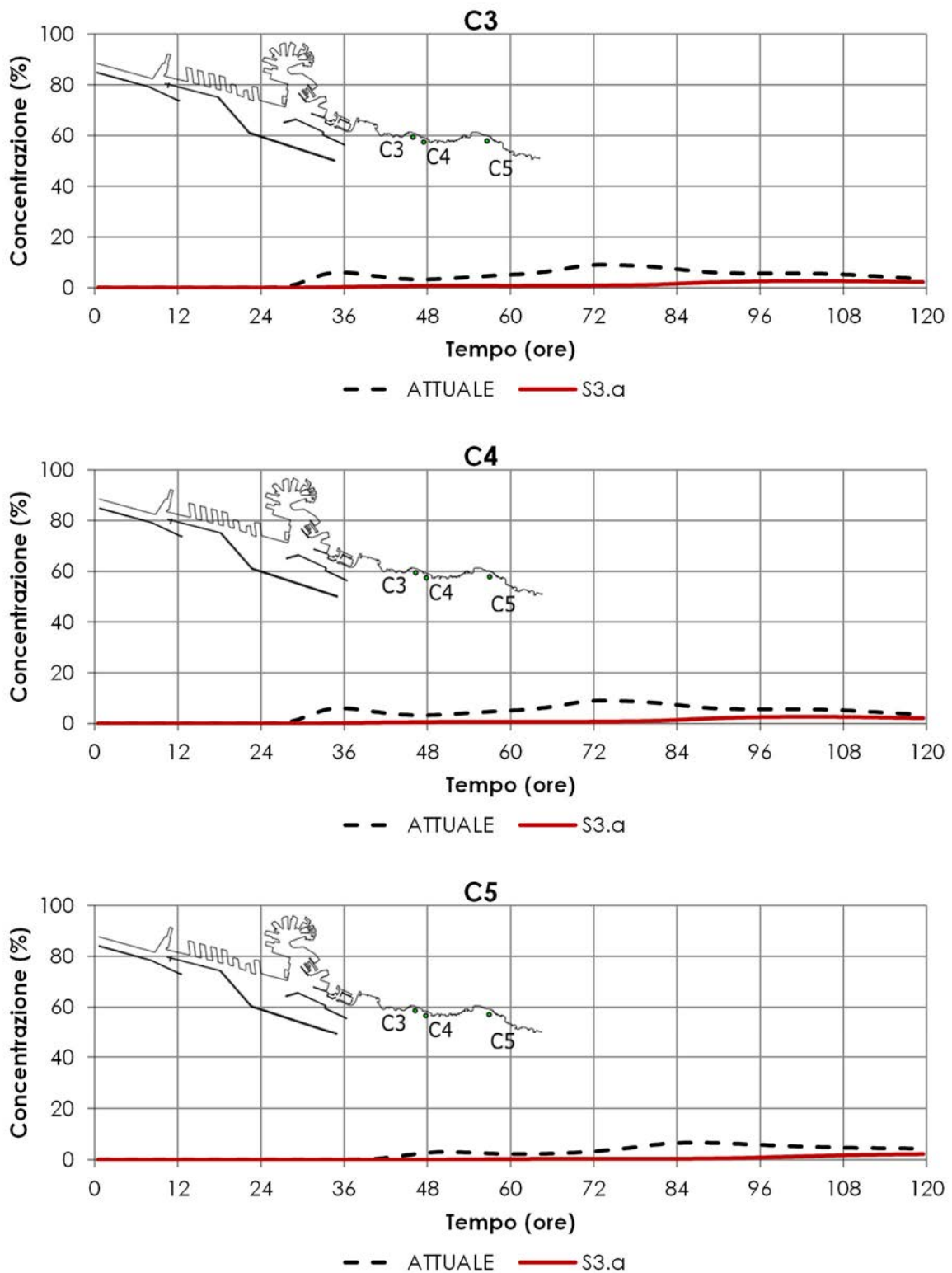


FIGURA 10. SOLUZIONE 3 – FASE A, ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI C3, C4 E C5 POSTI LUNGO IL LITORALE A LEVANTE DEL PORTO PER LO SCENARIO 2 (VENTO DA LIBECCIO)

**CONCENTRAZIONE NEI PUNTI TARGET LUNGO IL LITORALE
ADIACENTE AL PORTO – SOLUZIONE 3 FASE B**

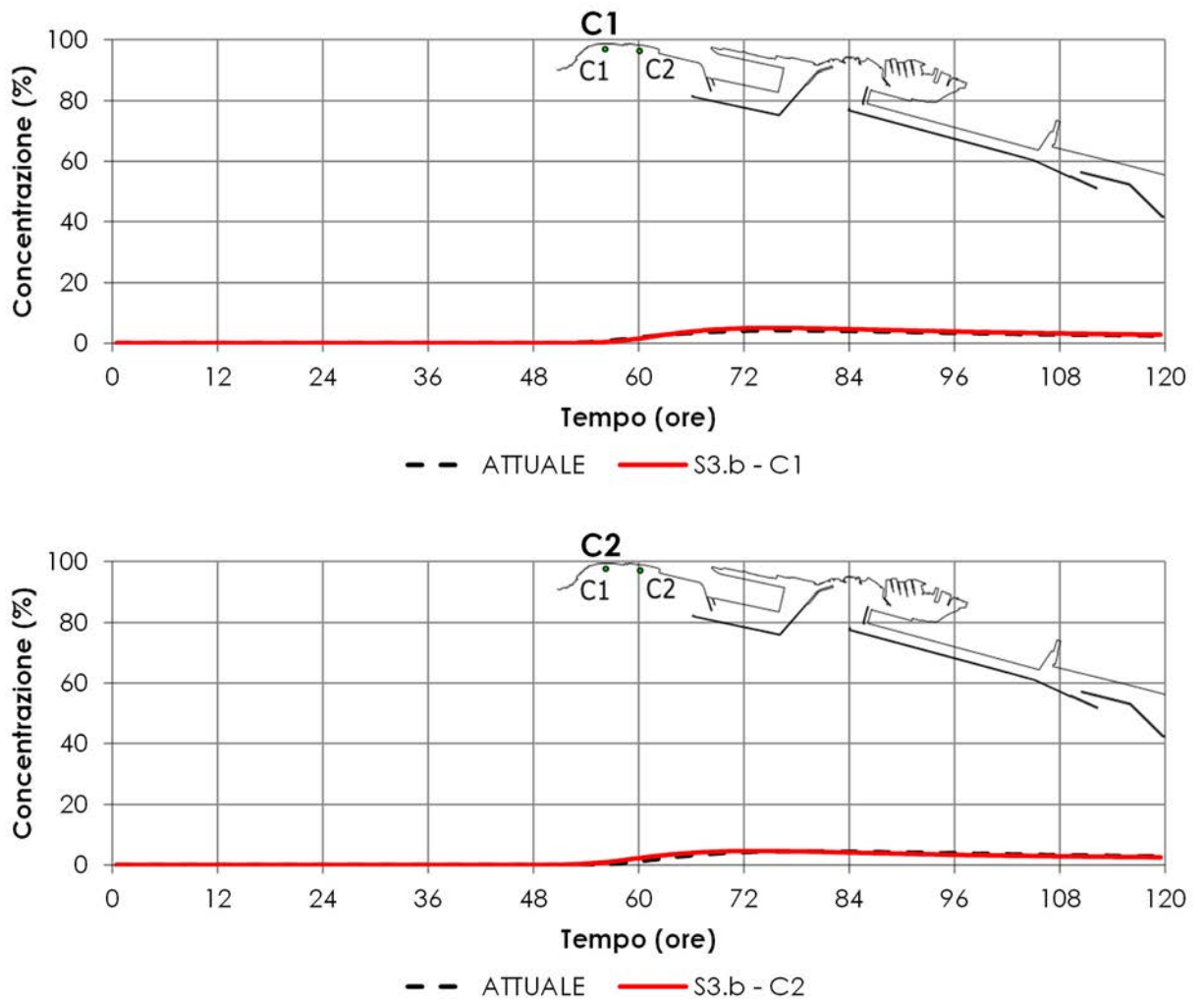


FIGURA 11. SOLUZIONE 3 – FASE B, ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI C1 E C2 POSTI LUNGO IL LITORALE A PONENTE DEL PORTO PER LO SCENARIO 1 (VENTO DA SCIROCCO).

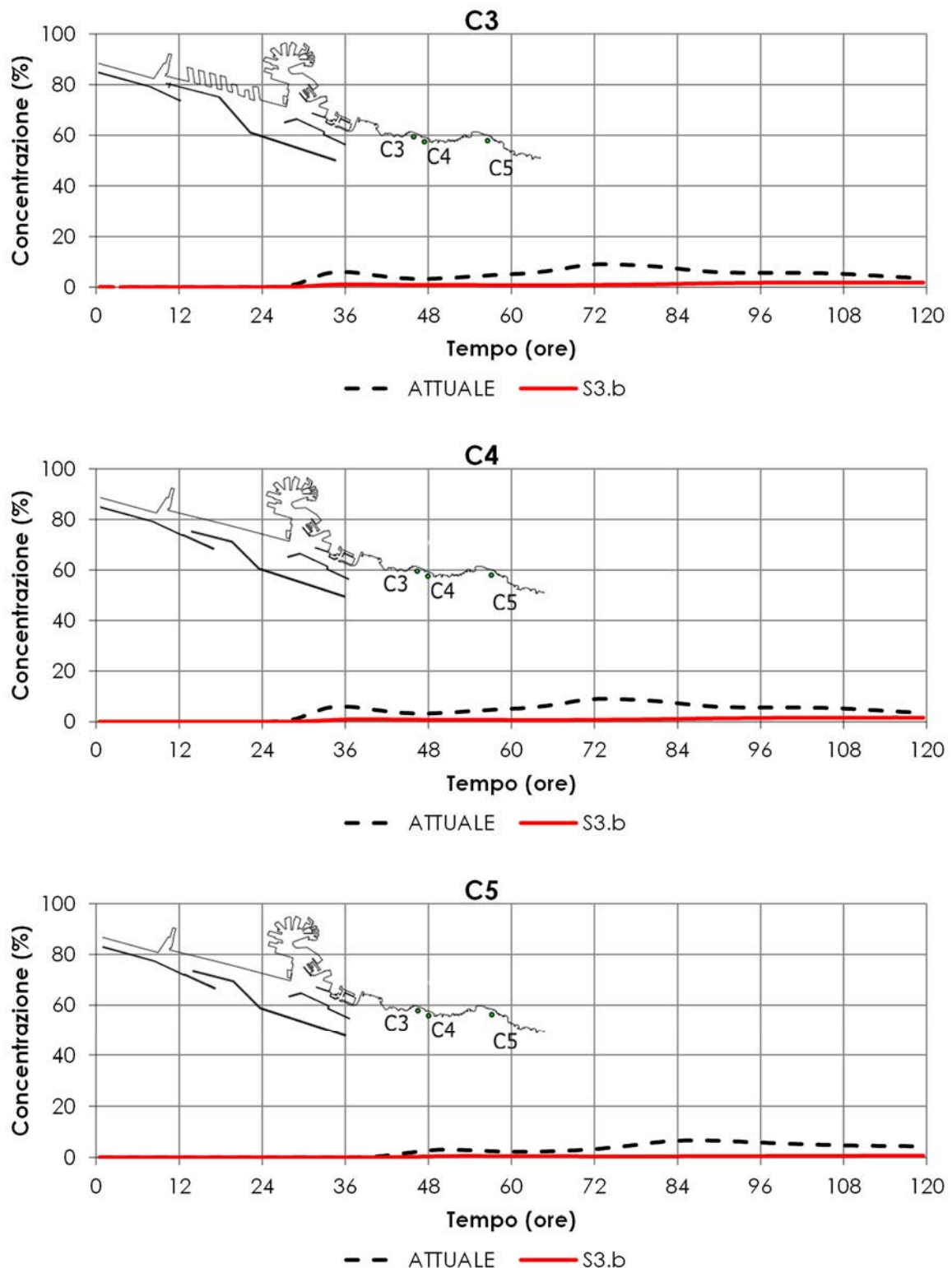


FIGURA 12. SOLUZIONE 3 – FASE B, ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE NEI PUNTI C3, C4 E C5 POSTI LUNGO IL LITORALE A LEVANTE DEL PORTO PER LO SCENARIO 2 (VENTO DA LIBECCIO)