

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE OCCIDENTALE

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO : DOTT. ING. MARCO VACCARI

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

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI

Mandataria



STUDIO BALLERINI
INGEGNERI ASSOCIATI



ALBERTO ALBERT
INGEGNERE

INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE : TECHNITAL S.P.A. DOTT. ING. ANTONIO LIZZADRO

PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

TITOLO ELABORATO

PRIMA FASE – FATTIBILITA' DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di
navigazione per le soluzioni d'intervento**

ELABORATO N° :

MI046R-PF-D-Z-R-016-00

NOME FILE :

MI046R-PF-D-Z-R-016-00.docx

DATA		ELABORATO		CONTROLLATO		APPROVATO	
Ottobre 2020		M. Del Bianco		P. De Girolamo/P. Contini		A. Lizzadro	
REVISIONE	N°	DATA	DESCRIZIONE				
	00	Ottobre 2020	EMISSIONE PER APPROVAZIONE				

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE OCCIDENTALE

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

PROGETTAZIONE DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

PRIMA FASE – FATTIBILITA' DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

INDICE

1.	PREMESSE	9
1.1.	Introduzione	9
1.2.	Obiettivi	9
1.3.	Metodologia	10
1.4.	Contenuti del presente rapporto	11
1.5.	Sintesi dei risultati ottenuti	12
2.	DATI BASE DI RIFERIMENTO	15
2.1.	Studi pregressi	15
2.2.	Inquadramento geografico	15
2.3.	Marea astronomica	16
2.4.	Venti e moto ondoso	16
2.5.	Batimetria	18
3.	DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI SIMULAZIONE	20
4.	MODELLO DI CALCOLO DI CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA	22
4.1.	Dominio di calcolo	22
4.2.	Condizioni al contorno e parametri di calcolo	25
5.	MODELLO DI CALCOLO DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI	27
5.1.	Dominio di calcolo e condizioni al contorno	27
5.2.	Condizioni di calcolo	28
6.	ANALISI DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA DEL GOLFO DI GENOVA	29
7.	ANALISI DELLO STATO ATTUALE	32
7.1.	Stato Attuale. Marea astronomica (SCENARIO 1): idrodinamica	32
7.2.	Stato Attuale. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica	33
7.3.	Stato Attuale. Scirocco (SCENARIO 2): Moto ondoso	38
7.4.	Stato Attuale. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): idrodinamica	39
7.5.	Stato Attuale. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): moto ondoso	42
8.	ANALISI DELLA SOLUZIONE S2 MODIFICATA	43
8.1.	Soluzione S2. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica	44
8.2.	Soluzione S2. Scirocco (SCENARIO 2): moto ondoso	47
8.3.	Soluzione S2. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): idrodinamica	48
8.4.	Soluzione S2. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): moto ondoso	51
9.	ANALISI DELLA SOLUZIONE S3 MODIFICATA	52
9.1.	Soluzione S3. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica	53
9.2.	Soluzione S3. Scirocco (SCENARIO 2): moto ondoso	56
9.3.	Soluzione S3. Libeccio (SCENARIO 3): idrodinamica	57
9.4.	Soluzione S3. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): Moto ondoso	60
10.	ANALISI DELLA SOLUZIONE S4	61
10.1.	Soluzione S4. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica	62
10.2.	Soluzione S4. Scirocco (SCENARIO 2): moto ondoso	65

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

10.3.	Soluzione S4. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): idrodinamica	66
10.4.	Soluzione S4. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): moto ondoso	69

APPENDICE 1: Confronto con le misure correntometriche effettuate alla piattaforma isola e al relitto della Haven

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1.	inquadramento geografico del golfo di genova con indicazione dei punti di ricostruzione del vento e del moto ondoso forniti dal dicca.	15
Figura 2-2.	distribuzione direzionale dei venti ricostruiti dal dicca nel golfo di genova nel punto di coordinate 44.04°n - 8.74°e (periodo di riferimento 1979-2018)	16
Figura 2-3.	regime dei venti osservato presso le stazioni anemometriche in costa genova-sestri, genova rmn-ispra e punta vagno-arpal	17
Figura 2-4.	Distribuzione direzionale degli stati di mare con altezza d'onda significativa $H_s > 1.0$ m all'esterno del Porto di Genova in un punto posto alla profondità di -50,0 m s.l.m.m..	18
Figura 2-5.	Batimetria del Golfo di Genova (Fonte Database EMODnet)	19
Figura 2-6.	Origine dei dati batimetrici utilizzati per la generazione del dominio di calcolo	19
Figura 4-1.	estensione della griglia di calcolo principale e delle due griglie di dettaglio N1 e N2 utilizzate per la decomposizione del dominio di calcolo.	23
Figura 4-2.	Batimetria all'interno del dominio di calcolo (Griglia principale + griglia N1+ griglia N2).	24
Figura 4-3.	dettaglio della batimetria in prossimità del porto di genova (Griglia N2-stato attuale).	24
Figura 4-4.	variazione dell'ampiezza (in metri) e della fase (in gradi) per la costituente principale M2 all'interno del golfo di genova.	25
Figura 4-5.	previsione della marea astronomica per la stazione di Genova (iho) tra il 5 e il 19 febbraio 2020 con indicazione della finestra temporale di 36 ore selezionata per le simulazioni con il vento e della finestra temporale di 60 ore per simulazioni con la sola marea astronomica.	26
Figura 4-6.	legge temporale assunta per la velocità del vento utilizzata per lo scenario 2 e lo scenario 3.	26
Figura 5-1	- Area simulata con il codice CGWAVE e relativa batimetria nella configurazione attuale.	27
Figura 6-1.	campo di velocità ottenuto nel golfo di genova durante un ciclo di marea astronomica (ore 1:00 - 24:00 del giorno 8 Febbraio 2020).	30
Figura 6-2.	Scenario 2. Campo di velocità generato da un vento uniforme di scirocco (115°N) con velocità di 12.5 m/s e durata 24 ore.	31
Figura 6-3.	Scenario 3. Campo di velocità generato da un vento uniforme di libeccio/mezzogiorno (230°N) con velocità di 12.5 m/s e durata 24 ore.	31
Figura 7-1.	Stato attuale. Localizzazione dei punti di osservazione per l'estrazione dei risultati.	32

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Figura 7-2. Stato attuale - Scenario 1. Confronto tra il livello osservato nel punto di controllo INHB01 e la previsione di marea fornita per la stazione mareografica di genova.	33
Figura 7-3. stato attuale - Scenario 1. Campo di velocità generato dalla marea astronomica alle ore 4:00 (flusso), 7:00 (alta marea), 11:00 (riflusso).	34
Figura 7-4. Stato attuale - scenario 1. Valore assoluto della velocità della corrente nei punti di controllo posizionati lungo il canale di accesso (approach channel)	35
Figura 7-5. Stato attuale - scenario 1. Valore assoluto della velocità della corrente nei punti di controllo posizionati lungo il canale interno (inch01, inch02, inch03) e nel bacino di sampierdarena (inch04, inch05, inch06).	35
Figura 7-6. Stato attuale - scenario 2. Velocità della corrente (valore assoluto). In alto: punti di osservazione posizionati lungo il canale di accesso (approach channel 01 e 03) e in corrispondenza della testata della diga foranea (RH01). In basso: canale interno (inch01, inch03) e bacino di sampierdarena (inch04, inch05, inch06).	36
Figura 7-7. Stato attuale - scenario 2. Campo di velocità mediato sulla verticale ottenuto per le ore 24:00.	37
Figura 7-8. Stato attuale - scenario 2. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati ottenuto per le ore 24:00	37
Figura 7-9. Stato attuale - scenario 2. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione lungo la rotta di accesso (approach channel 01 e 03) e nei punti di osservazione posizionati lungo il canale interno (inch01, inch03) e nel bacino di sampierdarena (inch04, inch05, inch06).	38
Figura 7-10. Campo di altezza d'onda ottenuto per l'evento di moto ondoso $H_s=1.5$ m, $T_p=6.3$ s, $Dir.=135$ °N	38
Figura 7-11. Stato attuale - scenario 3. Velocità della corrente (valore assoluto). In alto: punti di osservazione posizionati lungo il canale di accesso (approach channel 01 e 03) e in corrispondenza della testata della diga foranea (RH01). In basso punti di osservazione posizionati lungo il canale interno (inch01, inch03) e nel bacino di sampierdarena (inch04, inch05, inch06).	40
Figura 7-12. Stato attuale - scenario 3.campo di velocità mediato sulla verticale ottenuto per le ore 24:00.	41
Figura 7-13. Stato attuale - scenario 3. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati perle Ore 24:00.	41
Figura 7-14. Stato attuale - scenario 3. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione lungo la rotta di accesso (approach channel 01 e 03) e nei punti di osservazione posizionati lungo il canale interno (inch01, inch03) e nel bacino di sampierdarena (inch04, inch05, inch06).	42
Figura 7-15. Campo di altezza d'onda ottenuto per l'evento di moto ondoso $H_s = 2.5$ m, $T_p = 9.1$ s, $Dir = 210$ °N.	42
Figura 8-1. Schema planimetrico della soluzione S2 modificata (Fase a e Fase b) con indicazione dei punti di osservazione per l'estrazione dei risultati delle simulazioni idrodinamiche.	43
Figura 8-2. Soluzione S2.a.mod. Scenario 2 – vento di Scirocco. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	44

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Figura 8-3. Soluzione S2.b.mod. Scenario 2 – vento di Scirocco. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	44
Figura 8-4. Soluzione S2 modificata. Scenario 2 – vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posizionati lungo la rotta di accesso. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	45
Figura 8-5. Soluzione S2 modificata - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posti in corrispondenza della bocca di levante e all'interno del bacino delle grazie. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	45
Figura 8-6. Soluzione S2 modificata - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione all'interno del bacino di sampierdarena. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	45
Figura 8-7. Soluzione S2 modificata - Scenario 2. vento di Scirocco. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione. al centro: bocca di levante bacino delle grazie (inner channel 01, 02) in basso: bacino di sampierdarena (01, 02, 03, 04, 05, 06). fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	46
Figura 8-8. Soluzione S2.a.mod - Scenario 2. Scirocco Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 1.5$ m, $T_p = 6.3$, Dir 135 °N	47
Figura 8-9. Soluzione S2.b.mod - Scenario 2. Scirocco Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 1.5$ m, $T_p = 6.3$, Dir 135 °N	47
Figura 8-10. Soluzione S2.a.mod - Scenario 3 – vento di Libeccio. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	48
Figura 8-11. Soluzione S2.b.mod - Scenario 3. vento di Libeccio. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	48
Figura 8-12. Soluzione S2 modificata - Scenario 3. vento di Libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posizionati lungo la rotta di accesso. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	49
Figura 8-13. Soluzione S2 modificata - Scenario 3. vento di Libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posti in corrispondenza della bocca di levante e all'interno del bacino delle grazie. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	49
Figura 8-14. Soluzione S2 modificata - Scenario 3. vento di Libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione all'interno del bacino di sampierdarena. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	49
Figura 8-15. Soluzione S2 modificata - Scenario 3. vento di libeccio. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione. al centro: bocca di levante bacino delle grazie (inner channel 01, 02) in basso: bacino di sampierdarena (01, 02, 03, 04, 05, 06). fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	50
Figura 8-16. Soluzione S2.a.mod - Scenario 3. Libeccio Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 2.5$ m, $T_p = 9.1$, Dir 210 °N	51
Figura 8-17. Soluzione S2.b.mod - Scenario 3. Libeccio Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 2.5$ m, $T_p = 9.1$, Dir 210 °N	51
Figura 9-1. Schema planimetrico della soluzione S3 modificata (Fase a e Fase b) con indicazione dei punti di osservazione per l'estrazione dei risultati.	52

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Figura 9-2. Soluzione S3.a.mod - Scenario 2. vento di Scirocco. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	53
Figura 9-3. Soluzione S3.b.mod - Scenario 2. vento di Scirocco. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	53
Figura 9-4. Soluzione S3 modificata - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posizionati lungo la rotta di accesso. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	54
Figura 9-5. Soluzione S3 modificata - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posti in corrispondenza della bocca di levante e all'interno del bacino delle grazie. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	54
Figura 9-6. Soluzione S3 modificata - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione all'interno del bacino di sampierdarena. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	54
Figura 9-7. Soluzione S3 modificata - Scenario 2. vento di scirocco. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione. al centro: bocca di levante bacino delle grazie (inner channel 01, 02) in basso: bacino di sampierdarena (01, 02, 03, 04, 05, 06). fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	55
Figura 9-8. Soluzione S3.a.mod - Scenario 2. Scirocco Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 1.5$ m, $T_p = 6.3$, Dir $135^\circ N$	56
Figura 9-9. Soluzione S3.b.mod - Scenario 2. Scirocco Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 1.5$ m, $T_p = 6.3$, Dir $135^\circ N$	56
Figura 9-10. Soluzione S3-a.mod - Scenario 3. vento di Libeccio. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	57
Figura 9-11. Soluzione S3.b.mod - Scenario 3. vento di Libeccio. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	57
Figura 9-12. Soluzione S3 modificata - Scenario 3. vento di Libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posizionati lungo la rotta di accesso. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	58
Figura 9-13. Soluzione S3 modificata - Scenario 3. vento di Libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posti in corrispondenza della bocca di levante e all'interno del bacino delle grazie. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	58
Figura 9-14. Soluzione S3 modificata - Scenario 3. vento di Libeccio Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione all'interno del bacino di sampierdarena. fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	58
Figura 9-15. Soluzione S3 modificata - Scenario 3. vento di libeccio. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione. al centro: bocca di levante bacino delle grazie (inner channel 01, 02) in basso: bacino di sampierdarena (01, 02, 03, 04, 05, 06). fase a) (sinistra) - fase b) (destra).	59
Figura 9-16. Soluzione S3.a.mod - Scenario 3. Libeccio Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 2.5$ m, $T_p = 9.1$, Dir $210^\circ N$.	60
Figura 9-17. Soluzione S3.b.mod - Scenario 3. Libeccio Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 2.5$ m, $T_p = 9.1$, Dir $210^\circ N$.	60

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Figura 10-1. Schema planimetrico della soluzione S4 (Fase a e Fase b modificata) con indicazione dei punti di osservazione per l'estrazione dei risultati.	61
Figura 10-2. Soluzione S4.a - Scenario 2. vento di Scirocco. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	62
Figura 10-3. Soluzione S4.b.mod - Scenario 2. vento di Scirocco. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	62
Figura 10-4. Soluzione S4 - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione lungo la rotta di accesso. fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	63
Figura 10-5. Soluzione S4 - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posti in corrispondenza della bocca di levante e all'interno del bacino delle grazie. fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	63
Figura 10-6. Soluzione S3 modificata - Scenario 2. vento di Scirocco. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione nel bacino di sampierdarena. fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	63
Figura 10-7. Soluzione S4 - Scenario 2. vento di scirocco. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione. al centro: bocca di levante bacino delle grazie (inner channel 01, 02) in basso: bacino di sampierdarena (01, 02, 03, 04, 05, 06). fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	64
Figura 10-8. Soluzione S4.a - Scenario 2. Scirocco Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 1.5$ m, $T_p = 6.3$, Dir 135 °N.	65
Figura 10-9. Soluzione S4.b - Scenario 2. Scirocco Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 1.5$ m, $T_p = 6.3$, Dir 135 °N.	65
Figura 10-10. Soluzione S4.a - Scenario 3. vento di Libeccio. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	66
Figura 10-11. Soluzione S4.b.mod - Scenario 3. vento di Libeccio. Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.	66
Figura 10-12. Soluzione S4 - Scenario 3. vento di libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione lungo la rotta di accesso. fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	67
Figura 10-13. Soluzione S4 - Scenario 3. vento di libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione posti in corrispondenza della bocca di levante e all'interno del bacino delle grazie. fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	67
Figura 10-14. Soluzione S3 modificata - Scenario 3. vento di libeccio. Velocità della corrente (valore assoluto) nei punti di osservazione nel bacino di sampierdarena. fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	67
Figura 10-15. Soluzione S4 - Scenario 3. vento di libeccio. Profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione. al centro: bocca di levante bacino delle grazie (inner channel 01, 02) in basso: bacino di sampierdarena (01, 02, 03, 04, 05, 06). fase a) (sinistra) - fase b) modificata (destra).	68

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

- Figura 10-16. Soluzione S4.a - Scenario 3. Libeccio Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 2.5$ m, $T_p = 9.1$, Dir $210^\circ N$. 69
- Figura 10-17. Soluzione S4.b.mod - Scenario 3. Libeccio Campo di altezza d'onda ottenuto per lo stato di mare $H_s = 2.5$ m, $T_p = 9.1$, Dir $210^\circ N$. 69
- Figura 10-18. Scenario 2. Campi di velocità ottenuti con un vento uniforme di scirocco ($115^\circ N$) con velocità di 12.5 m/s e durata 24 ore. I diagrammi riportano i valori di velocità ottenuti in prossimità della piattaforma isola e del relitto della haven. (in alto velocità superficiale, in basso velocità sul fondo). 73
- Figura 10-19. Scenario 3. Campi di velocità ottenuti con un vento uniforme di Libeccio ($230^\circ N$) con velocità di 12.5 m/s e durata 24 ore. I diagrammi riportano i valori di velocità ottenuti in prossimità della piattaforma isola e del relitto della haven. (in alto velocità superficiale, in basso velocità sul fondo). 74

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

1. PREMESSE**1.1. Introduzione**

Il presente studio, redatto nell'ambito della Fase 1 del servizio inerente la fattibilità delle alternative progettuali per la realizzazione della Nuova Diga Foranea del porto di Genova, presenta i risultati delle analisi condotte con modelli matematici per valutare le condizioni meteomarine (corrente e moto ondoso) necessarie per lo svolgimento delle prove con il simulatore di manovra in "real time".

Lo studio è stato eseguito dalla Modimar S.r.l. ed è stato curato dall'ing. Marco Del Bianco con il coordinamento tecnico-scientifico del Prof. Ing. Paolo De Girolamo e dell'Ing. Paolo Contini.

1.2. Obiettivi

L'obiettivo dello studio è quello di definire le condizioni idrodinamiche e di moto ondoso da utilizzare per lo studio di navigabilità che verrà eseguito con il simulatore di manovra in tempo reale ("real time") del laboratorio inglese HR Wallingford. Le condizioni idrodinamiche e di moto ondoso sono state determinate in relazione alle configurazioni portuali previste dalle tre soluzioni S2, S3 e S4 selezionate per la realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova.

Il presente studio è stato eseguito prendendo in esame le tre Soluzioni Modificate definite "a valle" dello studio di agitazione ondosa, il quale ha mostrato la necessità di apportare alcune modifiche alle tre soluzioni selezionate per le opere esterne portuali.

Le condizioni di vento, prese a riferimento per le prove di navigabilità, sono state concordate con l'AdSP, l'Autorità Marittima e il Corpo dei Piloti di Genova. Tali condizioni, che da un punto di vista statistico presentano una frequenza di accadimento di circa 10-20 ore anno, sono caratterizzate da una intensità del vento di 12,5 m/s con direzione di provenienza da Scirocco e Libeccio, mentre i venti da terra, provenienti da Grecale-Tramontana, hanno una intensità di 15 m/s con frequenza di accadimento di circa 4-5 ore anno.

Per quanto concerne le condizioni di moto ondoso sono stati selezionati gli stati di mare provenienti da Scirocco, con altezza d'onda significativa $H_s = 1.5$ m, e da Libeccio/Mezzogiorno, con $H_s = 2.5$ m, che presentano una frequenza di accadimento in prossimità della casta rispettivamente di 10 ore/anno e di 45 ore/anno.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Si è quindi provveduto ad eseguire una estensione delle analisi di propagazione e penetrazione del moto ondoso all'interno del bacino portuale condotte nell'ambito dello studio *“Verifiche dell'agitazione ondosa nell'area portuale per le soluzioni d'intervento”* MI046R-PF-D-Z-R-015-00, a cui si rimanda per approfondimenti.

1.3. Metodologia

Per analizzare le condizioni idrodinamiche nel porto di Genova associate alle condizioni meteomarine di riferimento è stato applicato il modello numerico di idrodinamica Delft3D-FLOW, un codice di calcolo per processi idrodinamici sviluppato dall'istituto olandese Deltares.

È stata presa in esame un'area di studio molto estesa, che copre la parte più settentrionale del Golfo di Genova. Per migliorare la rappresentabilità dei risultati l'area di studio è stata scomposta in tre griglie di calcolo: la prima, più ampia, si estende da Capo Noli alle Cinque Terre; la seconda si estende da Arenzano a Portofino e l'ultima copre l'area di dettaglio del Porto di Genova.

La risoluzione delle griglie calcolo è stata aumentata da largo verso costa, utilizzando un passo di discretizzazione di 500 m per la prima griglia, di 100 m per la seconda e di 20 m per quella di dettaglio relativa al Porto di Genova.

Le griglie sono state riferite ai più recenti dati batimetrici a disposizione, compresi quelli provenienti dal rilievo batimetrico eseguito nell'ambito del presente progetto di fattibilità, che ha riguardato lo specchio di mare prospiciente alla diga foranea del Porto di Genova.

Applicando come “forzanti” al contorno la condizione di marea astronomica e imponendo un vento uniforme e costante su tutto il dominio di calcolo è stata simulata la generazione del campo di corrente indotto dall'azione di un vento costante di velocità pari a 12.5 m/s agente per 24 ore.

Le correnti indotte dal vento possono presentare una significativa stratificazione sulla verticale. Per questo motivo, al fine di valutare con maggior dettaglio il campo di velocità superficiale di interesse a fini navigazionali, sono state condotte simulazioni numeriche in 3D.

Le simulazioni sono state condotte prendendo in esame 3 scenari:

Scenario 1 – sola marea astronomica in condizioni medie di sизigia;

Scenario 2 – marea astronomica (come per Scenario 1) e vento proveniente da Scirocco 115 ° N;

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Scenario 3 –marea astronomica (come per Scenario 1) e vento proveniente da Libeccio 230 °N.

Le correnti generate dalla marea astronomica (Scenario 1) sono molto modeste e pertanto risultano di scarsa importanza ai fini della navigazione. Con riferimento allo stato attuale durante le fasi di flusso e riflusso in corrispondenza delle imboccature portuali si generano correnti entranti o uscenti dal porto con velocità massima dell'ordine di circa 12 cm/s.

Pertanto lo Scenario 1, caratterizzato dalla solo marea astronomica, non è stato preso in esame per le soluzioni selezionate.

Per quanto riguarda le condizioni di moto ondoso, associate alle condizioni meteomarine selezionate per le prove di navigabilità, sono state effettuate delle simulazioni integrative condotte con il modello numerico di propagazione del moto ondoso CGWAVE prendendo in esame i seguenti scenari:

- Scirocco: altezza d'onda significativa $H_s=1.5$ m, periodo $T_p=6.6$ s, direzione di provenienza 135 °N;
- Libeccio: altezza d'onda significativa $H_s=2.5$ m, periodo $T_p=9.1$ s, direzione di provenienza 210 °N.

I risultati delle simulazioni, ottenuti su una griglia ad elementi finiti non regolare, sono stati in seguito elaborati al fine di fornire i parametri di moto ondoso (altezza d'onda e direzione) su una griglia regolare con passo 10 m.

In questa sede sono riportati solamente i risultati delle suddette simulazioni, per approfondimenti sul modello CGWAVE, sulle griglie di calcolo e sulle condizioni al contorno impiegate si rimanda al documento “*Verifiche dell’agitazione ondosa nell’area portuale per le soluzioni d’intervento*” (MI046R-PF-D-Z-R-015-00).

1.4. Contenuti del presente rapporto

Nel Capitolo 0 sono presentati gli studi pregressi, i dati batimetrici e i dati meteomarini di riferimento utilizzati per la definizione degli scenari di simulazione.

Le condizioni meteomarine di riferimento per le eseguire le prove di navigabilità, concordate con l’AdSP, l’Autorità Marittima e il Corpo dei Piloti di Genova, sono definite nel Capitolo 3.

Nel Capitolo 4 viene presentato il modello di circolazione idrodinamica Delft 3D, il dominio simulato e le condizioni di calcolo adottate per le simulazioni.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Nel Capitolo 5 è presentato il modello di calcolo CGWAVE applicato per la propagazione del moto ondoso all'interno dell'area in esame.

Nel Capitolo 6 sono presentati i risultati delle simulazioni condotte con il modello di circolazione idrodinamica Delft3D su un dominio di calcolo esteso a tutto il golfo di Genova che hanno consentito di definire le condizioni al contorno per il dominio di calcolo di dettaglio più prossimo al Porto di Genova.

Le condizioni idrodinamiche e di moto ondoso relative allo stato attuale sono presentate, a titolo di confronto, nel Capitolo 7.

Le condizioni idrodinamiche e di moto ondoso ottenute a seguito delle simulazioni per le soluzioni selezionate, S2, S3 e S4 (sia in fase realizzativa a) che in fase realizzativa b)) sono presentate rispettivamente al Capitolo 8, al Capitolo 9 e al Capitolo 10.

A conclusione dello studio in Appendice 1 si presenta anche un confronto dei risultati ottenuti con il modello di circolazione idrica con le misure di corrente analizzate nel 2008 dalla Società D'Appollonia per conto della Ex Autorità Portuale di Genova (Doc. No. 07-578-H1, Aprile 2008, studio meteomarino eseguito per l'“*Ipotesi di Riutilizzo dello Smarino della Gronda*”).

1.5. Sintesi dei risultati ottenuti

Le simulazioni condotte hanno confermato che le correnti generate dalla sola marea astronomica (Scenario 1) sono molto modeste (velocità massima dell'ordine di 12 cm/s alla bocca di levante) e pertanto risultano di scarsa rilevanza a fini navigazionali.

In presenza di un vento proveniente da Scirocco (Scenario 2) si genera, all'interno del golfo di Genova, una circolazione idrica antioraria. La corrente tende ad incrementare la sua velocità in prossimità della costa, con valori compresi tra 0.15 e 0.20 m/s lungo la riviera di Levante e tra 0.20 e 0.25 m/s lungo la riviera di Ponente.

Nel tratto di costa prospiciente il Porto di Genova si hanno i valori più elevati di velocità che risultano mediamente compresi tra 0.25 e 0.35 m/s.

Con riferimento alle soluzioni di progetto S2, S3 e S4 la circolazione idrica indotta dal vento proveniente da Scirocco rappresenta la condizione più significativa per la navigabilità.

I risultati ottenuti per le soluzioni S2 e S3, che presentano tra loro una significativa analogia, mostrano che lungo la rotta di accesso alla nuova imboccatura portuale di levante la corrente presenta traiettorie pressoché rettilinee e parallele alla costa, con valori di velocità compresi tra 0.30 e 0.35 m/s.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

A ridosso della testata della nuova diga foranea si verifica un aumento della corrente indotta dal vento, con valori di velocità massimi che raggiungono i 0.50 m/s. All'interno del nuovo avamporto e nell'area di evoluzione delle navi la velocità della corrente risulta più contenuta, con valori compresi in media tra 0.05 e 0.15 m/s.

Lo Scirocco contribuisce a generare una corrente che diretta verso Ponente all'interno del Bacino Sampierdarena, dove, in fase a) si raggiungono velocità comprese tra 0.10 e 0.25 m/s con valori massimi in prossimità di ponte Canepa dell'ordine di 0.30 m/s.

L'ampliamento del bacino di Sampierdarena, previsto dalla fase realizzativa b), comporta una maggiore uniformità del flusso e una riduzione delle velocità massime che non superano la velocità di 0.25 m/s.

Con riferimento alla soluzione S4, lungo la rotta di accesso alla nuova imboccatura di ponente il flusso presenta traiettorie rettilinee e parallele alla costa con valori di velocità compresi tra 0.30 e 0.35 m/s. Nell'avamporto e nell'area di evoluzione la corrente presenta valori di velocità dell'ordine di 0.10 m/s che si incrementano fino a 0.20 m/s in prossimità delle banchine di Calata Bettolo.

All'interno del bacino Sampierdarena la corrente presenta valori compresi in media tra 0.05 e 0.20 m/s. La fase realizzativa b) della soluzione S4 non comporta variazioni significative del campo di corrente ottenuto per la fase a).

In presenza di vento proveniente da Libeccio (Scenario 3) si instaura una circolazione idrica oraria all'interno del golfo di Genova, la corrente risulta più intensa lungo la riviera di Ponente e tende a ridursi lungo la riviera di Levante. In prossimità del porto di Genova la corrente, diretta verso levante, risulta parallela alla costa con velocità comprese tra 0.20 e 0.30 m/s.

I risultati ottenuti per le simulazioni relative alle Soluzioni S2 e S3 con vento proveniente da Libeccio hanno fornito, lungo la rotta di accesso alla nuova imboccatura orientata verso Levante, valori della corrente compresi tra 0.20 e 0.25 m/s. All'interno del porto la corrente risulta più debole con valori mai superiori a 0.20 m/s.

Con riferimento alla Soluzione S4, in presenza del vento proveniente da Libeccio lungo la rotta di accesso alla nuova imboccatura orientata verso Ponente si ottengono velocità della corrente comprese tra 0.20 e 0.25 m/s. All'interno dello specchio acqueo portuale la corrente risulta molto più contenuta, con valori mai superiori a 0.10 m/s.

I profili verticali della componente orizzontale di velocità, ottenuti nei punti di osservazione all'esterno e all'interno del porto, hanno mostrato che, a causa dell'azione del vento, le velocità in superficie risultano superiori del 20-30% rispetto ai valori medi

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

integrati sulla verticale. Per questa ragione per l'esecuzione delle prove di manovrabilità sono stati presi in considerazione i valori di velocità della corrente relativi agli strati superficiali del dominio di calcolo che sono quelli che agiscono sulla chiglia della nave.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

2. DATI BASE DI RIFERIMENTO

Nell'ambito dello Studio Meteomarino di progetto sono stati definiti i parametri meteomarini di riferimento per lo svolgimento delle attività di studio e per la progettazione della nuova diga foranea.

In relazione al presente studio di idrodinamica a seguire sono presentati in sintesi l'inquadramento geografico del sito in esame, il regime delle maree astronomiche e dei venti al largo e in costa. Si rimanda allo Studio Meteomarino per ulteriori approfondimenti.

2.1. Studi pregressi

Per fini comparativi e di verifica è stato preso in esame lo studio eseguito dalla Società D'Appollonia (Doc. No. 07-578-H1, Aprile 2008, Studio Meteomarino eseguito per l' "Ipotesi di Riutilizzo dello Smarino della Gronda") per conto della ex Autorità Portuale di Genova, nell'ambito del quale sono riportate le analisi delle misure correntometriche disponibili per il sito di Genova.

2.2. Inquadramento geografico

Il Golfo di Genova rappresenta l'area più settentrionale del Mar Ligure, delimitata ad Ovest da Capo Mele e ad Est dall'Isola della Palmaria.

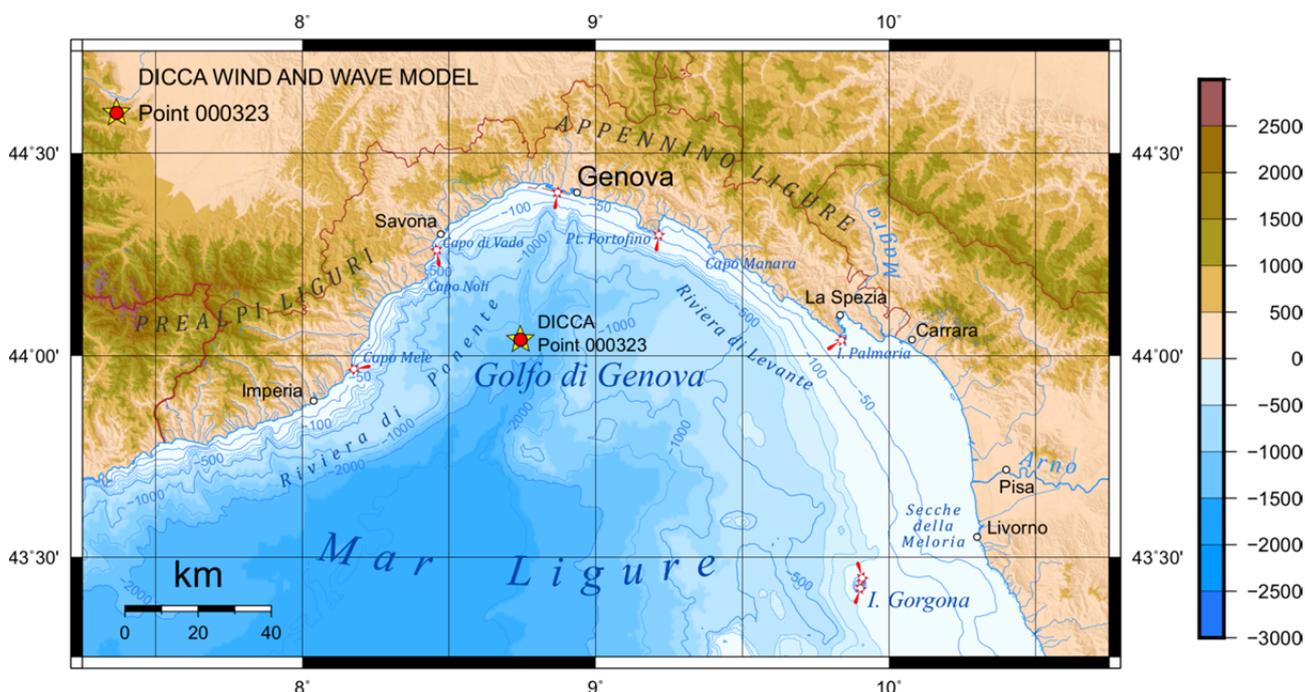


FIGURA 2-1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL GOLFO DI GENOVA CON INDICAZIONE DEI PUNTI DI RICOSTRUZIONE DEL VENTO E DEL MOTO ONDOSO FORNITI DAL DICCIA.

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

2.3. 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 (media delle alte maree giornaliere MHHW = +0.12 m sul l.m.m.). Durante le fasi sizigiali si ha un aumento dell'ampiezza della marea che può superare occasionalmente i 15 cm (MHWS = +0.18 m sul l.m.m.).

2.4. Venti e moto ondoso

La circolazione idrodinamica forzata dalle condizioni anemometriche dipende dall'azione esercitata dal vento su ampie porzioni della superficie marina e pertanto dal punto di vista climatico si è fatto riferimento alle condizioni anemometriche ricostruite in mare aperto dal DICCA dell'Università di Genova tra il 1979 e il 2018 (vedi studio meteomarino) mediante un modello della circolazione atmosferica che si basa su dati meteorologici ricostruiti in re-analisi a scala globale.

I venti in mare si presentano in prevalenza dal settore di Tramontana. A questi si alternano venti provenienti da Libeccio-Mezzogiorno e da Scirocco-Levante che contribuiscono alla generazione delle correnti superficiali nel Golfo di Genova.

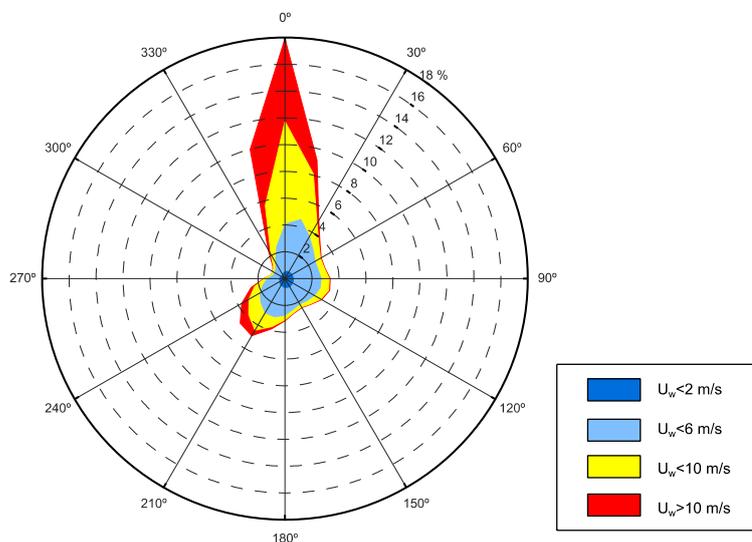


FIGURA 2-2. DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEI VENTI RICOSTRUITI DAL DICCA NEL GOLFO DI GENOVA NEL PUNTO DI COORDINATE 44.04°N - 8.74°E (PERIODO DI RIFERIMENTO 1979-2018)

Il regime dei venti osservato in mare aperto risulta alterato sottocosta per la presenza dei rilievi dell'Appennino e dalla presenza degli edifici della città. La distribuzione direzionale delle misure osservate presso le stazioni anemometriche di Genova-Sestri, Genova RMN-ISPRA e Genova Punta Vagno è riportata in Figura 2-3.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

EI. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

I venti in costa provengono in maggior misura dal primo quadrante con velocità mediamente comprese tra 2 e 6 m/s. La frequenza di accadimento dei venti con velocità superiore a 10 m/s varia per le diverse stazioni di misura tra lo 0.5% a Punta Vagno (circa 45 ore/anno) e il 2.5% a Genova Sestri (circa 220 ore/anno).

I venti secondari provengono dal secondo quadrante. Questi venti hanno generalmente velocità comprese tra 2-4 m/s e 4-6 m/s mentre quelli con frequenza di occorrenza di 200 ore/anno presentano in genere velocità comprese tra 6 e 10 m/s. I venti di velocità superiore a 10 m/s hanno una frequenza di accadimento variabile da un minimo di 0.03% (circa 3 ore /anno) alla stazione RMN ISPRA nel porto vecchio ad un massimo di 0.9% (circa 80 ore/anno) all'aeroporto di Genova Sestri.

I venti provenienti dal terzo quadrante hanno una frequenza di accadimento inferiore e si presentano generalmente con velocità inferiori a 4 m/s. I venti con velocità superiore a 10 m/s si verificano in media poche ore all'anno: 18 ore/anno all'aeroporto; 5 ore/anno nel porto vecchio; non osservati a Punta Vagno.

Regime dei venti nelle stazioni anemometriche di riferimento in costa

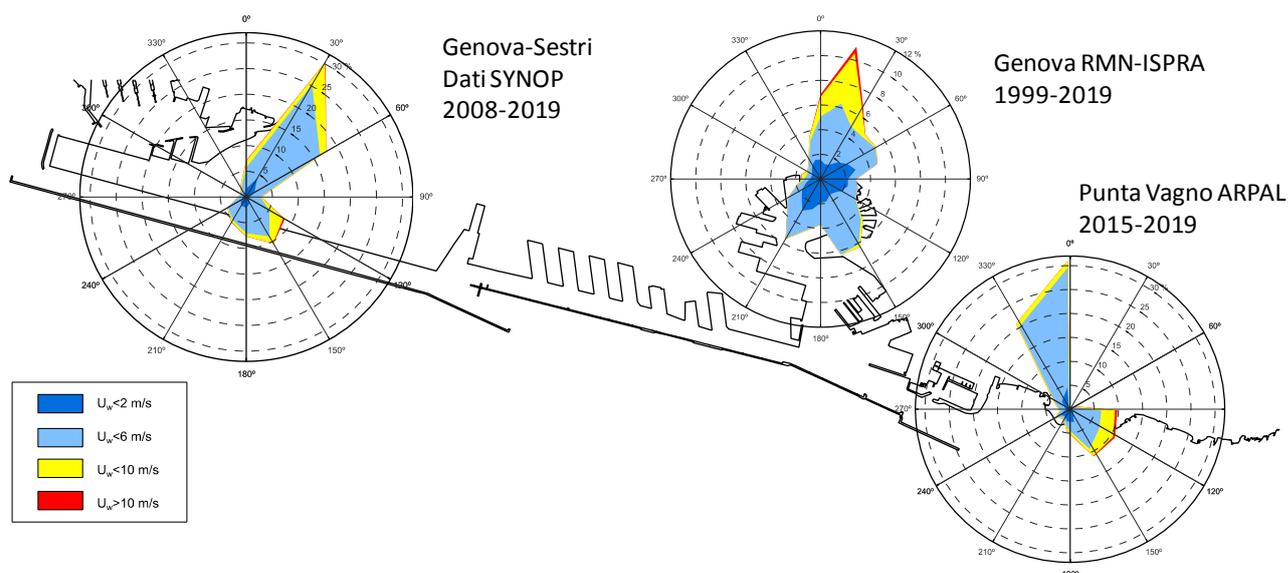


FIGURA 2-3. REGIME DEI VENTI OSSERVATO PRESSO LE STAZIONI ANEMOMETRICHE IN COSTA GENOVA-SESTRI, GENOVA RMN-ISPRA E PUNTA VAGNO-ARPAL

Per le condizioni di moto ondoso incidente si è fatto riferimento al clima ondometrico ricostruito nell'ambito dello Studio Meteomarine per un punto posto a largo del Porto di Genova posto alla profondità di -50,0 m s.l.m.m. cui si rimanda per i dettagli.

In Figura 2-4 è mostrata la distribuzione direzionale degli stati di mare con altezza d'onda significativa $H_s > 1.0$ m

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

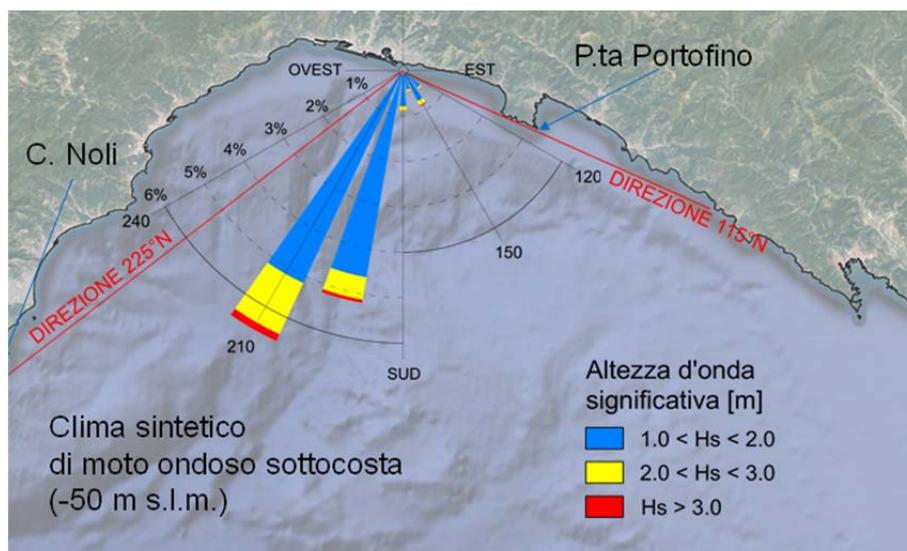


FIGURA 2-4. DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEGLI STATI DI MARE CON ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA $H_s > 1.0$ M ALL'ESTERNO DEL PORTO DI GENOVA IN UN PUNTO POSTO ALLA PROFONDITÀ DI -50,0 M S.L.M.M..

2.5. Batimetria

Il litorale della Riviera di Levante prospiciente l'Appennino Ligure, risulta impervio, con pareti a picco sul mare (ad esempio le famose Cinque Terre), e piccole insenature con spiagge di modesta estensione.

Lungo la Riviera di Ponente, le Prealpi Liguri si protendono verso il mare modellando una costa alta e rocciosa, intervallata da tratti di costa bassa dove si possono trovare brevi falcate sabbiose (Albenga, Loano, Finale Ligure, Savona), spesso difese da interventi di difesa costiera.

Allontanandosi da costa i fondali aumentano velocemente, raggiungendo profondità di 30÷50 m già a poche centinaia di metri dalla costa. Il limite della piattaforma continentale, delimitata dalla batimetria -200 m sul l.m.m. si trova ad una distanza compresa tra 25 e 30 km dalla costa. Nella Figura 2-5 si notano anche due lunghi canyon sottomarini, tra di loro paralleli, posti proprio al largo del porto di Genova.

Per la costruzione della griglia di calcolo del modello numerico sono state utilizzate diverse fonti di dati come di seguito indicato.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

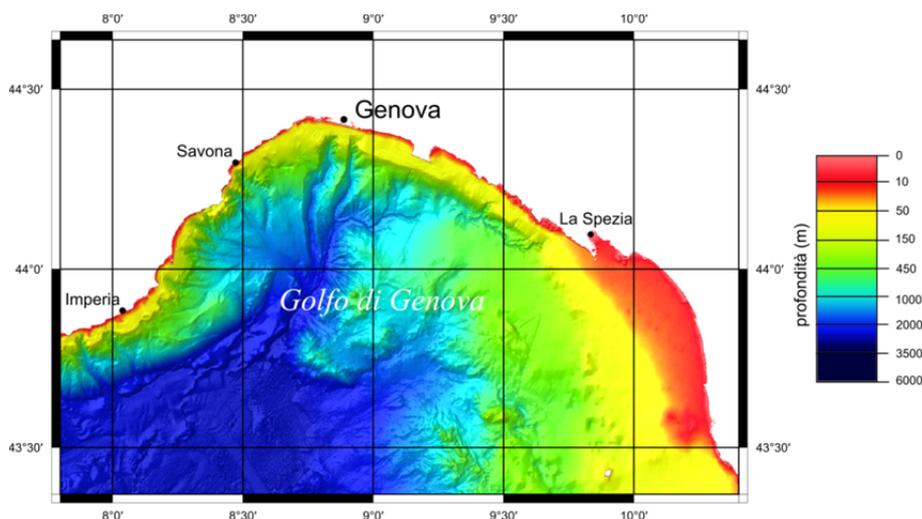


FIGURA 2-5. BATIMETRIA DEL GOLFO DI GENOVA (FONTE DATABASE EMODNET)

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 utilizzata la base cartografica comprensiva delle linee batimetriche fornita dall'Autorità di Sistema Portuale. Questi dati sono stati integrati con le misure batimetriche provenienti dalla recente campagna rilievi condotta da SOCOTEC ITALIA S.r.l. (2019) nell'ambito del presente incarico che ha riguardato lo specchio acqueo prospiciente alla diga foranea. In Figura 2-6 è rappresentata una mappa con indicazione delle diverse sorgenti di dati batimetrici utilizzati per il presente studio.

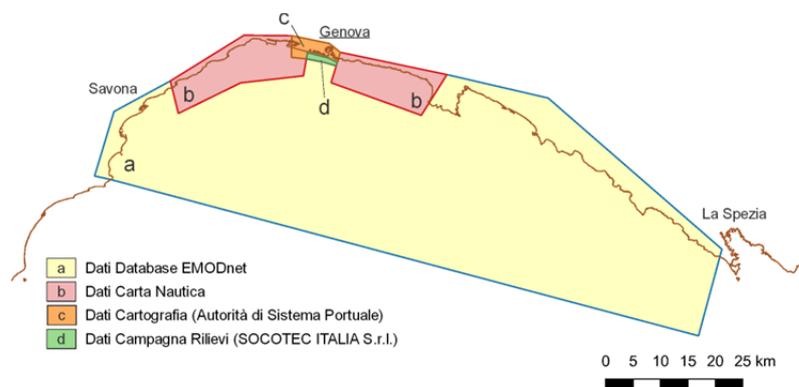


FIGURA 2-6. ORIGINE DEI DATI BATIMETRICI UTILIZZATI PER LA GENERAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

3. DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI SIMULAZIONE

Come accennato nelle premesse le condizioni di vento di riferimento per le simulazioni idrodinamiche sono state scelte in relazione alle condizioni meteomarine concordate con l'AdSP, l'Autorità Marittima e il Corpo dei Piloti di Genova per eseguire le prove di navigabilità in riferimento alle soluzioni alternative progettuali selezionate.

Nello specifico la velocità e la direzione del vento locale selezionato per le prove di navigabilità fa riferimento a due condizioni:

- Scirocco, con velocità del vento di 12.5 m/s e direzione 135 °N (frequenza di superamento locale: circa 10 ore/anno);
- Libeccio, con velocità del vento di 12.5 m/s e direzione 210 °N (frequenza di superamento locale: circa 20 ore/anno);
- Grecale, con velocità del vento di 15.0 m/s e direzione 45°N (frequenza di superamento locale: circa 4 ore/anno).

A queste condizioni di vento è necessario associare un campo di corrente e un campo di moto ondoso che risultino compatibili con le corrispondenti condizioni anemometriche.

Per la generazione della corrente indotta dal vento è stato preso in esame un dominio di calcolo esteso da Capo Noli a La Spezia.

La direzione del vento che agisce sull'intero Golfo di Genova, che determina la messa in movimento delle masse d'acqua e quindi il campo idrodinamico, non è coincidente alla direzione del vento locale in costa che può agire sulla nave.

La definizione della direzione del vento per la generazione della corrente è stata effettuata sulla base del regime dei venti osservato al largo del Golfo di Genova, valutando anche la corrispondenza tra le direzione del vento e la direzione del moto ondoso selezionato per le prove di navigabilità.

In conclusione per la valutazione dei campi idrodinamici sono stati presi in esame i seguenti scenari di simulazione:

SCENARIO 1

- marea astronomica in condizioni medie sizigiali;

SCENARIO 2

- marea astronomica in condizioni medie sizigiali;

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

- vento proveniente da Scirocco con velocità di 12.5 m/s e direzione di provenienza al largo di 115°N. Durata di azione del vento 24 ore;

SCENARIO 3:

- marea astronomica in condizioni medie sizigiali;
- vento proveniente da Libeccio/Mezzogiorno con velocità di 12.5 m/s e direzione di provenienza al largo di 230 °N. Durata di azione del vento 24 ore;

A queste condizioni meteomarine sono associati i seguenti stati di mare in prossimità della costa:

- moto ondoso proveniente da Scirocco: altezza d'onda significativa $H_s = 1.5$ m, periodo di picco spettrale $T_p = 6.3$ s e direzione di provenienza 135°N;
- moto ondoso proveniente da Libeccio: altezza d'onda significativa $H_s = 2.5$ m, periodo $T_p = 9.1$ s e direzione di provenienza 210°N.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

4. MODELLO DI CALCOLO DI CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA

Per lo svolgimento dello studio di circolazione idrodinamica è stato applicato il modello numerico Delft3D-FLOW sviluppato da Deltares. Delft3D-FLOW è un programma di simulazione idrodinamica tridimensionale (a strati), ampiamente utilizzato nel campo dell'ingegneria applicata alle opere marittime e costiere, che calcola la circolazione idrodinamica e il trasporto solido in presenza di forzanti che possono essere costituite dalla marea astronomica, dall'azione del vento, dall'immissione a mare di corsi d'acqua, ecc. utilizzando una griglia di calcolo curvilinea in grado di seguire molto bene qualsiasi tipo di contorno.

4.1. Dominio di calcolo

Per studiare la circolazione all'interno del Golfo di Genova è stata selezionata un'area di studio molto ampia che si estende da Capo Noli a Ponente sino alle Cinque Terre a Levante.

L'area di studio, rappresentata in Figura 4-1, seguendo la metodologia nota come *decomposizione del dominio di calcolo*, è stata suddivisa in più griglie di calcolo annidate: una griglia di calcolo principale e due griglie di dettaglio, la griglia N1 e la griglia N2.

Grazie alla decomposizione del dominio è possibile operare su un'area molto estesa aumentando la risoluzione spaziale lungo il piano orizzontale del dominio di calcolo, e quindi la rappresentabilità dei risultati, in prossimità della zona di interesse.

Di seguito sono sintetizzati i parametri delle tre griglie di calcolo:

GRIGLIA PRINCIPALE

Estensione contorno lato mare: contorno Sud 110 km, contorno Est 15 km

Numero di celle in direzione M: 225

Numero di celle in direzione N: 70

Passo di discretizzazione: 500 m

GRIGLIA N1

Estensione contorno lato mare Sud: 38 km

Numero di celle in direzione M: 380

Numero di celle in direzione N: 110

Passo di discretizzazione: 100 m

GRIGLIA N2

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

Estensione contorno lato mare Sud: 9.5 km

Numero di celle in direzione M: 478

Numero di celle in direzione N: 228

Passo di discretizzazione: 20 m

In Figura 4-2 è rappresentata la batimetria definita all'interno del dominio di calcolo utilizzando i dati batimetrici di riferimento. In Figura 4-3 è mostrato un dettaglio della batimetria all'interno della griglia N2 in prossimità del Porto di Genova.

La discretizzazione verticale del dominio di calcolo è stata schematizzata utilizzando 5 strati di spessore variabile che si adattano automaticamente alla profondità all'interno del dominio di calcolo (schematizzazione σ - layer).

Lo spessore degli strati (k_1 , k_2 , k_3 , etc...), è impostato in funzione della percentuale della profondità partendo dallo strato più superficiale fino ad arrivare allo strato più profondo. Nel caso in esame sono state assunte le seguenti percentuali: $k_1 = 10\%$; $k_2 = 10\%$; $k_3 = 20\%$; $k_4 = 30\%$; e $k_5 = 30\%$.

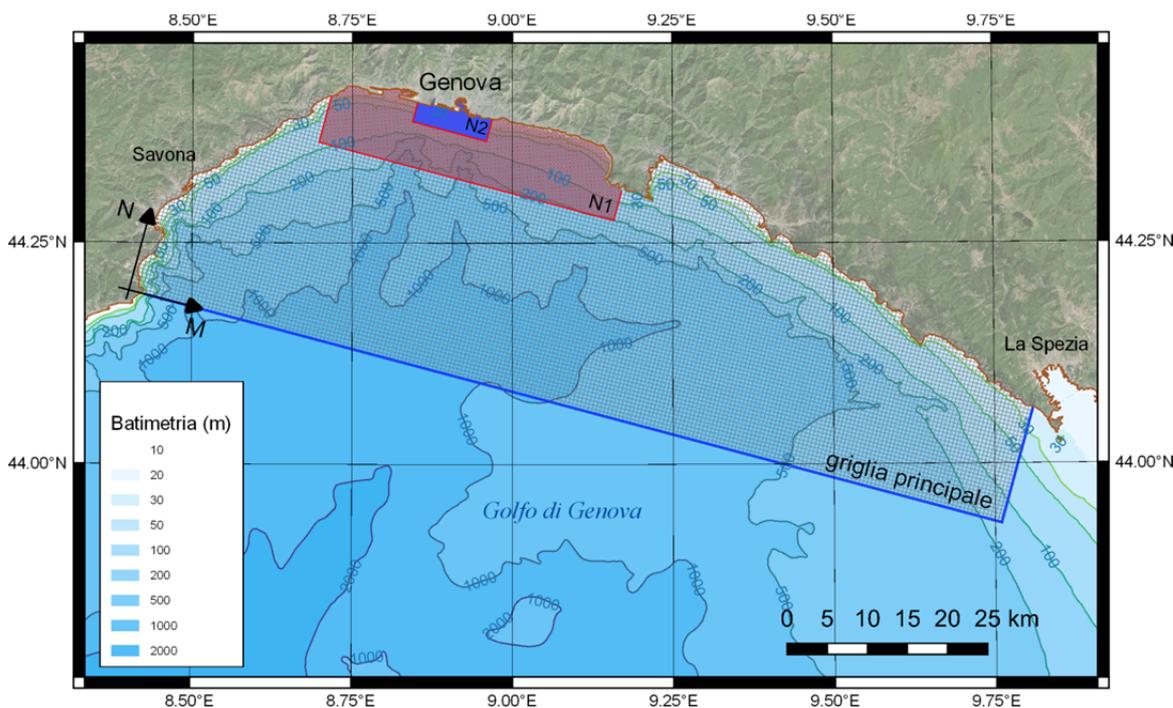


FIGURA 4-1. ESTENSIONE DELLA GRIGLIA DI CALCOLO PRINCIPALE E DELLE DUE GRIGLIE DI DETTAGLIO N1 E N2 UTILIZZATE PER LA DECOMPOSIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

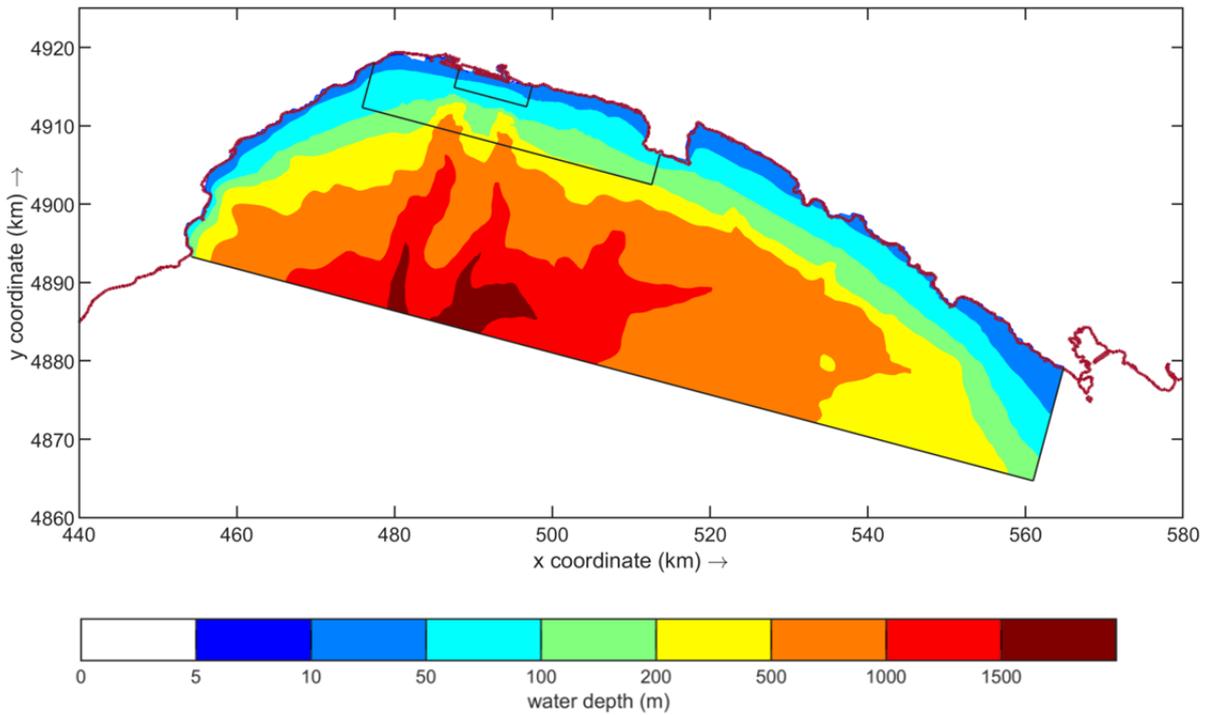


FIGURA 4-2. BATIMETRIA ALL'INTERNO DEL DOMINIO DI CALCOLO (GRIGLIA PRINCIPALE + GRIGLIA N1+ GRIGLIA N2).

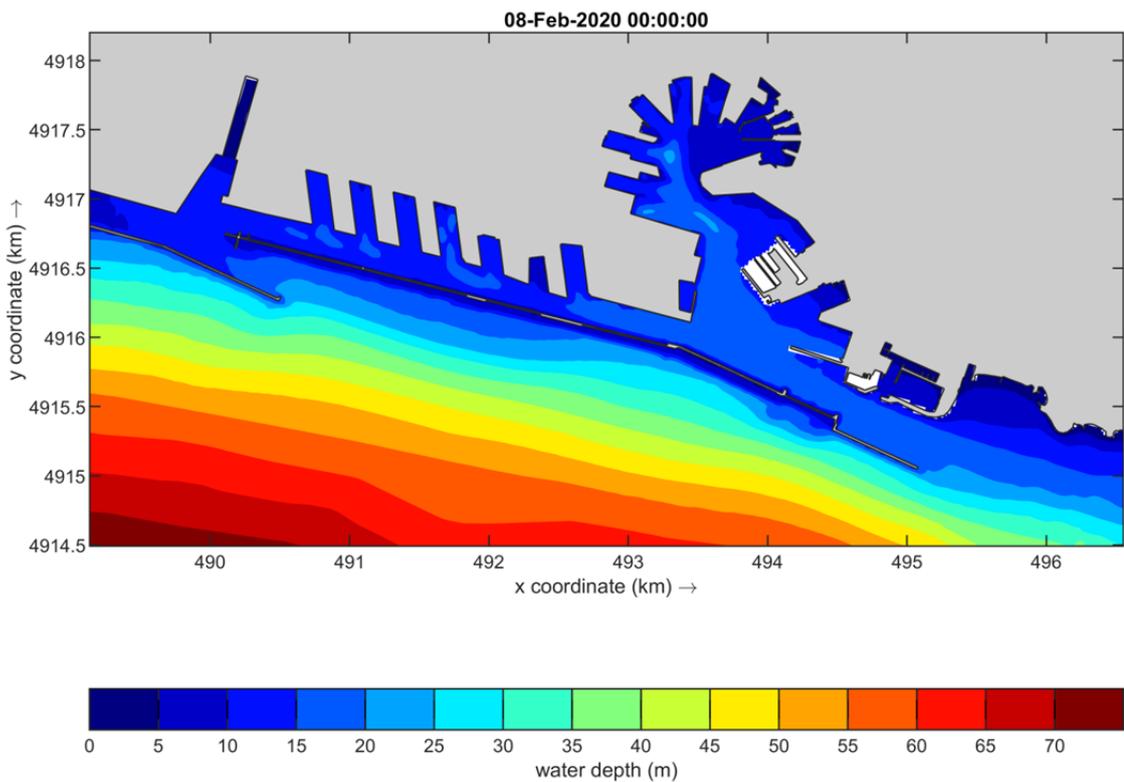


FIGURA 4-3. DETTAGLIO DELLA BATIMETRIA IN PROSSIMITÀ DEL PORTO DI GENOVA (GRIGLIA N2- STATO ATTUALE).

4.2. Condizioni al contorno e parametri di calcolo

Lungo il contorno lato mare della griglia principale (contorno Sud e contorno Est) è stata imposta una variazione di livello dovuta alla marea astronomica.

Le costituenti della marea astronomica, K1, O1, P1, M2, S2, N2, K2, che descrivono le componenti diurne e semidiurne dell'oscillazione di marea, sono state ottenute dal database TPXO7.2, un modello delle maree (Egbert e Erofeeva, 2002) che fornisce le costanti armoniche (ampiezza e fase) con passo di discretizzazione di 1/4 di grado a scala globale.

Le variazioni di ampiezza e fase delle costituenti nel Golfo di Genova sono modeste ma sufficienti a determinare una circolazione delle masse d'acqua. A titolo di esempio in Figura 4-4 è rappresentata la variazione dell'ampiezza e della fase per la costituente M2.

Tra le due estremità del contorno Sud della griglia principale per la costituente semidiurna principale M2 si ha una variazione di ampiezza di 0.5 cm e uno sfasamento di 3°.

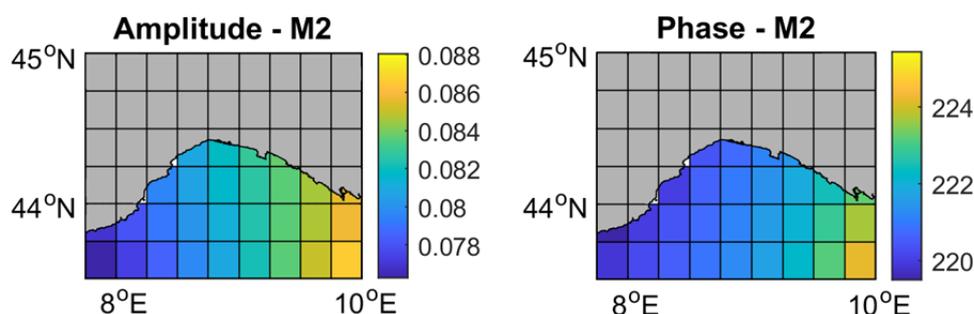


FIGURA 4-4. VARIAZIONE DELL'AMPIEZZA (IN METRI) E DELLA FASE (IN GRADI) PER LA COSTITUENTE PRINCIPALE M2 ALL'INTERNO DEL GOLFO DI GENOVA.

Le simulazioni sono state condotte con un passo temporale $\Delta t = 15$ s, con una finestra temporale di 36 ore per le simulazioni con il vento, e di 60 ore per la simulazione con la sola marea astronomica, riproducendo il ciclo di marea previsto per la stazione di Genova nel mese di Febbraio 2020 tra le ore 12:00 del giorno 6 e le ore 00:00 del giorno 9 (vedi Figura 4-5).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

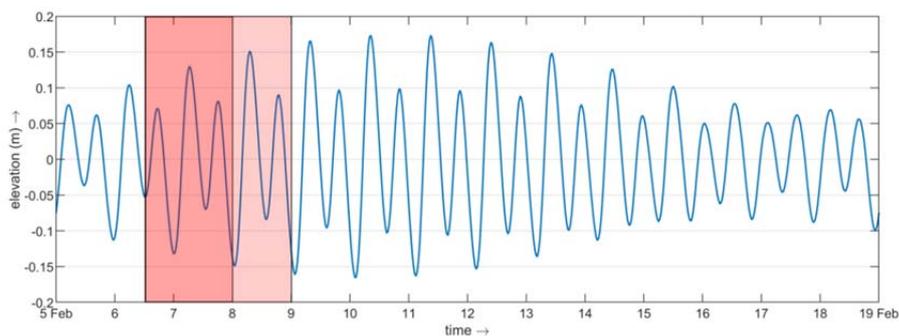


FIGURA 4-5. PREVISIONE DELLA MAREA ASTRONOMICA PER LA STAZIONE DI GENOVA (IHO) TRA IL 5 E IL 19 FEBBRAIO 2020 CON INDICAZIONE DELLA FINESTRA TEMPORALE DI 36 ORE SELEZIONATA PER LE SIMULAZIONI CON IL VENTO E DELLA FINESTRA TEMPORALE DI 60 ORE PER SIMULAZIONI CON LA SOLA MAREA ASTRONOMICA.

Come condizione iniziale è stato assegnato un campo di velocità nullo ed un livello idrico uniforme su tutto il dominio di -0.05 m sul l.m.m, pari al livello di marea astronomica all'istante iniziale.

Il vento è stato applicato uniformemente all'interno del dominio di calcolo. Nelle prime 12 ore di simulazione la velocità del vento è stata incrementata con legge lineare partendo da un valore nullo fino ad arrivare alla velocità di 12.5 m/s. Nelle successive 24 ore è stato mantenuto costante (vedi Figura 4-6).

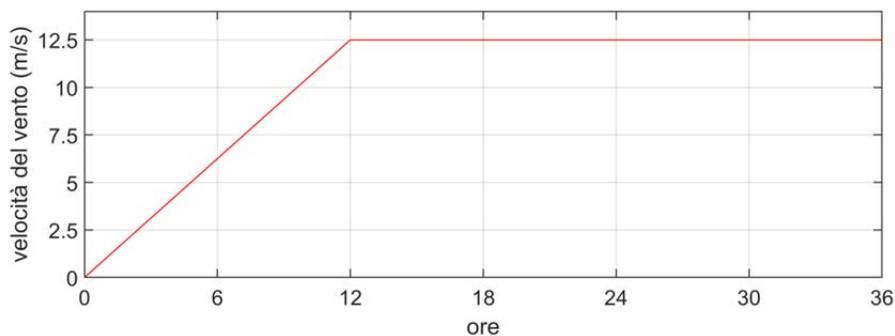


FIGURA 4-6. LEGGE TEMPORALE ASSUNTA PER LA VELOCITÀ DEL VENTO UTILIZZATA PER LO SCENARIO 2 E LO SCENARIO 3.

5. MODELLO DI CALCOLO DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO

Per condurre effettuare le simulazioni di propagazione del moto ondoso è stato utilizzato il codice numerico agli elementi finiti CGWAVE, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, che risolve l'equazione detta di "mild-slope" di tipo ellittico.

L'equazione di mild-slope regola la propagazione di onde regolari su fondali variabili in presenza dei fenomeni fisici combinati di diffrazione, rifrazione, riflessione e dissipazioni di energia per frangimento e attrito sul fondo.

5.1. Dominio di calcolo e condizioni al contorno

L'area simulata con il codice è riportata nella Figura 5-1 dove viene rappresentata, a titolo di esempio, anche la batimetria di calcolo per la situazione attuale. Il dominio esterno di forma semicircolare ha un diametro di circa 7,0 km e lungo di esso è stata imposta: (i) la condizioni al contorno relativa alle caratteristiche delle onde incidenti da largo; (ii) la condizione di radiazione verso l'infinito delle onde "scatterate" dal dominio di calcolo. Il numero di elementi e di nodi in cui l'area di calcolo è stata discretizzata, pur variando al variare delle configurazioni delle opere portuali prese in esame, è risultato nell'ordine di circa 650.000 elementi e di circa 330.000 nodi. Lungo i contorni interni al dominio, rappresentativi delle opere esterne ed interne portuali, sono stati applicati appropriati coefficienti di riflessione: 0.90 per le opere a parete verticale, 0.40 per le dighe foranee protette da scogliere a gettata, 0.35 per la costa rocciosa e per le opere a scogliera in generale, 0.10 per i tratti di costa bassa e sabbiosa.

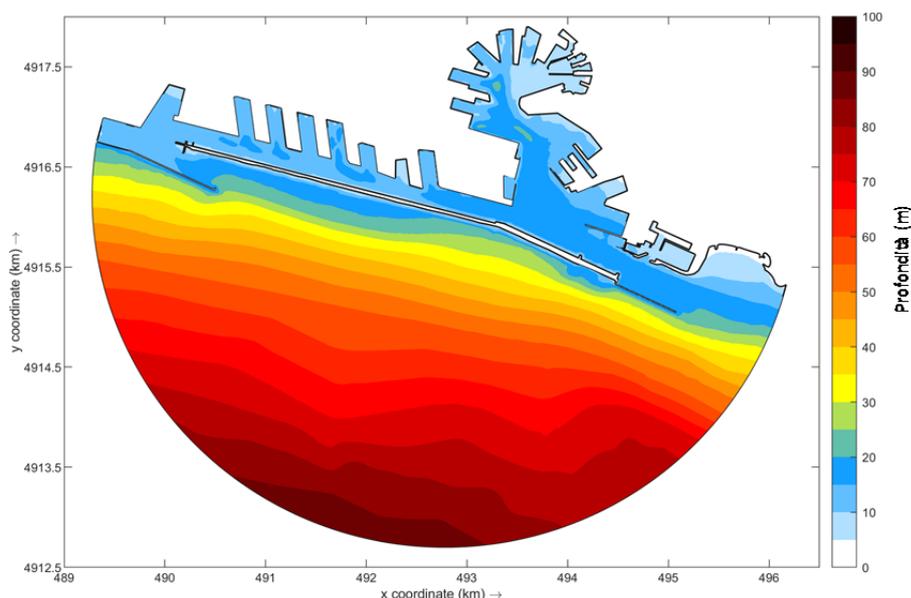


FIGURA 5-1 - AREA SIMULATA CON IL CODICE CGWAVE E RELATIVA BATIMETRIA NELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

5.2. Condizioni di calcolo

Le simulazioni sono state condotte prendendo in esame due stati di mare incidenti monocromatici e monodirezionali:

Scirocco: Hs=1.5 m, Tp=6.3 s, Dir=135°N

Libeccio: Hs=2.5 m, Tp=9.1 s, Dir=210°N

I risultati delle simulazioni condotte con la griglia non regolare di CGWAVE sono stati successivamente elaborati al fine di fornire al simulatore di manovra i parametri di moto ondoso (altezza d'onda e direzione) su una griglia regolare con passo di discretizzazione di 10 m.

Per approfondimenti sul modello CGWAVE, sulle griglie di calcolo e sulle condizioni al contorno impiegate si rimanda allo *Studio di Penetrazione del Moto Ondoso* (MI046R-PF-D-Z-R-014A-00).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

6. ANALISI DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA DEL GOLFO DI GENOVA

Nel presente capitolo viene analizzata la circolazione idrica ad ampia scala all'interno del Golfo di Genova ottenuta a seguito delle simulazioni relative ai diversi scenari meteomarine selezionati.

Nei diagrammi di Figura 6-1 sono mostrati i risultati ottenuti applicando come forzante la sola marea astronomica. Le immagini mostrano la variazione del campo di velocità (mediata sulla verticale) ottenuta durante un intero ciclo di marea ad intervalli di 3 ore, per l'intero dominio di calcolo esteso a tutto il Golfo di Genova.

La circolazione nel Golfo di Genova originata dalla marea astronomica presenta valori di velocità molto modesti, mediamente compresi tra 1 e 2 cm/s. Durante il ciclo di marea il flusso all'interno del golfo si inverte, passando da una circolazione oraria ad una circolazione antioraria.

In Figura 6-2 è mostrato il campo di velocità ottenuto all'interno del Golfo di Genova a seguito della simulazione con un vento uniforme proveniente da Scirocco, di velocità pari a 12.5 m/s, e durata pari a 24 ore.

Il vento da Scirocco genera una circolazione antioraria all'interno del golfo di Genova. La corrente tende ad incrementare la sua velocità sottocosta con valori compresi tra 0.20 e 0.25 m/s lungo la riviera di ponente. Nel tratto di costa prospiciente il porto di Genova la corrente risulta diretta da Est verso Ovest e si raggiungono, dopo 24 ore di simulazione con vento uniforme, i valori più elevati di velocità che risultano mediamente compresi tra 0.25 e 0.35 m/s.

Il vento di Scirocco genera anche un sovrizzo dei livelli idrici all'interno del golfo. Il confronto tra i livelli di marea astronomica previsti a Genova con i risultati delle simulazioni mostra un aumento stazionario dei livelli di circa 2-3 cm, a tal riguardo si rimanda al rapporto *Studio delle condizioni idrodinamiche* (MI046R-PF-D-Z-R-006-00).

La circolazione idrica all'interno del Golfo di Genova forzata da un vento uniforme proveniente da Libeccio/Mezzogiorno (230°N), di velocità pari a 12.5 m/s, e durata pari a 24 ore, è mostrata in Figura 6-3. La circolazione ottenuta nel Golfo di Genova per la condizione di vento da Libeccio/Mezzogiorno presenta un senso orario. La corrente risulta più intensa lungo la riviera di ponente e lungo il tratto di costa prospiciente Genova con valori compresi in media tra 0.20 e 0.30 m/s. Lungo la riviera di levante la corrente perde di intensità quasi annullandosi.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

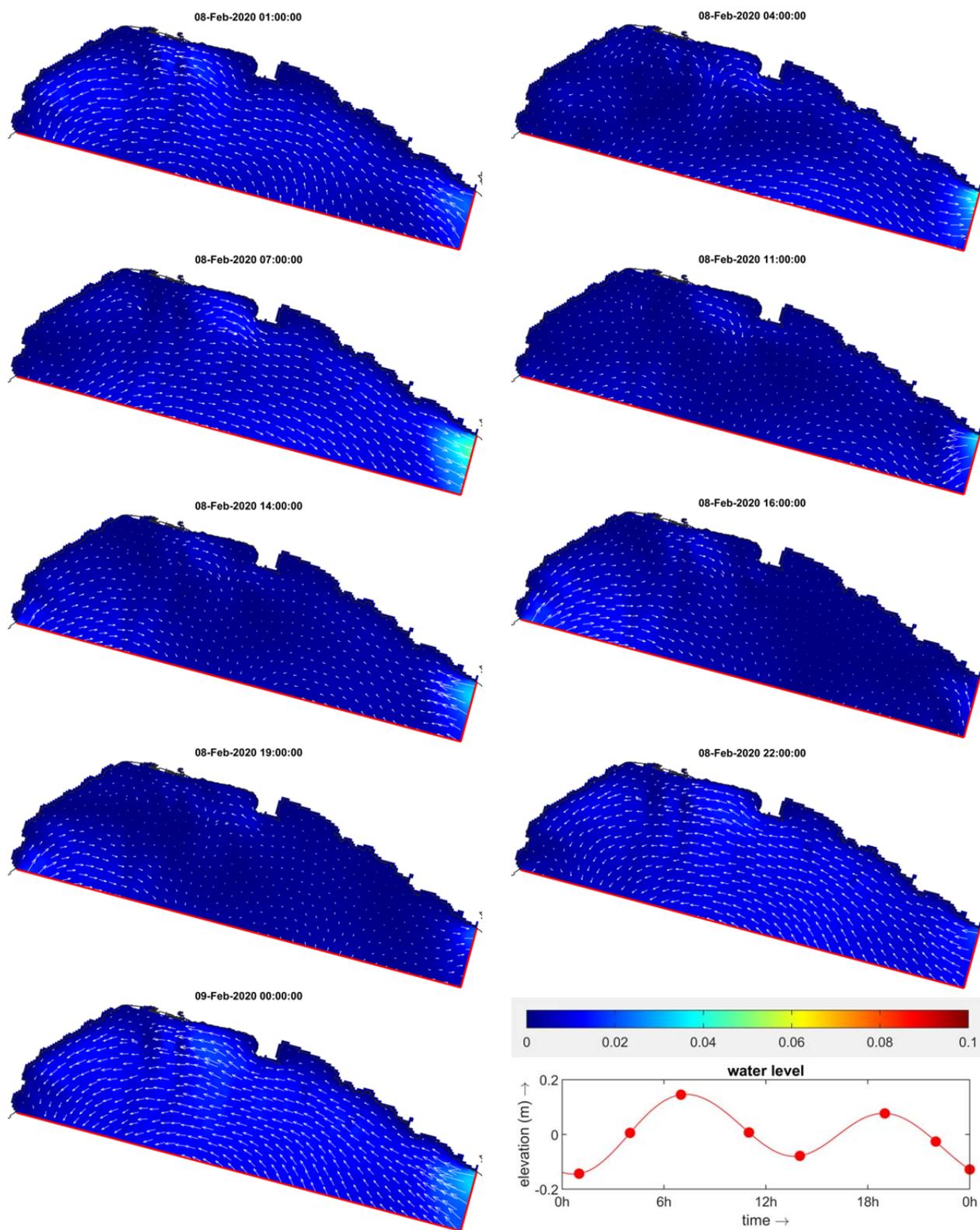


FIGURA 6-1. CAMPO DI VELOCITÀ OTTENUTO NEL GOLFO DI GENOVA DURANTE UN CICLO DI MAREA ASTRONOMICA (ORE 1:00 - 24:00 DEL GIORNO 8 FEBBRAIO 2020).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

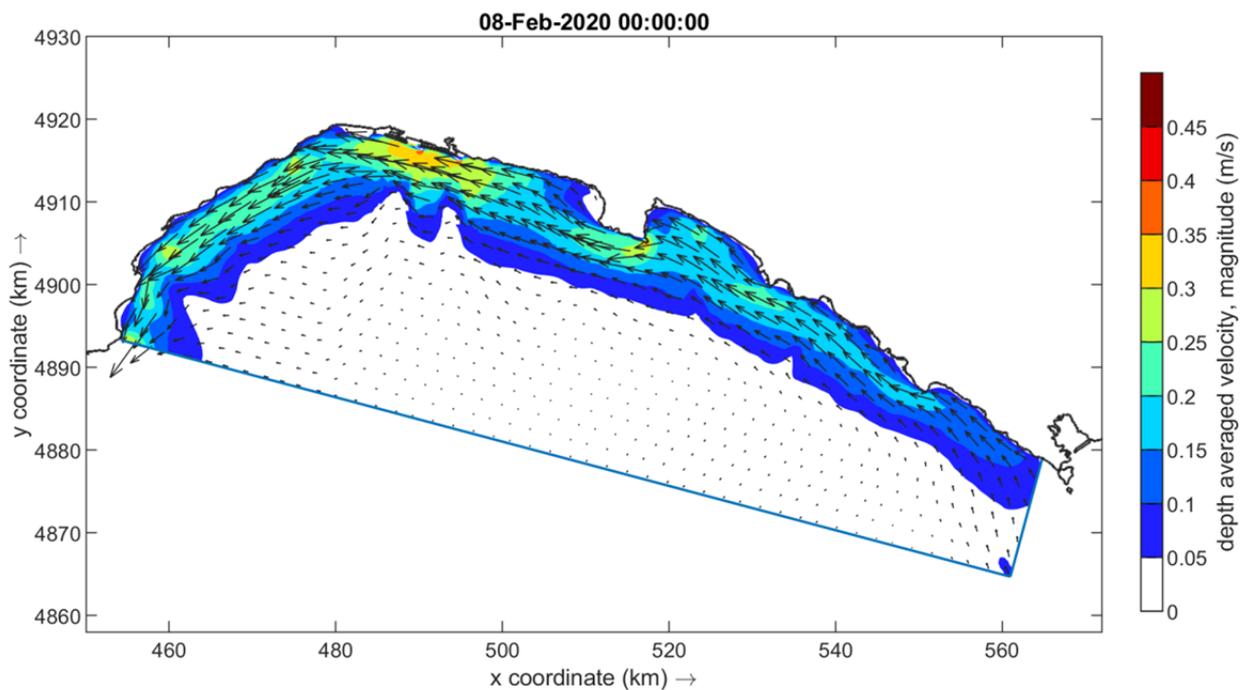


FIGURA 6-2. SCENARIO 2. CAMPO DI VELOCITÀ GENERATO DA UN VENTO UNIFORME DI SCIROCCO (115°N) CON VELOCITÀ DI 12.5 M/S E DURATA 24 ORE.

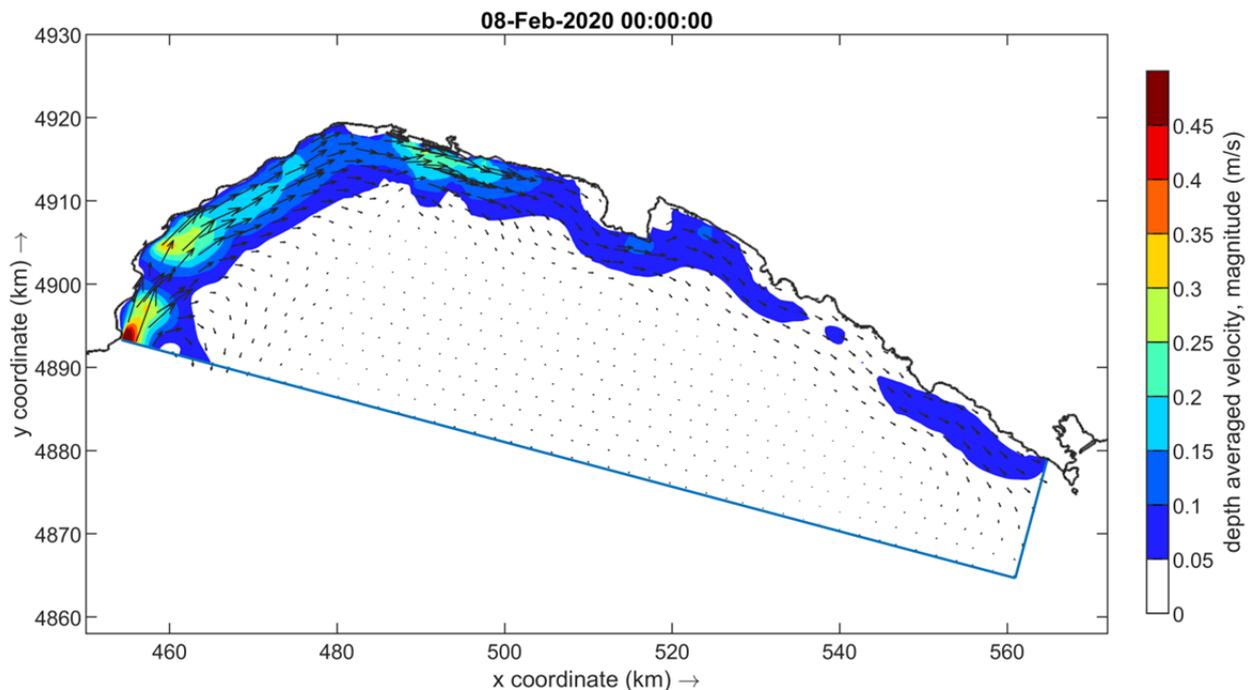


FIGURA 6-3. SCENARIO 3. CAMPO DI VELOCITÀ GENERATO DA UN VENTO UNIFORME DI LIBECCIO/MEZZOGIORNO (230°N) CON VELOCITÀ DI 12.5 M/S E DURATA 24 ORE.

7. ANALISI DELLO STATO ATTUALE

Nel presente capitolo è riportata, al fine di disporre di un termine di confronto, una sintesi dei risultati ottenuti per lo stato attuale a seguito delle simulazioni relative ai diversi scenari meteomarini presi in esame.

Tale aspetto è stato già analizzato in dettaglio nell'ambito degli studi specialistici per la definizione del quadro conoscitivo relativo allo stato attuale. Per ulteriori approfondimenti si rimanda al rapporto *Studio delle condizioni idrodinamiche* (MI046R-PF-D-Z-R-006-00), *Studio dell'agitazione ondosa nell'area portuale – stato di fatto* (MI046R-PF-D-Z-R-007-00) e *Studio di Penetrazione del Moto Ondoso – soluzione selezionate* (MI046R-PF-D-Z-R-014A-00).

Nei paragrafi a seguire sono mostrati i risultati delle simulazioni relative agli scenari meteomarini presi in esame. In Figura 7-1 sono mostrati i punti di osservazione utilizzati per l'estrazione dei risultati.

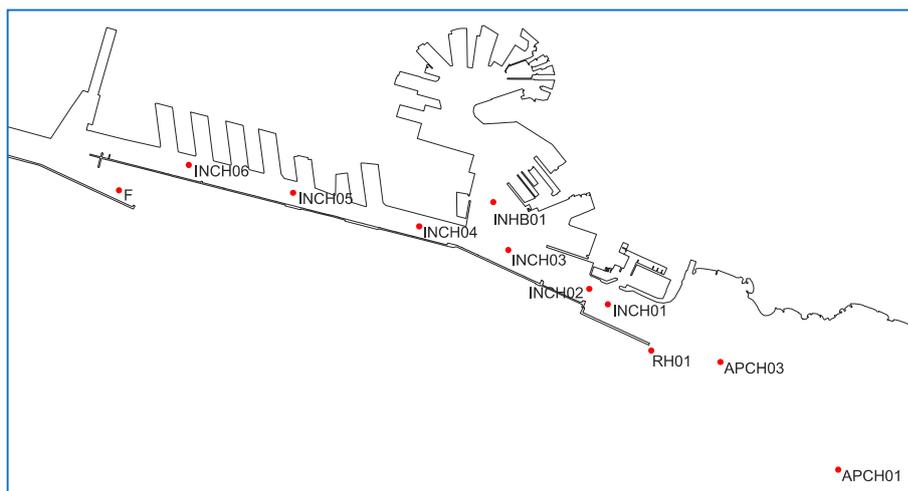


FIGURA 7-1. STATO ATTUALE. LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE PER L'ESTRAZIONE DEI RISULTATI.

7.1. Stato Attuale. Marea astronomica (SCENARIO 1): idrodinamica

In Figura 7-2 è mostrato il confronto tra la marea astronomica prevista per la stazione di Genova tra il giorno 6 e il giorno 9 del mese di Febbraio 2020 e il livello di marea ottenuto nel punto INHB01 interno al porto di Genova. I risultati mostrano un buon adattamento con la previsione di marea relativa alla stazione mareografica di Genova.

Nei diagrammi di Figura 7-3 è riportato il dettaglio del campo di velocità durante le fasi di flusso, stanca (massimo giornaliero) e successivo riflusso di marea. I valori assoluti della velocità della corrente ottenuta nei punti di osservazione APCH01 e APCH03, posizionati lungo il canale di accesso al porto, sono presentati in Figura 7-4.

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

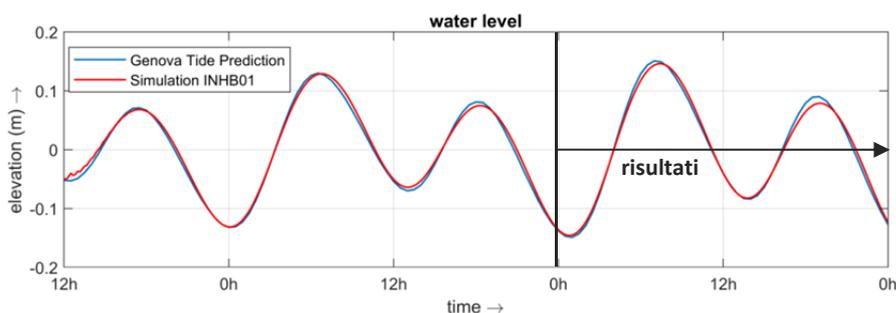


FIGURA 7-2. STATO ATTUALE - SCENARIO 1. CONFRONTO TRA IL LIVELLO OSSERVATO NEL PUNTO DI CONTROLLO INHB01 E LA PREVISIONE DI MAREA FORNITA PER LA STAZIONE MAREOGRAFICA DI GENOVA.

In Figura 7-5 sono mostrati i valori di velocità ottenuti all'interno del Porto di Genova, nei punti di osservazione posizionati lungo il canale interno INCH01, INCH02 e INCH03 e nel bacino di Sampierdarena, INCH04, INCH05 e INCH06.

Durante le fasi di flusso e riflusso in corrispondenza dell'imboccature portuali si hanno i valori più elevati di velocità che risultano comunque dell'ordine di 0.012 m/s (1.2 cm/s).

Sulla base di tali risultati è possibile concludere che le correnti generate dalla sola marea astronomica in prossimità del porto sono molto modeste e pertanto risultano di scarsa importanza ai fini della navigazione.

7.2. Stato Attuale. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica

Lo Scenario 2, oltre alla forzante di marea astronomica, ha come forzante un vento da Scirocco, uniforme su tutto il dominio, di intensità pari a 12.5 m/s e durata pari a 24 ore.

Il campo di velocità ottenuto è mostrato nei diagrammi di Figura 7-8 e Figura 7-7. Il primo diagramma riporta i valori di velocità, integrati sulla verticale, ottenuti al termine della finestra temporale di simulazione. Nel secondo diagramma sono presentati i valori di velocità ottenuti nello strato più superficiale.

I valori assoluti della velocità della corrente ottenuti nei punti di osservazione lungo l'attuale rotta di accesso e all'interno del bacino di Sampierdarena sono mostrati in Figura 7-6.

I profili verticali di velocità ottenuti nei punti di osservazione posizionati lungo la rotta di accesso al porto (bocca di levante) e all'interno del porto sono presentati in Figura 7-9.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

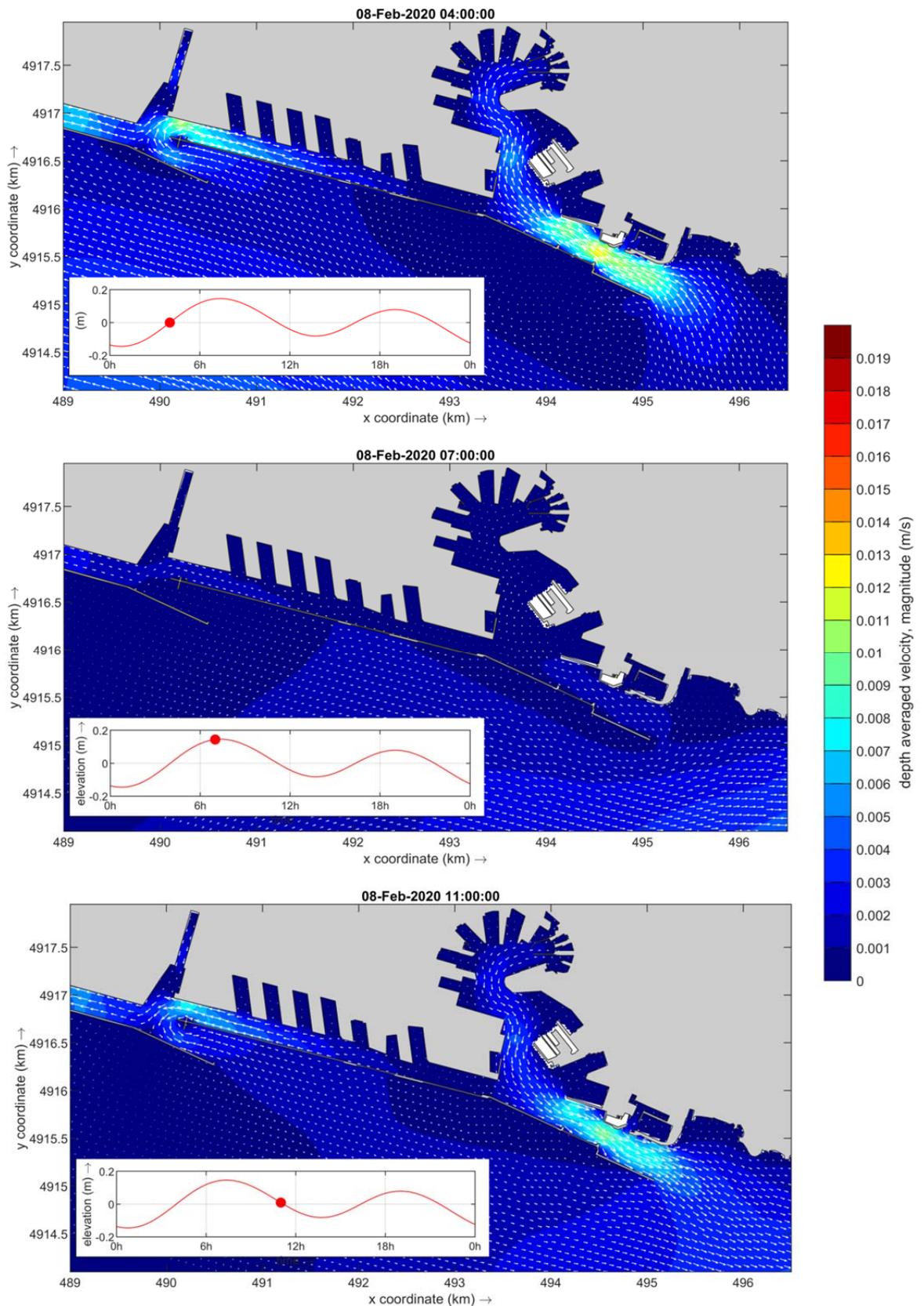


FIGURA 7-3. STATO ATTUALE - SCENARIO 1. CAMPO DI VELOCITÀ GENERATO DALLA MAREA ASTRONOMICA ALLE ORE 4:00 (FLUSSO), 7:00 (ALTA MAREA), 11:00 (RIFLUSSO).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

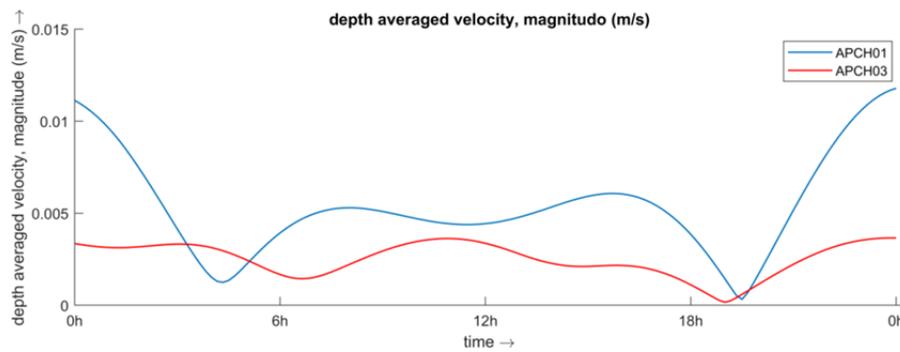


FIGURA 7-4. STATO ATTUALE - SCENARIO 1. VALORE ASSOLUTO DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE NEI PUNTI DI CONTROLLO POSIZIONATI LUNGO IL CANALE DI ACCESSO (APPROACH CHANNEL)

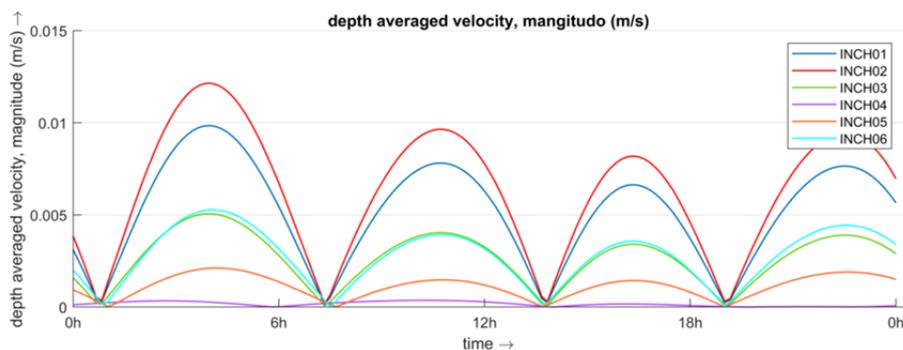


FIGURA 7-5. STATO ATTUALE - SCENARIO 1. VALORE ASSOLUTO DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE NEI PUNTI DI CONTROLLO POSIZIONATI LUNGO IL CANALE INTERNO (INCH01, INCH02, INCH03) E NEL BACINO DI SAMPIERDARENA (INCH04, INCH05, INCH06).

I risultati mostrano che dopo circa 12 ore, con un velocità del vento costante di 12.5 m/s, si raggiunge una condizione quasi stazionaria.

La circolazione indotta da Scirocco rappresenta la condizione più significativa per la navigabilità. Lungo la rotta di accesso al porto il flusso presenta traiettorie pressoché rettilinee e parallele alla costa, con valori di velocità mediata sulla verticale compresi tra 0.25 e 0.30 m/s.

Il flusso trova una maggiore resistenza attraverso l'imboccatura portuale e non riesce ad entrare direttamente nel porto. La corrente di conseguenza aggira la testata della diga foranea, in corrispondenza della quale si verifica una concentrazione delle linee di flusso con velocità di 0.40 m/s.

All'interno del porto il vento di Scirocco contribuisce a generare una corrente che scorre all'interno del Bacino Sampierdarena, dove si raggiungono velocità comprese tra 0.10 e 0.18 m/s, che confluisce, incrementandosi, nel canale di calma dell'aeroporto, dove si ottengono velocità comprese tra 0.30 e 0.35 m/s.

In superficie si osservano valori di velocità più elevati.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

All'esterno del porto le velocità mediate sulla verticale risultano: $0.25 < v_m < 0.30$ m/s, in superficie presentano un aumento del 30%-40% con valori: $0.35 < v_s < 0.40$ m/s.

All'interno del porto le velocità medie risultano $0.10 < v_m < 0.18$ m/s, in superficie presentano un incremento maggiore, dell'ordine del 40%-50%: $0.15 < v_s < 0.25$ m/s.

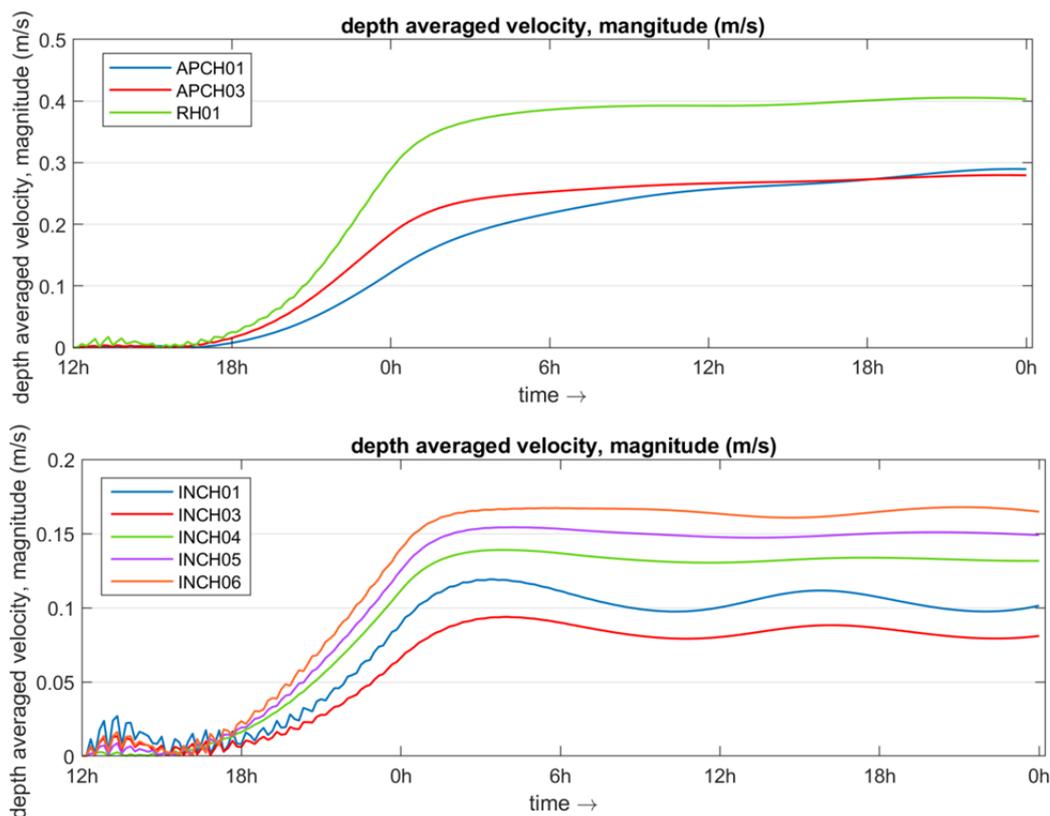


FIGURA 7-6. STATO ATTUALE - SCENARIO 2. VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO). IN ALTO: PUNTI DI OSSERVAZIONE POSIZIONATI LUNGO IL CANALE DI ACCESSO (APPROACH CHANNEL 01 E 03) E IN CORRISPONDENZA DELLA TESTATA DELLA DIGA FORANEA (RH01). IN BASSO: CANALE INTERNO (INCH01, INCH03) E BACINO DI SAMPIERDARENA (INCH04, INCH05, INCH06).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

EI. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

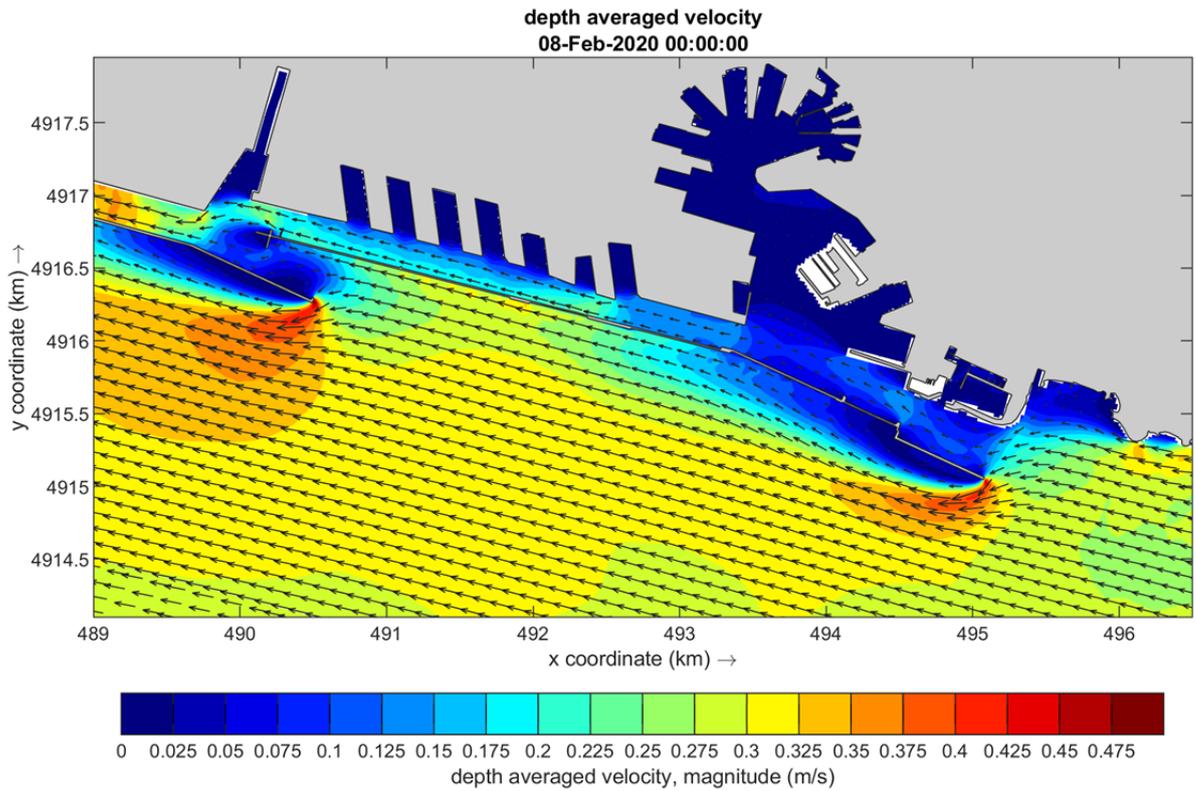


FIGURA 7-7. STATO ATTUALE - SCENARIO 2. CAMPO DI VELOCITÀ MEDIATO SULLA VERTICALE OTTENUTO PER LE ORE 24:00.

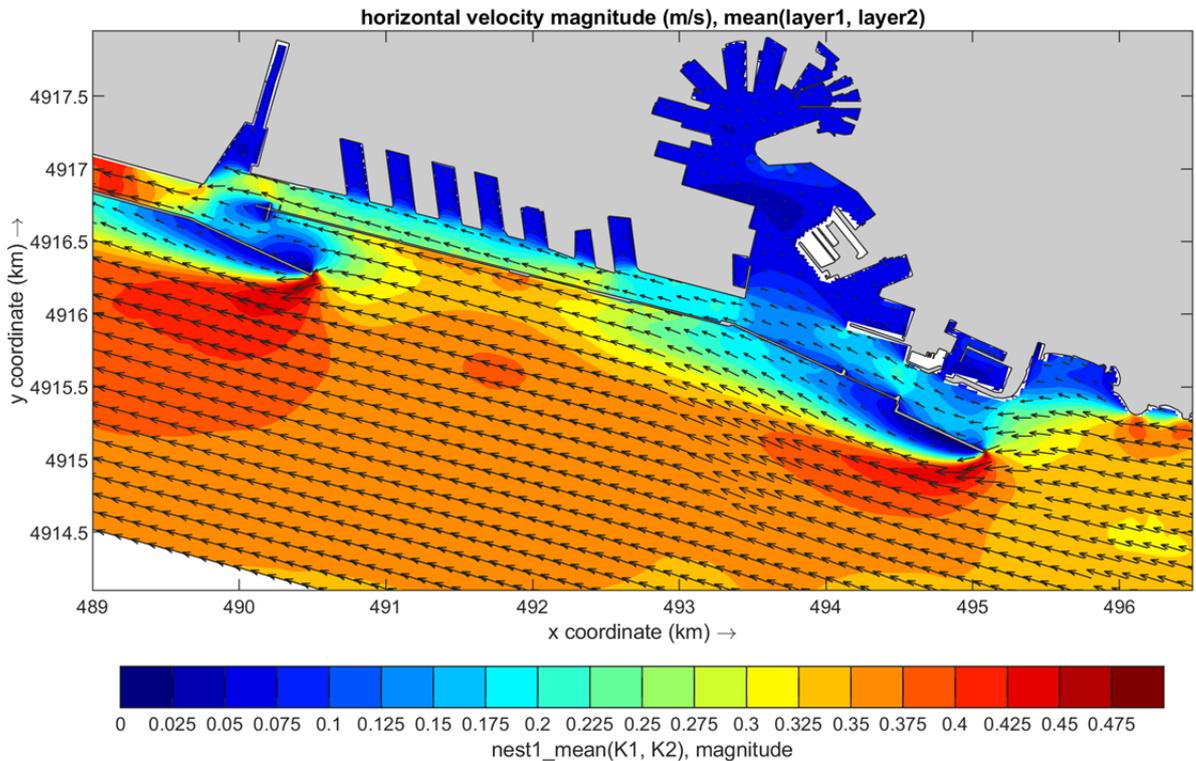


FIGURA 7-8. STATO ATTUALE - SCENARIO 2. CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI OTTENUTO PER LE ORE 24:00

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

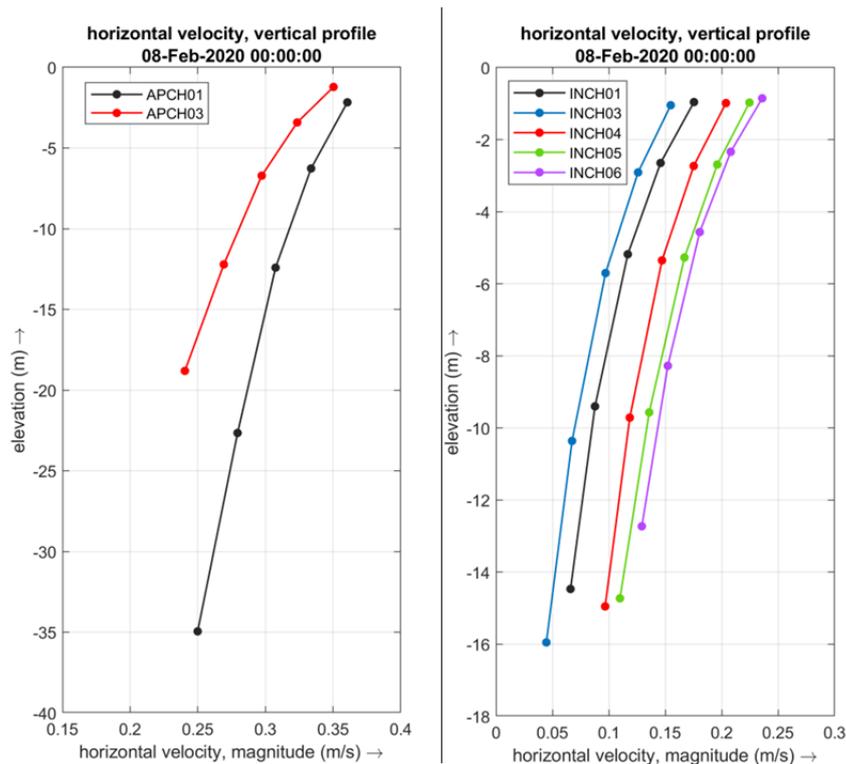


FIGURA 7-9. STATO ATTUALE - SCENARIO 2. PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE LUNGO LA ROTTA DI ACCESSO (APPROACH CHANNEL 01 E 03) E NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSIZIONATI LUNGO IL CANALE INTERNO (INCH01, INCH03) E NEL BACINO DI SAMPIERDARENA (INCH04, INCH05, INCH06).

7.3. Stato Attuale. Scirocco (SCENARIO 2): Moto ondoso

In Figura 7-10 è mostrato il campo di moto ondoso ottenuto a seguito della simulazione dello stato di mare proveniente da Scirocco (135°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 1.5\text{ m}$ e periodo $T_p = 6.3\text{ s}$.

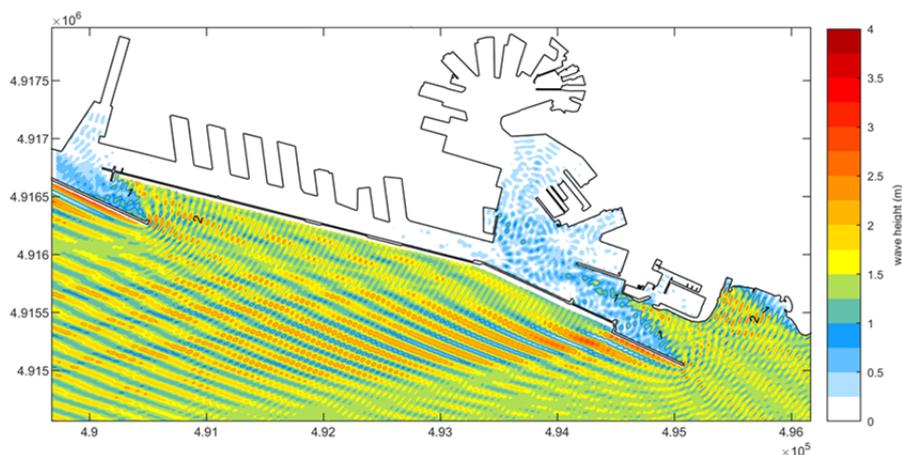


FIGURA 7-10. CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER L'EVENTO DI MOTO ONDOSO $H_s=1.5\text{ m}$, $T_p=6.3\text{ s}$, DIR.= 135°N

7.4. Stato Attuale. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): idrodinamica

Nel presente paragrafo sono mostrati i risultati della simulazione relativa allo SCENARIO 3, caratterizzato dalla presenza di un vento uniforme proveniente da Libeccio/Mezzogiorno di intensità pari a 12.5 m/s e durata 24 ore.

In Figura 7-12 è mostrato il campo di velocità integrato sulla verticale ottenuto in prossimità del Porto di Genova. In Figura 7-13 è rappresentato il campo di velocità ottenuto per lo strato più superficiale.

I valori assoluti della velocità della corrente nei punti di osservazione posizionati lungo la rotta attuale di accesso al porto e all'interno del porto, sono mostrati in Figura 7-11.

In Figura 7-14 sono mostrati i profili verticali delle velocità ottenute nei punti di osservazione posizionati lungo la rotta di accesso al porto e all'interno del porto.

Lo scenario di Libeccio/Mezzogiorno ha fornito valori di velocità inferiori rispetto allo scenario di Scirocco e pertanto si può ritenere che le correnti generate abbiano una minore influenza sulla navigabilità.

In prossimità del porto di Genova il campo di velocità si presenta parallelo alla costa. All'esterno della diga foranea del bacino Sampierdarena si osservano i valori massimi di velocità, compresi tra 0.20 e 0.30 m/s. In prossimità dell'imboccatura di levante la velocità della corrente ottenuta si assesta su valori compresi tra 0.25 m/s 0.30 m/s.

All'interno del bacino di Sampierdarena si genera una debole corrente che presenta valori massimi di velocità compresi tra 0.05 e 0.15 m/s.

In superficie si osservano valori di velocità più elevati.

All'esterno del porto le velocità mediate sulla verticale risultano: $0.20 < v_m < 0.30$ m/s, in superficie presentano un aumento del 15%-30% con valori: $0.30 < v_s < 0.35$ m/s.

All'interno del porto le velocità medie risultano $0.07 < v_m < 0.15$ m/s, in superficie presentano un incremento maggiore, dell'ordine del 50%-80%: $0.12 < v_s < 0.20$ m/s.

**Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

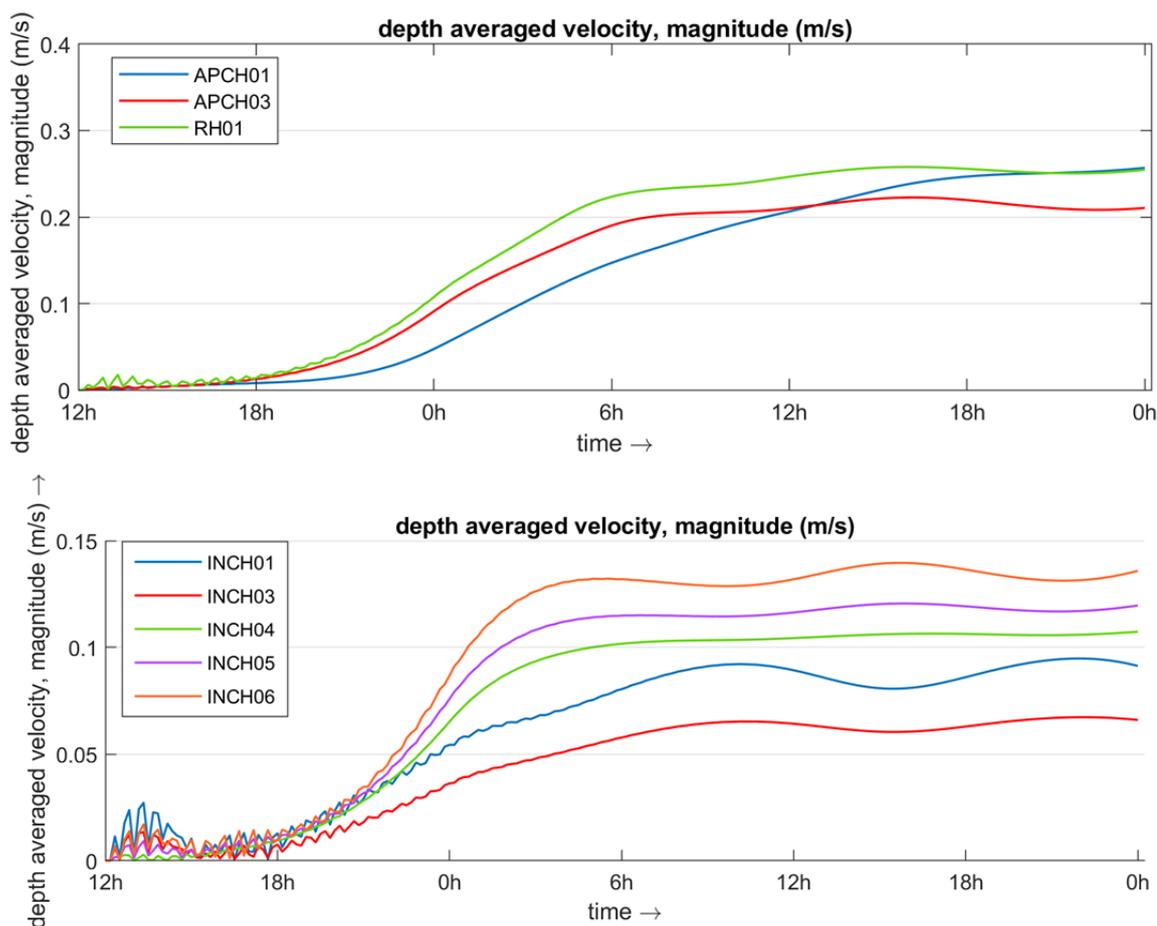


FIGURA 7-11. STATO ATTUALE - SCENARIO 3. VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO). IN ALTO: PUNTI DI OSSERVAZIONE POSIZIONATI LUNGO IL CANALE DI ACCESSO (APPROACH CHANNEL 01 E 03) E IN CORRISPONDENZA DELLA TESTATA DELLA DIGA FORANEA (RH01). IN BASSO PUNTI DI OSSERVAZIONE POSIZIONATI LUNGO IL CANALE INTERNO (INCH01, INCH03) E NEL BACINO DI SAMPIERDARENA (INCH04, INCH05, INCH06).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

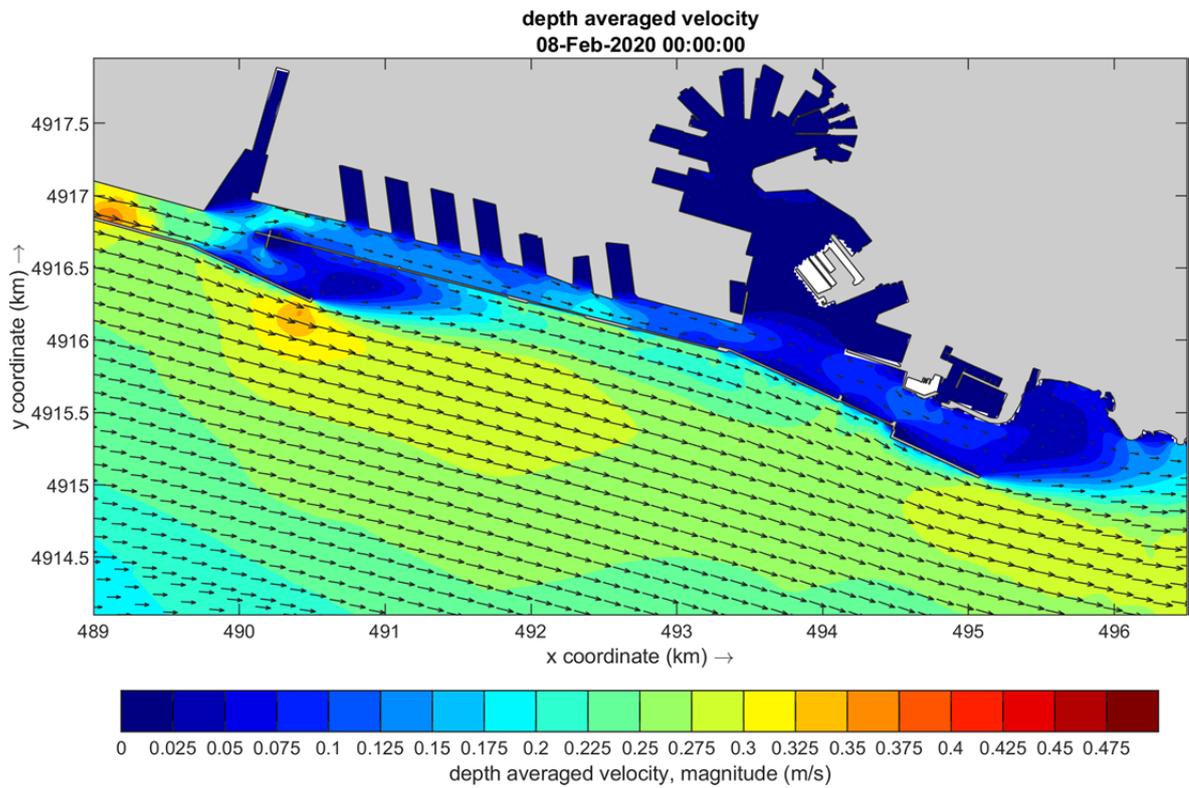


FIGURA 7-12. STATO ATTUALE - SCENARIO 3. CAMPO DI VELOCITÀ MEDIATO SULLA VERTICALE OTTENUTO PER LE ORE 24:00.

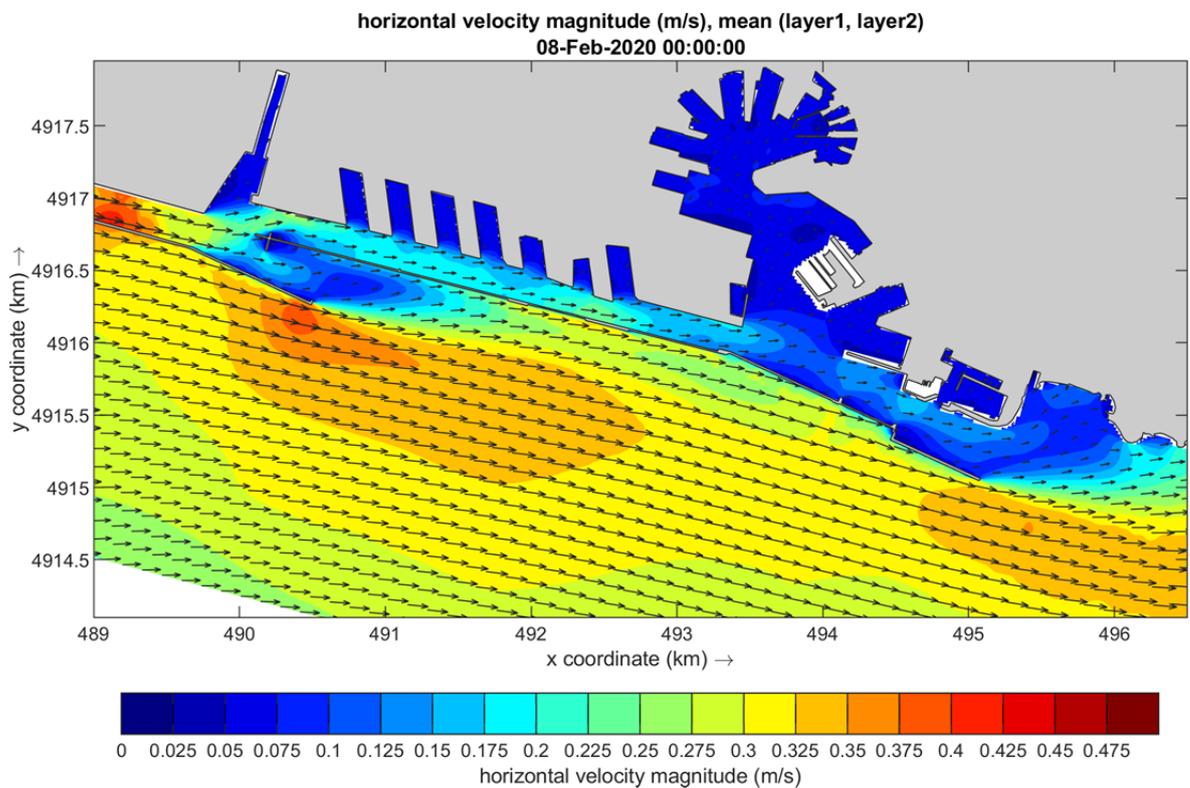


FIGURA 7-13. STATO ATTUALE - SCENARIO 3. CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI PERLE ORE 24:00.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

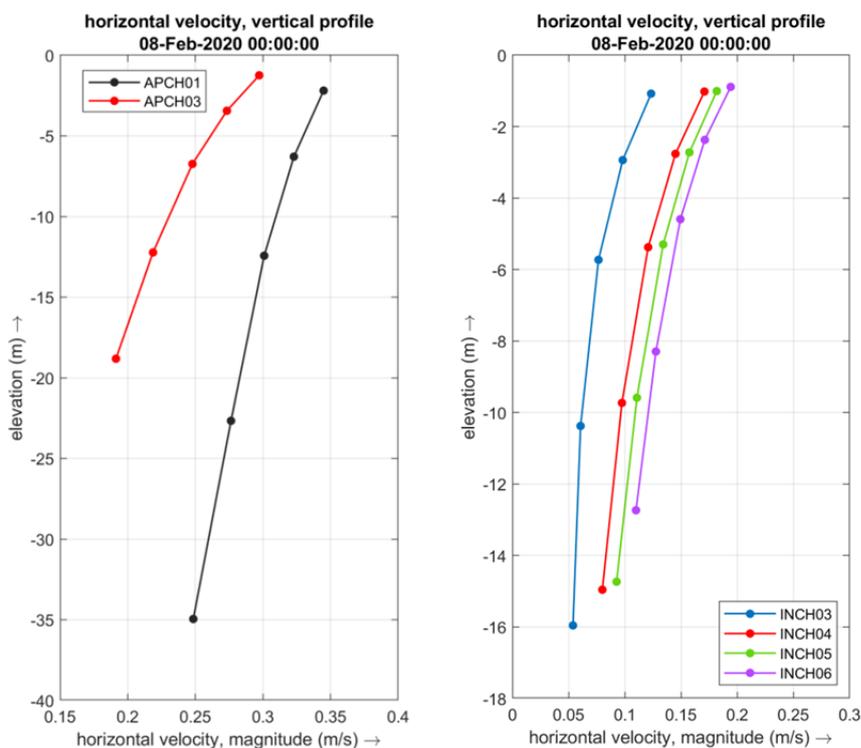


FIGURA 7-14. STATO ATTUALE - SCENARIO 3. PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE LUNGO LA ROTTA DI ACCESSO (APPROACH CHANNEL 01 E 03) E NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSIZIONATI LUNGO IL CANALE INTERNO (INCH01, INCH03) E NEL BACINO DI SAMPIERDARENA (INCH04, INCH05, INCH06).

7.5. Stato Attuale. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): moto ondoso

In Figura 7-15 è mostrato il campo di moto ondoso ottenuto per lo stato attuale a seguito della simulazione dello stato di mare proveniente da Libeccio (210°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 2.5$ m e periodo $T_p = 9.1$ s.

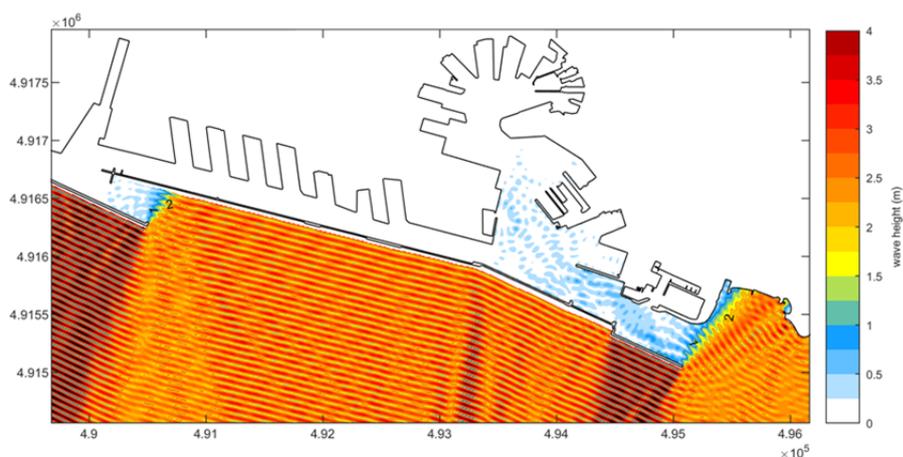


FIGURA 7-15. CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER L'EVENTO DI MOTO ONDOSO $H_s = 2.5$ M, $T_p = 9.1$ S, DIR = 210°N .

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

8. ANALISI DELLA SOLUZIONE S2 MODIFICATA

Si riportano nel presente capitolo i risultati delle analisi condotte per valutare le condizioni idrodinamiche e di moto ondoso associate alle condizioni meteomarine di riferimento per le esecuzioni delle simulazioni di manovra con il simulatore in “real time” per la soluzione selezionata S2.

Lo schema planimetrico della Soluzione S2 (modificata) è mostrato in Figura 8-1 dove sono evidenziate le due fasi realizzative per la Nuova Diga del porto di Genova.

In figura sono inoltre indicati i punti di osservazione per i risultati delle simulazioni idrodinamiche.

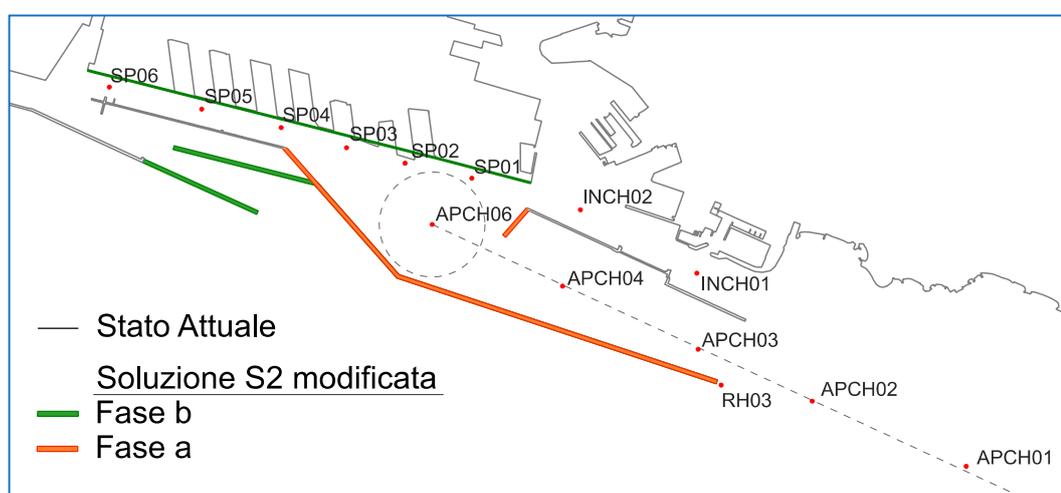


FIGURA 8-1. SCHEMA PLANIMETRICO DELLA SOLUZIONE S2 MODIFICATA (FASE A E FASE B) CON INDICAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE PER L'ESTRAZIONE DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRODINAMICHE.

I diagrammi riportati nei paragrafi a seguire mostrano, per la fase a) e la fase b) della soluzione S2 modificata:

- i) il campo di velocità superficiale, mediato sui primi due strati del modello tridimensionale (Scirocco: Figura 8-2 e Figura 8-3, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 8-10 e Figura 8-11);
- ii) i valori di velocità (in valore assoluto) integrati sulla verticale nei punti di osservazione (Scirocco: Figura 8-4, Figura 8-5 e Figura 8-6, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 8-12, Figura 8-13 e Figura 8-14);
- iii) i profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione (Scirocco: Figura 8-7, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 8-15);
- iv) il campo di altezza d'onda e la direzione per gli stati di moto ondoso simulati (Scirocco: Figura 8-8 e Figura 8-9, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 8-16 e Figura 8-17).

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

8.1. Soluzione S2. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica

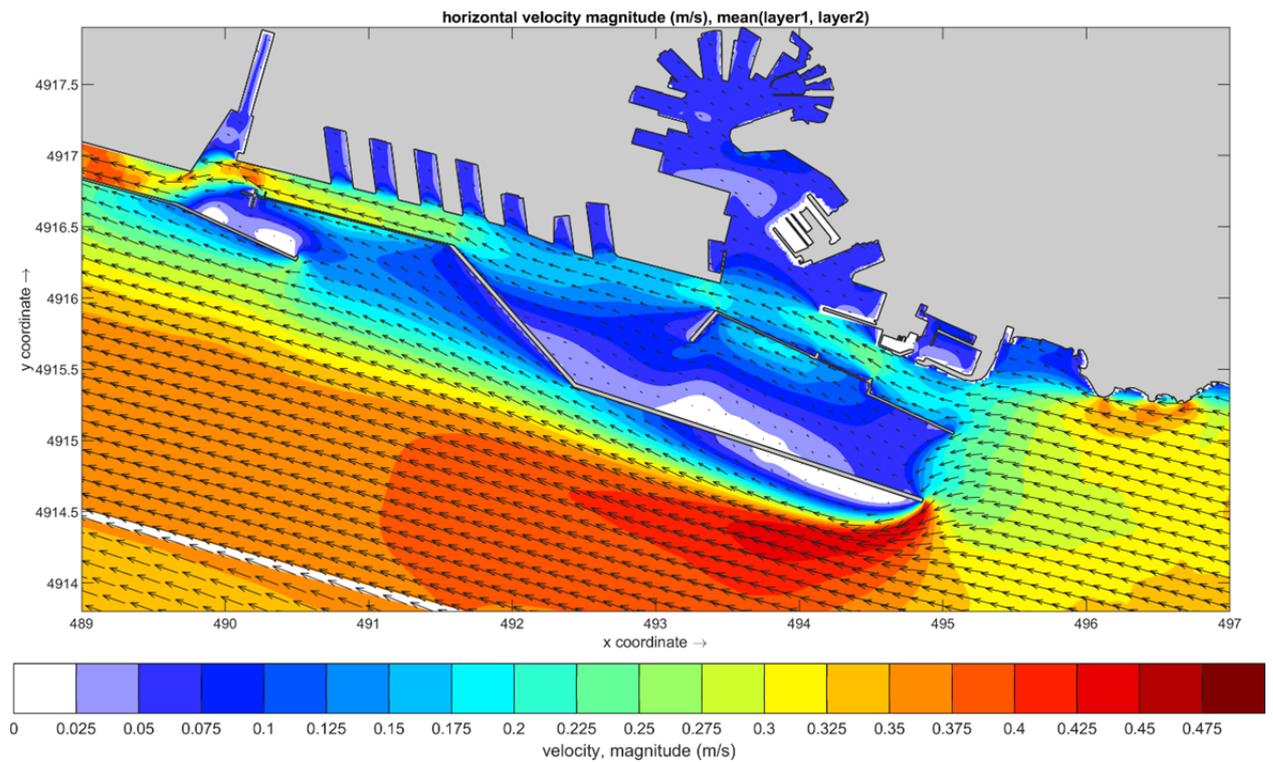


FIGURA 8-2. SOLUZIONE S2.A.MOD. SCENARIO 2 – VENTO DI SCIROCCO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

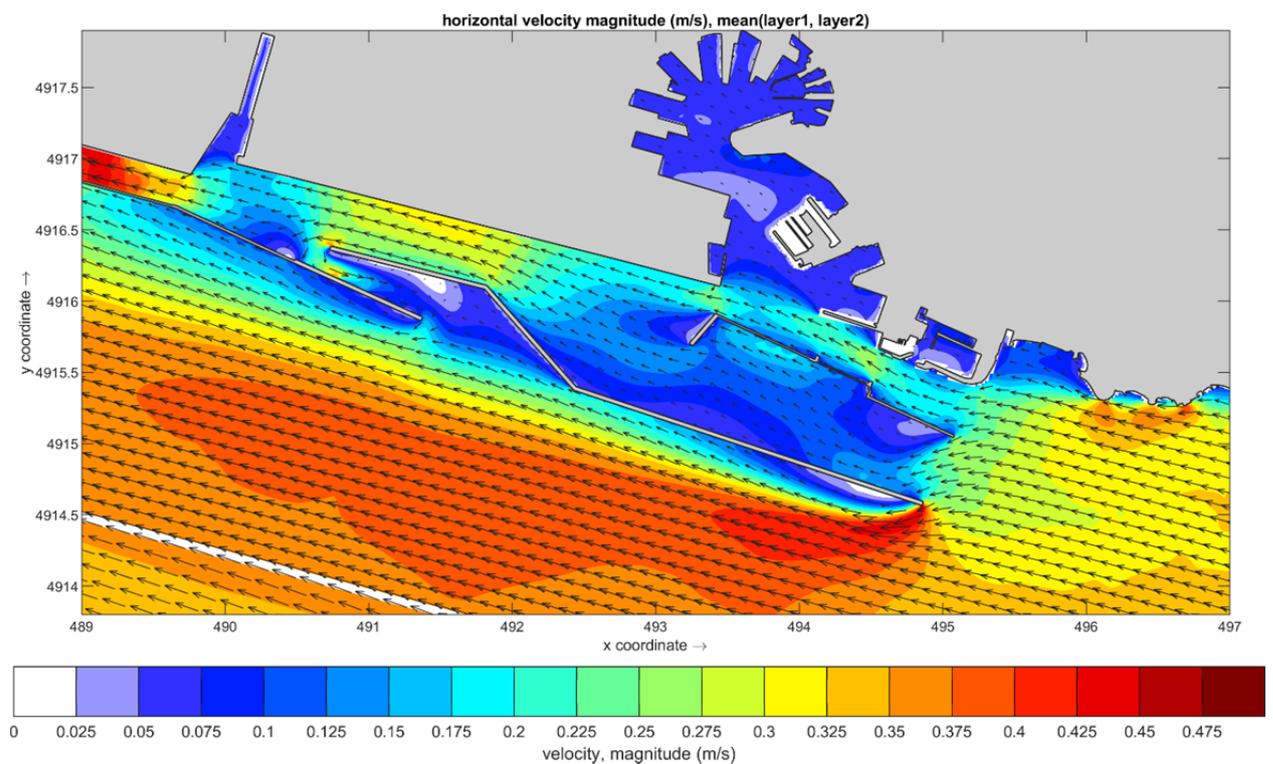


FIGURA 8-3. SOLUZIONE S2.B.MOD. SCENARIO 2 – VENTO DI SCIROCCO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

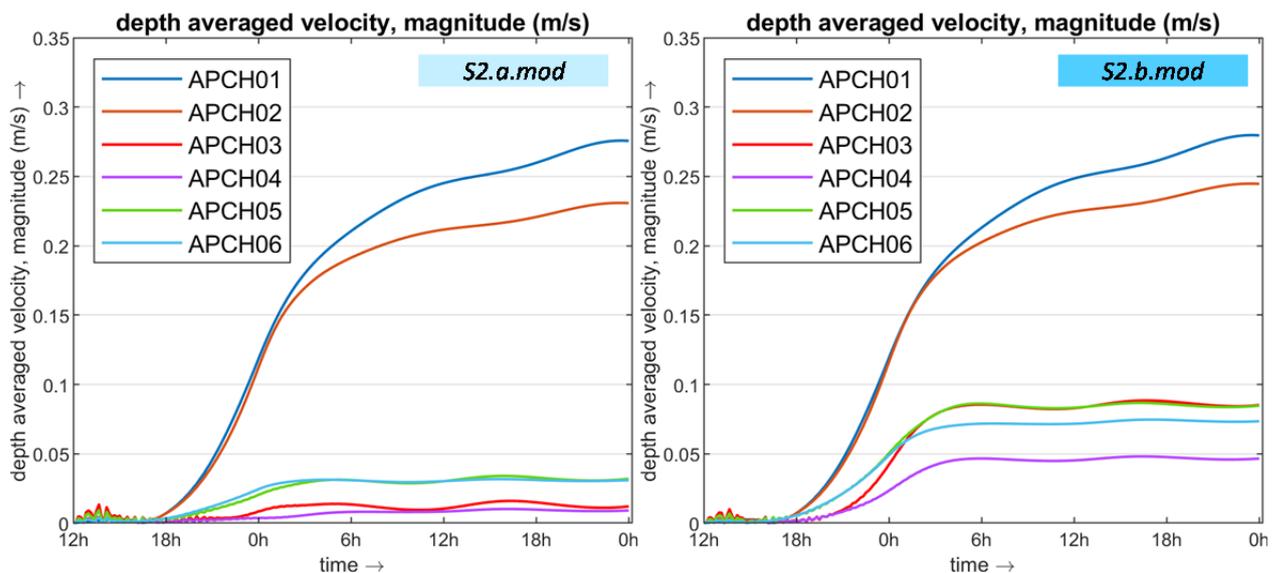


FIGURA 8-4. SOLUZIONE S2 MODIFICATA. SCENARIO 2 – VENTO DI SCIROCCO. VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSIZIONATI LUNGO LA ROTTA DI ACCESSO. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

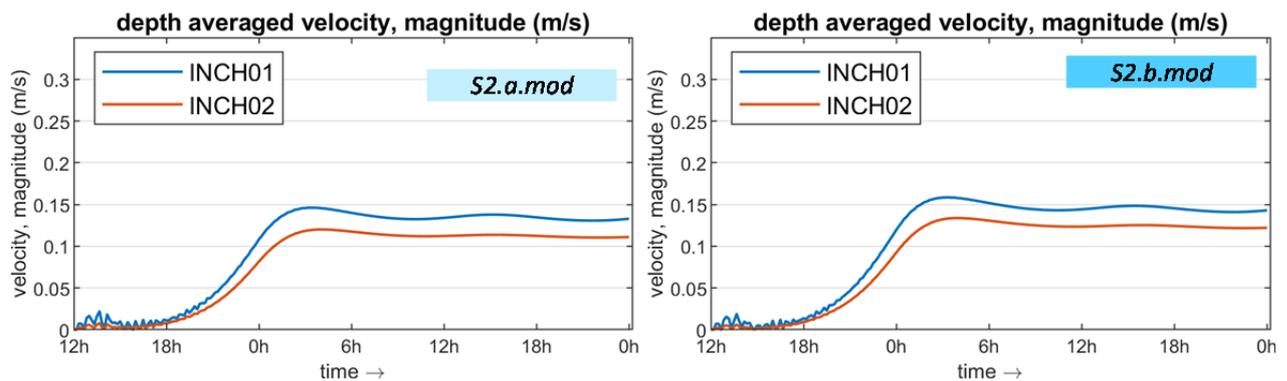


FIGURA 8-5. SOLUZIONE S2 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO. VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN CORRISPONDENZA DELLA BOCCA DI LEVANTE E ALL'INTERNO DEL BACINO DELLE GRAZIE. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

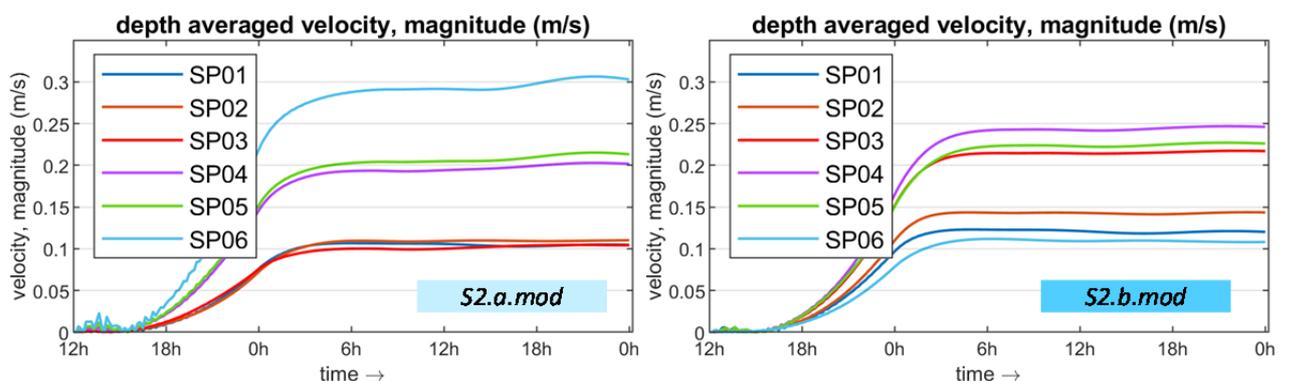


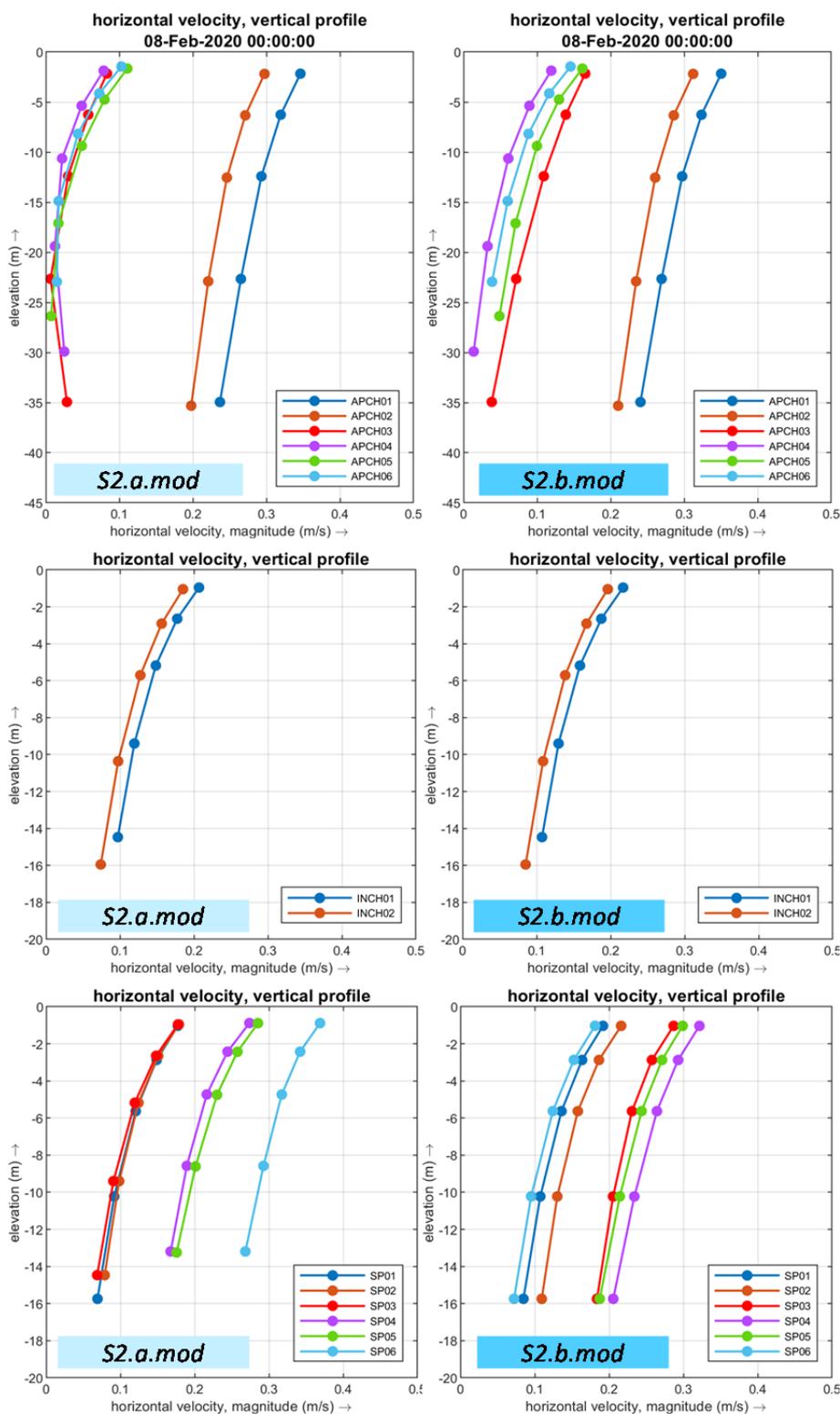
FIGURA 8-6. SOLUZIONE S2 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO. VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE ALL'INTERNO DEL BACINO DI SAMPIERDARENA. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00



**FIGURA 8-7. SOLUZIONE S2 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
 PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE.
 AL CENTRO: BOCCA DI LEVANTE BACINO DELLE GRAZIE (INNER CHANNEL 01, 02)
 IN BASSO: BACINO DI SAMPIERDARENA (01, 02, 03, 04, 05, 06).
 FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).**

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00 Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

8.2. Soluzione S2. Scirocco (SCENARIO 2): moto ondoso

In Figura 8-8 e Figura 8-9 sono mostrati i campi di moto ondoso ottenuti per lo stato di mare proveniente da Scirocco (135°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 1.5$ m e periodo $T_p = 6.3$ s per la soluzione S2 modificata in fase a) e in fase b).

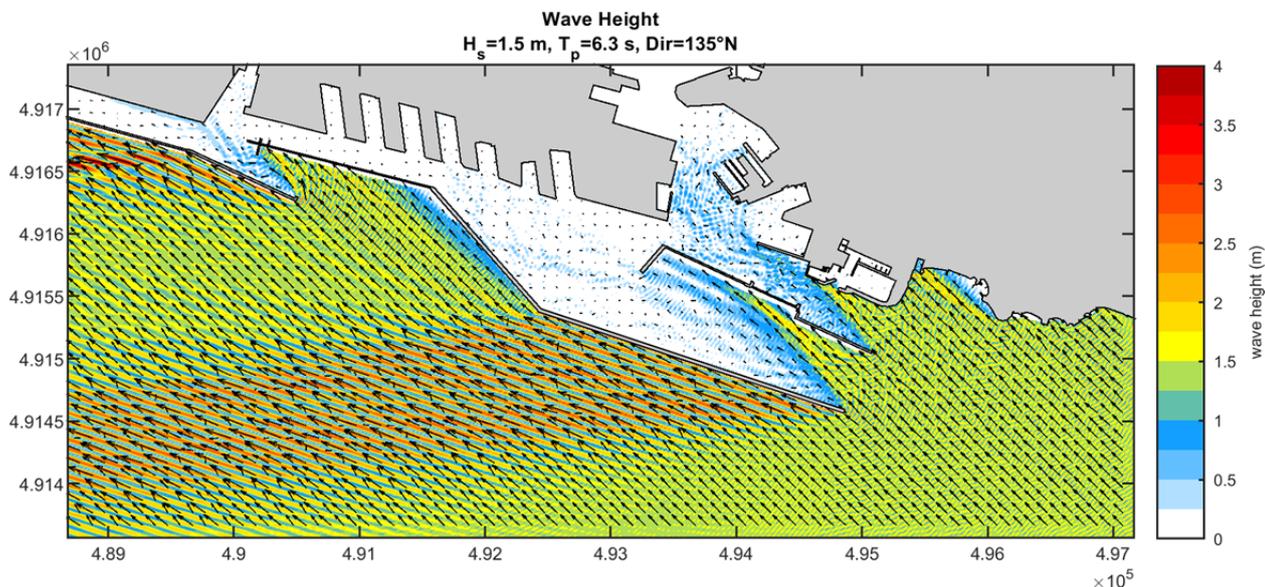


FIGURA 8-8. SOLUZIONE S2.A.MOD - SCENARIO 2. SCIROCCO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 1.5$ M, $T_p = 6.3$, DIR 135°N

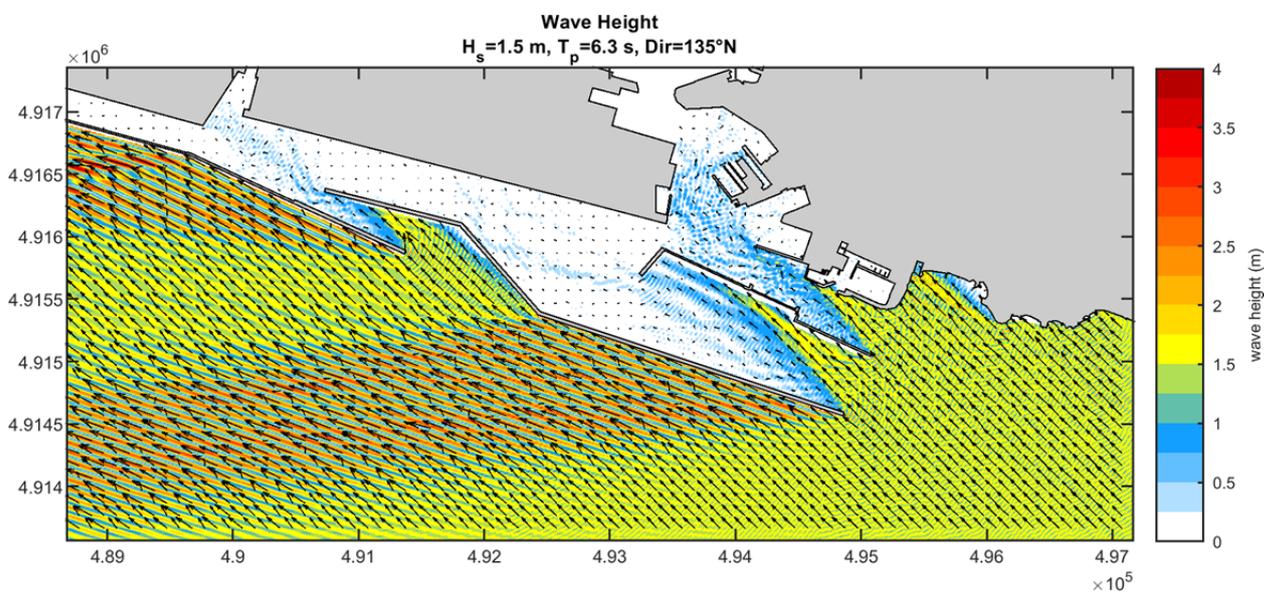


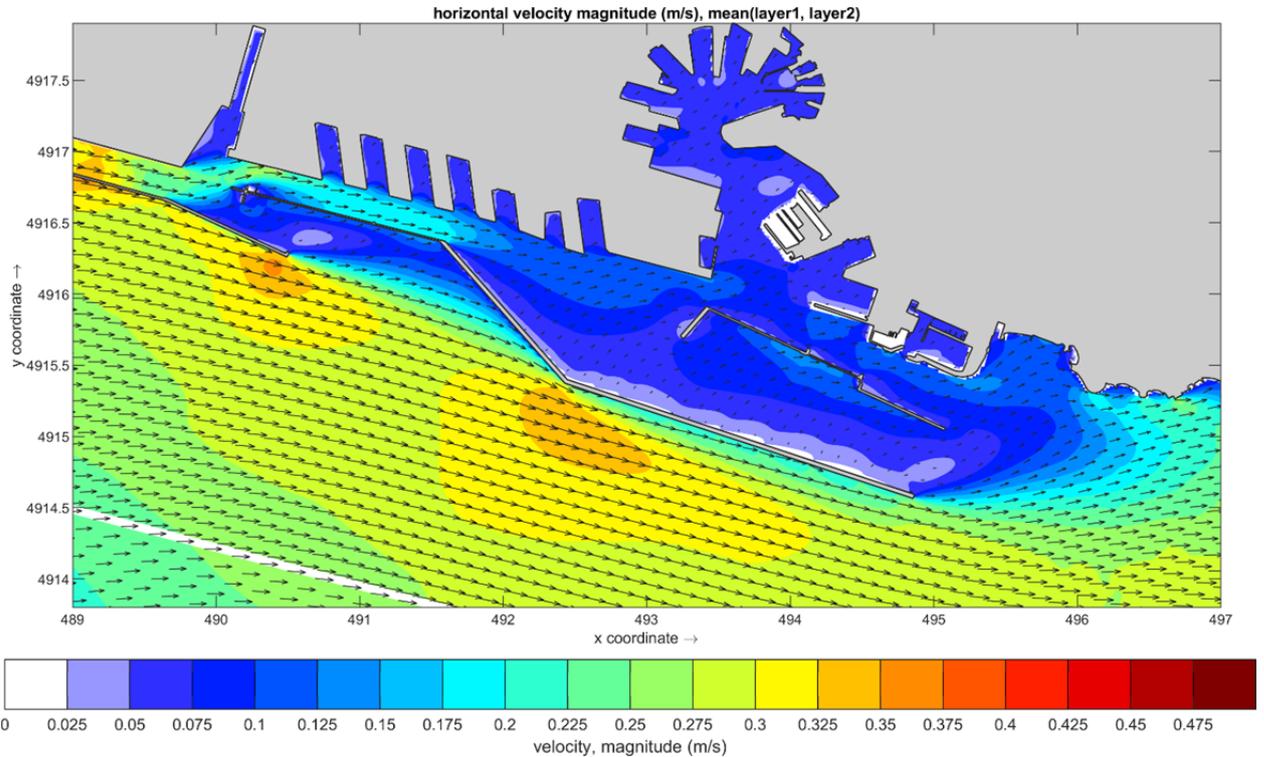
FIGURA 8-9. SOLUZIONE S2.B.MOD - SCENARIO 2. SCIROCCO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 1.5$ M, $T_p = 6.3$, DIR 135°N

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

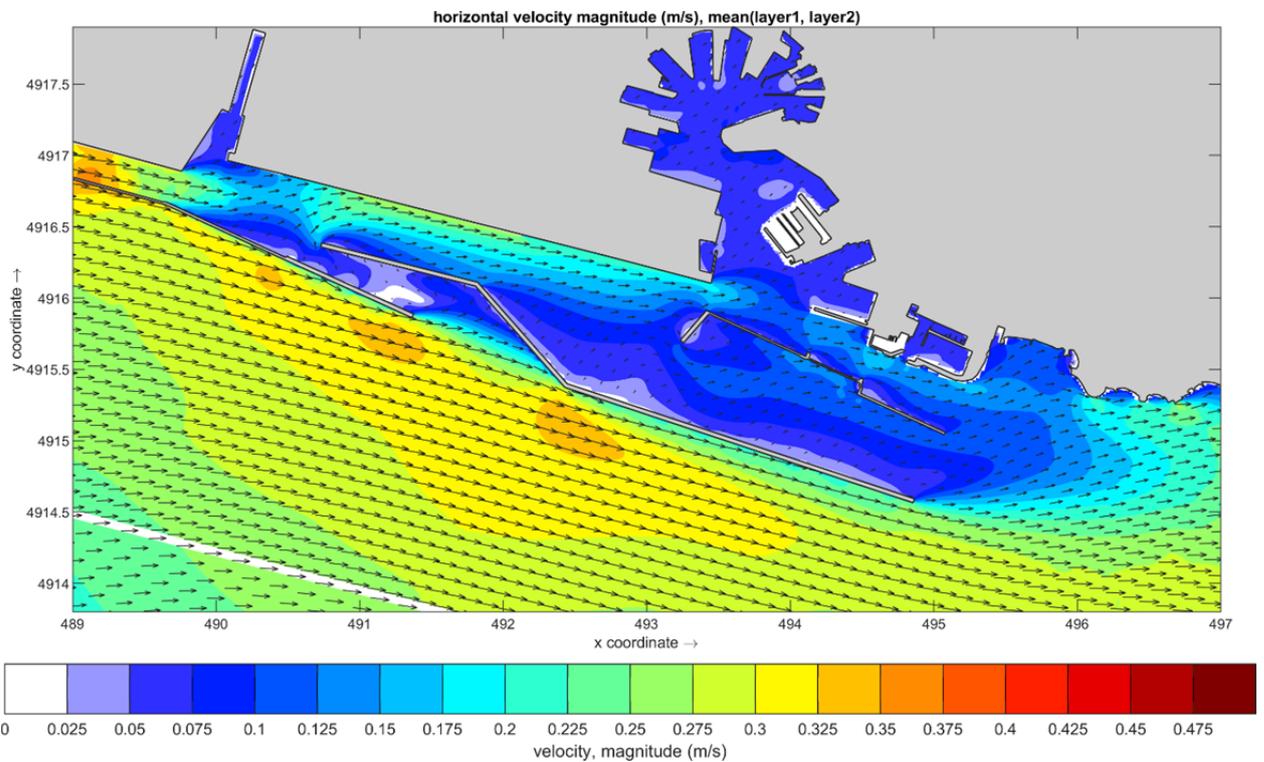
Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

8.3. Soluzione S2. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): idrodinamica

**Figura 8-10. Soluzione S2.a.mod - Scenario 3 – vento di Libeccio.
Campo di velocità superficiale mediato sui primi due strati.**



**FIGURA 8-11. SOLUZIONE S2.B.MOD - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.**

Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

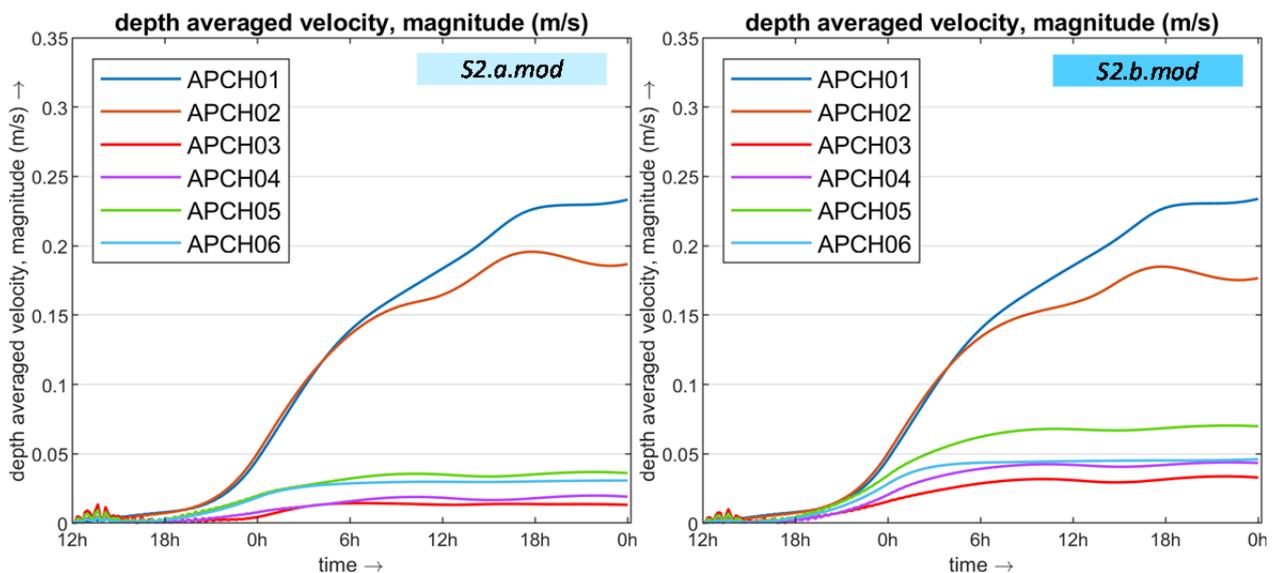


FIGURA 8-12. SOLUZIONE S2 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE
POSIZIONATI LUNGO LA ROTTA DI ACCESSO. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

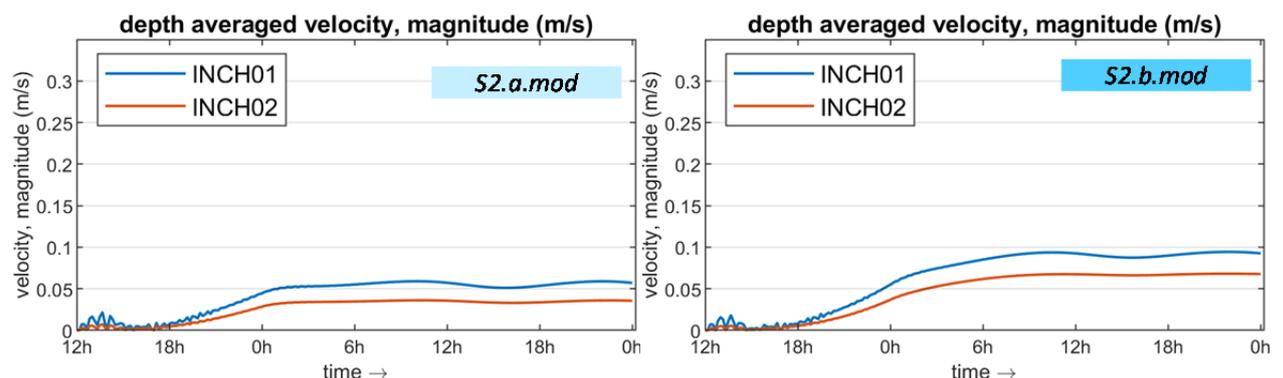


FIGURA 8-13. SOLUZIONE S2 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN
CORRISPONDENZA DELLA BOCCA DI LEVANTE E ALL'INTERNO DEL BACINO DELLE GRAZIE.
FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

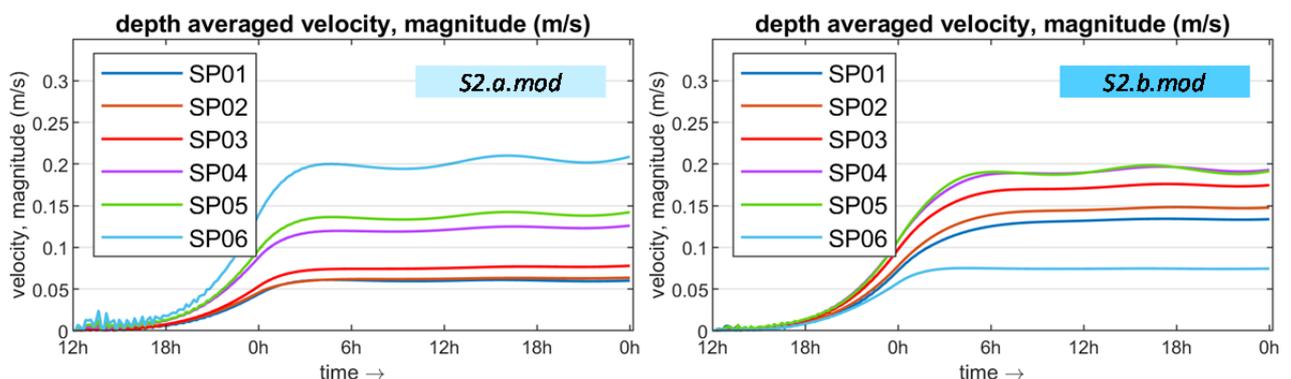


FIGURA 8-14. SOLUZIONE S2 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE
ALL'INTERNO DEL BACINO DI SAMPIERDARENA. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

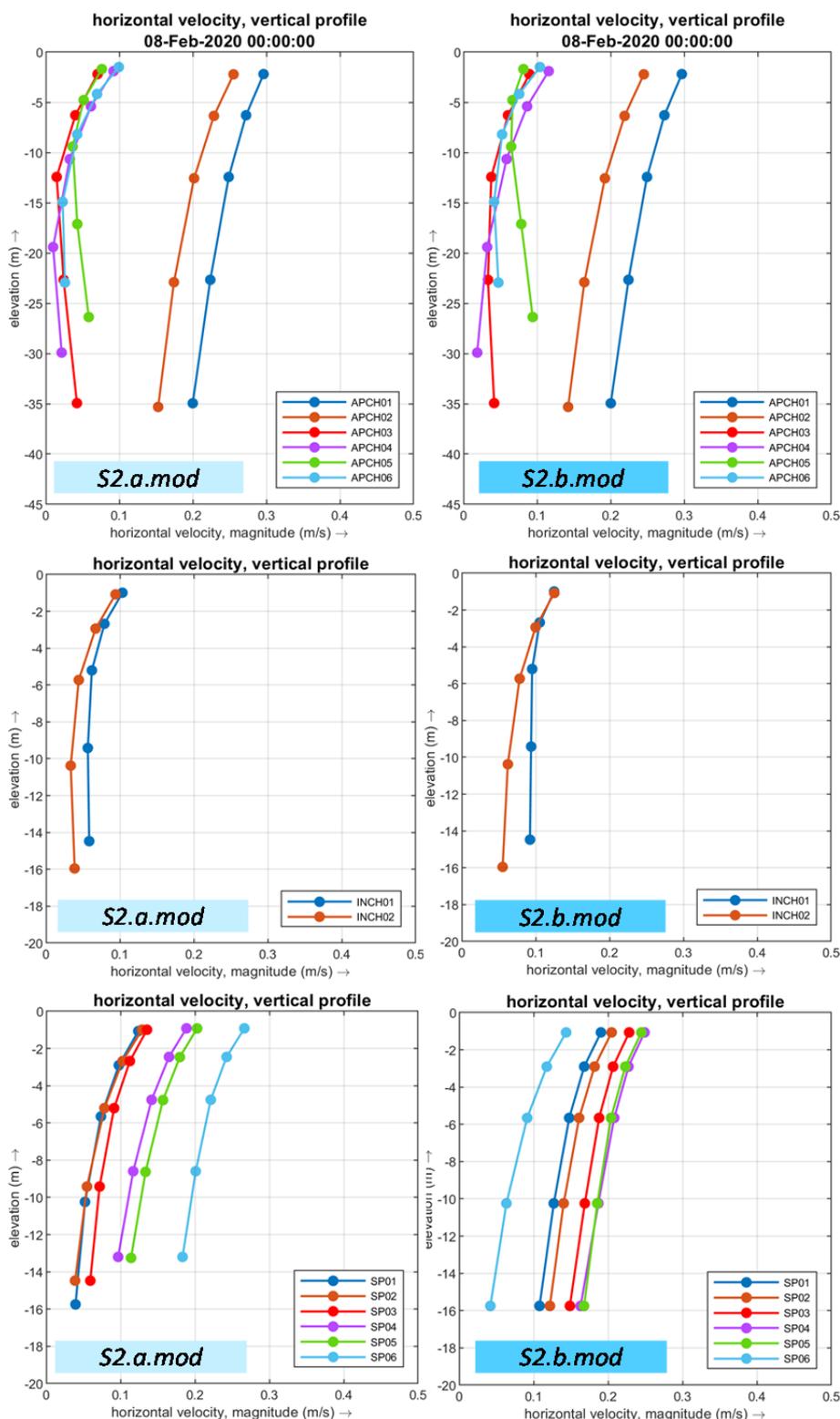


FIGURA 8-15. SOLUZIONE S2 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
 PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE.
 AL CENTRO: BOCCA DI LEVANTE BACINO DELLE GRAZIE (INNER CHANNEL 01, 02)
 IN BASSO: BACINO DI SAMPIERDARENA (01, 02, 03, 04, 05, 06).
 FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

8.4. Soluzione S2. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): moto ondoso

In Figura 8-8 e Figura 8-9 sono mostrati i campi di moto ondoso ottenuti per lo stato di mare proveniente da Libeccio (210°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 2.5$ m e periodo $T_p = 9.1$ s per la soluzione S2 modificata in fase a) e in fase b).

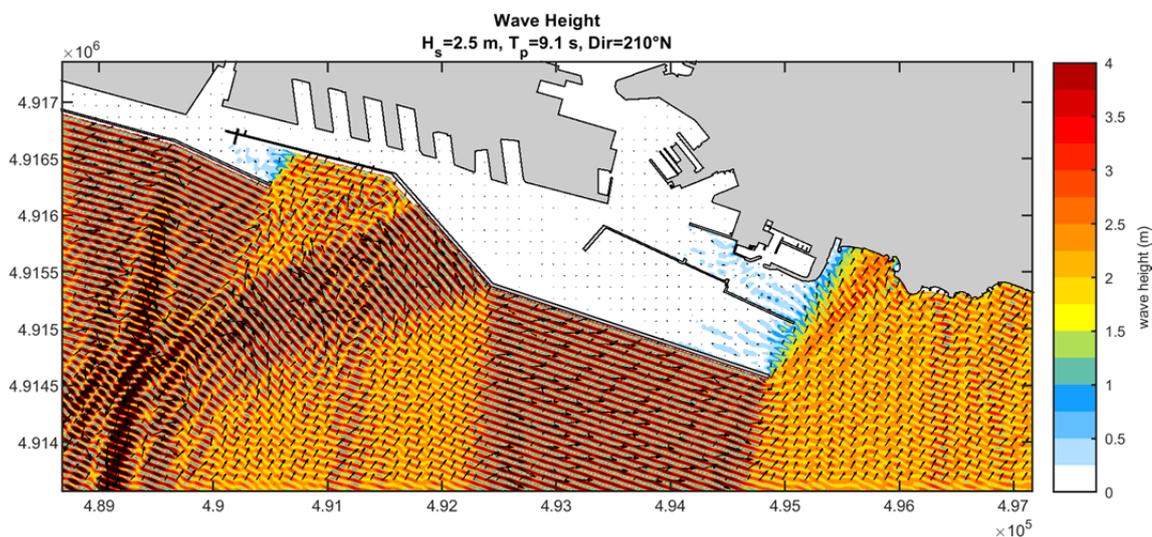


FIGURA 8-16. SOLUZIONE S2.A.MOD - SCENARIO 3. LIBECCIO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 2.5$ M, $T_p = 9.1$, DIR 210°N

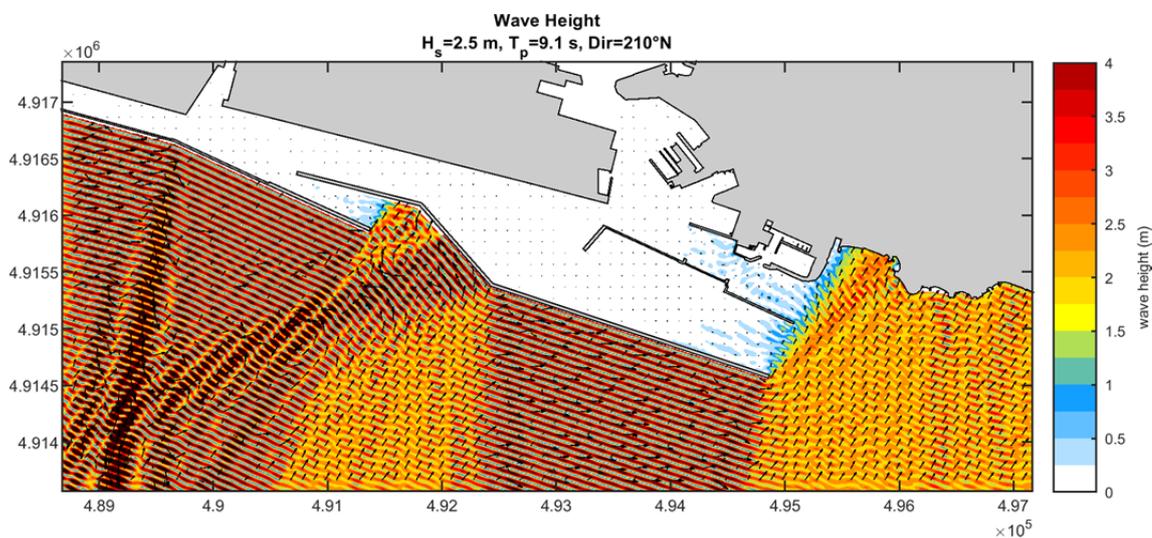


FIGURA 8-17. SOLUZIONE S2.B.MOD - SCENARIO 3. LIBECCIO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 2.5$ M, $T_p = 9.1$, DIR 210°N

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

9. ANALISI DELLA SOLUZIONE S3 MODIFICATA

Si riportano nel presente capitolo i risultati delle analisi condotte per valutare le condizioni idrodinamiche e di moto ondoso associate alle condizioni meteomarine di riferimento per le esecuzioni delle simulazioni di manovra con il simulatore in “real time” per la soluzione selezionata S3.

Lo schema planimetrico della Soluzione S3 (modificata) è mostrato in Figura 9-1 dove sono evidenziate le due fasi realizzative per la Nuova Diga del porto di Genova.

In figura sono inoltre indicati i punti di osservazione per i risultati delle simulazioni idrodinamiche.

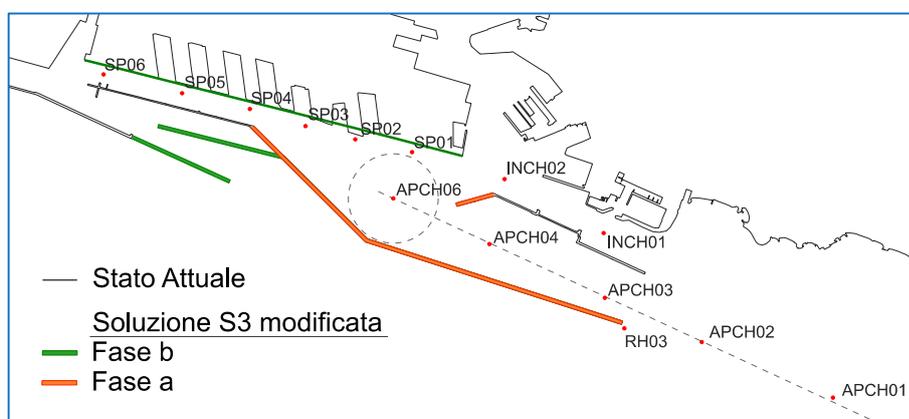


FIGURA 9-1. SCHEMA PLANIMETRICO DELLA SOLUZIONE S3 MODIFICATA (FASE A E FASE B) CON INDICAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE PER L'ESTRAZIONE DEI RISULTATI.

I diagrammi riportati nei paragrafi a seguire mostrano, per la fase a) e la fase b) della soluzione S3 modificata:

- v) il campo di velocità superficiale, mediato sui primi due strati del modello idrodinamico tridimensionale (Scirocco: Figura 9-2 e Figura 9-3, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 9-10 e Figura 9-11);
- vi) i valori di velocità (in valore assoluto) integrati sulla verticale nei punti di osservazione (Scirocco: Figura 9-4, Figura 9-5, Figura 9-6, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 9-12, Figura 9-13, Figura 9-14);
- vii) i profili verticali della velocità ottenuti nei punti di osservazione (Scirocco: Figura 9-7, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 9-15);
- viii) il campo di altezza d'onda e la direzione per gli stati di moto ondoso simulati (Scirocco: Figura 9-8 e Figura 9-9, Libeccio/Mezzogiorno: Figura 9-16 e Figura 9-17).

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

9.1. Soluzione S3. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica

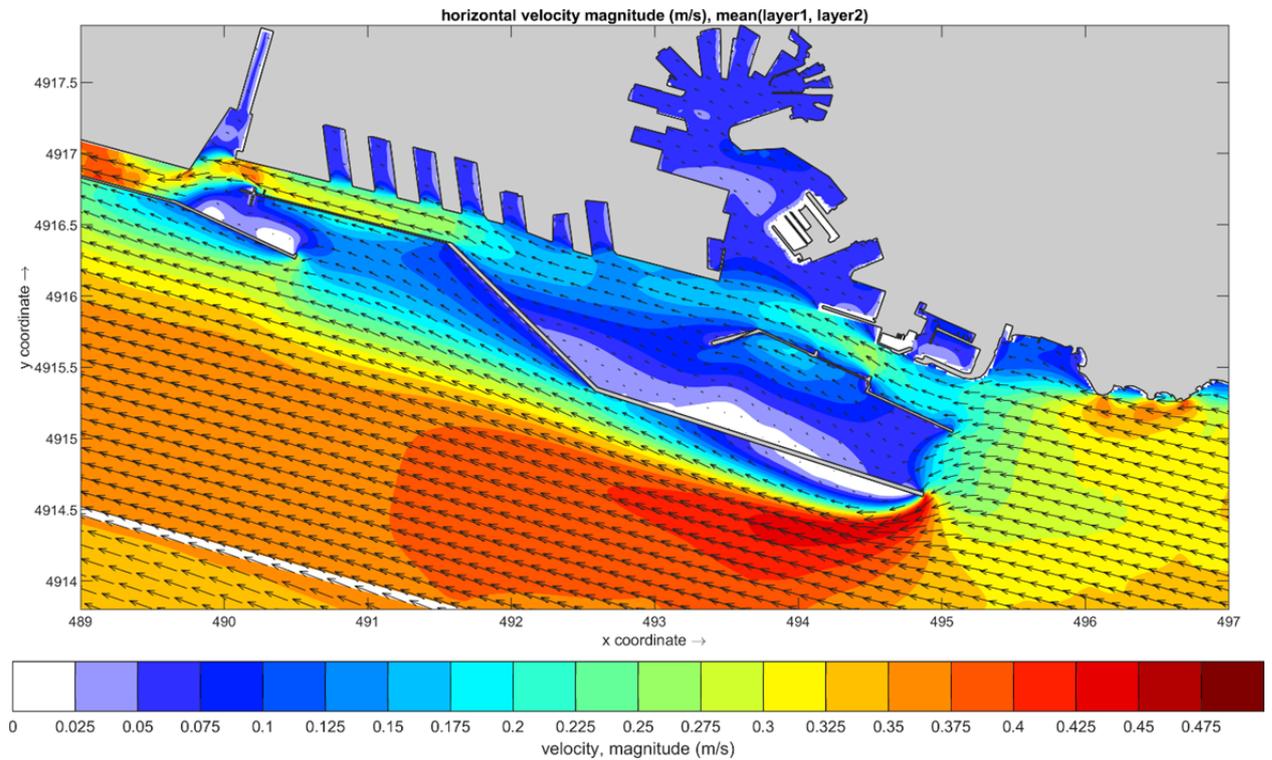


FIGURA 9-2. SOLUZIONE S3.A.MOD - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

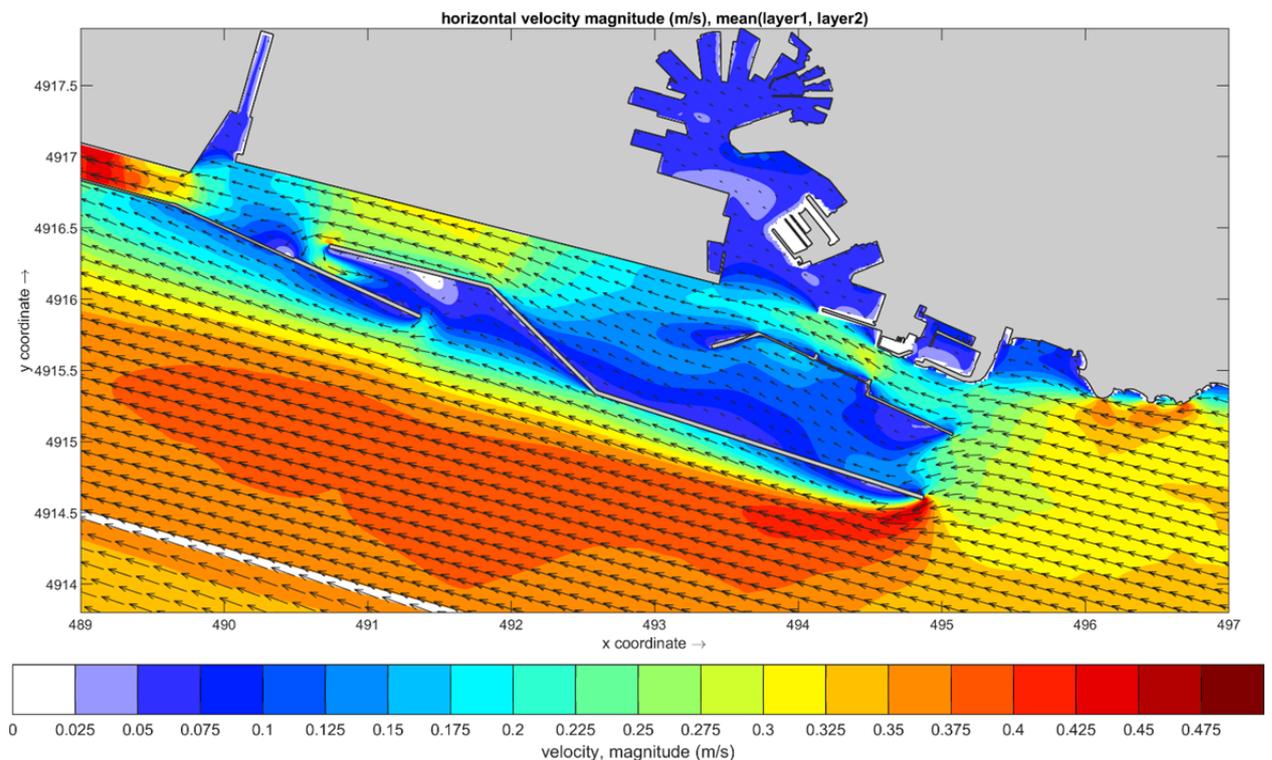


FIGURA 9-3. SOLUZIONE S3.B.MOD - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

**Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

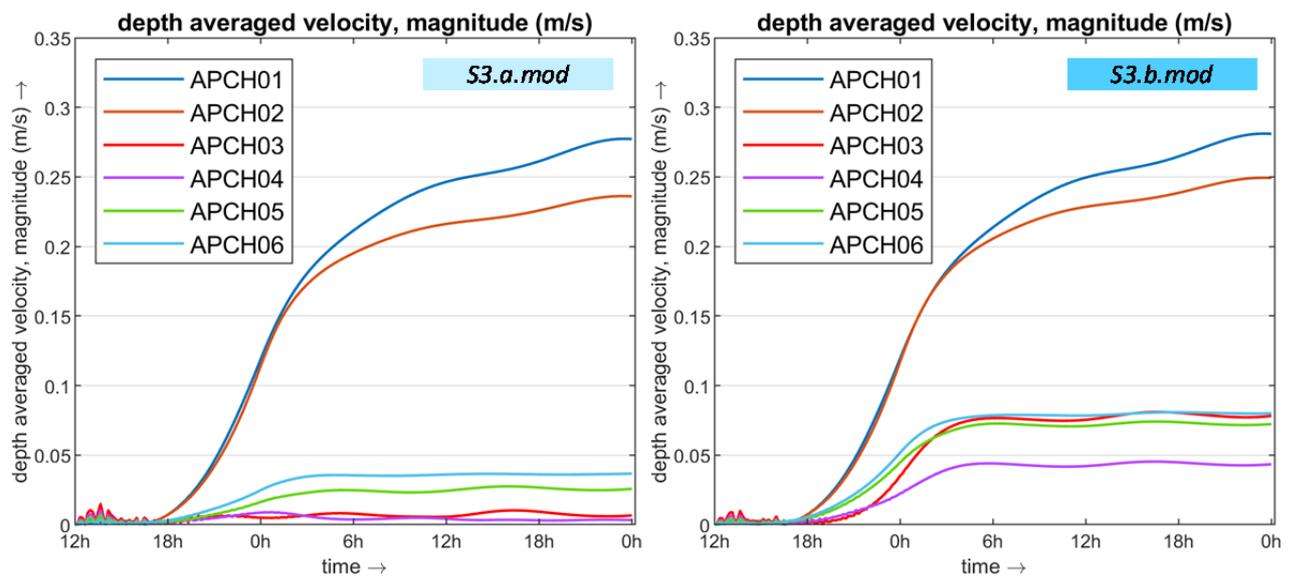


FIGURA 9-4. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE
POSIZIONATI LUNGO LA ROTTA DI ACCESSO. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

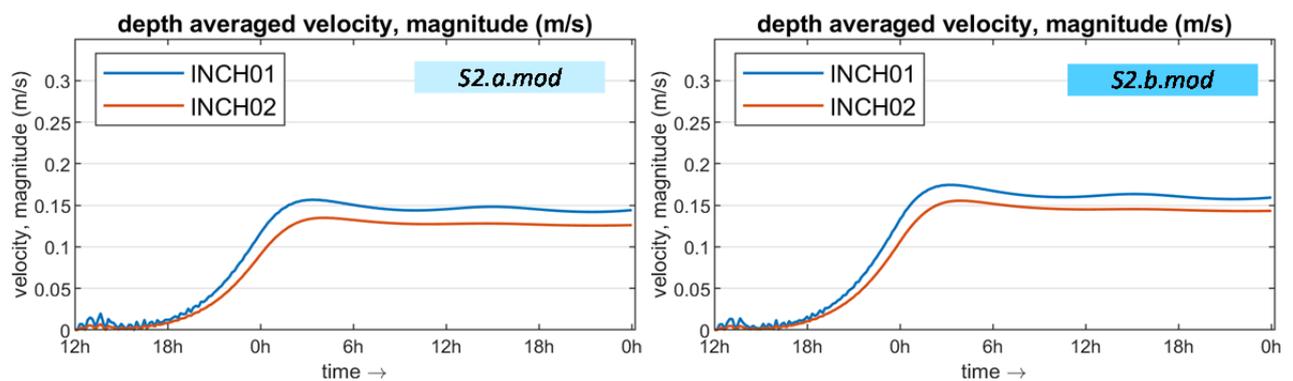


FIGURA 9-5. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN
CORRISPONDENZA DELLA BOCCA DI LEVANTE E ALL'INTERNO DEL BACINO DELLE GRAZIE.
FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

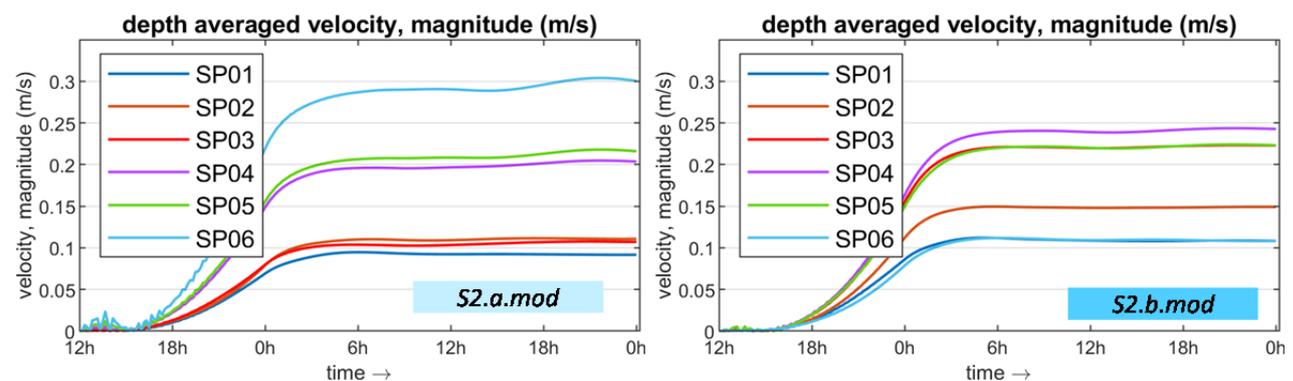


FIGURA 9-6. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE
ALL'INTERNO DEL BACINO DI SAMPIERDARENA. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

EI. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

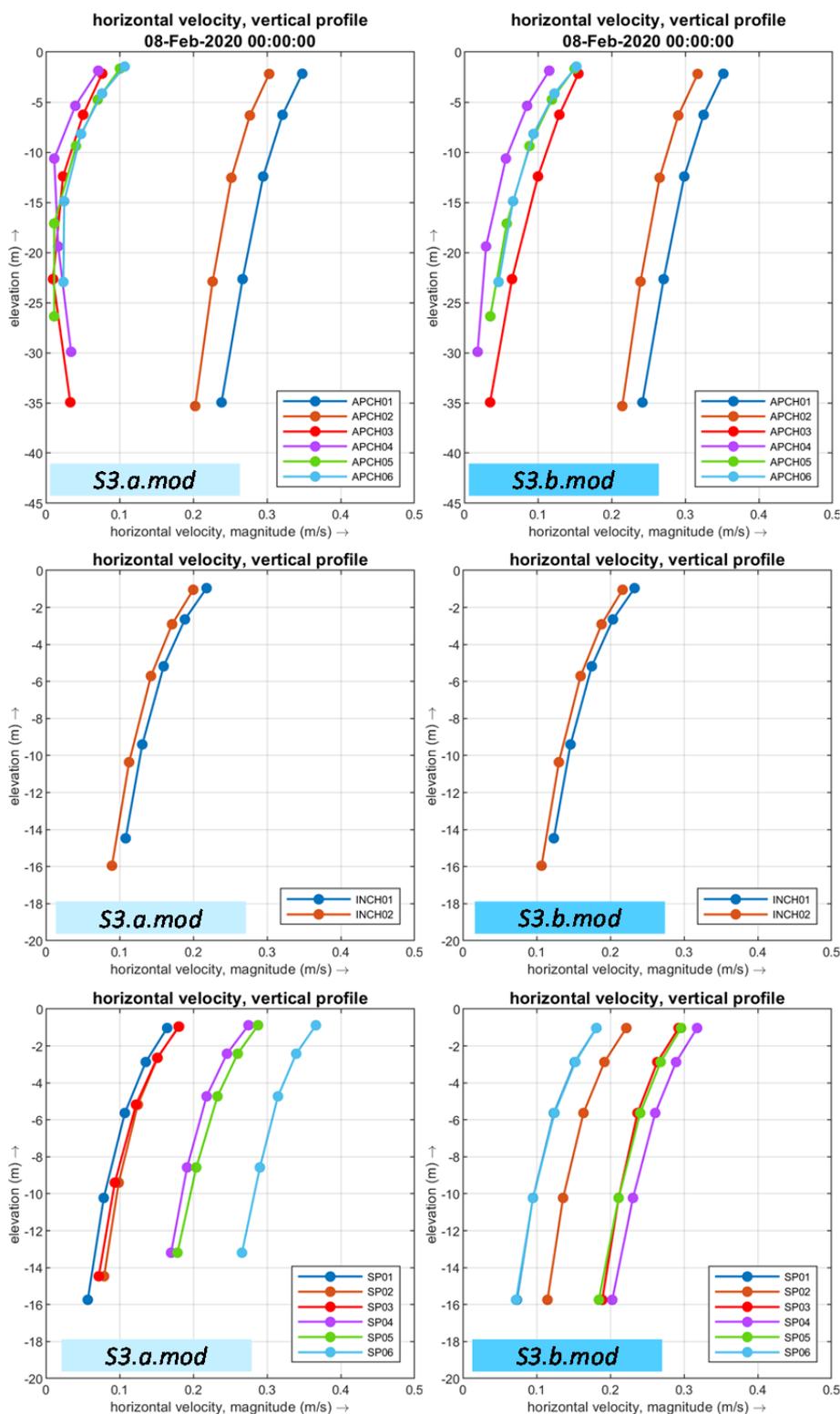


FIGURA 9-7. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
 PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE.
 AL CENTRO: BOCCA DI LEVANTE BACINO DELLE GRAZIE (INNER CHANNEL 01, 02)
 IN BASSO: BACINO DI SAMPIERDARENA (01, 02, 03, 04, 05, 06).
 FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00 Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

9.2. Soluzione S3. Scirocco (SCENARIO 2): moto ondoso

Con riferimento alla soluzione S3 modificata, in fase realizzativa a) e in fase realizzativa b), in Figura 8-8 e Figura 8-9 sono mostrati i campi di moto ondoso ottenuti per lo stato di mare proveniente da Scirocco (135°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 1.5\text{ m}$ e periodo $T_p = 6.3\text{ s}$.

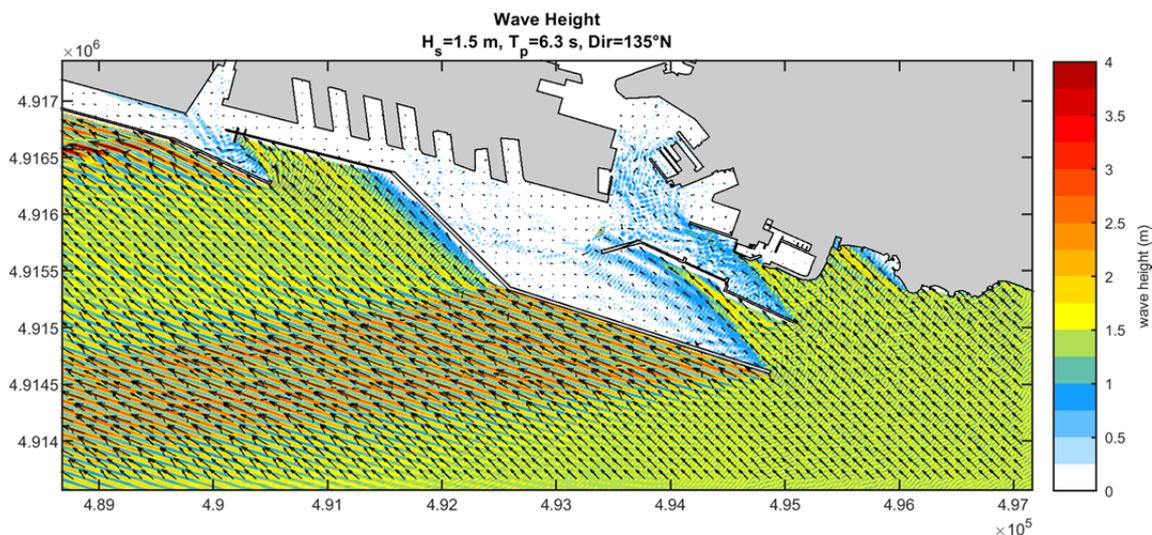


FIGURA 9-8. SOLUZIONE S3.A.MOD - SCENARIO 2. SCIROCCO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 1.5\text{ m}, T_p = 6.3, \text{DIR } 135^\circ\text{N}$

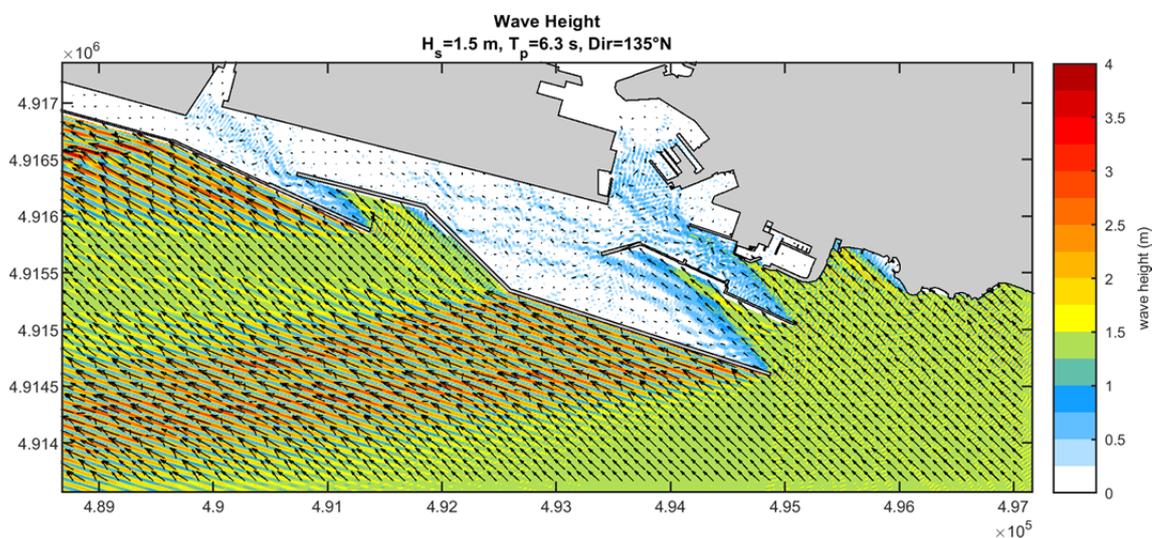


FIGURA 9-9. SOLUZIONE S3.B.MOD - SCENARIO 2. SCIROCCO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 1.5\text{ m}, T_p = 6.3, \text{DIR } 135^\circ\text{N}$

9.3. Soluzione S3. Libeccio (SCENARIO 3): idrodinamica

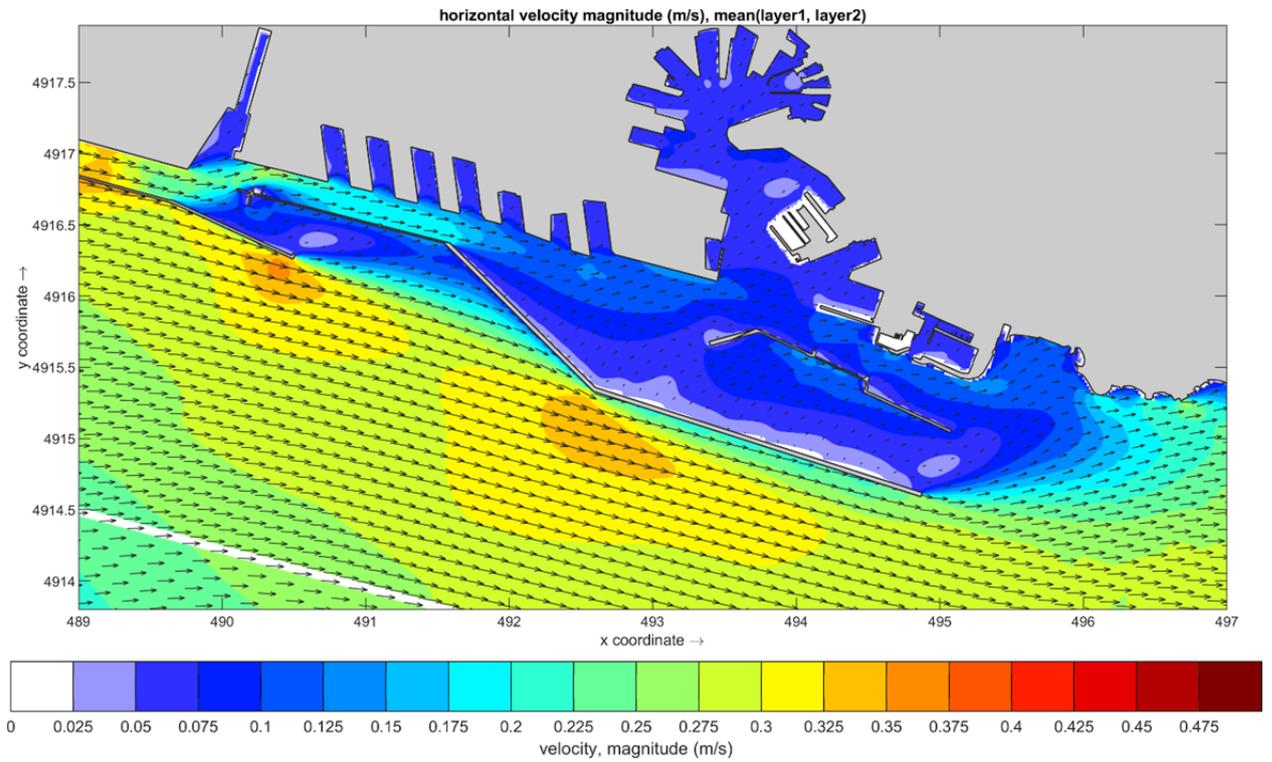


FIGURA 9-10. SOLUZIONE S3-A.MOD - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO. CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

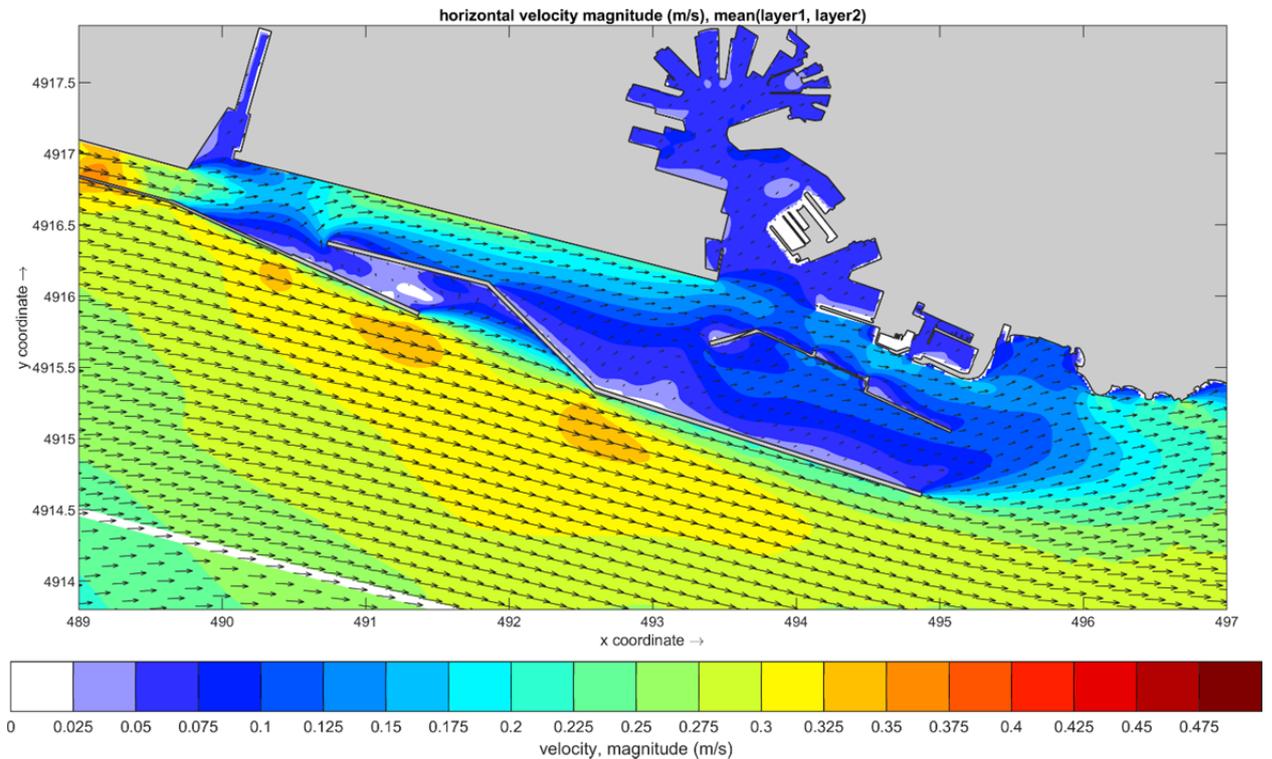


FIGURA 9-11. SOLUZIONE S3.B.MOD - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO. CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

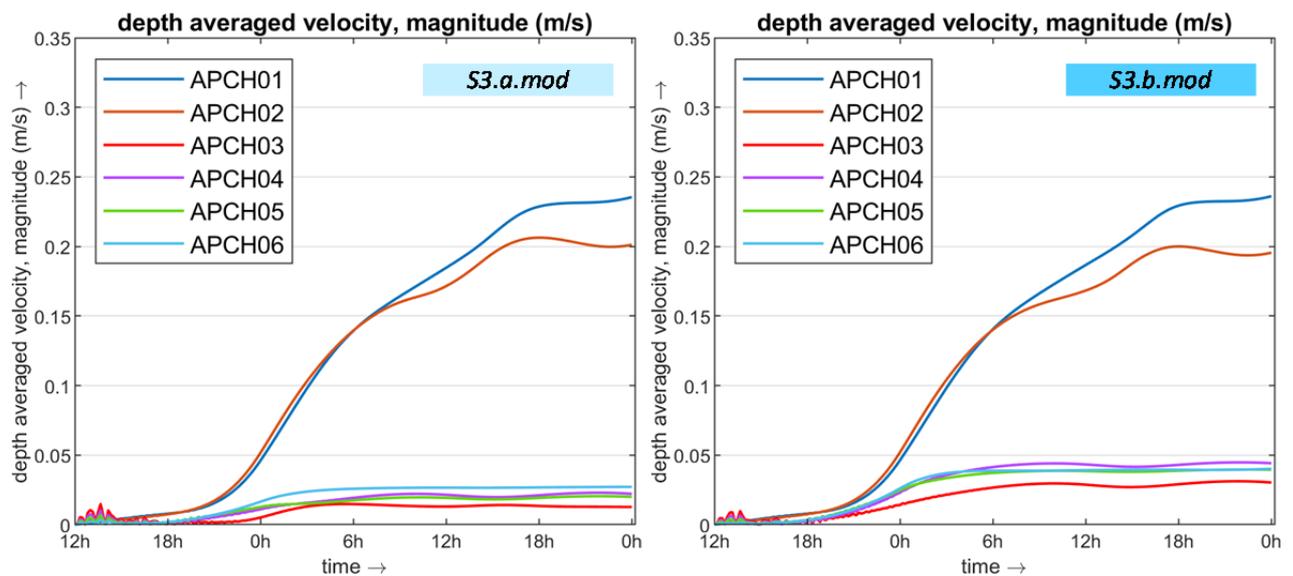


FIGURA 9-12. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE
POSIZIONATI LUNGO LA ROTTA DI ACCESSO. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

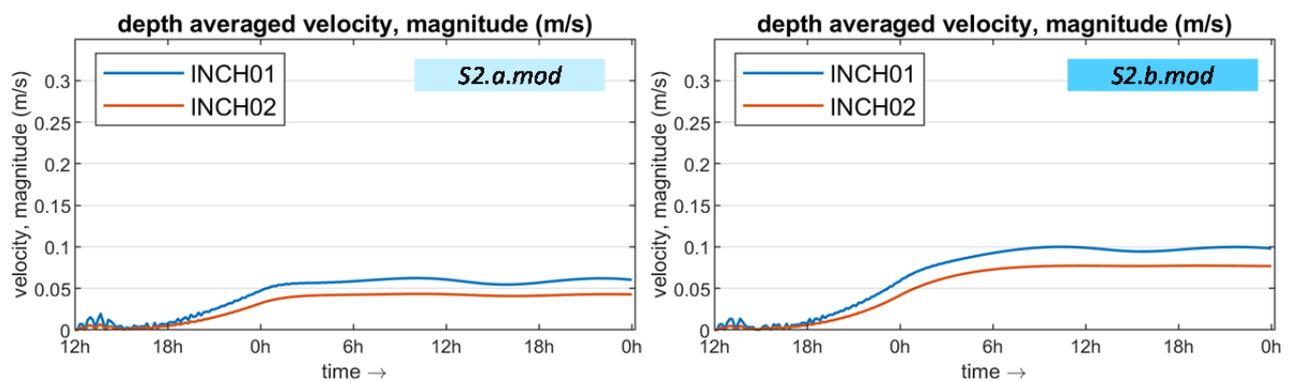


FIGURA 9-13. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN
CORRISPONDENZA DELLA BOCCA DI LEVANTE E ALL'INTERNO DEL BACINO DELLE GRAZIE.
FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

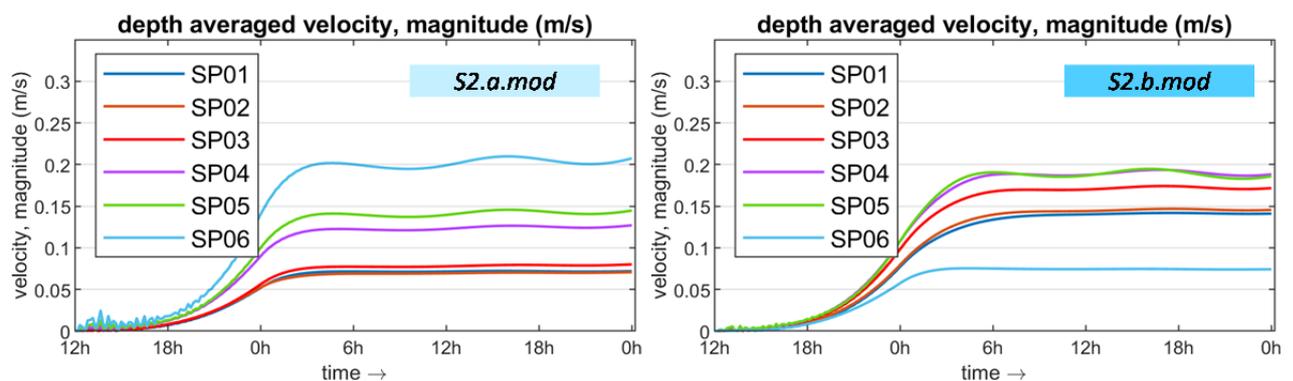


FIGURA 9-14. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO
VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE
ALL'INTERNO DEL BACINO DI SAMPIERDARENA. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

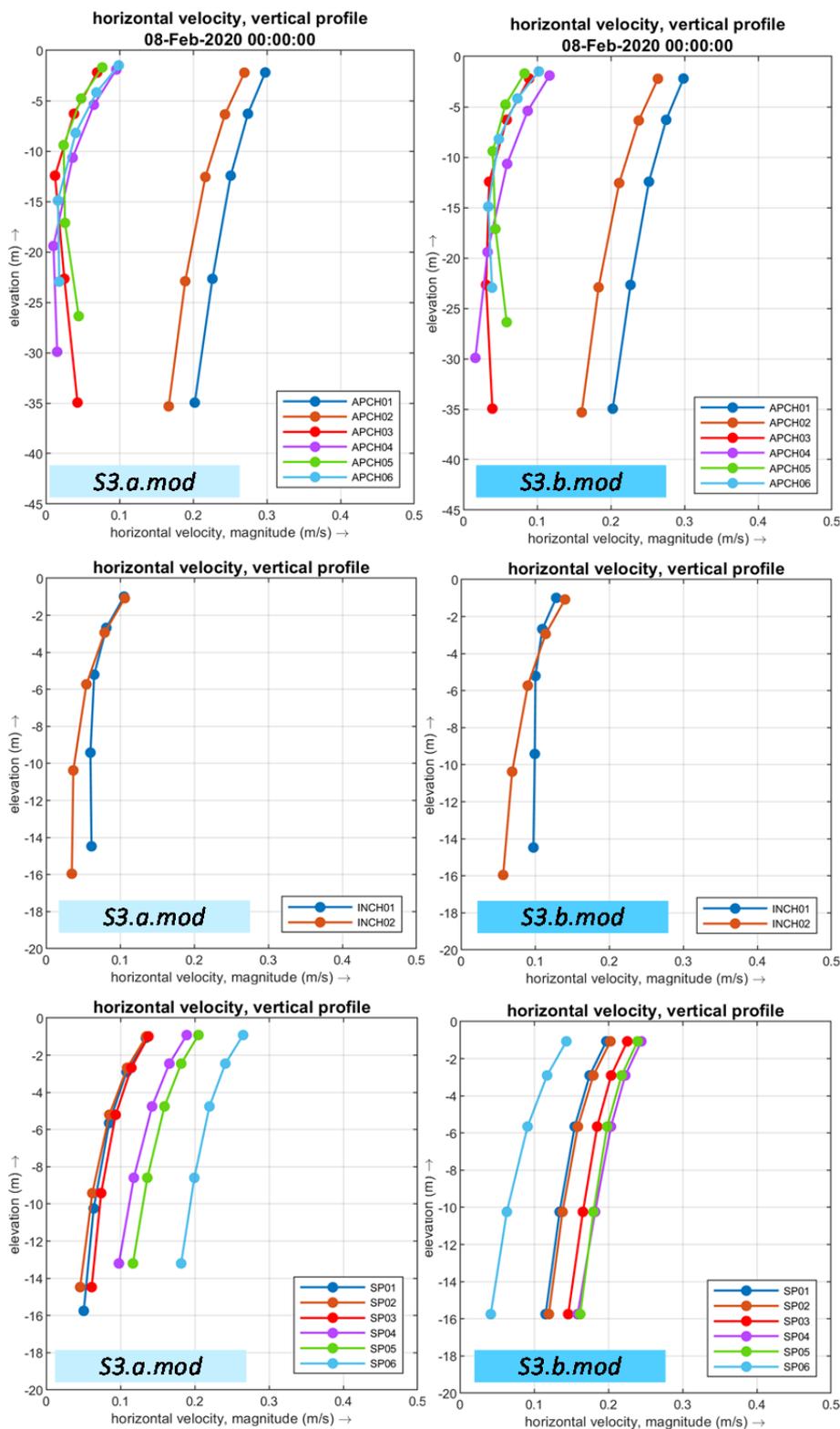


FIGURA 9-15. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
 PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE.
 AL CENTRO: BOCCA DI LEVANTE BACINO DELLE GRAZIE (INNER CHANNEL 01, 02)
 IN BASSO: BACINO DI SAMPIERDARENA (01, 02, 03, 04, 05, 06).
 FASE A) (SINISTRA) - FASE B) (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

9.4. Soluzione S3. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): Moto ondos

I campi di moto ondos ottenuti per lo stato di mare proveniente da Libeccio (210°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 2.5$ m e periodo $T_p = 9.1$ s per la soluzione S3 modificata, in fase a) e in fase b), sono mostrati nelle seguenti Figura 9-16 e Figura 9-17.

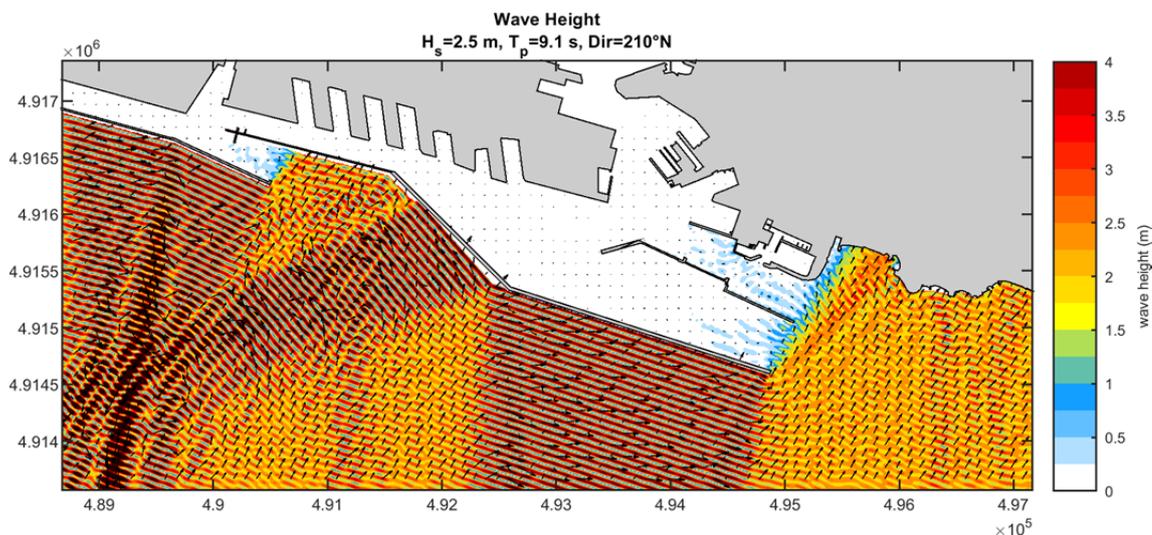


FIGURA 9-16. SOLUZIONE S3.A.MOD - SCENARIO 3. LIBECCIO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 2.5$ M, $T_p = 9.1$, DIR 210°N .

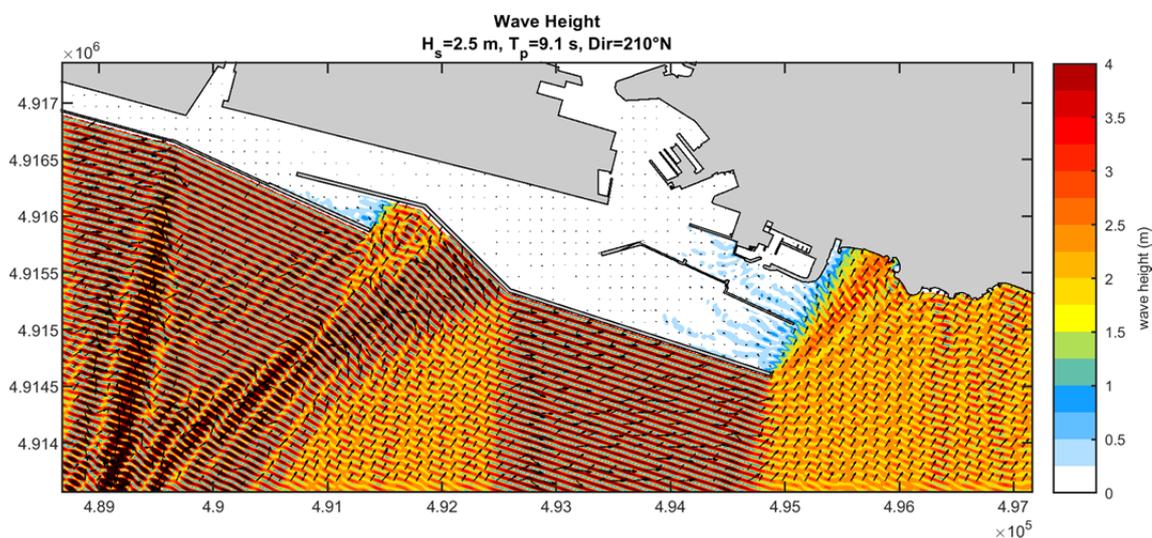


FIGURA 9-17. SOLUZIONE S3.B.MOD - SCENARIO 3. LIBECCIO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 2.5$ M, $T_p = 9.1$, DIR 210°N .

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

10. ANALISI DELLA SOLUZIONE S4

Si riportano nel presente capitolo i risultati delle analisi condotte per valutare le condizioni idrodinamiche e di moto ondoso associate alle condizioni meteomarine di riferimento per le esecuzioni delle simulazioni di manovra con il simulatore in “real time” per la soluzione selezionata S4.

Lo schema planimetrico della Soluzione S4 è mostrato in Figura 9-1 dove sono evidenziate le due fasi realizzative per la Nuova Diga del porto di Genova.

In figura sono inoltre indicati i punti di osservazione per i risultati delle simulazioni idrodinamiche.

Si fa presente che la soluzione S4 prevede la riqualificazione della prima parte della diga dell'aeroporto posta in adiacenza della nuova imboccatura, con la formazione di una scogliera di protezione lato mare che consentirà di ridurre la riflessione del moto ondoso.

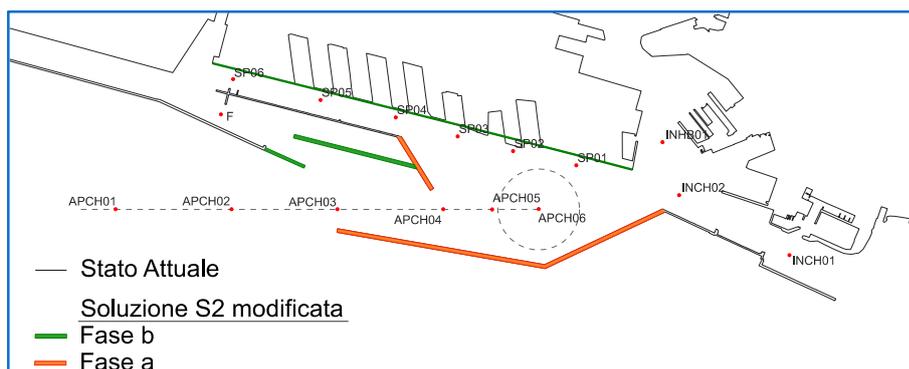


FIGURA 10-1. SCHEMA PLANIMETRICO DELLA SOLUZIONE S4 (FASE A E FASE B MODIFICATA) CON INDICAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE PER L'ESTRAZIONE DEI RISULTATI.

Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

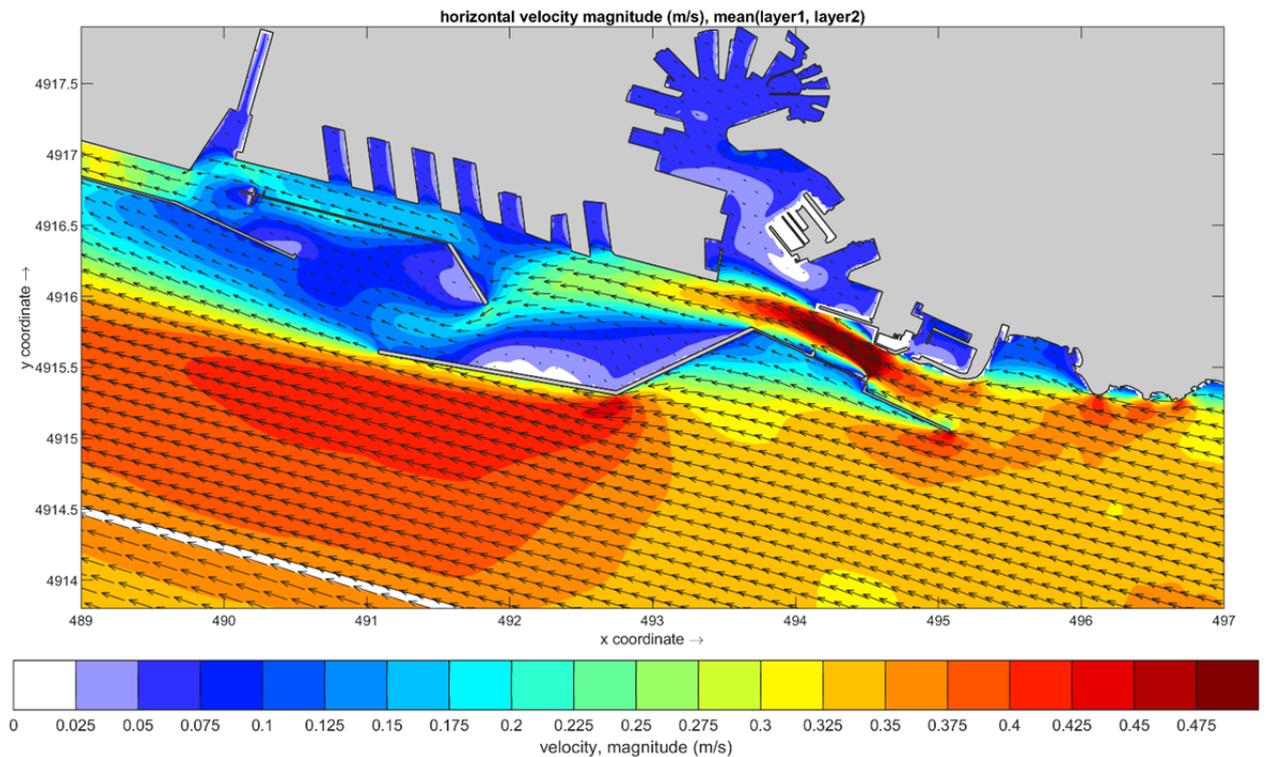
10.1. Soluzione S4. Scirocco (SCENARIO 2): idrodinamica

FIGURA 10-2. SOLUZIONE S4.A - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

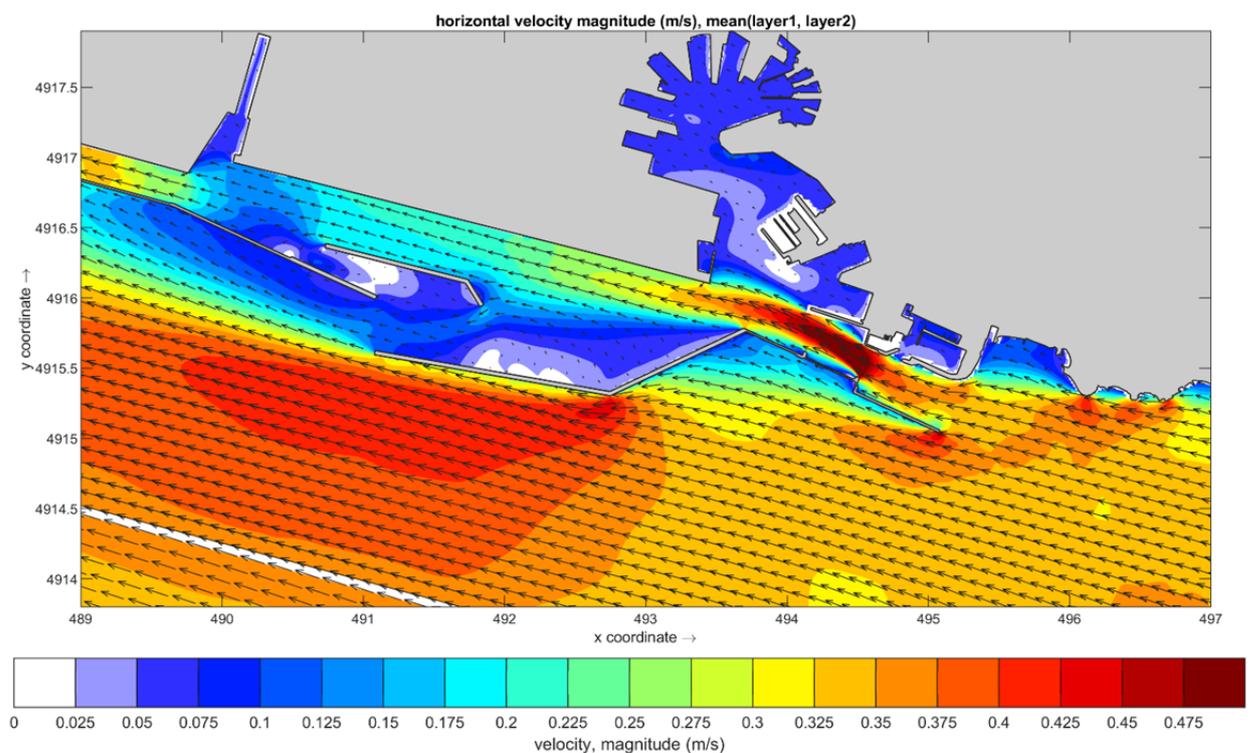


FIGURA 10-3. SOLUZIONE S4.B.MOD - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

**Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

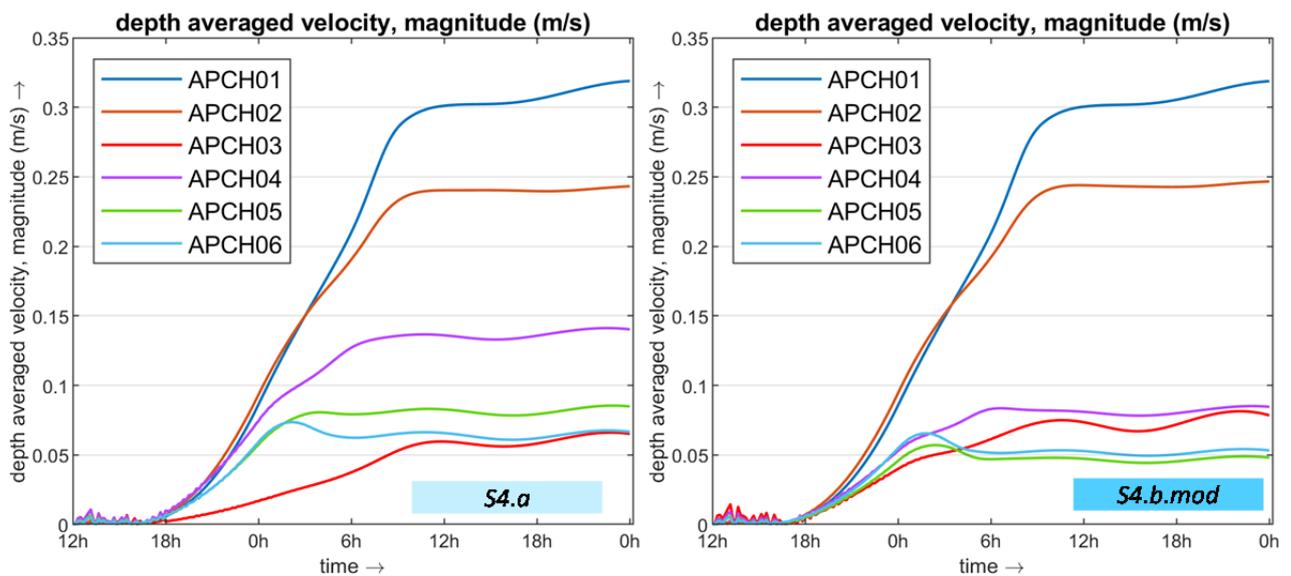


FIGURA 10-4. SOLUZIONE S4 - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.

VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE LUNGO LA
ROTTA DI ACCESSO. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

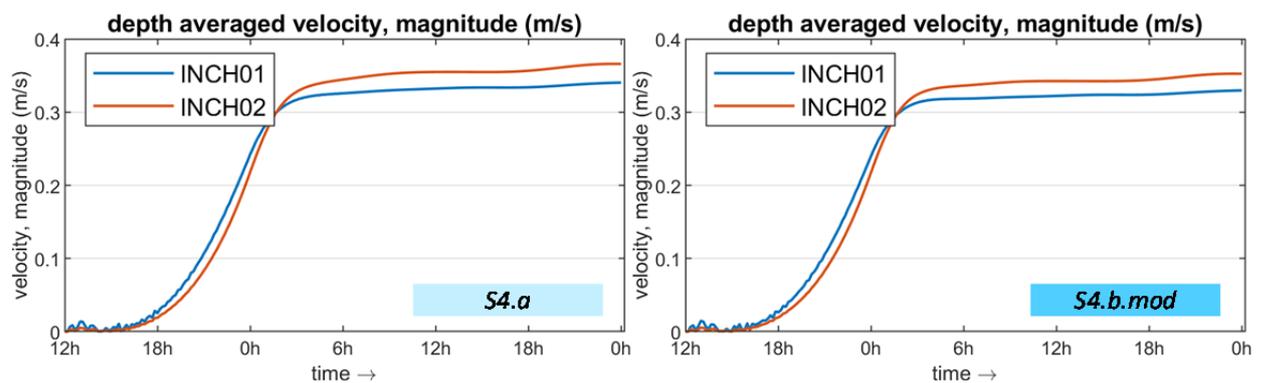


FIGURA 10-5. SOLUZIONE S4 - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.

VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN
CORRISPONDENZA DELLA BOCCA DI LEVANTE E ALL'INTERNO DEL BACINO DELLE GRAZIE.
FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

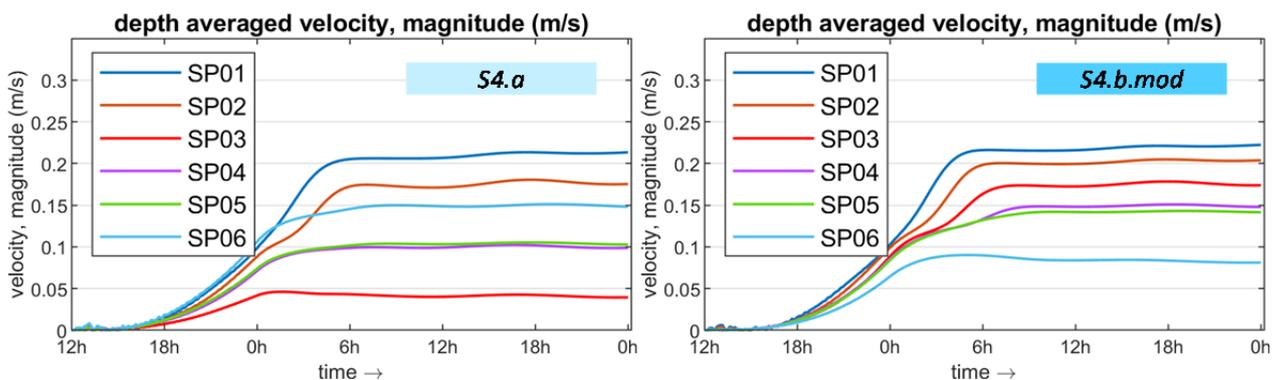


FIGURA 10-6. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.

VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE NEL
BACINO DI SAMPIERDARENA. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

EI. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

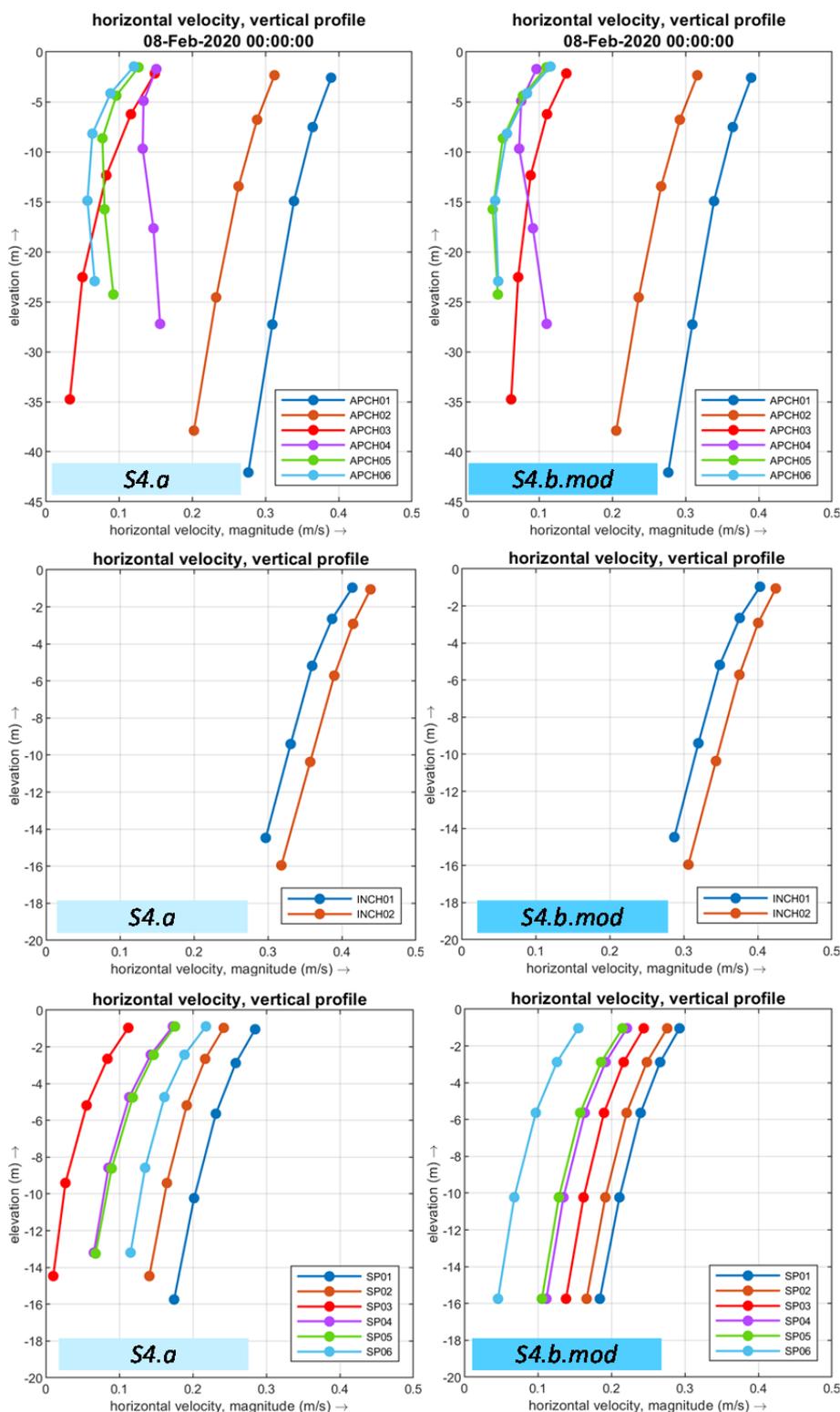


FIGURA 10-7. SOLUZIONE S4 - SCENARIO 2. VENTO DI SCIROCCO.
PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE.
AL CENTRO: BOCCA DI LEVANTE BACINO DELLE GRAZIE (INNER CHANNEL 01, 02)
IN BASSO: BACINO DI SAMPIERDARENA (01, 02, 03, 04, 05, 06).
FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

10.2. Soluzione S4. Scirocco (SCENARIO 2): moto ondoso

In Figura 8-8 e Figura 8-9 sono mostrati i campi di moto ondoso ottenuti Con riferimento alla soluzione S3 modificata (in fase realizzativa a) e in fase realizzativa b)) per lo stato di mare proveniente da Scirocco (135°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 1.5\text{ m}$ e periodo $T_p = 6.3\text{ s}$.

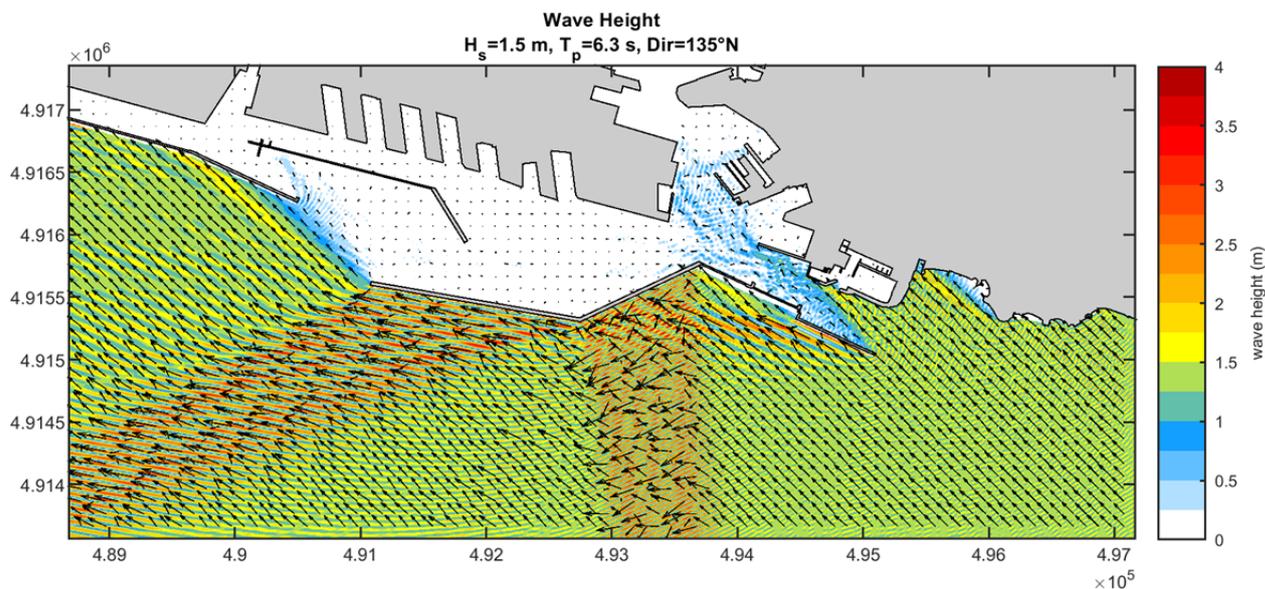


FIGURA 10-8. SOLUZIONE S4.A - SCENARIO 2. SCIROCCO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 1.5\text{ M}$, $T_p = 6.3$, DIR 135°N .

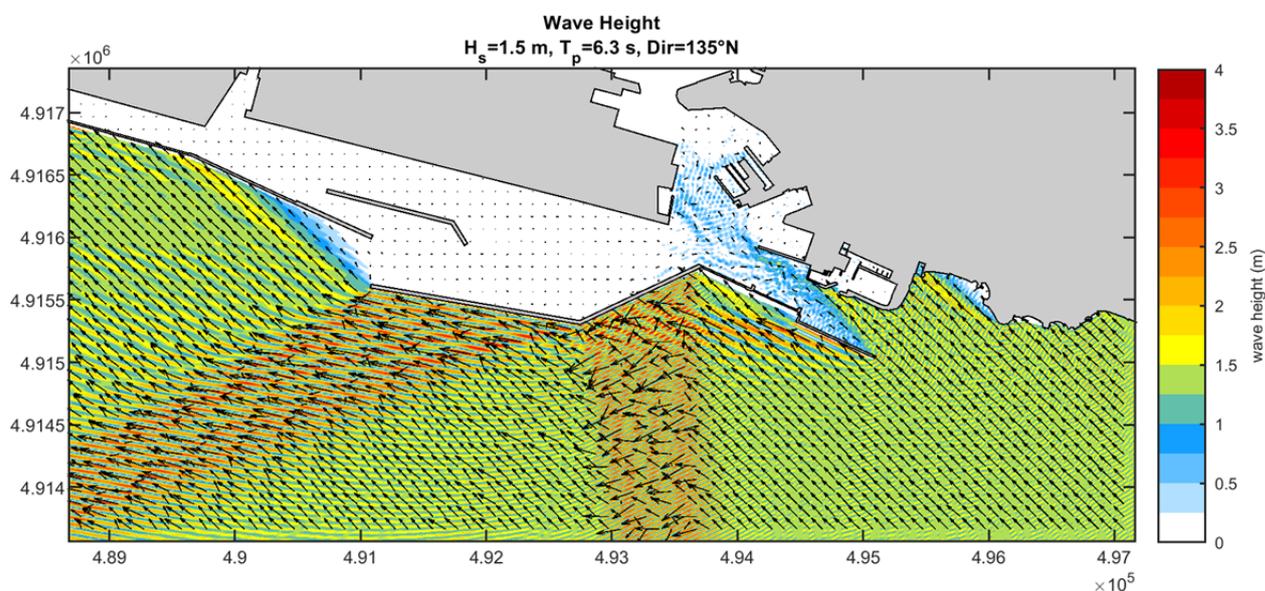


FIGURA 10-9. SOLUZIONE S4.B - SCENARIO 2. SCIROCCO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 1.5\text{ M}$, $T_p = 6.3$, DIR 135°N .

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

10.3. Soluzione S4. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): idrodinamica

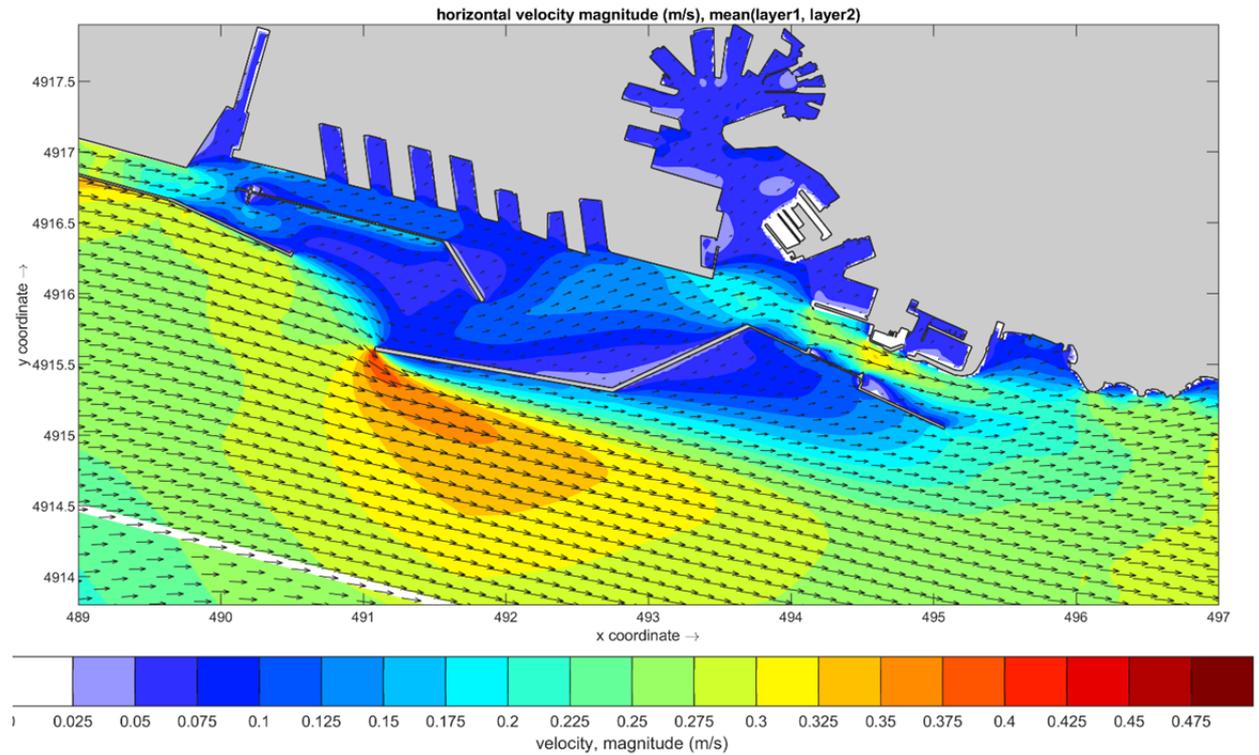


FIGURA 10-10. SOLUZIONE S4.A - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

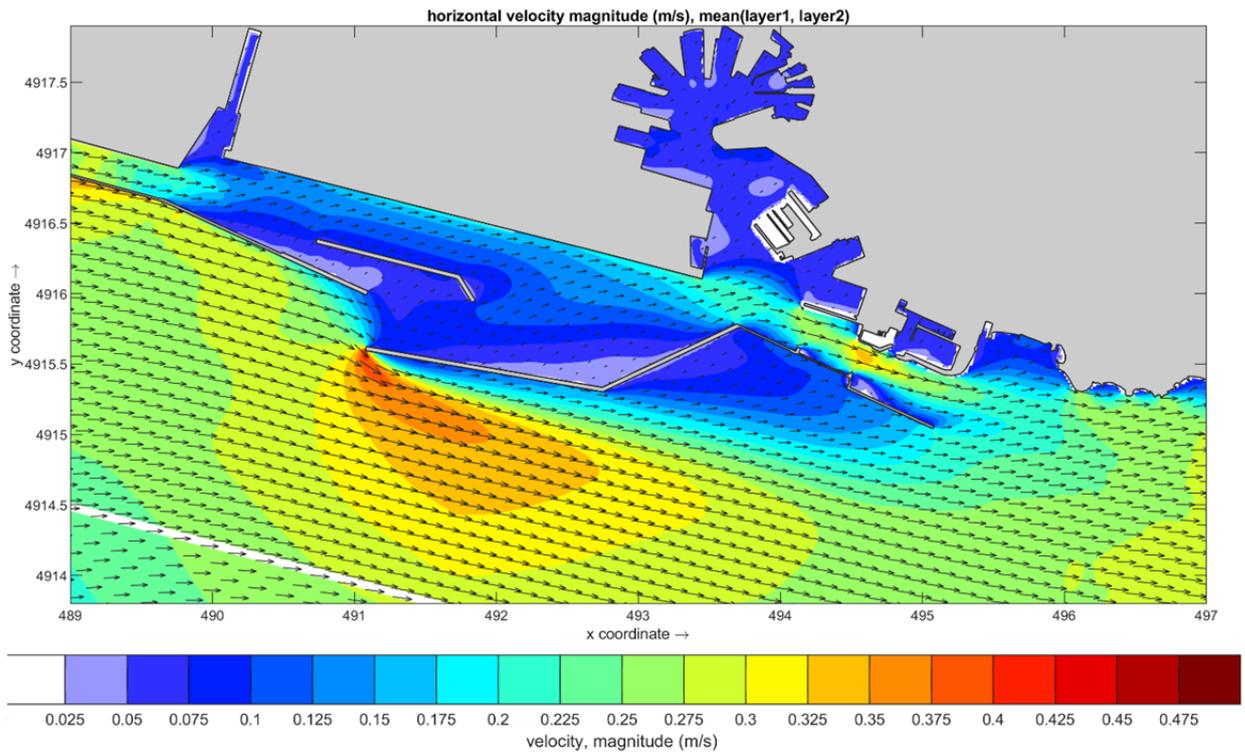


FIGURA 10-11. SOLUZIONE S4.B.MOD - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
CAMPO DI VELOCITÀ SUPERFICIALE MEDIATO SUI PRIMI DUE STRATI.

Volume 16 - Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

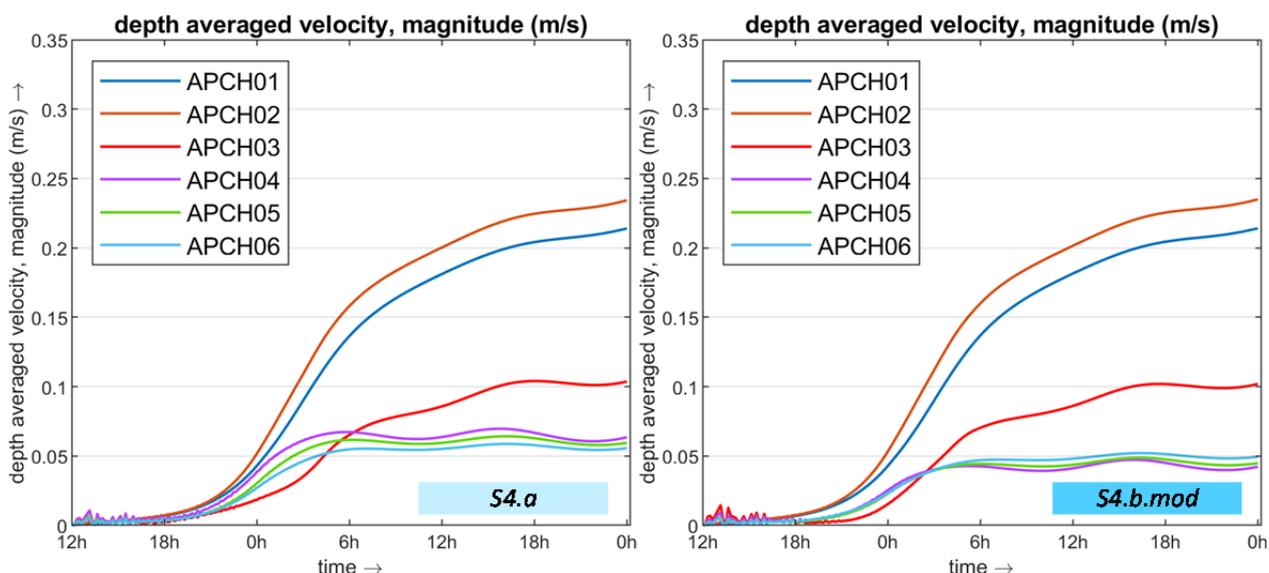


FIGURA 10-12. SOLUZIONE S4 - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.

VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE LUNGO LA ROTTA DI ACCESSO. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

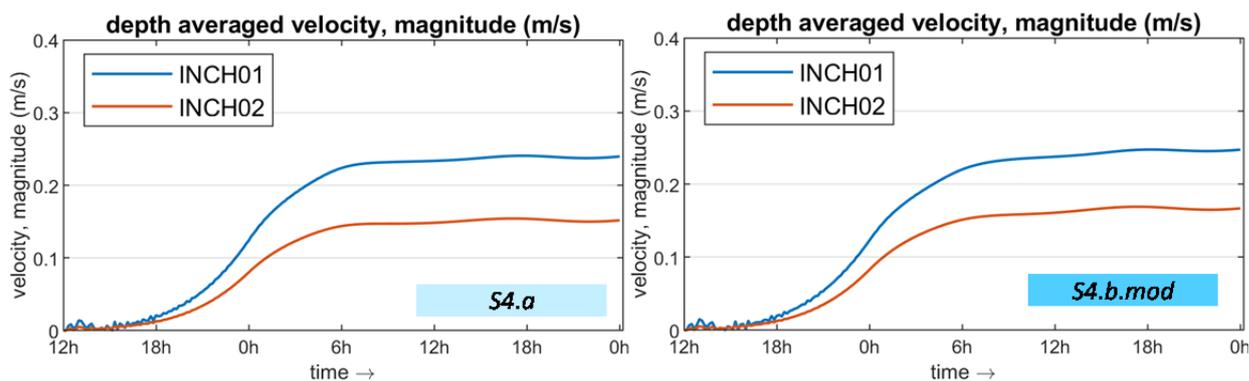


FIGURA 10-13. SOLUZIONE S4 - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.

VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE POSTI IN CORRISPONDENZA DELLA BOCCA DI LEVANTE E ALL'INTERNO DEL BACINO DELLE GRAZIE. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

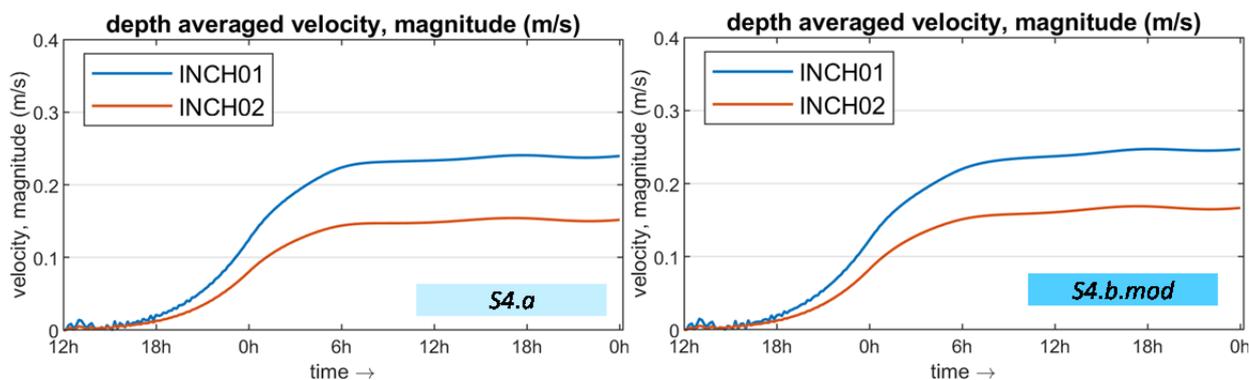


FIGURA 10-14. SOLUZIONE S3 MODIFICATA - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.

VELOCITÀ DELLA CORRENTE (VALORE ASSOLUTO) NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE NEL BACINO DI SAMPIERDARENA. FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

EI. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

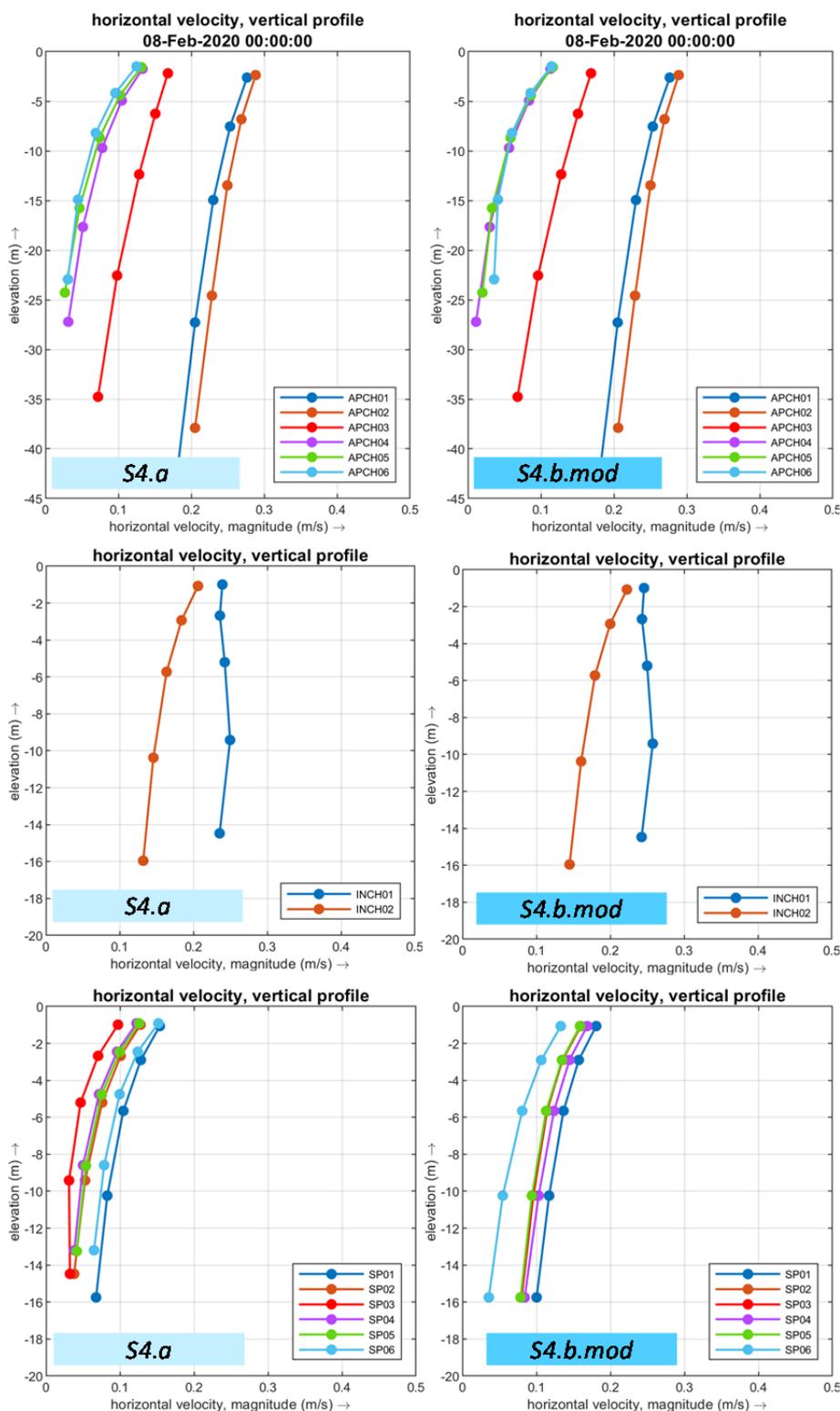


FIGURA 10-15. SOLUZIONE S4 - SCENARIO 3. VENTO DI LIBECCIO.
 PROFILI VERTICALI DELLA VELOCITÀ OTTENUTI NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE.
 AL CENTRO: BOCCA DI LEVANTE BACINO DELLE GRAZIE (INNER CHANNEL 01, 02)
 IN BASSO: BACINO DI SAMPIERDARENA (01, 02, 03, 04, 05, 06).
 FASE A) (SINISTRA) - FASE B) MODIFICATA (DESTRA).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

10.4. Soluzione S4. Libeccio/Mezzogiorno (SCENARIO 3): moto ondoso

In Figura 10-16 e Figura 10-17 sono mostrati i campi di moto ondoso ottenuti per la soluzione S4 in fase a) e in fase b) a seguito delle simulazioni condotte per lo stato di mare proveniente da Libeccio (210°N) con altezza d'onda incidente $H_s = 2.5$ m e periodo $T_p = 9.1$ s.

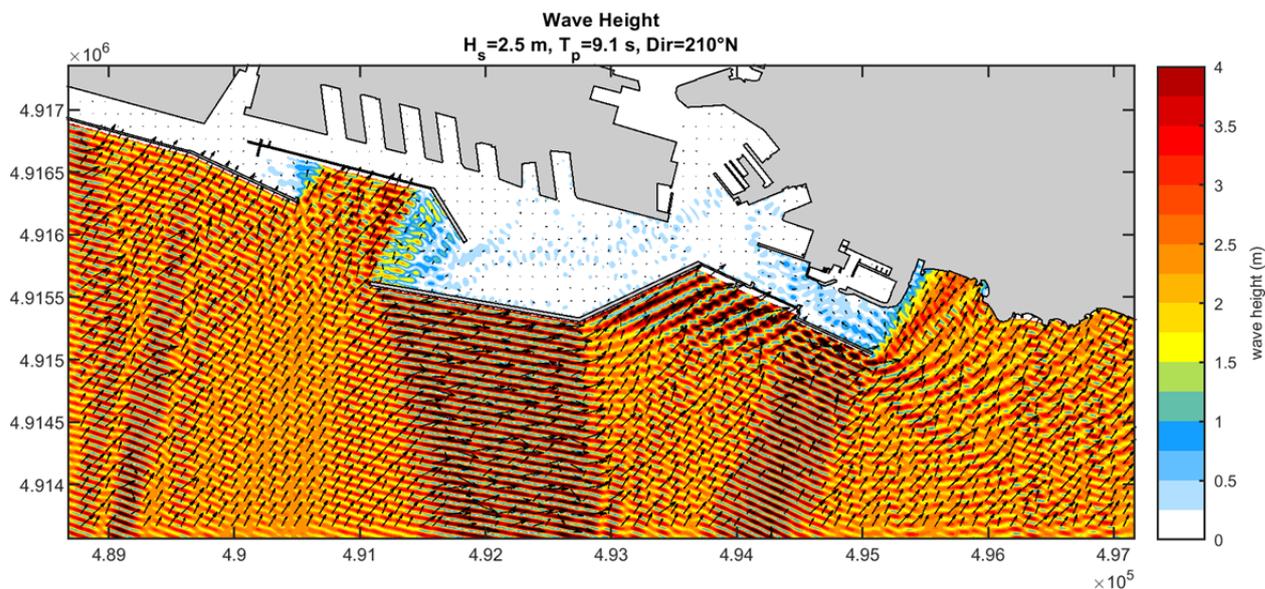


FIGURA 10-16. SOLUZIONE S4.A - SCENARIO 3. LIBECCIO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 2.5$ M, $T_p = 9.1$, DIR 210°N .

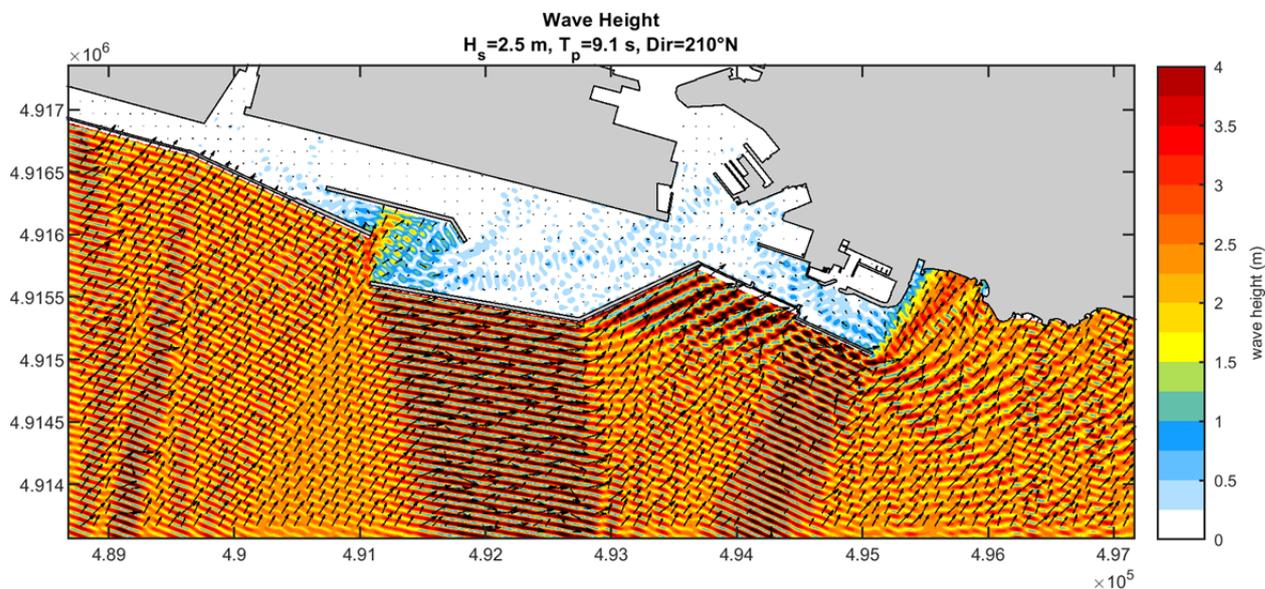


FIGURA 10-17. SOLUZIONE S4.B.MOD - SCENARIO 3. LIBECCIO
CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE
 $H_s = 2.5$ M, $T_p = 9.1$, DIR 210°N .

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

APPENDICE 1

**CONFRONTO CON LE MISURE CORRENTOMETRICHE EFFETTUATE
ALLA PIATTAFORMA ISOLA E AL RELITTO DELLA HAVEN**

A conclusione dello studio si presenta un confronto dei risultati ottenuti con le analisi eseguite nel 2008 dalla Società D'Appollonia per conto della Ex Autorità Portuale di Genova (Doc. No. 07-578-H1, Aprile 2008, studio meteomarino eseguito per l' "Ipotesi di Riutilizzo dello Smarino della Gronda").

Nell'ambito del suddetto studio sono stati esaminati i dati correntometrici misurati alla Piattaforma Isola e al relitto della Haven di cui nella tabella seguente si riportano la posizione, il periodo di acquisizione e le profondità a cui sono state acquisite le misure di corrente.

Correntometro	Periodo di acquisizione	Posizione	Profondità di acquisizione
Piattaforma Isola	01/01/2004 31/12/2007	44°24'8"N 8°48'31"E	2,12,24,36,48 m
Relitto Haven	10/09/2003 31/08/2004	44°4'00"N 8°7'00"E	4, 14, 32, 42, 50 m

La serie storica relativa alla Piattaforma Isola analizzata nel suddetto studio ha una durata di 4 anni, ma la percentuale di misure valide è piuttosto scarsa (35% del totale). La serie storica acquisita in prossimità del relitto della Haven ha una durata di un solo anno ma con una buona percentuale di dati validati (99% per gli strati superficiali: -4 e -14 m l.m.m.), che si riduce al 41% in profondità a causa di un malfunzionamento dello strumento.

Le analisi condotte su queste misure di corrente hanno permesso di approfondire la conoscenza delle correnti nell'area in esame.

Lo studio conferma che il contributo della marea alla circolazione è decisamente modesto, dell'ordine massimo di 2-3 cm/s, quasi trascurabile ai fini della navigazione (ma tuttavia importante perché può rappresentare, insieme alla brezza, l'unico contributo alla circolazione nel periodo estivo).

La corrente da vento (o corrente di deriva) rappresenta il contributo principale alla circolazione, anche nel corso dell'estate. In ambito costiero il contributo del vento si esplica soprattutto sulla componente parallela alla costa, che, in superficie rappresenta il termine preponderante.

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

La corrente osservata alla Piattaforma Isola è prevalentemente diretta verso ponente (O-SO) nel 47% dei casi, e verso N-NE nel 36% dei casi, lungo tutta la colonna d'acqua.

Per quanto concerne l'intensità della corrente è stato osservato quanto segue:

Velocità registrate nello strato superficiale (vs)

$vs \leq 10$ cm/s 67% degli eventi

$vs \leq 20$ cm/s 95% degli eventi

$vs \geq 30$ cm/s 1% dei casi

$vs_{max} = 68$ cm/s

Velocità registrate nello strato di fondo (vb)

$vb \leq 10$ cm/s 70% degli eventi

$vb \leq 20$ cm/s 97% degli eventi

$vb \geq 20$ cm/s 3% degli eventi

$vb_{max} = 45$ cm/s

La corrente osservata in corrispondenza del relitto della Haven è prevalentemente diretta verso SO-O (53% dei casi nello strato superficiale, 45% nello strato sottostante). La frequenza degli eventi che presentano direzione NE-E risulta 22-25% nello strato superficiale e 30-32% nello strato di fondo. In pratica la corrente fluisce lungo le isobate.

Per quanto riguarda l'intensità è stato osservato quanto segue:

Velocità registrate nello strato superficiale (vs)

$vs \leq 10$ cm/s 42% degli eventi

$vs \leq 20$ cm/s 76% degli eventi

$vs \geq 20$ cm/s 34% degli eventi

$vs \geq 30$ cm/s 2% dei casi

$vs_{max} = 65$ cm/s

Velocità registrate nello strato di fondo (vb)

$vb \leq 10$ cm/s 70% degli eventi

$vb \leq 20$ cm/s 93% degli eventi

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

$$v_{b_{\max}} = 40 \text{ cm/s}$$

I risultati ottenuti con le simulazioni condotte trovano una buona corrispondenza con le misure di corrente effettuate alla Piattaforma Isola e al relitto della Haven.

In Figura 10-18 e in Figura 10-19 sono rappresentati i campi di velocità ottenuti in superficie (primo strato pari al 10% della profondità) e sul fondo (ultimo compreso tra il 70% e il 100% della profondità) per i due scenari analizzati.

Nel caso di vento da Scirocco (Scenario 2) le velocità ottenute in superficie risultano:

- nel punto in corrispondenza della Piattaforma Isola: 35 cm/s;
- nel punto in corrispondenza del relitto della Haven: 25 cm/s.

mentre le velocità ottenute in profondità risultano:

- nel punto in corrispondenza della Piattaforma Isola: 25 cm/s;
- nel punto in corrispondenza del relitto della Haven: 21 cm/s.

Nel caso di vento da Libeccio (Scenario 3) le velocità ottenute in superficie risultano:

- nel punto in corrispondenza della Piattaforma Isola: 26 cm/s;
- nel punto in corrispondenza del relitto della Haven: 24 cm/s.

mentre le velocità ottenute in profondità risultano

- nel punto in corrispondenza della Piattaforma Isola: 15 cm/s;
- nel punto in corrispondenza del relitto della Haven: 13 cm/s.

Gli scenari di simulazione selezionati, caratterizzati da un vento sostenuto di 12.5 m/s stabile per diverse ore, hanno una limitata frequenza accadimento. La frequenza di superamento per lo scenario di Scirocco è pari al 0.20%, mentre lo scenario con vento da Libeccio presenta una frequenza di superamento dell'1.1%.

Di conseguenza è giustificabile confrontare i risultati ottenuti con i valori più elevati registrati dai correntometri, caratterizzati da frequenze di superamento ridotte.

Prendendo a riferimento le velocità superficiali con frequenza di superamento dell'1-2% per le due stazioni di misura si hanno velocità di 30 cm/s che risultano confrontabili con i risultati ottenuti.

Allo stesso modo, nello strato più profondo, solo nel 3% dei casi sono state osservate velocità superiori a 20 cm/s, valore confrontabile con i risultati ottenuti.

**Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento**

Rev.00

Data: Ottobre 2020

EI. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

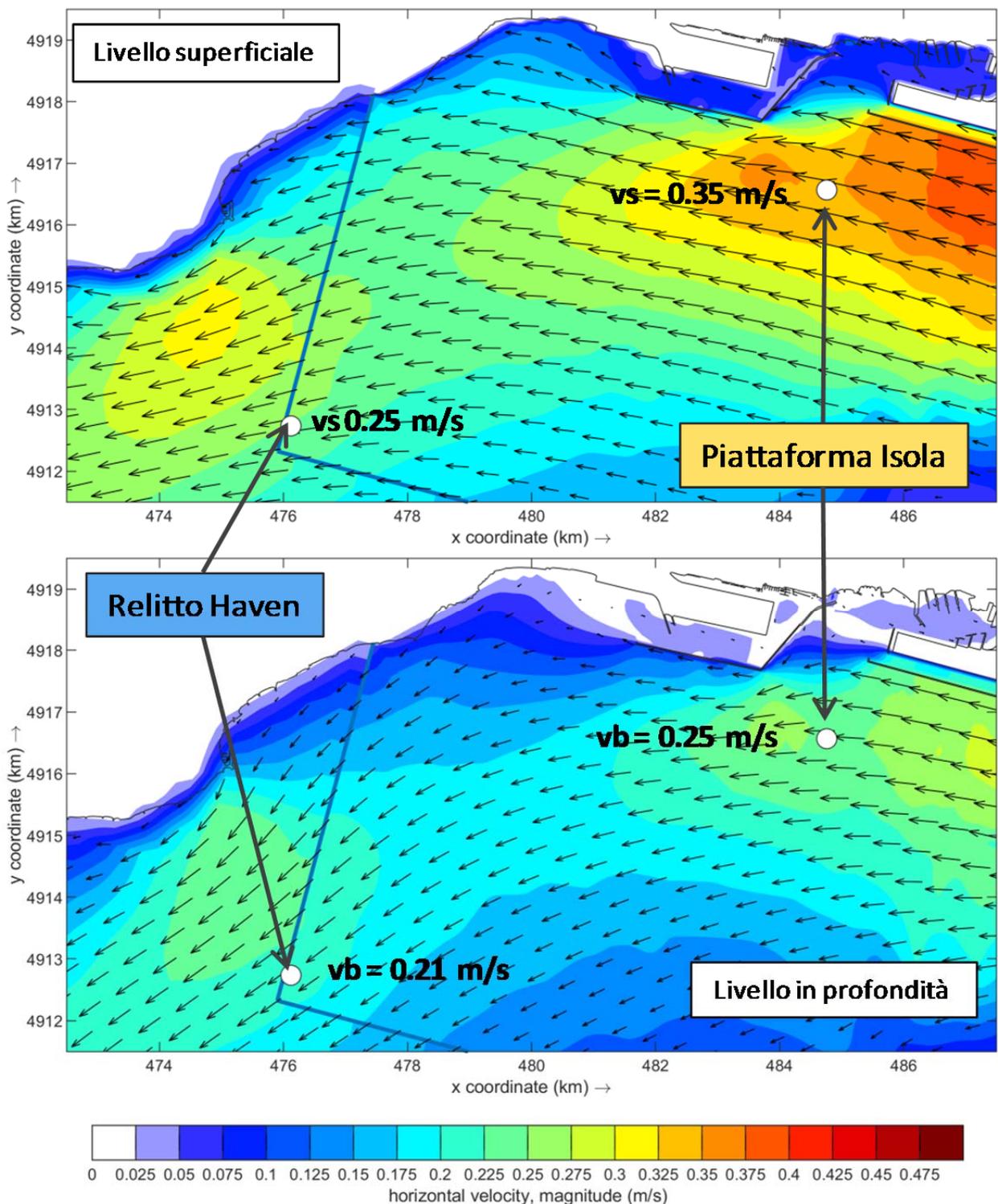


FIGURA 10-18. SCENARIO 2. CAMPI DI VELOCITÀ OTTENUTI CON UN VENTO UNIFORME DI SCIROCCO (115°N) CON VELOCITÀ DI 12.5 M/S E DURATA 24 ORE. I DIAGRAMMI RIPORTANO I VALORI DI VELOCITÀ OTTENUTI IN PROSSIMITÀ DELLA PIATTAFORMA ISOLA E DEL RELITTO DELLA HAVEN. (IN ALTO VELOCITÀ SUPERFICIALE, IN BASSO VELOCITÀ SUL FONDO).

Volume 16 – Le condizioni meteomarine per le manovre di navigazione per le
soluzioni d'intervento

Rev.00

Data: Ottobre 2020

El. MI046R-PF-D-Z-R-016-00

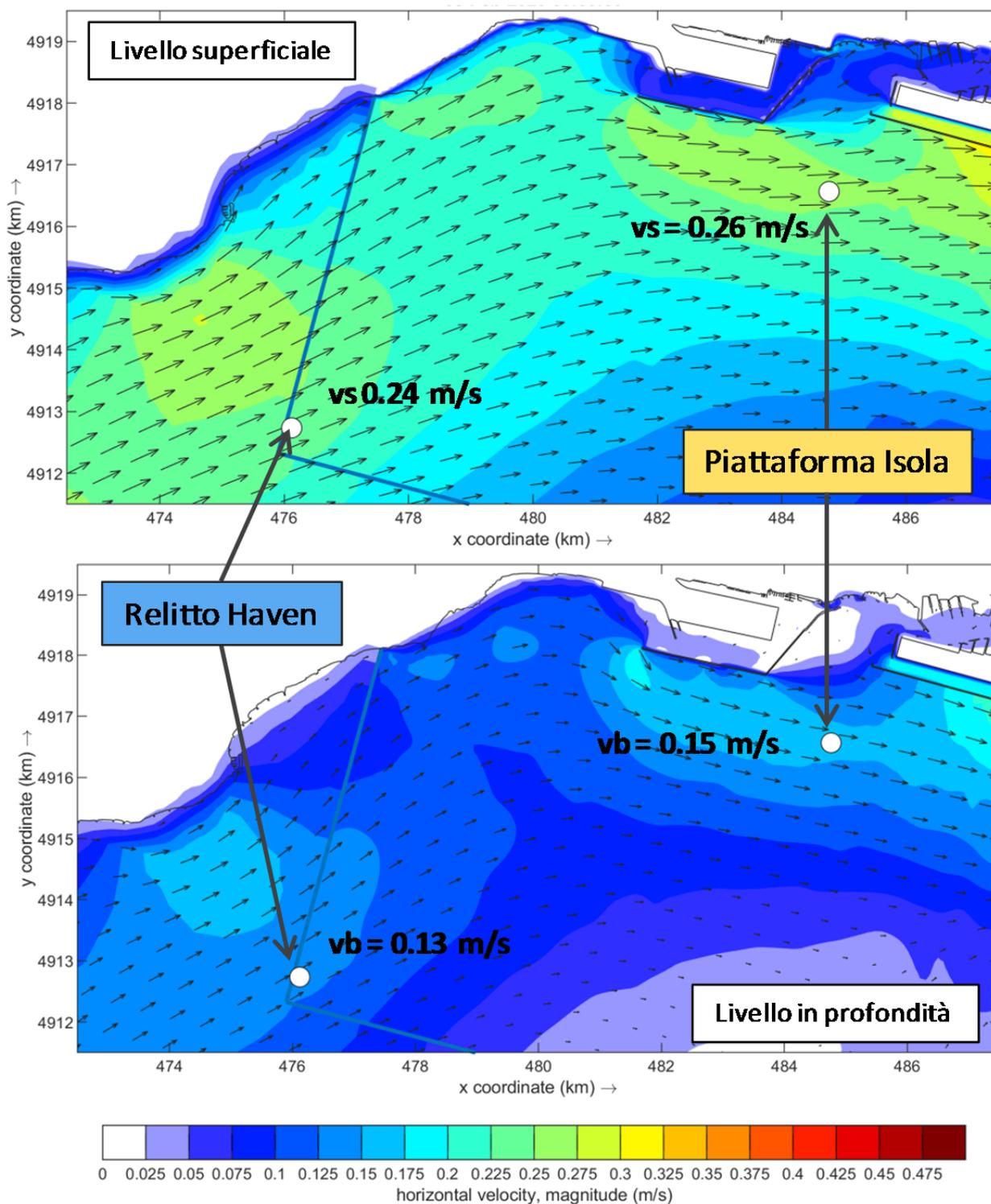


FIGURA 10-19. SCENARIO 3. CAMPI DI VELOCITÀ OTTENUTI CON UN VENTO UNIFORME DI LIBECCIO (230°N) CON VELOCITÀ DI 12.5 M/S E DURATA 24 ORE. I DIAGRAMMI RIPORTANO I VALORI DI VELOCITÀ OTTENUTI IN PROSSIMITÀ DELLA PIATTAFORMA ISOLA E DEL RELITTO DELLA HAVEN. (IN ALTO VELOCITÀ SUPERFICIALE, IN BASSO VELOCITÀ SUL FONDO).