

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

CUP C39B18000060006

CIG 7690329440

RIF. PERIZIA

P.3062

TITOLO PROGETTO

NUOVA DIGA FORANEA DEL PORTO DI GENOVA AMBITO BACINO SAMPIERDARENA

TITOLO ELABORATO:

STUDIO DELL'IDRODINAMICA DELLE FOCI FLUVIALI
E DELLA SEDIMENTAZIONE NELLE AREE PORTUALI

ELABORATO N°:

MI046R-PF-D-I-R-023-00

NOME FILE:

MI046R-PF-D-I-R-023-00.docx

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

PROGETTISTI	PROGETTAZIONE
Mandatario:  TECINTERRA Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche Dott. Ing. Antonio Lizzadro  MODIME Ingegneria Idraulica e Marittima  HR Wallingford Working with water  SENER  SOCOTEC STUDIO BALLERINI INGEGNERI ASSOCIATI  EPF ALBERTO ALBERT INGEGNERE	 TECINTERRA Dott. Ing. Antonio Lizzadro

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



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE OCCIDENTALE

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

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

VOLUME 23 - STUDIO DELL'IDRODINAMICA DELLE FOCI FLUVIALI E DELLA SEDIMENTAZIONE NELLE AREE PORTUALI

INDICE

1. PREMESSE	8
1.1. Introduzione	8
1.2. Obiettivi e organizzazione del lavoro	8
1.3. Metodologia di analisi	10
1.4. Sintesi dei risultati ottenuti	13
1.5. Conclusioni e raccomandazioni	17
2. DATI BASE DI RIFERIMENTO	18
2.1. Studi di riferimento	18
2.2. Idrologia	18
2.3. Trasporto solido e caratteristiche dei sedimenti	21
2.4. Batimetria	24
2.5. Marea astronomica	25
3. ANALISI DEL DEFLUSSO E DEI PROCESSI DI SEDIMENTAZIONE	26
3.1. Idrogrammi di piena di simulazione	26
3.2. Trasporto solido	27
3.3. Implementazione del modello di calcolo	29
3.4. Analisi dello stato attuale	35
3.5. Analisi della soluzione S3	47
3.6. Analisi dei risultati	54
4. ANALISI DEL DEFLUSSO PER EVENTI DI PIENA ESTREMI	58
4.1. Analisi dello stato attuale	58
4.2. Soluzione di progetto S3 fase a)	60
4.3. Soluzione di progetto S3 fase b)	62
4.4. Analisi dei risultati	64

INDICE FIGURE

Figura 1-1. Configurazione planimetrica della Soluzione 3 - Fase a) e Fase b).	9
Figura 1-2 - Inquadramento del Porto di Genova	10
Figura 2-1. Opere di foce dei torrenti Polcevera (sinistra) e Bisagno (destra)	19
Figura 2-2. Idrogrammi di assegnato tempo di ritorno T_R relativi al torrente Bisagno calcolati con il modello idrologico (estratto da DHI-ART [3]).	20
Figura 2-3. torrente Polcevera: idrogrammi di piena per assegnati tempi di ritorno (estratto da Italferr-Rina [5]).	21
Figura 2-4. Relazione portata liquida - portata solida relativa alla frazione più fina dei sedimenti alla foce del polcevera (estratto da studio idraulico-morfologico dhi [4])	23
Figura 2-5. Origine dei dati batimetrici utilizzati per la generazione del dominio di calcolo.	24
Figura 3-1. Idrogrammi di piena con tempo di ritorno 10 anni per i torrenti polcevera e bisagno utilizzati per le simulazioni.	26
Figura 3-2. Portata solida associata agli eventi di piena dei torrenti polcevera e bisagno con tempo di ritorno 10 anni.	27
Figura 3-3. estensione della griglia di calcolo utilizzata per le simulazioni con indicazione delle condizioni al contorno adottate.	29
Figura 3-4. batimetria all'interno del dominio di calcolo (stato attuale)	30
Figura 3-5. Dettaglio batimetria in prossimità della foce del torrente Polcevera (a sinistra) e del torrente Bisagno (a destra).	30
Figura 3-6. oscillazione di marea applicata come condizione al contorno.	30
Figura 3-7. Localizzazione dei punti di osservazione per l'estrazione dei risultati in corrispondenza della foce del polcevera.	33
Figura 3-8. Localizzazione dei punti di osservazione per l'estrazione dei risultati in corrispondenza della foce del bisagno.	33
Figura 3-9. Ubicazione delle sezioni di controllo per l'estrazione dei risultati in corrispondenza della foce del Polcevera e del bisagno.	34
Figura 3-10. risultati ottenuti per gli eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni. campo di velocità per le ore 18:00 e 21:00 (colmo di piena bisagno).	37
Figura 3-11. risultati ottenuti per gli eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni. campo di velocità per le ore 24:00 (colmo di piena polcevera) e 03:00.	37
Figura 3-12. risultati ottenuti per gli eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni. campo di velocità per le ore 06:00 e 09:00 (coda della piena).	37
Figura 3-13. Dettaglio dei risultati ottenuti alla foce del torrente polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità per le ore 21:00, 24:00 (colmo di piena), 03:00 e 06:00 (coda della piena).	38
Figura 3-14. portate liquide nelle sezioni di controllo alla foce del polcevera. CS01, CS02, CS03 (foce polcevera), CS04 (sampierdarena), CS06 (bocca di ponente), CS07 (canale di calma).	38

Figura 3-15. (sinistra) velocità ottenute nei punti di osservazione P01, P02 (foce polcevera), P03, P04, P05 (area a valle della foce). (destra) velocità ottenute nei punti di osservazione P06, P07, P08 (canale di calma), P09 (bocca di Ponente), P10 (bacino sampierdarena).	39
Figura 3-16. portate liquide nelle sezioni CS12 (foce Bisagno), CS11 (bocca di levante), CS10 (bettolo), CS09 (sampierdarena).	39
Figura 3-17. velocità mediate sulla verticale ottenute nei punti di osservazione B03, B04, B05 e B11 alla foce del bisagno.	39
Figura 3-18. Dettaglio dei risultati ottenuti alla foce del torrente bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità per le ore 18:00, 21:00 (colmo di piena), 24:00 e 03:00 (coda della piena).	40
Figura 3-19. concentrazione del sedimento in sospensione per le ore 21:00, 24:00 (colmo di piena), 3:00, 6:00 e 9:00 per l'evento di piena del polcevera con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$.	42
Figura 3-20. Sedimentazione ed erosione cumulata ottenuta alla foce del polcevera dopo 36 ore di simulazione.	43
Figura 3-21. Volume dei sedimenti cumulato, valutato per le sezioni cs02, cs03 (foce del polcevera), cs04 (bacino sampierdarena), cs06 (bocca di ponente) cs07 (canale di calma).	43
Figura 3-22. Sedimentazione cumulata ottenuta nei punti di osservazione P03, P04, P05 (foce del polcevera), P06, P07, P08 (canale di calma), P09 (bocca di ponente) e P10 (bacino sampierdarena).	44
Figura 3-23. concentrazione del sedimento in sospensione per le ore 18:00, 21:00 (colmo di piena), 00:00 e 03:00 (coda di piena) per l'evento di piena del bisagno con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$.	45
Figura 3-24. Volume dei sedimenti cumulato valutato per le sezioni CS11(foce del bisagno), CS13 (bocca di levante).	45
Figura 3-25. Sedimentazione cumulata ottenuta nei punti di osservazione B05, B07, B10, B11 (foce del bisagno) e B06, B08 (bocca di levante).	46
Figura 3-26. Sedimentazione ed erosione cumulata ottenuta alla foce del bisagno dopo 36 ore di simulazione.	46
Figura 3-27. Dominio di calcolo per la soluzione S3 - fase a	47
Figura 3-28. Dominio di calcolo per la soluzione S3 - fase b.	47
Figura 3-29. Soluzione 3 - fase a). risultati ottenuti per gli eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni. campo di velocità per le ore 21:00 e 24:00 (colmo di piena polcevera).	48
Figura 3-30. Soluzione 3 - fase b). risultati ottenuti per gli eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni. campo di velocità per le ore 21:00 e 24:00 (colmo di piena polcevera).	48
Figura 3-31. Soluzione 3 - fase a). risultati ottenuti alla foce del torrente polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità per le ore 21:00, 24:00 (colmo di piena), 03:00 e 06:00 (coda della piena).	49

- Figura 3-32. portate nelle sezioni di controllo alla foce del polcevera. CS01, CS02, CS03 (foce polcevera), CS04 (sampierdarena), CS06 (bocca di ponente), CS07 (canale di calma) ottenute per la soluzione S3.a e S3.b. 49
- Figura 3-33. portate nella sezione di controllo CS11(bocca di levante) ottenute per lo stato attuale, per la soluzione S3.a e S3.b. 50
- Figura 3-34. Soluzione 3 - fase b). risultati ottenuti alla foce del torrente polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità per le ore 21:00, 24:00 (colmo di piena), 03:00 e 06:00 (coda della piena). 50
- Figura 3-35. Soluzione 3 - fase a). risultati ottenuti alla foce del torrente Bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità per le ore 18:00, 21:00 (colmo di piena), 24:00 e 03:00 (coda della piena). 51
- Figura 3-36. Soluzione 3 - fase b). risultati ottenuti alla foce del torrente Bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 10 anni con portata al colmo $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità per le ore 18:00, 21:00 (colmo di piena), 24:00 e 03:00 (coda della piena). 52
- Figura 3-37. Sedimentazione ed erosione cumulata ottenuta alla foce del polcevera per la portata con $Tr = 10$ anni dopo 36 ore di simulazione. soluzione S3 - fase a (S3.a) 52
- Figura 3-38. Sedimentazione ed erosione cumulata ottenuta alla foce del polcevera per la portata con $Tr = 10$ anni dopo 36 ore di simulazione. (diagramma a destra) soluzione S3 - fase b (S3.b) 53
- Figura 3-39. Sedimentazione ed erosione cumulata ottenuta alla foce del Bisagno per la portata con $Tr = 10$ anni dopo 36 ore di simulazione. (diagramma a sinistra) soluzione S3 - fase a (S3.a) (diagramma a destra) soluzione S3 - fase b (S3.b) 53
- Figura 3-40. Differenza del campo idrodinamico tra la soluzione S3 e lo stato attuale per gli eventi di piena con $Tr = 10$ anni in corrispondenza del colmo del bisagno (in alto) e del polcevera (in basso). S3 - Fase a) (a sinistra) – S3 fase b) (a destra). 55
- Figura 3-41. Variazione, rispetto allo stato attuale, della concentrazione del sedimento in sospensione (al colmo di piena del polcevera) ottenuta per la soluzione S3 in occasione di un evento di piena simultanea del polcevera e del bisagno con $tr = 10$ anni. fase a) (a sinistra) - fase b) (a destra). 57
- Figura 3-42. Variazione, rispetto allo stato attuale, della sedimentazione e dell'erosione cumulata all'interno del dominio di calcolo ottenuta per la soluzione S3 al termine delle 36 ore di simulazione in occasione di un evento di piena simultaneo del polcevera e del bisagno con $tr = 10$ anni. fase a) (a sinistra) - fase b) (a destra). 57
- Figura 4-1. Stato Attuale. risultati ottenuti alla foce del torrente Polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni con portata al colmo $Q = 1377 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 24:00 (colmo di piena). 59
- Figura 4-2. Stato Attuale. risultati ottenuti alla foce del torrente Polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni con portata al colmo $Q = 1763 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 24:00 (colmo di piena). 59

- Figura 4-3. Stato Attuale. risultati ottenuti alla foce del torrente Bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni con portata al colmo $Q_{res} = 710 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 21:00 (colmo di piena). 60
- Figura 4-4. Stato Attuale. risultati ottenuti alla foce del torrente Bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni con portata al colmo $Q_{res} = 750 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 21:00 (colmo di piena). 60
- Figura 4-5. Soluzione S3 in fase a). risultati ottenuti alla foce del torrente Polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni con portata al colmo $Q = 1377 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 24:00 (colmo di piena). 61
- Figura 4-6. Soluzione S3 in fase a). risultati ottenuti alla foce del torrente Polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni con portata al colmo $Q = 1763 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 24:00 (colmo di piena). 61
- Figura 4-7. Soluzione S3 in fase b). risultati ottenuti alla foce del torrente Polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni con portata al colmo $Q = 1377 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 24:00 (colmo di piena). 62
- Figura 4-8. Soluzione S3 in fase b). risultati ottenuti alla foce del torrente Polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni con portata al colmo $Q = 1763 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 24:00 (colmo di piena). 63
- Figura 4-9. Soluzione S3 in fase b). risultati ottenuti alla foce del torrente Bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni con portata al colmo $Q_{res} = 710 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 21:00 (colmo di piena). 63
- Figura 4-10. Soluzione S3 in fase b). risultati ottenuti alla foce del torrente Bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni con portata al colmo $Q_{res} = 750 \text{ m}^3/\text{s}$. campo di velocità alle ore 21:00 (colmo di piena). 64
- Figura 4-11. Confronto dei livelli idrici ottenuti nel tratto terminale e alla foce del polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni con portata al colmo $Q = 1377 \text{ m}^3/\text{s}$. stato attuale (blu), Soluzione S3.b (rosso). 66
- Figura 4-12. Confronto dei livelli idrici ottenuti nel tratto terminale e alla foce del polcevera per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni con portata al colmo $Q = 1763 \text{ m}^3/\text{s}$. stato attuale (blu), Soluzione S3.b (rosso). 66
- Figura 4-13. Confronto dei livelli idrici ottenuti nel tratto terminale e alla foce del Bisagno per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni con portata al colmo $Q_{res} = 750 \text{ m}^3/\text{s}$. stato attuale (blu), Soluzione S3.b (rosso). 66
- Figura 4-14. Differenza del campo idrodinamico alla foce del polcevera tra la soluzione di progetto S3 e lo stato attuale per gli eventi di piena con $Tr = 50$ anni (in alto) e $Tr = 200$ anni (in basso). S3 fase a) (a sinistra) – S3 fase b) (a destra). 67
- Figura 4-15. Differenza del campo idrodinamico alla foce del Bisagno tra la soluzione di progetto S3 in fase b) e lo stato attuale per gli eventi di piena con $Tr = 50$ anni (a sinistra) e $Tr = 200$ anni (a destra). 68

INDICE TABELLE

Tabella 2-1. Valori di portata al colmo di piena alla foce per i torrenti polcevera e bisagno per differenti tempi di ritorno	20
Tabella 2-2. Costanti armoniche per il porto di Genova (fonte I.I.M.M.)	25
Tabella 3-1. Valori di portata liquida e di portata solida associati agli eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni per i torrenti polcevera e bisagno.	28

1. PREMESSE

1.1. Introduzione

Il presente studio, redatto nell'ambito della Fase 2 del servizio, inerente il progetto di fattibilità tecnico economica per la realizzazione della Nuova Diga Foranea del porto di Genova, riguarda l'analisi dell'idrodinamica delle foci dei torrenti Polcevera e Bisagno e della sedimentazione all'interno delle aree portuali.

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 e organizzazione del lavoro

Il presente studio si è posto l'obiettivo di valutare le problematiche relative agli aspetti di idrodinamica e di sedimentazione nelle aree portuali prossime alla foce dei torrenti Polcevera e Bisagno in relazione alla nuova configurazione portuale prevista dalla realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova.

La soluzione selezionata e analizzata nel presente studio è la Soluzione 3 riportata in Figura 1-1, dove sono distinte le due Fasi realizzative a) e b).

Il lavoro si è sviluppato in due fasi.

La prima fase ha avuto l'obiettivo di valutare l'idrodinamica e i processi di sedimentazione nel bacino portuale indotti dal trasporto solido fluviale di interesse ai fini dell'operatività del porto. Di conseguenza si è posta l'attenzione ad eventi di piena tali da presentare il doppio requisito di risultare sufficientemente rilevanti dal punto di vista delle portate liquide e solide immesse in mare (in relazione al regime torrentizio dei corsi d'acqua), e sufficientemente frequenti da poter influenzare l'operatività del porto. Per condurre lo studio si è quindi fatto riferimento ad eventi di piena fluviale aventi tempi di ritorno di 10 anni. Lo studio, di tipo comparativo, è stato condotto sia in relazione alla situazione attuale che a quella di progetto nelle due fasi realizzative.

L'obiettivo della seconda fase invece è stato quello di valutare se la nuova configurazione delle opere foranee portuali potesse modificare il profilo di rigurgito dei tratti terminali dei due torrenti in relazione ad eventi di piena estremi caratterizzati dal tempo di ritorno di 50 e di 200 anni. Anche in questo caso lo studio è stato di tipo comparativo rispetto alla situazione attuale e ha riguardato le due fasi realizzative.

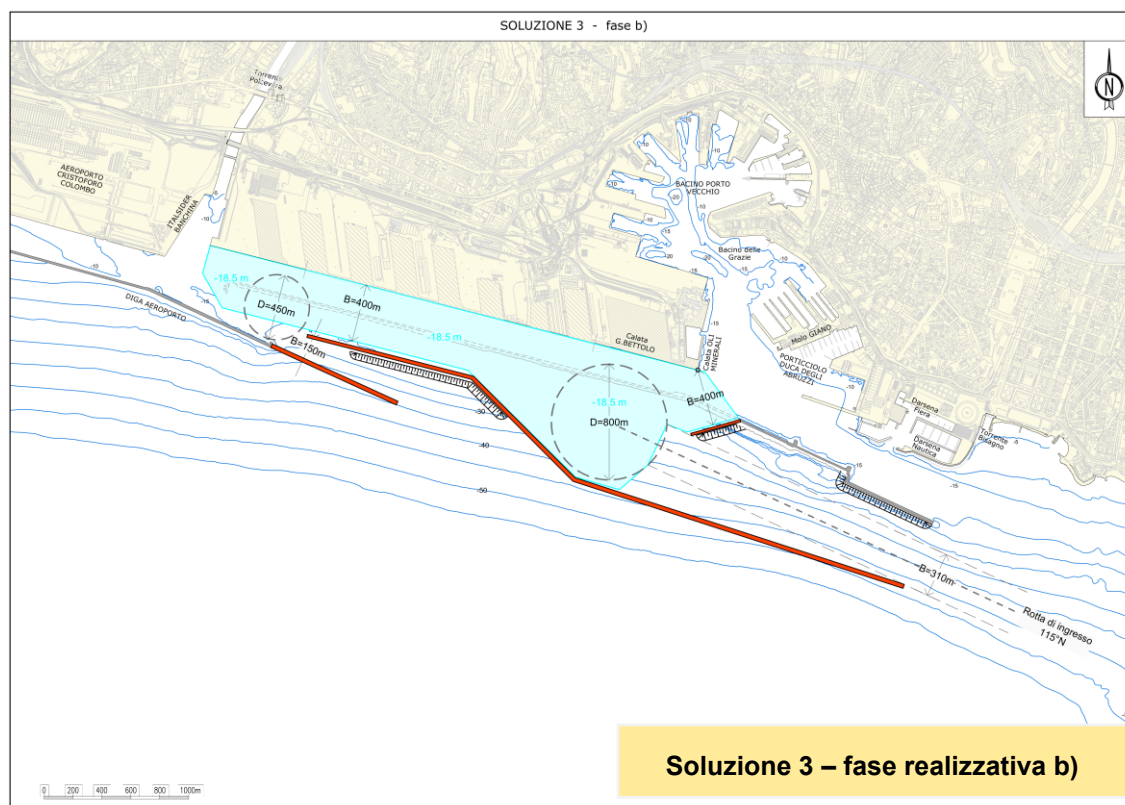
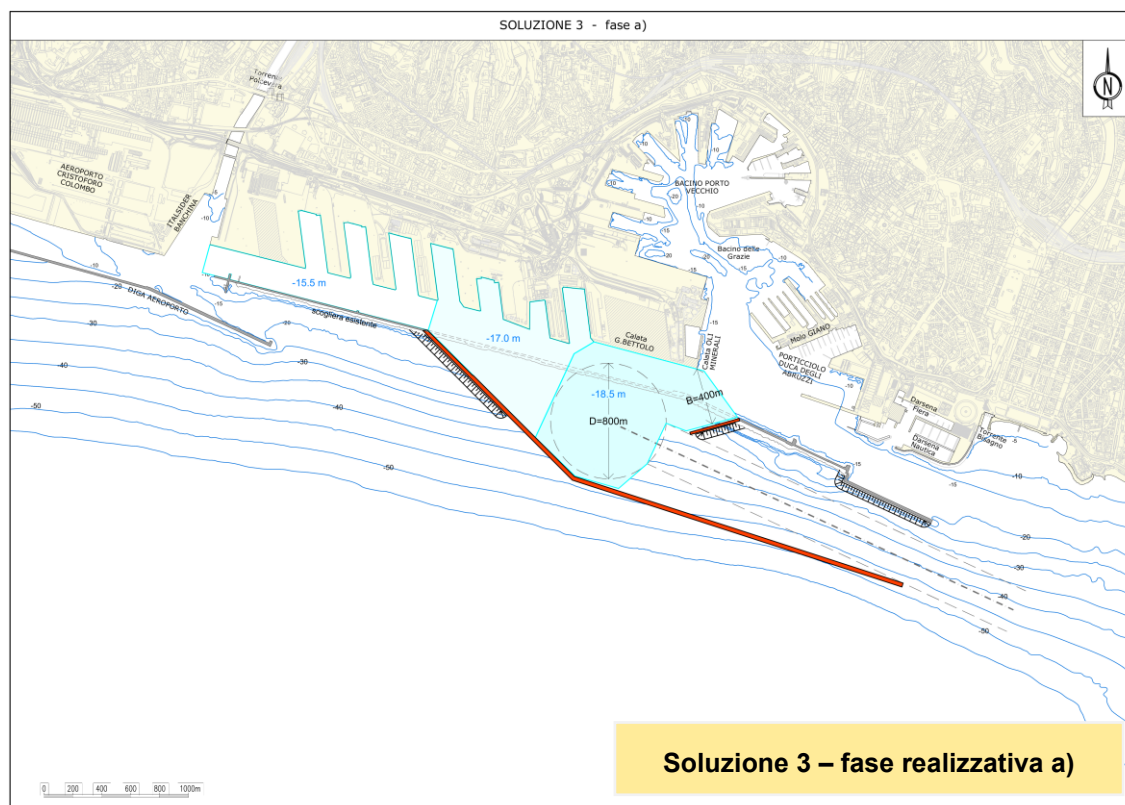


FIGURA 1-1. CONFIGURAZIONE PLANIMETRICA DELLA SOLUZIONE 3 - FASE A) E FASE B).

In questo contesto gli eventi di piena esaminati per i due corsi d'acqua sono stati selezionati assumendo un tempo di ritorno di 10 anni, ovvero eventi che mediamente vengono raggiunti o superati più volte durante la vita economica dell'opera e quindi di interesse ai fini dell'operatività e manutenzione del porto.

Lo studio si è poi rivolto alla valutazione delle condizioni di deflusso alla foce del Polcevera e del Bisagno in occasione di eventi di piena estremi, caratterizzati da un elevato tempo di ritorno (50 e 200 anni), al fine di valutare se le opere in progetto possano determinare variazioni al deflusso dei due corsi d'acqua rispetto alla condizione attuale.

1.3. Metodologia di analisi

Con riferimento alla Figura 1-2, il “sistema portuale di Genova”, è contraddistinto da tre dighe foranee che si estendono, quasi senza soluzione di continuità, su una lunghezza complessiva di circa 14,0 km di costa alta e rocciosa a protezione del Porto di Genova, dell'aeroporto e del Porto di Voltri.

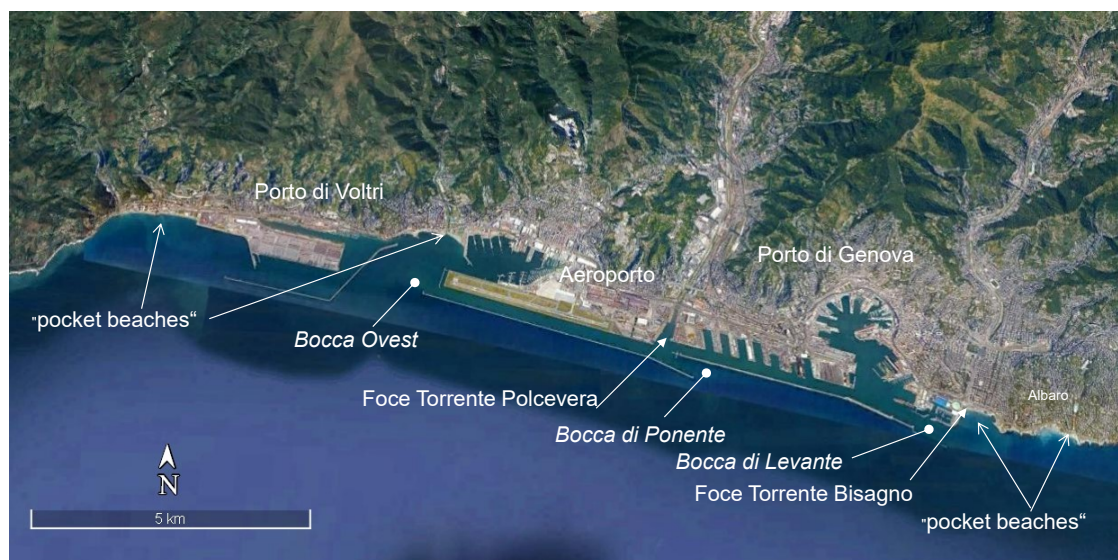


FIGURA 1-2 - INQUADRAMENTO DEL PORTO DI GENOVA

A levante e a ponente delle opere foranee sorgono alcune piccole insenature delimitate da promontori rocciosi che comprendono al loro interno alcune “spiagge a tasca” (“pocket beaches”) di estremo interesse dal punto di vista sociale e ambientale.

In ragione della natura rocciosa della costa e dei fondali elevati, il trasporto solido costiero longitudinale, ovvero quello parallelo alla costa, indotto dal moto ondoso frangente risulta trascurabile. L'assenza di trasporto solido costiero longitudinale ha infatti consentito di realizzare il sistema portuale secondo il classico schema con “diga foranea distaccata (non collegata a terra) disposta parallelamente alla costa”. L'utilizzo di questa tipologia di assetto planimetrico, contraddistinto da almeno una doppia imboccatura per il porto, è

possibile solo nel caso di assenza di trasporto solido costiero perché in caso contrario si verificherebbero rilevanti fenomeni di interrimento delle imboccature portuali.

Focalizzando l'attenzione al Porto di Genova, le principali sorgenti di apporti solidi che possono causare l'interrimento delle aree portuali sono costituite dalle foci dei Torrenti Polcevera e Bisagno (vedi Figura 1-2). La foce del primo è localizzata in prossimità della Bocca di Ponente del Porto di Genova, mentre la seconda si trova subito ad Est della Bocca di Levante, che attualmente costituisce l'imboccatura principale del porto. Le due foci fluviali allo stesso tempo possono causare interferenze con le attività portuali.

I due corsi d'acqua presentano un regime torrentizio e di conseguenza i loro apporti solidi al bacino portuale sono concentrati esclusivamente quando avvengono gli eventi di piena.

La foce del Polcevera è dotata nella sua sezione terminale di una vasca di sedimentazione, avente lo scopo di trattenere il "trasporto solido fluviale di fondo", caratterizzato dalle maggiori granulometrie, per evitare che questo possa immettersi nel bacino portuale. La vasca richiede interventi di manutenzione periodica rivolti a rimuovere il materiale solido di maggiori dimensioni "catturato" dalla vasca stessa.

Pertanto, in occasione degli eventi di piena l'idrodinamica delle foci fluviali interessa anche le zone portuali poste in prossimità delle foci dei due torrenti, potendo interferire con le attività portuali (navigazione e ormeggio delle navi). L'interferenza idrodinamica del Bisagno riguarda principalmente gli aspetti navigazionali dell'imboccatura principale del porto (bocca di Levante), mentre quella del Polcevera riguarda anche le banchine e i canali di navigazione posti in prossimità della Bocca di Ponente.

Alla luce di queste considerazioni per analizzare i processi di deflusso e sedimentazione alla foce dei due corsi d'acqua ci si è posti i seguenti obiettivi:

- caratterizzare i campi idrodinamici delle aree portuali limitrofe alle due foci allo scopo di quantificare le possibili interferenze delle piene fluviali con le attività portuali;
- caratterizzare gli apporti solidi dei due corsi d'acqua che potrebbero determinare, sempre in occasione delle piene fluviali, fenomeni di interrimento delle aree portuali;
- analizzare le condizioni di deflusso alla foce dei due corsi d'acqua nel loro tratto terminale in occasione di eventi di piena caratterizzati da un elevato tempo di ritorno (Tr 50 e 200 anni).

Come già evidenziato al paragrafo precedente per caratterizzare il deflusso e la sedimentazione in prossimità delle foci si è posta l'attenzione ad eventi di piena tali da presentare il doppio requisito di risultare sufficientemente rilevanti dal punto di vista delle

portate liquide e solide immesse in mare e sufficientemente frequenti per poter influenzare l'operatività del porto.

Pertanto gli eventi di piena esaminati sono stati selezionati assumendo un tempo di ritorno di 10 anni, tali da risultare significativi ai fini dell'operatività e manutenzione del bacino portuale.

Per la definizione delle portate liquide e solide trasportate dai due corsi d'acqua in occasione degli eventi di piena analizzati si è fatto riferimento ai numerosi studi eseguiti nel passato per i due torrenti in esame.

In particolare per il Polcevera si è esaminata una piena con tempo di ritorno decennale avente una portata al colmo pari a $939 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre per il torrente Bisagno si è esaminata una portata al colmo con tempo di ritorno decennale di $416 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto riguarda il Bisagno si evidenzia che è in fase di realizzazione un suo scolmatore che porterà una quota parte delle sue portate di piena a sfociare a mare più ad Est della attuale foce. Lo scolmatore entrerà in funzione con portate di piena caratterizzate da un tempo di ritorno superiore a 5 anni. Per le simulazioni, in via cautelativa, non si è tenuto conto dell'entrata in funzione dello scolmatore.

Per analizzare l'influenza delle nuove opere portuali sul deflusso del tratto terminale dei due torrenti in relazione alle portate di piena estreme, sono state condotte delle simulazioni specifiche applicando come condizione al contorno gli idrogrammi di piena associati ai tempi di ritorno di 50 e 200 anni.

In particolare per il Polcevera sono state esaminate piene con tempo di ritorno 50 e 200 anni aventi una portata al colmo rispettivamente pari a $1377 \text{ m}^3/\text{s}$ e $1763 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto riguarda il torrente Bisagno gli eventi di piena con tempo di ritorno 50 e 200 anni hanno un valore al colmo di $790 \text{ m}^3/\text{s}$ e $1300 \text{ m}^3/\text{s}$. Occorre però considerare che la portata massima che può transitare in alveo, al di sotto della copertura di Brignole, è compresa tra $710\text{-}750 \text{ m}^3/\text{s}$. Inoltre la futura entrata in servizio dello scolmatore di piena, assicurerà lo scolmo di una portata pari a $420 \text{ m}^3/\text{s}$ per l'evento duecentennale (portata in arrivo da monte pari a $1,050 \text{ m}^3/\text{s}$), ed il rilascio verso valle della portata di $630 \text{ m}^3/\text{s}$. Alla luce di tali osservazioni le simulazioni sono state condotte assumendo per $Tr = 50$ anni la portata al colmo dell'evento di piena di $710 \text{ m}^3/\text{s}$ e per $Tr = 200$ anni la portata al colmo di $750 \text{ m}^3/\text{s}$.

Lo studio è stato condotto applicando il modello numerico di idrodinamica e trasporto di sedimenti Delft3D-FLOW, un codice di calcolo per processi idrodinamici e morfologici sviluppato dall'istituto olandese Deltares.

È stata presa in esame un'area di studio che si estende dall'aeroporto di Genova, a Ponente, sino a Genova Albaro a Levante, generando una griglia di calcolo con un passo di discretizzazione di circa 20 m.

La griglia di calcolo è stata definita sulla base dei più recenti dati batimetrici a disposizione, compresi quelli forniti dal recente rilievo batimetrico condotto nell'ambito del presente progetto di fattibilità, che ha riguardato lo specchio di mare prospiciente alla diga foranea del Porto di Genova.

Le simulazioni idrodinamiche hanno riguardato una finestra temporale complessiva di circa 48 ore per entrambe le foci fluviali e sono state condotte considerando in corrispondenza delle foci dei due torrenti gli idrogrammi di piena definiti sulla base di studi eseguiti nel passato per l'AdSP e per altri enti territoriali e imponendo, sul contorno lato mare, la presenza di una marea astronomica media in condizioni di sizigia.

Agli eventi di piena considerati con $T_r = 10$ anni è stata correlata la portata solida, desunta sulla base degli studi eseguiti nel passato, per i due corsi d'acqua in esame.

1.4. Sintesi dei risultati ottenuti

Il deflusso alla foce del Polcevera è fortemente condizionato dalla geometria delle opere portuali. Il torrente Polcevera si immette all'interno della darsena, di forma trapezoidale, compresa tra la banchina Italsider e la banchina Ronco, caratterizzata da profondità comprese tra 10.0 e 12.5 m. Le dighe foranee che delimitano il bacino Sampierdarena e il canale di calma dell'aeroporto ostacolano parzialmente il libero deflusso a mare del corso d'acqua.

Con riferimento alla situazione attuale, immediatamente a valle della foce del Polcevera le velocità ottenute nel bacino portuale, a seguito della simulazione dell'evento di piena con $T_r = 10$ anni con portata al colmo Q_c di 939 m³/s, risultano dell'ordine di 200-250 cm/s, e si riducono a 50-80 cm/s all'interno della darsena.

Le velocità nella bocca di ponente e nel canale di calma dell'aeroporto risultano comprese tra 20 e 25 cm/s, mentre nel bacino Sampierdarena la velocità massima ottenuta è di poco inferiore a 10 cm/s.

Il Bisagno sfocia a mare su fondali naturali variabili tra un minimo di 2-3 m, a riva, fino ad arrivare a profondità comprese tra 10 e 15 m in corrispondenza dell'imboccatura di Levante.

Con riferimento alla situazione attuale, il deflusso alla foce del Bisagno è condizionato dalla presenza in destra idraulica della diga foranea del porto turistico. La corrente tende ad aderire alla scogliera e viene così indirizzata verso l'interno del porto. All'imboccatura

portuale, il flusso viene deviato verso l'esterno del porto formando un percorso a forma di "S".

Alla foce del Bisagno, per l'evento di piena con $Tr = 10$ anni con portata al colmo $Q_c = 416 \text{ m}^3/\text{s}$, le velocità ottenute si assestano su valori compresi tra un massimo di 275 cm/s e un minimo di 150 cm/s nella zona di sbocco a mare. Oltre la profondità di 10 m le velocità si attenuano sensibilmente, raggiungendo valori massimi di 50 cm/s . All'interno della bocca di Levante le velocità ottenute risultano modeste, dell'ordine di $5\text{-}10 \text{ cm/s}$.

La soluzione di progetto selezionata, S3 è stata concepita cercando di limitare le interferenze sul deflusso alla foce del Polcevera e del Bisagno.

I risultati ottenuti mostrano chiaramente che per eventi di piena ordinari il campo idrodinamico non viene alterato in modo significativo dalla configurazione delle nuove opere foranee e il deflusso delle portate al colmo di piena non viene ostacolato in alcun modo.

Inoltre le variazioni del campo idrodinamico ottenute alla foce dei due torrenti in occasione di un evento di piena ordinario, con $Tr = 10$ anni, non vanno ad interferire in alcun modo con la navigazione.

I risultati ottenuti a seguito delle simulazioni riguardanti la **Soluzione S3 in fase a)** hanno evidenziato che la formazione dell'ampio bacino di evoluzione, previsto nello specchio acqueo prospiciente alla calata Bettolo, favorisce il richiamo delle acque del Bisagno all'interno del porto.

La portata entrante nel bacino portuale, che risulta più elevata rispetto allo stato attuale, si ripartisce in due flussi: un flusso, diretto verso Ovest, che si sviluppa all'interno del bacino di Sampierdarena, come avviene attualmente, ma con una portata inferiore; l'altro esce dalla nuova imboccatura e si ricongiunge alla circolazione antioraria che si instaura alla foce del Bisagno.

La corrente del Polcevera, come per lo stato attuale, defluisce inizialmente attraverso l'imboccatura di Ponente e il bacino di Sampierdarena per poi trovare sbocco all'interno del canale di calma dell'aeroporto.

Le variazioni di portata, rispetto allo stato attuale, ottenute nelle sezioni di controllo in prossimità del Polcevera, sono marginali.

Gli interventi di ampliamento del bacino Sampierdarena, l'approfondimento dei fondali e il prolungamento della diga dell'aeroporto verso levante, previsti per la realizzazione della **Soluzione S3 in fase b)**, vanno ad alterare in modo più significativo le condizioni di deflusso alla foce del Polcevera.

La corrente alla foce del Polcevera risulta deviata verso levante, all'interno del bacino di Sampierdarena, dove la portata viene quasi raddoppiata rispetto allo stato attuale.

Si evidenzia che gli apporti solidi dei torrenti Polcevera e Bisagno sono generalmente molto modesti e assumono rilevanza solo in occasione di eventi di piena contraddistinti da un tempo di ritorno dell'ordine di 5-10 anni.

Il trasporto solido che può interessare lo specchio acqueo portuale è esclusivamente il trasporto solido in sospensione.

Nelle simulazioni degli eventi di piena ordinari non si è tenuto conto dell'effetto dello scolmatore di piena del Bisagno che entrerà in funzione per portate aventi tempi di ritorno superiore a 5 anni, tale approccio risulta certamente cautelativo per la valutazione dei processi di sedimentazione all'interno dello specchio acqueo portuale.

L'evento di piena del Polcevera simulato, associato ad un tempo di ritorno di 10 anni, ha un apporto di sedimenti a mare complessivo di circa 18.000 m³.

Con riferimento allo stato attuale, la concentrazione dei sedimenti in sospensione al colmo di piena risulta più elevata in prossimità della foce, nel tratto iniziale del canale di calma dell'aeroporto e nella parte più occidentale del bacino Sampierdarena.

A poche ore dal colmo di piena, si verifica una quasi totale sedimentazione degli apporti solidi in sospensione, che risulta confinata alla zona di foce ed alle aree immediatamente limitrofe.

La sedimentazione all'interno del bacino portuale avviene in maggior misura all'interno della darsena dove sfocia il Polcevera dove si verifica la deposizione di 5.000-6.000 m³ di sedimenti, cui corrisponde uno spessore di circa 40-50 cm con un trend depositivo più elevato a ridosso delle banchine. Il volume residuo viene disperso all'interno del canale di calma, nell'imboccatura di Ponente e in parte nel bacino Sampierdarena. Gli spessori ottenuti al termine della simulazione nel canale di calma, alla bocca di Ponente e all'interno del Bacino di Sampierdarena risultano compresi tra 5 e 15 cm.

Gli apporti del Bisagno risultano nettamente inferiori a quelli del Polcevera. Sempre con riferimento allo stato attuale la concentrazione dei sedimenti in sospensione ottenuta a seguito della piena risulta maggiore in prossimità della foce, a ridosso della diga del porto turistico. I sedimenti in sospensione sono trascinati anche all'interno dell'imboccatura di Levante e verso il largo oltre la testata della diga foranea del porto.

A poche ore dal colmo si osserva una rapida riduzione della concentrazione a seguito della sedimentazione dei sedimenti in sospensione.

Il volume degli apporti solidi (pari a circa 3200 m³) viene disperso in prossimità della foce del Bisagno e solo una piccola frazione riesce a penetrare all'interno del porto.

Lo spessore dei sedimenti depositati alla fine della simulazione è di pochi centimetri. I valori più elevati si rilevano alla foce con spessori compresi tra 5 e 10 cm mentre all'imboccatura di Levante risulta compreso tra un minimo di 0.1-0.5 cm e un massimo di 2-3 cm.

Rispetto allo stato attuale i risultati ottenuti per la Soluzione di progetto S3 presentano una variazione poco rilevante. La concentrazione del sedimento in sospensione all'interno del bacino di Sampierdarena, al colmo dell'evento di piena del Polcevera, risulta poco più elevata (circa il 5%) rispetto all'attuale, mentre nel canale di calma si osserva una riduzione della concentrazione del sedimento in sospensione.

La variazione della concentrazione dei sedimenti in sospensione alla foce del Bisagno ottenuta per la soluzione di progetto risulta molto modesta rispetto allo stato attuale (inferiore al 2%).

L'incremento degli spessori di sedimentazione all'interno del bacino di Sampierdarena e dell'imboccatura di Ponente, per l'evento di piena con $T_r=10$ anni, risulta, per la **Soluzione S3 in fase a)**, dell'ordine di 1÷3 cm, mentre, all'imboccatura di Levante, l'incremento ottenuto risulta dell'ordine di 1 cm.

I risultati ottenuti per la **fase b)** evidenziano una tendenza alla sedimentazione all'interno del bacino portuale più marcata che, in corrispondenza della porzione più occidentale del bacino di Sampierdarena, presenta un incremento dello spessore dei sedimenti depositati, in occasione di un evento di piena significativo, compreso tra 1 e 5 cm rispetto allo stato attuale.

Il deflusso degli eventi di piena estremi, associati a tempi di ritorno di 50 e 200 anni, nel tratto terminale dei due corsi d'acqua in prossimità della foce non risente delle nuove opere portuali previste da progetto.

Le velocità in alveo in occasione degli eventi estremi simulati è molto elevata (circa 4-6 m/s) ed in prossimità delle foci si ha un passaggio da corrente lenta a veloce. La formazione di un risalto idraulico alla foce determina una disconnessione idraulica tra il tratto a monte della foce e il bacino portuale. I livelli idrici ottenuti in alveo non subiscono pertanto variazioni rispetto alla situazione attuale.

Nell'area di sbocco a mare i flussi ottenuti presentano ancora velocità molto sostenute, comprese tra 1.0 e 4.0 m/s. La nuova configurazione portuale determina una diversa circolazione idrica con conseguente deviazione dei flussi rispetto alla situazione attuale.

Il flusso del Polcevera in fase realizzativa a) viene indirizzato a defluire prevalentemente attraverso la bocca di Ponente. In fase realizzativa b) il flusso viene deviato verso Levante dove trova ampio spazio per disperdersi all'interno del nuovo bacino ampliato di Sampierdarena seguendo una circolazione antioraria.

1.5. Conclusioni e raccomandazioni

Gli apporti solidi del torrente Polcevera tendono a depositarsi naturalmente all'interno del bacino portuale. I processi di sedimentazione risultano più importanti immediatamente a valle della foce dove, in occasione di eventi di piena, tende a depositarsi la maggior parte dei sedimenti in sospensione con spessori dell'ordine del metro.

La sedimentazione all'interno del bacino portuale di Sampierdarena, in occasione di un evento di piena decennale, a seguito della realizzazione delle opere foranee per la Nuova diga del Porto di Genova risulta di modesta entità, dell'ordine di qualche centimetro, al pari di quanto ottenuto per lo stato attuale.

Sarà comunque necessario garantire un continuo monitoraggio dei fondali nell'area di foce del Polcevera, con frequenza annuale o comunque in seguito ad eventi di piena significativi, anche al fine di programmare interventi di manutenzione necessari per assicurare il regolare deflusso delle piene del Polcevera. Tali attività consentiranno di verificare il mantenimento dei fondali di progetto al piede delle banchine del bacino Sampierdarena più prossime alla zona di foce.

Allo scopo di limitare gli apporti solidi all'interno del bacino portuale dovrà comunque essere garantita l'efficienza della vasca di sedimentazione posta in prossimità della foce del Polcevera con regolari interventi di manutenzione.

La sedimentazione ottenuta alla bocca di Levante, dovuta agli apporti solidi del Bisagno in occasione di un evento di piena decennale, risulta molto modesta, dell'ordine pochissimi centimetri. Le nuove opere foranee previste per tutte e tre le soluzioni selezionate per la realizzazione della Nuova diga del Porto di Genova determinano un lieve incremento della sedimentazione alla bocca di Levante che risulta comunque nel complesso molto modesta in misura di pochi centimetri.

2. DATI BASE DI RIFERIMENTO

Per la redazione del presente studio si è fatto riferimento agli studi pregressi di interesse, da cui sono stati desunti i dati idrologici e di trasporto solido fluviale, i dati batimetrici e le caratteristiche mareografiche locali.

2.1. Studi di riferimento

Per lo svolgimento dello studio sono stati presi come riferimento gli elaborati ufficiali relativi al Piano di Bacino della Regione Liguria, integrati con le informazioni reperibili da studi pregressi e con il quadro conoscitivo messo a disposizione dall'Autorità di Sistema Portuale.

In particolare gli studi di riferimento per il presente studio sono i seguenti:

- [1] Autorità di Bacino Regione Liguria. Torrente Bisagno, Piano di bacino per la tutela dal rischio idrogeologico, in vigore dal 2017;
- [2] Autorità di Bacino Regione Liguria. Torrente Polcevera, Piano di bacino per la tutela dal rischio idrogeologico, in vigore dal 2017;
- [3] Autorità di Bacino Regione Liguria. Approfondimento idraulico dei piani di bacino dei torrenti Bisagno e Chiaravagna. Torrente Bisagno e Rio Fereggiano – Analisi idrologica e idraulica, DHI-ART 2014;
- [4] Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale. Relazione specialistica di modellazione corrente e sedimentazione imboccatura di ponente, DHI settembre 2017;
- [5] Autostrade per l'Italia. Progetto Definitivo Opera a Mare nel Canale di Calma, Idraulica: relazione idrodinamica e dispersiva, Spea-Technital, 2012;
- [6] Commissario Straordinario Ricostruzione Viadotto del Polcevera, Progetto Esecutivo di I° Livello. Studio idrologico del bacino del torrente Polcevera, Italferr-Rina, 2019.
- [7] Provincia di Genova. Progetto Definitivo Scolmatore del torrente Bisagno nel Comune di Genova. Relazione idraulica, Technital, 2007.

2.2. Idrologia

Il torrente Polcevera convoglia a mare le acque provenienti da un bacino idrografico di circa 138 km² e la sua foce si colloca all'interno del porto di Genova in prossimità della bocca di Ponente.

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

Le foci di entrambi i corsi d'acqua sono state fissate con la realizzazione di opere che controllano il loro sbocco a mare. In Figura 2-1 è riportato l'inquadramento dello sbocco a mare dei due torrenti e viene evidenziata la vasca di sedimentazione alla foce del Polcevera.

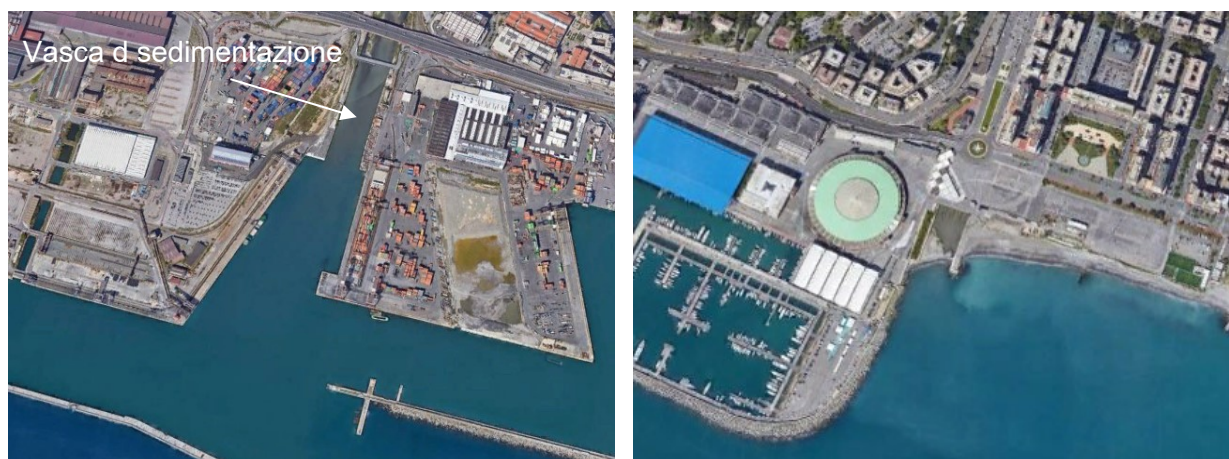


FIGURA 2-1. OPERE DI FOCE DEI TORRENTI POLCEVERA (SINISTRA) E BISAGNO (DESTRA)

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idrologica dei bacini dei torrenti Polcevera e Bisagno è attualmente riportato nel Piano di Bacino Stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico.

Sulla base del quadro conoscitivo desunto dai predetti studi, si riportano in Tabella 2-1 i valori di portata di piena al colmo Q_c (m³/s), valutati alla foce dei due corsi d'acqua, per diversi tempi di ritorno T_r (anni).

Ulteriori analisi idrologiche e idrauliche di dettaglio sono state condotte dal gruppo DHI-ART, sempre nell'ambito del Piano di Bacino del torrente Bisagno, per la modellazione monodimensionale e bidimensionale del tratto di valle [3].

TABELLA 2-1. VALORI DI PORTATA AL COLMO DI PIENA ALLA FOCE PER I TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO PER DIFFERENTI TEMPI DI RITORNO

Tempo di ritorno	Torrente Polcevera	Torrente Bisagno
(anni)	Q (m³/s)	Q (m³/s)
10	939(*)	416
50	1377	790
100	1569(*)	1018
200	1763	1301
500	2006	1785

(*)valori ricavati per interpolazione dei valori forniti

Nell'ambito del suddetto studio sono stati determinati, con un modello di afflussi/deflussi, gli idrogrammi di piena assegnati ai tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni per il torrente Bisagno. In Figura 2-2 sono riportati gli idrogrammi di piena ottenuti per 4 sezioni di controllo lungo il tratto terminale del Bisagno in funzione dei tempi di ritorno indicati. La sezione 4 indicata in figura è posta in prossimità della foce.

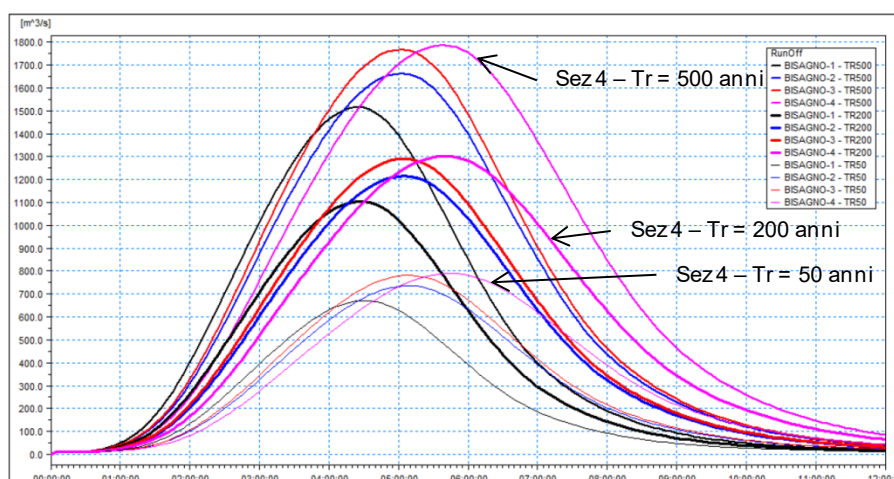


FIGURA 2-2. IDROGRAMMI DI ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO T_R RELATIVI AL TORRENTE BISAGNO CALCOLATI CON IL MODELLO IDROLOGICO (ESTRATTO DA DHI-ART [3]).

Ai fini del presente studio occorre considerare che la portata alla foce del torrente Bisagno risulta limitata al valore massimo compreso tra 650 e 750 m³/s anche in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno superiore a 50 anni.

Le simulazioni idrauliche condotte per l'autorità di bacino con modello bidimensionale hanno mostrato infatti che il tratto terminale del torrente Bisagno, nel tratto compreso tra Ponte Serra e la copertura Brignole, è soggetto a fenomeni di esondazione per portate superiori 650 m³/s.

La portata massima che può defluire nel tratto compreso tra l'imboccatura della copertura Brignole e la foce risulta essere pari a circa 650-750 m³/s.

In futuro la realizzazione dello scolmatore assicurerà lo scolmo di una portata pari a 420 m³/s per l'evento duecentennale (portata in arrivo da monte pari a 1,050 m³/s), ed il rilascio verso valle della portata di 630 m³/s in condizioni di sicurezza (rispetto dei franchi idraulici sopra richiamati e fissati dal Piano di Bacino del torrente Bisagno).

Recentemente, per la progettazione esecutiva del nuovo viadotto sul Polcevera, è stato condotto da Italferr-Rina uno studio idrologico di dettaglio relativo al torrente Polcevera [5], finalizzato alla valutazione delle portate al colmo di piena e dei relativi idrogrammi per le verifiche idrauliche del nuovo viadotto.

Nell'ambito del suddetto studio sono stati determinati gli idrogrammi di piena alla foce riportati in Figura 2-3, associati ai tempi di ritorno 50, 200, 500 e 1000 anni, ottenuti a seguito dell'applicazione di un modello afflussi/deflussi.

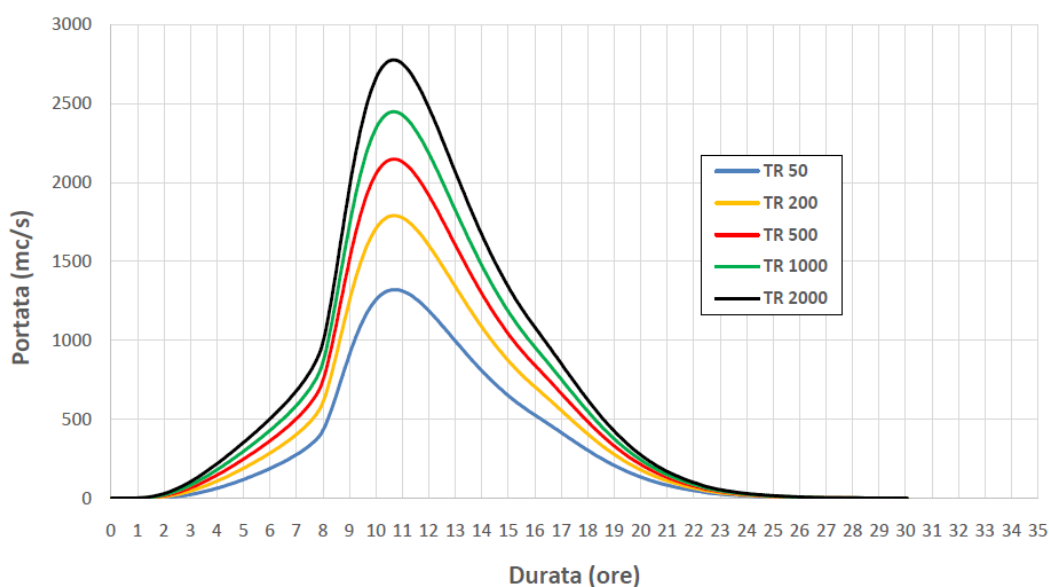


FIGURA 2-3.TORRENTE POLCEVERA: IDROGRAMMI DI PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO (ESTRATTO DA ITALFERR-RINA [5]).

2.3. Trasporto solido e caratteristiche dei sedimenti

2.3.1. Polcevera

Il trasporto solido del torrente Polcevera, e il conseguente apporto sedimentario al bacino portuale, è stato analizzato in modo esaustivo, per conto dell'Autorità di Sistema Portuale, dal DHI, nell'ambito degli studi di valutazione della nuova configurazione dell'imboccatura di ponente alla foce del Polcevera [4].

Lo studio, basandosi su indagini e rilievi batimetrici pregressi, ha analizzato gli apporti di materiale nella vasca di sedimentazione, integrando le analisi con le informazioni

relative ai volumi di materiale asportati durante le operazioni di dragaggio del porto e/o della vasca di sedimentazione alla foce del torrente.

È stato osservato che la vasca di sedimentazione intercetta la maggior parte del trasporto solido in ingresso, sia quello grossolano nel tratto di monte della vasca che quello fine nel suo tratto terminale. Il volume medio di sedimentazione nella vasca è stimato in circa 18.700 m³/anno mentre quello nella zona di foce a valle della vasca è pari a circa 14.500 m³/anno.

Il materiale presente nella prima parte della vasca di sedimentazione è composto da materiale incoerente grossolano (ghiaie e sabbie), caratterizzato da un valore medio del diametro caratteristico $D_{50}=8,5$ mm.

Il materiale presente nella parte terminale della vasca di sedimentazione, caratterizzato da sabbie molto fini e limi, presenta un valore medio del diametro $D_{50}=0,075$ mm, è del tutto simile a quello presente nella zona di foce a valle di essa.

Il trasporto solido a valle della vasca è pertanto costituito soltanto da materiale fino in sospensione con una frazione granulometrica compresa tra le sabbie limose ed i limi sabbiosi ($D_{50}=0,075$ mm).

Soltanto le piene eccezionali del Polcevera dispongono di un'energia sufficiente a portare a mare parte del materiale più grossolano.

Sulla base di tali considerazioni, e a seguito dell'applicazione di idonea modellistica numerica, lo studio fornisce la seguente relazione tra la portata liquida e quella solida:

$$\begin{aligned} Q_s &= 1.593885 \cdot (0.001463 \cdot Q^2 + 0.31369 \cdot Q - 10.7274) & \text{per } Q > 30 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_s &= 0 & \text{per } Q < 30 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

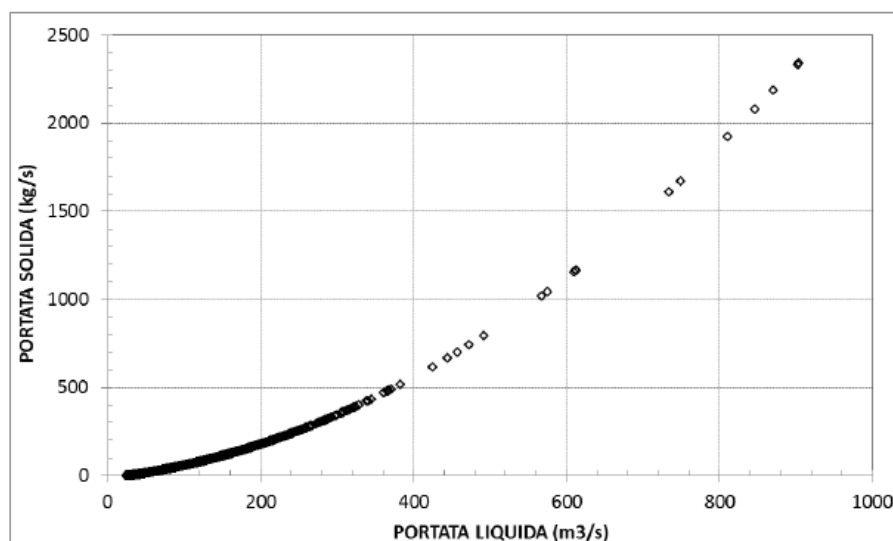


FIGURA 2-4. RELAZIONE PORTATA LIQUIDA - PORTATA SOLIDA RELATIVA ALLA FRAZIONE PIÙ FINA DEI SEDIMENTI ALLA FOCE DEL POLCEVERA
(ESTRATTO DA STUDIO IDRAULICO-MORFOLOGICO DHI [4])

2.3.2. Bisagno

Allo stato attuale non sono disponibili informazioni derivanti da misure dirette di trasporto solido per il torrente Bisagno. I dati e le informazioni reperibili da studi pregressi sono scarse e fanno riferimento a metodi parametrici per la stima del trasporto solido in sospensione.

Una stima indicativa della capacità di trasporto del Bisagno è riportata negli studi del Piano di Bacino [1] dove si dichiara che il trasporto di fondo è in generale poco significativo e la frazione più elevata del trasporto solido è data dal trasporto in sospensione, (trasporto torbido). Gli studi forniscono una valutazione parametrica del trasporto solido in sospensione sulla base dei parametri geomorfologici del bacino. Il valore stimato per il trasporto in sospensione risulta compreso tra 19.000 e 24.000 m³/anno.

Gli studi idraulici e sedimentologici a supporto del progetto definitivo dello scolmatore del torrente Bisagno [7] hanno esaminato le problematiche del trasporto di fondo relativo alla granulometria più grossolana. Gli studi sottolineano che il trasporto di fondo, nel tratto più a valle del corso d'acqua, è praticamente nullo e la parte più sostanziale del trasporto solido alla foce è data dal trasporto in sospensione. Nello studio citato, al fine di effettuare delle simulazioni degli apporti solidi alla foce è stata applicata una relazione analitica tra portata liquida e portata solida definita sulla base di analisi bibliografiche di bacini idrografici con caratteristiche simili:

$$Q_s [kg/s] = 0,0438 \cdot Q_l^{1,4038} [m^3/s]$$

È importante sottolineare che questa relazione fornisce, a parità di portate liquide, valori di portata solida nettamente inferiori rispetto a quelli trovati per il torrente Polcevera.

2.4. Batimetria

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 delle profondità dei fondale all'interno dell'ambito portuale si è fatto riferimento alla base cartografica, comprensiva delle linee batimetriche, fornita dall'Autorità di Sistema Portuale.

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

In Figura 2-5 è rappresentata una mappa con indicazione delle diverse sorgenti di dati batimetrici.

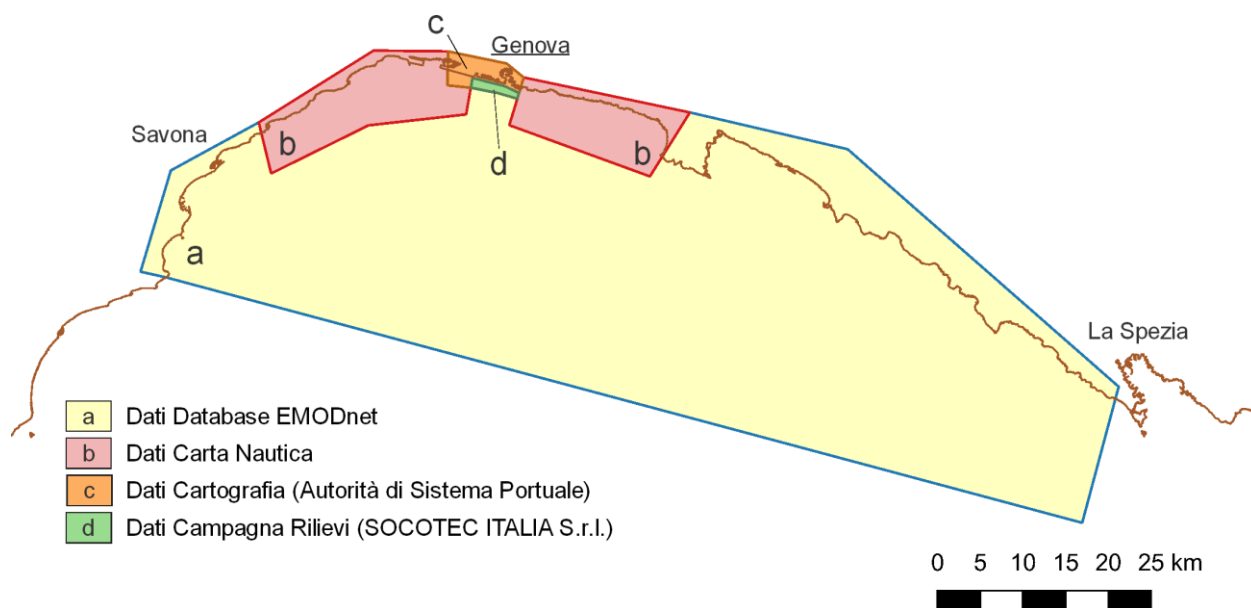


FIGURA 2-5. ORIGINE DEI DATI BATIMETRICI UTILIZZATI PER LA GENERAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO.

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

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

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

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

2.5. Marea astronomica

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

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

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

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

3. ANALISI DEL DEFLUSSO E DEI PROCESSI DI SEDIMENTAZIONE

Per la valutazione delle condizioni di deflusso e dei processi di sedimentazione degli apporti solidi fluviali in corrispondenza delle foci dei torrenti Polcevera e Bisagno è stato definito uno scenario di simulazione che prevede la simultanea piena dei due corsi d'acqua con tempo di ritorno $T_r = 10$ anni contraddistinti dai seguenti valori di portata al colmo:

- $Q_c = 939 \text{ m}^3/\text{s}$ per il torrente Polcevera;
- $Q_c = 416 \text{ m}^3/\text{s}$ per il torrente Bisagno;

Lo scenario di simulazione è finalizzato all'analisi contestuale dei suddetti eventi di piena e dei relativi apporti solidi dovuti al trasporto in sospensione. A tal riguardo è stata presa in considerazione, come forzante idrodinamica, la sola marea astronomica.

Il deflusso alla foce di un corso d'acqua in occasione di un evento di piena significativo risulta infatti predominante per lo studio dei processi di idrodinamica e di trasporto solido. Gli effetti del vento sul campo di velocità sono da ritenersi poco significativi per queste condizioni di deflusso e di conseguenza, per le finalità del presente studio, non sono stati presi in esame.

3.1. Idrogrammi di piena di simulazione

Sulla base delle informazioni idrologiche a disposizione, richiamate in precedenza, sono stati definiti i due idrogrammi di piena mostrati in Figura 3-1, contraddistinti da un valore di portata al colmo di $939 \text{ m}^3/\text{s}$ per il torrente Polcevera e di $416 \text{ m}^3/\text{s}$ per il torrente Bisagno. Ipotizzando che gli eventi di piena dei due torrenti inizino contemporaneamente, si ottiene che viene raggiunto prima il colmo di piena del Bisagno e circa 3 ore dopo si raggiunge il colmo del Polcevera.

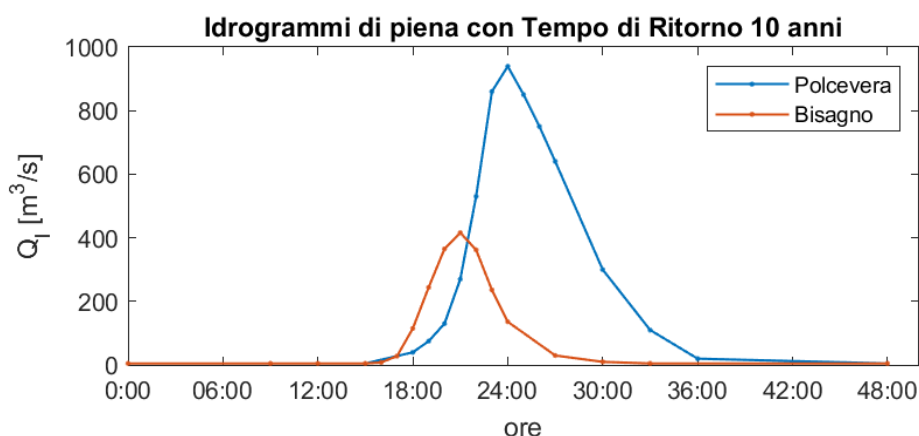


FIGURA 3-1. IDROGRAMMI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI PER I TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO UTILIZZATI PER LE SIMULAZIONI.

3.2. Trasporto solido

Come già evidenziato per le finalità del presente studio è stata presa in considerazione solo la componente in sospensione del trasporto solido. Tale scelta, già applicata negli studi pregressi condotti per la valutazione del trasporto solido alla foce del Polcevera e del futuro scolmatore del Bisagno, trova anche riscontro nelle considerazioni effettuate dall'Autorità di Bacino.

È stata assunta una sola frazione sedimentologica in ingresso, caratterizzata da un diametro dei sedimenti $D_{50}=0,075$ mm rappresentativo di una granulometria compresa tra le sabbie limose e i limi sabbiosi.

Sulla base del quadro conoscitivo presentato in precedenza si è ritenuta appropriata l'applicazione della relazione tra la portata liquida e la portata solida definita nell'ambito degli studi pregressi per il torrente Polcevera [4].

Inoltre, seguendo un approccio cautelativo, si è deciso di applicare la stessa relazione tra la portata solida e la portata liquida anche per il torrente Bisagno poiché, come già evidenziato, la relazione indicata negli studi relativi allo scolmatore del Bisagno [7] fornisce valori di portata solida nettamente inferiori.

In Figura 3-2 è rappresentato l'andamento degli apporti solidi dovuti al Polcevera e al Bisagno assunti per lo scenario di simulazione con $T_r=10$ anni. In Tabella 3-1 sono riportati i valori di portata liquida e portata solida relativi ai due eventi di piena presi in esame.

Complessivamente l'evento di piena del torrente Polcevera determina un apporto di circa 18.000 m³ di sedimenti, mentre per il Bisagno si ottiene un apporto inferiore pari a circa 3.150 m³.

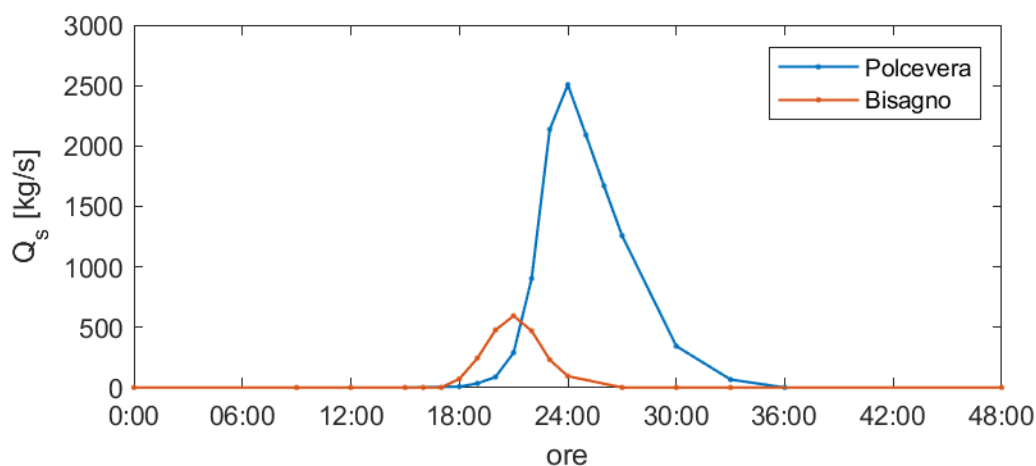


FIGURA 3-2. PORTATA SOLIDA ASSOCIATA AGLI EVENTI DI PIENA DEI TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI.

TABELLA 3-1. VALORI DI PORTATA LIQUIDA E DI PORTATA SOLIDA ASSOCIATI AGLI EVENTI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI PER I TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO.

	Torrente Polcevera	
ore	Q (m³/s)	Qs (kg/s)
0	5	0
12	5	0
15	5	0
18	40	7
19	75	34
20	130	87
21	270	288
22	530	903
23	860	2138
24	939	2508
25	850	2093
26	750	1670
27	640	1258
30	300	343
33	110	66
36	20	0
48	5	0

	Torrente Bisagno	
ore	Q (m³/s)	Qs (kg/s)
0	5	0
9	5	0
12	5	0
15	5	0
16	8	0
17	28	0
18	115	71
19	244	243
20	365	476
21	416	594
22	362	469
23	236	230
24	136	94
27	30	0
30	10	0
33	5	0
48	5	0

3.3. Implementazione del modello di calcolo

Per lo svolgimento dello studio è stato applicato il modello numerico Delft3D-FLOW sviluppato da Deltares. Delft3D-FLOW è un programma di simulazione idrodinamica e morfodinamica tridimensionale a strati, ampiamente utilizzato nel campo dell'ingegneria applicata alle opere marittime e costiere, che calcola i fenomeni di flusso idrodinamico e di trasporto solido in presenza di forzanti idrodinamiche indotte dalla marea astronomica, da foci fluviali e dal vento, utilizzando una griglia di calcolo curvilinea in grado di seguire molto bene anche contorni irregolari del dominio di calcolo. Per analizzare l'idrodinamica delle foci del Polcevera e del Bisagno sono state condotte simulazioni in modalità 2D con valori di velocità integrati sulla verticale.

3.3.1. Dominio di calcolo

Per esaminare le foci dei torrenti Polcevera e Bisagno è stata selezionata un'area di studio che si estende dall'aeroporto di Genova, a Ponente, sino a Genova Albaro a Levante. I parametri della griglia di calcolo, rappresentata in Figura 3-3, sono i seguenti:

GRIGLIA DI CALCOLO

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 3-4 è mostrato un dettaglio della batimetria interna al dominio di calcolo generata sulla base dei dati batimetrici a disposizione.

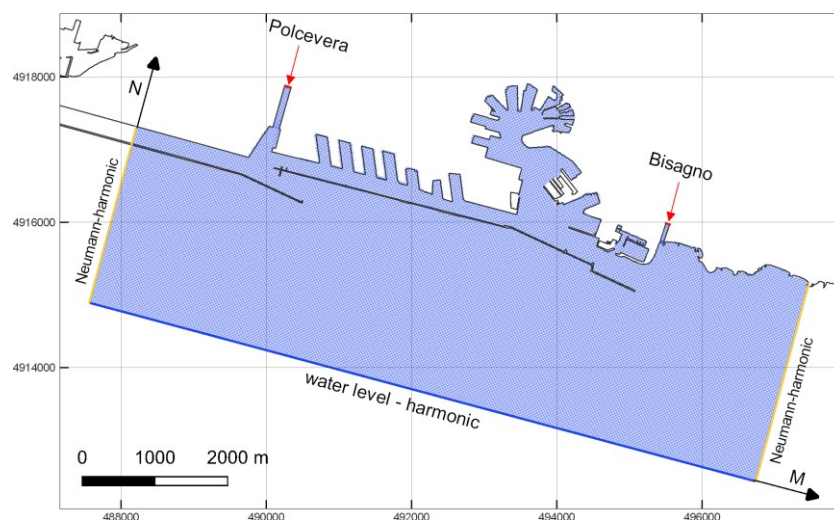


FIGURA 3-3. ESTENSIONE DELLA GRIGLIA DI CALCOLO UTILIZZATA PER LE SIMULAZIONI CON INDICAZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO ADOTTATE.

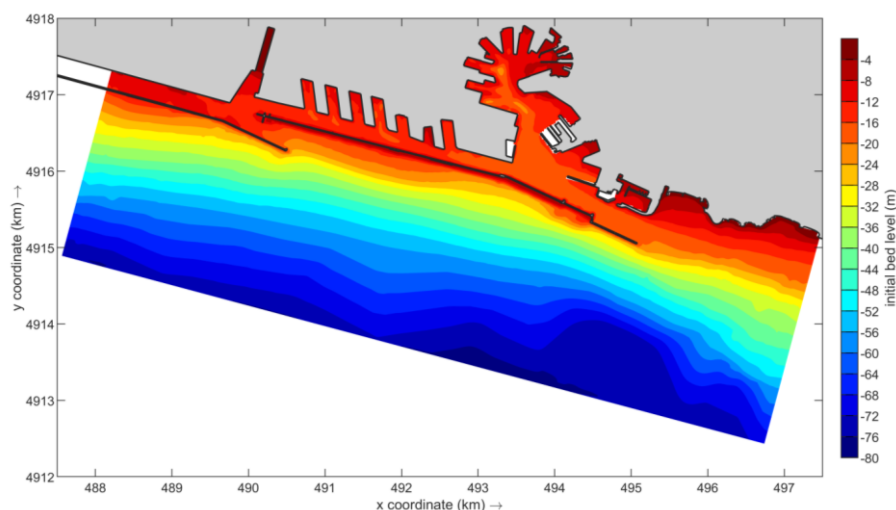


FIGURA 3-4. BATIMETRIA ALL'INTERNO DEL DOMINIO DI CALCOLO (STATO ATTUALE)

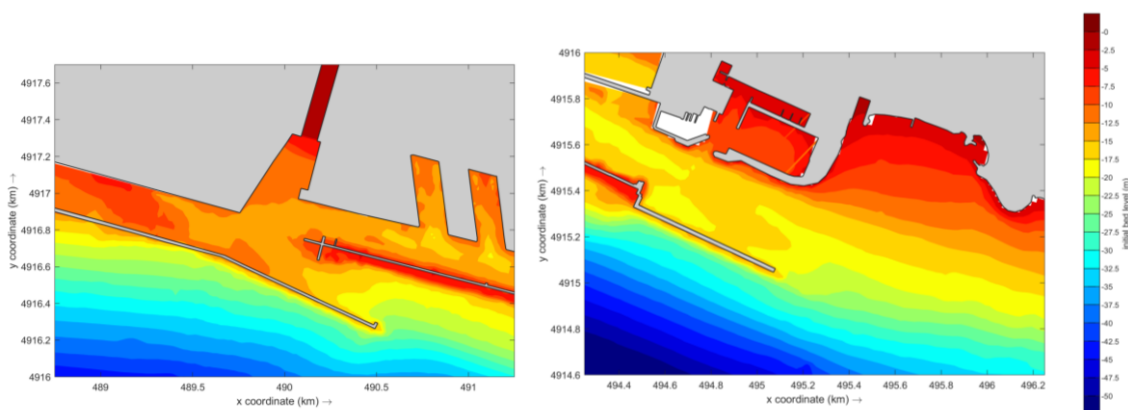


FIGURA 3-5. DETTAGLIO BATIMETRIA IN PROSSIMITÀ DELLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA (A SINISTRA) E DEL TORRENTE BISAGNO (A DESTRA).

3.3.2. Condizioni al contorno idrodinamiche e parametri di calcolo

Lungo il contorno lato mare della griglia di calcolo è stata imposta una variazione di livello dovuta alla marea astronomica (Figura 3-6) in condizione media di sizigia, calcolata come sovrapposizione di oscillazioni armoniche definite dalle costituenti M2, S2, K1, O1, fornite dall'Istituto Idrografico della Marina per il porto di Genova (vedi Tabella 2-2).

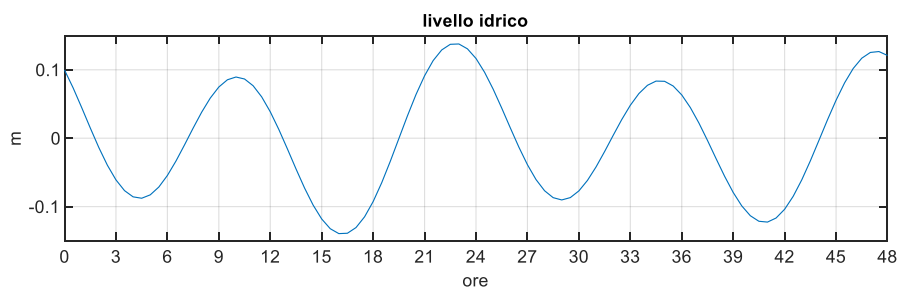


FIGURA 3-6. OSCILLAZIONE DI MAREA APPLICATA COME CONDIZIONE AL CONTERNO.

Ai lati della griglia di calcolo è stato imposto un gradiente nullo del livello idrico trasversalmente alla costa (condizione di Neumann). La condizione di Neumann viene accoppiata con la variazione del livello idrico (oscillazione di marea) imposta sul contorno aperto.

In corrispondenza dei torrenti Bisagno e Polcevera è stata applicata una condizione di flusso entrante definita da una serie temporale di portate variabili per riprodurre gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno 10 anni assunti per le simulazioni.

Come condizione iniziale è stato assegnato un campo di velocità nullo ed un livello idrico variabile nello spazio: all'interno dello specchio acqueo portuale è stato assegnato un livello pari a +0.10 m sul l.m.m., pari al valore della marea all'istante iniziale, mentre all'interno dei corsi d'acqua è stata ipotizzata una pendenza della superficie libera iniziale di 1:1000.

Le simulazioni sono state condotte con un passo temporale $\Delta t = 15$ s, con una finestra temporale di 48 ore che riproduce quasi due cicli di marea.

Il coefficiente di scabrezza di Chezy assegnato a tutto il dominio, pari a $65 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, si riferisce, come suggerito in letteratura, a condizioni di deflusso in fiumi e canali naturali, profondi e in buono stato, e viene indicato anche dal manuale d'uso di Delft3D come valore per simulazioni di flussi indotti dalla marea.

3.3.3. Condizioni al contorno e parametri di calcolo per il trasporto solido

Il modello numerico Delft3D-Flow è in grado di riprodurre i processi di trasporto solido di fondo e in sospensione. A tal scopo è necessario indicare la tipologia del sedimento (di tipo coesivo o non coesivo) specificandone le principali caratteristiche (diametro e peso specifico, nel caso di sedimenti non coesivi; peso specifico, velocità di caduta, sforzo sul fondo critico per l'erosione e la sedimentazione).

Occorre inoltre assegnare una concentrazione ed uno spessore iniziale dei sedimenti all'interno di tutto il dominio di calcolo nonché le condizioni al contorno lungo il bordo del dominio di calcolo.

Le simulazioni sono state condotte inserendo nel modello una frazione rappresentativa di un sedimento fine compreso tra le sabbie limose e i limi sabbiosi.

I parametri caratteristici del sedimento sono i seguenti:

- diametro medio $D_{50} = 0,075 \text{ mm}$
- peso specifico $\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$

Applicando la legge di Stokes, assumendo per l'acqua di mare una densità di 1025 kg/m^3 e una viscosità cinematica di $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ è stata calcolata una velocità di sedimentazione $w_s = 0,0047 \text{ m/s}$.

Per diametri fino $0,0625 \text{ mm}$ (limite convenzionale tra sabbie e limi-argille ovvero tra sedimenti non coesivi e coesivi) si può assumere che non si attivino processi di flocculazione e pertanto la velocità di sedimentazione può essere considerata costante ed indipendente dalla concentrazione del sedimento nella colonna d'acqua.

3.3.4. Uscite del modello numerico

Per l'analisi delle simulazioni condotte, in ogni nodo della griglia di calcolo, ad intervalli di tempo 3 ore, sono state registrate le seguenti grandezze rappresentative del campo idrodinamico:

- livello idrico;
- carico idraulico totale;
- velocità integrata sulla verticale (valore assoluto e componenti vettoriali);
- numero di Froude;
- sforzi tangenziali al fondo.

Per quanto riguarda i processi di trasporto solido, per ogni cella di calcolo il modello fornisce le seguenti grandezze:

- concentrazione della frazione solida in sospensione (kg/m^3);
- massa disponibile sul fondo (kg/m^2);
- trasporto solido (suddiviso in trasporto di fondo e trasporto in sospensione);
- erosione/sedimentazione cumulata.

I risultati ottenuti possono così essere presentati attraverso diagrammi che rappresentano la distribuzione delle grandezze scalari e vettoriali nel dominio di calcolo ad ogni intervallo temporale.

Per i punti di osservazione indicati in Figura 3-7 e in Figura 3-8 sono stati inoltre estratti i risultati con un tempo di acquisizione di 10 minuti. Ciò consente di osservare in dettaglio le variazioni temporali delle principali grandezze considerate.

Nella Figura 3-9 sono indicate le posizioni delle sezioni di controllo considerate.

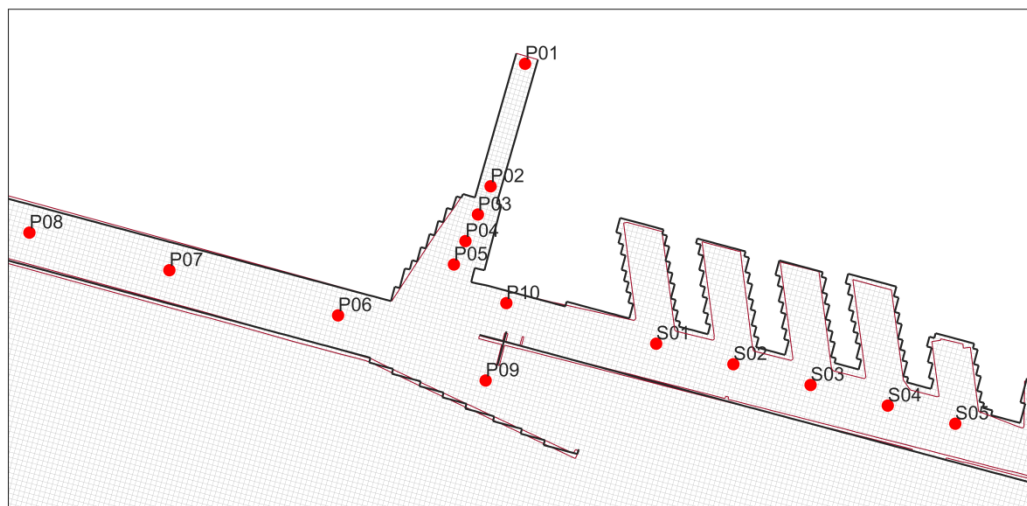


FIGURA 3-7. LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE PER L'ESTRAZIONE DEI RISULTATI IN CORRISPONDENZA DELLA FOCE DEL POLCEVERA.

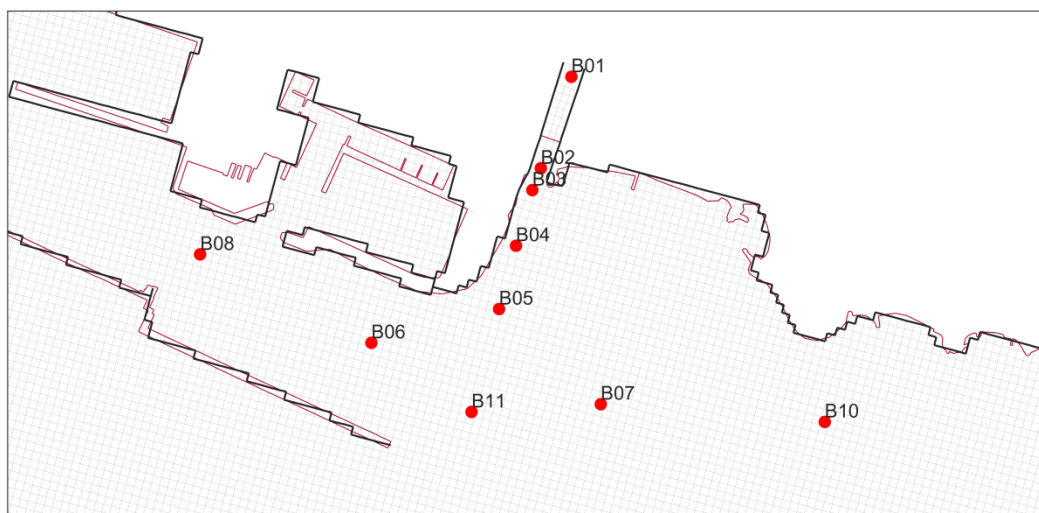


FIGURA 3-8. LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI OSSERVAZIONE PER L'ESTRAZIONE DEI RISULTATI IN CORRISPONDENZA DELLA FOCE DEL BISAGNO.

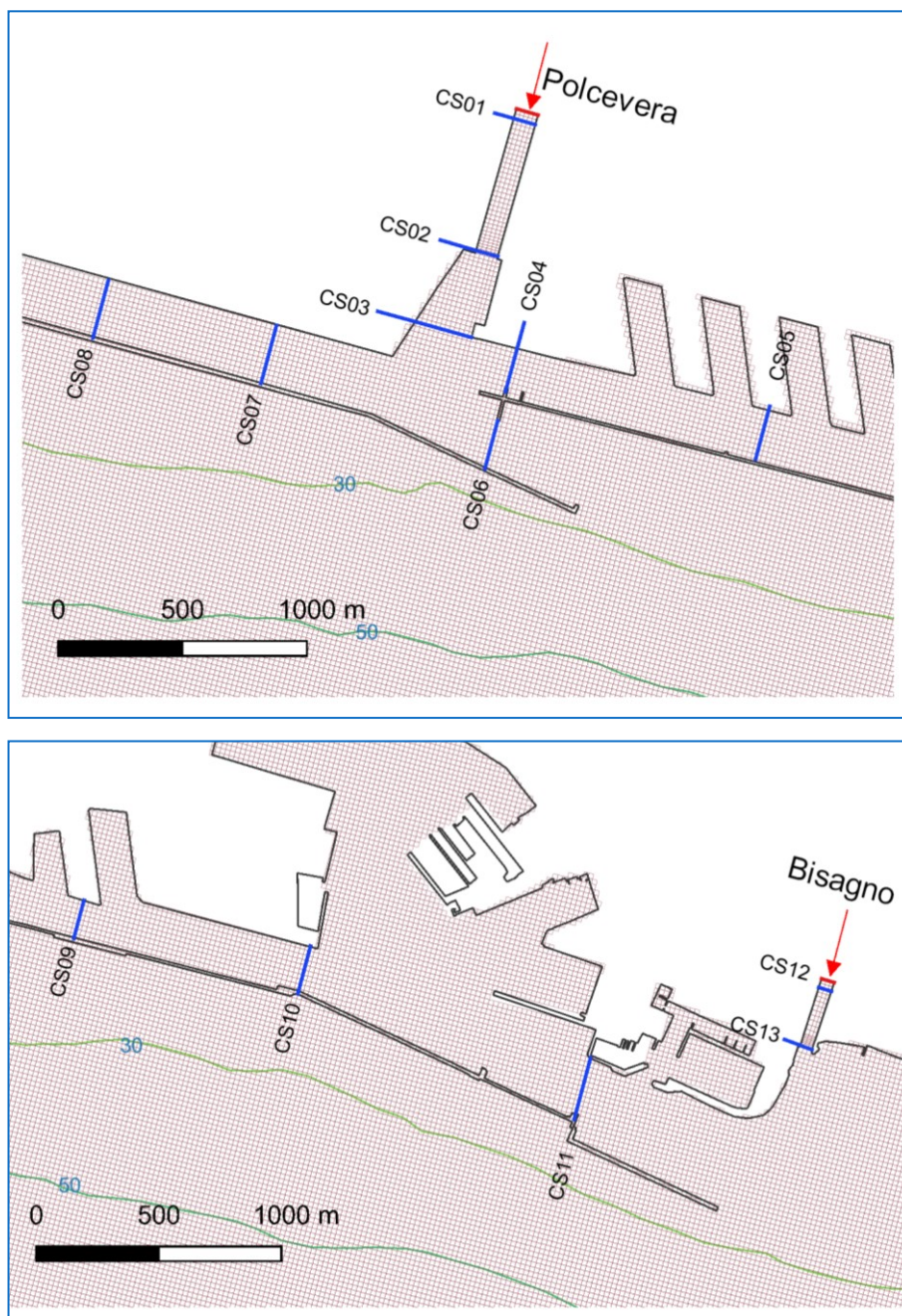


FIGURA 3-9. UBICAZIONE DELLE SEZIONI DI CONTROLLO PER L'ESTRAZIONE DEI RISULTATI IN CORRISPONDENZA DELLA FOCE DEL POLCEVERA E DEL BISAGNO.

3.4. Analisi dello stato attuale

3.4.1. Idrodinamica

I risultati ottenuti a seguito della simulazione con le due portate dei torrenti Polcevera e Bisagno aventi Tr 10 anni sono mostrati nelle figure riportate nelle pagine a seguire.

I grafici di Figura 3-10, Figura 3-11 e Figura 3-12 mostrano l'evoluzione del campo di velocità, generato dagli eventi di piena, all'interno del dominio di calcolo ad intervalli di 3 ore.

Un dettaglio dei risultati ottenuti in corrispondenza della foce del Polcevera è mostrato in Figura 3-13 mentre, in Figura 3-18, sono mostrati in dettaglio i risultati ottenuti alla foce del Bisagno.

Il deflusso alla foce del Polcevera è fortemente condizionato dalla geometria delle opere portuali. Il torrente Polcevera sfocia all'interno della darsena, di forma trapezoidale, compresa tra la banchina Italsider e la banchina Ronco, caratterizzata da profondità comprese tra 10 e 12.5 m. Le dighe foranee che delimitano il bacino Sampierdarena e il canale di calma dell'aeroporto ostacolano il libero deflusso a mare del corso d'acqua.

La portata associata all'evento piena simulato si ripartisce tra la bocca di ponente e il canale di calma dell'aeroporto. La corrente defluisce inizialmente attraverso la bocca di ponente poi, al crescere della portata, il flusso deflette attraverso il canale di calma dell'aeroporto fino all'esaurimento dell'evento di piena.

Questo fenomeno è dovuto alla forma asimmetrica (trapezoidale) del tratto posto a valle della vasca di sedimentazione che favorisce la formazione di un vortice che ruota in senso orario in sponda destra fluviale.

I risultati ottenuti con le presenti simulazioni trovano pieno accordo con quelli riportati nei diversi studi pregressi focalizzati sulle condizioni di deflusso del Polcevera, presi a riferimento.

Questo aspetto è ben rappresentato dall'andamento delle portate liquide osservate nelle sezioni di controllo CS01, CS02, CS03 (foce Polcevera), CS04 (Sampierdarena), CS06 (bocca di ponente), CS07 (canale di calma aeroporto), mostrato nel grafico di Figura 3-14, in cui si può osservare lo sfasamento tra le portate ottenute nella bocca di ponente e nel canale di calma.

Le velocità, integrate sulla velocità, ottenute in alveo al colmo di piena sono dell'ordine di 4 m/s. Allo sbocco all'interno della darsena si ha una riduzione delle velocità dovuta

all'aumento della sezione idraulica. Le velocità nel bacino portuale variano tra 2.5 m/s, immediatamente a valle della foce, e 0.5-0.8 m/s all'interno della darsena.

Le velocità massime ottenute all'imboccatura di ponente (P09) e nel canale di calma (P06, P07, P08) risultano comprese tra 0.20 e 0.25 m/s.

Nel bacino Sampierdarena, in corrispondenza della banchina ponte Nino Ronco, la velocità massima ottenuta è di poco inferiore a 0.1 m/s.

Il Bisagno sfocia a mare su fondali naturali variabili tra un minimo di 1-3 m, a riva, fino ad arrivare a profondità comprese tra 10 e 15 m in corrispondenza dell'imboccatura di Levante.

Il deflusso alla foce del Bisagno è condizionato dalla presenza in destra idraulica della diga foranea del porto turistico. La corrente tende ad aderire alla scogliera e viene così indirizzata verso l'interno del porto. All'imboccatura portuale, il flusso viene deviato verso l'esterno del porto formando un percorso a forma di "S".

Con riferimento al grafico di Figura 3-17, le velocità ottenute alla foce del Bisagno si assestano su valori compresi tra un massimo di 2.75 m/s (B03) e un minimo di 1.5 m/s (B04). Oltre la profondità di 10 m le velocità ottenute si attenuano sensibilmente, raggiungendo valori massimi di 0.5 m/s (B05). All'interno del canale di accesso ed oltre la testata della diga foranea le velocità ottenute sono molto modeste, dell'ordine di 5-10 cm/s.

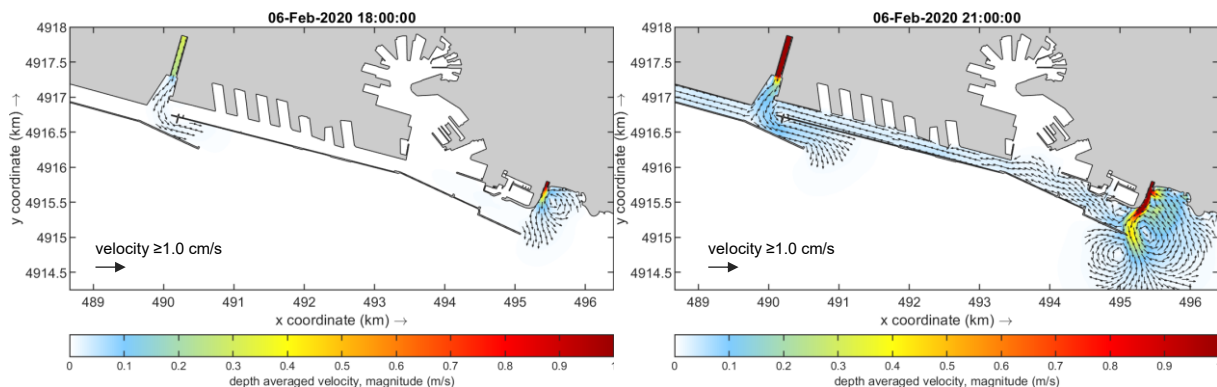


FIGURA 3-10. RISULTATI OTTENUTI PER GLI EVENTI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00 E 21:00 (COLMO DI PIENA BISAGNO).

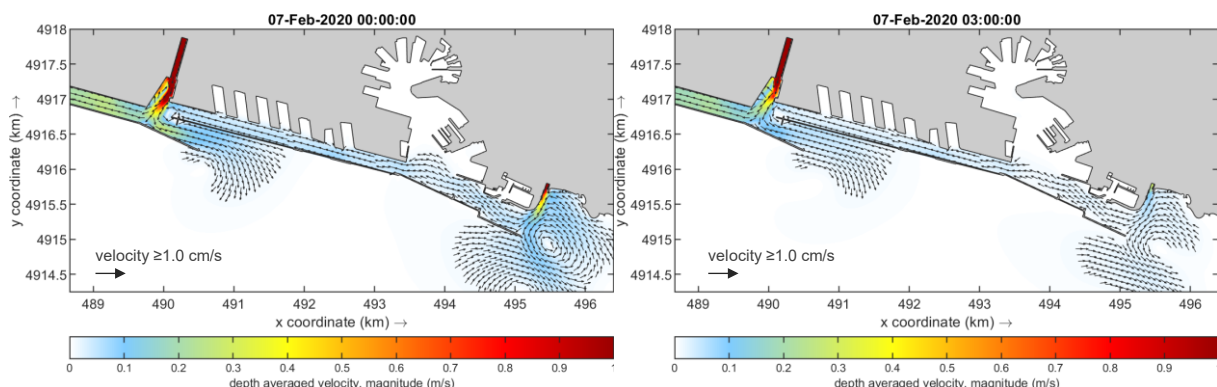


FIGURA 3-11. RISULTATI OTTENUTI PER GLI EVENTI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 24:00 (COLMO DI PIENA POLCEVERA) E 03:00.

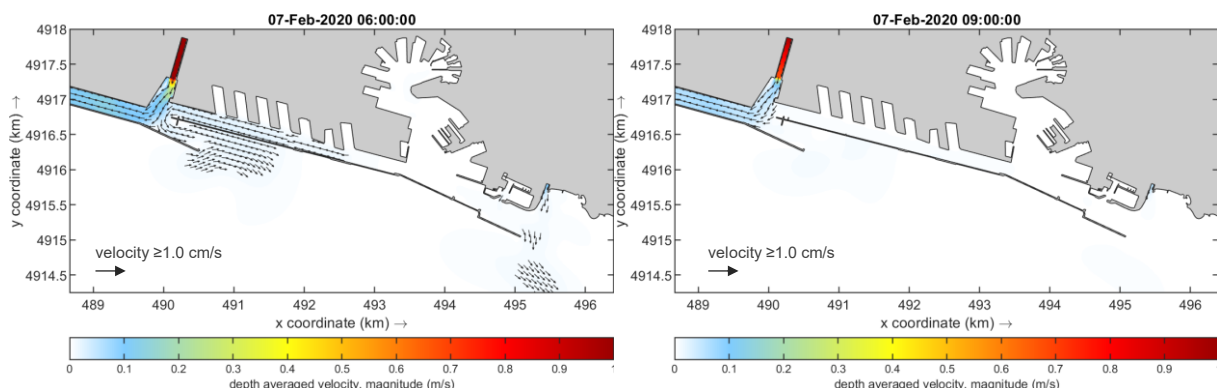


FIGURA 3-12. RISULTATI OTTENUTI PER GLI EVENTI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 06:00 E 09:00 (CODA DELLA PIENA).

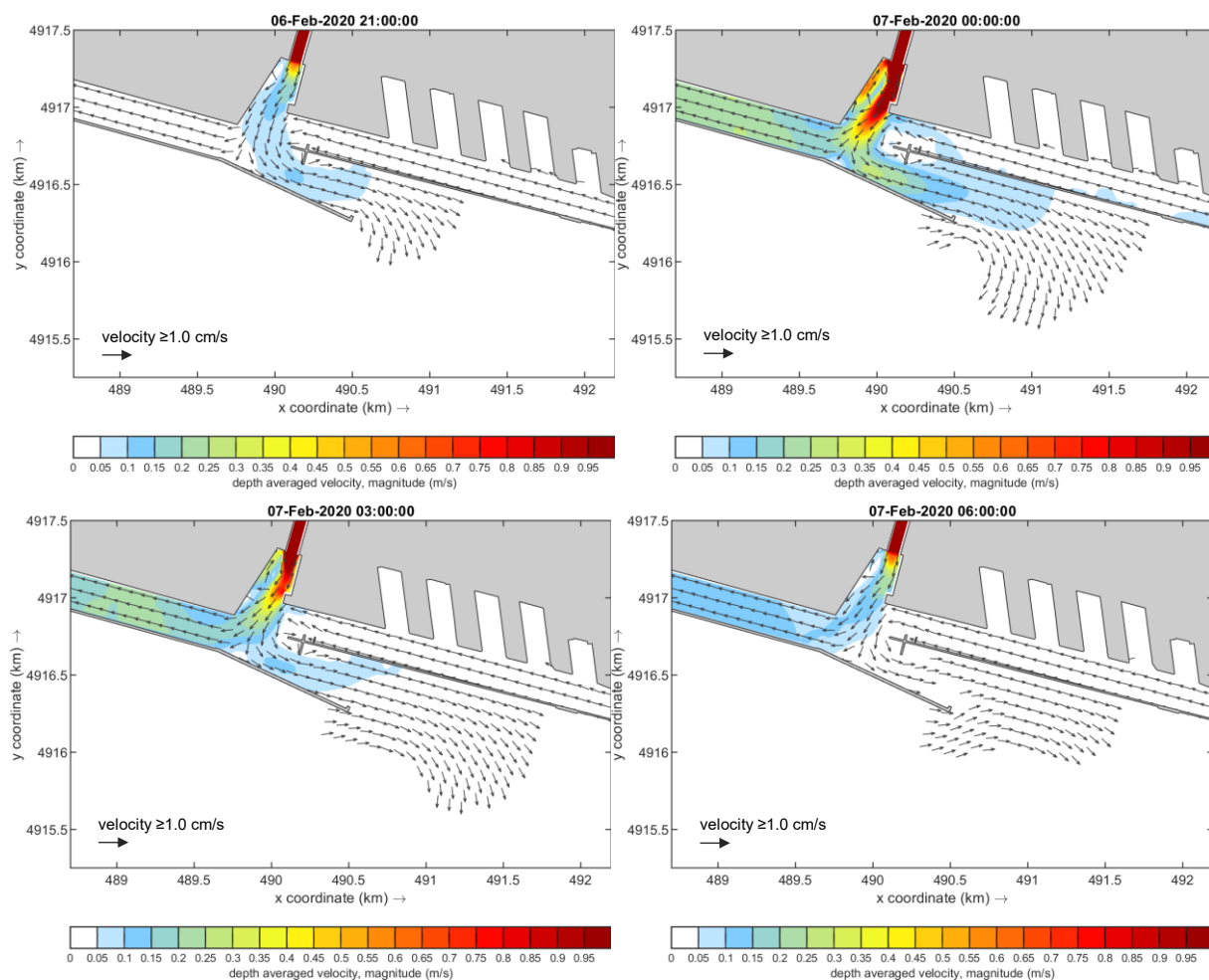


FIGURA 3-13. DETTAGLIO DEI RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 21:00, 24:00 (COLMO DI PIENA), 03:00 E 06:00 (CODA DELLA PIENA).

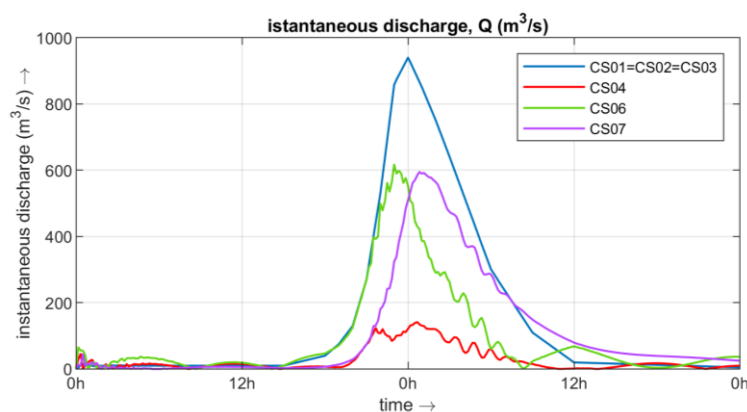


FIGURA 3-14. PORTATE LIQUIDE NELLE SEZIONI DI CONTROLLO ALLA FOCE DEL POLCEVERA. CS01, CS02, CS03 (FOCE POLCEVERA), CS04 (SAMPIERDARENA), CS06 (BOCCA DI PONENTE), CS07 (CANALE DI CALMA).

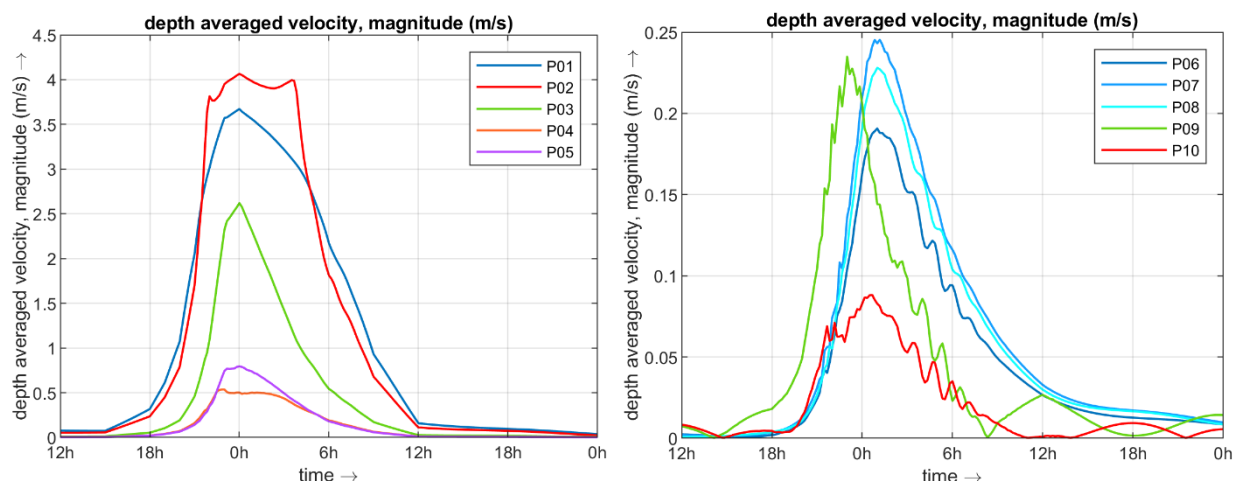


FIGURA 3-15. (SINISTRA) VELOCITÀ OTTENUTE NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE P01, P02 (FOCE POLCEVERA), P03, P04, P05 (AREA A VALLE DELLA FOCE). (DESTRA) VELOCITÀ OTTENUTE NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE P06, P07, P08 (CANALE DI CALMA), P09 (BOCCA DI PONENTE), P10 (BACINO SAMPIERDARENA).

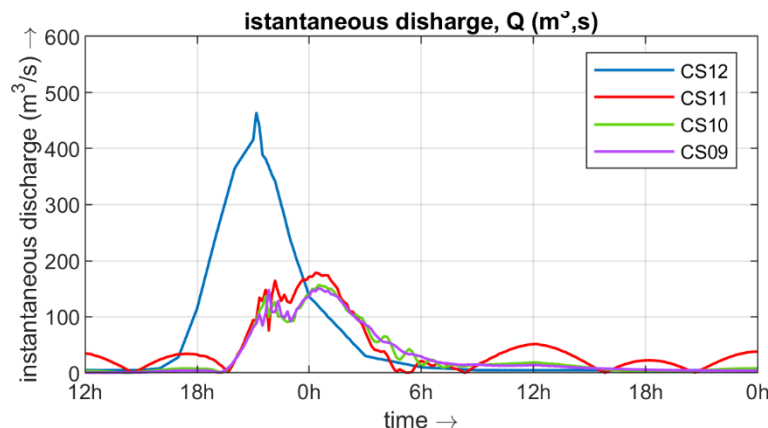


FIGURA 3-16. PORTATE LIQUIDE NELLE SEZIONI CS12 (FOCE BISAGNO), CS11 (BOCCA DI LEVANTE), CS10 (BETTOLO), CS09 (SAMPIERDARENA).

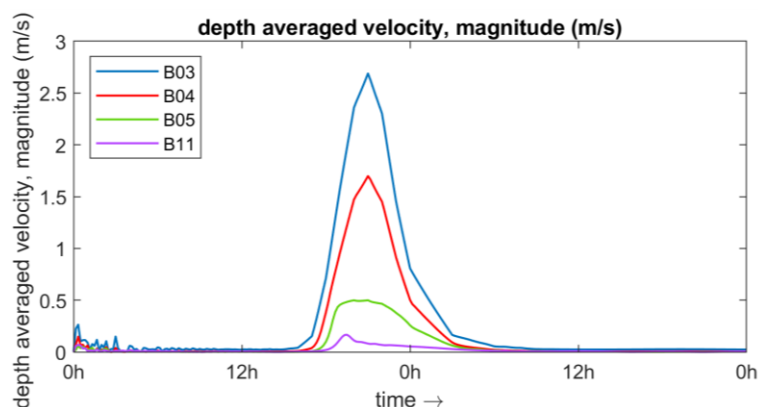


FIGURA 3-17. VELOCITÀ MEDIE SULLA VERTICALE OTTENUTE NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE B03, B04, B05 E B11 ALLA FOCE DEL BISAGNO.

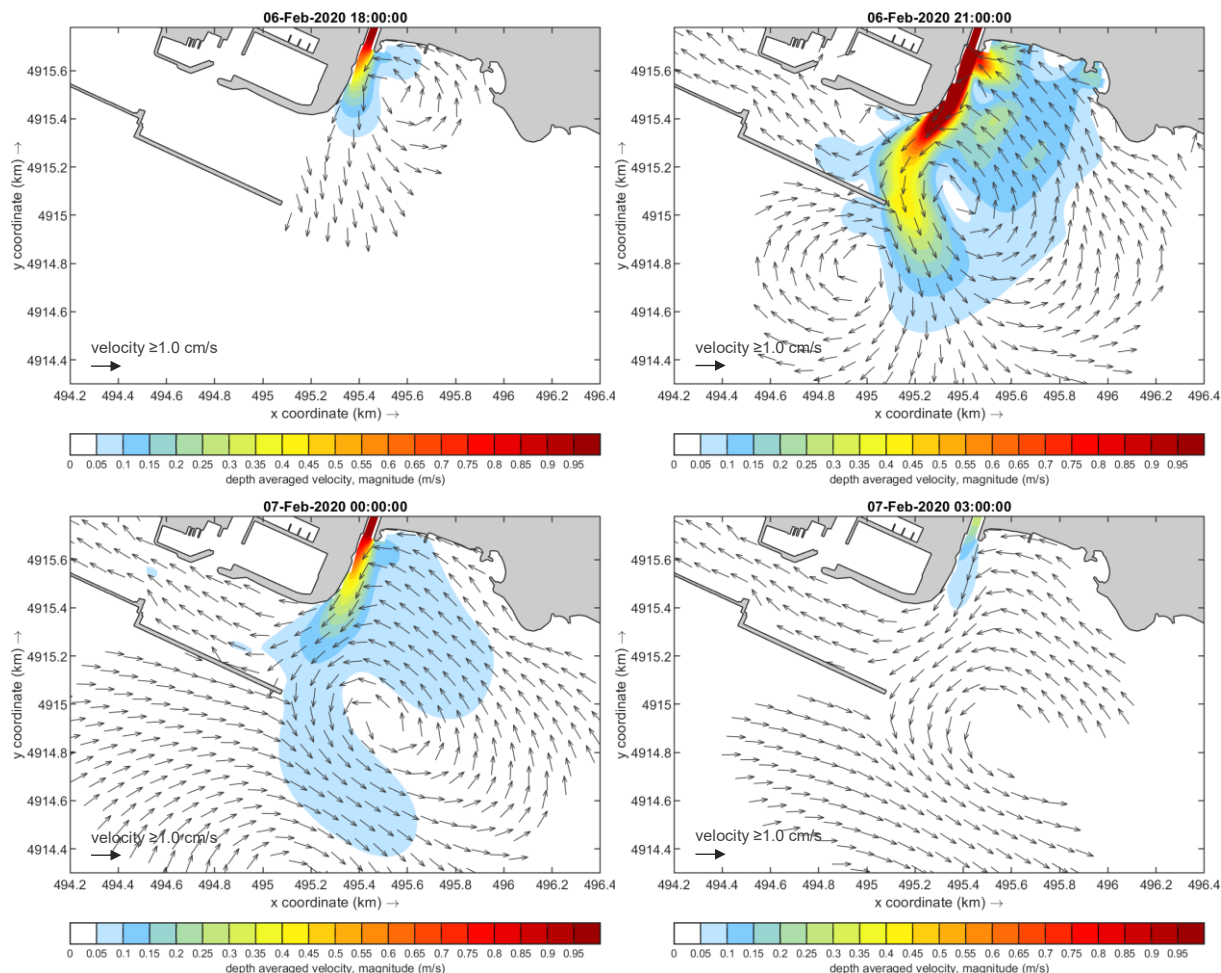


FIGURA 3-18. DETTAGLIO DEI RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 (COLMO DI PIENA), 24:00 E 03:00 (CODA DELLA PIENA).

3.4.2. Apporti solidi e sedimentazione

I grafici riportati nelle pagine a seguire mostrano l'evoluzione nel tempo della concentrazione dei sedimenti in sospensione all'interno della colonna fluida e la conseguente deposizione dei sedimenti all'interno del dominio di calcolo.

I grafici di Figura 3-19 mostrano i risultati ottenuti per la foce del Polcevera, ad intervalli di 3 ore, con valori di concentrazione compresi tra 0.0 e 2.0 kg/m^3 . I valori più elevati di concentrazione si riscontrano in prossimità della foce, nel tratto iniziale del canale di calma dell'aeroporto e nella parte più occidentale del bacino Sampierdarena.

Poche ore dopo il colmo di piena (ore 24:00) si osserva una rapida riduzione dei sedimenti in sospensione. Dopo 9 ore dal colmo di piena la concentrazione ottenuta è ovunque inferiore a 0.2 kg/m^3 , e, di conseguenza, tutti gli apporti solidi sono sedimentati all'interno del dominio di calcolo.

Il volume complessivo dei sedimenti che transita attraverso le sezioni di controllo in prossimità del Polcevera in occasione dell'evento simulato è mostrato in Figura 3-21. Complessivamente il volume in ingresso è pari a circa 18.000 m³ (sezione CS2) di cui circa 13.000 m³ fuoriescono dalla zona di foce (sezione CS3), 2.000 m³ transitano attraverso la sezione CS06 alla bocca di ponente e attraverso la sezione CS07 all'inizio del canale di calma. Il volume di sedimenti che passa attraverso la sezione CS4 all'estremità occidentale del bacino Sampierdarena è molto contenuto (circa 500 m³).

La Figura 3-22 mostra che al termine della simulazione lo spessore dei sedimenti depositati in prossimità della foce del Polcevera varia da un massimo di circa 0.40-0.45 m all'interno della darsena dove sfocia il corso d'acqua. A ridosso delle banchine si osserva il trend depositivo massimo. Nel canale di calma si riscontra un deposito di circa 15-10 cm che si riduce allontanandosi dalla foce. Anche nell'imboccatura di ponente si osserva un deposito di circa 10 cm mentre al margine occidentale del bacino Sampierdarena si è ottenuto un deposito di circa 8-10 cm.

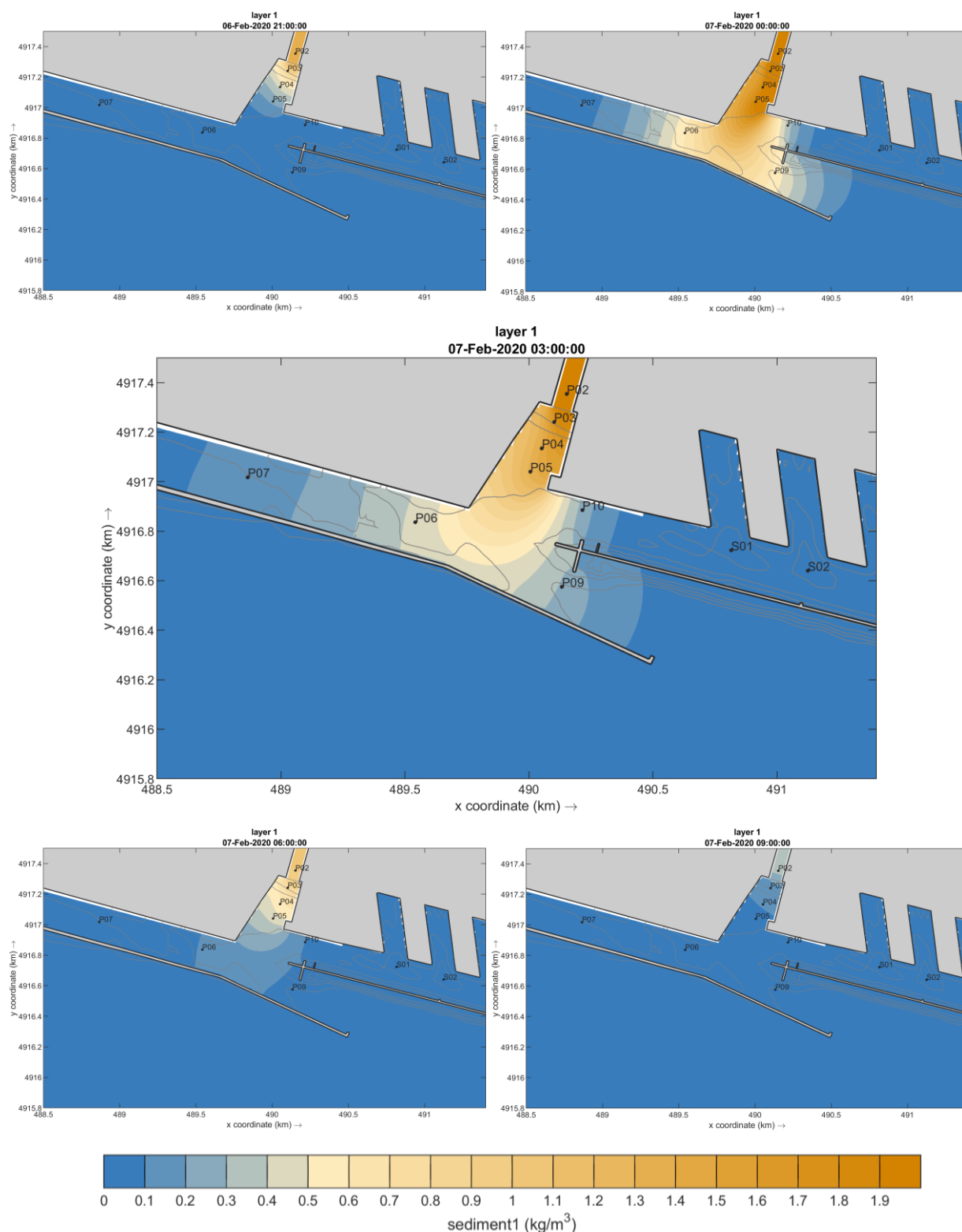


FIGURA 3-19. CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE PER LE ORE 21:00, 24:00 (COLMO DI PIENA), 3:00, 6:00 E 9:00 PER L'EVENTO DI PIENA DEL POLCEVERA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$.

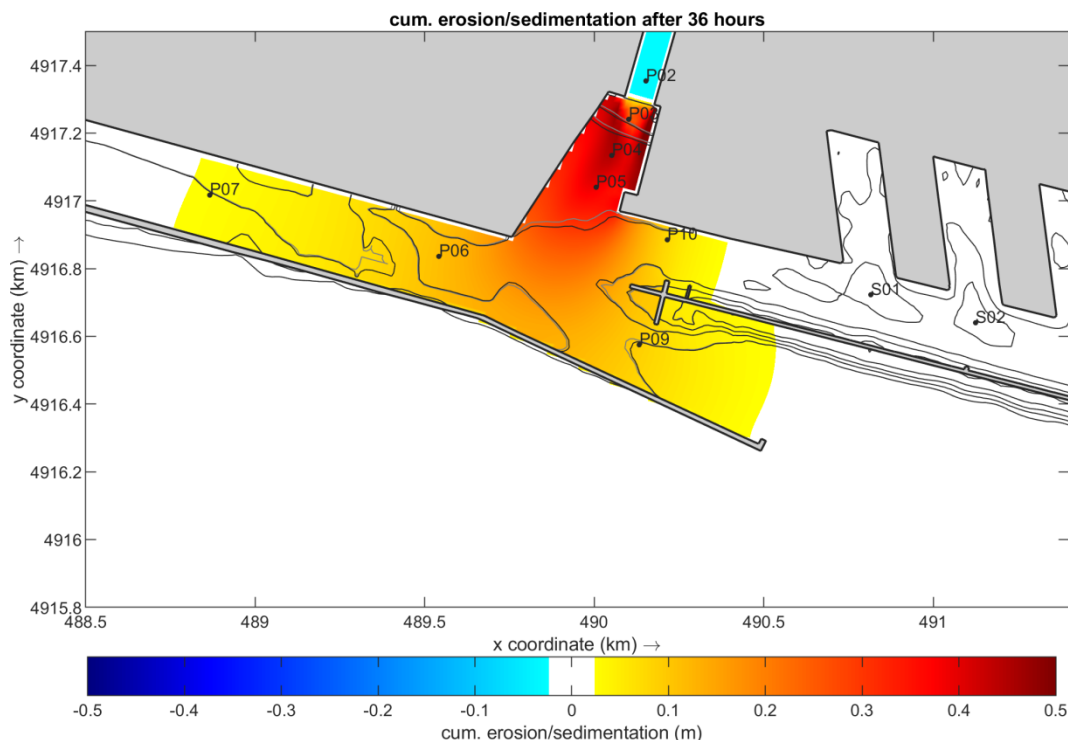


FIGURA 3-20. SEDIMENTAZIONE ED EROSIONE CUMULATA OTTENUTA ALLA FOCE DEL POLCEVERA DOPO 36 ORE DI SIMULAZIONE.

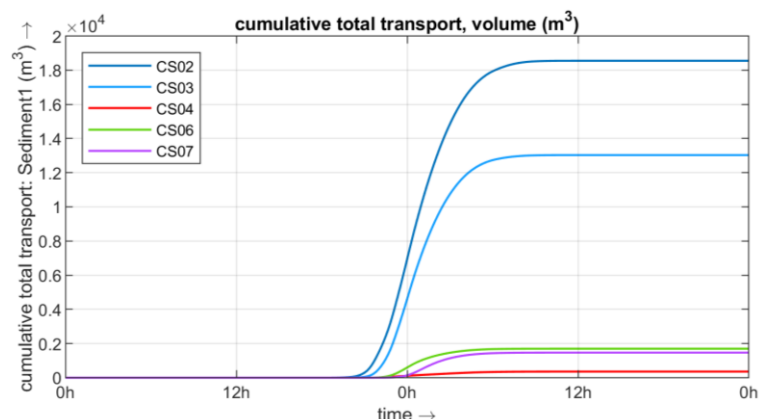


FIGURA 3-21. VOLUME DEI SEDIMENTI CUMULATO, VALUTATO PER LE SEZIONI CS02, CS03 (FOCE DEL POLCEVERA), CS04 (BACINO SAMPIERDARENA), CS06 (BOCCA DI PONENTE) CS07 (CANALE DI CALMA).

In Figura 3-23 sono mostrati i risultati ottenuti relativi all'evoluzione nel tempo della concentrazione dei sedimenti alla foce del Bisagno, con valori di concentrazione compresi tra 0.0 e 1.0 kg/m³.

Gli apporti del Bisagno risultano nettamente inferiori rispetto a quelli del Polcevera. La concentrazione dei sedimenti è maggiore in prossimità della foce a ridosso della diga foranea del porto turistico. I sedimenti in sospensione sono trascinati anche all'interno dell'imboccatura di Levante e verso il largo oltre la testata della diga foranea del porto.

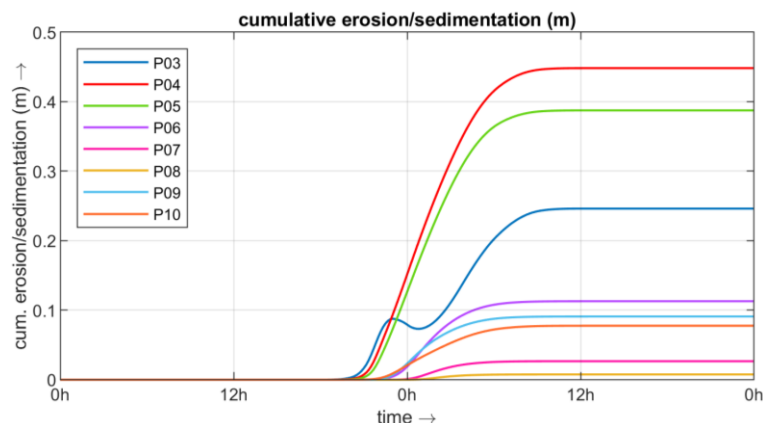


FIGURA 3-22. SEDIMENTAZIONE CUMULATA OTTENUTA NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE P03, P04, P05 (FOCE DEL POLCEVERA), P06, P07, P08 (CANALE DI CALMA), P09 (BOCCA DI PONENTE) E P10 (BACINO SAMPIERDARENA).

A poche ore dal colmo di piena (ore 21:00) si osserva una rapida riduzione dei sedimenti in sospensione. Dopo 6 ore dal colmo di piena la concentrazione ottenuta è ovunque inferiore a 0.1 kg/m^3 e si verifica la sedimentazione di tutta la frazione solida in sospensione.

Il volume totale portato dall'evento di piena (pari a circa 3.200 m^3) viene ridistribuito in prossimità della foce del Bisagno e solo una piccola frazione riesce a penetrare nel porto di Genova (vedi Figura 3-24).

Lo spessore dei sedimenti depositati alla fine della simulazione è generalmente molto contenuto, con valori di pochi centimetri. I valori più elevati si rilevano alla foce con spessori compresi tra 5 e 10 cm. I processi di sedimentazione ottenuti per l'evento simulato si esauriscono all'imboccatura di Levante e nella zona immediatamente esterna alla testata della diga foranea dove si sono ottenuti valori compresi tra un minimo di 0.1-0.5 cm e un massimo di 2.0-2.5 cm.

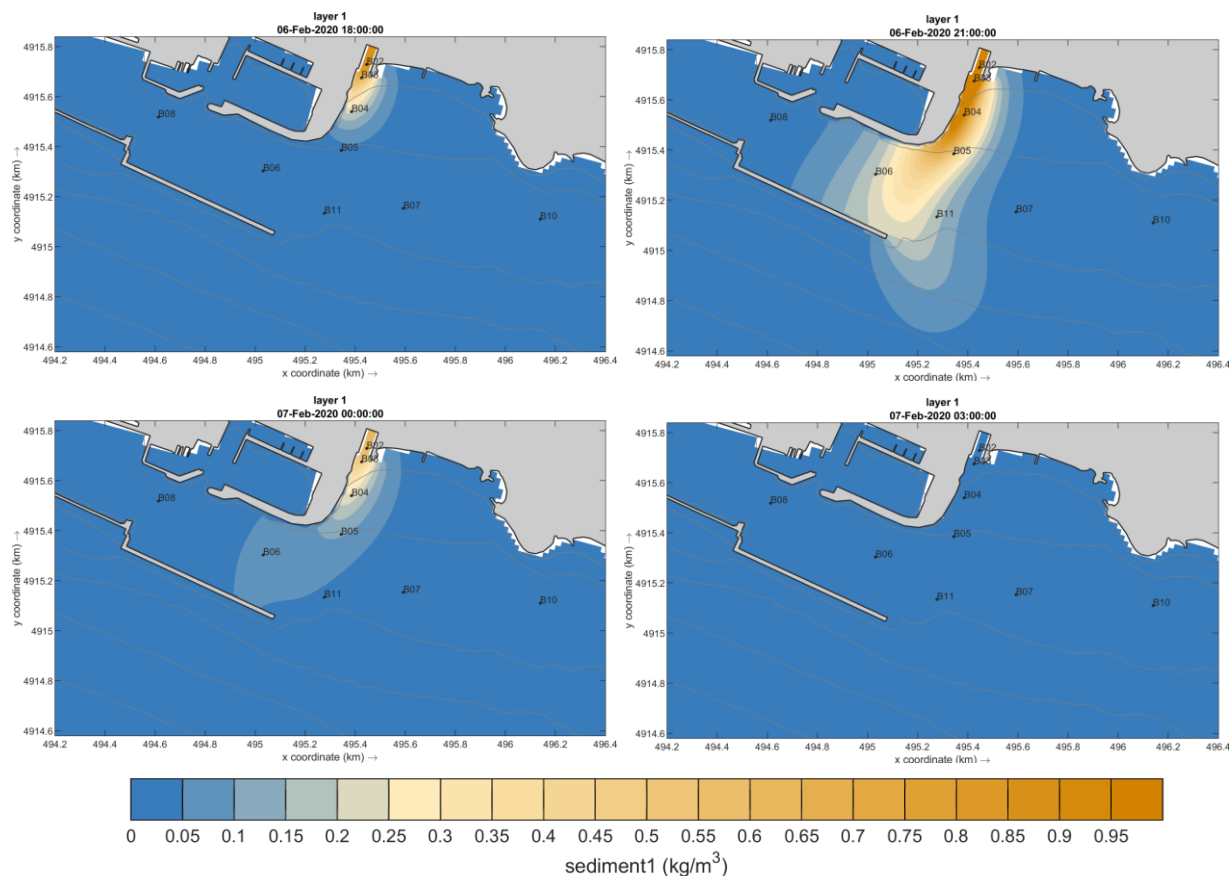


FIGURA 3-23. CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE PER LE ORE 18:00, 21:00 (COLMO DI PIENA), 00:00 E 03:00 (CODA DI PIENA) PER L'EVENTO DI PIENA DEL BISAGNO CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$.

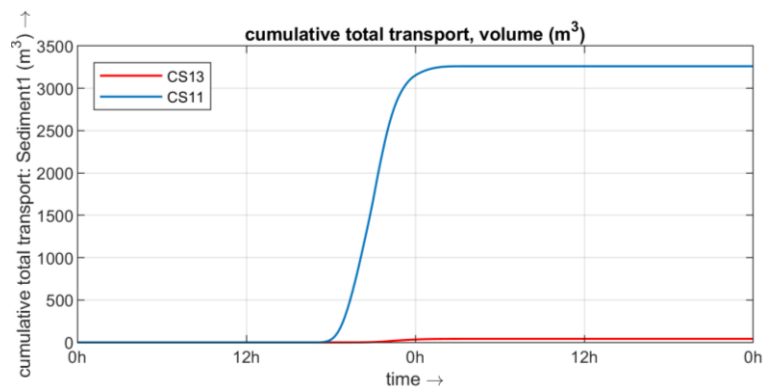


FIGURA 3-24. VOLUME DEI SEDIMENTI CUMULATO VALUTATO PER LE SEZIONI CS11(FOCE DEL BISAGNO), CS13 (BOCCA DI LEVANTE).

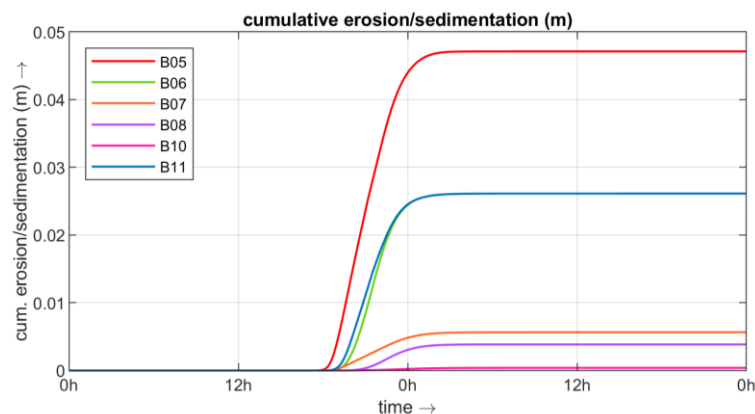


FIGURA 3-25. SEDIMENTAZIONE CUMULATA OTTENUTA NEI PUNTI DI OSSERVAZIONE B05, B07, B10, B11 (FOCE DEL BISAGNO) E B06, B08 (BOCCA DI LEVANTE).

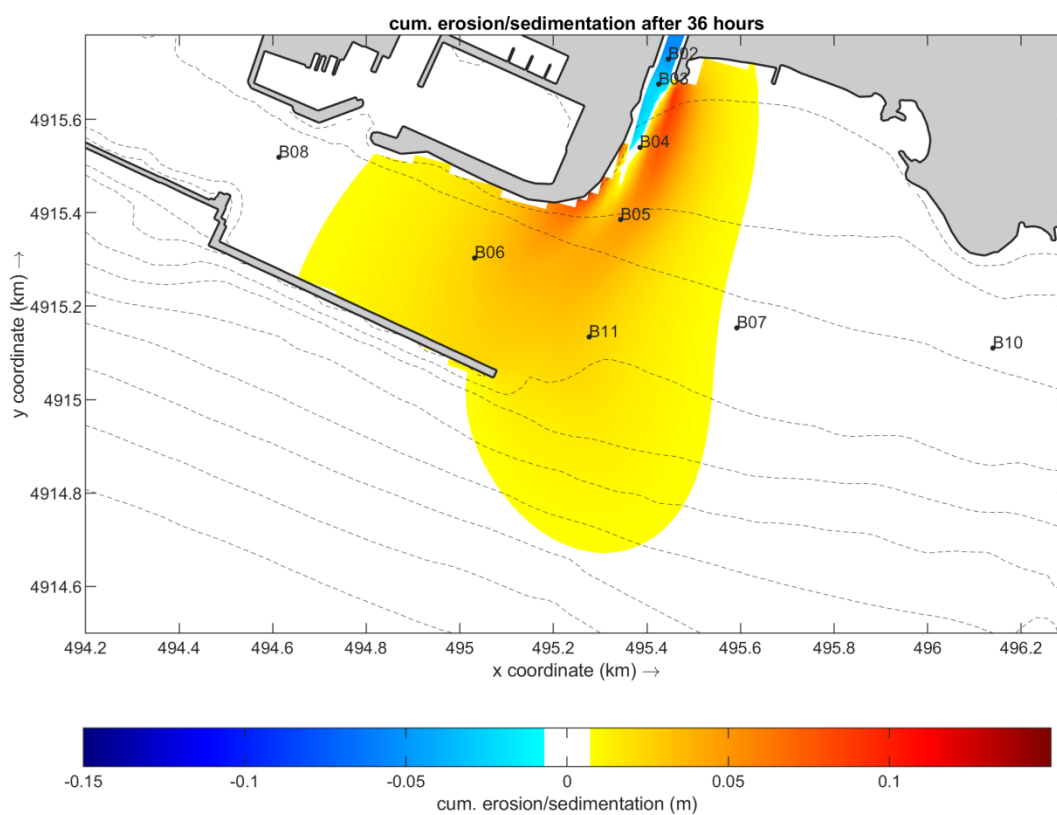


FIGURA 3-26. SEDIMENTAZIONE ED EROSIONE CUMULATA OTTENUTA ALLA FOCE DEL BISAGNO DOPO 36 ORE DI SIMULAZIONE.

3.5. Analisi della soluzione S3

3.5.1. Dominio di calcolo

La configurazione delle opere foranee e delle opere interne e l'approfondimento dei fondali all'interno del dominio di calcolo previsti per la Soluzione S3 in fase a) e in fase b), sono mostrati in Figura 3-27 e Figura 3-28.

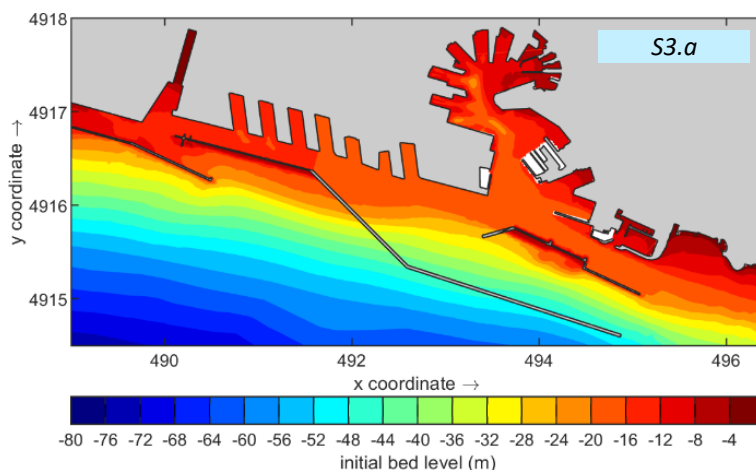


FIGURA 3-27. DOMINIO DI CALCOLO PER LA SOLUZIONE S3 - FASE A

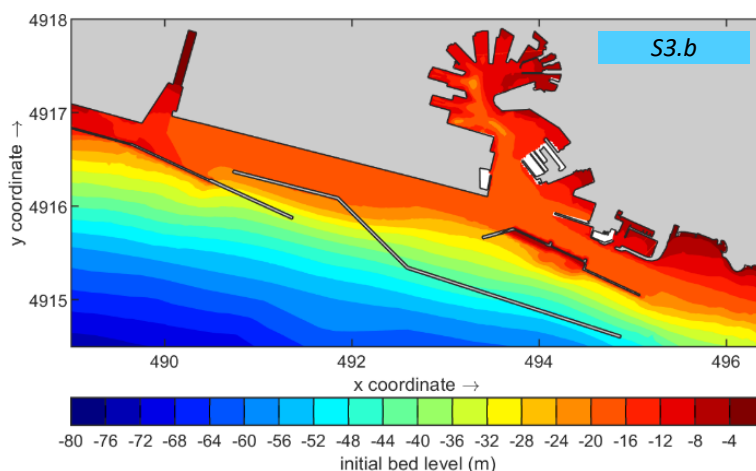


FIGURA 3-28. DOMINIO DI CALCOLO PER LA SOLUZIONE S3 - FASE B.

3.5.2. Idrodinamica

I risultati delle simulazioni degli eventi piena dei torrenti Polcevera e Bisagno con tempo di ritorno 10 anni relativi alla Soluzione S3 in fase a) e in fase b) sono mostrati nei grafici di Figura 3-29 e Figura 3-30.

I grafici mostrano i campi di velocità in corrispondenza del colmo di piena del Bisagno (portata $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$ alle ore 21:00) e del colmo di piena del Polcevera (portata $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$ alle ore 24:00).

Il dettaglio del campo idrodinamico ottenuto alla foce del Polcevera per l'evento di piena con $Tr = 10$ anni per la soluzione S3 in fase a) è mostrato in Figura 3-31, mentre in Figura 3-34 è mostrata la soluzione S3 in fase b).

Il campo idrodinamico ottenuto per la soluzione S3 in fase a) alla foce del Bisagno, a seguito della simulazione dell'evento di piena con $Tr = 10$ anni, è mostrato nei diagrammi di Figura 3-35 mentre nei diagrammi di Figura 3-36 sono mostrati i risultati ottenuti per la soluzione S3 in fase b).

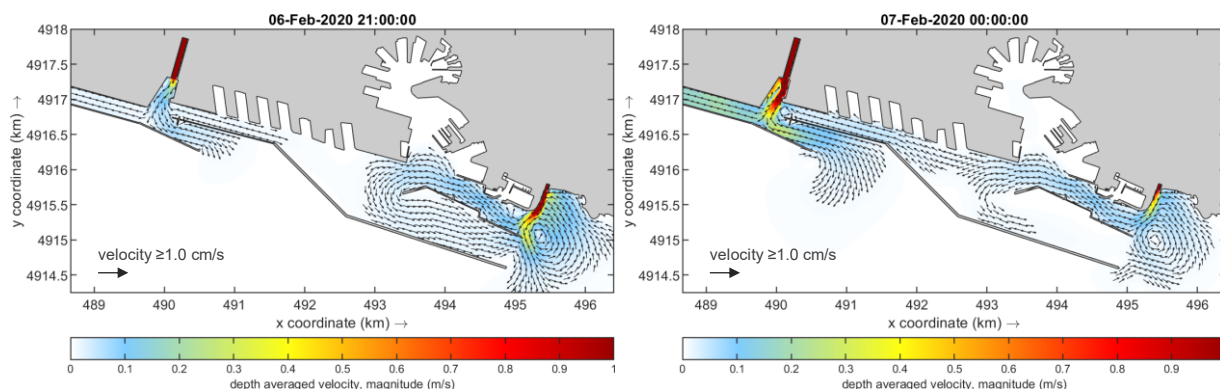


FIGURA 3-29. SOLUZIONE 3 - FASE a).

RISULTATI OTTENUTI PER GLI EVENTI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 21:00 E 24:00 (COLMO DI PIENA POLCEVERA).

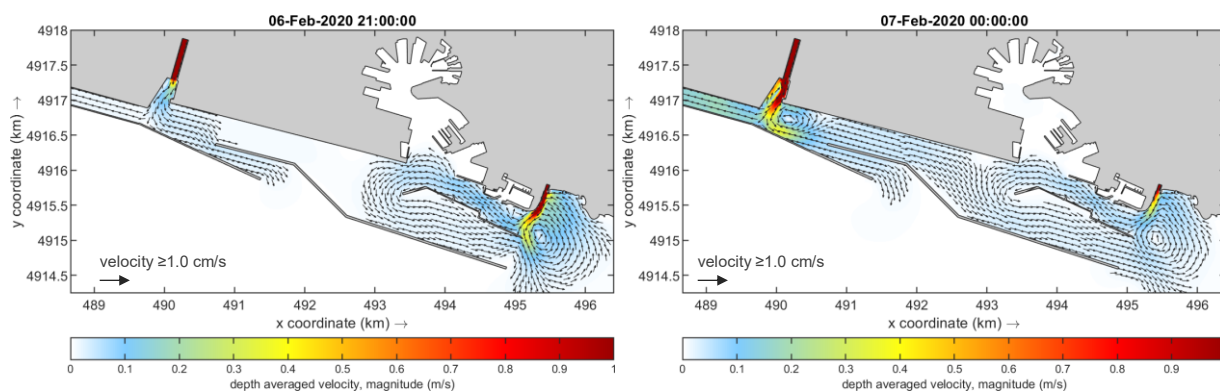


FIGURA 3-30. SOLUZIONE 3 - FASE b).

RISULTATI OTTENUTI PER GLI EVENTI DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 21:00 E 24:00 (COLMO DI PIENA POLCEVERA).

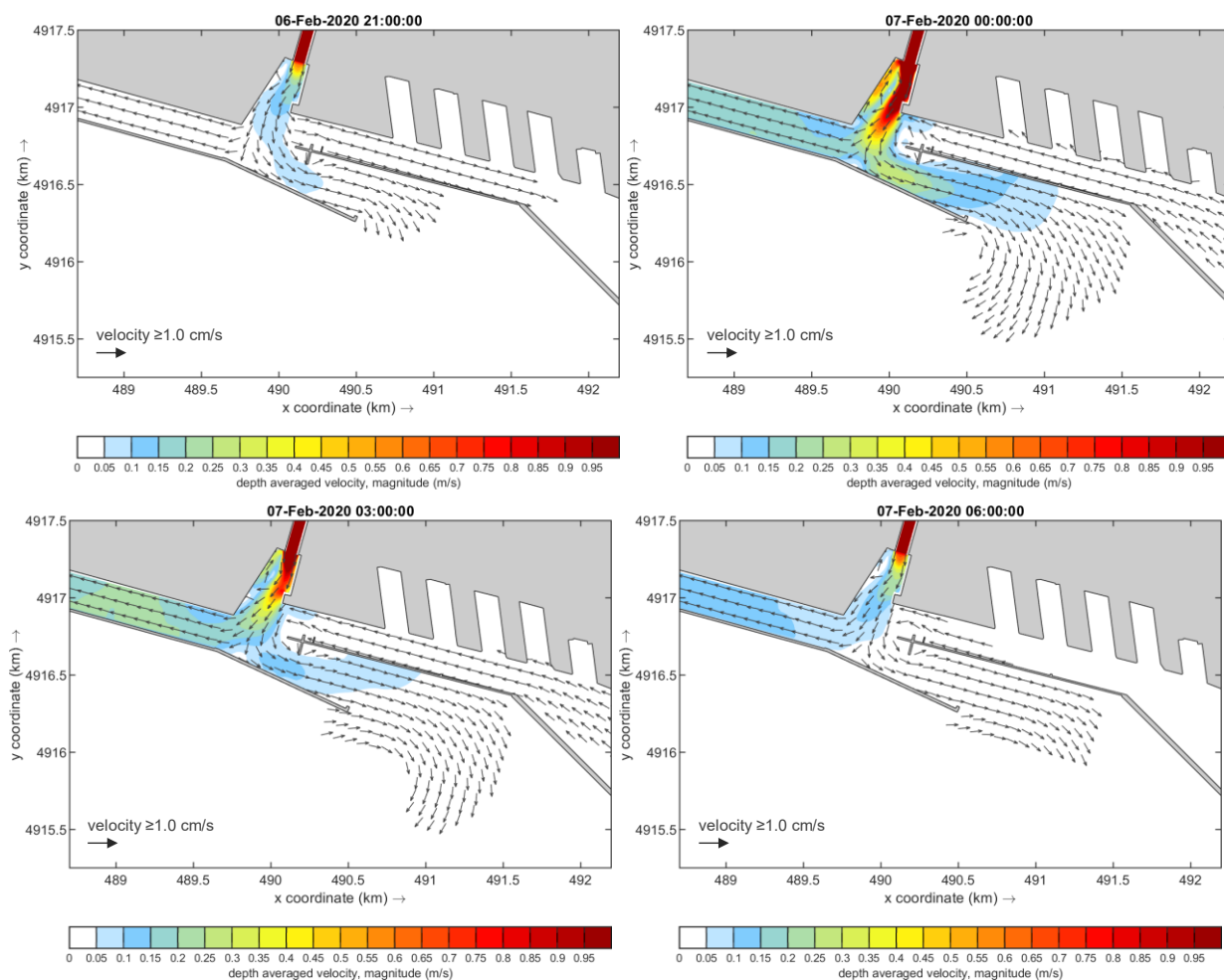


FIGURA 3-31. SOLUZIONE 3 - FASE a).

RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 21:00, 24:00 (COLMO DI PIENA), 03:00 E 06:00 (CODA DELLA PIENA).

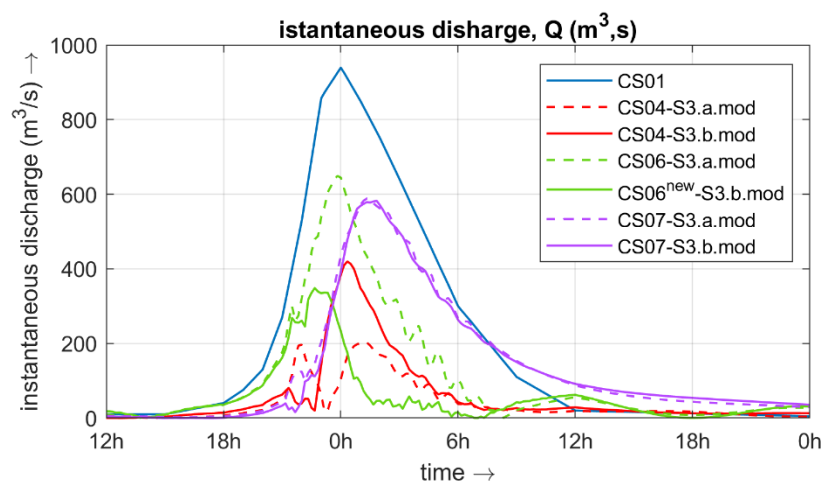


FIGURA 3-32. PORTATE NELLE SEZIONI DI CONTROLLO ALLA FOCE DEL POLCEVERA. CS01, CS02, CS03 (FOCE POLCEVERA), CS04 (SAMPIERDARENA), CS06 (BOCCA DI PONENTE), CS07 (CANALE DI CALMA) OTTENUTE PER LA SOLUZIONE S3.A E S3.B.

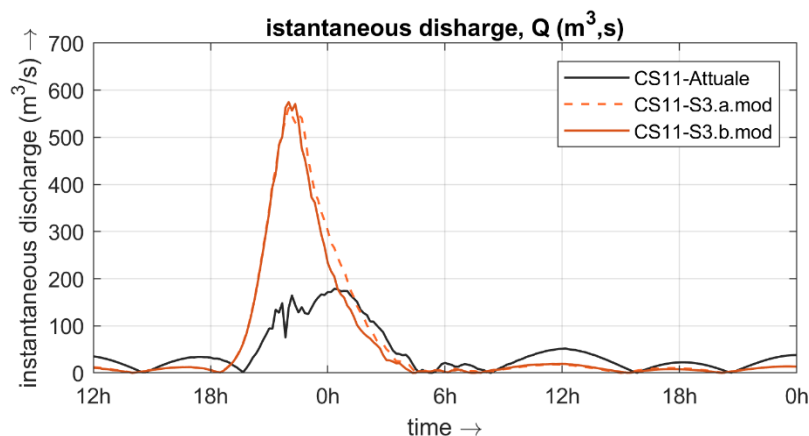


FIGURA 3-33. PORTATE NELLA SEZIONE DI CONTROLLO CS11(BOCCA DI LEVANTE)
OTTENUTE PER LO STATO ATTUALE, PER LA SOLUZIONE S3.A E S3.B.

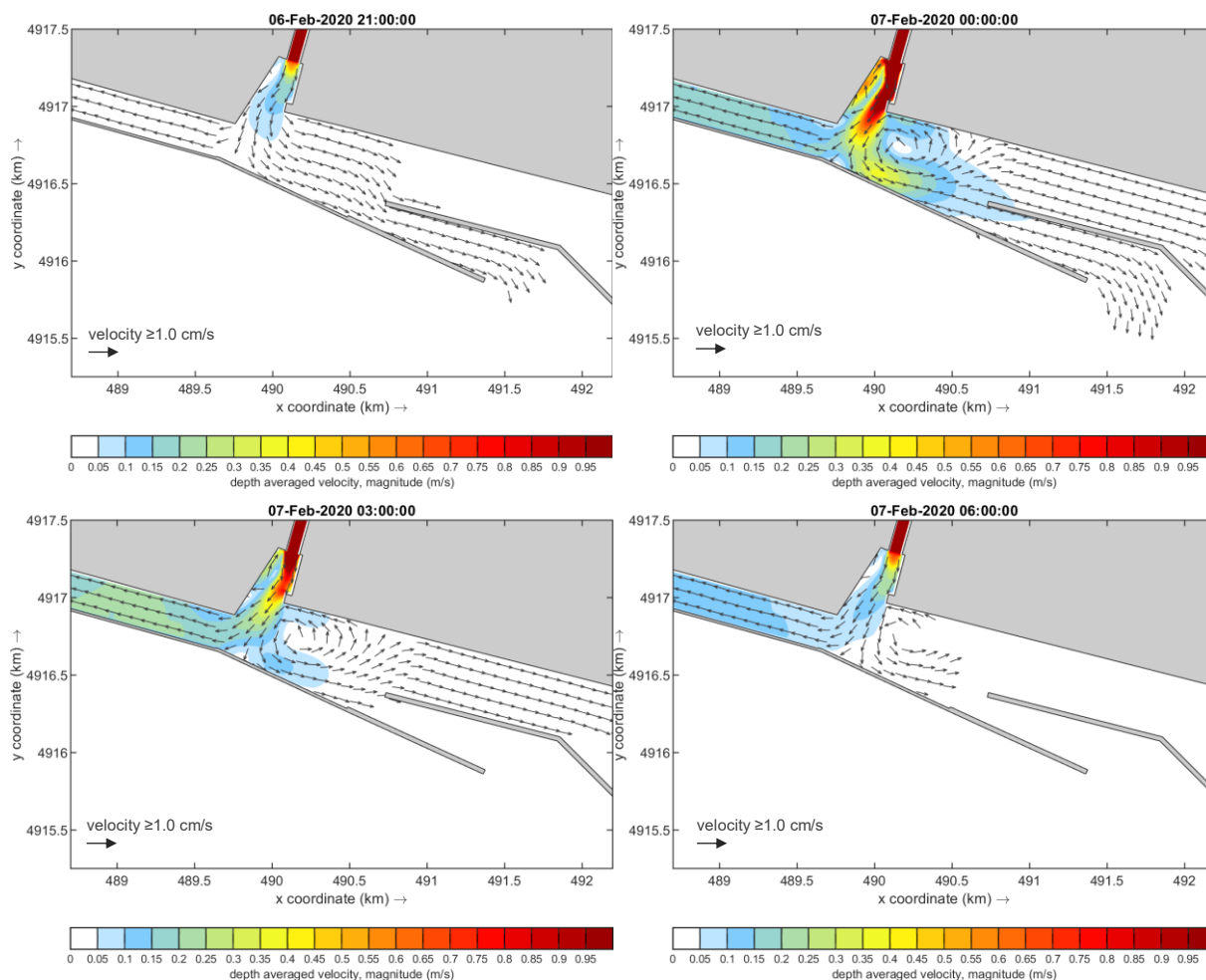


FIGURA 3-34. SOLUZIONE 3 - FASE B).

RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON
TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 939 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ
PER LE ORE 21:00, 24:00 (COLMO DI PIENA), 03:00 E 06:00 (CODA DELLA PIENA).

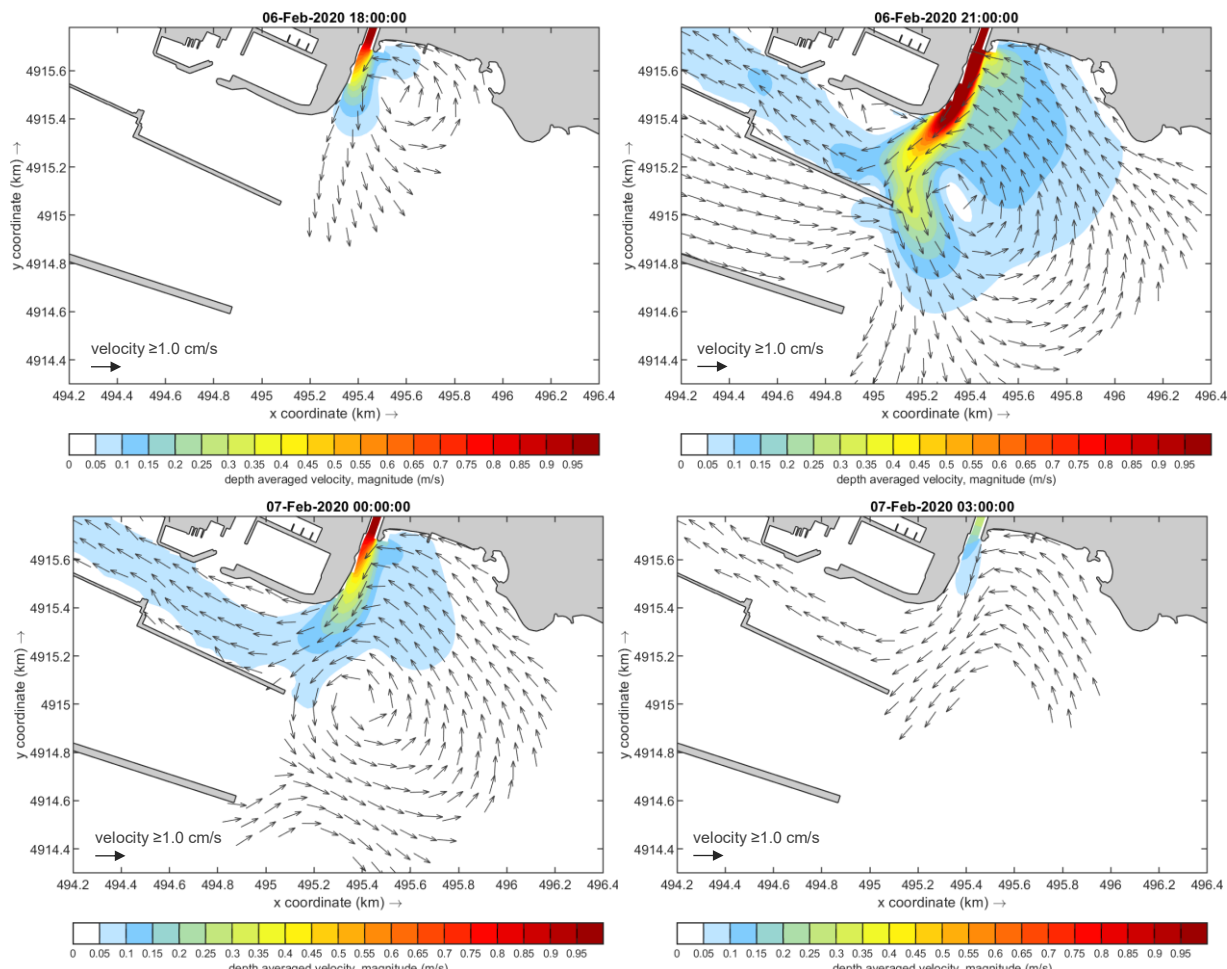
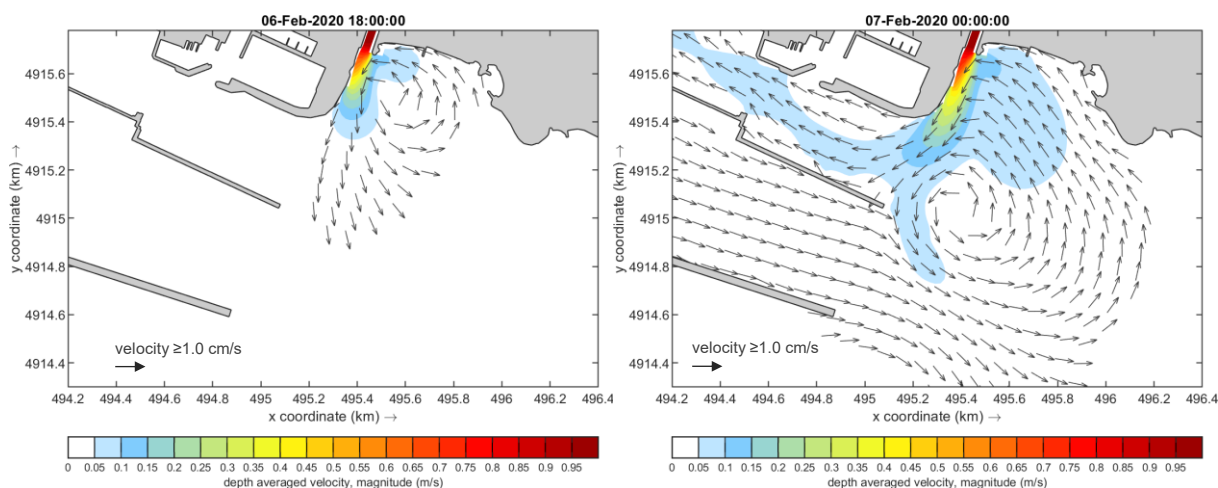


FIGURA 3-35. SOLUZIONE 3 - FASE a).

RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 (COLMO DI PIENA), 24:00 E 03:00 (CODA DELLA PIENA).



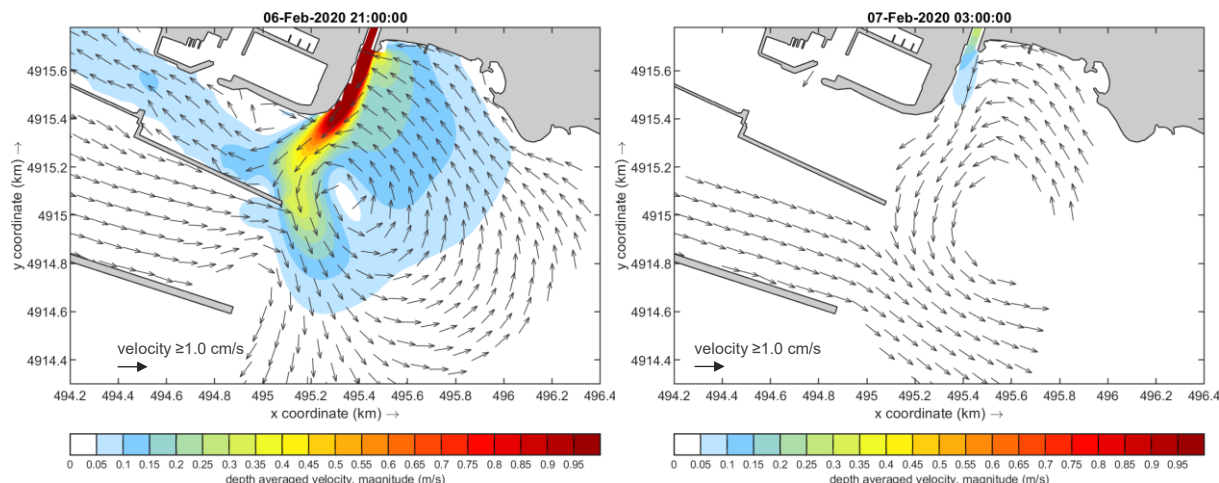


FIGURA 3-36. SOLUZIONE 3 - FASE b).

RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 416 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ PER LE ORE 18:00, 21:00 (COLMO DI PIENA), 24:00 E 03:00 (CODA DELLA PIENA).

3.5.3. Apporti solidi e sedimentazione

La sedimentazione e l'erosione cumulata ottenuta alla foce del Polcevera per la soluzione S3 al termine degli eventi di piena con $Tr = 10$ anni è mostrata rispettivamente nei diagrammi di Figura 3-37 e Figura 3-38. I diagrammi riportano i risultati ottenuti per la fase a) e per la fase b).

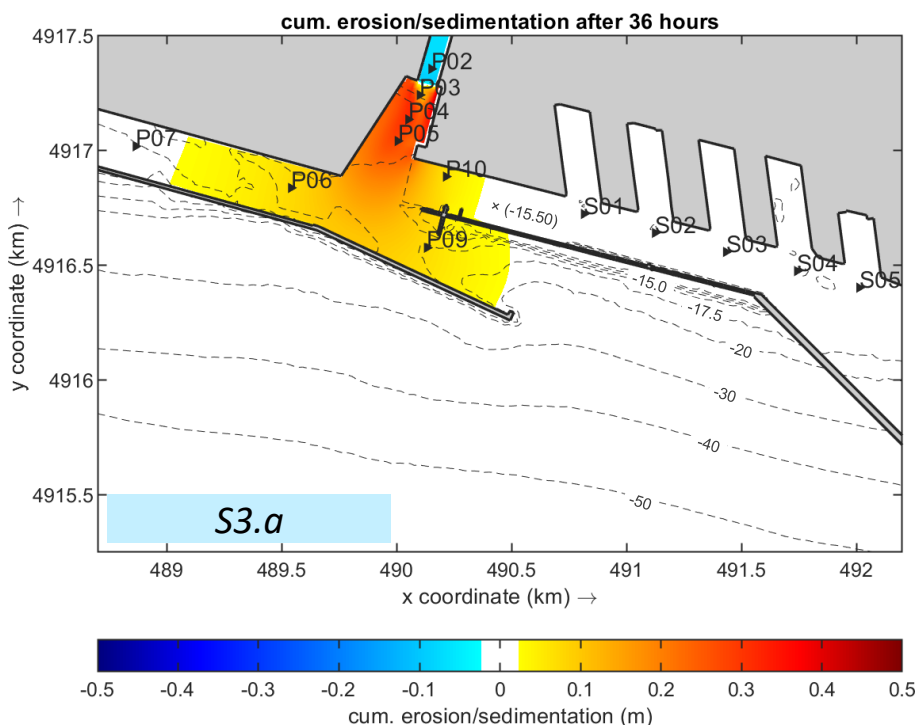


FIGURA 3-37. SEDIMENTAZIONE ED EROSIONE CUMULATA OTTENUTA ALLA FOCE DEL POLCEVERA PER LA PORTATA CON $Tr = 10$ ANNI DOPO 36 ORE DI SIMULAZIONE. SOLUZIONE S3 - FASE A (S3.A)

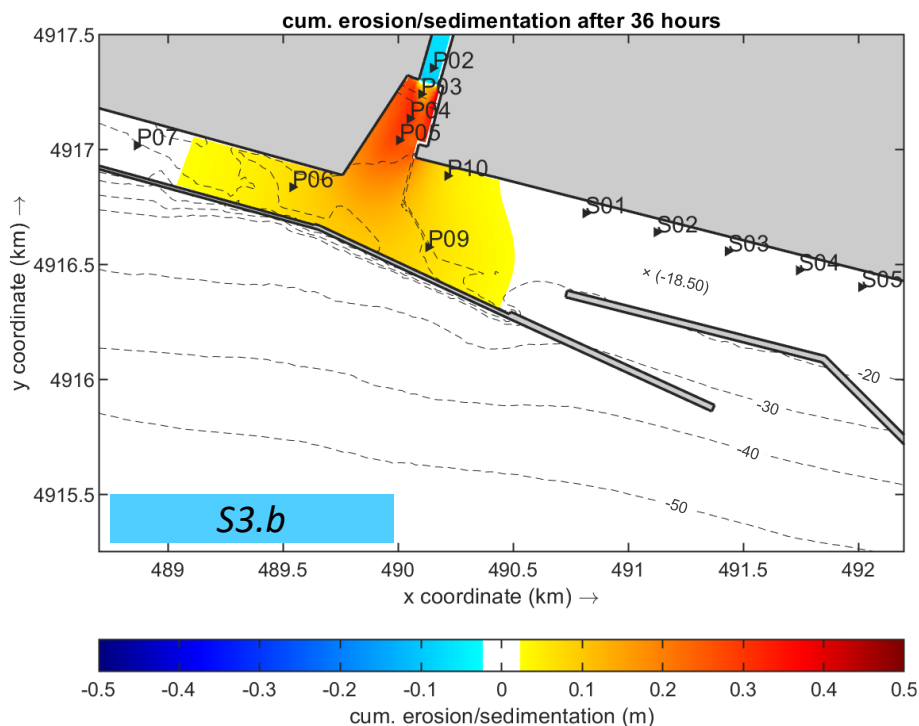


FIGURA 3-38. SEDIMENTAZIONE ED EROSIONE CUMULATA OTTENUTA ALLA FOCE DEL POLCEVERA PER LA PORTATA CON $Tr = 10$ ANNI DOPO 36 ORE DI SIMULAZIONE.
(DIAGRAMMA A DESTRA) SOLUZIONE S3 - FASE B (S3.B)

La sedimentazione e l'erosione cumulata ottenuta alla foce del Bisagno per la soluzione S3 al termine degli eventi di piena con $Tr = 10$ anni è mostrata nei diagrammi di Figura 3-39. I diagrammi riportano i risultati ottenuti per la fase a) e per la fase b).

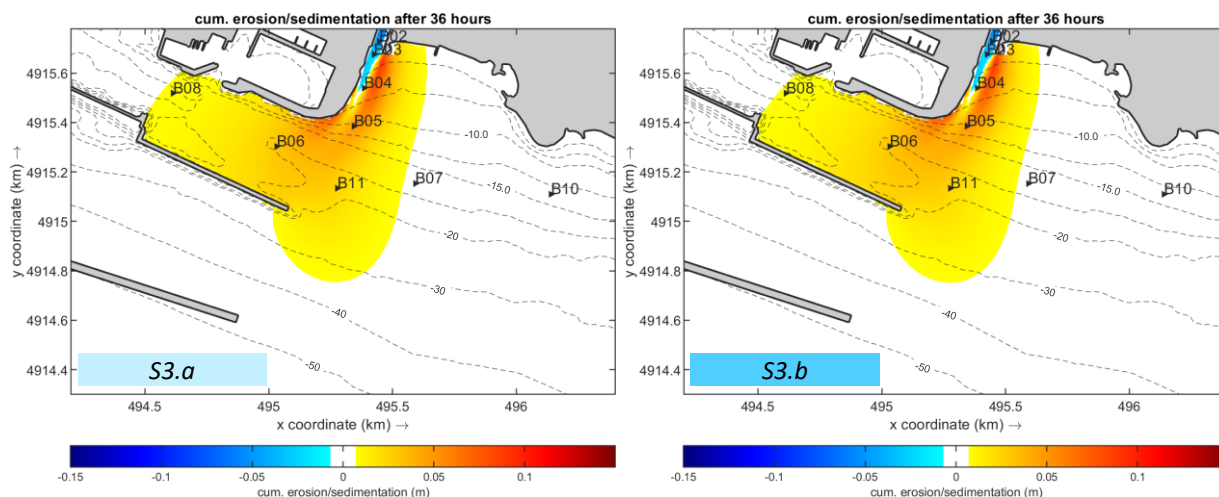


FIGURA 3-39. SEDIMENTAZIONE ED EROSIONE CUMULATA OTTENUTA ALLA FOCE DEL BISAGNO PER LA PORTATA CON $Tr = 10$ ANNI DOPO 36 ORE DI SIMULAZIONE.
(DIAGRAMMA A SINISTRA) SOLUZIONE S3 - FASE A (S3.A)
(DIAGRAMMA A DESTRA) SOLUZIONE S3 - FASE B (S3.B)

3.6. Analisi dei risultati

Per analizzare l'influenza delle nuove opere foranee, previste dalla Soluzione S3 (in fase realizzativa a) e b)), sull'idrodinamica e il trasporto solido alla foce dei torrenti Bisagno e Polcevera sono state condotte numerose simulazioni con il modello numerico Delft3D-FLOW per simulare gli eventi di piena (simultanei) associati ad un tempo di ritorno $Tr = 10$ anni.

Il confronto con i risultati ottenuti con le simulazioni relative allo stato attuale ha consentito di giungere alle seguenti conclusioni di carattere generale:

- i. la Soluzione selezionata S3 è stata progettata cercando di assicurare il deflusso degli eventi di piena alla foce del Polcevera e del Bisagno. I risultati ottenuti mostrano che il campo idrodinamico non viene alterato in modo significativo dalla configurazione delle nuove opere foranee;
- ii. le variazioni del campo idrodinamico alla foce dei due torrenti in occasione degli eventi di piena, dovute alla nuova configurazione portuale prevista dalla soluzione S3, non vanno ad interferire in alcun modo con la navigazione.

La **Soluzione S3 fase a)** non prevede variazioni dell'assetto planimetrico delle opere foranee in prossimità delle foci del Polcevera e del Bisagno. L'apertura lungo la diga foranea di Sampierdarena, per la realizzazione della nuova imboccatura a levante, comporta una diversa circolazione all'interno del bacino portuale dei flussi indotti dagli eventi di piena dei due corsi d'acqua.

L'ampio bacino di evoluzione, previsto nello specchio acqueo prospiciente alla calata Bettolo, favorisce il richiamo delle acque del Bisagno all'interno del porto. La portata entrante nel bacino portuale, che risulta più elevata rispetto allo stato attuale, si ripartisce in due flussi: un flusso, diretto verso Ovest, che si sviluppa all'interno del bacino di Sampierdarena, come avviene attualmente, ma di intensità minore; l'altro esce dalla nuova imboccatura e si ricongiunge alla circolazione antioraria che si instaura alla foce del Bisagno.

La portata del Polcevera, come per lo stato attuale, defluisce inizialmente attraverso l'imboccatura di ponente e il bacino di Sampierdarena per poi trovare sbocco all'interno del canale di calma dell'aeroporto. Le variazioni di portata ottenute per la soluzione S3.a nelle sezioni di controllo in prossimità del Polcevera, sono marginali.

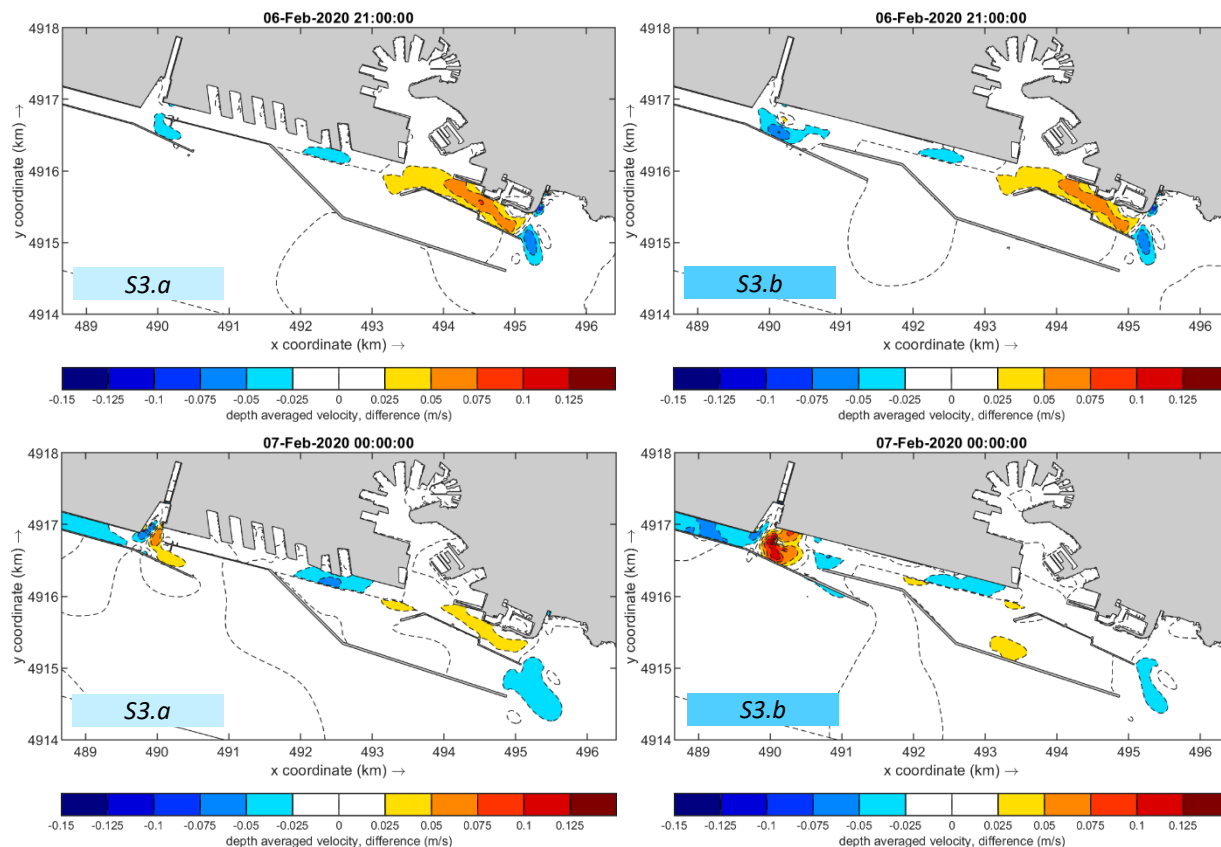


FIGURA 3-40. DIFFERENZA DEL CAMPO IDRODINAMICO TRA LA SOLUZIONE S3 E LO STATO ATTUALE PER GLI EVENTI DI PIENA CON $T_r = 10$ ANNI IN CORRISPONDENZA DEL COLMO DEL BISAGNO (IN ALTO) E DEL POLCEVERA (IN BASSO). S3 - FASE A) (A SINISTRA) – S3 FASE B) (A DESTRA).

Le variazioni di velocità ottenute rispetto alla situazione attuale (Figura 3-40) sono molto modeste (dell'ordine di 5.0-10.0 cm/s) e si verificano in maggior misura all'imboccatura di levante e alla foce del Polcevera. La riduzione del flusso all'interno del bacino di Sampierdarena riduce la velocità nel canale di calma dell'aeroporto e allo stesso tempo incrementa il flusso attraverso la bocca di ponente. Si osserva anche un aumento della velocità all'imboccatura di levante, dovuto alla maggiore portata in ingresso, e una riduzione nel bacino di Sampierdarena, più importante in corrispondenza di Ponte S.Giorgio e Ponte Ex Idroscalo.

La **Soluzione S3 fase b)**, non prevede variazioni dell'assetto planimetrico delle opere foranee alla foce del Bisagno di conseguenza in quest'area non si riscontrano variazioni significative. L'ampliamento del bacino Sampierdarena, l'approfondimento dei fondali e il prolungamento della diga dell'aeroporto verso levante contribuiscono a modificare le condizioni di deflusso alla foce del Polcevera. Il flusso risulta deviato verso levante, all'interno del bacino di Sampierdarena, dove la portata viene quasi raddoppiata, con un aumento delle velocità dell'ordine di 10-15 cm/s.

La portata attraverso l'imboccatura di ponente si riduce di circa il 40% (da circa 650 m³/s a poco meno di 400 m³/s) mentre nel canale di calma si mantiene praticamente invariata, con una lieve riduzione del valore al colmo di piena che determina una riduzione della velocità all'interno del canale dell'ordine di 5 cm/s.

Per quanto riguarda i processi di trasporto solido fluviale, ed i conseguenti **processi di sedimentazione ed erosione** è possibile fare le seguenti conclusioni:

- i. gli apporti solidi dei torrenti Polcevera e Bisagno sono generalmente molto modesti e assumono rilevanza solo in occasione di eventi di piena contraddistinti da un tempo di ritorno dell'ordine di 5-10 anni;
- ii. il trasporto solido che può interessare lo specchio acqueo portuale è esclusivamente il trasporto solido in sospensione. Il trasporto di fondo del materiale più grossolano, generalmente molto scarso alla foce di un corso d'acqua, nel caso del Polcevera risulta ancor meno rilevante per la presenza della vasca di sedimentazione;
- iii. le variazioni del campo idrodinamico, associato ad eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni, indotte dalle nuove opere foranee previste per la soluzione S3 sono di scarsa entità ed hanno di conseguenza un'influenza marginale sui processi di trasporto solido in sospensione;
- iv. le variazioni ottenute per i processi di trasporto e sedimentazione si manifestano in prevalenza in prossimità delle foci del Bisagno e del Polcevera;
- v. la concentrazione del sedimento in sospensione all'interno del bacino di Sampierdarena, al colmo dell'evento di piena del Polcevera, risulta più elevata per la soluzione di progetto rispetto allo stato attuale (con un aumento di 0.1 kg/m³ pari a una variazione di circa il 5%). Contestualmente si osserva una riduzione della concentrazione del sedimento in sospensione all'interno del canale di calma (Figura 3-41). La variazione della concentrazione dei sedimenti in sospensione alla foce del Bisagno ottenuta per la soluzione di progetto risulta molto modesta rispetto allo stato attuale (inferiore al 2%);
- vi. la sedimentazione ottenuta per la soluzione S3, al termine delle 36 ore di simulazione, risulta più elevata rispetto allo stato attuale in corrispondenza della porzione più occidentale del bacino di Sampierdarena, dell'imboccatura di ponente e dell'imboccatura di levante del porto. Allo stesso tempo, all'interno del canale di calma, si osserva una riduzione dei processi di sedimentazione (Figura 3-42);

- vii. l'incremento degli spessori di sedimentazione all'interno del bacino di Sampierdarena e dell'imboccatura di ponente, in occasione di un evento di piena con $Tr = 10$ anni, risulta, per la fase a) delle diverse soluzioni selezionate, dell'ordine di $1.0 \div 3.0$ cm, mentre, all'imboccatura di levante, in prossimità della foce del Bisagno, l'incremento ottenuto risulta dell'ordine di 1.0 cm;
- viii. i risultati ottenuti per la fase realizzativa b) evidenziano una tendenza alla sedimentazione all'interno del bacino portuale più marcata che, in corrispondenza della porzione più occidentale del bacino di Sampierdarena, presenta un incremento dello spessore dei sedimenti depositati compreso tra 1.0 e 5.0 cm.

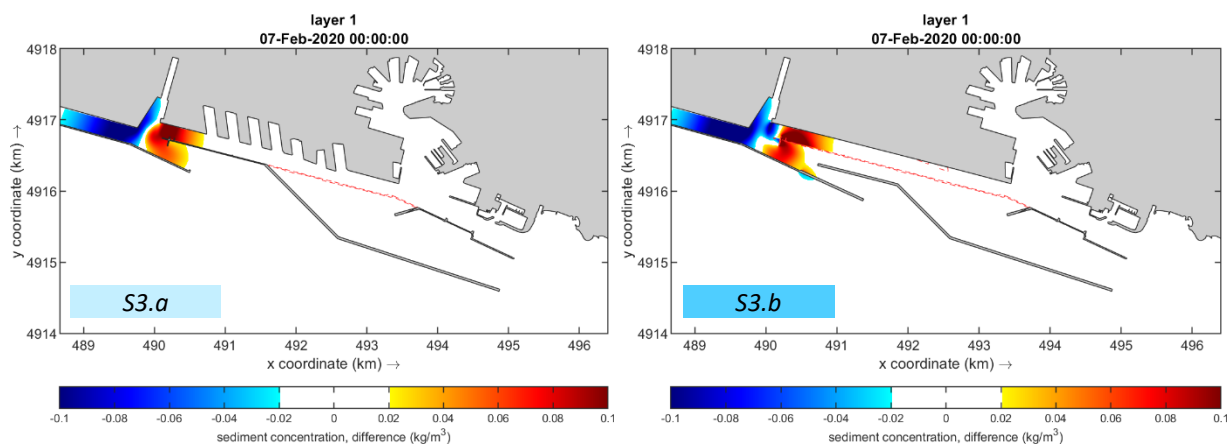


FIGURA 3-41. VARIAZIONE, RISPETTO ALLO STATO ATTUALE, DELLA CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE (AL COLMO DI PIENA DEL POLCEVERA) OTTENUTA PER LA SOLUZIONE S3 IN OCCASIONE DI UN EVENTO DI PIENA SIMULTANEA DEL POLCEVERA E DEL BISAGNO CON $TR = 10$ ANNI. FASE A) (A SINISTRA) - FASE B) (A DESTRA).

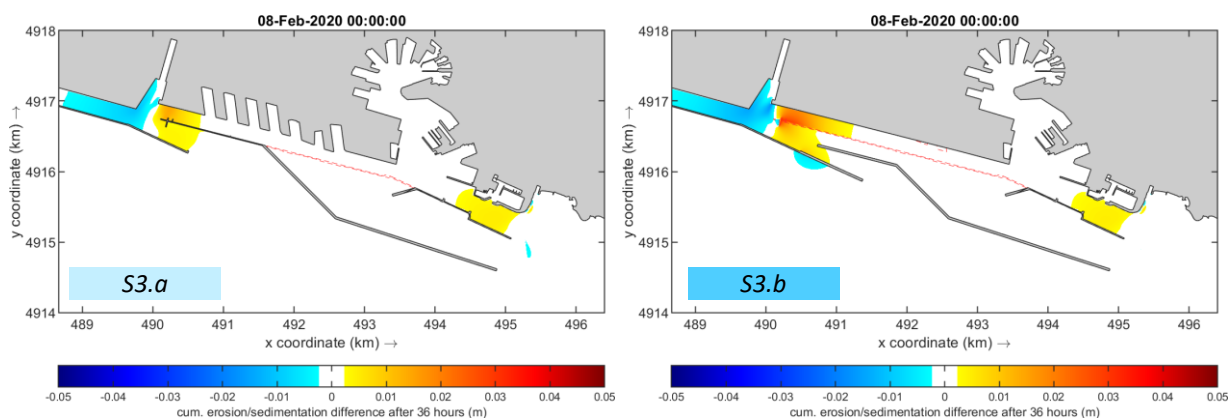


FIGURA 3-42. VARIAZIONE, RISPETTO ALLO STATO ATTUALE, DELLA SEDIMENTAZIONE E DELL'EROSIONE CUMULATA ALL'INTERNO DEL DOMINIO DI CALCOLO OTTENUTA PER LA SOLUZIONE S3 AL TERMINE DELLE 36 ORE DI SIMULAZIONE IN OCCASIONE DI UN EVENTO DI PIENA SIMULTANEO DEL POLCEVERA E DEL BISAGNO CON $TR = 10$ ANNI. FASE A) (A SINISTRA) - FASE B) (A DESTRA).

4. ANALISI DEL DEFLUSSO PER EVENTI DI PIENA ESTREMI

Nel presente capitolo sono riportati i risultati delle simulazioni condotte con il modello Delft3D-Flow per analizzare le condizioni di deflusso alla foce dei torrenti Polcevera e Bisagno in relazione ad eventi di piena estremi caratterizzati da tempi di ritorno di 50 e 200 anni.

Come effettuato in precedenza l'analisi è stata condotta valutando le variazioni relative rispetto alle simulazioni effettuate per lo stato attuale.

Come condizione al contorno sono stati applicati gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno pari a 50 e 200 anni per i torrenti Polcevera e Bisagno precedentemente presentati al paragrafo 2.2.

Le simulazioni, sia per lo stato attuale che per quello di progetto, sono state condotte ipotizzando che la portata al colmo sia interamente contenuta dagli argini esistenti.

Per il Bisagno, facendo riferimento alla Relazione idrologica e idraulica del Piano di Bacino, la portata massima che è in grado di defluire nel tratto compreso tra l'imboccatura della copertura Brignole e la foce è pari a $Q_{res} = 710 \text{ m}^3/\text{s}$ per Tr 50 anni e pari a $Q_{res} = 750 \text{ m}^3/\text{s}$ per Tr 200 anni.

In futuro l'entrata in funzione dello scolmatore del Bisagno assicurerà lo scolmo di una portata pari a $420 \text{ m}^3/\text{s}$ per l'evento duecentennale (portata in arrivo da monte pari a $1,050 \text{ m}^3/\text{s}$), ed il rilascio verso valle di una portata di $630 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le simulazioni sono state condotte, seguendo un approccio cautelativo, applicando i valori di portata al colmo relativi allo stato attuale, senza considerare la presenza dello scolmatore.

4.1. Analisi dello stato attuale

I diagrammi di Figura 4-1 e Figura 4-2 mostrano il campo di velocità ottenuto alla foce del Polcevera per lo stato attuale al colmo degli eventi di piena con tempo di ritorno 50 anni ($1377 \text{ m}^3/\text{s}$) e 200 anni ($1763 \text{ m}^3/\text{s}$).

Allo stesso modo i diagrammi di Figura 4-3 e Figura 4-4 mostrano i risultati ottenuti alla foce del Bisagno al colmo dell'evento di piena cinquantennale ($Q_{res} = 710 \text{ m}^3/\text{s}$) e dell'evento di piena duecentennale ($Q_{res} = 750 \text{ m}^3/\text{s}$).

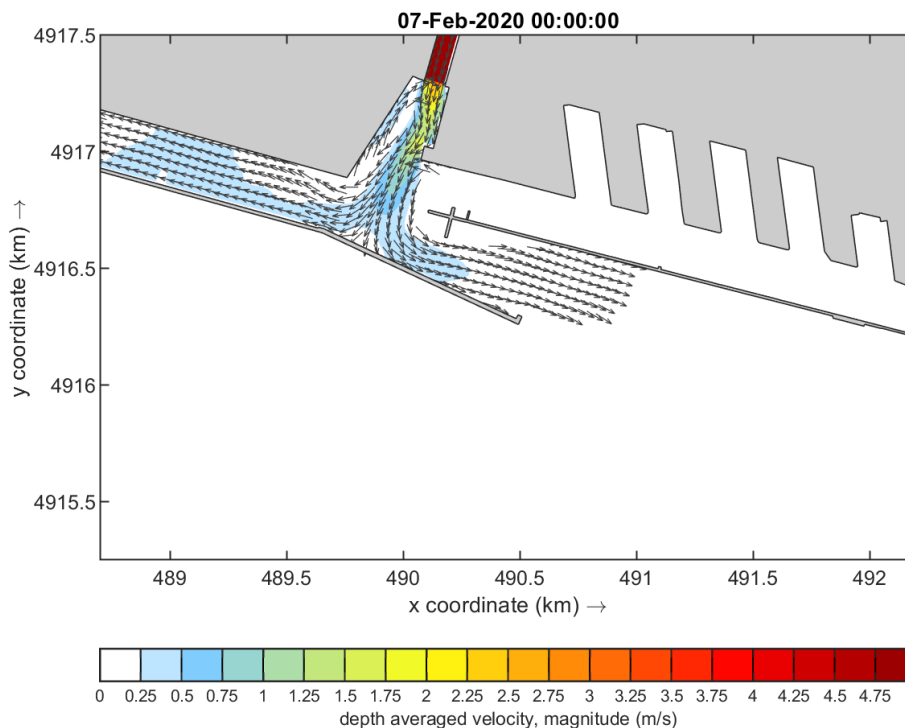


FIGURA 4-1. STATO ATTUALE. RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1377 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 24:00 (COLMO DI PIENA).

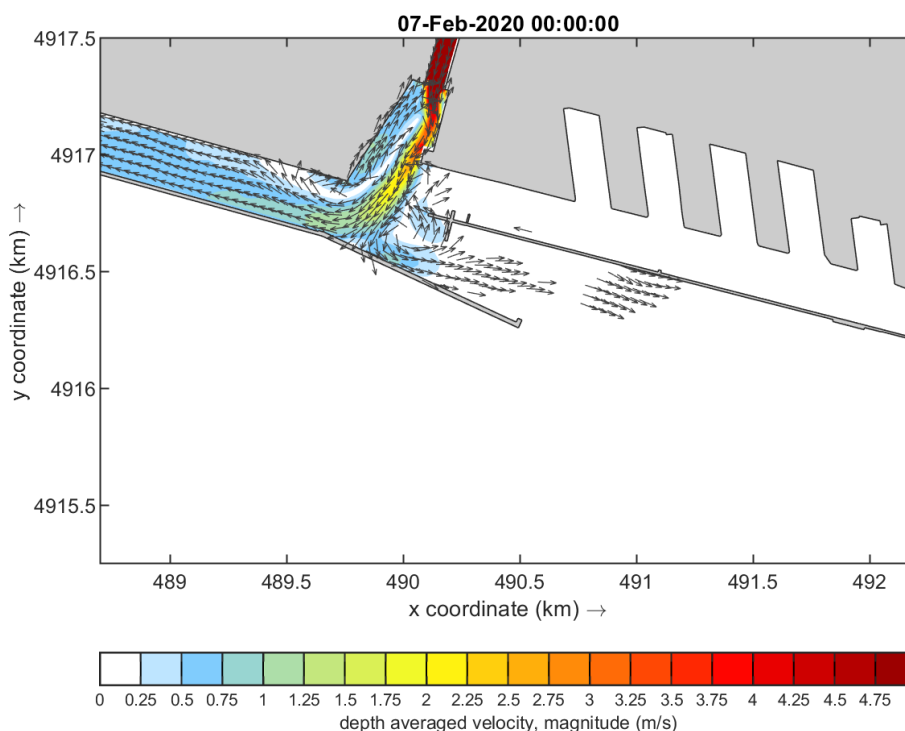


FIGURA 4-2. STATO ATTUALE. RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1763 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 24:00 (COLMO DI PIENA).

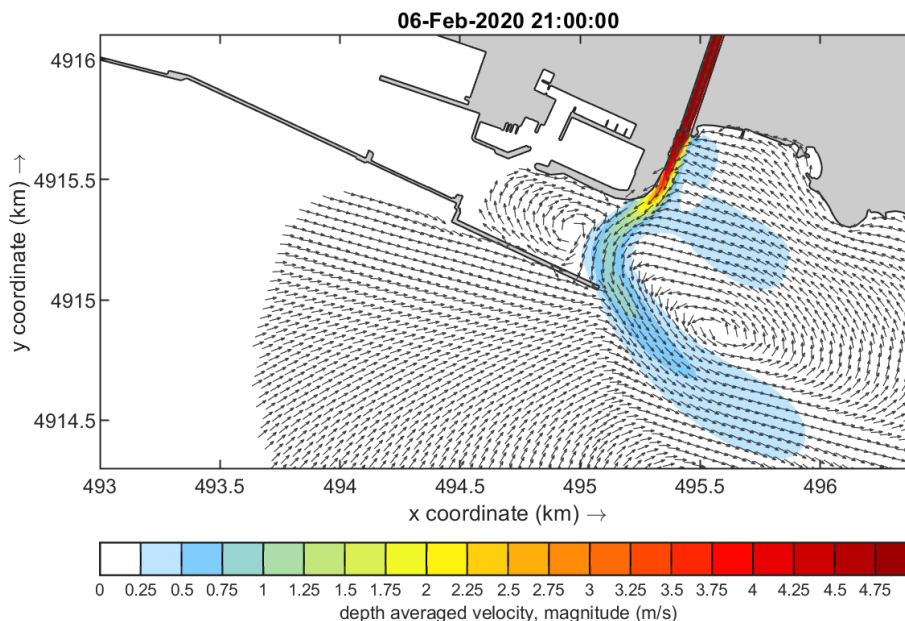


FIGURA 4-3. STATO ATTUALE. RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q_{RES} = 710 \text{ M}^3/\text{S}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 21:00 (COLMO DI PIENA).

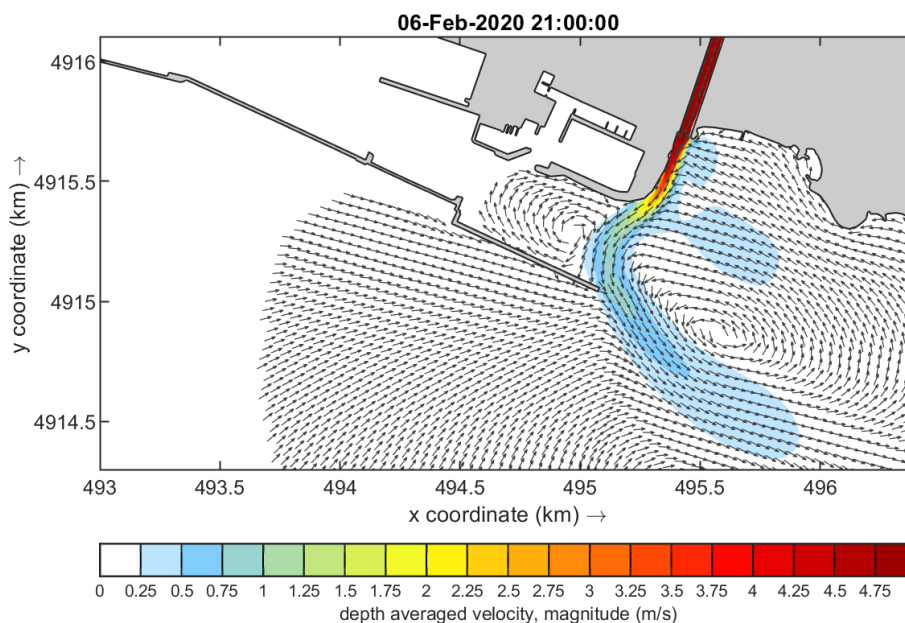


FIGURA 4-4. STATO ATTUALE. RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q_{RES} = 750 \text{ M}^3/\text{S}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 21:00 (COLMO DI PIENA).

4.2. Soluzione di progetto S3 fase a)

I diagrammi di Figura 4-5 e Figura 4-6 mostrano il campo di velocità ottenuto alla foce del Polcevera per la soluzione di progetto S3 in fase realizzativa a) al colmo degli eventi di piena con tempo di ritorno 50 anni e 200 anni.

I risultati alla foce del Bisagno sono mostrati in seguito solo per la fase realizzativa b) in quanto le variazioni osservate tra la fase a) e la fase b) sono trascurabili.

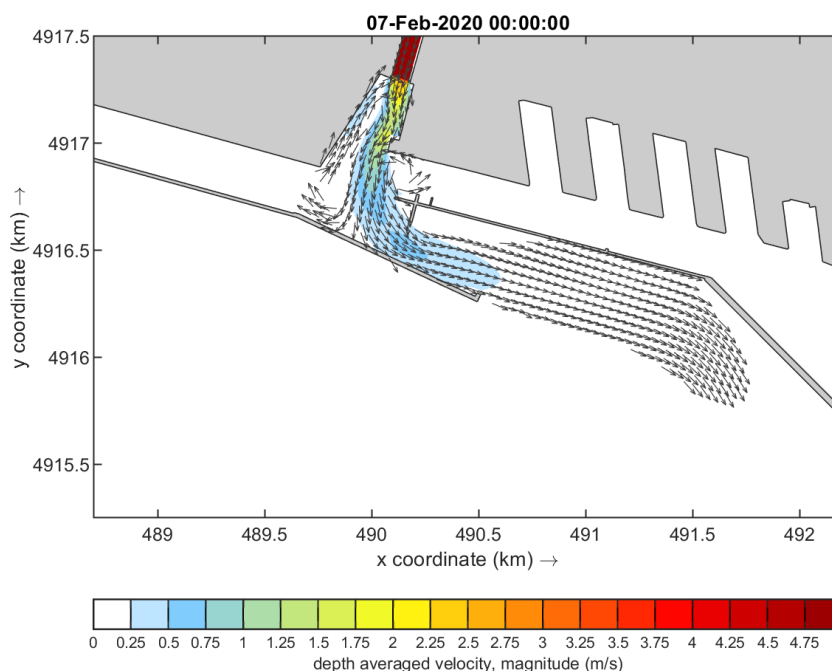


FIGURA 4-5. SOLUZIONE S3 IN FASE A). RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1377 \text{ M}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 24:00 (COLMO DI PIENA).

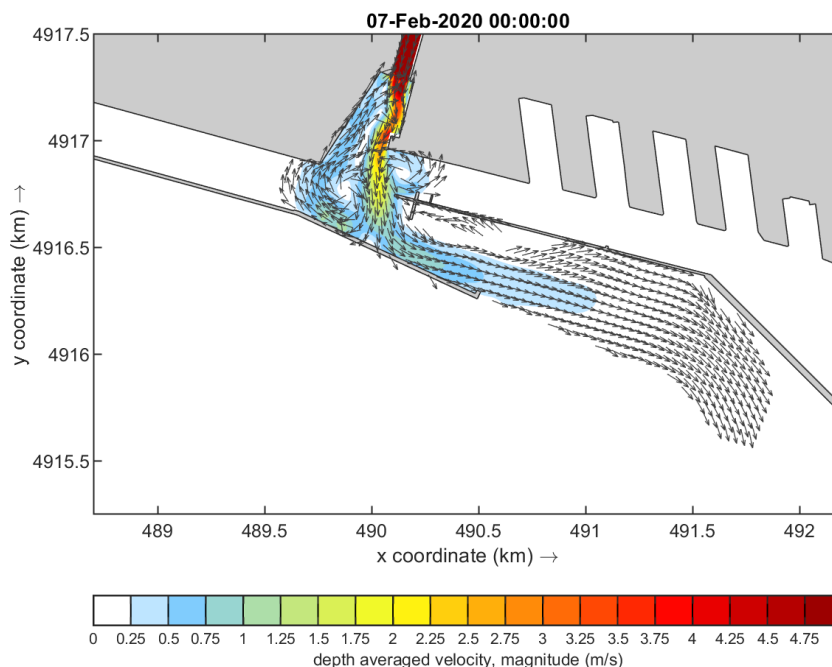


FIGURA 4-6. SOLUZIONE S3 IN FASE A). RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1763 \text{ M}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 24:00 (COLMO DI PIENA).

4.3. Soluzione di progetto S3 fase b)

I diagrammi di Figura 4-7 e Figura 4-8 mostrano il campo di velocità ottenuto alla foce del Polcevera per la soluzione di progetto S3 in fase realizzativa b) al colmo degli eventi di piena con tempo di ritorno 50 anni e 200 anni, caratterizzati da un valore di portata al colmo rispettivamente di 1377 m³/s e 1763 m³/s.

Allo stesso modo i diagrammi di Figura 4-9 e Figura 4-10 mostrano i risultati ottenuti alla foce del Bisagno al colmo dell'evento di piena cinquantennale ($Q_{RES} = 710$ m³/s) e di quello duecentennale ($Q_{RES} = 750$ m³/s).

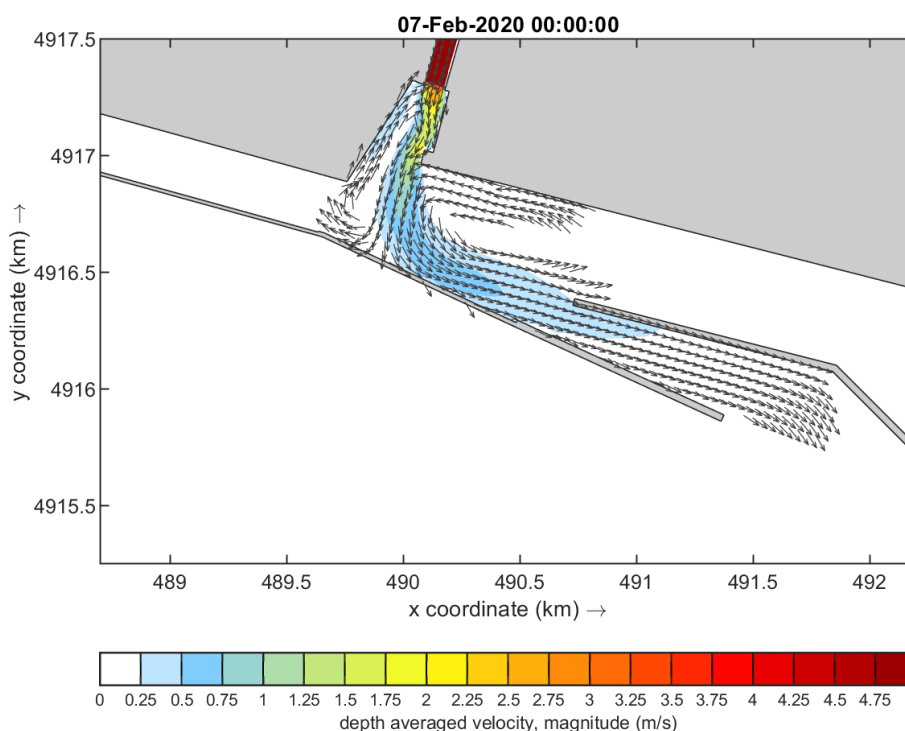


FIGURA 4-7. SOLUZIONE S3 IN FASE B). RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1377$ M³/S. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 24:00 (COLMO DI PIENA).

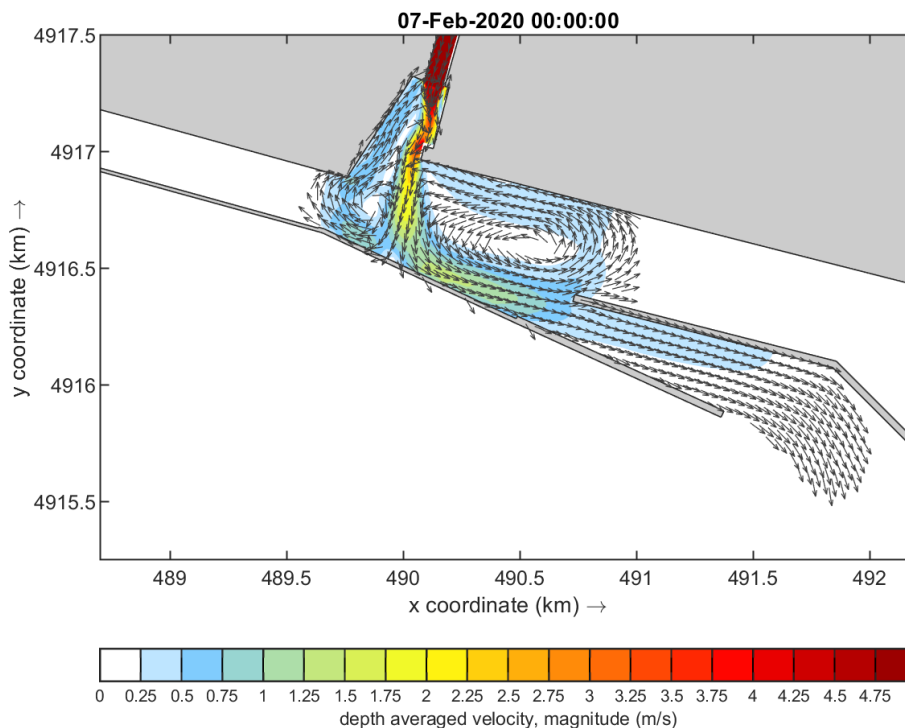


FIGURA 4-8. SOLUZIONE S3 IN FASE B). RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1763 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 24:00 (COLMO DI PIENA).

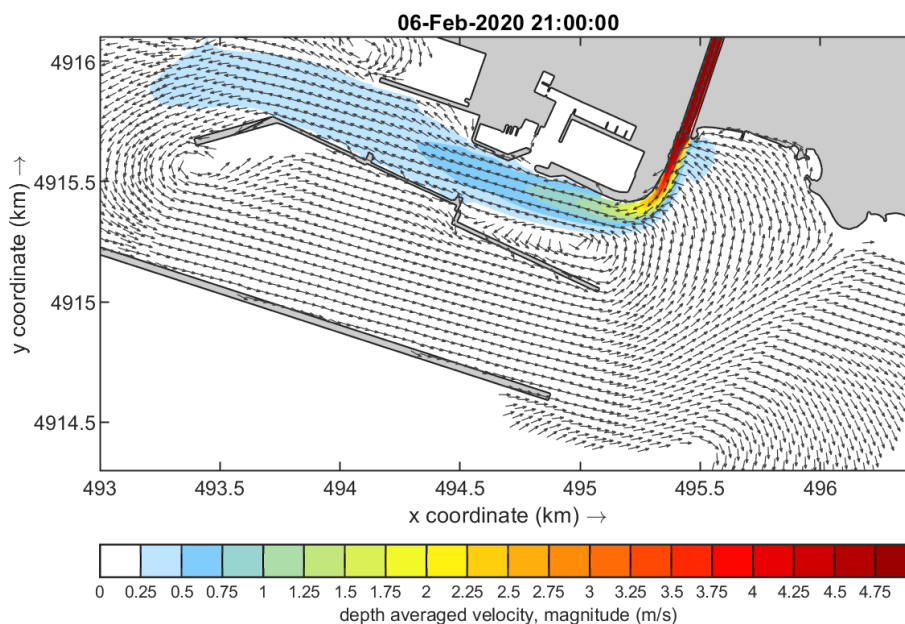


FIGURA 4-9. SOLUZIONE S3 IN FASE B). RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q_{\text{RES}} = 710 \text{ m}^3/\text{s}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 21:00 (COLMO DI PIENA).

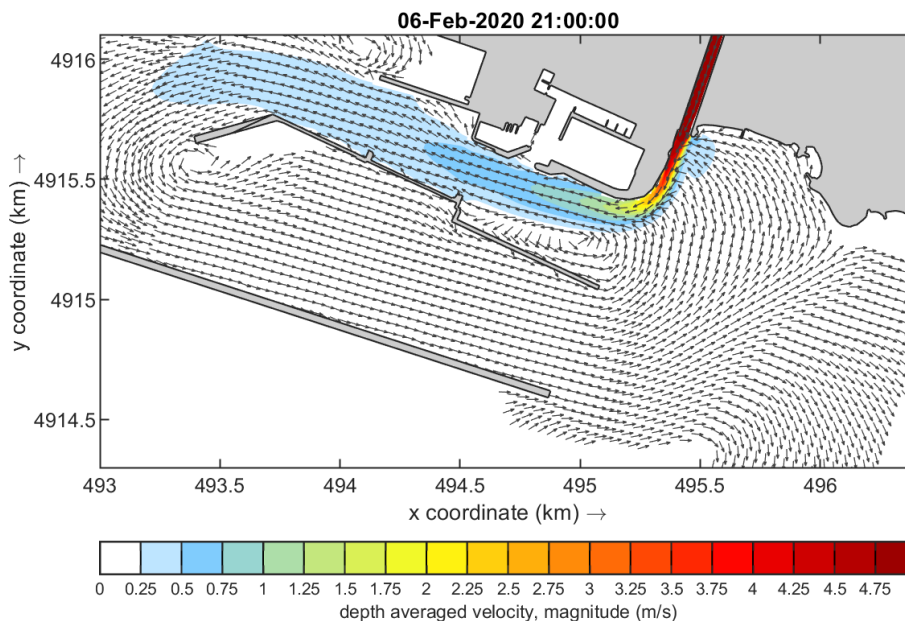


FIGURA 4-10. SOLUZIONE S3 IN FASE B). RISULTATI OTTENUTI ALLA FOCE DEL TORRENTE BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q_{RES} = 750 \text{ M}^3/\text{S}$. CAMPO DI VELOCITÀ ALLE ORE 21:00 (COLMO DI PIENA).

4.4. Analisi dei risultati

Le simulazioni condotte consentono di svolgere una valutazione degli effetti che le nuove opere possono determinare sul deflusso delle portate alla foce del Polcevera e del Bisagno per eventi di piena estremi con tempi di ritorno di 50 e 200 anni.

Il confronto tra i risultati ottenuti per lo scenario attuale e quelli relativi alla soluzione di progetto S3, in fase a) e in fase b), permette di giungere alle seguenti conclusioni di carattere generale:

- i. la soluzione di progetto S3 è stata progettata cercando di garantire il deflusso delle portate alla foce del Polcevera e del Bisagno. I risultati ottenuti mostrano che in occasione di eventi di piena estremi il campo idrodinamico viene alterato in modo significativo dalla configurazione delle nuove opere foranee, questo aspetto non comporta comunque un ostacolo al deflusso delle portate;
- ii. le variazioni del campo idrodinamico alla foce dei due torrenti non comportano nessuna variazione del profilo di rigurgito fluviale lungo il tratto terminale dei due corsi d'acqua. La formazione di un risalto idraulico alla foce dei due corsi d'acqua determina infatti una disconnessione idraulica tra la zona di foce e il tratto immediatamente a monte.

L'apertura lungo la diga foranea di Sampierdarena, e la formazione della nuova diga per la realizzazione della nuova imboccatura a Levante, comportano una diversa circolazione

all'interno del bacino portuale dei flussi indotti dagli eventi di piena estremi dei due corsi d'acqua.

Al pari di quanto già osservato per eventi di piena ordinari, con tempo di ritorno decennale, il nuovo bacino di evoluzione, previsto nello specchio acqueo prospiciente alla calata Bettolo, favorisce una diversa circolazione, che richiama le acque del Bisagno e del Polcevera all'interno del porto.

In presenza delle nuove opere il flusso del Polcevera, sfociando nel porto, viene deviato in sinistra idraulica defluendo prevalentemente attraverso l'imboccatura di Ponente piuttosto che nel canale di calma dell'aeroporto.

La portata alla foce del Bisagno viene deviata all'interno del bacino portuale, dove poi si ripartisce in due flussi: uno diretto verso Ovest, che si sviluppa all'interno del bacino di Sampierdarena, l'altro esce dalla nuova imboccatura e si ricongiunge alla circolazione antioraria che si instaura alla foce del Bisagno.

Le velocità del flusso al colmo degli eventi piena risultano molto elevate. Nei due corsi d'acqua, nel tratto terminale prima della foce, si verificano velocità superiori a 5.0 m/s.

In prossimità dello sbocco a mare si verifica il passaggio in corrente veloce, con valori del numero di Froude pari a $F > 3.5$ alla foce del Polcevera e $F > 2.0$ alla foce del Bisagno con valori di velocità compresi tra 8 e 10 m/s.

Per entrambi i corsi d'acqua si ha la formazione di un risalto idraulico alla foce (vedi grafici di Figura 4-11, Figura 4-12 e Figura 4-13) che comporta una forte turbolenza con la conseguente dissipazione di energia.

Il flusso residuo del Polcevera, a valle del risalto, risulta molto intenso anche all'interno della darsena trapezoidale, compresa tra la banchina Italsider e la banchina Ronco, dove si verificano velocità superiori a 2.0 m/s per l'evento cinquantennale e compresi tra 3.0 e 4.0 m/s per l'evento duecentennale.

Immediatamente all'esterno della darsena, le velocità risultano comprese tra 1.0 e 2.0 m/s. In configurazione attuale la portata al colmo di piena defluisce in prevalenza all'interno del canale di calma dell'aeroporto dove si hanno velocità comprese tra 0.5 e 1.0 m/s. In configurazione di progetto (fase a) la portata defluisce attraverso la bocca di ponente con valori di velocità compresi tra 1.0 e 1.5 m/s. In configurazione di progetto (fase b) si viene a generare una circolazione antioraria all'interno del nuovo bacino di Sampierdarena con velocità comprese tra 0.5 e 1.5 m/s.

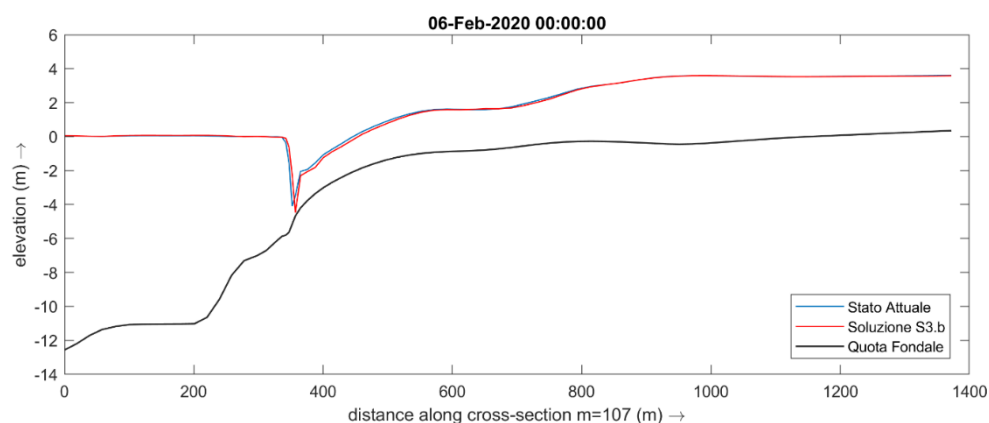


FIGURA 4-11. CONFRONTO DEI LIVELLI IDRICI OTTENUTI NEL TRATTO TERMINALE E ALLA FOCE DEL POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1377 \text{ m}^3/\text{s}$. STATO ATTUALE (BLU), SOLUZIONE S3.B (ROSSO).

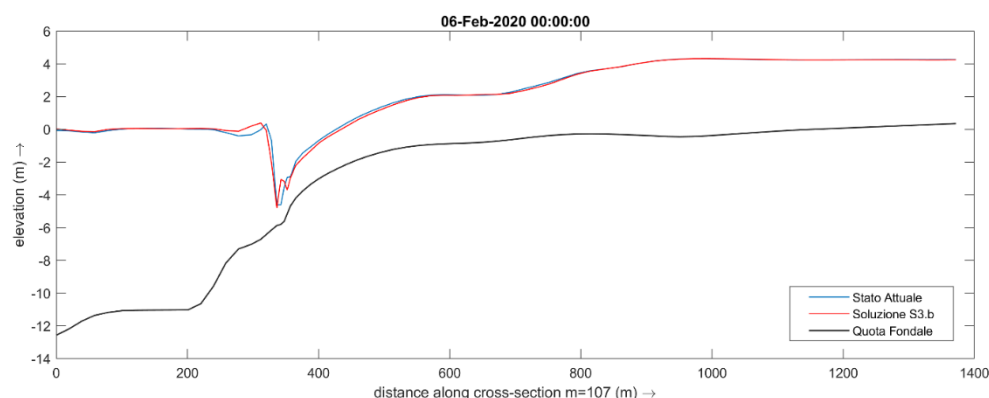


FIGURA 4-12. CONFRONTO DEI LIVELLI IDRICI OTTENUTI NEL TRATTO TERMINALE E ALLA FOCE DEL POLCEVERA PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q = 1763 \text{ m}^3/\text{s}$. STATO ATTUALE (BLU), SOLUZIONE S3.B (ROSSO).

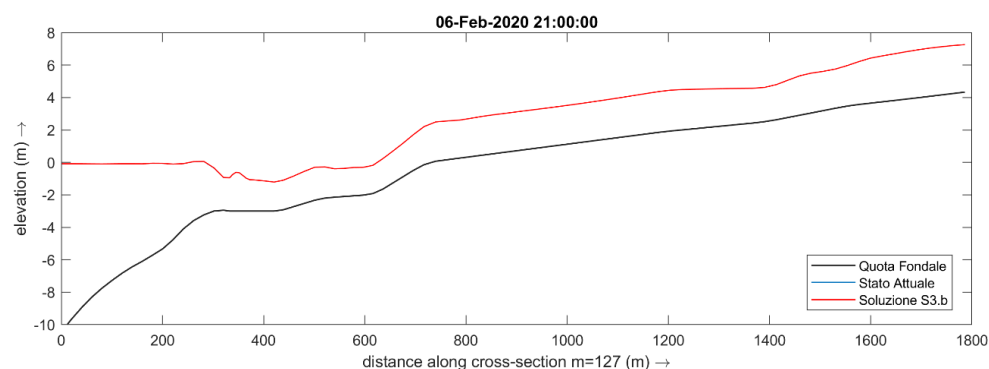


FIGURA 4-13. CONFRONTO DEI LIVELLI IDRICI OTTENUTI NEL TRATTO TERMINALE E ALLA FOCE DEL BISAGNO PER L'EVENTO DI PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI CON PORTATA AL COLMO $Q_{\text{RES}} = 750 \text{ m}^3/\text{s}$. STATO ATTUALE (BLU), SOLUZIONE S3.B (ROSSO).

Con riferimento alla Figura 4-13 si evidenzia che i due profili di rigurgito per la portata con $Tr=200$ anni e relativi alla situazione attuale (linea blu) e alla situazione di progetto S3.b coincidono per cui nella figura è visibile una sola linea.

Il flusso del Bisagno, a valle del risalto idraulico alla foce, prosegue verso il largo aderendo al molo sopraflutto del porto turistico della Fiera di Genova con velocità molto elevate, comprese tra 3.0 e 5.0 m/s. In configurazione attuale il flusso rimane pressoché ortogonale alla costa e segue un andamento ad “S” che lambisce la testata della diga foranea per proseguire verso il largo perdendo di intensità su fondali elevati. In configurazione di progetto il flusso viene invece richiamato all'interno del porto con velocità decrescenti tra 1.25 m/s e 0.25 m/s.

I diagrammi di Figura 4-14 e Figura 4-15 mostrano infine la variazione del campo di velocità osservata tra la configurazione di progetto S3 e la configurazione attuale, al colmo degli eventi di piena, in prossimità della foce del Polcevera e del Bisagno.

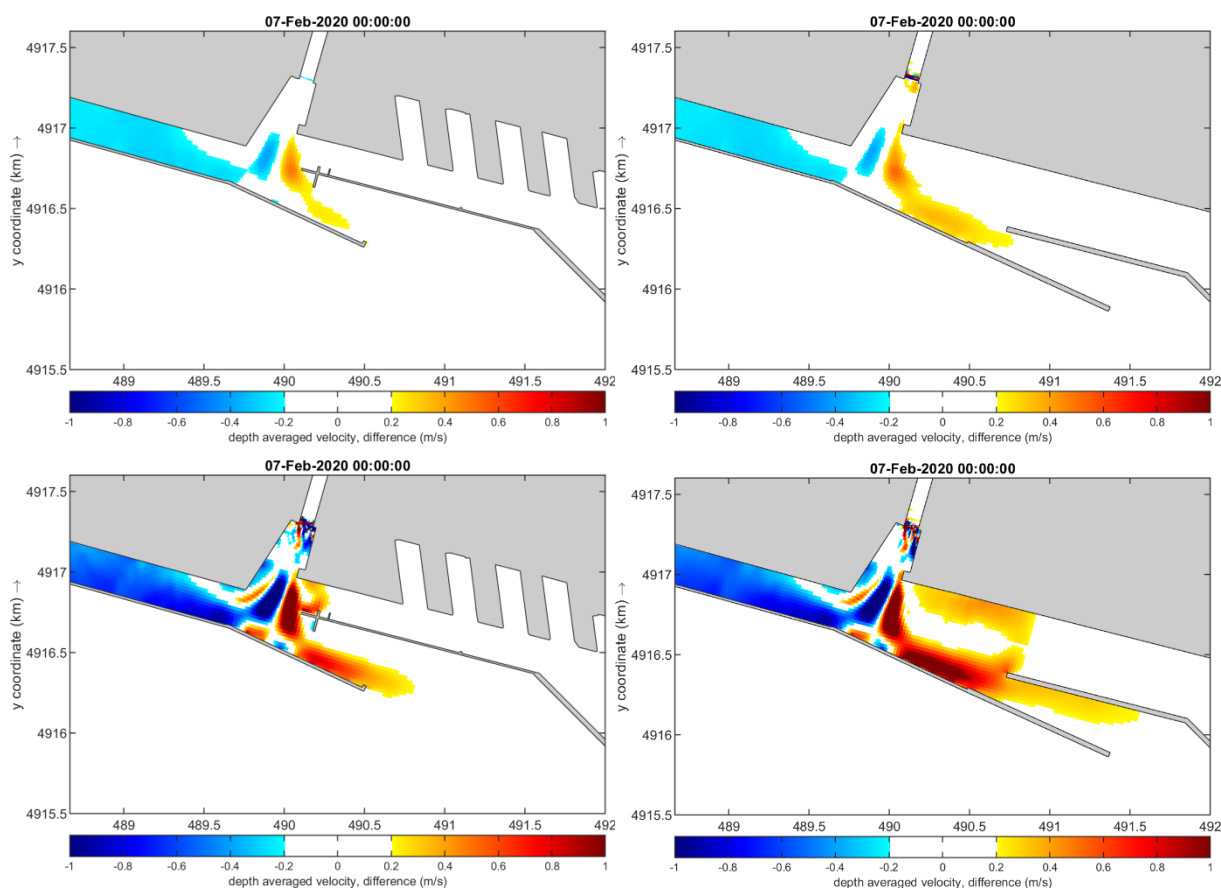


FIGURA 4-14. DIFFERENZA DEL CAMPO IDRODINAMICO ALLA FOCE DEL POLCEVERA TRA LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3 E LO STATO ATTUALE PER GLI EVENTI DI PIENA CON $Tr = 50$ ANNI (IN ALTO) E $Tr = 200$ ANNI (IN BASSO). S3 FASE A) (A SINISTRA) – S3 FASE B) (A DESTRA).

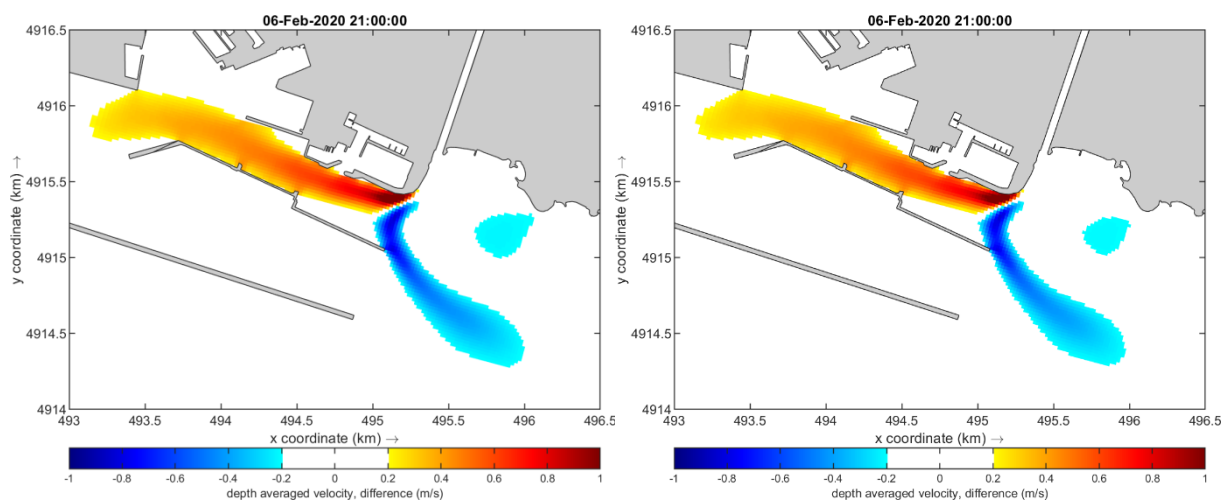


FIGURA 4-15. DIFFERENZA DEL CAMPO IDRODINAMICO ALLA FOCE DEL BISAGNO TRA LA SOLUZIONE DI PROGETTO S3 IN FASE B) E LO STATO ATTUALE PER GLI EVENTI DI PIENA CON $Tr = 50$ ANNI (A SINISTRA) E $Tr = 200$ ANNI (A DESTRA).