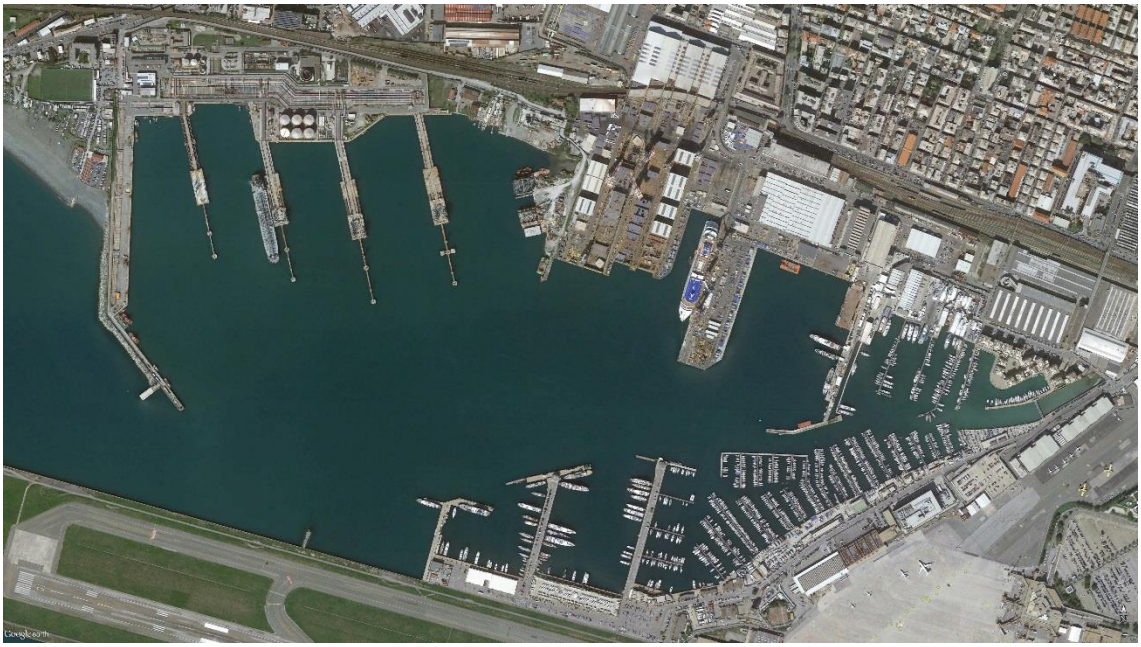
Studio modellistico delle correnti nel tratto di mare antistante le foci dei rii Marotto e Molinassi in condizioni di piena

Relazione tecnica



Relazione

Ottobre 2017

The expert in WATER ENVIRONMENTS

This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)



Studio modellistico delle correnti nel tratto di mare antistante le foci dei rii Marotto e Molinassi in condizioni di piena

Relazione tecnica

Committente Talea S.p.A.

Referente del Committente ing. Giada Mauro



Area Porto Petroli oggetto di studio (Genova)

Project manager	Davide Persi
Quality supervisor	Andrea Pedroncini
Author	Silvia Torretta

Codice elaborato	22801924-01-00100
Data di approvazione	10 Ottobre 2017
Revisione	1.0
Classificazione	Open

DHI S.r.l. a socio unico • Via Pomba 23• 10123 Torino• Italy•
Telefono: +39 011 5624649 • Fax: +39 010 6422381 • dhi-italia@dhi-italia.it • www.dhi-italia.it

INDICE

1 Premessa 1

2 Inquadramento geografico 1

3 Configurazioni attuale e di progetto dei tratti terminali dei due rii 2

4 Dati disponibili 5
4.1 Dati batimetrici 5
4.2 Portate dei corsi d'acqua 7

5 Modello di circolazione bidimensionale 8
5.1 Dominio di calcolo 8
5.2 Batimetria di calcolo 10
5.3 Scenari simulati 12
5.4 Risultati del modello idrodinamico 12
5.4.1 Scenario A 13
5.4.2 Scenario B 16
5.4.3 Scenario C 19

6 Conclusioni 23

7 Riferimenti 24

ALLEGATI

ALLEGATO A
MIKE 21 HD
Descrizione tecnica

1 Premessa

Il presente studio ha lo scopo di investigare le condizioni idrodinamiche, attuali e future, dell'area del Porto Petroli di Genova limitrofa allo sbocco di due piccoli corsi d'acqua, i rii Marotto e Molinassi, per i quali sono previste modifiche anche sostanziali dei tratti terminali, sia in termini di adeguamento della sezione idraulica, al fine di contenere la portata di progetto (rio Marotto), sia in termini di spostamento e adeguamento del tratto terminale (rio Molinassi) in concomitanza con la realizzazione del nuovo piazzale a mare di Fincantieri.

L'obiettivo primario dell'analisi modellistica è la determinazione dell' intensità e della direzione della corrente in concomitanza di eventi di piena duecentennale dei rii in diverse configurazioni progettuali, al fine di evidenziare l'eventuale insorgenza di criticità per l'ormeggio delle navi petroliere al Pontile "delta" del Porto Petroli, posto nelle immediate vicinanze della foce dei due corsi d'acqua.

Tutte le applicazioni modellistiche descritte in dettaglio nei paragrafi a seguire sono state svolte con l'utilizzo dei codici MIKE Powered by DHI.

2 Inquadramento geografico

L'area di interesse per il presente studio è situata all'interno del Porto Petroli di Genova, il terminale petrolifero destinato allo scarico, al carico e al trasferimento di petrolio greggio, prodotti petroliferi e petrolchimici trasportati da navi di varia portata.

Il terminal si compone di una banchina e di quattro pontili: la prima viene utilizzata per i prodotti chimici mentre i pontili, denominati alfa, beta, gamma e delta servono per lo scarico del greggio e per il carico o lo scarico di prodotti lavorati.

Come anticipato in premessa è il pontile delta, che presenta un pescaggio maggiore e può ospitare anche le più moderne petroliere, ad essere oggetto degli approfondimenti della presente analisi, proprio a causa della prossimità della propria radice con le foci, attuali o previste, dei rii Marotto e Molinassi.

Il rio Marotto, che nasce dalla Costa dei Pini a circa 200 m s.l.m., sottende un bacino di 0.67 km^2, con alveo naturale inciso in una valletta molto stretta fino alla quota di 60 m s.l.m. da dove inizia un percorso che alterna tratti tombinati a tratti a cielo aperto sino alla foce nel Porto Petroli.

Il rio Molinassi presenta invece un bacino imbrifero di 1.98 km^2, con sorgente a quota 540 m s.l.m. in località Contessa, alle spalle dell'abitato di Multedo. L'asta principale del rio ha un andamento pressoché rettilineo in direzione N-S, è lunga circa 4 km e sfocia in mare perpendicolarmente alla linea di costa. Nel tratto finale, a sud di Via Merano, il canale risulta tombinato e scorre sotto lo stabilimento di Fincantieri, sotto il parco ferroviario della linea Genova-Ventimiglia, fino a sfociare in mare in ambito portuale tra il Porto Petroli e le aree dei bacini di carenaggio di Fincantieri.



Figura 2-1 Area del Porto Petroli di Genova oggetto di studio nell'attuale configurazione in corrispondenza del pontile delta e delle foce dei rii Marotto e Molinassi

3 Configurazioni attuale e di progetto dei tratti terminali dei due rii

Obiettivo primario dello studio è definire l'intensità e la direzione della corrente generata da un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni sia nell'attuale configurazione delle foci dei rii sia in quelle previste dai progetti di adeguamento, descritti in dettaglio nel seguito, che riguardano l'area.

Nella configurazione attuale – di seguito definita "*Scenario A*" - è il solo corso d'acqua rio Marotto che può, in condizioni di portata critica, influenzare la circolazione in prossimità del pontile delta ed avere eventuali ripercussioni su navi ormeggiate.

L'evento alluvionale del 4 ottobre 2010, determinato dall'esondazione pressochè contemporanea della totalità dei corsi d'acqua che interessano il quartiere di Genova Multedo, ha comportato estesi allagamenti dell'area compresa tra Via Merano e il porto. A seguito di tale evento le aree interessate dagli allagamenti sono state inserite in Fascia B nel Piano di Bacino. A seguito dei vari studi idraulici effettuati dal Comune di Genova conseguentemente all'evento, si è proceduto, tra l'altro, con la predisposizione di un progetto preliminare di adeguamento idraulico del rio Marotto e del suo affluente rio Monferrato, realizzato da ITEC engineering nel 2014-2015.

Quest'ultimo, denominato "Interventi di adeguamento idraulico dei rivi Marotto e Monferrato a Genova Multedo", prevede la sistemazione idraulica dei due rii finalizzata al deflusso della portata 200-ennale, in quanto le attuali configurazioni risultano insufficienti per portate con tempo di ritorno 50 anni, sia per inadeguatezza delle sezioni, che per la presenza al loro interno di attraversamenti di numerosi sottoservizi che ne ostruiscono le sezioni.

Il progetto di sistemazione del rio Marotto prevede una serie di interventi, tra cui la risagomatura del tratto terminale con un allargamento della sezione a 8.0 m (dagli attuali 4 - 5 m) con una pendenza del fondo del 0.6%.

La configurazione di progetto comprensiva del solo intervento sul rio Marotto sarà di seguito denominata "*Scenario B*".



Figura 3-1 Progetto di trasformazione del distretto di Multedo con interventi di adeguamento idraulico dei rivi Marotto e Monferrato. A destra la planimetria del progetto che prevede l'allargamento delle sezioni, a sinistra l'immagine dell'area ove gran parte delle opere risultano tombate (immagini da sito ITEC-engineering, commissionati da Talea S.p.A. per lo studio nel 2015)

Questa area del Porto Petroli risulta altresì coinvolta da un'altra futura configurazione di progetto che include la realizzazione di una nuova calata ad uso cantieristico e la messa in sicurezza del tratto terminale urbano del rio Molinassi, corso d'acqua il cui alveo ha risentito della forte urbanizzazione dell'area degli ultimi decenni.

Il "Progetto definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri Ponente e della sistemazione idraulica del Rio Molinassi", redatto da MWH su richiesta dell'allora Autorità Portuale di Genova (oggi Autorità di Sistema) e COCIV nel 2014, consiste nella creazione di una nuova piattaforma industriale, ubicata tra il pontile delta del Porto Petroli di Multedo e l'area Fincantieri a Sestri Ponente, per il trasferimento delle attività industriali attualmente collocate a nord della ferrovia. L'area oggetto di riempimento è interessata dalla foce del rio Molinassi, che presenta una situazione di elevata pericolosità per insufficienza delle sezioni e che, nell'ambito degli interventi in progetto, verrebbe deviato nel tratto terminale, adeguandone al contempo la sezione idraulica. Il progetto preliminare dell'intervento è stato approvato dalla Regione Liguria con Delibera di Giunta Regionale n.462 del 4 maggio 2011.

In sintesi, l'intervento prevede la realizzazione di un nuovo piazzale di circa 100,000 m^2, mediante il riempimento di uno specchio acqueo di 65,000 m^2 e la contestuale messa in sicurezza ambientale del rio Molinassi con deviazione e adeguamento dell'attuale alveo (Figura 3-2).



Figura 3-2 Configurazione di progetto nell'ambito del "Progetto Preliminare n°2879-Ambito Territoriale PMS6 del vigente P.R.P. – Progetto di adeguamento tecnico funzionale delle unità di intervento U.I.1 ed U.I.2 – Formazione di una nuova calata ad uso cantieristica navale", redatto dall'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale (al tempo Autorità Portuale di Genova). In rosso la realizzazione di un nuovo piazzale operativo di circa 100'000 m^2 ed in verde il nuovo tracciato del rio Molinassi con deviazione ed adeguamento dell'alveo nel tratto terminale

Ad oggi la tombinatura del corso d'acqua in corrispondenza del ponte di via Merano risulta compatibile con portate di tempo di ritorno ventennale, mentre la nuova configurazione permetterà il deflusso della portata duecentennale riducendo notevolmente il rischio di esondazione.

Si specifica che, per ragioni di spazio e sicurezza, la realizzazione di tali attività del progetto sopradescritto comporterà che l'operatività del pontile delta del Porto Petroli sia limitata al solo lato di ponente, dismettendo l'accosto lato levante, oggi operativo.

Quest'ultima configurazione, comprensiva sia dell'intervento sul rio Marotto, sia la realizzazione della nuova calata e la deviazione ed adeguamento del rio Molinassi sarà di seguito denominata "*Scenario C*".

4 Dati disponibili

In questa sezione sono brevemente illustrati tutti i dati utilizzati nelle attività modellistiche sia dello stato attuale, Scenario A, che delle due configurazioni di progetto, Scenari B e C.

I dati relativi alle batimetrie dei fondali sono stati messi a disposizione dall'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale mentre gli studi progettuali relativi agli interventi previsti sui due rivi Marotto e Molinassi sono stati forniti direttamente dalla committenza. Per le aree del Porto Petroli non coperte da rilievi di dettaglio sono state utilizzate le quote estratte da cartografia nautica digitale.

Per acquisire le informazioni relative alla configurazione geometrica del pontile delta è stato effettuato un sopralluogo presso l'area del Porto Petroli di Genova in data 13 giugno 2017, nel corso del quale la Porto Petroli S.p.A. ha messo a disposizione utili informazioni in merito alle dimensioni del pontile (con particolare riferimento ai cassoni e al loro interasse), alla tipologia e pescaggio delle navi-tipo che ormeggiano al pontile delta, nonché alla posizione delle navi durante le operazioni di carico e scarico, con indicazione del limite verso terra al di là del quale la nave non può in ogni caso spingersi.

Tali dati, resi disponibili in differenti tipologie di formati, sono stati opportunatamente integrati nell'ambiente di lavoro MIKE, mediante appositi applicativi di conversione.

4.1 Dati batimetrici

I dati topo-batimetrici utilizzati per la ricostruzione dell'area a mare e dei tratti focivi dei corsi d'acqua fanno riferimento a differenti set di informazioni:

- rilievo batimetrico dei fondali in prossimità dei pontili alfa – beta – gamma – delta nell'area del Porto Petroli effettuato dalla ditta Drafinsub survey nel 2010;

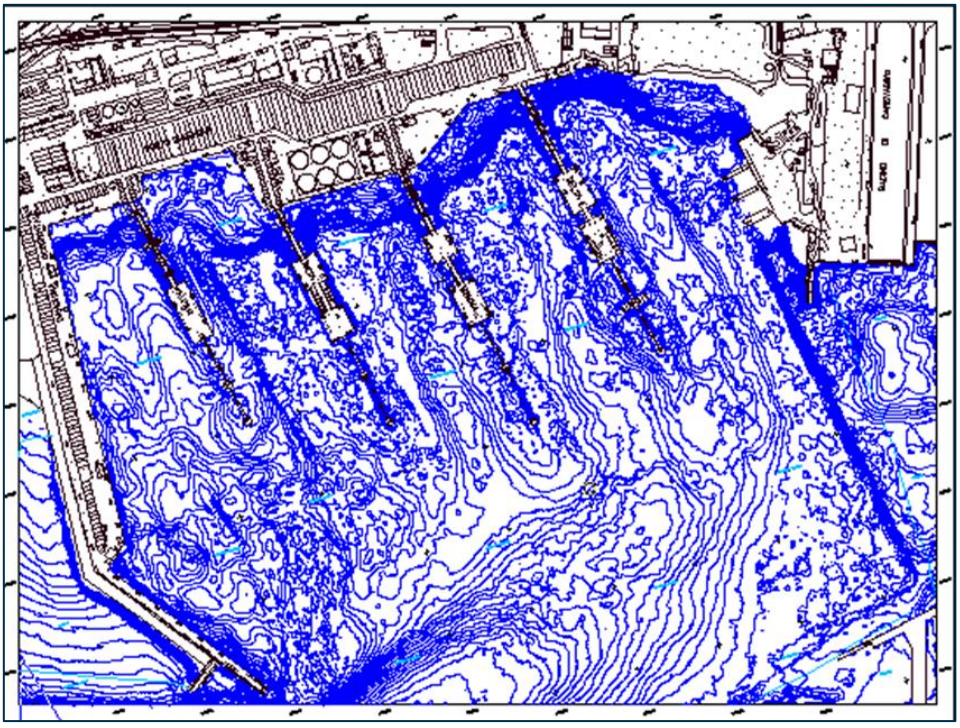


Figura 4-1 Isobate riportate in una delle tavole di consegna del rilievo batimetrico dei fondali in prossimità dei pontili alfa – beta – gamma – delta nell'area del Porto Petroli effettuato dalla ditta Drafinsub survey nel 2010

- rilievo batimetrico dell'intera area del porto di Genova, effettuato dalla ditta Drafinsub survey nel 2013;
- cartografia nautica digitale dell'area del Porto Petroli di Genova (dati CM-93 di C-MAP, database globale di cartografia nautica in formato digitale, creato e continuamente aggiornato da Jeppesen);

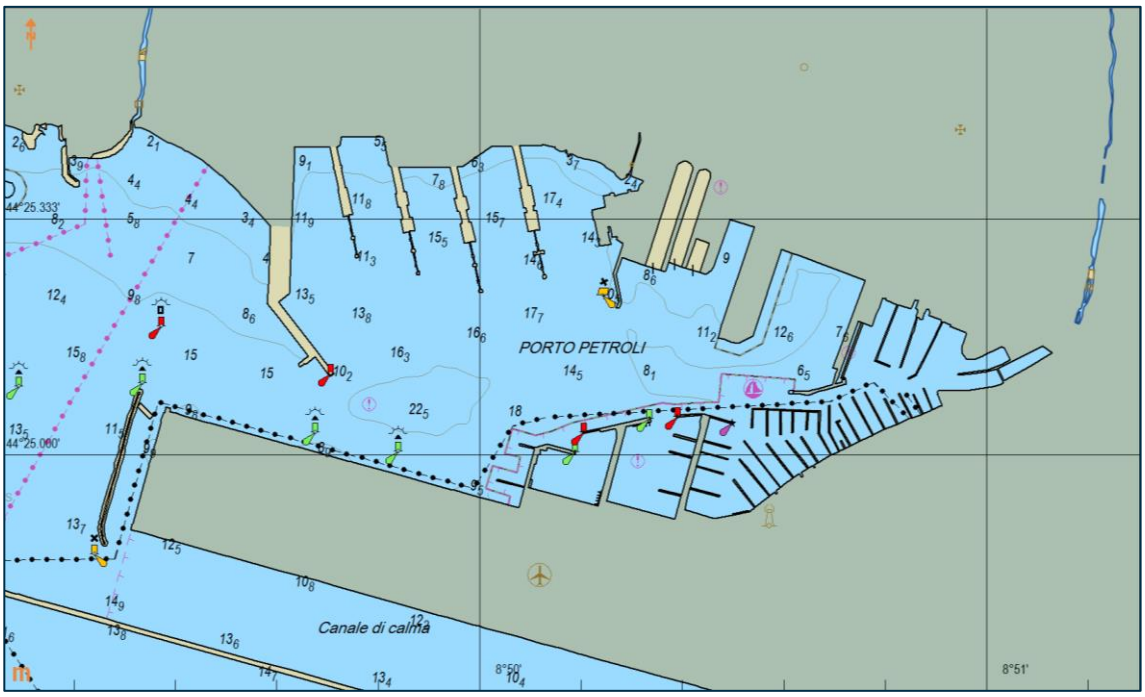


Figura 4-2 Carta Nautica dell'area del Porto Petroli di Genova – Database C-MAP Jeppensen

- relazione idraulica sugli "Interventi di adeguamento idraulico dei rivi Marotto e Monferrato a Genova Multedo", redatto da ITEC engineering;
- relazione idraulica sul "Progetto definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri Ponente e della sistemazione idraulica del Rio Molinassi", redatto da MWH;
- sezioni trasversali, pianta fondazioni e pianta impalcato e sezione longitudinale del pontile delta nelle attuali condizioni (dati reperiti durante il sopralluogo al Porto Petroli redatti dallo Studio d'ingegneria Prof.ing. Dr Rinaldo Ghigliazza).

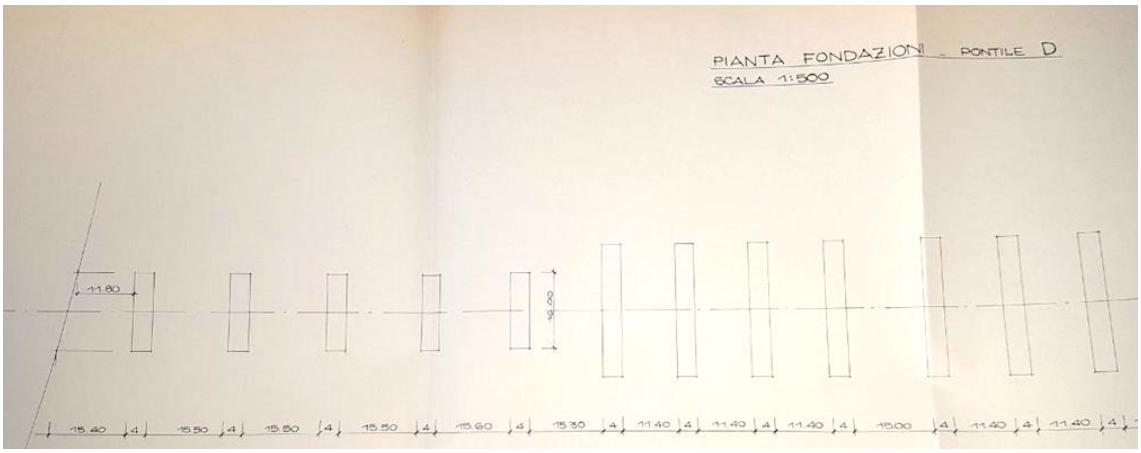


Figura 4-3 Pianta fondazioni del pontile delta nelle attuali condizioni (dati reperiti durante il sopralluogo al Porto Petroli del 13 giugno 2017, redatti dallo Studio d'ingegneria Prof.ing. Dr Rinaldo Ghigliazza)

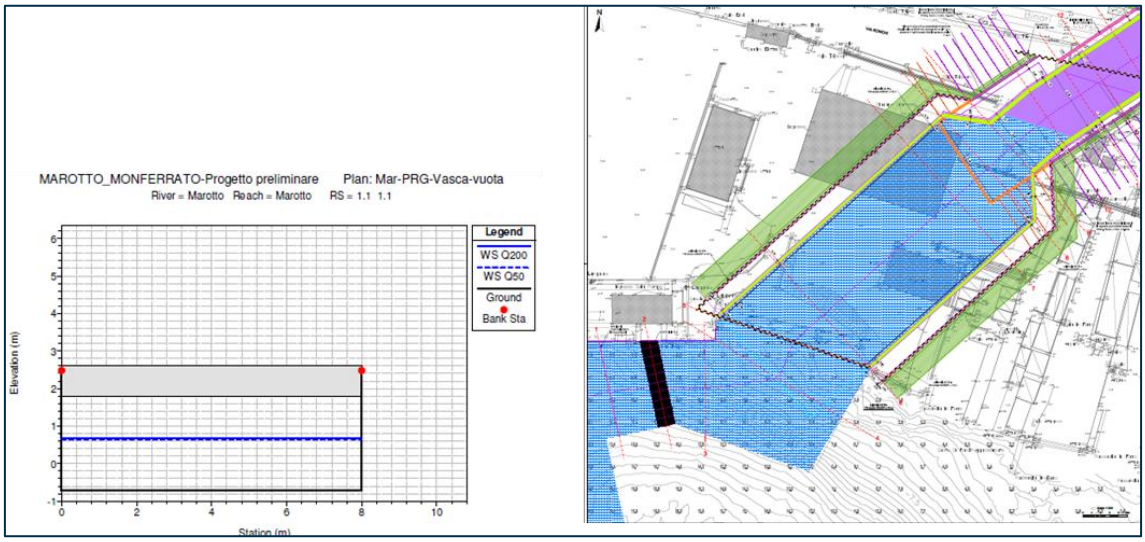


Figura 4-4 Sezioni e batimetrie utilizzate negli studi progettuali dedicati ai rii Marotto e Molinassi utilizzate nelle configurazioni di progetto. A sinistra l'adeguamento della sezione del rio Marotto in corrispondenza della foce (dallo studio "Interventi di adeguamento idraulico dei rivi Marotto e Monferrato a Genova Multedo") e a destra la risagomatura del tratto terminale del rio Molinassi (dallo studio "Progetto definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri Ponente e della sistemazione idraulica del Rio Molinassi")

4.2 Portate dei corsi d'acqua

Indispensabili per le valutazioni dell'eventuale interferenza con le navi ormeggiate al pontile delta causata dal deflusso dei due corsi d'acqua sono i valori di portata dei due rii. Come da indicazioni del Comune di Genova, la portata di riferimento per il presente studio è quella associata ad un tempo di ritorno duecentennale.

Al fine di ricavare tali valori, il documento preso a riferimento è il Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal rischio idrogeologico, per gli ambiti regionali di bacino 12 e 13, che nella relazione generale sulle "caratteristiche idrauliche e geologiche del territorio e valutazioni del rischio idraulico e geomorfologico", redatta nel dicembre del 2002 ma poi modificata più volte con molteplici varianti di cui l'ultima risalente all'aprile 2017, riporta i valori delle portate di piena con periodo di ritorno cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale. La variante a cui si è fatto riferimento ha incluso l'aggiornamento della pericolosità idraulica dei Rii Marotto, Monferrato e Molinassi (adozione DDG n°3 del 17/01/2017).

Per il rio Marotto la portata alla foce con tempo di ritorno 200 anni risulta pari a 32 m^3/s mentre per il rio Molinassi è di 95 m^3/s. Tali valori sono stati presi a riferimento per le analisi modellistiche descritte in dettaglio nel capitolo a seguire.

5 Modello di circolazione bidimensionale

Al fine di riprodurre il regime idrodinamico locale, attraverso la simulazione degli “scenari” previsti, si è fatto riferimento al modello bidimensionale della suite dei codici di calcolo MIKE Powered by DHI. In particolare, è stato utilizzato il modulo MIKE 21 HD FM, descritto in dettaglio nell’Allegato A al presente elaborato.

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. MIKE 21 HD FM può essere utilizzato da solo o insieme ad altri moduli che, pur finalizzati alla simulazione di altri fenomeni (es. trasporto di sedimenti) richiedono la risoluzione contestuale degli aspetti idrodinamici.

Il sistema modellistico si basa sulla soluzione numerica delle equazioni dei Navier-Stokes mediate (Reynolds Averaged Navier-Stokes equations) sotto le ipotesi di Boussinesq e in condizioni di pressione idrostatica.

La versione FM utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio spaziale è discretizzato tramite la suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Il modulo necessita di una serie di dati di input, che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri di base (es. mesh di calcolo, durata della simulazione);
- fattori di calibrazione (es. scabrezza, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (es. livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (es. oscillazioni di marea, portate);
- altre forzanti (es. campi di vento, radiation stress, apporti puntuali di portata).

L’utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l’intensità del fenomeno, ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Per ciascun elemento di calcolo, è possibile ottenere le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- densità, temperatura e salinità;
- velocità di corrente e direzione;
- velocità del vento;
- pressione atmosferica.

Nel caso in esame si sono analizzati esclusivamente i campi di corrente generati nel dominio di calcolo corrispondente al bacino del Porto Petroli di Genova Multedo per effetto del deflusso delle portate di piena dei rii Marotto e Molinassi.

5.1 Dominio di calcolo

Il modello è stato implementato su un dominio di calcolo esteso circa 2 km x 1 km, ovvero l’intero bacino del terminale petrolifero di Genova Multedo.

Per cercare il giusto compromesso tra la risoluzione spaziale adeguata, in grado di ben rappresentare sia le sezioni fluviali che i cassoni di fondazione del pontile delta, e tempi di calcolo ragionevoli, l’area è stata suddivisa in 5 differenti sottodomini, ognuno caratterizzato da una risoluzione differente. Partendo dalla zona della foce del rio Marotto, coperta con una risoluzione spaziale di 2 metri, si è proceduto con l’adozione di una risoluzione pari a 4 m per l’area del pontile e la foce del Molinassi, per poi aumentare via via le dimensioni dei triangoli verso il largo (lati mediamente di 12 m, 30 m e 50 m).

La scelta di aumento incrementale di risoluzione nella zona di interesse consente di riprodurre le dinamiche ad un elevato grado di dettaglio, così da potere risolvere la piccola scala spaziale e di consentire una rappresentazione estremamente accurata, garantendo pertanto un maggiore grado di affidabilità ai risultati modellistici.

Avendo come obiettivo dello studio la determinazione dell'intensità e della direzione della corrente di piena dei due rii in corrispondenza del pontile delta è stato necessario inserire nella mesh le geometrie delle fondazioni a cassoni che sorreggono la struttura stessa e che possono costituire elementi di discontinuità per la circolazione.

Essendo le tre configurazioni di progetto differenti tra loro, o per geometria e quote del fondo alveo del rio Marotto (Scenario A-Scenario B) o per presenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri e risagomatura dell'alveo del rio Molinassi (Scenario B-Scenario C), si è reso necessario generare 3 differenti domini di calcolo, uno per ogni configurazione da rappresentare.

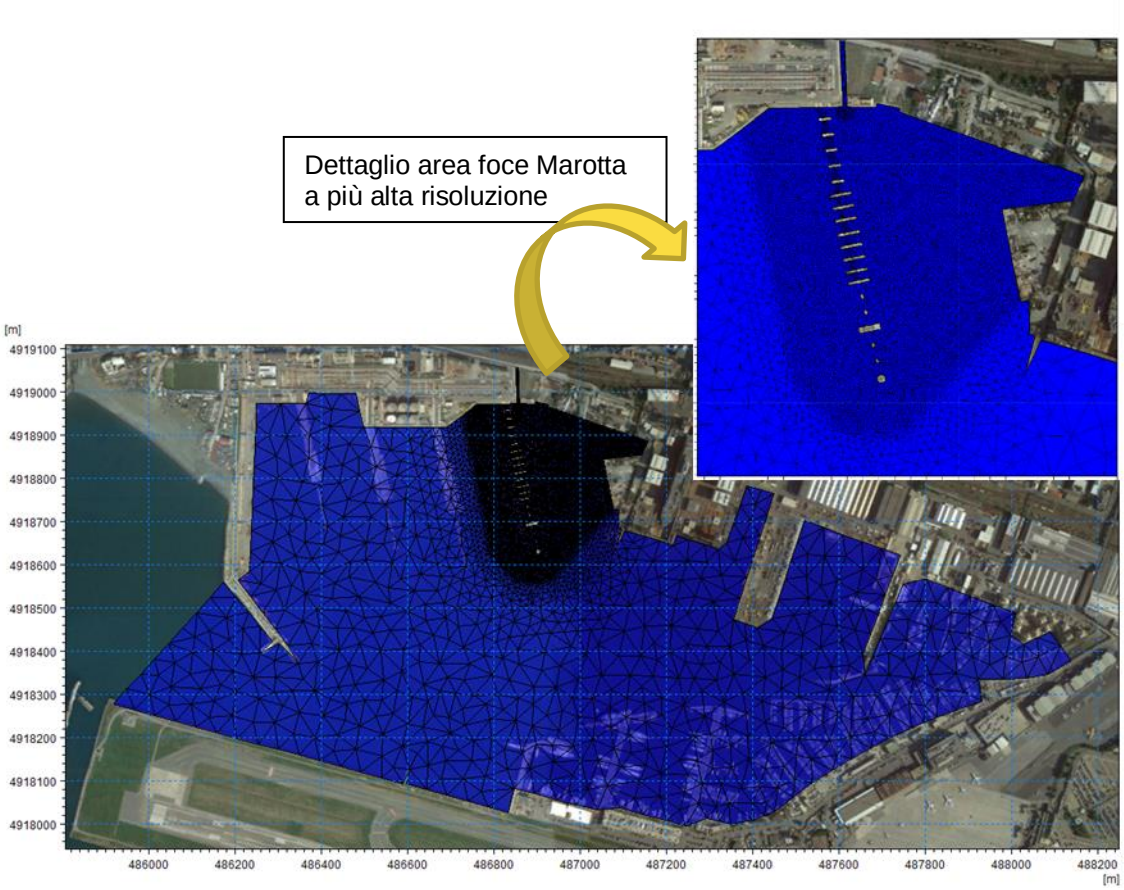


Figura 5-1 Risoluzione spaziale della mesh di calcolo utilizzata per lo Scenario A – stato attuale

In totale la mesh di calcolo è costituita da circa 19,600 elementi nel caso dello Scenario A, da circa 19,700 elementi per lo Scenario B, e da circa 14,000 elementi nel caso dello Scenario C.

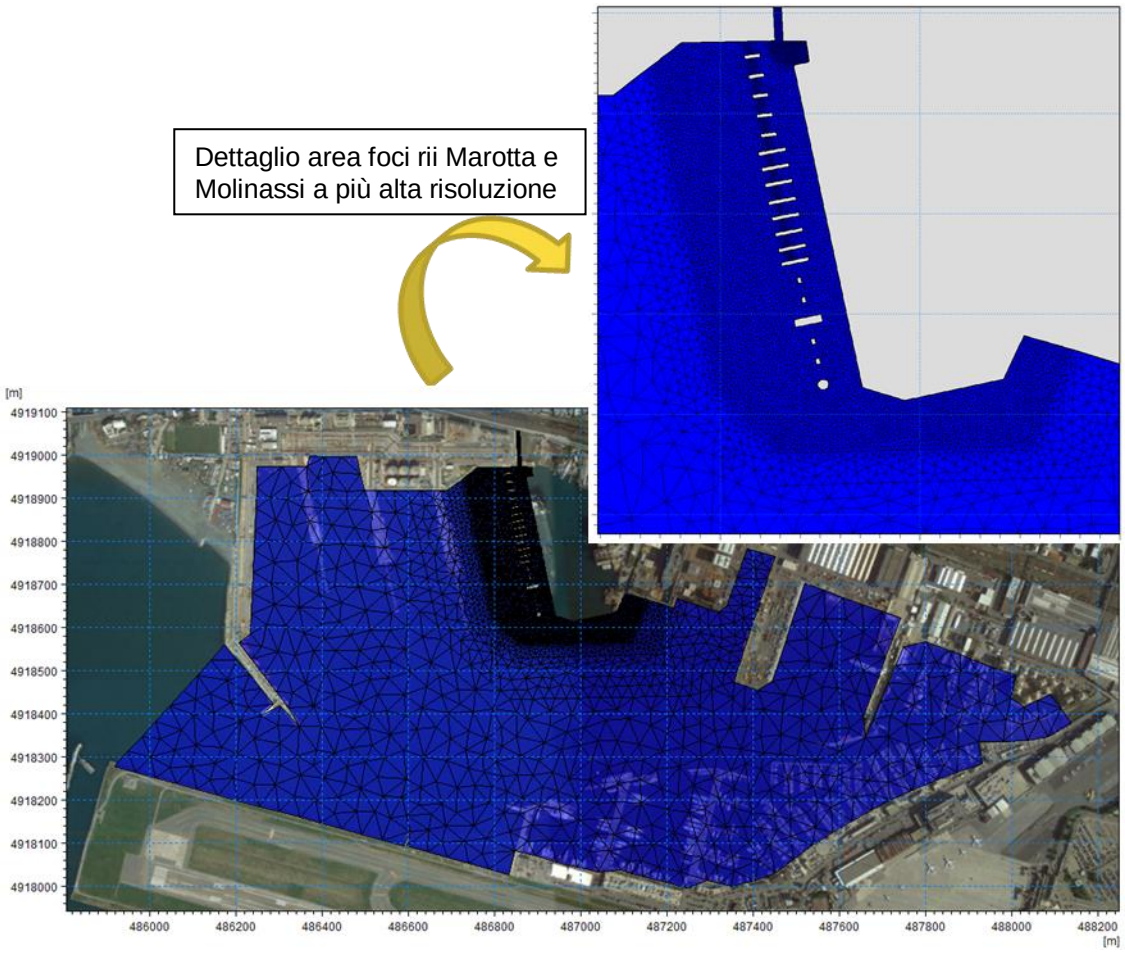


Figura 5-2 Risoluzione spaziale della mesh di calcolo utilizzata per lo Scenario C – stato di progetto con modifiche sia relative all'adeguamento delle sezioni dei rii Marotto e Molinassi, sia per la realizzazione della nuova calata generalmente indicata come "ribaltamento a mare Fincantieri"

5.2 Batimetria di calcolo

La batimetria di calcolo utilizzata nel modello idrodinamico bidimensionale è data dall'integrazione delle informazioni desunte dalle varie fonti citate nel par 4.1, ovvero:

- *per i fondali* batimetrie derivanti dall'integrazione dei rilievi di dettaglio dell'intera area portuale (2013), del bacino del Porto Petroli (2010) e delle quote del data-set CM-93 di Jeppesen;
- *per gli alvei fluviali* geometrie delle sezioni e quote del fondo alveo reperite dagli studi progettuali di adeguamento e messa in sicurezza dei rii;
- *per la calata* denominata "ribaltamento a mare di Fincantieri", perimetrazione dalla documentazione progettuale di riferimento.

I dati dei rilievi sono stati digitalizzati ed attraverso un'interpolazione bi-lineare si sono costruite le tre batimetrie utilizzate nel modello idrodinamico, una per ogni configurazione.

Nei casi di sovrapposizione di dati batimetrici di differenti database nella medesima area (ad es. carta nautica e rilievo fornito dall'Autorità di Sistema Portuale) si è data priorità nell'interpolazione al rilievo di dettaglio.

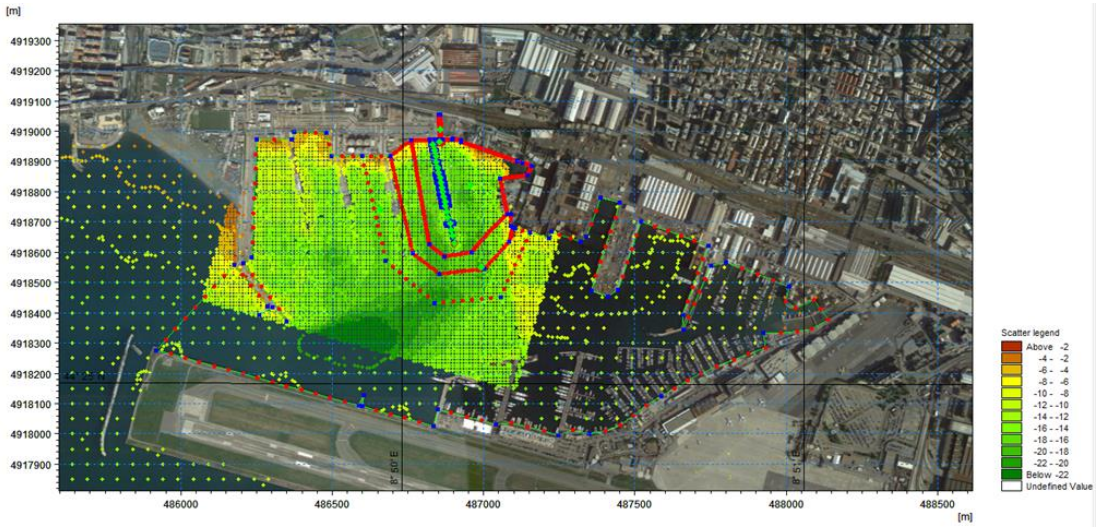


Figura 5-3 Dati batimetrici a disposizione

Le batimetrie risultanti per gli Scenari A e C sono riportati nelle immagini a seguire.

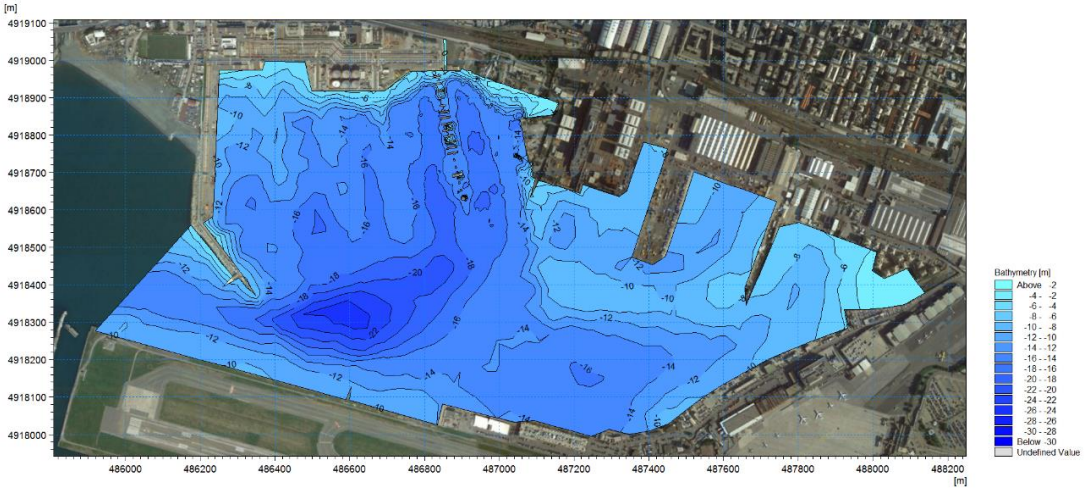


Figura 5-4 Batimetria per lo Scenario A usata dal modello numerico di circolazione

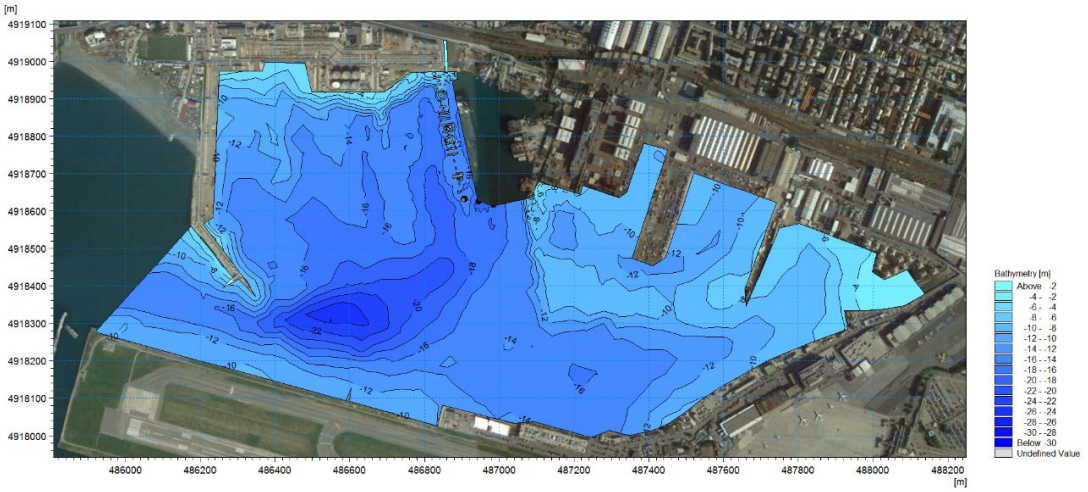


Figura 5-5 Batimetria per lo Scenario C usata dal modello numerico di circolazione

5.3 Scenari simulati

Il modello numerico è stato predisposto per i seguenti scenari:

- *Scenario A*: condizioni attuali, con assenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri e piena duecentennale del rio Marotto (alveo in configurazione attuale);
- *Scenario B*: condizioni di progetto 1, con assenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri e piena duecentennale del rio Marotto (alveo in configurazione di progetto, con ampliamento della sezione utile di deflusso nel tratto terminale);
- *Scenario C*: condizioni di progetto 2, con presenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri, piena duecentennale dei rio Marotto (alveo in configurazione di progetto) e contestuale piena duecentennale del rio Molinassi (alveo in configurazione di progetto).

Per gli Scenari A e B è stata rappresentata sia la presenza di una nave ormeggiata nel lato ponente del pontile delta contestuale all'evento di piena del corso d'acqua, sia la condizione più sfavorevole possibile al regolare deflusso della portata di piena del rio Marotto, ovvero la presenza di due navi-tipo ormeggiate in entrambi gli approdi del pontile delta. Nello Scenario C, essendo prevista la dismissione dell'ormeggio lato levante nella configurazione definitiva dell'area, è stata inclusa una sola nave-tipo nel lato ponente del pontile.

In particolare sono state prese in considerazione, per l'interferenza con l'idrodinamica locale, due tipologie di imbarcazioni:

- *nave grande*: nave dalle dimensioni massime ammissibili per l'ormeggio al pontile delta (ordinanza n 21/2015 "Approvazione del Regolamento di Polizia Portuale e Sicurezza del Porto Petroli di Genova-Multedo" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Capitaneria di Porto di Genova Sezione Tecnica), in condizioni di pieno carico, ovvero caratterizzata da una lunghezza pari a 330 m e con un pescaggio di 14,1 m;
- *nave frequente*: imbarcazione dalle dimensioni più ridotte rispetto alla nave grande ma associata a navi che frequentemente ormeggiano al pontile delta. Per tale nave si sono considerate lunghezza pari a 230 m e pescaggio di 12 m.

La tipologia e le caratteristiche della nave sono state definite durante il sopralluogo presso il Porto Petroli e la contestuale discussione con Porto Petroli S.p.A.

Un ulteriore elemento emerso durante la visita al terminal petrolifero, ed inserito nel modello numerico, è stata la presenza di una trave tagliafuoco che corre longitudinalmente per gran parte della lunghezza del pontile, al centro dello stesso, con finalità di ostruzione alla diffusione delle fiamme in caso di incendio. Tale trave presenta un'immersione in acqua stimata tra i 50 e i 75 cm (non sono disponibili informazioni precise al riguardo).

Nell'implementazione del modello idrodinamico è stato considerato un livello del mare concomitante agli eventi di piena duecentennale dei rivi pari al livello medio mare. L'opzione scelta risulta a favore di sicurezza in quanto massimizza le velocità delle portate defluenti dai corsi d'acqua.

I risultati delle simulazioni, in forma di mappe di distribuzione dell'intensità e della direzione della corrente nei vari scenari sono illustrate nel paragrafo a seguire.

5.4 Risultati del modello idrodinamico

Le immagini a seguire mostrano la circolazione idrodinamica locale durante gli scenari elencati nel paragrafo precedente.

5.4.1 Scenario A

A seguire si riporta la mappa di distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione attuale in corrispondenza di un deflusso dalla foce del rio Marotto pari a 32 m^3/s, ovvero il valore di riferimento per il tempo di ritorno di 200 anni, in presenza di una nave ormeggiata nel lato ponente del pontile Delta.

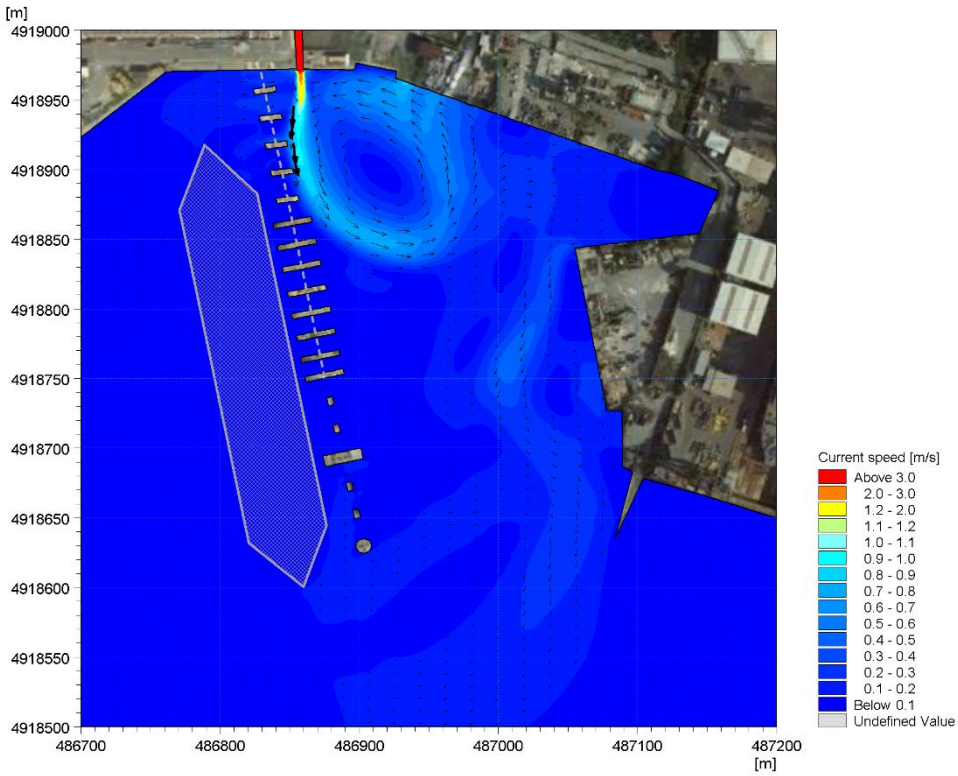


Figura 5-6 Scenario A – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione attuale con portata duecentennale del rio Marotto e presenza di una nave di tipo “grande” ormeggiata al pontile delta – lato ponente

Il flusso in uscita dall’alveo del corso d’acqua ha una velocità di circa 3-4 m/s che decresce rapidamente nel confluire nel bacino portuale. La circolazione risultante va a lambire i cassoni di fondazione del pontile delta, con velocità in diminuzione fino a circa 1m/s, tendendo poi ad invorticarsi in senso antiorario. Quando il flusso risale in direzione nord si separa in due rami, il principale dei quali completa la formazione del vortice con una intensità media di circa 0,5 m/s, mentre il secondario, meno intenso, devia verso est e successivamente verso sud.

In questa configurazione la presenza di una nave ormeggiata al lato ponente del pontile delta non risentirebbe in modo significativo della portata considerata, registrandosi velocità massime della corrente sulla fiancata pari a 10-11 cm/s per la tipologia di nave “grande” (Figura 5-6) e 6-8 cm/s per la tipologia “frequente” (Figura 5-7).

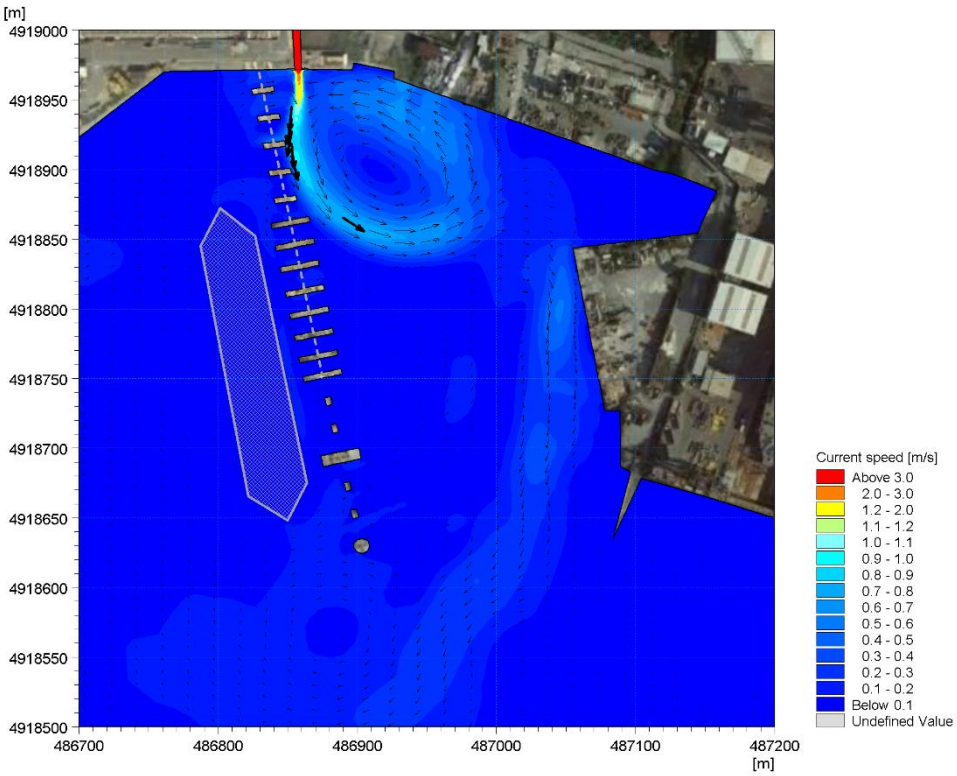


Figura 5-7 Scenario A – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione attuale con portata duecentennale del rio Marotto e presenza di una nave di tipo “frequente” ormeggiata al pontile delta – lato ponente

L’immagine a seguire riporta un dettaglio della mappa di distribuzione delle velocità di corrente nella zona di ormeggio della nave, nella configurazione “grande”, con una palette di colori differente da quella utilizzata in precedenza al fine di evidenziare le differenze, anche di entità minima, che si possono rilevare nelle varie zone dell’imbarcazione.

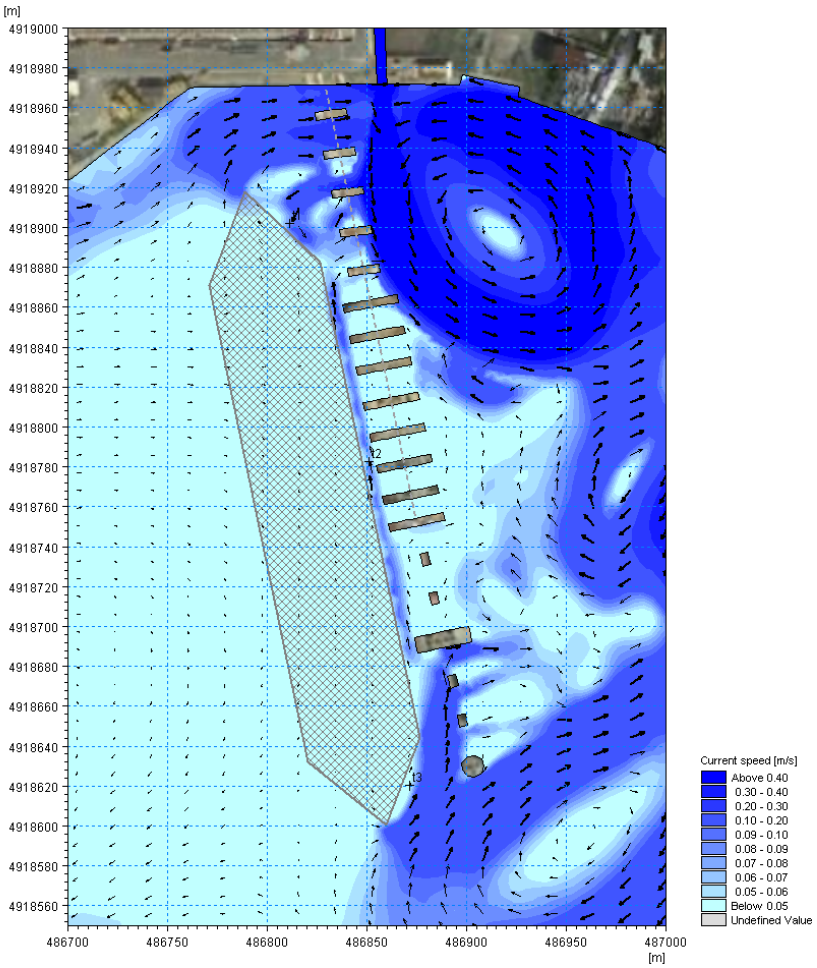


Figura 5-8 Scenario A – dettaglio della mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione attuale con portata duecentennale del rio Marotto nella zona di ormeggio della nave di tipo “grande”

Nella più sfavorevole condizione di occupazione di entrambi gli ormeggi, sia ponente che levante, contestuali ad un evento di piena duecentennale del rio Marotto, si ottiene sempre un flusso in uscita con una velocità di circa 3-4 m/s, che decresce rapidamente nel confluire nel bacino portuale. La circolazione risultante, condizionata dall’ingombro delle due navi, arriva sino alla quinta e sesta colonna di cassoni di fondazione del pontile delta, tendendo poi ad invorticarsi in senso orario. Quando il flusso risale, lambendo la nave ormeggiata al lato ponente del pontile delta, si separa in due rami di cui il principale scorre in direzione ovest, mentre una piccola quota parte completa la formazione del vortice con un’intensità media di circa 0,3 m/s.

In questa configurazione, le velocità massime della corrente in prossimità della nave presente al lato levante del pontile delta è pari a circa 20-30 cm/s, mentre raggiungono valori di 35-40 cm/s nell’area limitrofa alla radice del pontile per la nave ormeggiata al lato ponente del pontile.

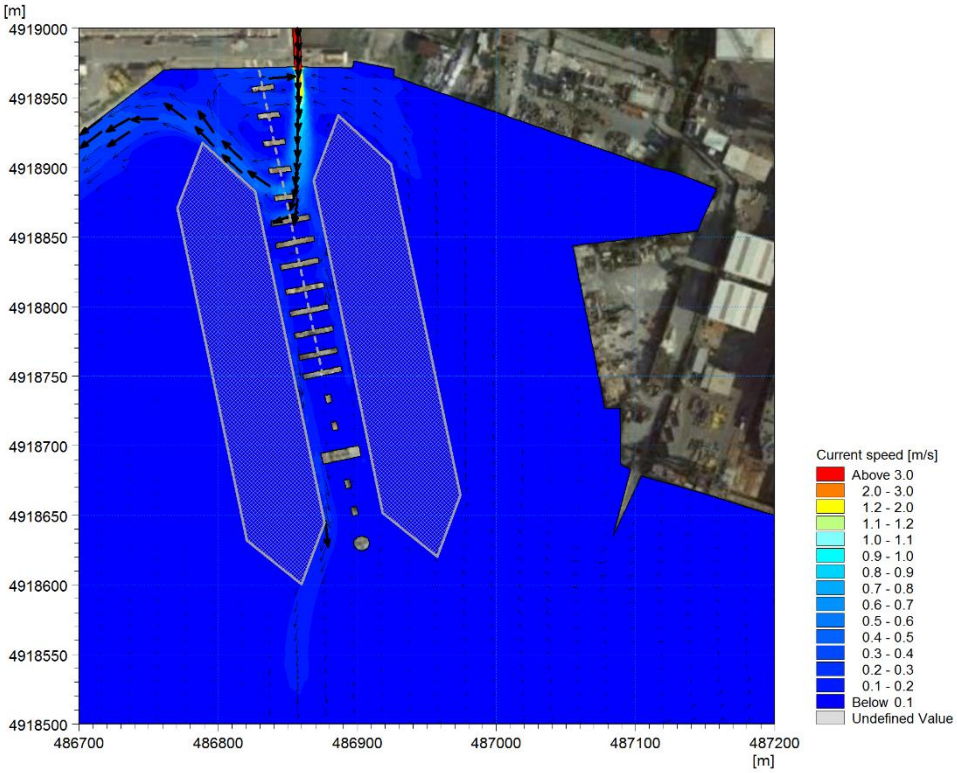


Figura 5-9 Scenario A – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione attuale con portata duecentennale del rio Marotto e presenza di due navi di tipo “grande” ormeggiate al pontile delta

5.4.2 Scenario B

Gli interventi di messa in sicurezza dell’alveo del rio Marotto, sia in termini di geometria che di quote di fondo e pendenza delle sezioni, influenzano non solo il deflusso nel tracciato urbano del corso d’acqua ma anche lo sbocco nel bacino del Porto Petroli.

In corrispondenza di una portata duecentennale si osserva, come prevedibile, una circolazione generale molto simile a quella dello scenario A ma con velocità mediamente minori di circa il 20%. Il valore di portata di riferimento per il corso d’acqua è il medesimo della configurazione precedentemente simulata ma gli interventi relativi alla messa in sicurezza del rio, come l’aumento della larghezza della sezione e la riprofilatura del tratto a valle dell’attraversamento ferroviario, comportano una diminuzione delle velocità in arrivo nel bacino portuale.

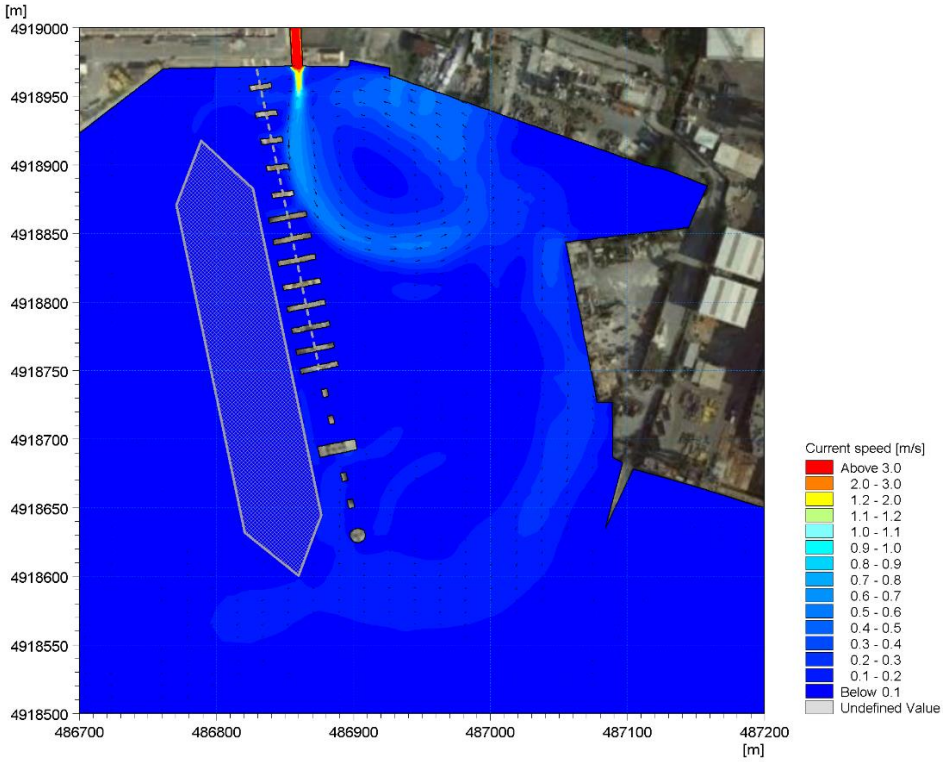


Figura 5-10 Scenario B – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione progettuale comprensiva degli interventi di adeguamento della sezione sul rio Marotto, con portata duecentennale nella sezione fociva dello stesso e presenza di una nave di tipo “grande” ormeggiata al pontile delta

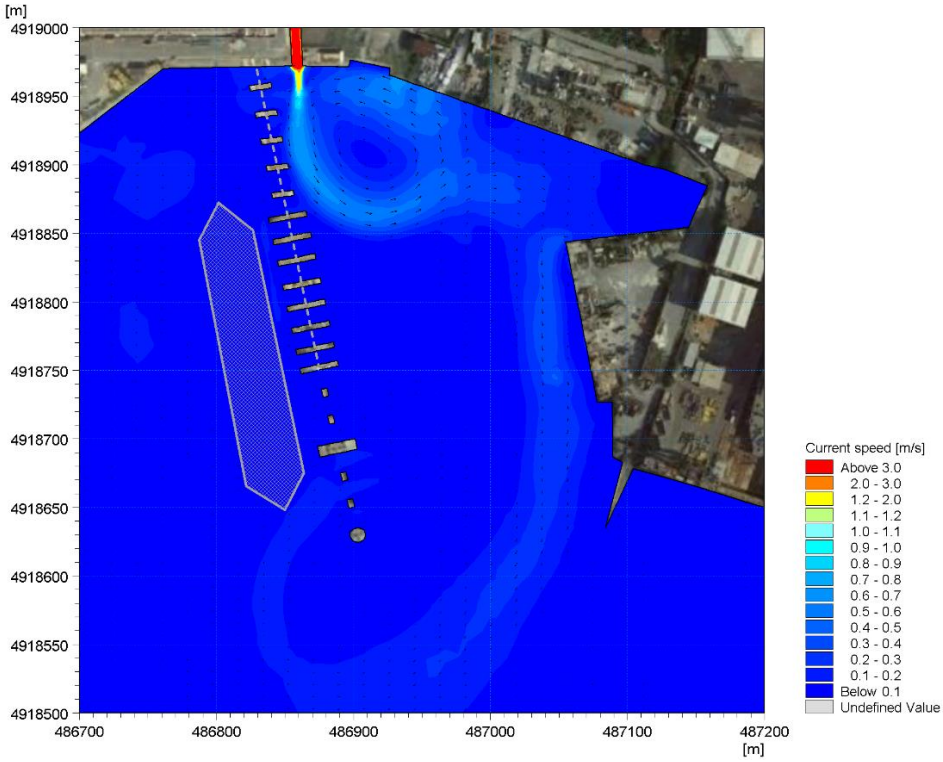


Figura 5-11 Scenario B – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione progettuale comprensiva degli interventi di adeguamento della sezione sul rio Marotto, con portata duecentennale nella sezione fociva dello stesso e presenza di una nave di tipo “frequente” ormeggiata al pontile delta

Anche in questo caso la nave ormeggiata non viene interessata in modo diretto dal flusso che si invortica in senso antiorario con una parte della corrente che devia verso sud e, dopo aver lambito la banchina dell'area cantieristica ad est, con velocità comprese tra 20 e 30 cm/s, si direziona verso il centro del bacino portuale.

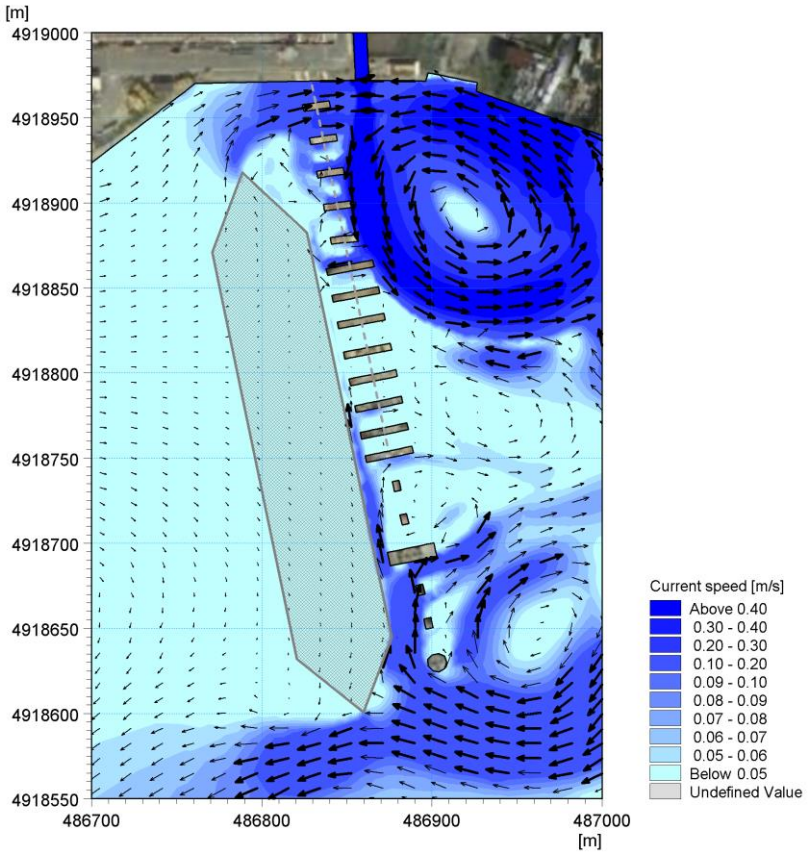


Figura 5-12 Scenario B – dettaglio della mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione progettuale comprensiva degli interventi di adeguamento della sezione sul rio Marotto, con portata duecentennale nella sezione fociva dello stesso nella zona di ormeggio della nave di tipo "grande"

La Figura 5-12 riporta un dettaglio della mappa di distribuzione delle velocità di corrente nella zona di ormeggio della nave, nella configurazione "grande", con una palette di colori differente da quella utilizzata in precedenza al fine di evidenziare le differenze, anche di entità minima, che si possono rilevare nelle varie zone dell'imbarcazione nella configurazione progettuale B.

Nella più sfavorevole condizione di occupazione di entrambi gli ormeggi, sia ponente che levante, contestuali ad un evento critico del rio Marotto, si ottiene una circolazione molto simile allo scenario A, ma caratterizzato da una velocità del flusso alla foce di circa 2,5-3,5 m/s, che decresce rapidamente nel confluire nel bacino portuale. La circolazione risultante, condizionata dall'ingombro delle due navi, arriva sino alla quinta e sesta colonna di cassoni di fondazione del pontile delta, tendendo poi ad invorticarsi in senso orario. Quando il flusso risale, lambendo la nave ormeggiata al lato ponente del pontile delta, si separa in due rami di cui il principale scorre in direzione ovest, mentre una piccola quota parte completa la formazione del vortice con una intensità media di circa 0,25 m/s.

In questa configurazione, le velocità massime della corrente in prossimità della nave presente al lato levante del pontile delta è pari a circa 18-25 cm/s, mentre raggiungono valori di 25-35 cm/s, nell'area limitrofa alla radice del pontile per la nave ormeggiata al lato ponente del pontile.

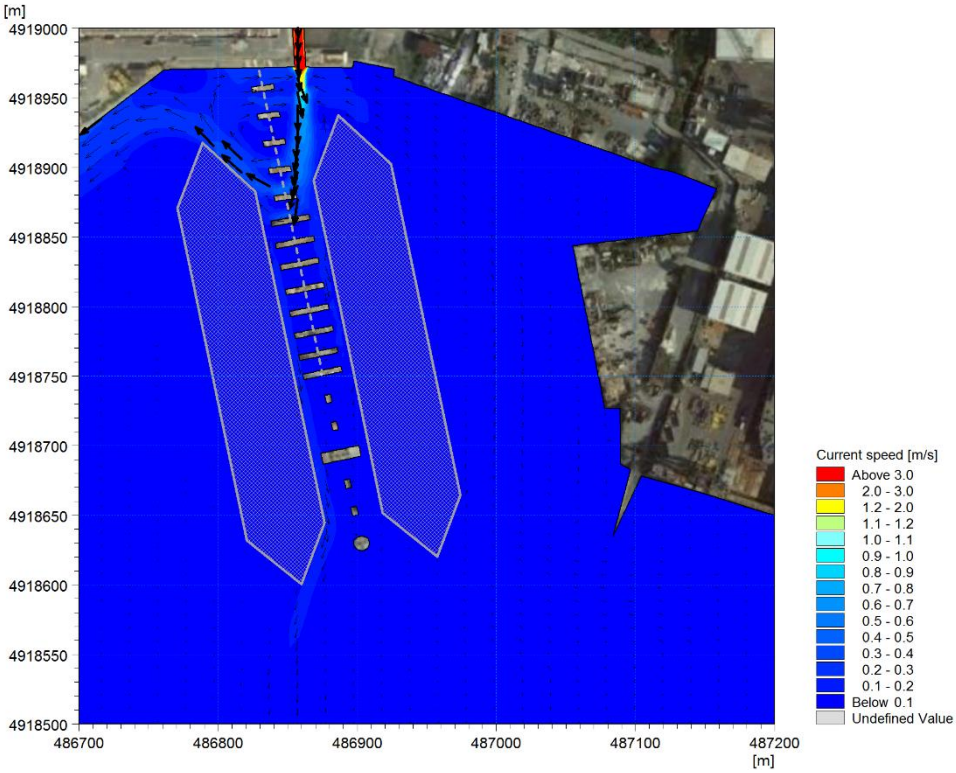


Figura 5-13 Scenario B – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione attuale con portata duecentennale del rio Marotto e presenza di due navi di tipo “grande” ormeggiate al pontile delta

5.4.3 Scenario C

I risultati nel caso dello Scenario C che, oltre alle modifiche già contemplate nello Scenario B per il rio Marotto, include anche l’ingombro del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri e una nuova configurazione del tratto terminale del rio Molinassi, sono riportati in Figura 5-14 e Figura 5-15.

La vicinanza dei due sbocchi fluviali comporta la convergenza dei deflussi in un’unica corrente risultante che presenta una direzione verso sud-ovest. Il flusso principale procede verso il pontile delta dividendosi in due rami in corrispondenza della terza fondazione in cassoni a fondazione della struttura, con la seguente dinamica:

- una quota parte si invortica in senso orario, sottopassando il pontile e dirigendosi verso la radice del molo con velocità comprese tra 30-50 cm/s;
- il ramo principale del flusso devia verso sud, con un tracciato sinuoso tra i cassoni di fondazione del pontile e il limite della banchina del nuovo piazzale di Fincantieri, mantenendo velocità di 50 cm/s fino a distanza di circa 200 m dalle foci dei rii.

Le velocità della corrente sono principalmente conseguenti al flusso in uscita dal rio Marotto, poiché si osserva che il deflusso del rio Molinassi, nella nuova configurazione di progetto, grazie alla prevista realizzazione di due vasche di sedimentazione immediatamente a monte dello sbocco in mare e più in generale alla geometria dello sbocco a mare, riduce fortemente l’intensità, mediamente pari alla metà di quella del Marotto.

Nelle condizioni di concomitanza di portata di piena duecentennale per i due rivi (assunzione ragionevole per via della esiguità dei bacini sottesi e della loro contiguità) la corrente in arrivo ai cassoni di fondazione del pontile delta presenta velocità dell’ordine di 1 m/s, con significativa

turbolenza nell'area della radice del pontile, amplificata dalla presenza della nave ormeggiata che costituisce un ulteriore ostacolo al fluire dell'acqua.

Nel caso di nave di tipologia "grande", ovvero lunga 330 m, la parte ormeggiata dal lato della radice del pontile viene lambita da flussi di corrente con velocità fino a 25-30 cm/s, mentre la fiancata risente, nella zona centrale, di flussi al massimo di 18-20 cm/s in direzione nord.

Complessivamente, l'ingombro della nave sembra favorire l'instaurarsi di un vortice principale tra la nave stessa, la banchina e l'area delle foci dei rii.

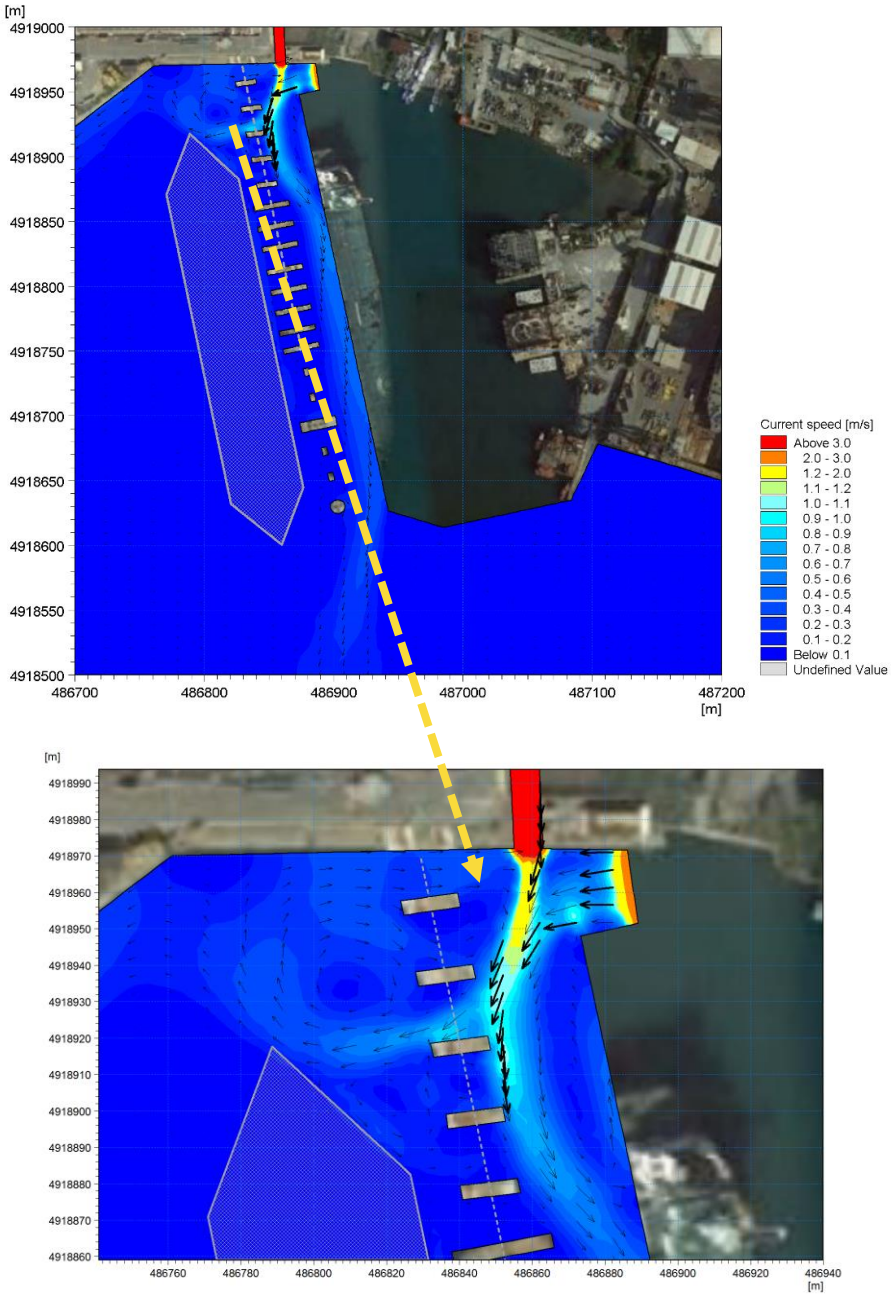


Figura 5-14 Scenario C – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione progettuale comprensiva degli interventi di adeguamento della sezione sul rio Marotto, con portata duecentennale nella sezione fociva dello stesso, presenza del terrapieno del ribaltamento a mare Fincantieri, e risagomatura del tratto terminale del rio Molinassi, con portata duecentennale, e presenza di una nave di tipo "grande" ormeggiata al pontile delta – lato ponente. In alto l'intera area del Porto Petroli interessata dagli interventi, mentre in basso uno zoom sulla zona delle foci dei due rii e della radice del pontile delta.

Lievemente differente è la situazione in presenza di una nave più piccola, di tipologia “frequente”, con una lunghezza totale di 230 m, che per motivi legati alle operazioni di carico-scarico del materiale, deve generalmente mantenere una posizione più centrata rispetto allo sviluppo longitudinale del molo. In questo caso la sezione della nave ormeggiata dalla parte della radice del pontile viene lambita da flussi di corrente con velocità di circa 5-8 cm/s mentre la parte centrale della fiancata risente di flussi fino a 15-20 cm/s verso nord. Da notare che nella zona limitrofa alla banchina la corrente, non più limitata dall’ingombro della nave, si sviluppa sia verso ovest che nel vortice, meno intenso di quello già evidenziato nel caso di nave ”grande”.

Molto simile al caso della nave “grande” risulta invece la dinamica del ramo principale di corrente diretto verso sud che, limitato dalla presenza della nuova banchina, arriva fino al limite sud del terrapieno con intensità di corrente dell’ordine dei 30-40 cm/s.

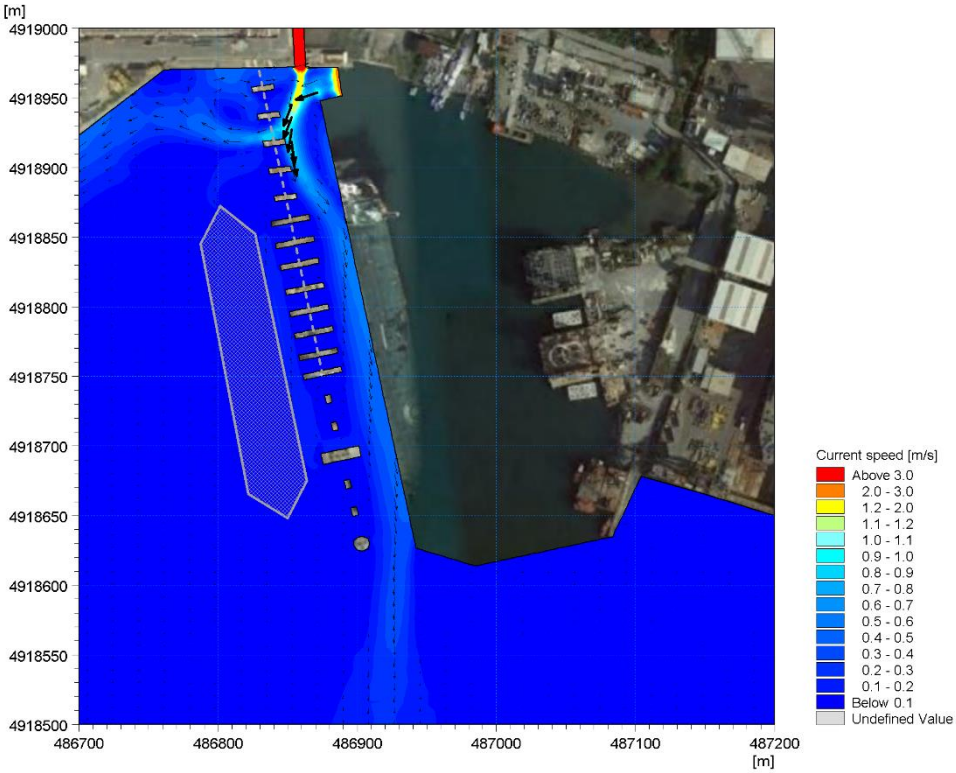


Figura 5-15 Scenario C – mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione progettuale comprensiva degli interventi di adeguamento della sezione sul rio Marotto, con portata duecentennale nella sezione fociva dello stesso, presenza del terrapieno del ribaltamento a mare Fincantieri, e risagomatura del tratto terminale del rio Molinassi, con portata duecentennale, e presenza di una nave di tipo “frequente” ormeggiata al pontile delta – lato ponente

L’immagine a seguire riporta un dettaglio della mappa di distribuzione delle velocità di corrente nella zona di ormeggio della nave, nella configurazione “grande”.

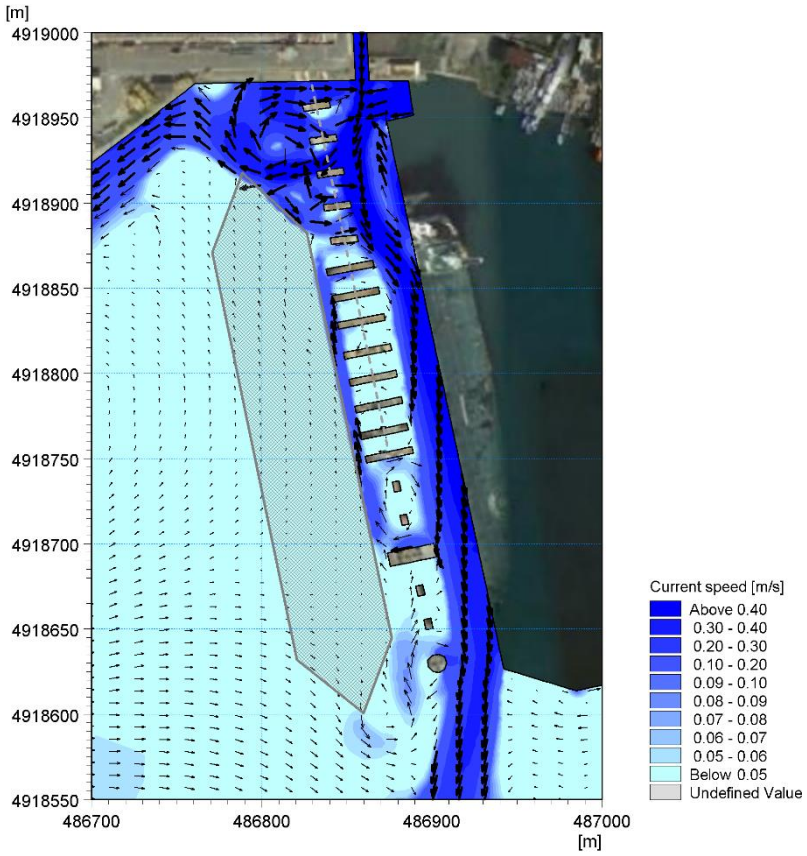


Figura 5-16 Scenario C – dettaglio della mappa della distribuzione delle velocità di corrente nella configurazione progettuale comprensiva degli interventi di adeguamento della sezione sul rio Marotto, con portata duecentennale nella sezione fociva dello stesso, presenza del terrapieno del ribaltamento a mare Fincantieri, e risagomatura del tratto terminale del rio Molinassi, con portata duecentennale, nella zona di ormeggio della nave di tipo “grande”

6 Conclusioni

L'obiettivo dello studio è la simulazione delle condizioni idrodinamiche, attuali e future, dell'area del Porto Petroli di Genova limitrofa allo sbocco di due piccoli corsi d'acqua, i rii Marotto e Molinassi, per i quali sono previste modifiche anche sostanziali dei tratti terminali, sia in termini di adeguamento della sezione idraulica al fine di contenere la portata di progetto (rio Marotto), sia in termini di spostamento e adeguamento del tratto terminale (rio Molinassi) in concomitanza con la prevista realizzazione del nuovo piazzale a mare di Fincantieri.

L'obiettivo primario dell'analisi modellistica è la determinazione dell'intensità e della direzione della corrente in concomitanza di eventi di piena duecentennale dei rii in diverse configurazioni progettuali, al fine di evidenziare l'eventuale insorgenza di criticità per l'ormeggio delle navi petroliere al Pontile "delta" del Porto Petroli, posto nelle immediate vicinanze della foce dei due rii.

Per le analisi ci si è avvalsi di modellistica numerica, ed in particolare di un modello idrodinamico bidimensionale della suite MIKE Powered by DHI, il MIKE 21 HD FM.

I tre scenari simulati fanno riferimento a differenti configurazioni dei rii Marotto e Molinassi che, come concordato con i tecnici del Comune di Genova, sono stati considerati in tutti gli scenari nelle loro condizioni di piena con tempo di ritorno 200 anni. In particolare:

- *Scenario A*: condizioni attuali, con assenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri;
- *Scenario B*: adeguamento del solo rio Marotto, con assenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri;
- *Scenario C*: adeguamento di entrambi i rii Marotto e Molinassi e contestuale presenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri.

Per gli Scenari A e B è stata simulata sia la presenza di una nave ormeggiata nel lato ponente del pontile delta contestuale all'evento di piena del corso d'acqua, sia la condizione più sfavorevole possibile al regolare deflusso della portata di piena del rio Marotto, ovvero la presenza di due navi-tipo ormeggiate in entrambi gli approdi del pontile delta. Nello Scenario C, essendo prevista la dismissione dell'ormeggio lato levante nella configurazione definitiva dell'area, è stata inclusa una sola nave-tipo nel lato ponente del pontile.

In particolare sono state prese in considerazione, per l'interferenza con l'idrodinamica locale, due tipologie di imbarcazioni:

- *nave grande*: nave dalle dimensioni massime ammissibili per l'ormeggio al pontile delta (ordinanza n 21/2015 "Approvazione del Regolamento di Polizia Portuale e Sicurezza del Porto Petroli di Genova-Multedo" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti Capitaneria di Porto di Genova Sezione Tecnica), in condizioni di pieno carico, ovvero caratterizzata da una lunghezza pari a 330 m e con un pescaggio di 14,1 m;
- *nave frequente*: imbarcazione dalle dimensioni più ridotte rispetto alla nave grande ma associata a navi che frequentemente ormeggiano al pontile delta. Per tale nave si sono considerate lunghezza pari a 230 m e pescaggio di 12 m.

I risultati delle simulazioni hanno evidenziato che anche nella configurazione potenzialmente più critica, ovvero in presenza del terrapieno del ribaltamento a mare di Fincantieri e la contestuale modifica del tratto terminale del rio Molinassi, con la foce ricollocata in prossimità della attuale foce del rio Marotto, non si evidenziano valori di velocità di corrente intorno alla nave ormeggiata particolarmente elevati. In particolare la corrente arriva ai cassoni di fondazione del pontile delta con velocità dell'ordine di 1 m/s, per diminuire fino a 15 – 20 cm/s nella parte ormeggiata dal lato della radice del pontile nel caso di nave "grande", e fino a 5 – 8 cm/s per la nave "frequente". Il flusso che lambisce la fiancata delle imbarcazioni raggiunge velocità massime dell'ordine dei 20 cm/s.

7 Riferimenti

CM-93 Edition 3.0, CM-93/3 - www.jeppesen.com/marine/commercial/professional/;

MIKE by DHI 2017. *MIKE 21 Spectral Wave Module. Scientific Documentation*. DHI, Hørsholm, Denmark;

Interventi di adeguamento idraulico dei rivi Marotto e Monferrato a Genova Multedo, 2014, ITEC engineering;

Progetto definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri Ponente e della sistemazione idraulica del Rio Molinassi, 2014, MWH;

Ordinanza n 21/2015 "*Approvazione del Regolamento di Polizia Portuale e Sicurezza del Porto Petroli di Genova-Multedo*" del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Capitaneria di Porto di Genova, Sezione Tecnica.

ALLEGATI

ALLEGATO A

MIKE 21 HD

Descrizione tecnica

PREMESSA

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore. I principali campi di applicazione sono:

- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi;
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

In generale il MIKE 21 offre un ambiente di lavoro completo, efficace e robusto a supporto dell'ingegneria e della pianificazione e gestione territoriale a diverse scale spaziali. La combinazione di un'interfaccia grafica avanzata con un motore di calcolo robusto ed affidabile, frutto di un pluriennale e continuo sviluppo da parte del DHI, rende questo software lo strumento più utilizzato ed efficace per l'ingegneria fluviale e marittima in tutto il mondo.



Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

- CLASSIC GRID (Griglia classica singola):le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenza finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- MULTIPLE GRID (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- FLEXIBLE MESH (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- CURVILINEAR (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.
- In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:
- MIKE 11, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;
- MIKE URBAN CS per la simulazione di allagamenti in ambito urbano dalla rete di drenaggio.

In campo marittimo e costiero, dove risulta più efficace l' utilizzo della versione FM, il MIKE 21 consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (moduli SW, PMS, NSW, BW, EMS), le correnti e le variazioni di livello superficiale (HD), il trasporto solido e la morfologia di sedimenti non coesivi e coesivi (ST, MT), la dispersione di soluti (AD/TR).

L'utilizzo di formati comuni a tutti i codici del mondo MIKE garantisce la possibilità di utilizzare i file di MIKE 21 anche in input ad altri modelli quali LITPACK e MIKE 3.

Infine, attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 21 consente di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti e reagenti.

Di seguito si descrive il modulo MIKE 21 HD Classical Grid.

Modulo Idrodinamico (HD)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

Come menzionato in precedenza, i risultati di una simulazione MIKE 21 HD possono essere usati come input per la simulazione di fenomeni fisici strettamente dipendenti dagli aspetti idrodinamici:

- trasporto di sostanze disciolte/sospese in acqua, modulo AD e modulo “Mud Transport”;
- trasporto solido di materiale non coesivo, modulo ST;
- qualità delle acque ed idroecologia, modulo ECO Lab.

Infine, per quanto riguarda le analisi dei fenomeni di esondazione, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico attraverso l’interfaccia MIKE FLOOD al codice monodimensionale MIKE 11, per la simulazione degli alvei e dei canali, ed al codice MIKE URBAN, per la simulazione delle reti di drenaggio e collettamento urbano, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xx}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{yy}\right)\right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial x}p_a + \frac{1}{\rho_w}\left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}\right) = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{yy}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xy}\right)\right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial y}p_a + \frac{1}{\rho_w}\left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x}\right) = 0$$

nelle quali:

h(x,y,t) = profondità dell'acqua;

ζ (x,y,t) = quota del pelo libero;

p,q(x,y,t) = portate unitarie nelle direzioni x e y;

C(x,y) = coefficiente di scabrezza di Chezy;

G = accelerazione di gravità;

f(V) = fattore d'attrito del vento;

V,Vx,Vy(x,y,t) =velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

Ω (x,y) = parametro di Coriolis;

pa (x,y,t) = pressione atmosferica;

ρw = densità dell'acqua;

x,y = coordinate spaziali;

t = tempo;

τxx, τxy, τyy = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

Sxx,Sxy,Syy = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y. La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(E\frac{\partial p}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(E\frac{\partial p}{\partial y}\right)$$ (nella direzione x);

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hE\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hE\frac{\partial u}{\partial y}\right)$$ (nella direzione x);

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E=c_S^2\Delta^2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2\right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e cs è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(hE\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{2}hE\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right)$$

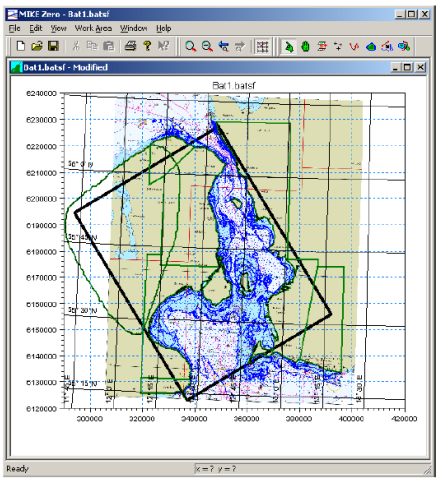
La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria (m3/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m3/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

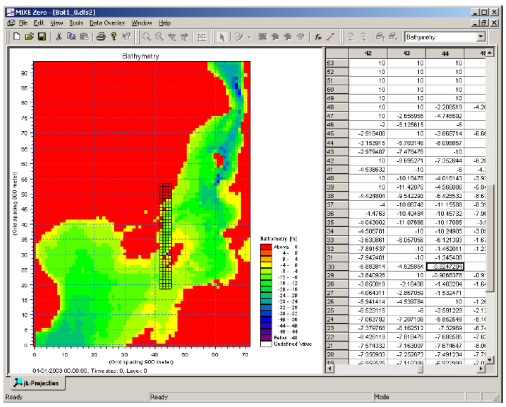
La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Le equazioni di continuità del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme su tutto il dominio di calcolo, costituita da celle di dimensioni tali da poter descrivere in maniera sufficientemente corretta le variazioni plano-altimetriche della batimetria.

Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione “griglia multipla-nested grid”, che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

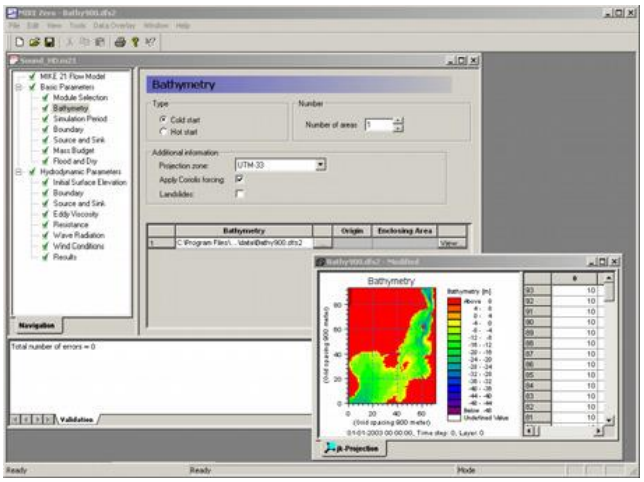
Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall’algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).





Il modello MIKE 21 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento, radiation stresses, sorgenti o pozzi).



I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione.

