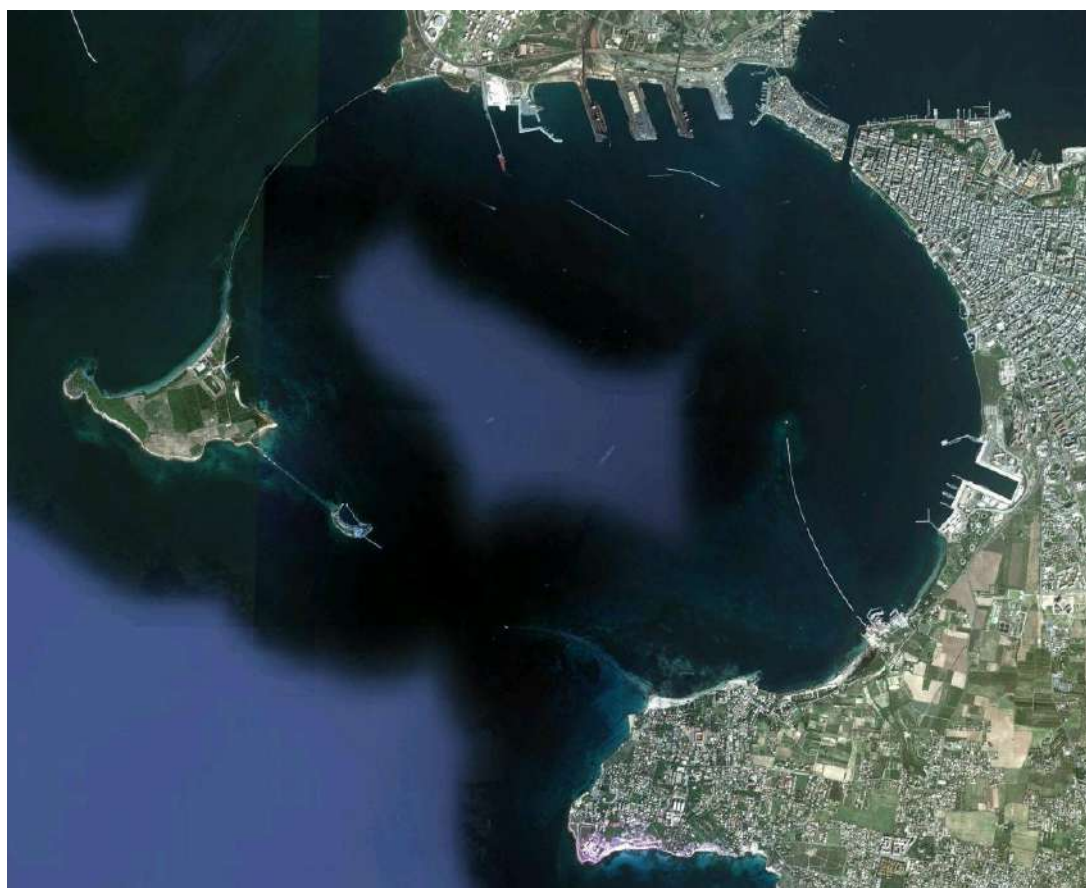




Realizzazione di un modello 3D di dispersione dei sedimenti nel Mar Grande (Taranto)





INDICE

1	PREMESSA E OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	1
2	SINTESI DELLO STUDIO E RISULTATI CONSEGUITI.....	2
3	DATI DISPONIBILI.....	4
3.1	Dati di vento.....	4
3.2	Dati di marea.....	6
3.3	Dati di temperatura e salinità.....	8
3.4	Dati batimetrici.....	10
3.5	Dati sedimentologici.....	11
4	APPROCCIO METODOLOGICO PER LO STUDIO DELLA CIRCOLAZIONE NEL MAR GRANDE.....	13
5	PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO 3D IDRODINAMICO.....	17
5.1	Creazione della batimetria di calcolo.....	17
5.2	Risultati della modellazione 3D.....	20
5.2.1	Scenario 1: semestre Autunnale/Invernale.....	21
5.2.1	Scenario 2: semestre Primavera/Estivo.....	29
6	APPROCCIO METODOLOGICO PER LO STUDIO DELLE VELOCITA' DI CORRENTE INDOTTE DAL PASSAGGIO DELLE NAVI.....	38
6.1	Dati e assunzioni sul traffico navale.....	39
6.2	Caratteristiche dimensionali delle navi studiate.....	40
6.3	Caratterizzazione della rotta delle navi.....	41
6.4	Campo di velocità generato dal passaggio delle navi.....	43
6.5	Campo di velocità al fondo generato dalle eliche delle navi.....	45
7	PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO 3D DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI.....	47
7.1	Batimetria di calcolo.....	48
7.2	Mappa dei sedimenti costituenti il fondale.....	48
7.3	Stima della quantità di sedimento messa in sospensione dal passaggio delle navi.....	49
7.4	Risultati della modellazione 3D di dispersione dei sedimenti.....	53
7.4.1	Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso.....	53
7.4.2	Distribuzione della probabilità di superamento.....	60
7.4.3	Serie temporali di concentrazione.....	65
8	CONCLUSIONI.....	75
9	BIBLIOGRAFIA.....	77



ALLEGATI

ALLEGATO A – DESCRIZIONE DEL MODELLO MIKE 3

ALLEGATO B – RAPPORTO TECNICO APPLICAZIONE MODELLO SHIPFLOW



1 PREMESSA E OBIETTIVI DELLO STUDIO

Scopo dell'attività è la realizzazione di un modello tridimensionale finalizzato a simulare l'impatto sulla dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino indotto dal previsto incremento di traffico navale a seguito dell'ampliamento del pontile ENI e contestuale realizzazione di una piattaforma all'interno del porto industriale di Taranto (costa settentrionale del Mar Grande). Tali opere si inquadrano nel progetto "Raffineria di Taranto - Adeguamento e stoccaggio del greggio proveniente dal giacimento Tempa Rossa", proposto da ENI S.p.A. ed attualmente soggetto a procedura di verifica di compatibilità ambientale.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, di concerto con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, ha già espresso parere favorevole circa la compatibilità ambientale del progetto, con prescrizioni (Decreto di Compatibilità Ambientale U.prot DVA_DEC-2011-0000573 del 27/10/2011). Il presente studio si pone l'obiettivo di adempiere alla Prescrizione della Commissione Tecnica per la Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS che riguarda il potenziale impatto sulla risospensione di sedimenti indotto dall'incremento di traffico navale a seguito della realizzazione delle strutture previste a supporto della raffineria ENI.

Il testo di tale prescrizione della Commissione VIA-VAS, riguardante i "Sedimenti Marini" (punto 4a) è riportato di seguito:

"Simulazione numerica della dispersione dei sedimenti. Prima dell'inizio della fase di progettazione esecutiva dovrà essere effettuata una simulazione numerica complessiva della dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino mediante l'utilizzo di opportuni modelli tridimensionali certificati che tengano conto:

- I. delle effettive caratteristiche delle navi attraccanti il pontile in termini di dimensioni, potenza, caratteristiche degli scafi e delle eliche, ecc.,*
- II. dei parametri fisici, geologici e geotecnici dei sedimenti e delle quantità di inquinanti eventualmente presenti in corrispondenza delle rotte delle navi,*
- III. delle velocità di ricaduta sul fondo marino ("Fall Velocity Susp. Current"),*
- IV. del campo idrodinamico di base dovuto al regime delle correnti e delle onde.*

Le suddette simulazioni dovranno essere eseguite lungo le rotte (corridoi) previste per le navi trasportanti il greggio sia in avvicinamento che in uscita dal pontile, e comunque per una lunghezza delle rotte non inferiore a 10 km misurata a partire dal pontile con scansione di almeno 1 km. In ogni punto analizzato dovranno essere fornite e analizzate come minimo, ma non in modo limitativo, le concentrazioni areali dei sedimenti posti in sospensione e le corrispondenti percentuali di eventuali inquinanti, il tutto a diversi livelli d'acqua misurati a partire dal fondale marino, i tempi di risospensione, ecc. Il campo di corrente e le onde anomale ("Bernoulli Wake") generate dal transito delle navi che si propagano anche verso il basso fondale dando luogo a "stress" e a conseguente risospensione dei sedimenti dovrà essere valutato a mezzo di opportuni software tridimensionali (i.e. "Shipflow" o equivalenti) che tengano conto delle reali caratteristiche delle navi.

In funzione dei risultati che scaturiranno dalle suddette simulazioni, in fase di verifica di ottemperanza, potranno essere o meno prescritte limitazioni sulle velocità di crociera e sulle modalità di manovra delle navi entro i suddetti corridoi,



sull'intervallo di transito di una nave rispetto all'altra (anche se non direttamente connesse all'impianto), al fine di garantire comunque che la dispersione dei sedimenti sia circoscritta entro una specifica distanza (fascia di rispetto) di 400 m rispetto alla rotta delle navi stesse. Tutto ciò al fine di garantire che in ogni condizione ambientale, la concentrazione di eventuali inquinanti contenuto nei sedimenti in sospensione sia inferiore al limite di legge."

Il presente documento illustra l'analisi svolta mediante l'utilizzo di modellistica tridimensionale, ed in particolare del codice di calcolo MIKE 3 della famiglia MIKE, sviluppato dal DHI – Danish Hydraulic Institute integrato con il modello SHIPFLOW, per la rappresentazione tridimensionale di correnti e concentrazioni di sedimenti sospesi.

Lo studio ha previsto diverse fasi di lavoro:

- analisi dei dati meteorologici, batimetrici e sedimentologici del sito (Capitolo 3);
- predisposizione di un modello idrodinamico per la determinazione dei campi tridimensionali di velocità che tipicamente caratterizzano il bacino del Mar Grande (Capitoli 4 e 5);
- analisi del traffico navale a servizio del pontile ENI, nelle condizioni attuali ed in quelle previste a seguito dell'ampliamento del pontile e modellazione della distribuzione delle velocità di corrente generate dal passaggio di tali navi, mediante l'applicazione del modello SHIPFLOW (Capitolo 6);
- predisposizione di un modello tridimensionale per la simulazione della dispersione di sedimenti messi in sospensione dal passaggio delle navi (Capitolo 7).

2 SINTESI DELLO STUDIO E RISULTATI CONSEGUITI

Lo studio della dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino è stato effettuato mediante l'applicazione del modello numerico tridimensionale MIKE 3 sviluppato dal Danish Hydraulic Institute (DHI), un istituto di ricerca danese che opera con un'esperienza ultra trentennale nei campi dell'idrologia, dell'idrodinamica e dell'idro-ecologia, affrontando problematiche riferibili tanto alle acque interne quanto agli ambienti marino-costieri.

Sulla base del contenuto della prescrizione della Commissione VIA-VAS riguardante i "Sedimenti Marini" riportata in premessa, le simulazioni numeriche sono state effettuate tenendo conto dei seguenti aspetti:

- **caratteristiche effettive delle navi attraccanti al pontile.** Attraverso l'analisi del traffico navale nel porto di Taranto in un anno di riferimento (2011) sono state individuate le caratteristiche delle navi che operano nel corridoio di traffico a servizio del pontile ENI in termini di larghezza, lunghezza, pescaggio e tonnellaggio (DWT, Dead Weight Tonnage). Sulla base di questi dati sono state individuate 4 categorie di navi "equivalenti" considerate rappresentative del traffico complessivo. La suddivisione in categorie è avvenuta da un punto di vista dimensionale e ad ogni categoria è stata attribuita una frequenza di passaggi rappresentativa dell'intero traffico navale, sia attuale che previsto a seguito del potenziamento del pontile ENI. La caratterizzazione delle navi rappresentative ha inoltre preso in considerazione le dimensioni e la potenza delle eliche;



- **caratteristiche dei sedimenti.** Le dimensioni medie dei sedimenti costituenti il fondale marino all'interno del Porto di Taranto sono state ricavate dalle analisi effettuate nell'area marina del Mar Grande da ISPRA nell'ambito della redazione del Piano di Gestione dei Sedimenti, integrate con la carta dei sedimenti marini elaborata nell'ambito del progetto CoNISMa-SPICAMAR;
- **velocità di ricaduta sul fondale marino.** Sono state calcolate dal modello tridimensionale di dispersione dei sedimenti MIKE 3 MT FM di DHI, che simula l'effettiva "Fall Velocity" in funzione delle caratteristiche granulometriche del sedimento, dei campi di corrente forzanti e della concentrazione del sedimento in sospensione;
- **campo idrodinamico di base** generato dal vento e dalla marea all'interno del Mar Grande per due periodi di riferimento di 15 giorni rappresentativi rispettivamente del semestre Autunnale/Invernale e Primavera/Estivo. I campi di velocità durante questi periodi sono stati simulati mediante l'applicazione del modello numerico tridimensionale MIKE 3 HD FM. In virtù delle profondità dei fondali del Mar Grande, mediamente intorno ai 15m, e delle altezze d'onda che risultano fortemente attenuate rispetto al mare aperto, per la protezione garantita dalla conformazione della costa, dalla presenza delle isole di San Pietro e di San Paolo e dei moli che delimitano il bacino, è da ritenersi trascurabile l'apporto del moto ondoso alla circolazione del Mar Grande.

Le correnti indotte dal transito delle navi sono state simulate mediante l'applicazione di opportuna modellistica tridimensionale, ed in particolare del modello SHIPFLOW, che tiene conto delle reali caratteristiche delle navi. Questo modello ha fornito, per ciascuna tipologia di nave considerata ed in diversi punti all'interno del Mar Grande lungo la rotta della nave, il campo delle velocità che si generano al di sotto dello scafo al passaggio della nave (prevalentemente per l'effetto della scia non viscosa, *Bernoulli wake*).

Un'altra forzante che determina la potenziale risospensione dei sedimenti del fondale è riconducibile alla propulsione delle navi e dei rimorchiatori. L'analisi di questa ulteriore forzante ha messo in evidenza che le eliche dei rimorchiatori, in virtù delle profondità del fondale, non sono in grado di determinare alcuna risospensione dei sedimenti. Al contrario, l'effetto delle eliche delle navi in passaggio è risultato contribuire alla messa in sospensione dei sedimenti marini.

I risultati delle simulazioni hanno inoltre evidenziato che le forzanti meteomarine considerate, combinazione di vento e marea meteorologica, non sono in grado di determinare tensioni tangenziali al fondo tali da mettere in sospensione i sedimenti.

Le simulazioni di dispersione del sedimento sono state eseguite lungo le rotte previste per le navi trasportanti il greggio sia in avvicinamento che in allontanamento dal pontile fino all'imboccatura del Mar Grande, caratterizzata da profondità del fondale pari a circa 40 m e non oltre. I risultati delle simulazioni effettuate con il modello SHIPFLOW, infatti, hanno evidenziato che a profondità maggiori, al di fuori dell'imboccatura del Mar Grande (posta ad una distanza dal pontile ENI pari a circa 5 km), le velocità al fondo indotte dal passaggio delle navi sono trascurabili e pertanto non determinano la messa in sospensione dei sedimenti.

Lungo le rotte previste per le navi trasportanti il greggio la simulazione della dispersione dei sedimenti è stata effettuata con una discretizzazione spaziale dell'ordine dei 30 metri, a fronte di una scansione minima di 1 km citata nella prescrizione della Commissione VIA-VAS.



Per l'intera superficie del Mar Grande sono riportate la distribuzione spaziale della concentrazione massima di sedimenti sospesi nei due periodi di riferimento e le distribuzioni spaziali della probabilità di superamento di determinate soglie di concentrazione di sedimento sospeso (2 mg/l, valore diffusamente utilizzato a livello internazionale quale valore soglia di tracciabilità per il plume di sedimenti sospesi in mare [1], [2] e 4 mg/l). Sono inoltre riportate le serie temporali di concentrazione di sedimenti sospesi in 4 punti rappresentativi lungo la rotta delle navi, al fine di determinare i tempi di ricaduta dei sedimenti sul fondo.

L'analisi ha messo in evidenza che il plume di sedimenti messi in sospensione dal passaggio delle navi rimane confinato alle profondità prossime al fondale; inoltre, la dispersione di sedimenti rimane circoscritta entro una distanza limitata rispetto alla rotta delle navi stesse, prossima ai 400m indicati nella prescrizione della Commissione VIA-VAS. Il rispetto di tale condizione garantisce conseguentemente che in ogni condizione ambientale la concentrazione di eventuali inquinanti contenuta nei sedimenti in sospensione al di fuori della fascia di rispetto sia trascurabile.

Non è pertanto risultata necessaria la prescrizione sull'intervallo di transito di una nave rispetto all'altra né di ulteriori limitazioni alla velocità delle navi oltre quelle già comprese nell'Articolo 4 del "Regolamento di Sicurezza e dei Servizi Marittimi del Porto di Taranto" della Capitaneria di Porto di Taranto, che prescrive una velocità massima che le navi possono raggiungere durante la navigazione nei canali di separazione del traffico, nonché nella Rada, pari a 6 nodi o comunque pari alla velocità minima di manovra.

3 DATI DISPONIBILI

Una prima fase di analisi ha riguardato il reperimento dei dati disponibili per la zona del Mar Grande, sia in riferimento alle batimetrie, sia alle principali componenti meteomarine che determinano la circolazione idrodinamica del sito.

In particolare, per i dati batimetrici si è fatto riferimento alle carte nautiche del Mar Grande, integrate con rilievi di dettaglio disponibili per la zona del pontile ENI; per i dati meteomarini si sono utilizzate le registrazioni di vento e livello del mare della stazione mareografica di Taranto, facente parte della Rete Mareografica Nazionale (R.M.N.), nonché i dati di temperatura e salinità rilevati in specifiche campagne di misura coordinate dal Ministero dell'Ambiente (banca dati Si.Di.Mar).

A seguire è riportata una breve descrizione di tali dati.

3.1 Dati di vento

Il database utilizzato per l'analisi delle condizioni di vento nel sito di interesse deriva dalla Rete Mareografica Nazionale (R.M.N.), che fornisce le registrazioni dei livelli del mare e della velocità e direzione del vento in una serie di stazioni distribuite lungo le coste italiane. In particolare, la stazione di riferimento utilizzata nel presente studio è localizzata nel porto di Taranto, all'interno del Mar Grande, nel punto di coordinate geografiche 40°28'31"N e 17°13'29"E (Figura 3-4).

I dati di vento per la stazione d'interesse sono disponibili a partire dal 23/07/1998 e sono registrati con frequenza oraria. In Figura 3-1 e Figura 3-2 tali dati sono rappresentati sotto forma di rosa rispettivamente annuale e stagionale.

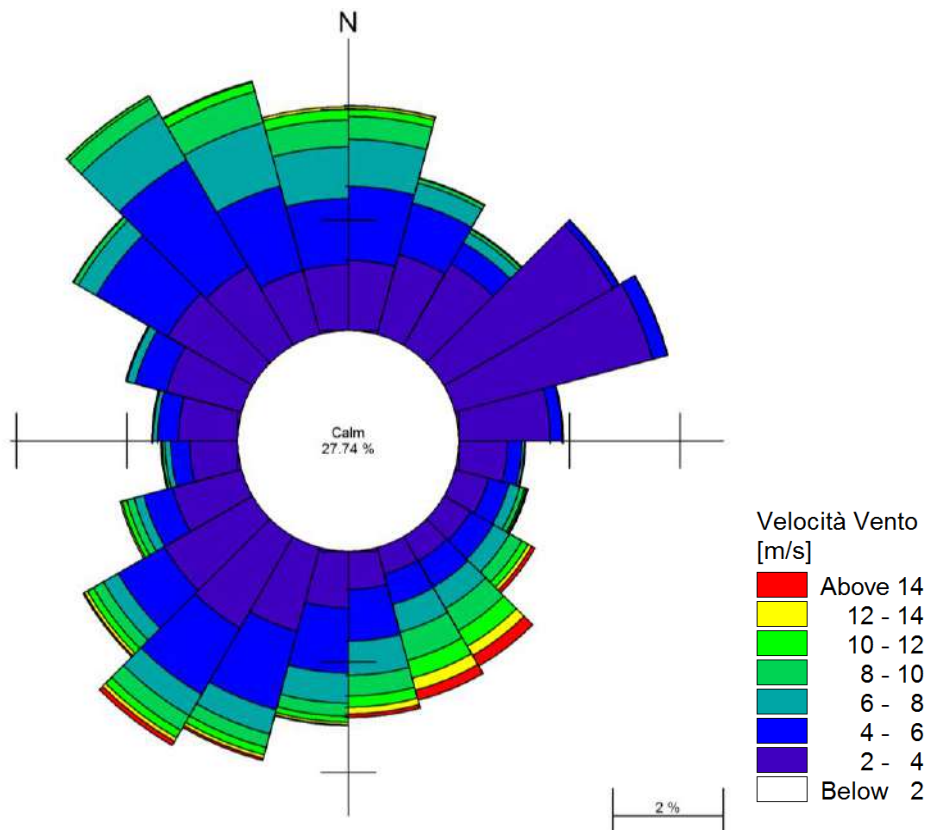


Figura 3-1 Rosa annuale del vento. Fonte: la rosa è stata elaborata sulla base dei dati di vento provenienti dalla Rete Mareografica Nazionale (RMN, www.idromare.it), stazione: Taranto, periodo: 23/07/1998-19/04/2012.

L'analisi dei dati di vento, in termini di velocità e direzione, mostra che i venti più frequenti provengono dal settore Nord-Ovest (da 315°N a 345°N), mentre i venti più intensi, caratterizzati da velocità massime superiori a 14 m/s, provengono dal settore Sud-Est (da 135°N a 165°N).

Le rose del vento suddivise per stagioni mostrano durante il periodo invernale ed autunnale frequenze elevate associate ai venti provenienti dal settore di Nord Ovest (da 300°N a 330°N) mentre le velocità più elevate si riscontrano per i settori Sud e Sud-Est (da 120°N a 180°N).

In Estate e Primavera è il settore di Sud Ovest (da 210°N a 240°N) ad essere caratterizzato dalle frequenze più elevate mentre, nuovamente, le velocità più alte si riscontrano per il settore di Sud-Est (da 120°N a 165°N).

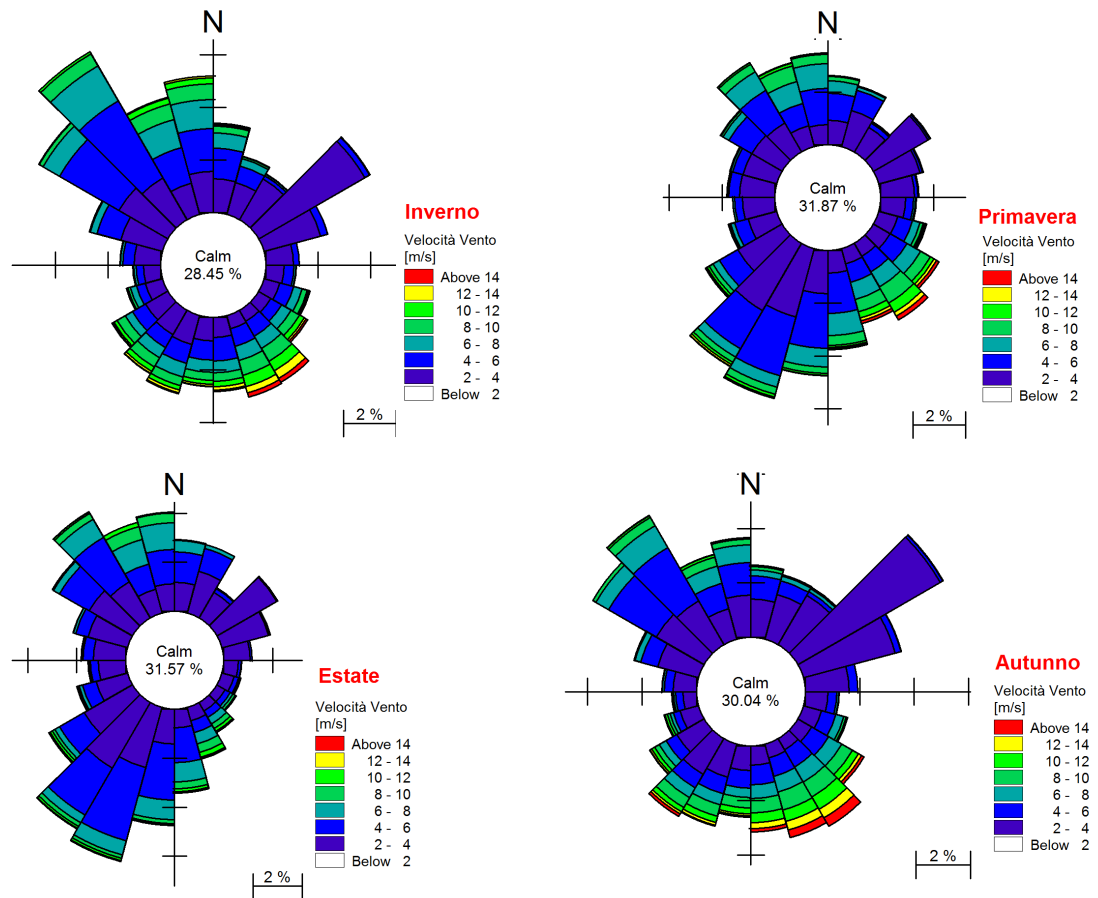


Figura 3-2 Rose stagionali del vento. Fonte: la rosa è stata elaborata sulla base dei dati di vento provenienti dalla Rete Mareografica Nazionale (RMN, www.idromare.it), stazione: Taranto, periodo: 23/07/1998-19/04/2012.

3.2 Dati di marea

Le stazioni mareografiche registrano nel tempo le variazioni del livello del mare, che comprendono sia la componente astronomica, dovuta all'attrazione gravitazionale tra i corpi celesti, sia la componente meteorologica, dovuta principalmente alle variazioni di pressione atmosferica e al vento, che producono effetti complessi anche sul livello medio del mare.

Nel caso in esame, è ancora la stazione mareografica di Taranto, già utilizzata per l'acquisizione delle registrazioni anemometriche, a fornire le registrazioni di livello, che presentano una frequenza di campionamento pari ad un'ora (frequenza incrementata a 10 minuti negli ultimi mesi disponibili di registrazioni) e coprono un periodo compreso tra il 01/01/1993 e il 09/11/2010. Le oscillazioni di livello, essendo dipendenti anche dagli effetti atmosferici, non presentano l'andamento regolare tipico della marea astronomica semidiurna, come osservabile in Figura 3-3.

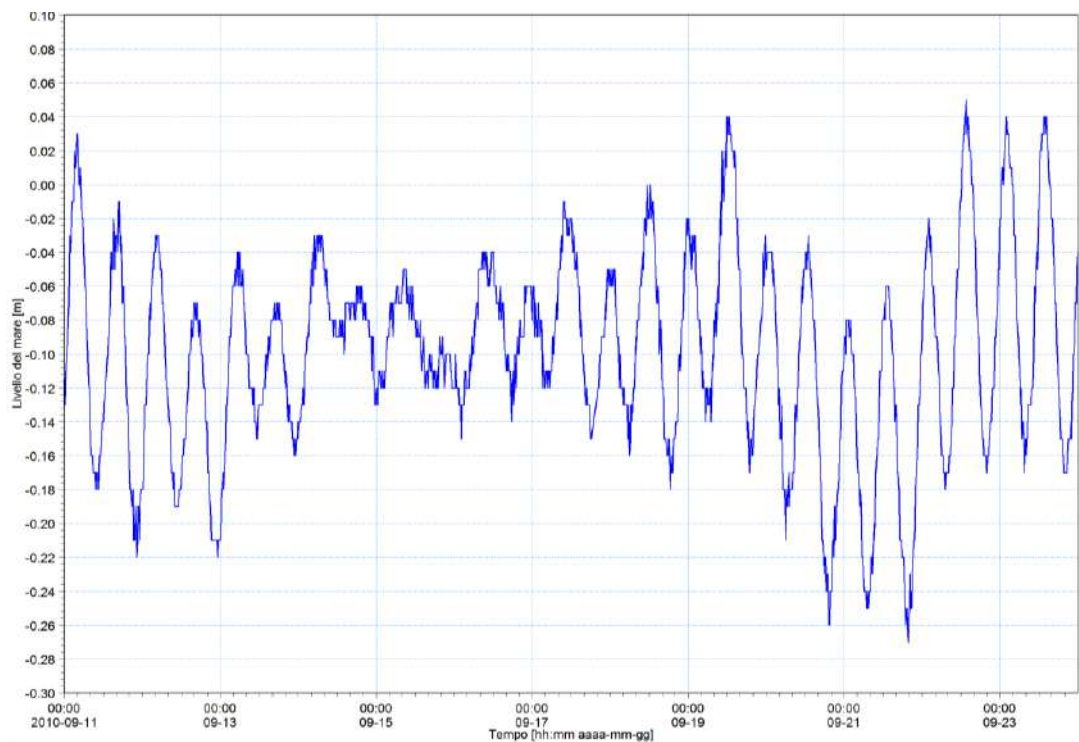


Figura 3-3 Ciclo di marea per la stazione mareografica di Taranto facente parte della Rete Mareografica Nazionale. Fonte: la serie temporale è stata estratta dal database disponibile sul sito internet www.idromare.it, stazione RMN: Taranto, periodo: 11/09/2010-24/09/2010.

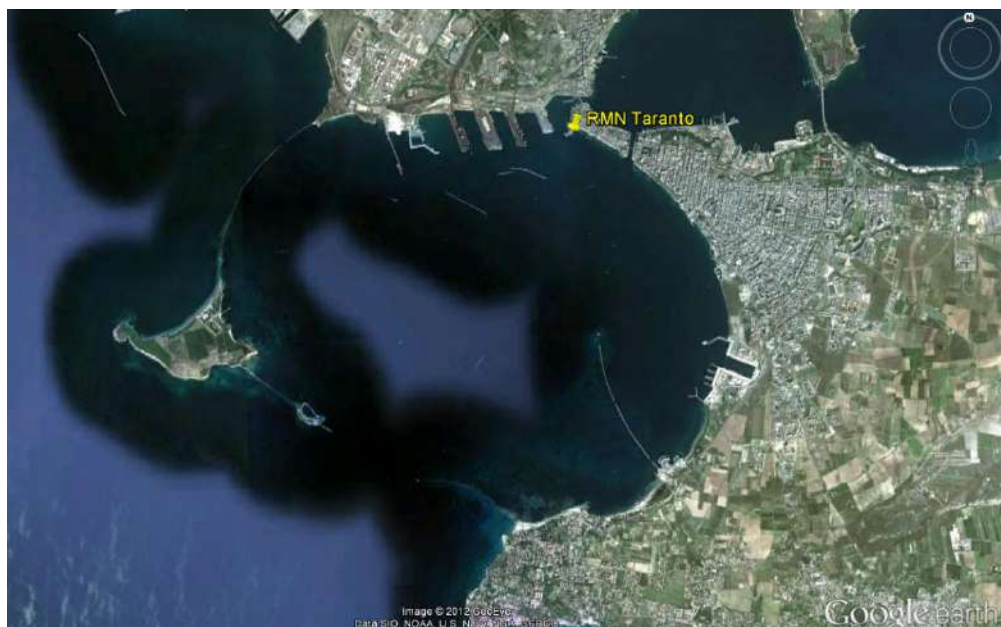


Figura 3-4 Localizzazione della stazione mareografica di Taranto, facente parte della Rete Mareografica Nazionale (RMN).



3.3 Dati di temperatura e salinità

Per i dati di temperatura e salinità lungo la colonna d'acqua si è fatto riferimento alla banca dati del Sistema Difesa Mare (Si.Di.Mar.), una banca dati che raccoglie a livello nazionale le informazioni relative all'ambiente marino provenienti dalle reti di osservazioni regionali, tramite campagne oceanografiche o stazioni fisse e mobili di rilevamento. Risultano in particolare disponibili le registrazioni relative a due specifici Programmi di Monitoraggio Marino-Costiero, per i periodi 2001-2007 e 2008-2009.

Per il presente studio si è fatto riferimento ai dati Si.Di.Mar. disponibili per la stazione TA03, localizzata a Foce Lato, al largo della costa tarantina, in un punto in cui i fondali marini raggiungono profondità di 50 m (Figura 3-5).

I profili di temperatura e salinità disponibili non sono pertanto collocati all'interno del Mar Grande, ma al di fuori. In assenza di registrazioni di lungo periodo disponibili all'interno del Mar Grande, si ritiene che la variabilità di temperatura e salinità stagionale e lungo la colonna d'acqua possa essere adeguatamente rappresentata (ai fini degli obiettivi del lavoro) anche utilizzando i dati della stazione Si.Di.Mar. TA03, la più prossima al Mar Grande. Le registrazioni Si.Di.Mar. costituiscono infatti una formidabile banca dati omogenea, estesa nello spazio e nel tempo, frequentemente utilizzata per analisi statistiche rappresentative dell'andamento delle variabili registrate (in questo caso temperatura e salinità).

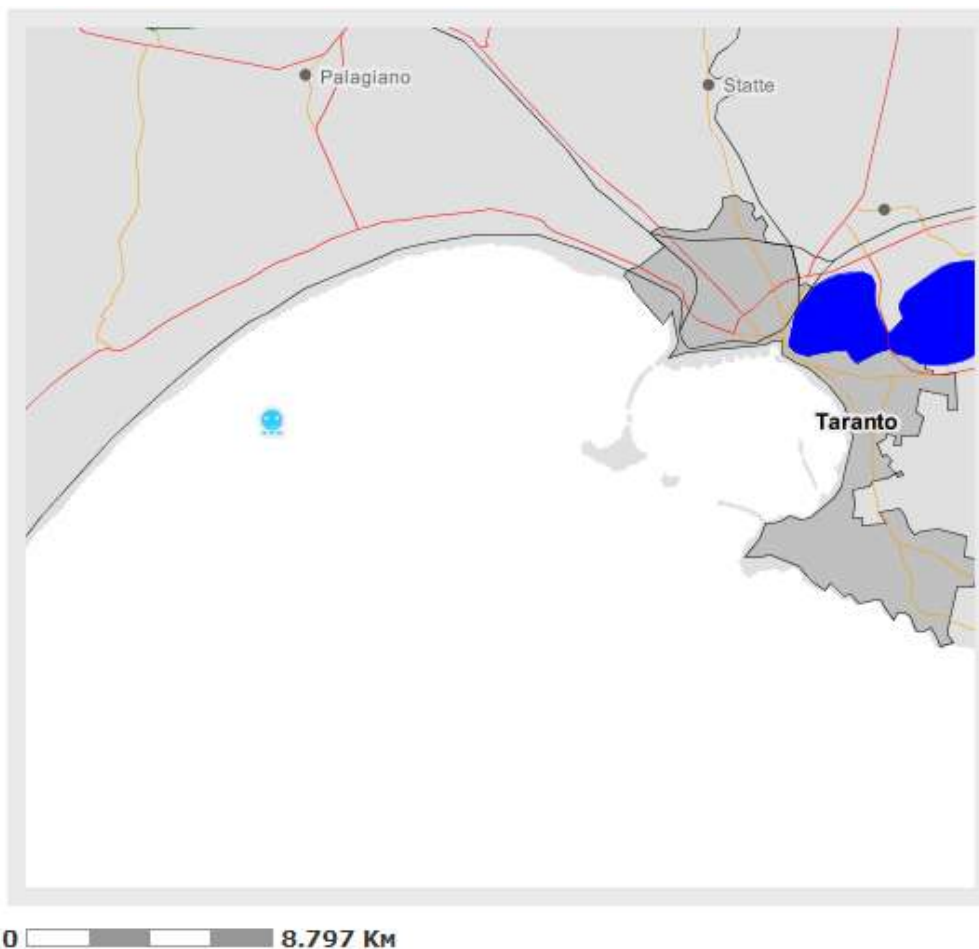


Figura 3-5 Localizzazione della stazione TA03. Fonte: Banca dati del Sistema Difesa Mare (Si.Di.Mar.).



I valori di temperatura e salinità sono stati misurati ogni 0.5 m, dalla superficie fino alla profondità di 50 m. L'elaborazione di questi dati ha permesso di definire una stratificazione verticale e di individuarne un andamento stagionale.

In particolare, per analizzare l'andamento di temperatura e salinità lungo la verticale, si è fatto riferimento alla campagna di monitoraggio delle acque 2008-2009. Durante questa campagna, caratterizzata da rilevazioni effettuate con frequenza mensile, è stato effettuato il monitoraggio di diverse grandezze: pressione atmosferica, temperatura dell'aria e dell'acqua, direzione e intensità del vento, direzione delle onde, direzione ed intensità della corrente, salinità.

Nella stazione di riferimento la temperatura massima superficiale viene raggiunta nel mese di agosto ed è pari a circa 27°C, mentre il valore minimo, pari a circa 13°C, si presenta in gennaio-febbraio (Figura 3-6).

Dall'analisi degli andamenti verticali della temperatura nei diversi mesi dell'anno si osserva una stratificazione trascurabile nei mesi invernali, che aumenta durante i mesi primaverili e autunnali fino a diventare massima nel periodo estivo. In particolare, la stratificazione minima si verifica durante il mese di marzo, con differenze di temperatura inferiori a 1°C tra la superficie ed il fondo, mentre la stratificazione massima si ha nel mese di agosto, con differenze di temperatura superiori a 10°C.

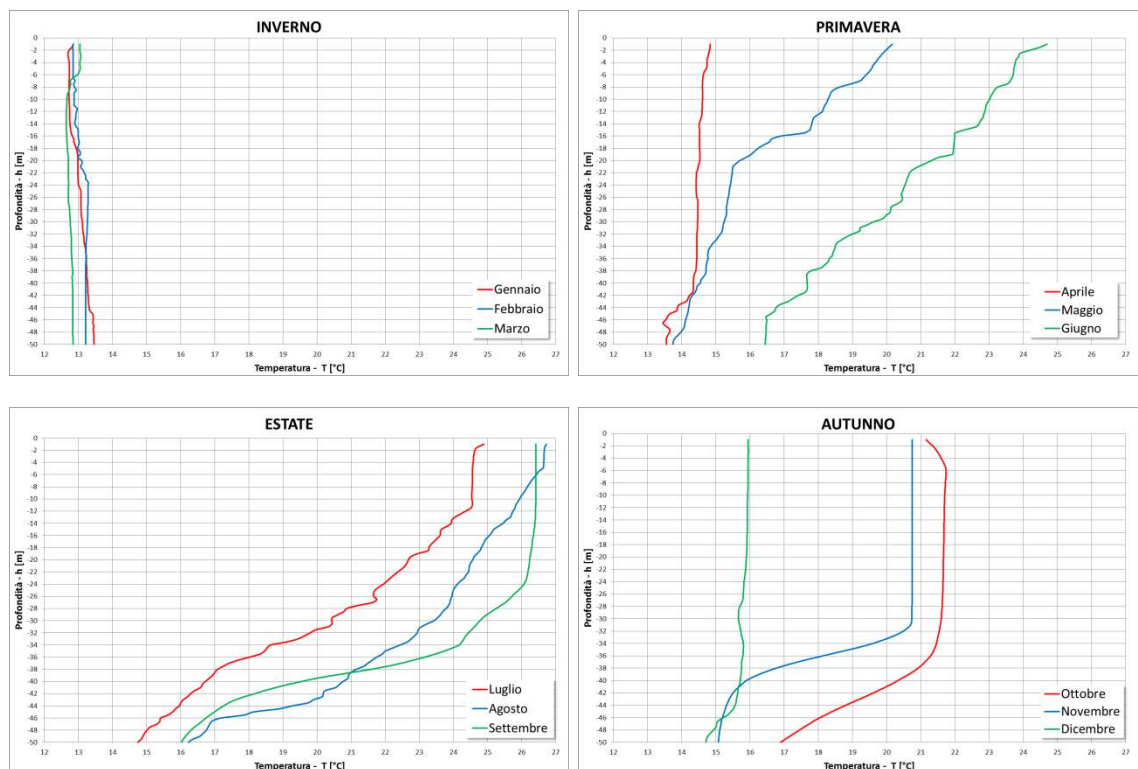


Figura 3-6 Andamento delle temperature lungo la colonna d'acqua nelle diverse stagioni. Fonte: Si.Di.Mar, campagna di monitoraggio delle acque 2008-2009.

L'andamento della salinità (Figura 3-7) è più irregolare, con modeste variazioni sia stagionali (differenze superficiali massime di circa 1.5 PSU), sia lungo la colonna d'acqua (differenze massime tra la superficie ed il fondo non superiori a circa 0.8 PSU). In generale si riscontrano valori di salinità media oscillanti intorno a 38.2 PSU.

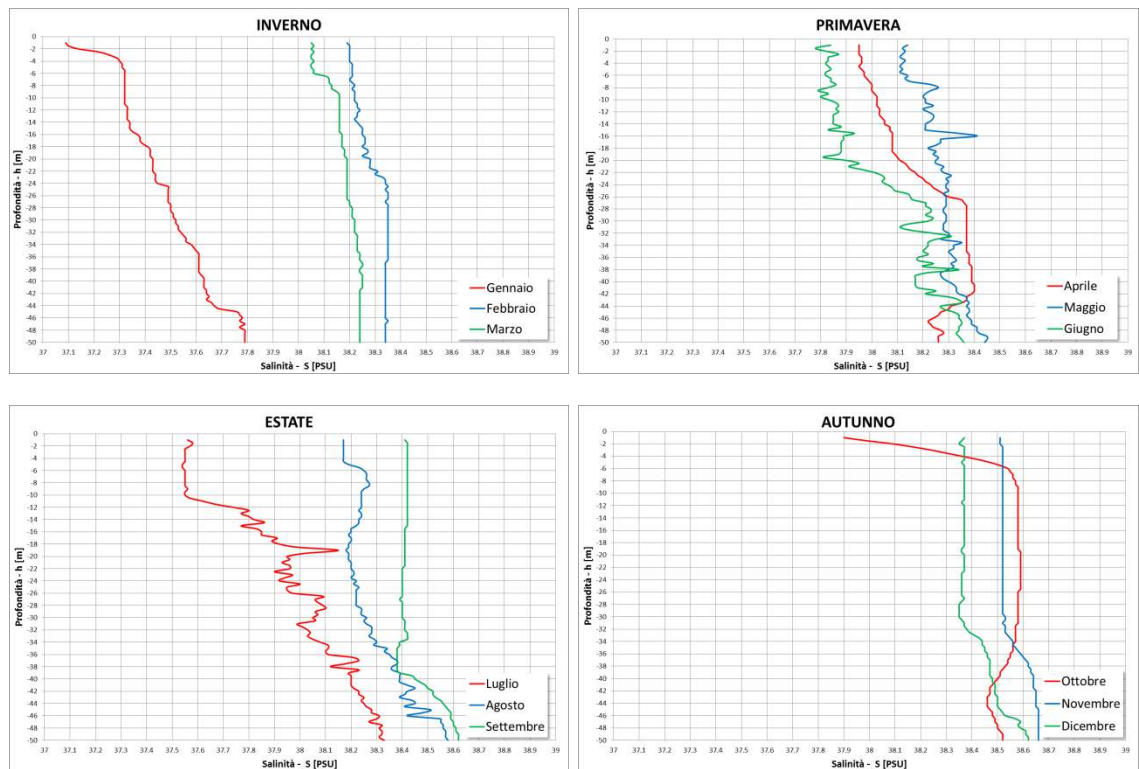


Figura 3-7 Andamento della salinità lungo la colonna d'acqua nelle diverse stagioni. Fonte: Si.Di.Mar, campagna di monitoraggio delle acque 2008-2009.

3.4 Dati batimetrici

Per la caratterizzazione batimetrica dell'area è stato utilizzato il database CM-93 di C-MAP. CM-93 è un database globale di cartografia nautica in formato digitale, creato e continuamente aggiornato dalla società Norvegese C-MAP.

I dati provenienti dalle carte nautiche digitali sono stati integrati con i dati batimetrici di dettaglio, che coprono una porzione del Mar Grande, messi a disposizione da ENI (Figura 3-8).

La carta rappresenta le isobate ogni metro, dalla linea di riva fino alla profondità di circa 35 m.

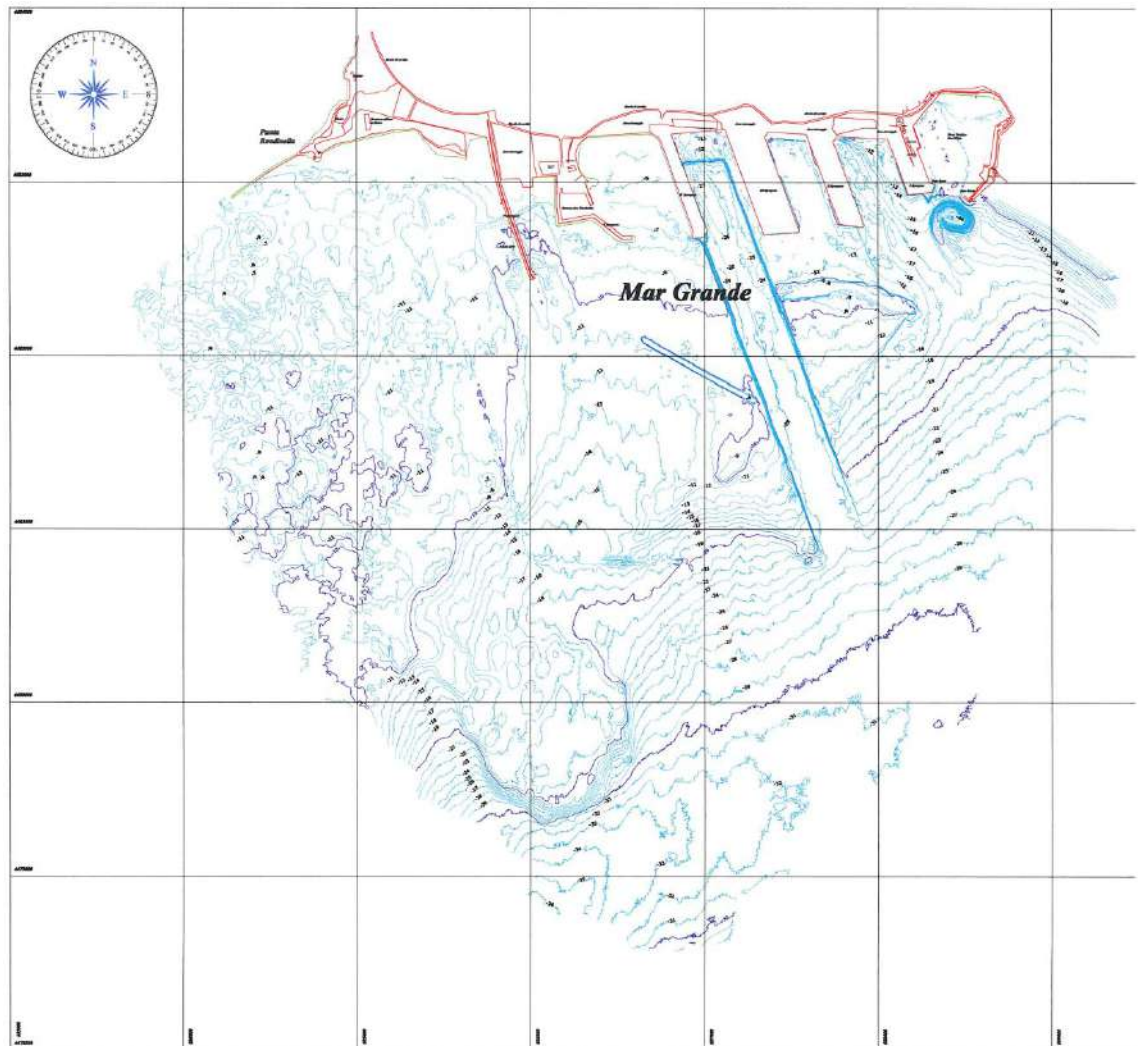


Figura 3-8 "Carta delle isobate" del Mar Grande, Nautilus Società Cooperativa, 2008.

3.5 Dati sedimentologici

Di seguito si riportano gli esiti delle caratterizzazioni granulometriche effettuate nell'area marina di Taranto, con particolare riferimento a quelle eseguite nella zona d'interesse per il presente studio.

L'area ad Ovest di Punta Rondinella e la zona del Mar Grande ricadente nel I Lotto sono state caratterizzate dal punto di vista chimico-fisico, eco-tossicologico e sedimentologico dal Commissario Delegato per l'Emergenza ambientale nella Regione Puglia, per il tramite di Sviluppo Italia Aree Produttive, con il cofinanziamento dell'Autorità Portuale di Taranto. I risultati ottenuti da tale caratterizzazione sono stati successivamente elaborati da ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, sotto l'incarico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

In particolare vengono di seguito ripresi i risultati granulometrici relativi alla zona del Mar Grande - I Lotto (Figura 3-9).

ISPRA, a partire dai risultati granulometrici analitici, ha classificato i sedimenti sulla base delle principali classi dimensionali generalmente presenti nel sedime marino (ghiaia, sabbia, silt, argilla). In questo caso la natura dei sedimenti è



prevalentemente fine, ragione per cui è stata utilizzata la classificazione di Shepard (Shepard F. P., 1954), ossia una classificazione di tipo ternario che tiene conto prevalentemente delle dimensioni tessiturali medio fini del sedimento (sabbia, silt, argilla).

I risultati così ottenuti mostrano, nella zona d'interesse per il presente studio, un'elevata variabilità della composizione granulometrica; i sedimenti risultano infatti caratterizzati da peliti e peliti sabbiose, con frequenti campioni sabbioso pelitici e sabbiosi; meno frequenti risultano, invece, quelli con elevati tenori della frazione ghiaiosa. Quest'ultima, infatti, risulta quasi generalmente assente ad eccezione del settore più orientale dell'area indagata ed ad ovest del IV Sporgente, indicato in Figura 3-9.

La frazione sabbiosa risulta, insieme alle frazioni pelitiche (limo e argilla), quella con le percentuali più significative e frequenti nei sedimenti dell'area del Mar Grande - I Lotto: una percentuale media del 28% per la sabbia, 40% per il limo e 28% per l'argilla, con picchi rispettivamente di 98%, 84% ed 81%.

Le caratteristiche granulometriche si mantengono con la stessa distribuzione anche nei livelli sottostanti.

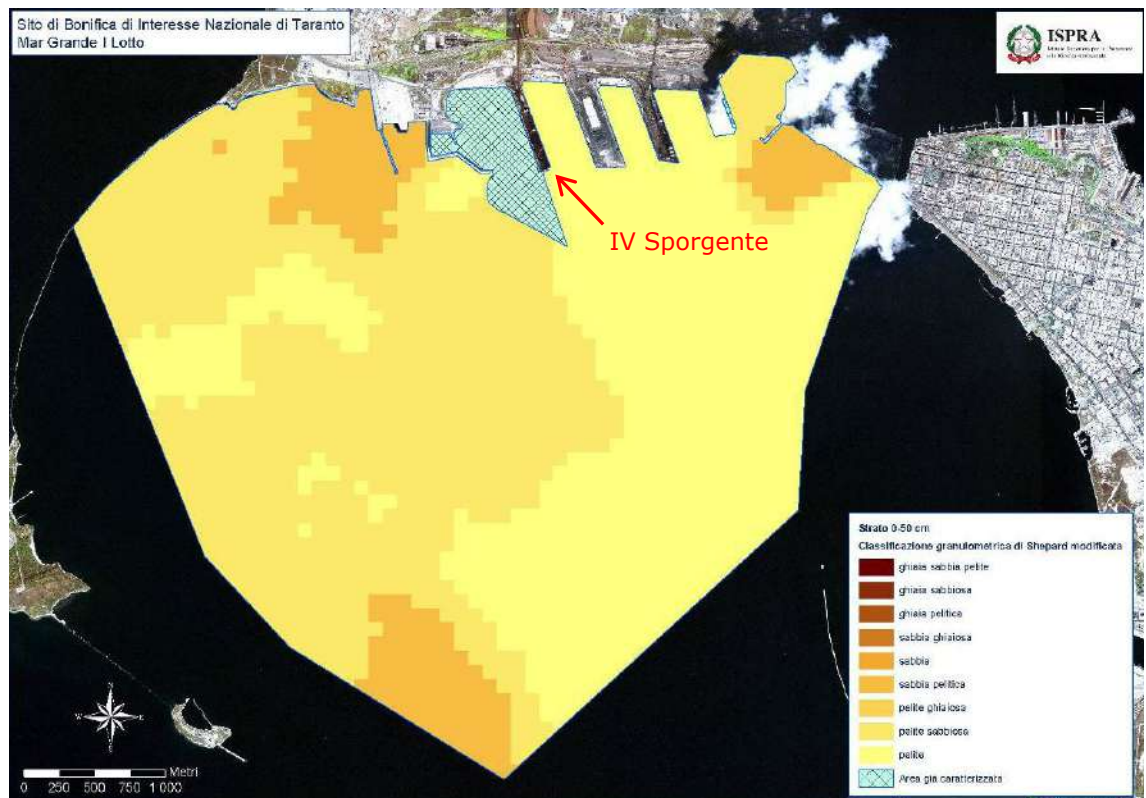


Figura 3-9 Granulometria dei sedimenti dell'area del Mar Grande. Livello 0-50 cm. Fonte: Piano di Gestione dei sedimenti nel Porto di Taranto, ISPRA, Settembre 2009.

Per la zona del Mar Grande risulta inoltre disponibile la cartografia CoNISMa-SPICAMAR della distribuzione sedimentaria. Questa carta, riportata in Figura 3-10, mostra che anche le zone del Mar Grande esterne al "I Lotto" sono caratterizzate principalmente da sedimenti classificabili come pelite, pelite sabbiosa e sabbia pelitica.

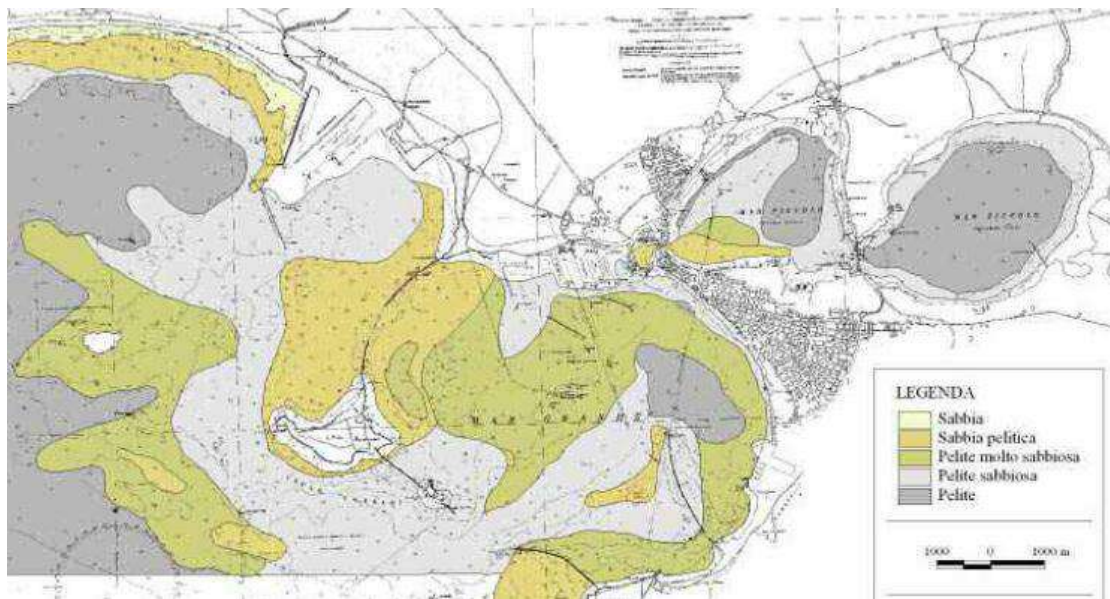


Figura 3-10 Cartografia CoNISMa-SPICAMAR.

La distribuzione granulometrica utilizzata per il modello di dispersione dei sedimenti è pertanto frutto dell'integrazione delle informazioni disponibili: nella zona del Mar Grande per la quale risulta disponibile la caratterizzazione effettuata da ISPRA nell'ambito del Piano di Gestione dei Sedimenti, si è fatto riferimento alla mappatura ISPRA; nelle rimanenti zone del Mar Grande si è fatto riferimento alla cartografia CoNISMa-SPICAMAR.

4 APPROCCIO METODOLOGICO PER LO STUDIO DELLA CIRCOLAZIONE NEL MAR GRANDE

Lo studio della circolazione che si instaura all'interno del Mar Grande è affrontato mediante l'applicazione di modellistica tridimensionale, ed in particolare del modulo MIKE 3 HD FM del pacchetto MIKEbyDHI sviluppato da DHI (Danish Hydraulic Institute).

Nella precedente sezione sono stati descritti i dati disponibili in termini di forzanti del modello ed i dati batimetrici necessari per la costruzione della griglia di calcolo, nel capitolo successivo verrà descritta la procedura seguita per la predisposizione ed il setup del modello idrodinamico.

Lo scopo è quello di definire la circolazione idrodinamica generale all'interno del Mar Grande in termini di velocità e direzione della corrente a diverse profondità.

Le forzanti meteomarine che sono state considerate sono vento e marea, in differenti condizioni di stratificazione di temperatura e salinità. Queste condizioni sono state derivate dall'analisi dei dati disponibili, come illustrato nel capitolo 3.

In virtù delle profondità dei fondali del Mar Grande, mediamente intorno ai 15m, e delle altezze d'onda che risultano fortemente attenuate rispetto al mare aperto, per la protezione garantita dalla conformazione della costa, dalla presenza delle isole di San Pietro e di San Paolo e dei moli che delimitano il bacino, è da ritenersi trascurabile l'apporto del moto ondoso alla circolazione del Mar Grande.



L'analisi delle forzanti meteomarine ha messo in evidenza la presenza di un andamento stagionale, in particolare per il regime dei venti e per le condizioni di stratificazione termica. Sono stati pertanto individuati due scenari rappresentativi di due diverse stagioni: quella Autunnale/Invernale e quella Primavera/Estiva.

Scenario 1: condizioni meteomarine rappresentative della stagione Autunnale/Invernale.

Questo scenario è stato individuato al fine di modellare l'andamento delle correnti nel Mar Grande in condizioni meteomarine tipiche dei mesi Autunnali/Invernali. In particolare, è stato considerato un periodo reale di lunghezza 15 giorni, in modo da includere nella simulazione un ciclo completo di marea astronomica, della durata media di circa 14 giorni.

Dal punto di vista anemometrico il semestre Autunnale/Invernale è caratterizzato da venti più intensi e relativamente frequenti provenienti prevalentemente dal settore di Sud-Est; al fine di selezionare uno scenario quanto più possibile realistico e rappresentativo, è stato individuato un periodo con condizioni di vento registrate ben rappresentative della stagione in esame. Sulla base dell'analisi delle registrazioni disponibili, si è fatto riferimento al periodo compreso tra il 14/02/2010 ed il 01/03/2010.

Per i livelli marini si è fatto riferimento alle registrazioni del mareografo di Taranto; tali dati infatti si riferiscono alle variazioni di livello dovute ad entrambe le componenti di marea, meteorologica ed astronomica, e tengono dunque in considerazione anche gli effetti sul livello marino indotti dal vento e dalla pressione atmosferica. L'andamento del livello durante il periodo di riferimento selezionato è riportato in Figura 4-1.

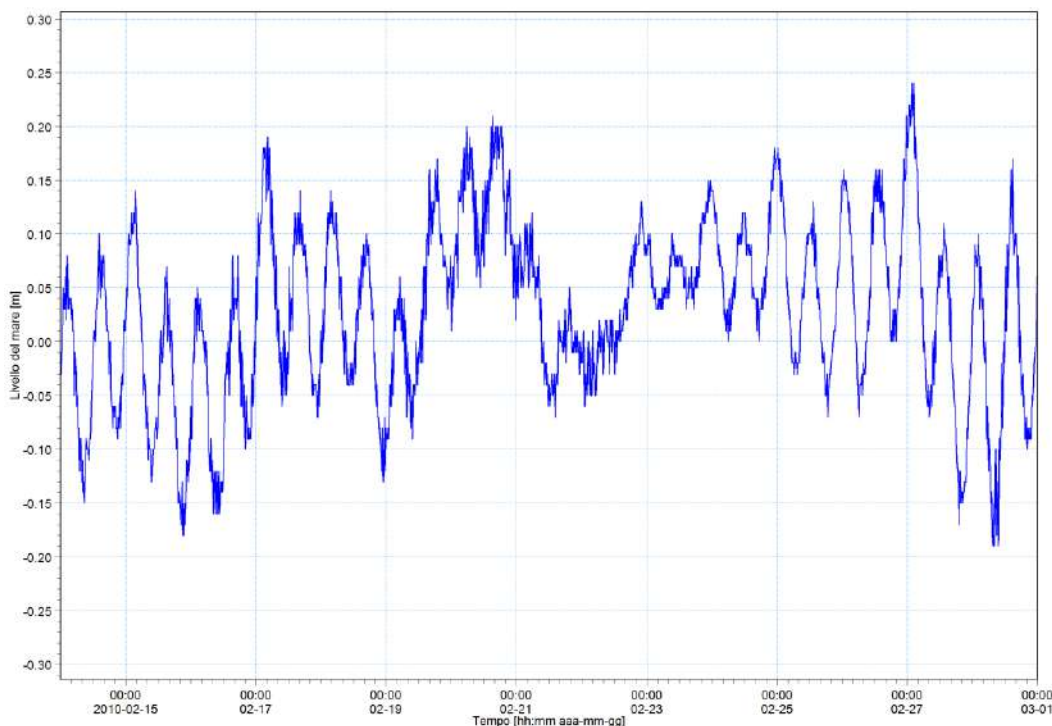


Figura 4-1 Andamento dei livelli marini alla stazione mareografica di Taranto, facente parte della Rete Mareografica Nazionale. Fonte: la serie temporale è stata estratta dal database disponibile sul sito internet www.idromare.it, stazione RMN: Taranto, periodo: 14/02/2010 – 01/03/2010.



Dal punto di vista della temperatura e della salinità, i dati utilizzati sono quelli registrati alla stazione TA03 (database Si.Di.Mar) per il mese di febbraio (Figura 4-2, Figura 4-3). Durante il semestre Autunnale/Invernale la stratificazione verticale non è rilevante: la temperatura nel periodo di riferimento presenta valori medi pari a 13.1°C, con una variabilità verticale massima di 0.4°C, mentre la salinità presenta valori medi pari a 38.3 PSU, con una variabilità verticale massima di 0.2 PSU.

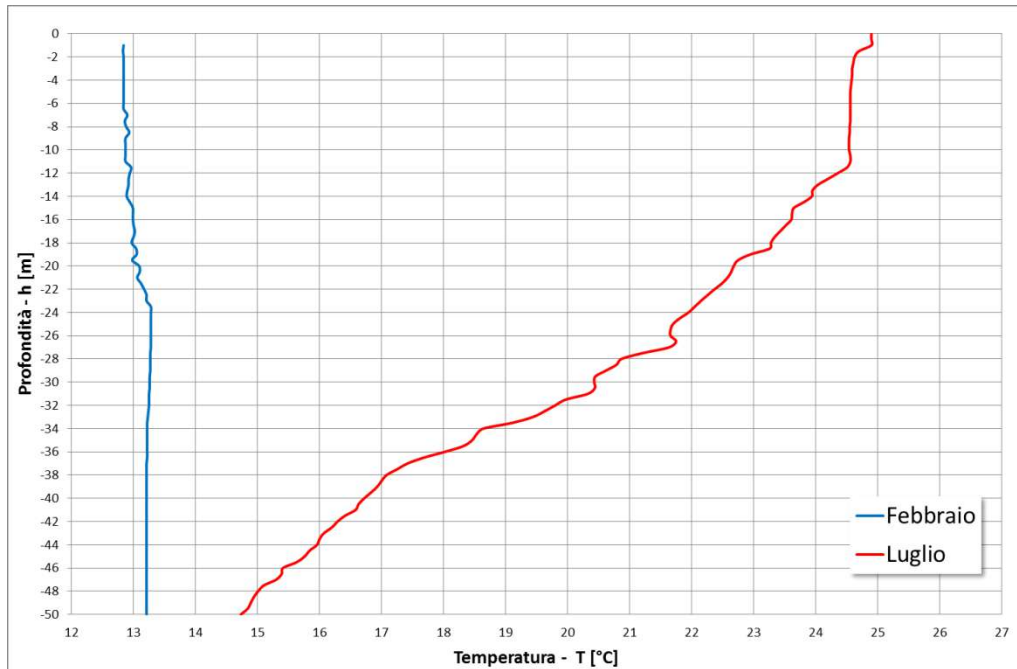


Figura 4-2 Andamento della temperatura lungo la colonna d'acqua per il mese di Febbraio (scenario 1 Autunnale/Invernale) e di Luglio (scenario 2 Primavera/Estivo).

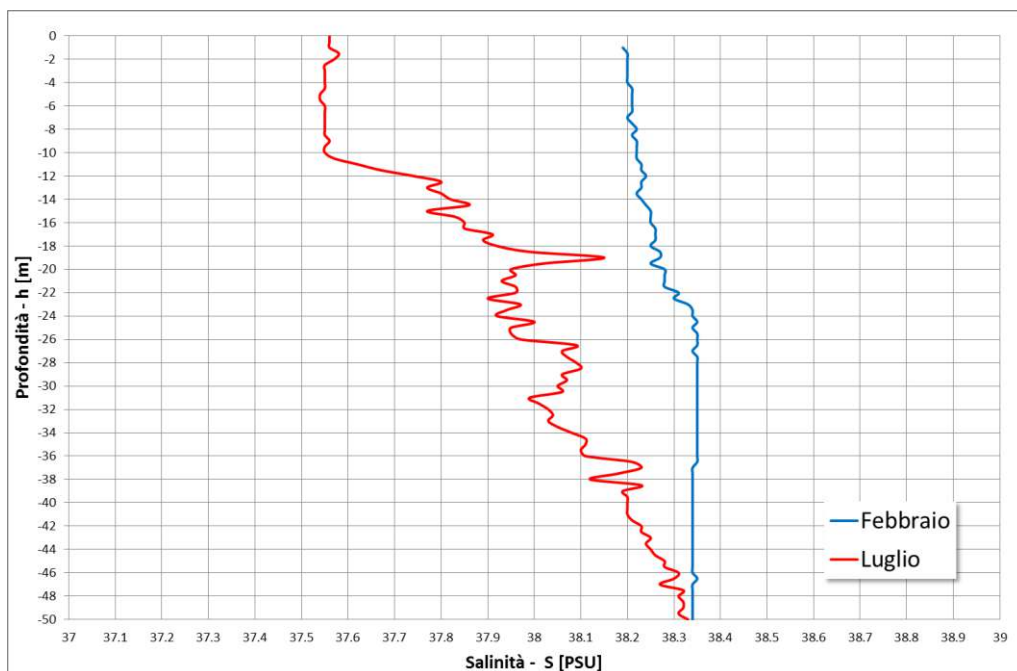


Figura 4-3 Andamento della salinità lungo la colonna d'acqua per il mese di Febbraio (scenario 1 Autunnale/Invernale) e di Luglio (scenario 2 Primavera/Estivo).



Scenario 2: condizioni meteomarine rappresentative della stagione Primavera/Estiva.

Questo scenario è stato individuato al fine di modellare il campo idrodinamico nel Mar Grande in condizioni meteomarine tipiche dei mesi Primavera/Estivi. Anche in questo caso è stato considerato un periodo reale di lunghezza 15 giorni, in modo da includere nella simulazione un ciclo completo di marea astronomica, della durata media di circa 14 giorni.

Dal punto di vista anemometrico il semestre Primavera/Estivo è caratterizzato da velocità del vento generalmente più modeste rispetto al semestre Autunnale/Invernale e direzioni frequentemente provenienti dal settore di Sud-Ovest; al fine di selezionare uno scenario quanto più possibile realistico e rappresentativo, è stato individuato un periodo con condizioni di vento registrate ben rappresentative del semestre in esame. Sulla base dell'analisi delle registrazioni disponibili, si è fatto riferimento al periodo compreso tra il 10/07/2010 ed il 25/07/2010.

Anche in questo caso per i dati di marea si è fatto riferimento alle registrazioni del mareografo di Taranto. L'andamento del livello durante il periodo di riferimento selezionato è riportato in Figura 4-4.

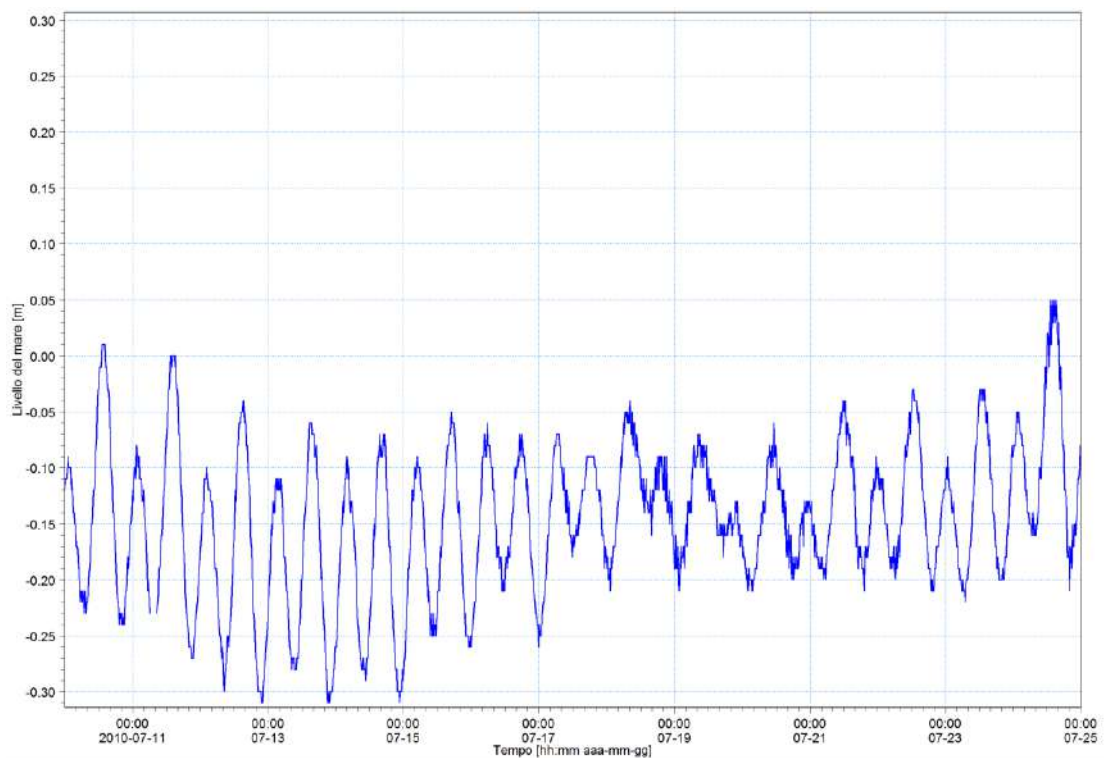


Figura 4-4 Andamento dei livelli marini alla stazione mareografica di Taranto, facente parte della Rete Mareografica Nazionale. Fonte: la serie temporale è stata estratta dal database disponibile sul sito internet www.idromare.it, stazione RMN: Taranto, periodo: 10/07/2010 – 25/07/2010.

Dal punto di vista della temperatura e della salinità, anche per questo scenario sono stati utilizzati i dati registrati alla stazione TA03 (database Si.Di.Mar) facendo riferimento in questo caso alla campagna relativa al mese di luglio (Figura 4-2, Figura 4-3). Durante il semestre Primavera/Estivo la stratificazione termica verticale è rilevante: a luglio la temperatura massima, raggiunta in superficie, è pari a 24.9°C, mentre il valore minimo, alla profondità di 50 m, è pari a 14.7°C; la



salinità è massima alla profondità di 50 m ed è pari a 38.3 PSU, mentre è minima in superficie ed è pari a 37.5 PSU.

5 **PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO 3D IDRODINAMICO**

Le condizioni idrodinamiche che si instaurano all'interno del Mar Grande sono state simulate mediante l'applicazione del modulo tridimensionale MIKE 3 HD FM del pacchetto MIKEbyDHI sviluppato da DHI (Danish Hydraulic Institute). La descrizione del modello è riportata nell'Allegato A al presente documento.

MIKE 3 è un codice di calcolo professionale per la simulazione di correnti a pelo libero in tre dimensioni utilizzabile per lo studio di correnti, trasporto di sedimenti coesivi e non, qualità delle acque ed ecologia in fiumi, laghi, estuari, baie, aree costiere e mare aperto.

La discretizzazione spaziale delle equazioni di base è eseguita attraverso un approccio ai volumi finiti, con valori centrati sul singolo elemento; il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata che garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, come quella in esame, e permette di imporre una risoluzione via via maggiore verso l'area di maggiore interesse.

La discretizzazione orizzontale può combinare elementi triangolari o quadrangolari, mentre quella verticale è basata sulla discretizzazione a layer di tipo sigma o combinati tipo sigma-zeta.

Come precedentemente illustrato, nel caso specifico il modello è stato impiegato per la simulazione dell'andamento delle correnti all'interno del Mar Grande a varie profondità sotto l'effetto del vento e della marea, in differenti condizioni di stratificazione della colonna d'acqua in termini di temperatura e salinità.

5.1 **Creazione della batimetria di calcolo**

Per la caratterizzazione batimetrica dell'area è stato utilizzato il database CM-93 di C-MAP. CM-93 è un database globale di cartografia nautica in formato digitale, creato e continuamente aggiornato dalla società Norvegese C-MAP.

Mentre i dati provenienti dalle carte nautiche sono assai utilizzati nelle zone al largo, sottocosta, alle basse profondità, è preferibile utilizzare rilievi batimetrici di maggiore dettaglio. Una rappresentazione non sufficientemente accurata della batimetria sottocosta potrebbe condurre a criticità nella modellazione delle condizioni idrodinamiche. In Figura 5-1 sono illustrati i dati batimetrici reperiti dalle carte nautiche disponibili per il sito di interesse.

Al fine di ottenere una rappresentazione più accurata della batimetria locale, è stato utilizzato il rilievo batimetrico di dettaglio del Mar Grande del Settembre 2008 e messo a disposizione da ENI, come illustrato nel capitolo 3.4. La Figura 5-2 mostra l'estensione del rilievo batimetrico di dettaglio disponibile.

Il risultato finale del processamento dei dati disponibili, consistente in una integrazione dei dati della carta nautica al largo e del rilievo batimetrico sottocosta, è illustrato in Figura 5-3, in cui è rappresentata la batimetria del modello, incluse le isobate e le indicazioni delle profondità.

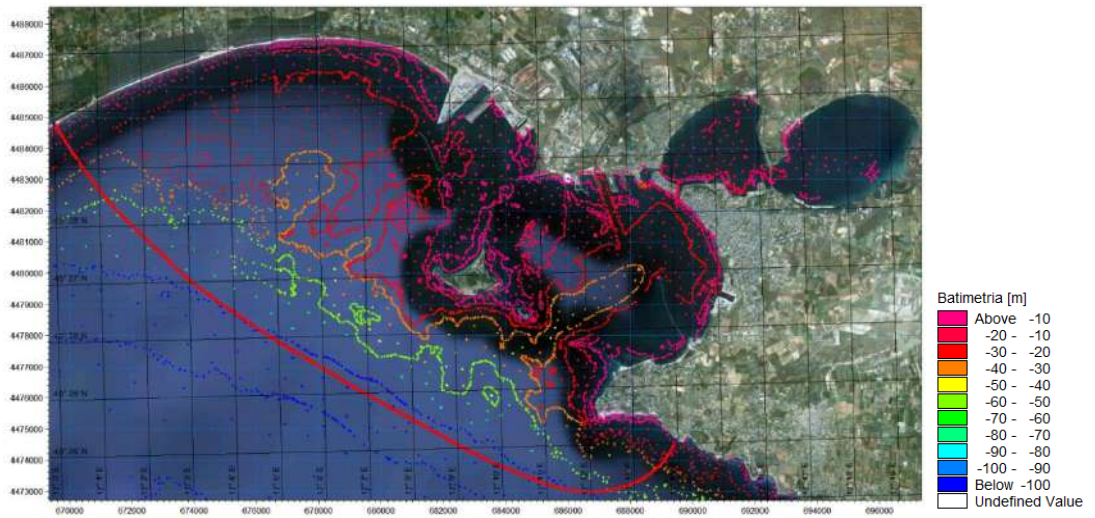


Figura 5-1 Dati batimetrici estratti dal database CM-93, disponibili nel toolbox MIKE CMAP, facente parte del pacchetto software DHI, per il sito di interesse.

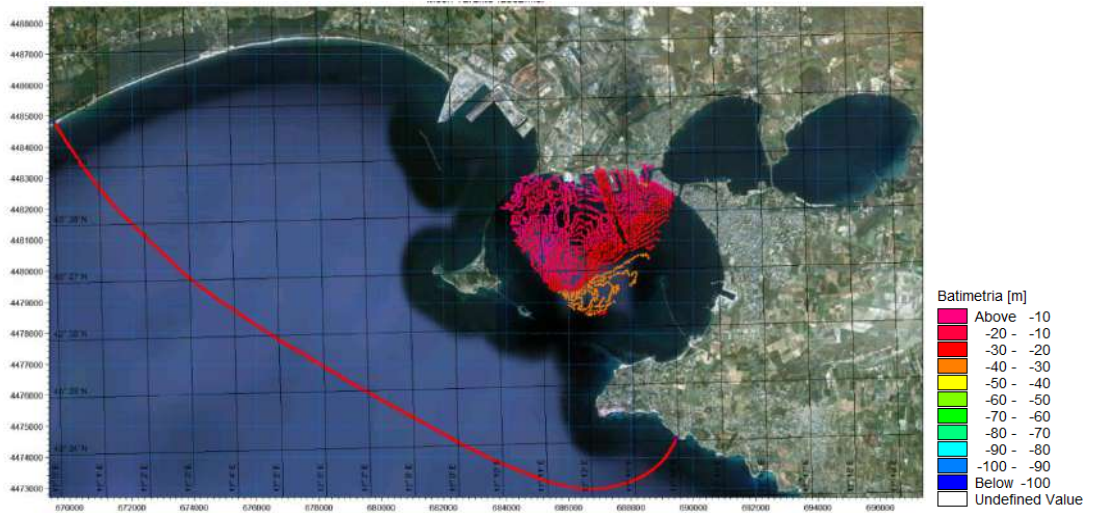


Figura 5-2 Dati batimetrici di dettaglio del Mar Grande forniti da ENI.

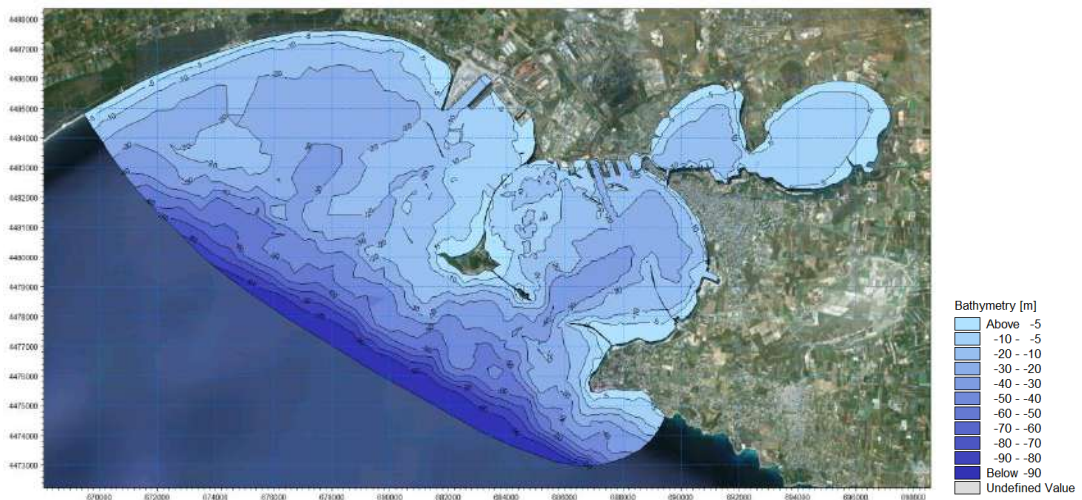


Figura 5-3 Batimetria ottenuta dal processamento dei dati disponibili.



Nel dominio di calcolo è stato considerato oltre al Mar Grande, anche il Mar Piccolo; questi due mari sono infatti tra loro connessi tramite due stretti canali: il Canale Navigabile (artificiale, profondo 12 m e largo 58), ed il Canale Porta Napoli, profondo 2.5 m e largo 150. Il Mar Piccolo è costituito da due bacini: il Primo Seno, direttamente connesso al Mar Grande e più profondo, ed il Secondo Seno, in larga parte dedicato all'acquacoltura. Al di fuori del Mar Grande, verso il largo, il dominio di calcolo è stato impostato in modo da comprendere un'area assai estesa; infatti, data la complessa morfologia costiera che caratterizza il Golfo di Taranto, si è considerato opportuno applicare le condizioni al contorno del modello sufficientemente lontano dal sito d'interesse.

Il dominio si sviluppa parallelamente a costa per una lunghezza di circa 22'000 m; il contorno offshore è curvilineo e la sua distanza massima dalla costa, in direzione perpendicolare, è di circa 10'500 m. La profondità massima considerata nel dominio di calcolo è circa 100 m.

La batimetria del modello è stata costruita utilizzando un approccio a maglia flessibile: la risoluzione spaziale (lunghezza media dei lati dei triangoli) è di circa 500 m al largo e di circa 200 m nel Mar Piccolo; gradualmente, nell'avvicinamento a costa e alla zona d'interesse interna al Mar Grande, la risoluzione è via via maggiore fino ad un massimo di circa 70 m (Figura 5-4).

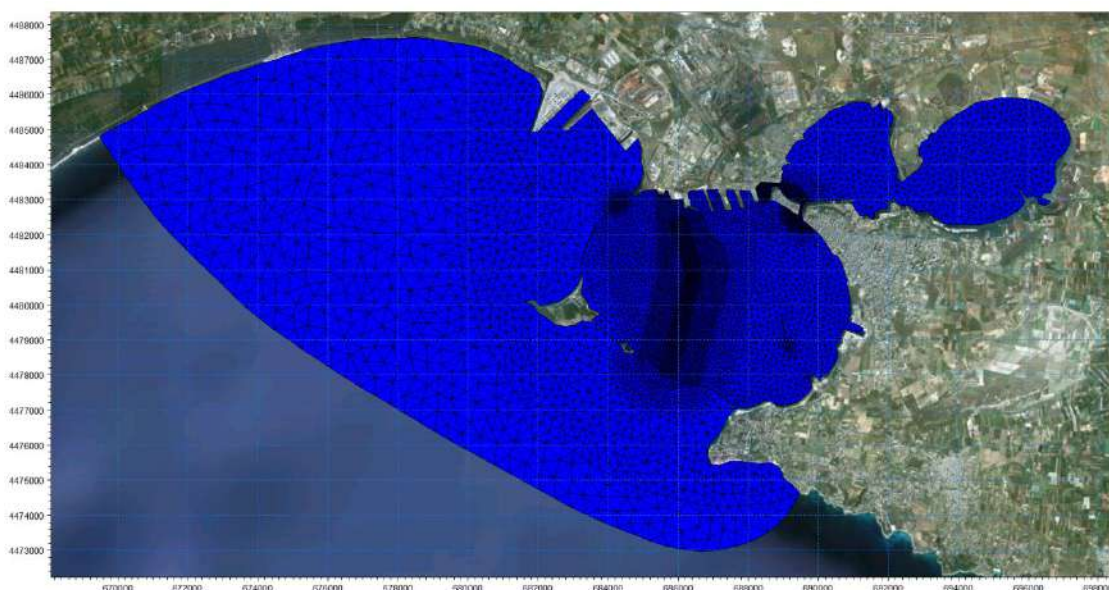


Figura 5-4 Risoluzione spaziale della mesh di calcolo.

In particolare, poiché questo studio è finalizzato a simulare l'impatto sulla dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino indotto dal traffico navale lungo le rotte previste per le navi trasportanti il greggio, il corridoio di navigazione percorso da tali navi è stato discretizzato con una maglia di maggior dettaglio. Al fine di meglio rappresentare i processi di dispersione dei sedimenti lungo la rotta delle navi, il corridoio di navigazione è stato pertanto discretizzato con una maglia quadrata di lato 28 m (Figura 5-5).

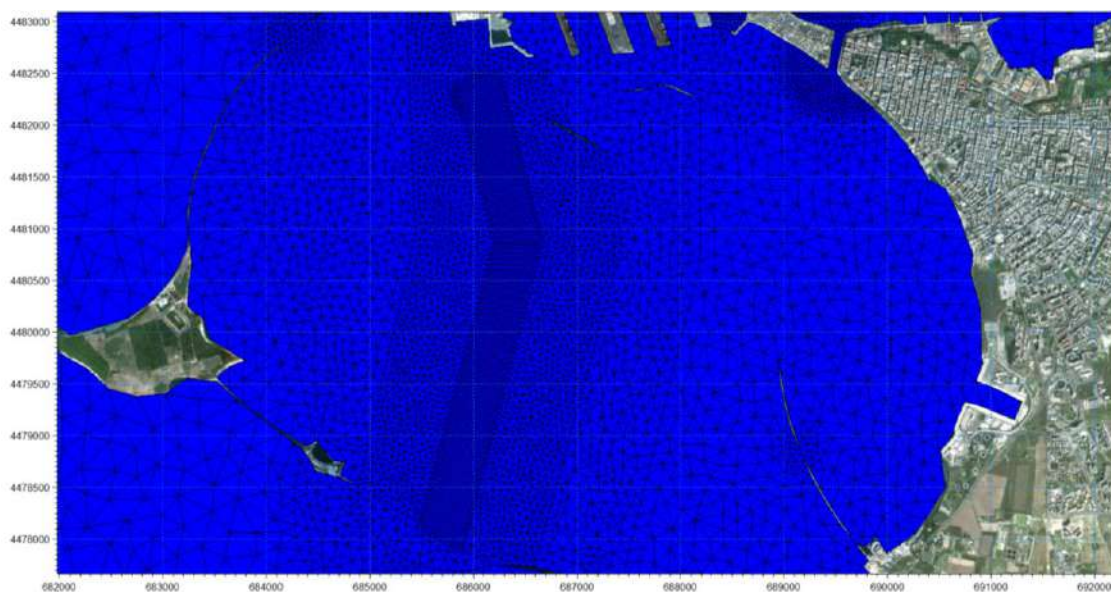


Figura 5-5 Risoluzione spaziale della mesh di calcolo - dettaglio.

La discretizzazione verticale è stata realizzata mediante la combinazione di sigma-layers e zeta-layer. In particolare la colonna d'acqua compresa tra la superficie e la profondità di 40 m è stata discretizzata mediante 8 sigma-layers, ciascuno caratterizzato da uno spessore variabile in funzione della profondità locale (per esempio, quando la profondità è pari a 16 m, lo spessore di ogni sigma-layer è pari a 2 m), mentre la parte più profonda della colonna d'acqua è stata discretizzata con un unico zeta-layer.

5.2 Risultati della modellazione 3D

Di seguito sono riportati i risultati del modello idrodinamico tridimensionale in termini di distribuzione delle velocità di corrente. In particolare, per una migliore visualizzazione dei risultati, le immagini sono riferite ad una parte del dominio di calcolo, centrata sul Mar Grande.

Le figure seguenti illustrano la distribuzione delle velocità di corrente a tre diverse profondità: in superficie, alla profondità intermedia e sul fondo. I risultati rappresentati "sul fondo" si riferiscono al sigma-layer più profondo; questo significa che le immagini sono rappresentative di quello che accade al fondo laddove la profondità è pari o inferiore a 40 m (profondità che rappresenta il limite dell'interfaccia tra sigma-layer e zeta-layer). Dove le profondità sono superiori, l'immagine è rappresentativa dell'andamento delle correnti alla profondità di interfaccia (40 m). Il campo idrodinamico a profondità intermedia rappresenta invece i risultati ottenuti per uno strato intermedio tra il sigma-layer di fondo e quello superficiale.

Le immagini si riferiscono, per ciascuno scenario, a quattro differenti momenti della simulazione quindicinale. I quattro differenti istanti temporali sono stati individuati in modo da risultare rappresentativi dell'andamento delle correnti in risposta a differenti direzioni del vento.

A seguire è riportata una descrizione dei risultati del modello idrodinamico in termini di distribuzione della velocità e della direzione della corrente alle diverse profondità per i due scenari stagionali presi in considerazione.



5.2.1 Scenario 1: semestre Autunnale/Invernale

Le immagini riportate di seguito si riferiscono agli istanti temporali elencati in Tabella 5-1. Questi istanti sono stati selezionati opportunamente in modo da risultare rappresentativi dell'andamento della corrente in condizioni di vento provenienti rispettivamente dal I (0-90°N), II (90-180°N), III (180-270°N) e IV Quadrante (270-360°N). Gli istanti temporali prescelti sono caratterizzati da intensità del vento, per ciascuna direzione di provenienza, quanto più possibile rappresentative della stagione di riferimento.

Tabella 5-1 Istanti temporali scelti per la rappresentazione dei risultati del modello idrodinamico e delle contestuali condizioni di vento in termini di velocità e direzione.

Data	Velocità vento [m/s]	Direzione [°N]
27/02/2010 18:00	4.5	12
22/02/2010 15:00	7.7	174
23/02/2010 18:00	7.3	202
21/02/2010 12:00	5.3	306

Gli istanti temporali per la rappresentazione dei risultati sono stati selezionati facendo riferimento alle condizioni anemometriche in quanto il vento gioca un ruolo fondamentale nella generazione del campo di corrente nel Mar Grande, in particolare per gli strati più superficiali. Infatti, in qualunque istante temporale, le velocità di corrente in superficie risultano maggiori rispetto a quelle negli strati profondi e presentano una direzione di propagazione fortemente correlata alla direzione di incidenza del vento. Gli strati più profondi risentono meno dell'azione del vento e l'influenza dell'oscillazione di marea risulta più significativa.

Oltre che dalla direzione ed intensità del vento e dalle condizioni di marea, l'idrodinamica che si instaura all'interno del Mar Grande è fortemente influenzata anche dalla complessa morfologia della zona, dalla presenza delle infrastrutture portuali e dalla presenza di canali dragati. La complessità del sito induce un regime di corrente assai irregolare e non è pertanto agevole definire un andamento idrodinamico caratteristico.

In generale si può affermare che in superficie la velocità media di corrente è dell'ordine degli 0.10 m/s, con zone di velocità minima pari a 0.02 m/s e aree di velocità massima pari a 0.20 m/s. Le velocità massime si verificano lungo la costa Est del bacino in corrispondenza delle bocche che collegano il Mar Grande con il Mar Piccolo, in corrispondenza delle tre barriere distaccate presenti all'interno del bacino a protezione degli sporgenti del porto industriale ed in prossimità del III Sporgente (posto immediatamente a Est del IV, illustrato in Figura 3-9), dove si hanno profondità maggiori a causa della presenza del canale dragato fino a profondità elevate (oltre i 20 m). In termini di intensità, le correnti che si instaurano nel Mar Grande risultano analoghe per tutti e quattro gli istanti temporali.

Nel caso di vento proveniente dal I Quadrante, la direzione prevalente della corrente all'interno del Mar Grande è da Nord verso Sud e si manifesta più intensa lungo i contorni del bacino e nell'area compresa tra le tre barriere, con velocità di circa 0.12 m/s. Nella zona centrale del bacino le velocità di corrente sono modeste, pari a circa 0.04 m/s (Figura 5-6).



Nel Canale Navigabile, che collega il Mar Grande con il Mar Piccolo, e lungo il tratto di costa immediatamente a Sud, si verificano velocità di corrente massime dell'ordine di 0.20 m/s.

Lo stesso andamento, ma con velocità via via più modeste, si presenta per gli strati intermedio e profondo (Figura 5-7, Figura 5-8). Nella zona centrale del bacino la corrente presenta una direzione opposta negli strati profondi rispetto allo strato superficiale, sia in virtù del fatto che la massa d'acqua che in superficie viene "spinta" dal vento verso Sud deve in qualche modo ritornare verso Nord (per continuità), sia perché alle profondità più elevate l'influenza della corrente di marea diviene più significativa.

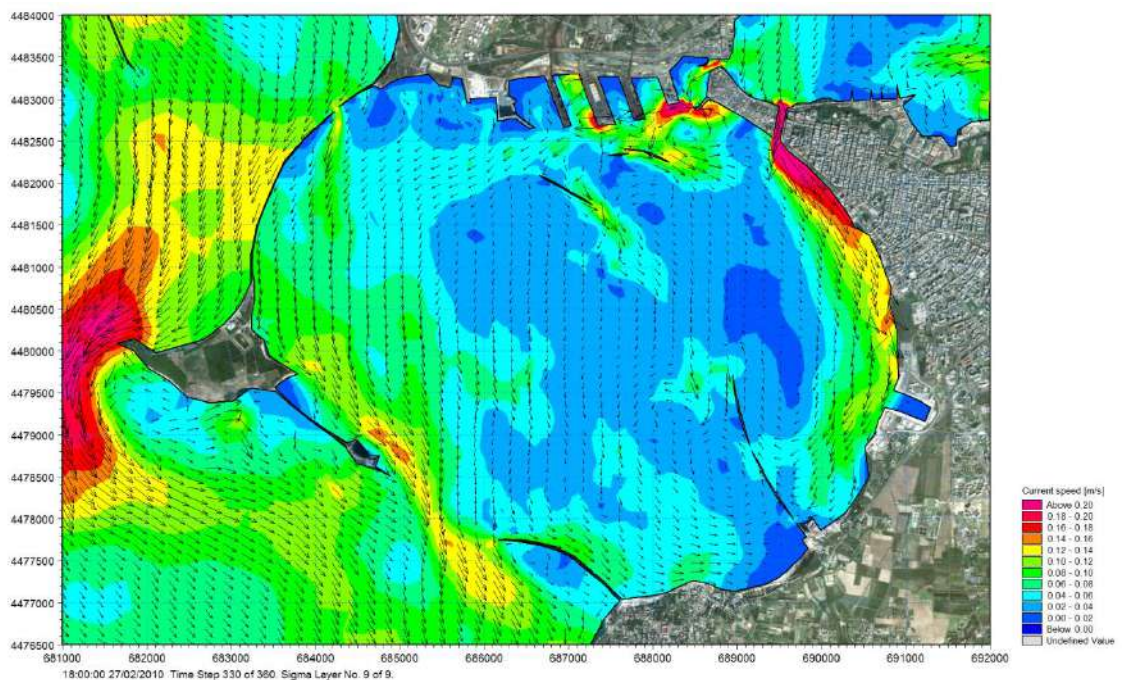


Figura 5-6 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal I Quadrante (27/02/2010, h. 18:00).

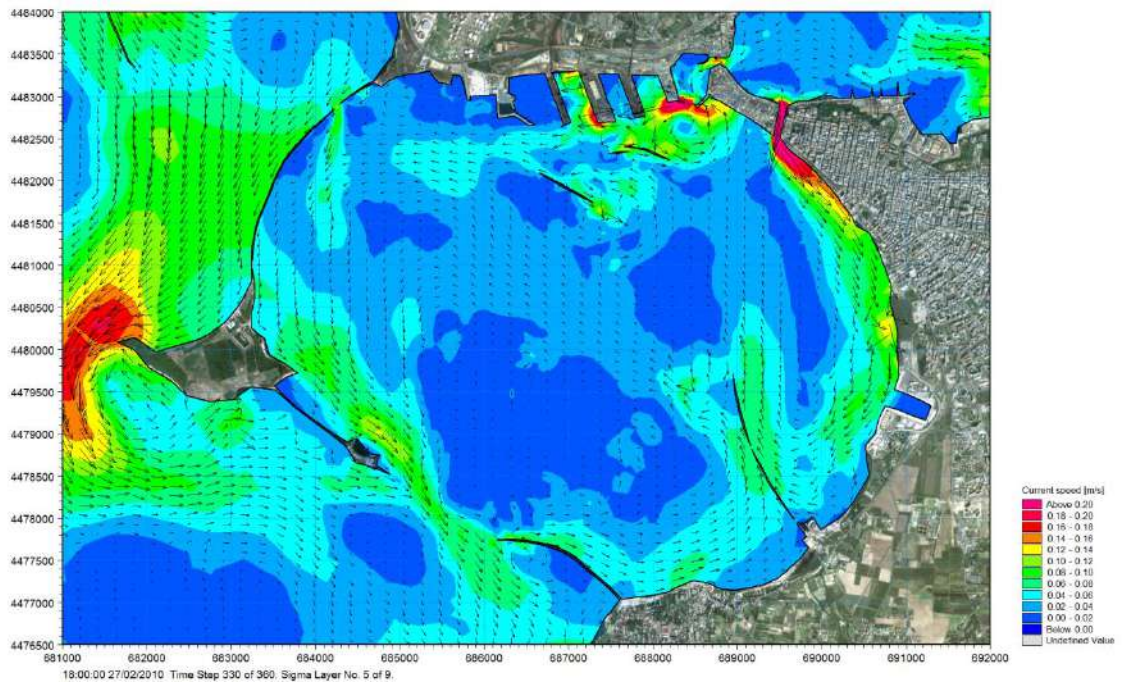


Figura 5-7 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal I Quadrante (27/02/2010, h. 18:00).

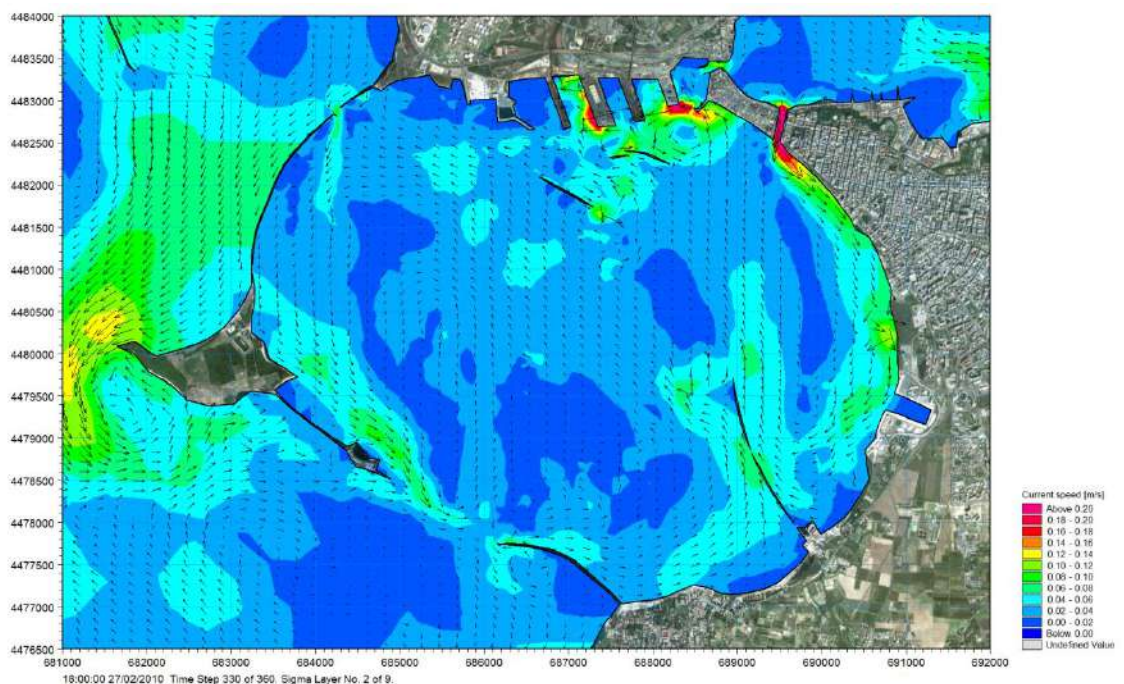


Figura 5-8 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal I Quadrante (27/02/2010, h. 18:00).

Nel caso di vento proveniente dal II Quadrante, all'interno del Mar Grande la corrente presenta una direzione prevalente da Sud verso Nord e si manifesta più intensa lungo il contorno di Ponente del bacino, con valori fino a 0.15 m/s. Velocità più elevate si verificano anche nella zona circostante la bocca Porta Napoli che collega il Mar Grande con il Mar Piccolo; qui le velocità raggiungono valori pari a circa 0.20 m/s (Figura 5-9).



Negli strati più profondi le velocità si attenuano notevolmente: a profondità intermedia si hanno velocità massime dell'ordine di 0.10 m/s lungo il contorno Ovest del bacino ed in corrispondenza delle barriere, mentre nella zona centrale le velocità sono modeste e la corrente presenta una direzione inversa (da Nord verso Sud) rispetto alla superficie (Figura 5-10).

Sul fondo le velocità sono piuttosto uniformi all'interno del bacino, mediamente inferiori a circa 0.05 m/s e con una direzione di propagazione prevalente da Nord verso Sud (Figura 5-11).

Anche in questo caso si osserva l'inversione della direzione della corrente negli strati profondi rispetto alla superficie.

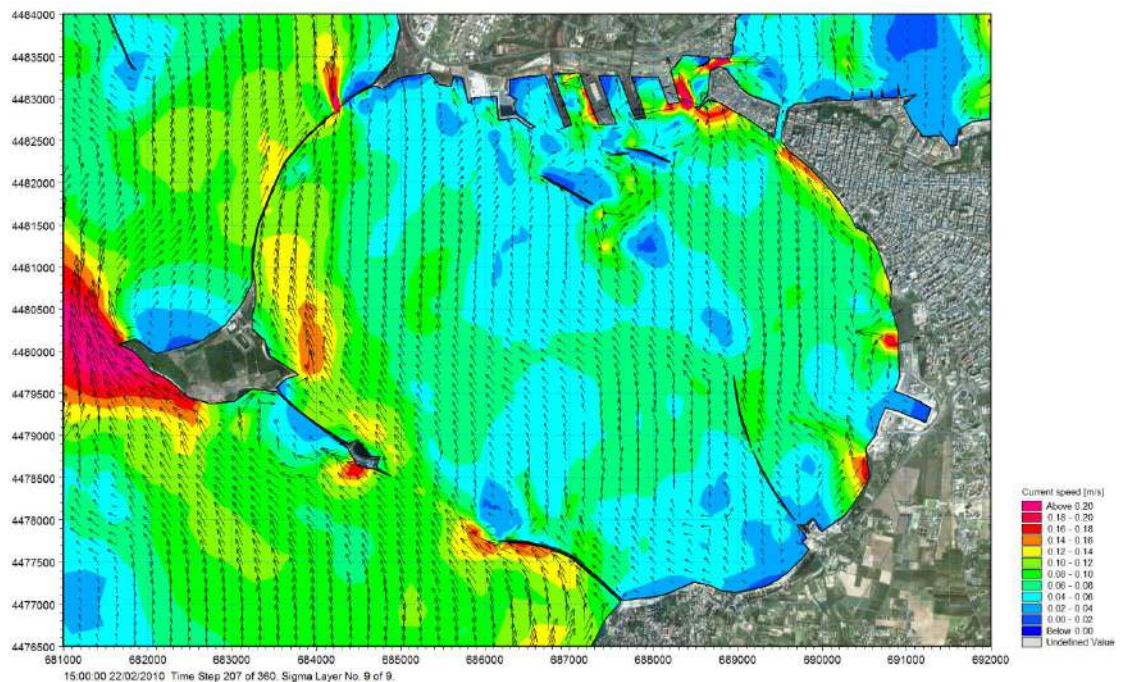


Figura 5-9 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal II Quadrante (22/02/2010, h. 15:00).

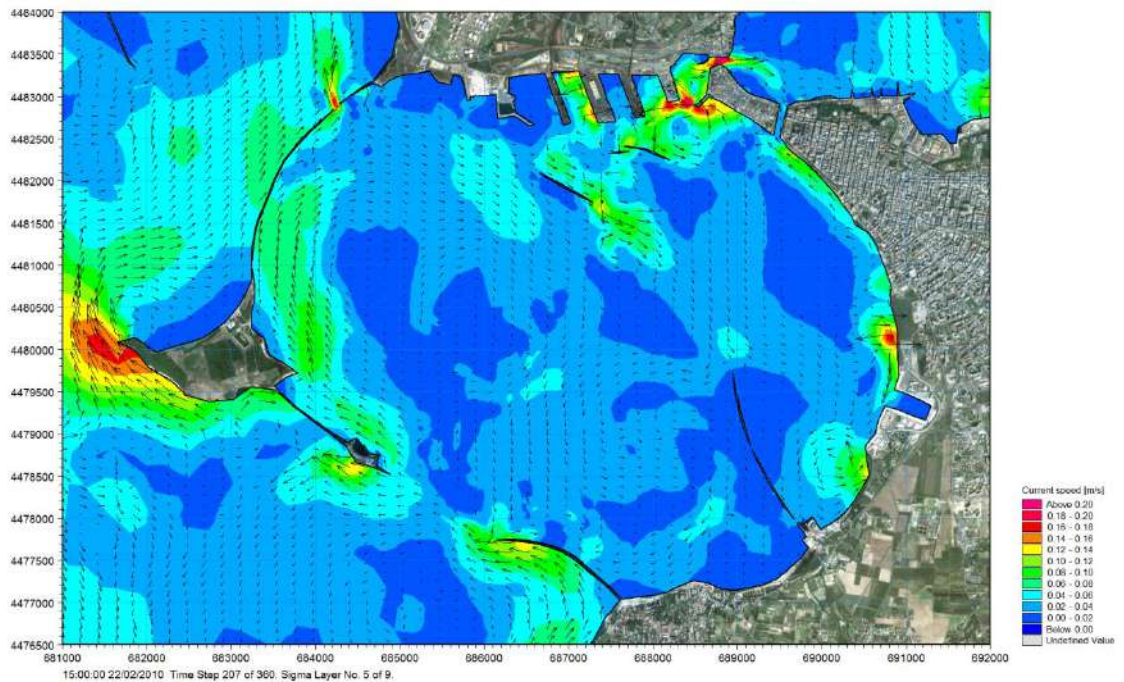


Figura 5-10 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal II Quadrante (22/02/2010, h. 15:00).

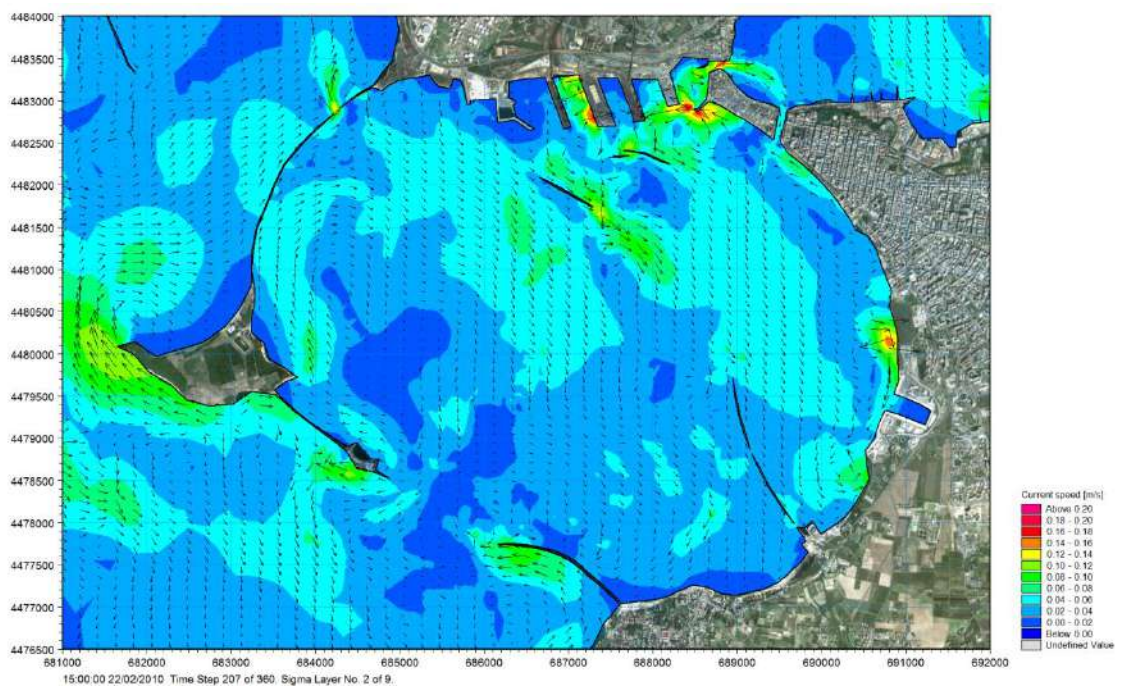


Figura 5-11 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal II Quadrante (22/02/2010, h. 15:00).

Nel caso di vento proveniente dal III Quadrante, la corrente si propaga verso Nord seguendo i contorni del bacino sia a Ponente, sia a Levante, con velocità dell'ordine di 0.10 m/s. Questi due flussi confluiscono in corrispondenza delle tre barriere dando origine, tra la barriera più prossima a costa e le banchine portuali, ad un vortice ciclonico caratterizzato da velocità di circa 0.12 m/s in superficie (Figura 5-12). Il vortice persiste lungo la verticale a tutte le quote, con un'attenuazione



delle intensità di corrente assai più modesta rispetto ai precedenti casi, tanto che sul fondo le velocità presentano ancora valori dell'ordine di 0.10 m/s (Figura 5-14).

Nella zona centrale del bacino le correnti risultano meno intense e negli strati più profondi si osserva nuovamente un'inversione della direzione di flusso rispetto allo strato superficiale.

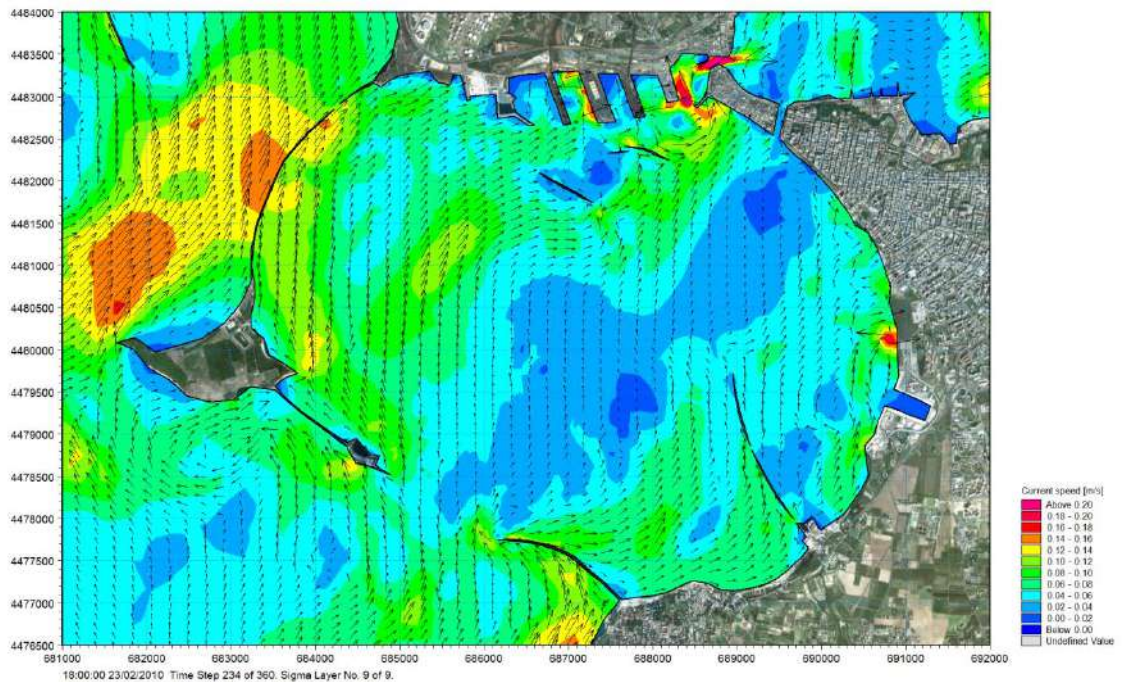


Figura 5-12 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal III Quadrante (23/02/2010, h. 18:00).

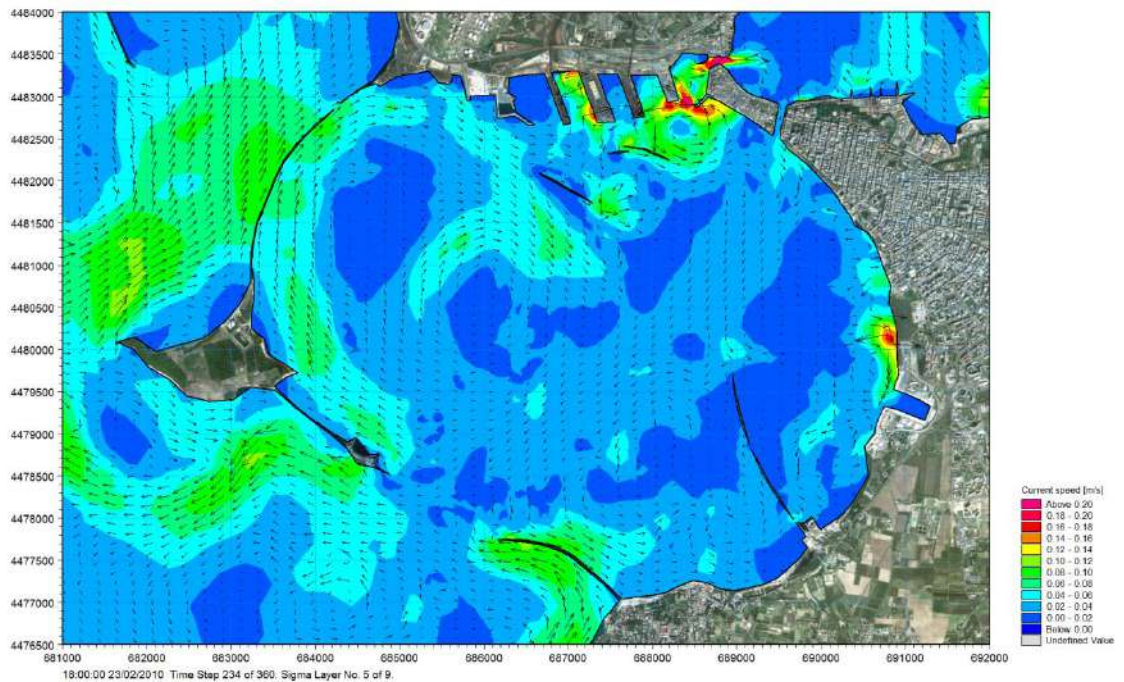


Figura 5-13 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal III Quadrante (23/02/2010, h. 18:00).

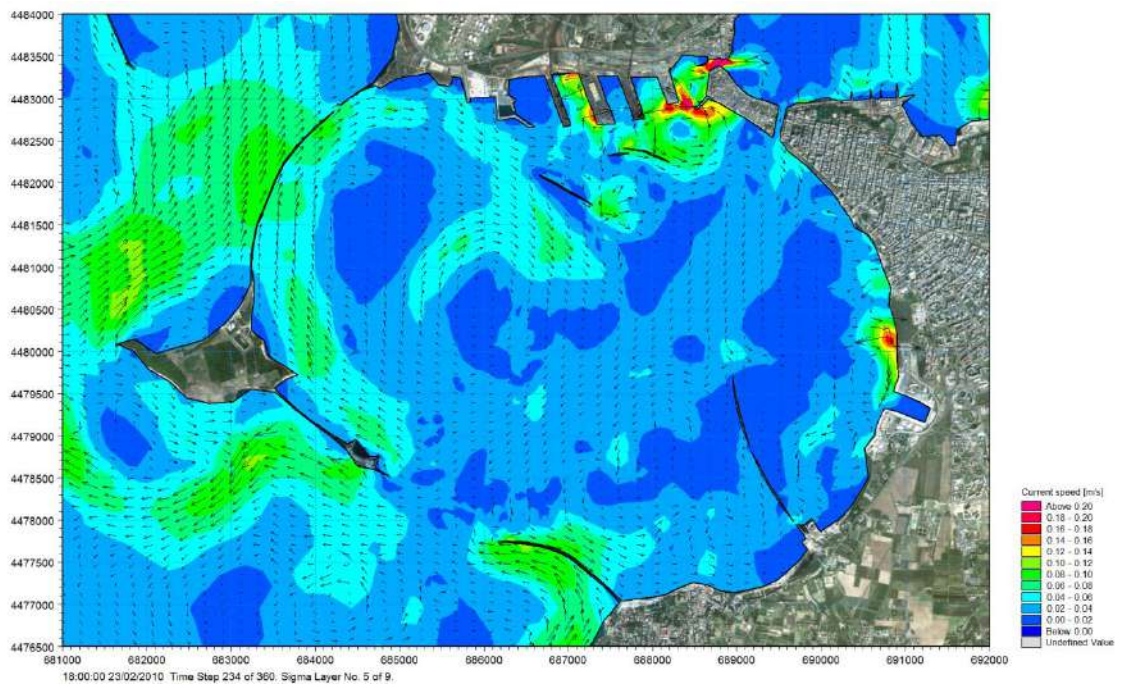


Figura 5-14 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal III Quadrante (23/02/2010, h. 18:00).

L'azione del vento proveniente dal IV Quadrante genera un campo idrodinamico decisamente irregolare con la formazione di due flussi principali: il primo si propaga tra le barriere interne e le banchine portuali, lambisce con velocità più elevate (circa 0.16 m/s) il contorno di Levante del bacino fino a generare un vortice



anticiclonico; il secondo lambisce la barriera interna più lontana dalle banchine portuali fino a creare un vortice ciclonico tra il molo Est dell'imboccatura del Mar Grande ed il molo che da Praia a Mare si estende verso il centro del Mar Grande. Per entrambi i flussi le velocità in superficie sono dell'ordine degli 0.12 m/s (Figura 5-15) e si riducono a valori generalmente inferiori a 0.10 m/s sul fondo (Figura 5-17).

Nella restante parte del bacino la distribuzione delle correnti si presenta fortemente irregolare con la formazione di piccoli vortici locali.

In generale le velocità si attenuano notevolmente passando dallo strato superficiale a quello più profondo.

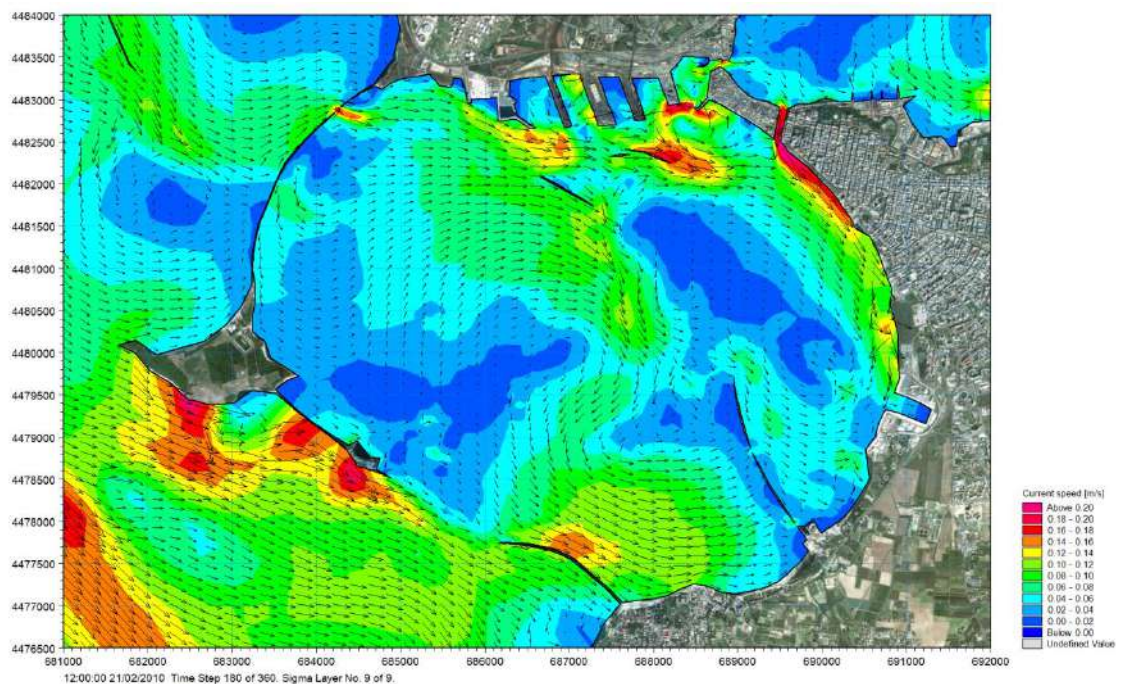


Figura 5-15 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal IV Quadrante (21/02/2010, h. 12:00).

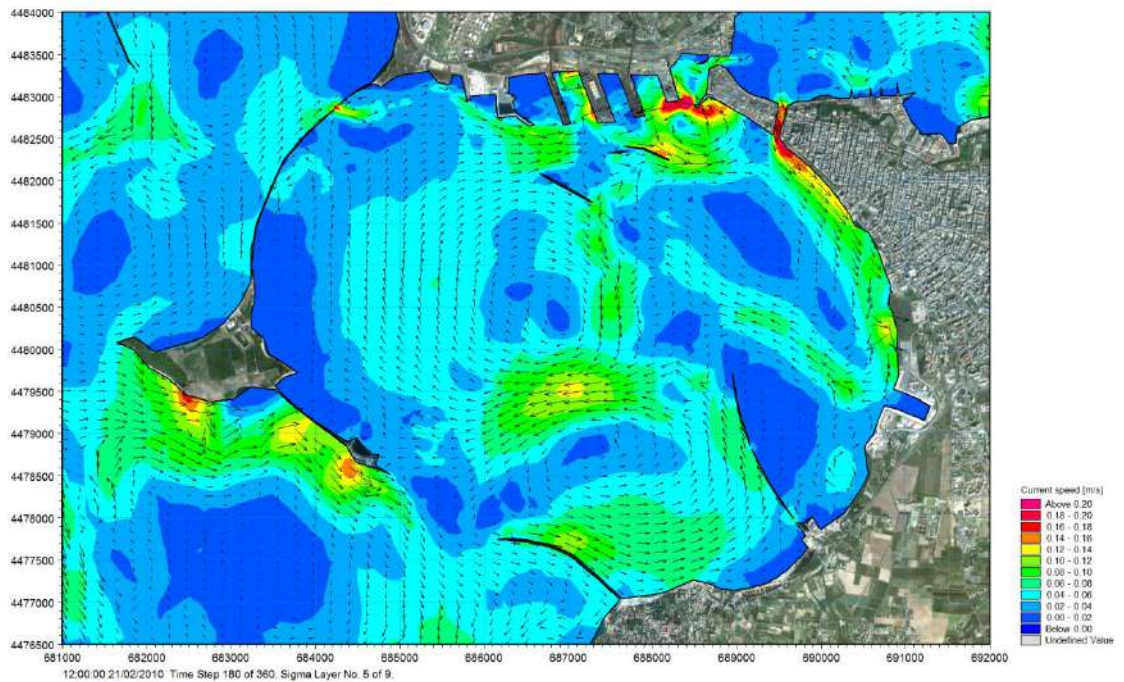


Figura 5-16 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal IV Quadrante (21/02/2010, h. 12:00).

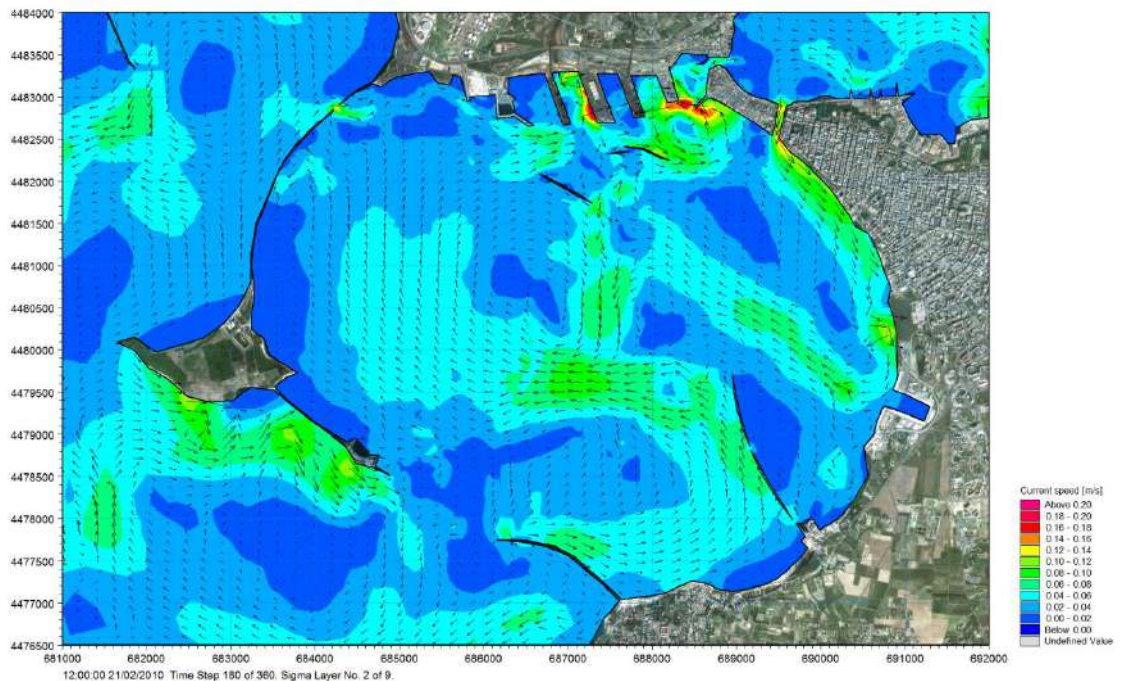


Figura 5-17 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Autunnale/Invernale e vento proveniente dal IV Quadrante (21/02/2010, h. 12:00).

5.2.1 Scenario 2: semestre Primavera/Estivo

Le immagini riportate di seguito si riferiscono agli istanti temporali elencati in Tabella 5-2. Come per lo scenario 1, questi istanti sono stati selezionati



opportunamente in modo da risultare rappresentativi dell'andamento della corrente in condizioni di vento provenienti rispettivamente dal I (0-90°N), II (90-180°N), III (180-270°N) e IV Quadrante (270-360°N). Gli istanti temporali prescelti sono caratterizzati da intensità del vento, per ciascuna direzione di provenienza, quanto più possibile rappresentative della stagione di riferimento.

Tabella 5-2 Istanti temporali di rappresentazione dei risultati dei campi idrodinamici e delle relative caratteristiche di vento.

Data	Velocità vento [m/s]	Direzione [°N]
15/07/2010 17:00	4.7	39
20/07/2010 13:00	4.2	114
22/07/2010 13:00	5.2	235
18/07/2010 17:00	5.8	355

Anche per questo scenario, le distribuzioni delle velocità di corrente ottenute risultano piuttosto irregolari. In generale si può affermare che in superficie la velocità media di corrente è dell'ordine degli 0.10 m/s; velocità più ridotte, dell'ordine di 0.04 m/s, si riscontrano nel caso di vento proveniente dal I Quadrante. Come per lo scenario 1, le velocità massime, pari a circa 0.20 m/s, si verificano lungo il tratto di costa compreso tra le due bocche che collegano il Mar Grande con il Mar Piccolo e nel tratto immediatamente a Sud Ovest, in corrispondenza delle tre barriere presenti all'interno del bacino e lungo la banchina portuale, dove si hanno profondità maggiori a causa della presenza del canale dragato.

Nel caso di vento proveniente dal I Quadrante, la corrente generata in superficie presenta in generale velocità molto basse, dell'ordine di 0.04 m/s, e direzione di propagazione concorde con quella del vento. Si osserva che nella zona Nord-Orientale del Mar Grande le velocità sono più intense: tra le barriere localizzate di fronte agli sporgenti portuali si creano piccoli vortici con velocità di circa 0.08 m/s, mentre tra la costa Est ed il molo che da Praia a Mare si estende verso il centro del Mar Grande si genera un ampio vortice ciclonico caratterizzato da velocità dell'ordine 0.10 m/s (Figura 5-18).

Negli strati intermedio e profondo (Figura 5-19 e Figura 5-20) le velocità diminuiscono ulteriormente ed in generale la direzione di propagazione è inversa rispetto a quella allo strato superficiale. Fa eccezione la zona Nord-Orientale del bacino: in quest'area i vortici presenti tra le barriere localizzate di fronte agli sporgenti portuali si mantengono, anche se più attenuati, ed il flusso lungo costa presenta la stessa direzione di propagazione dello strato superficiale; le velocità sono dell'ordine di 0.10 m/s nello strato intermedio (Figura 5-19) e generalmente inferiori 0.05 m/s nello strato profondo (Figura 5-20).

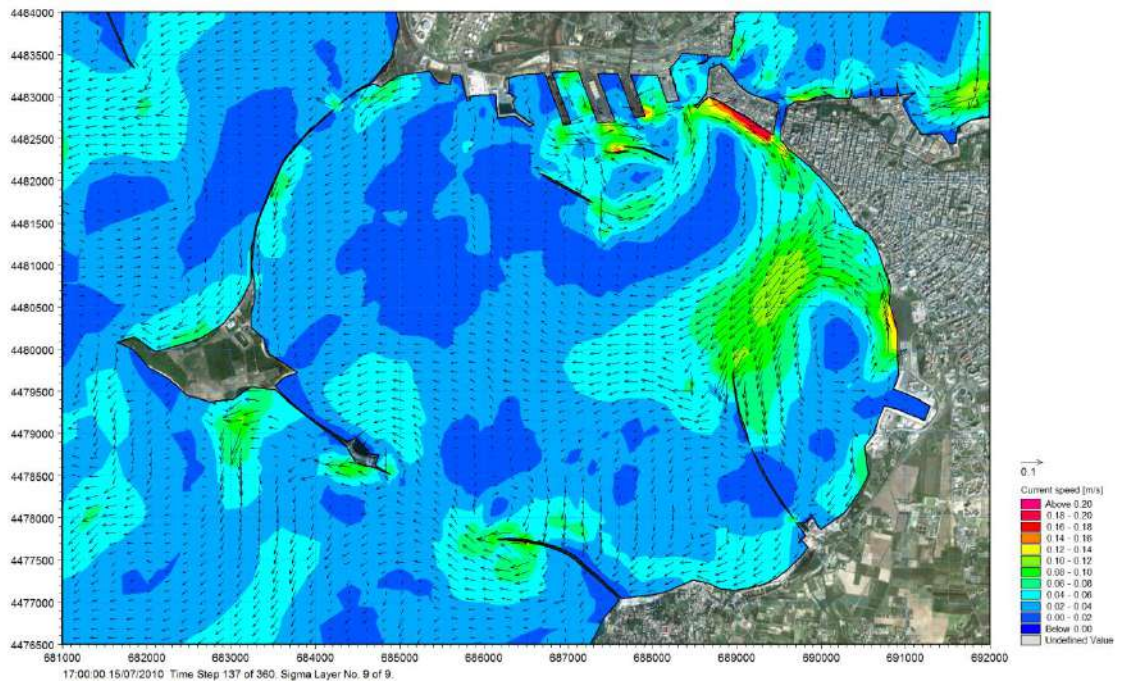


Figura 5-18 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal I Quadrante (15/07/2010, h. 17:00).

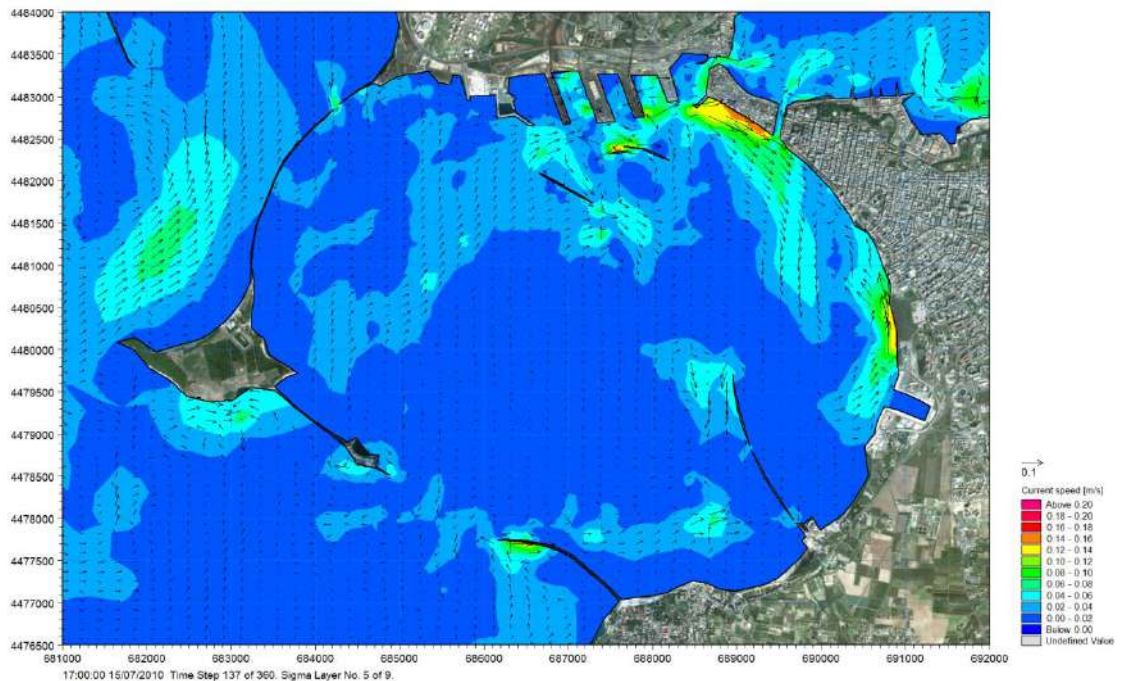


Figura 5-19 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal I Quadrante (15/07/2010, h. 17:00).

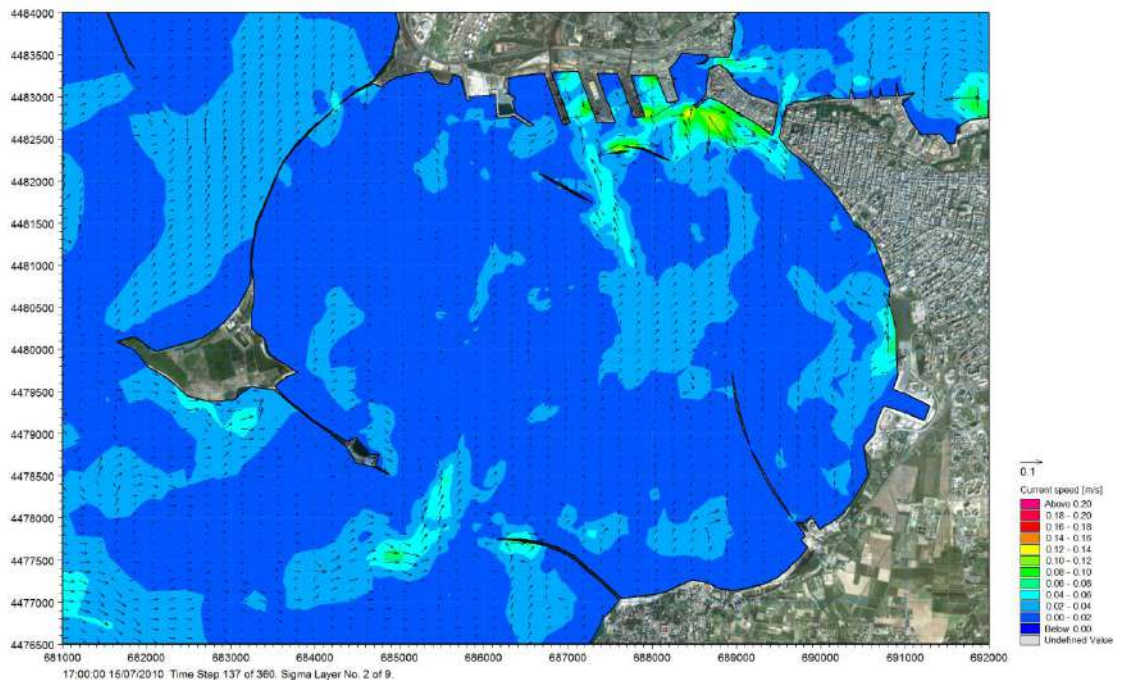


Figura 5-20 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal I Quadrante (15/07/2010, h. 17:00).

Nella condizione di vento proveniente dal II Quadrante, la corrente presenta una direzione prevalente da Sud verso Nord e si manifesta in generale più intensa nella zona di Ponente del Mar Grande. Le velocità massime (0.20 m/s) vengono però raggiunte localmente lungo il contorno Est del bacino; la corrente è inoltre particolarmente intensa in prossimità delle barriere interne, con velocità dell'ordine di 0.10 m/s (Figura 5-21).

Negli strati intermedio e profondo le velocità si attenuano notevolmente: a profondità intermedia si hanno velocità di circa 0.04 m/s (Figura 5-21), mentre sul fondo le velocità sono mediamente pari a circa 0.02 m/s (Figura 5-22). Si osserva che in questi strati più profondi si verifica un'inversione della direzione di flusso idrodinamico rispetto allo strato superficiale. Fa eccezione la fascia sottocosta a Est del bacino dove, nello strato intermedio, le velocità risultano più intense che altrove (circa 0.07 m/s) e mantengono la stessa direzione di propagazione dello strato superficiale.

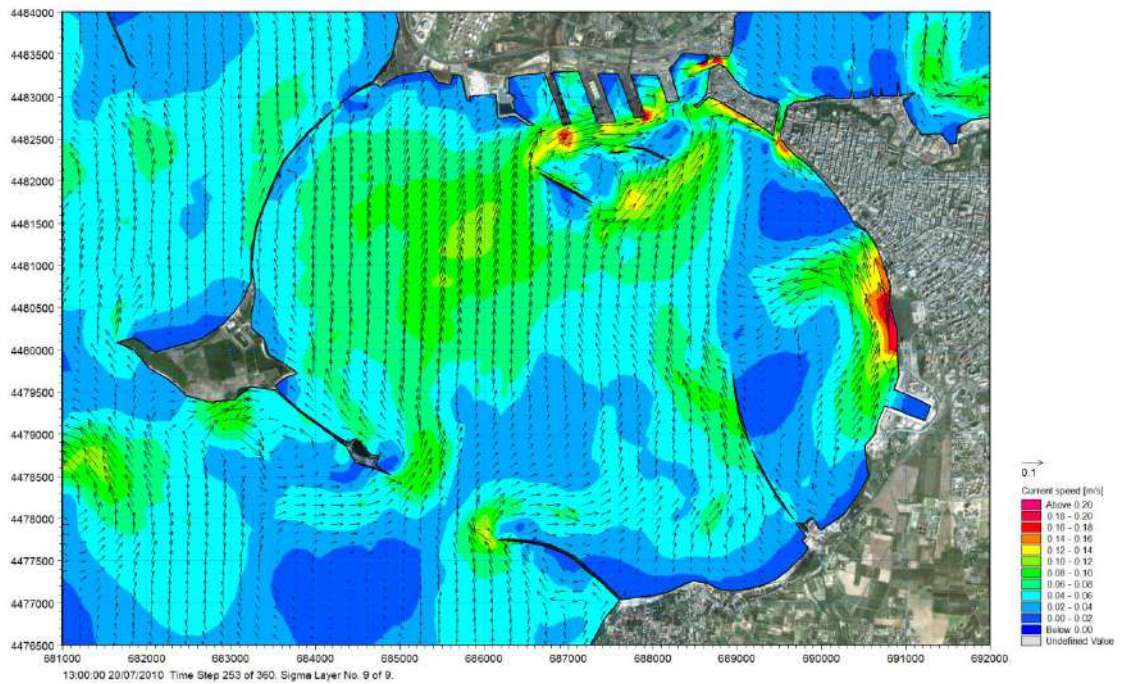


Figura 5-21 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal II Quadrante (20/07/2010, h. 13:00).

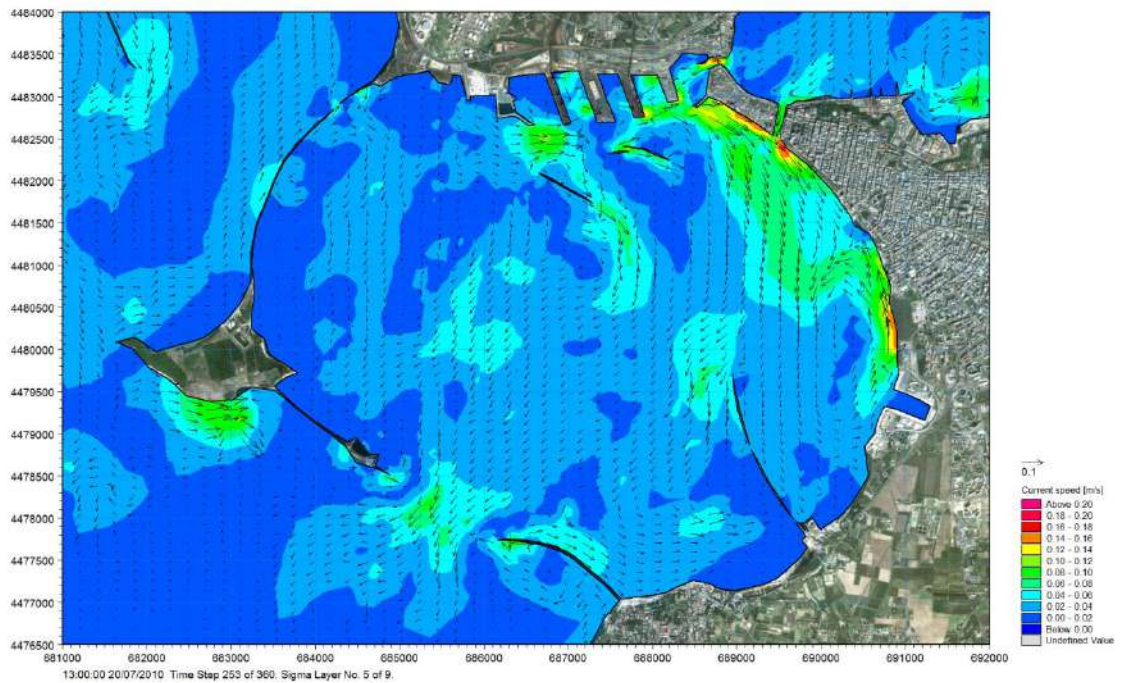


Figura 5-22 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal II Quadrante (20/07/2010, h. 13:00).

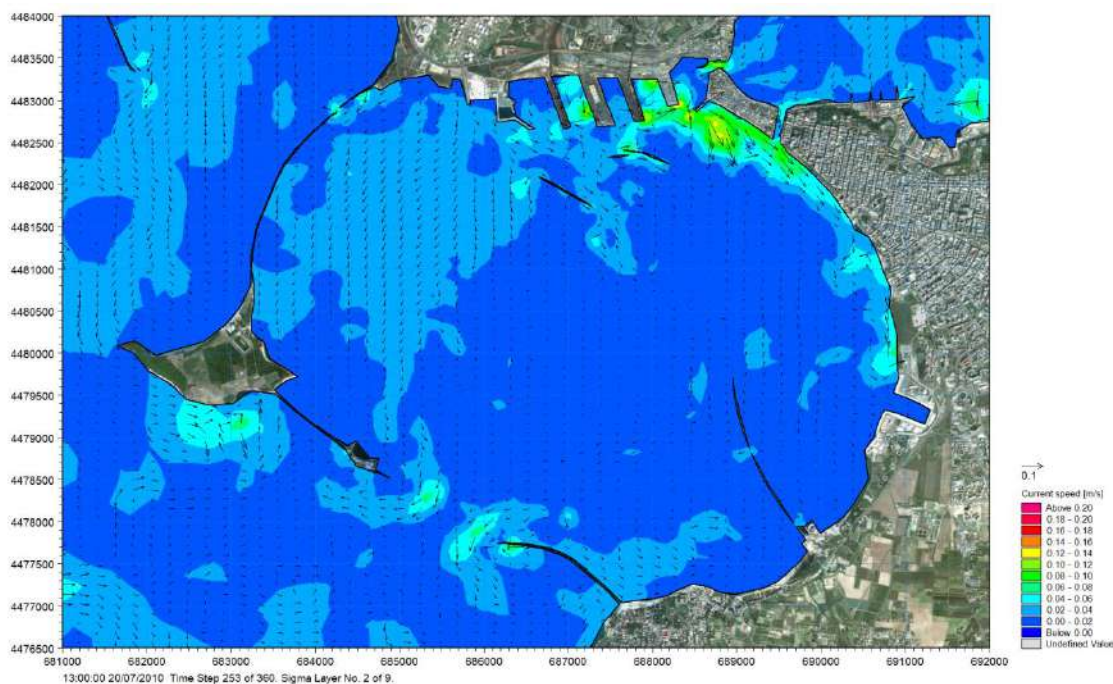


Figura 5-23 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal II Quadrante (20/07/2010, h. 13:00).

Nel caso di vento proveniente dal III Quadrante, la distribuzione delle correnti superficiali è analoga a quella descritta per lo scenario 1: la corrente si propaga in direzione Nord-Est seguendo i contorni del bacino, sia a Ponente, sia a Levante, con velocità dell'ordine di 0.10 m/s. Lungo il corridoio in corrispondenza dell'imboccatura principale del Mar Grande le velocità sono molto basse, dell'ordine di 0.02 m/s (Figura 5-24). Nell'area compresa tra il molo che da Praia a Mare si estende verso il centro del Mar Grande e la costa Est del bacino si genera un vortice ciclonico caratterizzato da velocità di circa 0.10 m/s in superficie.

Tale vortice si attenua considerando gli strati più profondi: sul fondo le velocità sono generalmente inferiori a 0.05 m/s (Figura 5-26).

Negli strati più profondi le correnti risultano di debole intensità, mediamente inferiori a 0.03 m/s, e si osserva la classica inversione della direzione di flusso idrodinamico rispetto allo strato superficiale (Figura 5-25 e Figura 5-26).

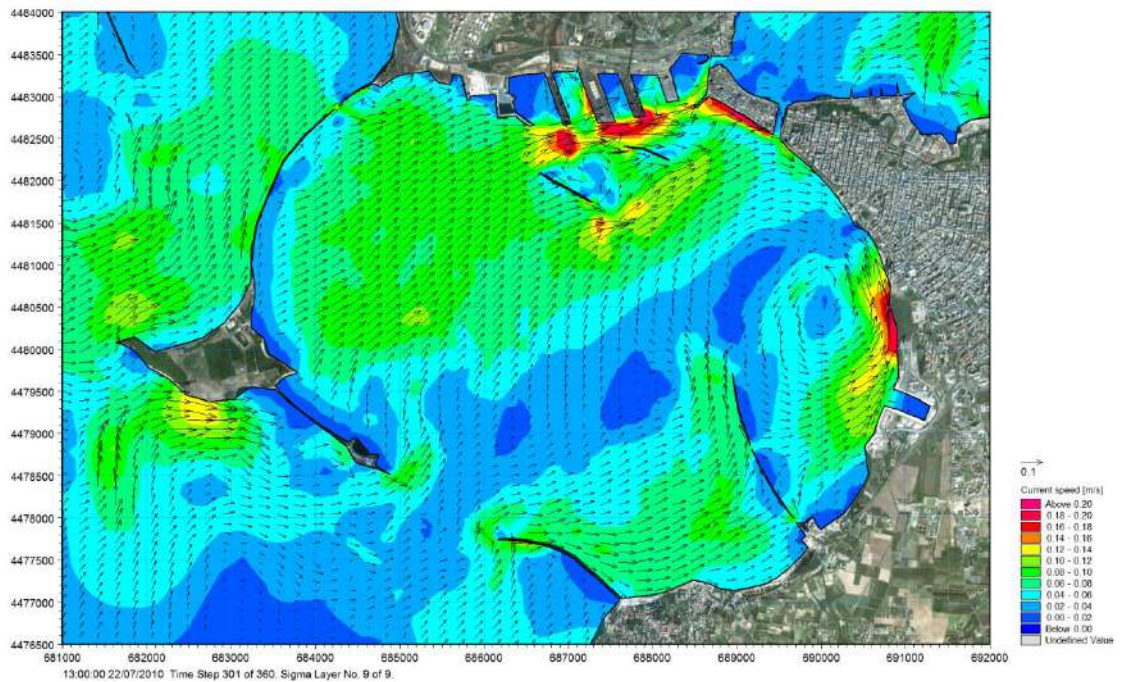


Figura 5-24 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal III Quadrante (22/07/2010, h. 13:00).

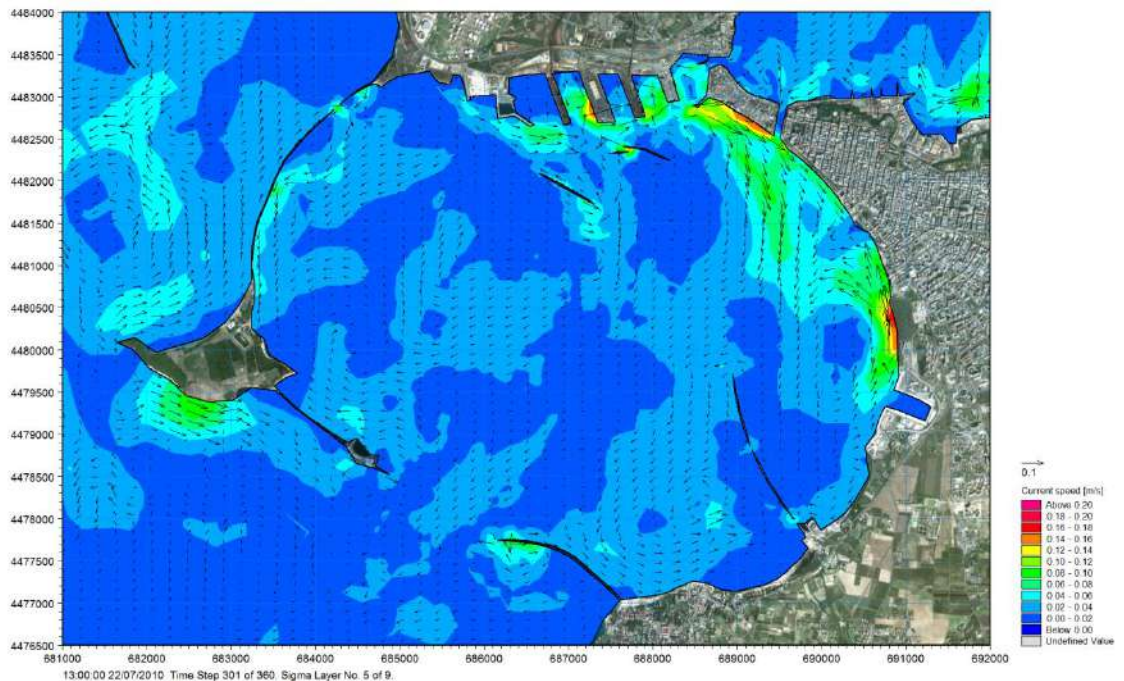


Figura 5-25 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal III Quadrante (22/07/2010, h. 13:00).

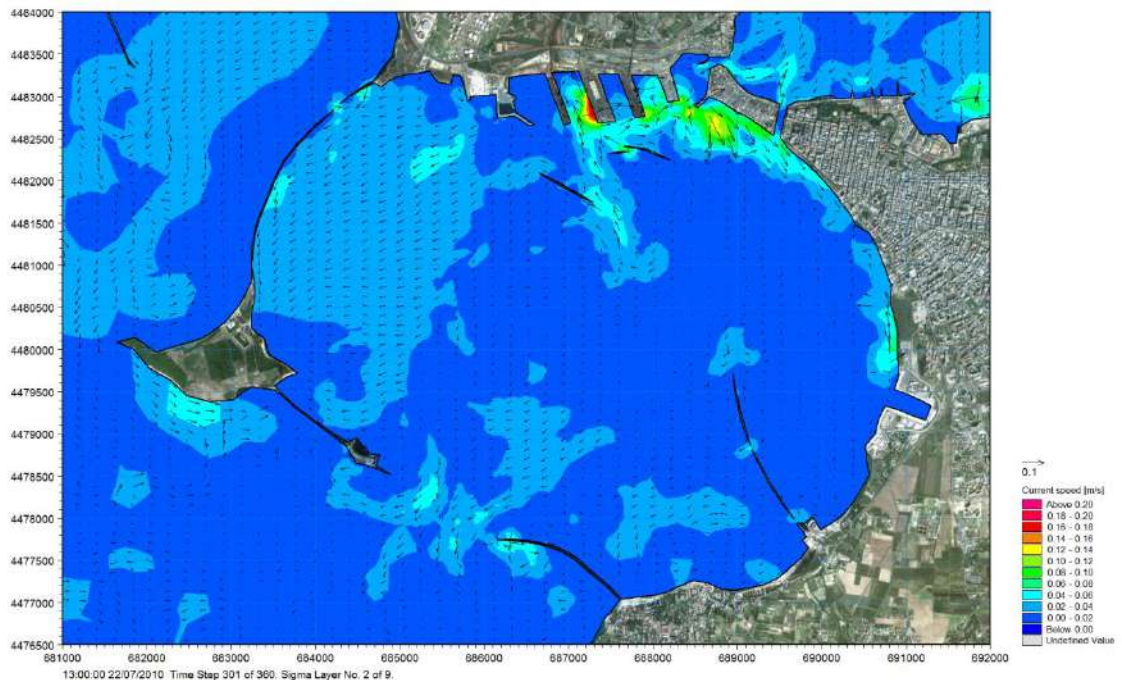


Figura 5-26 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal III Quadrante (22/07/2010, h. 13:00).

I risultati ottenuti per la condizione di vento proveniente dal IV Quadrante mostrano un campo idrodinamico superficiale caratterizzato da una direzione prevalente della corrente concorde con la direzione del vento, ossia da Nord-Ovest a Sud-Est, e velocità medie pari a 0.08 m/s (Figura 5-27).

Le velocità di corrente maggiori si verificano lungo il tratto di costa a Est e ad Ovest del Canale Navigabile che collega il Mar Grande col Mar Piccolo: qui le velocità sono dell'ordine di 0.20 m/s in superficie, 0.10 m/s nello strato intermedio e 0.08 m/s al fondo.

Un flusso di corrente intenso si ha tra le barriere, caratterizzato da velocità dell'ordine di 0.10 m/s; tale flusso si propaga lungo la costa Est del bacino fino a formare un vortice ciclonico nella zona compresa tra il molo che da Praia a Mare si estende verso il centro del Mar Grande e la costa Est del bacino.

Negli strati più profondi le velocità si attenuano notevolmente e assumono valori mediamente inferiori a circa 0.03 m/s (Figura 5-28 e Figura 5-29). Si osserva che a profondità maggiori si verifica un'inversione della direzione di flusso idrodinamico rispetto allo strato superficiale.

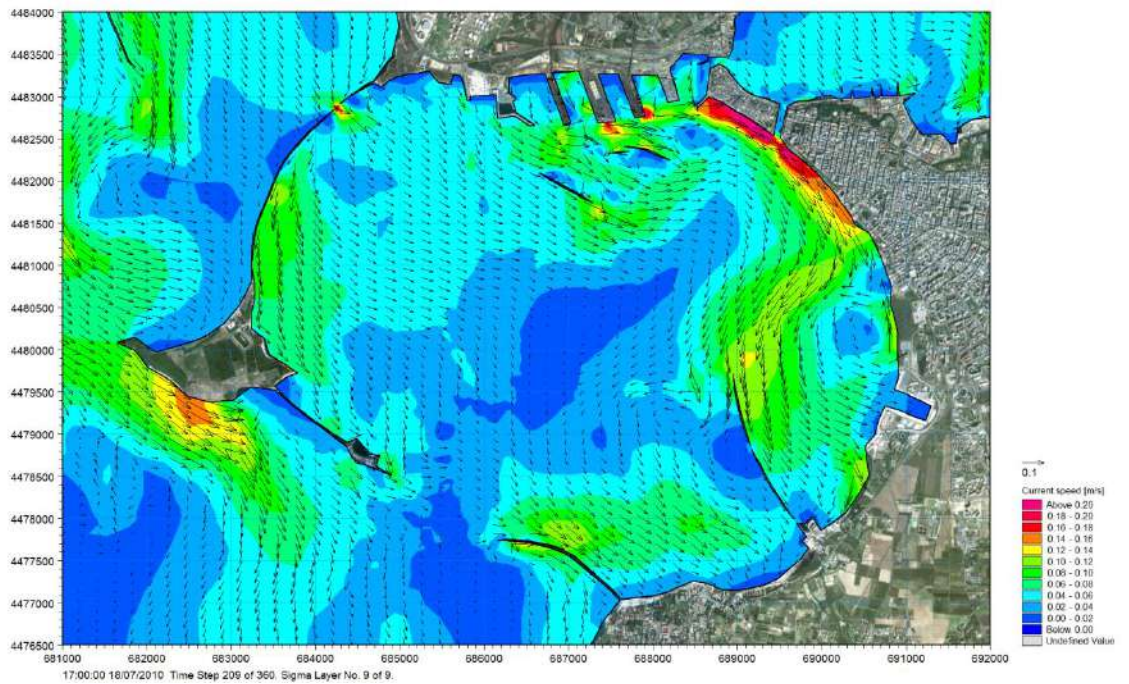


Figura 5-27 Distribuzione delle correnti in superficie all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal IV Quadrante (18/07/2010, h. 17:00).

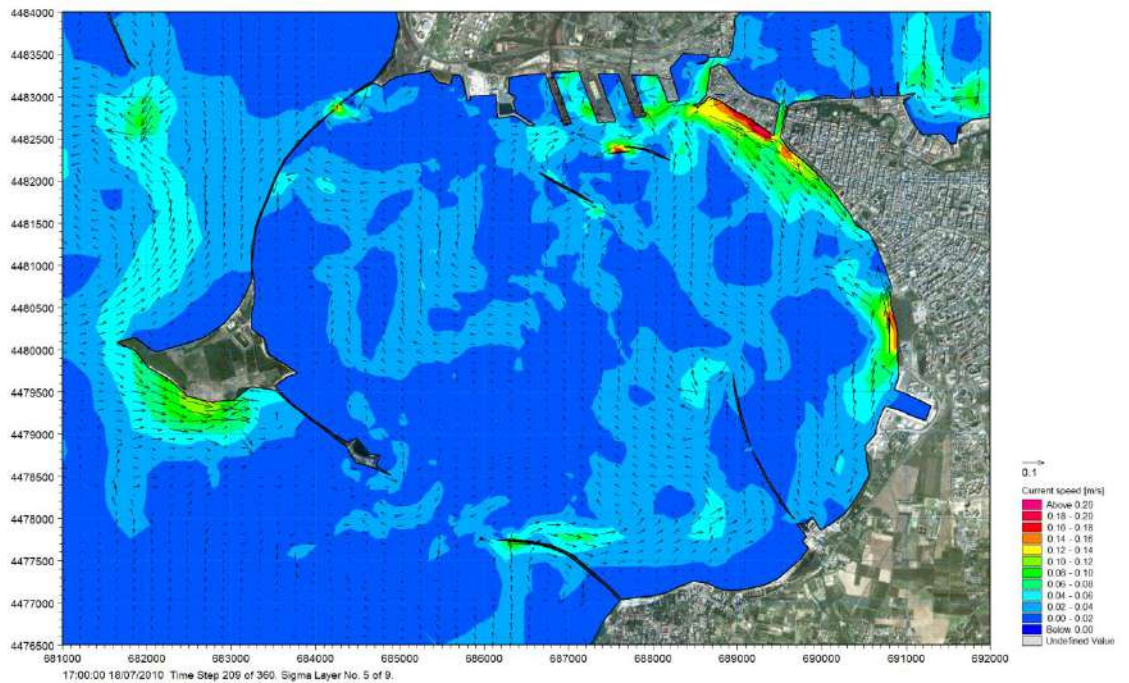


Figura 5-28 Distribuzione delle correnti alla profondità intermedia all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal IV Quadrante (18/07/2010, h. 17:00).

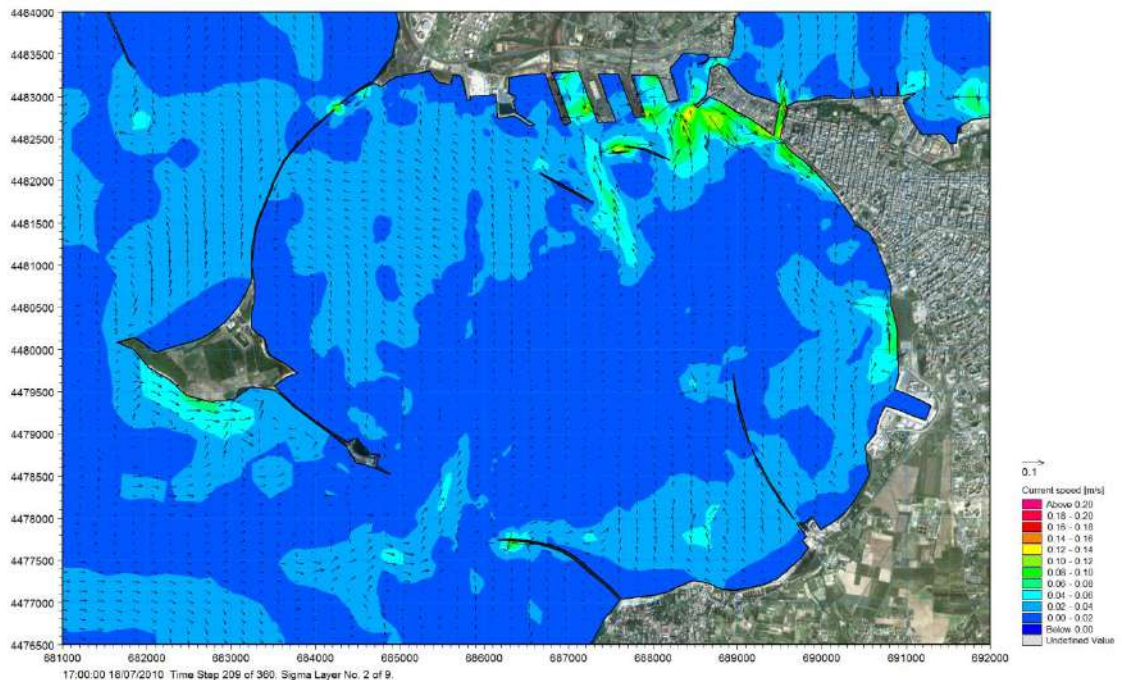


Figura 5-29 Distribuzione delle correnti sul fondo all'interno del Mar Grande per le condizioni rappresentative del periodo Primavera/Estivo e vento proveniente dal IV Quadrante (18/07/2010, h. 17:00).

6 APPROCCIO METODOLOGICO PER LO STUDIO DELLE VELOCITA' DI CORRENTE INDOTTE DAL PASSAGGIO DELLE NAVI

Obiettivo dell'attività è la stima del potenziale impatto indotto dall'incremento previsto del traffico navale a servizio del pontile ENI nella sua configurazione futura, in termini di quantificazione del sedimento messo in sospensione dal passaggio delle navi.

L'attività ha previsto due distinte fasi di lavoro, che possono essere così sintetizzate:

1. Analisi del traffico navale attuale in avvicinamento e uscita dal pontile ENI, sia in termini di frequenze di passaggio (sezione 6.1), sia in termini di dimensioni delle navi (sezione 6.2). Il traffico navale è stato suddiviso in tre categorie dimensionali (piccola, media, grande), facendo riferimento al DWT (Dead Weight Tonnage) delle navi. Un'ulteriore categoria dimensionale di nave è stata introdotta per simulare gli effetti derivanti dal passaggio delle navi più grandi tra quelle previste a servizio del trasporto del greggio Tempa Rossa;
2. Lungo le rotte (corridoi) previsti per le navi trasportanti il greggio sia in avvicinamento sia in uscita dal pontile ENI, per le quattro categorie dimensionali prese a riferimento per le navi, al variare della profondità del fondale e della velocità di passaggio, sono state simulate le distribuzioni delle velocità di corrente generate dal passaggio delle navi stesse mediante l'applicazione del modello numerico SHIPFLOW (sezioni 6.3 e 6.4). Gli approfondimenti relativi all'applicazione del modello SHIPFLOW sono riportati in Allegato B. Sono state



inoltre stimate le velocità di corrente al fondo indotte dalle eliche delle navi e dei rimorchiatori (sezione 6.5);

6.1 **Dati e assunzioni sul traffico navale**

Nel presente studio viene analizzato il traffico navale attuale e quello aggiuntivo previsto in seguito all'ampliamento del pontile ENI e contestuale realizzazione di una piattaforma all'interno del porto industriale di Taranto. Per identificare le dimensioni delle navi che attualmente trasportano il greggio da e per il pontile ENI, nonché la frequenza dei loro passaggi all'interno del bacino, si è fatto riferimento ai dati di movimento navi che hanno ormeggiato alle banchine ENI denominate "1-2-3-4" durante l'anno 2011. In particolare, ENI ha fornito un tabulato contenente il nome della nave e la tipologia di merce trasportata, le date d'inizio e fine ormeggio e la banchina di ormeggio. Questo ha permesso di determinare per ogni nave la frequenza dei passaggi lungo il canale di accesso del Mar Grande; in particolare a ogni registrazione di ormeggio sono associati due passaggi, uno di arrivo ed uno di partenza. Complessivamente sono stati calcolati 720 passaggi di navi, 360 di accesso al porto e 360 in uscita.

Per individuare le dimensioni delle navi che hanno ormeggiato ai suddetti pontili durante il 2011 si è fatto riferimento al sito www.MarineTraffic.com, in cui viene riportato il traffico navale internazionale in termini di tipologia di nave, rotta seguita e porto attuale e di destinazione. Tramite il database di MarineTraffic è stato possibile definire per ogni nave d'interesse la dimensione in termini di larghezza, lunghezza, pescaggio e DWT. E' stato pertanto possibile suddividere il traffico navale secondo tre categorie di riferimento: navi piccole, medie e grandi. Per effettuare la classificazione delle navi si è fatto riferimento al loro tonnellaggio (DWT, Tabella 6-1): sono state definite "navi piccole" quelle caratterizzate da DWT inferiori a 20'000 ton, medie per DWT compresi tra 20'000 e 40'000 ton e grandi per DWT superiori a 40'000 ton.

Sulla base di questa classificazione dimensionale delle navi e del tabulato fornito da ENI relativo alle navi in ormeggio al pontile, è stato possibile sintetizzare le condizioni di traffico navale attuale, come riportato in Tabella 6-1.

Tabella 6-1 *Frequenza del traffico navale attuale per categoria di nave.*

Categoria nave	DWT	numero passaggi
Piccola	< 20'000	425
Media	20'000 – 40'000	160
Grande	> 40'000	135

Nell'ambito del progetto di movimentazione del greggio proveniente dal giacimento Tempa Rossa è previsto un incremento del numero di navi da e verso il pontile ENI, che ha determinato la necessità di prevedere un'estensione del pontile stesso e contestuale realizzazione di una piattaforma all'interno del porto industriale.

Sulla base delle informazioni fornite da ENI, contenute nel documento "Relazione tecnica – studio di traffico portuale per la movimentazione di grezzi – ampliamento pontile, emissione per FEED Luglio 2011", tale incremento prevede essenzialmente una flotta costituita per il 75% del movimentato da navi da 30'000 DWT a pieno carico e per il 25% del movimentato con navi da 80'000 DWT. Quest'ultime navi dovranno entrare in porto caricate parzialmente, con una portata utile massima pari a 46'000 DWT, al fine di rispettare il pescaggio massimo di 10 m imposto dalla quota dei fondali nella zona circostante il pontile (circa -11 m). L'incremento di



traffico navale è stimato in 68 navi da 30'000 DWT e 15 navi da 80'000 DWT caricate a 46'000 DWT.

Al traffico navale attuale sopradescritto (Tabella 6-1) sono pertanto stati aggiunti 136 passaggi annuali di navi classificabili come "medie" (portata compresa tra 20'000 e 40'000 DWT) e 30 passaggi annuali di navi di categoria denominata "grande futura", di dimensioni superiori a quelle rappresentative della categoria di nave "grande" relativa al traffico attuale. Dunque, il traffico navale previsto in seguito all'ampliamento degli approdi portuali è schematizzabile come riportato in Tabella 6-2.

Tabella 6-2 Frequenza del traffico navale per categoria di nave a seguito della estensione del pontile ENI.

Categoria nave	DWT	numero passaggi
Piccola	< 20'000	425
Media	20'000 - 40'000	296
Grande	> 40'000	135
Grande futura	80'000	30

6.2 Caratteristiche dimensionali delle navi studiate

Come sopra esposto, il traffico navale servito dal pontile ENI è stato sintetizzato in tre categorie di navi, di riferimento sia per il traffico attuale che per quello futuro, più una categoria di nave che si prevede ormeggerà ai pontili in seguito agli interventi previsti di estensione del pontile. In particolare, per ognuna di queste categorie è stata individuata una specifica nave di riferimento per la categoria, con precise caratteristiche dimensionali. La selezione delle specifiche navi di riferimento per la categoria è stata effettuata a partire dai tabulati ENI sul traffico 2011: le navi presenti nel database sono state suddivise per categorie dimensionali, come illustrato al precedente paragrafo, e per ogni categoria è stata selezionata la nave caratterizzata da una maggiore frequenza di ormeggio.

In particolare, per le categorie di navi "grandi" (superiori a 40'000 DWT) e "piccole" (comprese tra 20'000 e 40'000 DWT) si è fatto riferimento rispettivamente alle caratteristiche dimensionali delle navi *Pink Coral* e *Divina*, facenti parte dell'attuale flotta. Tali navi hanno infatti presentano dimensioni ben rappresentative della loro categoria ed effettuano numerosi passaggi nel Mar Grande: durante il 2011 la *Pink Coral* è stata ormeggiata 9 volte al pontile ENI (per un totale di 18 passaggi nel Mar Grande), mentre la *Divina* 27 volte (per un totale di 54 passaggi). Le dimensioni specifiche delle navi, in termini di lunghezza, larghezza, pescaggio massimo, pescaggio alla banchina e DWT sono riportate in Tabella 6-3.

Per definire le dimensioni associate alla categoria di nave "media" non si è fatto riferimento ad una specifica nave presente nella flotta attuale, bensì alle dimensioni caratteristiche per la nave da 30'000 DWT rappresentativa del 75% della futura flotta (dati forniti da ENI, Tabella 6-3).

E' stata infine individuata una quarta categoria: la nave da 80'000 DWT, rappresentativa del 25% della futura flotta, pur entrando in porto parzialmente carica, e quindi con una portata utile che rientra nella categoria di "nave grande", presenta dimensioni, in termini di lunghezza, larghezza e pescaggio, superiori alle attuali navi servite dal pontile ENI (nave "grande futura").



Tabella 6-3 Caratteristiche delle navi prese come riferimento nel presente studio.

	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Pescaggio [m]	Pescaggio alla banchina [m]	DWT [ton]
Nave 1 "grande" (PINK CORAL)	183	32	10.9	10.0	45'800
Nave 2 "media" (nave media)	150	24	10.0	10.0	30'000
Nave 3 "piccola" (DIVINA)	134	24	5.8	5.8	16'000
Nave 4 "grande futura" (nave grande futura)	230	40	14.0	10.0	80'000

6.3 Caratterizzazione della rotta delle navi

Le navi trasportanti il greggio sia in avvicinamento che in uscita dalle banchine ENI seguono dei precisi corridoi di navigazione. La rotta seguita da queste navi a partire dalla bocca del Mar Grande fino alla testata del pontile ENI, è indicata in rosso in Figura 6-1. Le informazioni sono state fornite da ENI sulla base della comunicazione del Corpo Piloti del Porto di Taranto avente come oggetto "Corridoi e spazi di manovra per ormeggi agli accosti del Pontile ENI".

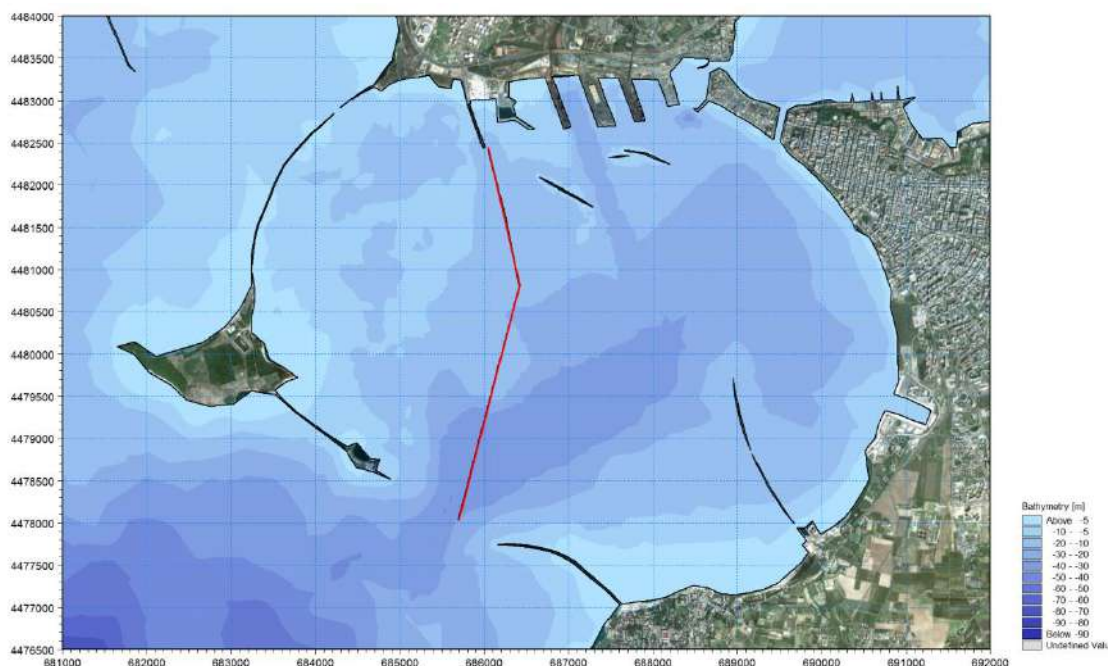


Figura 6-1 Individuazione della rotta di navigazione seguita dalle navi che ormeggiano al pontile ENI.

Al fine di definire, per ogni categoria dimensionale di nave considerata, una combinazione di profondità locale e velocità della nave sufficientemente rappresentativa del corridoio di traffico interno al Mar Grande, sono state individuate quattro posizioni, elencate in seguito, dal largo verso il pontile. Si specifica che i dati relativi alla velocità delle navi fanno riferimento al "Regolamento di Sicurezza e dei Servizi Marittimi del Porto di Taranto", della Capitaneria di Porto di Taranto [16], che prescrive nell'Articolo 4 una "velocità massima che le navi possono raggiungere durante la navigazione nei canali di separazione del traffico, nonché nella Rada, pari a 6 nodi o comunque pari alla velocità minima di manovra".



- Punto D, in corrispondenza dell'imboccatura del Mar Grande, dove la nave ha una velocità massima di 6 nodi ed i fondali presentano profondità di circa 40 m.
- Punto A, ad una profondità di circa 30 m, dove la nave procede ad una velocità massima di 6 nodi;
- Punto B, ad una profondità di circa 16 m, in corrispondenza della zona di cambiamento di direzione della rotta. Qui la nave inizia a rallentare progressivamente (da indicazioni del Corpo Piloti di Taranto) dai 6 nodi fino in prossimità della briccola di testata del pontile ENI, dove inizia l'evoluzione con ausilio dei rimorchiatori.
- Punto C intermedio tra B e la testata del pontile attuale. Per questo punto, in assenza di informazioni di dettaglio, è stata assunta cautelativamente una velocità ancora piuttosto elevata (4 nodi) in combinazione con una profondità minima di tutto il corridoio, pari a 11 m.

Si osserva che la posizione della testata del pontile attuale è diversa da quella di progetto (Tabella 6-4).

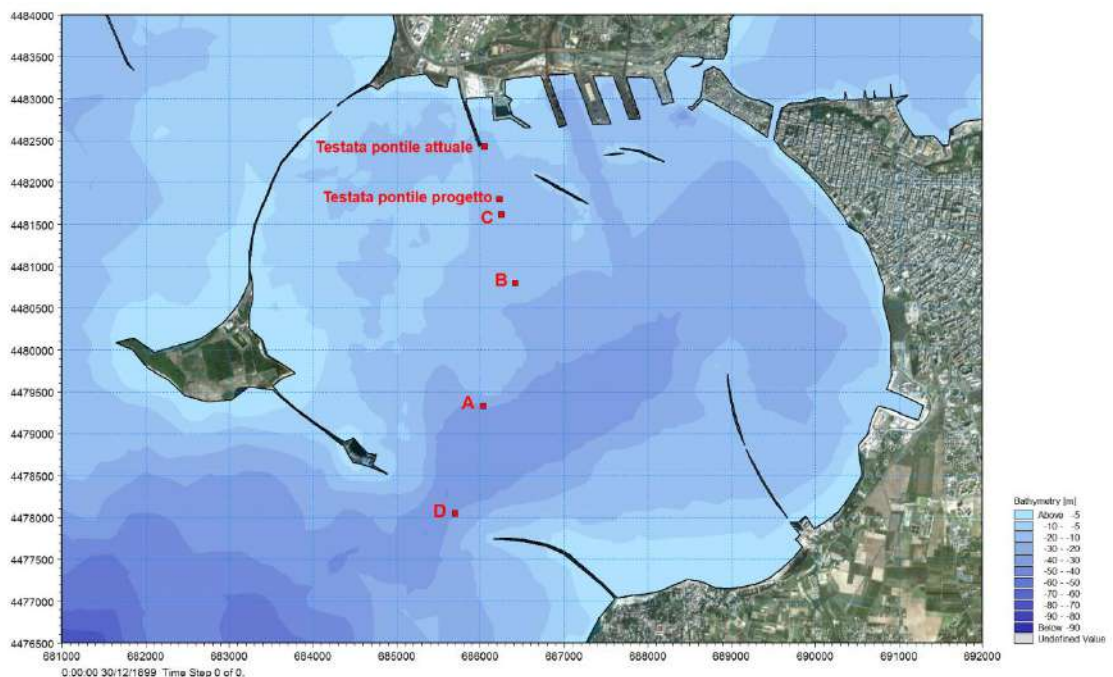


Figura 6-2 Localizzazione dei punti rappresentativi lungo la rotta delle navi in termini di velocità di passaggio e profondità locali.

Le caratteristiche di questi punti rappresentativi, in termini di localizzazione, profondità del fondale e velocità della nave sono riassunte in Tabella 6-4.



Tabella 6-4 Caratteristiche dei punti scelti come rappresentativi lungo la rotta delle navi.

	Coordinata EST (UTM 33 WGS84)	Coordinata NORD (UTM 33 WGS84)	Profondità [m]	Velocità nave [nodi]
D	685'695	4'478'050	40	6.0
A	686'029	4'479'330	30	6.0
B	686'415	4'480'800	16	6.0
C	686'247	4'481'620	11	4.0
Testata pontile attuale	686'042	4'482'430	11	0.0
Testata pontile progetto	686'229	4'481'801	11	0.0

Si sottolinea che le simulazioni di dispersione del sedimento sono state eseguite lungo le rotte previste per le navi trasportanti il greggio sia in avvicinamento che in allontanamento dal pontile fino all'imboccatura del Mar Grande, caratterizzata da profondità del fondale pari a circa 40 m e non oltre. I risultati delle simulazioni effettuate con il modello SHIPFLOW hanno evidenziato infatti che a profondità maggiori, al di fuori dell'imboccatura del Mar Grande (posta ad una distanza dal pontile ENI pari a circa 5 km), le velocità al fondo indotte dal passaggio delle navi sono trascurabili e pertanto non determinano la messa in sospensione dei sedimenti.

6.4 Campo di velocità generato dal passaggio delle navi

Le correnti indotte dal transito delle navi sono state simulate mediante l'applicazione di opportuna modellistica tridimensionale, ed in particolare del modello SHIPFLOW, che tiene conto delle reali caratteristiche delle navi. Questo modello ha fornito, per ciascuna tipologia di nave considerata ed in diversi punti all'interno del Mar Grande lungo la rotta della nave, il campo delle velocità che si generano al di sotto dello scafo al passaggio della nave (prevalentemente per l'effetto della scia non viscosa, *Bernoulli wake*). Gli approfondimenti relativi all'applicazione del modello SHIPFLOW, predisposta dal DIA - Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università di Trieste, sono riportati in Allegato B.

Le simulazioni del modello SHIPFLOW hanno fornito la distribuzione della velocità, nelle tre componenti spaziali (V_x , V_y , V_z) indotta dal passaggio di ciascuna delle quattro navi scelte come rappresentative del traffico navale attuale e futuro (Tabella 6-3) per le diverse combinazioni di profondità del fondale e velocità della nave illustrate in Tabella 6-4.

Il modello ha messo in evidenza che la distribuzione delle velocità di corrente al fondo generata dal passaggio delle navi presenta velocità massime in corrispondenza dell'asse della nave a poppa e a prua. Allontanandosi da queste zone le velocità decrescono gradualmente e, nel caso delle navi con lunghezza maggiore, tendono ad annullarsi al centro dello scafo.

Un esempio di risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello SHIPFLOW per la nave "grande" è mostrato in Figura 6-3 e Figura 6-4. Tutti i risultati ottenuti, unitamente alle assunzioni effettuate, alla descrizione del modello e al setup dello stesso, sono illustrati nell'Allegato B al presente documento.

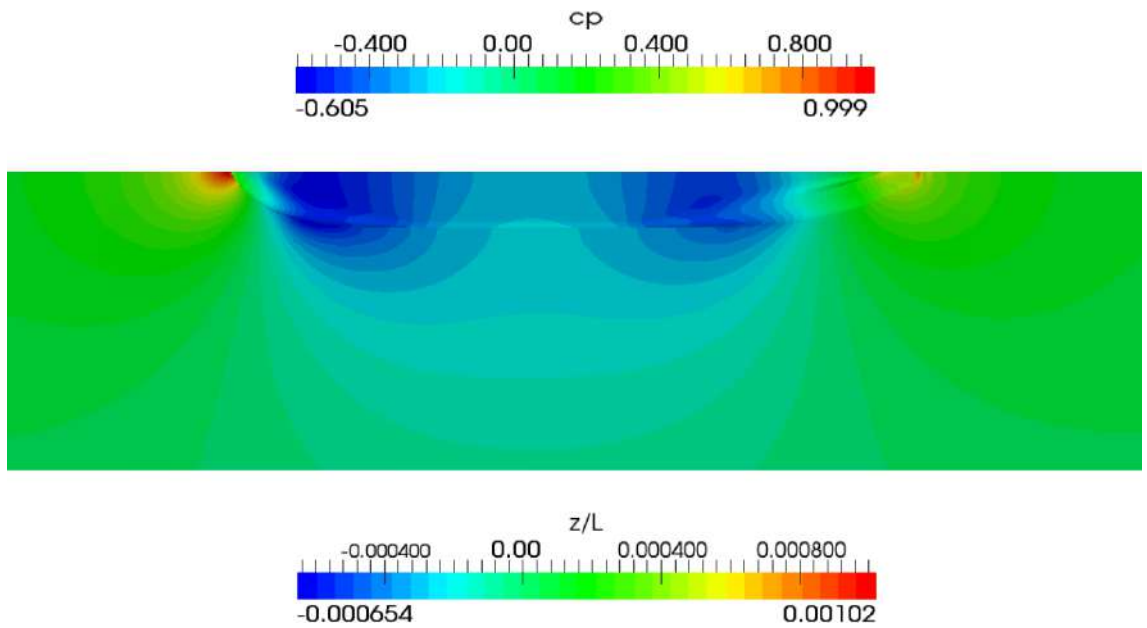


Figura 6-3 Esempio dell'elevazione non dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena (Prora a sinistra).

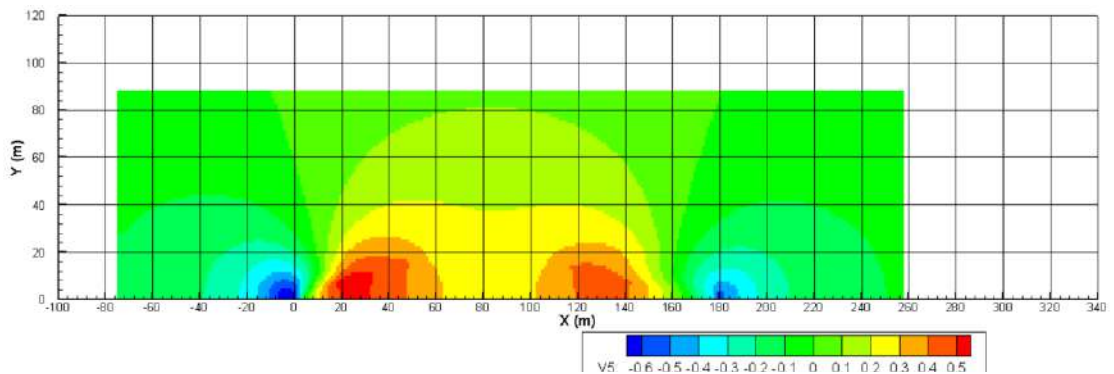


Figura 6-4 Esempio del contour plot della componente V_x della velocità di flusso sul fondo.

La Tabella 6-5 riporta le velocità massime al fondo calcolate da SHIPFLOW per le quattro categorie di navi nelle quattro posizioni considerate lungo la rotta, che differiscono per velocità della nave e profondità locale del fondale.

Per il punto posto a profondità maggiore (40m) in corrispondenza dell'imboccatura del Mar Grande, l'analisi è stata effettuata per la sola nave più grande: l'entità della velocità massima al fondo indotta da questa nave, infatti, determina effetti trascurabili sulla messa in sospensione dei sedimenti (capitolo 7) e l'effetto del passaggio di navi più piccole risulterebbe ancora minore.

I valori di velocità di corrente riportati sono già stati diminuiti della velocità della nave, in modo da fornire valori nel sistema di riferimento solidale con il fondo.



Tabella 6-5 Velocità massime al fondo per le quattro categorie di navi nei quattro punti considerati lungo la rotta (sistema di riferimento solidale con il fondo).

V (m/s)				
Posizione	D	A	B	C
Nave 1 "grande"		0.16	0.44	0.68
Nave 2 "media"		0.14	0.37	0.60
Nave 3 "piccola"		0.08	0.21	0.25
Nave 4 "grande futura"	0.12	0.18	0.49	0.70

6.5 Campo di velocità al fondo generato dalle eliche delle navi

La propulsione delle eliche delle navi e dei rimorchiatori, che supportano le navi nelle operazioni di ormeggio, crea un flusso di corrente potenzialmente in grado di contribuire alla messa in sospensione dei sedimenti.

Le velocità al fondo generate dalle eliche sono state in questo caso calcolate attraverso l'applicazione di formulazioni presenti in letteratura.

La definizione della velocità iniziale V_0 prodotta dalle eliche è basata sulla teoria di Froude del momento assiale ed è così formulabile [10]:

$$V_0 = 1.59 \cdot n \cdot D_p \cdot \sqrt{C_t}$$

dove: n è il numero di giri dell'elica, D_p è il diametro dell'elica, C_t è il coefficiente di spinta, che può essere assunto pari a 0.35 (Beliaev, N. 1996. Scouring by Ship's Propeller St. Petersburg Technical University).

La velocità massima al fondo generata dall'elica di un'imbarcazione può essere espressa dalla seguente equazione:

$$\frac{V_{b,\max}}{V_0} = E \cdot \left(\frac{H_p}{D_p} \right)^{-1}$$

dove: E è un coefficiente assunto tipicamente pari a 0.25 ed H_p è la distanza dell'asse dell'elica dal fondale.

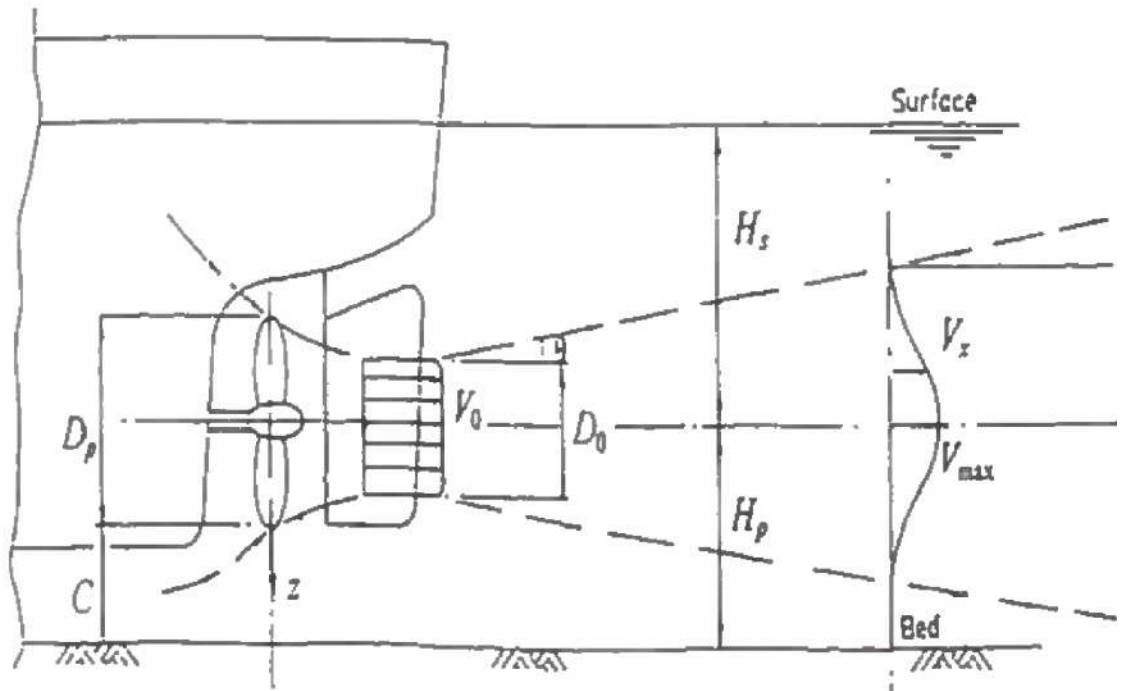


Figura 6-5 Schematizzazione delle velocità generate da un'elica e definizione dei parametri utilizzati.

Nel caso in esame questo valore di velocità massima al fondo generata dalle eliche delle navi è stato calcolato introducendo le assunzioni, spesso cautelative, di seguito riportate:

- i giri motore delle eliche delle navi per il trasporto del greggio, a velocità di crociera, possono essere ragionevolmente assunti pari a 120 rpm (giri al minuto). Quando le navi entrano nel bacino protetto del Mar Grande, esse riducono notevolmente la velocità, perciò è ragionevole supporre che i giri motore si dimezzino (almeno) rispetto alla condizione di velocità di crociera. Per tutte le 4 categorie di navi considerate nel presente studio è stato pertanto assunto un valore di n pari a 60 rpm;
- il diametro dell'elica è stato calcolato assumendo che, per navi *tanker* come quelle in esame, il rapporto tra il diametro dell'elica ed il pescaggio della nave sia pari a 0.65 [12];
- il valore di H_p risulta variabile per le quattro categorie di nave considerate, essendo funzione del pescaggio delle navi, e per le diverse profondità incontrate lungo la rotta.

Sulla base di queste assunzioni, i valori delle velocità massime al fondo $V_{b,max}$ ottenuti per le quattro categorie di nave nei quattro punti considerati lungo la rotta (Tabella 6-4) sono riportati nella successiva Tabella 6-6. Anche in questo caso i valori di velocità di corrente riportati sono già stati diminuiti della velocità della nave, in modo da fornire valori nel sistema di riferimento solidale con il fondo.



Tabella 6-6 Velocità massime al fondo per le quattro categorie di nave nei quattro punti considerati lungo la rotta. I valori di velocità sono riferiti al fondale ($V_{b,max} - V_{nave}$).

$V_{b,max} - V_{NAVE}$ (m/s)				
	D	A	B	C
Nave 1 "grande"	0.00	0.00	0.00	0.31
Nave 2 "media"	0.00	0.00	0.00	0.08
Nave 3 "piccola"	0.00	0.00	0.00	0.00
Nave 4 "grande futura"	0.00	0.00	0.00	1.13
Rimorchiatori	-	-	-	0.00

7 PREDISPOSIZIONE DEL MODELLO 3D DI DISPERSIONE DEI SEDIMENTI

Lo studio della dispersione di sedimenti durante il passaggio delle navi in avvicinamento ai pontili ENI è stato effettuato mediante modellazione numerica utilizzando il pacchetto MIKEbyDHI sviluppato da DHI (Danish Hydraulic Institute). In particolare, per la dispersione dei sedimenti nell'area d'interesse è stato applicato il modello 3D MIKE 3 MT FM. La descrizione del modello MIKE 3 MT è riportata nell'Allegato A al presente documento.

MT è un modulo specifico sviluppato per simulare la messa in sospensione e la sedimentazione di sedimenti coesivi e non sotto l'azione idrodinamica e di forzanti esterne.

Il modello "Mud Transport" considera i seguenti fenomeni fisici:

- flocculazione dovuta alla concentrazione;
- flocculazione dovuta alla salinità;
- effetti di densità ad elevate concentrazioni;
- sedimentazione ostacolata;
- consolidamento;
- variazioni morfologiche del fondale.

Il modello di dispersione dei sedimenti è dinamicamente accoppiato al modello idrodinamico MIKE 3 HD FM (capitolo 5). Le simulazioni effettuate con il modello MT sono pertanto, analogamente al modello idrodinamico, caratterizzate da una durata di 15 giorni. Il numero dei passaggi delle navi (attuali e futuri) nel periodo di simulazione è stato calcolato in proporzione al numero complessivo annuale.

Durante il periodo di simulazione il pennacchio di sedimenti movimentati dal passaggio delle navi varia in estensione, forma e concentrazione in funzione delle condizioni idrodinamiche presenti nel Mar Grande (avvezione) e di dispersione.



7.1 *Batimetria di calcolo*

Il dominio di calcolo utilizzato per la simulazione della dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino indotto dal traffico navale considerato è lo stesso utilizzato per l'analisi della circolazione all'interno del Mar Grande. La descrizione della costruzione e della discretizzazione di tale mesh è riportata nella sezione 5.1.

7.2 *Mappa dei sedimenti costituenti il fondale*

La disponibilità della caratterizzazione granulometrica effettuata nell'area marina del Mar Grande da ISPRA, integrata con la carta dei sedimenti marini elaborata nell'ambito del progetto CoNISMa-SPICAMAR (sezione 3.5), ha permesso la predisposizione di un'unica mappa delle caratteristiche dei sedimenti per l'intero bacino del Mar Grande da utilizzare nel modello di dispersione dei sedimenti (Figura 7-1).

Le tre classi in cui sono stati suddivisi i sedimenti all'interno del Mar Grande (pelite sabbiosa, pelite e sabbia pelitica) sono caratterizzate dalla presenza della frazione "sabbia" e "argilla" in percentuali di volta in volta diverse. Ai fini modellistici, ogni classe (Tabella 7-1) è stata rappresentata come una combinazione della frazione sabbiosa e argillosa (in differenti percentuali), ciascuna delle quali associata al diametro medio (D50) rappresentativo della frazione "sabbia" e "argilla" rispettivamente.

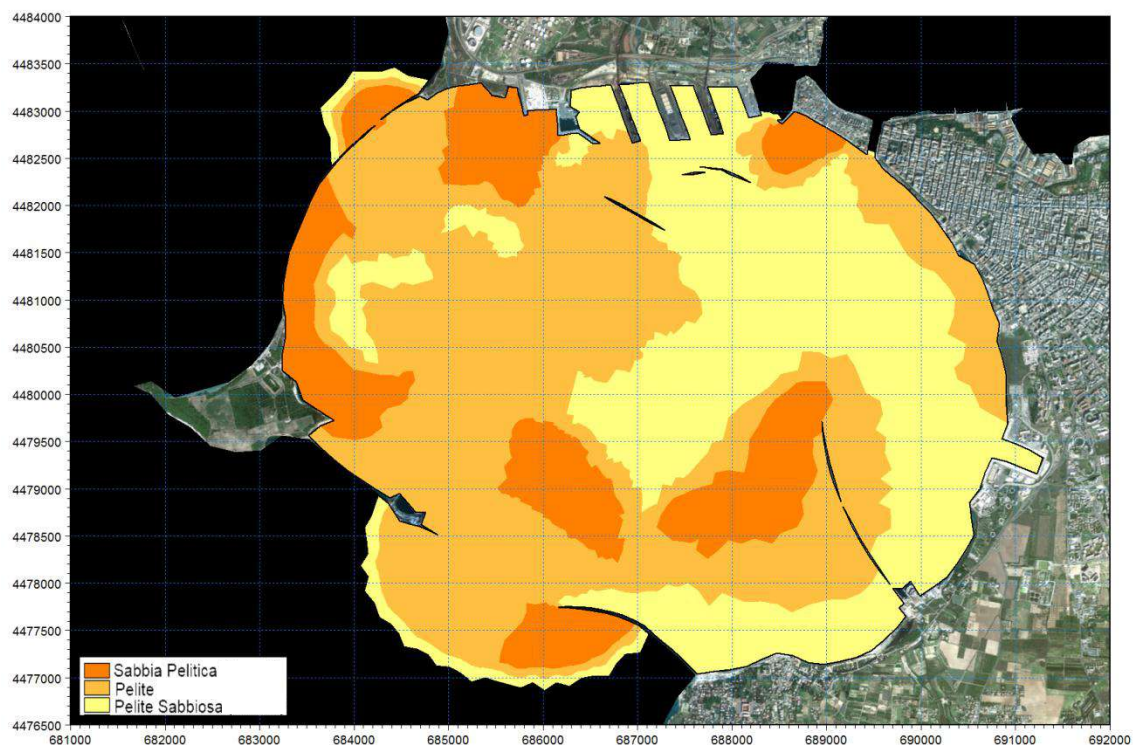


Figura 7-1 *Mappa di caratterizzazione del fondale nell'area del Mar Grande inserita in input al modello di dispersione dei sedimenti MIKE 3 MT FM.*



Tabella 7-1 Diametro medio (D_{50}), velocità di sedimentazione (W_s) e percentuale di composizione dei sedimenti costituenti il fondale nella zona d'interesse.

	D50 (mm)	Ws (m/s)	Classe 1	Classe 2	Classe 3
			Pelite sabbiosa	Pelite	Sabbia pelitica
argilla media	0.016	0.00022	67%	100%	33%
sabbia media	0.250	0.05718	33%	0%	67%

Le due frazioni granulometriche considerate nel modello sono pertanto l'argilla media e la sabbia media, il cui diametro D_{50} è stato assunto rispettivamente pari a 0.016 mm e 0.250 mm, in accordo con la scala di Wentworth, classificazione standard per sedimenti clastici e per rocce (Figura 7-2). La velocità di sedimentazione W_s riportata in tabella è stata ricavata utilizzando la nota formulazione di Stokes.

Scala Udden-Wentworth

Diametro delle particelle in ϕ	Diametro delle particelle in mm	Definizione		
	> 256	Masso	Boulder	
256-	128	Ciottolo molto grossolano	Cobble	
128-	64	Ciottolo grossolano	Cobble	
64-	32	Ciottolo medio-grossolano	Pebble	
32-	16	Ciottolo medio	Pebble	
16-	8	Ciottolo medio-fine	Pebble	
8-	4	Ciottolo fine	Pebble	Arenite
4-	2	Granulo	Granule	
2-	1	Sabbia molto grossolana	Very coarse sand	
1-	1/2	Sabbia grossolana	Coarse sand	
1/2-	1/4	Sabbia media	Medium sand	
1/4-	1/8	Sabbia fine	Fine sand	
1/8-	1/16	Sabbia molto fine	Very fine sand	Pelite
1/16-	1/32	Silt grossolano	Coarse silt	
1/32-	1/64	Silt medio	Medium silt	
1/64-	1/128	Silt fine	Fine silt	
1/128-	1/256	Silt molto fine	Very fine silt	
	<1/256	Argilla	Clay	

Figura 7-2 Scala di Wentworth per la classificazione standard dei sedimenti clastici e delle rocce.

7.3 Stima della quantità di sedimento messa in sospensione dal passaggio delle navi

La quantità di sedimento che viene portata in sospensione dipende dal rapporto tra lo *shear stress* indotto dalle forzanti (circolazione del Mar Grande, correnti indotte dal passaggio delle navi, ivi compreso l'effetto di propulsione delle eliche) e lo *shear stress critico*, funzione delle caratteristiche dei sedimenti (composizione granulometria, grado di consolidamento).



L'entità delle velocità di corrente al fondo associate alla circolazione del Mar Grande è molto ridotta (in genere limitata a pochi cm/s, capitolo 5) e la successiva applicazione del modello MIKE 3 MT FM non ha evidenziato alcuna messa in sospensione di materiale indotta dalla sola circolazione interna al bacino. L'unica forzante in grado di determinare la messa in sospensione dei sedimenti è pertanto legata al passaggio delle navi.

A partire dai valori di velocità al fondo associate a tale passaggio (capitolo 6) si è proceduto a stimare l'effettiva quantità di sedimento messa in sospensione utilizzando le formulazioni di seguito illustrate.

Nota la velocità V generata dal passaggio delle navi ad una certa distanza z dal fondo, la velocità tangenziale U_f può essere calcolata con la seguente formulazione:

$$\frac{V}{U_f} = \frac{1}{k} \cdot \ln\left(\frac{z}{K}\right)$$

dove k è la costante di Von Kármán, pari a 0.407, e K è la scabrezza equivalente.

Inoltre, la velocità tangenziale U_f può essere espressa in funzione della tensione tangenziale al fondo τ :

$$U_f = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

L'erosione del fondale avviene laddove la tensione tangenziale al fondo τ risulta maggiore della tensione tangenziale critica τ_c , assunta cautelativamente, nel nostro caso, compresa tra 0.2 e 0.4 N/m².

Per un fondale mediamente consolidato l'entità dell'erosione (o quantità di sedimento messa in sospensione) E , in kg/s/m², è data dalla seguente espressione (Partheniades, 1989):

$$E = E_0 \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_c} - 1\right)$$

dove E_0 è il coefficiente di erosione, assunto pari a 5x10⁻⁵ kg/s/m².

Una volta determinata la quantità di sedimento messa puntualmente in sospensione (la risoluzione del modello SHIPFLOW è dell'ordine di 0.5m, Allegato B), si è proceduto a determinare l'effetto complessivo sulla risospensione dei sedimenti indotto dall'intero scafo, nonché alla generazione di una serie temporale di "spill di sedimento" in movimento nel Mar Grande secondo la rotta delle navi.

La localizzazione dello spill di sedimento non è infatti fissa nel modello: in MIKE 3 MT FM è possibile specificare la localizzazione dei punti di spill variabile nel tempo, spazialmente coincidente con la posizione della nave in differenti passi temporali della simulazione.

Inoltre, il campo di velocità al fondo ed il corrispondente *shear stress* indotto dal passaggio delle navi è variabile, non solo in funzione della categoria di nave considerata e della profondità del fondale, ma anche lungo l'asse dello scafo



(capitolo 6.4). la quantità di sedimento portata in sospensione risulta massima in corrispondenza dell'asse della nave in corrispondenza della poppa e della prua, mentre diminuisce gradualmente allontanandosi da queste zone fino ad assumere valori trascurabili a centro scafo.

Le velocità di corrente ed il corrispondente *shear stress*, pertanto, variano da nave a nave e, per ciascuna nave, in funzione della posizione considerata nello spazio (poppa, prua, ecc). Tale risultato è ben visibile dal confronto della Figura 7-3 e Figura 7-4, dove sono rappresentati i campi delle velocità di corrente generati sotto lo scafo al passaggio rispettivamente della "nave grande" e "nave piccola" nel punto C.

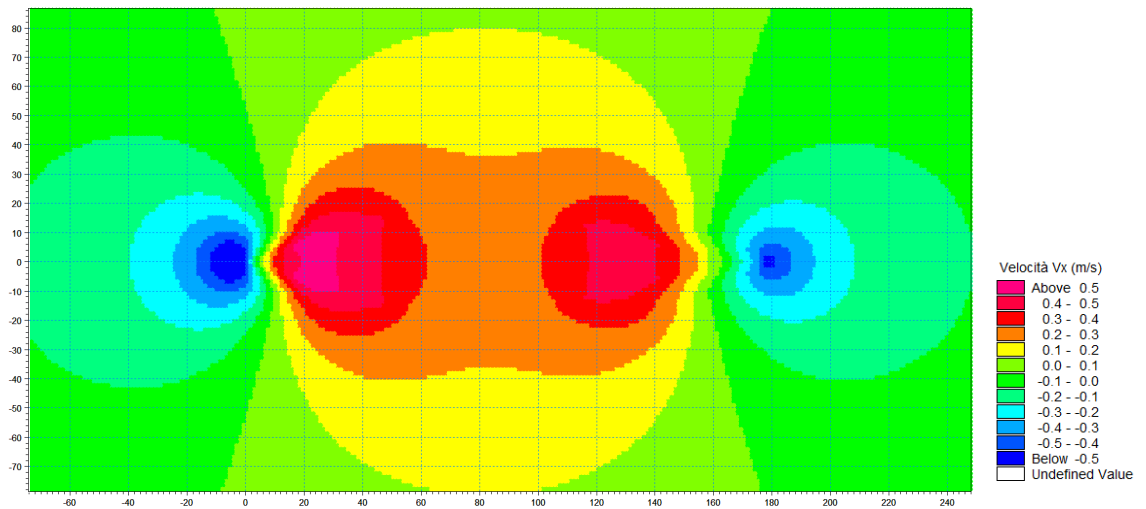


Figura 7-3 Distribuzione della componente orizzontale di velocità V_x generata al passaggio della "nave grande" nel punto C sotto lo scafo.

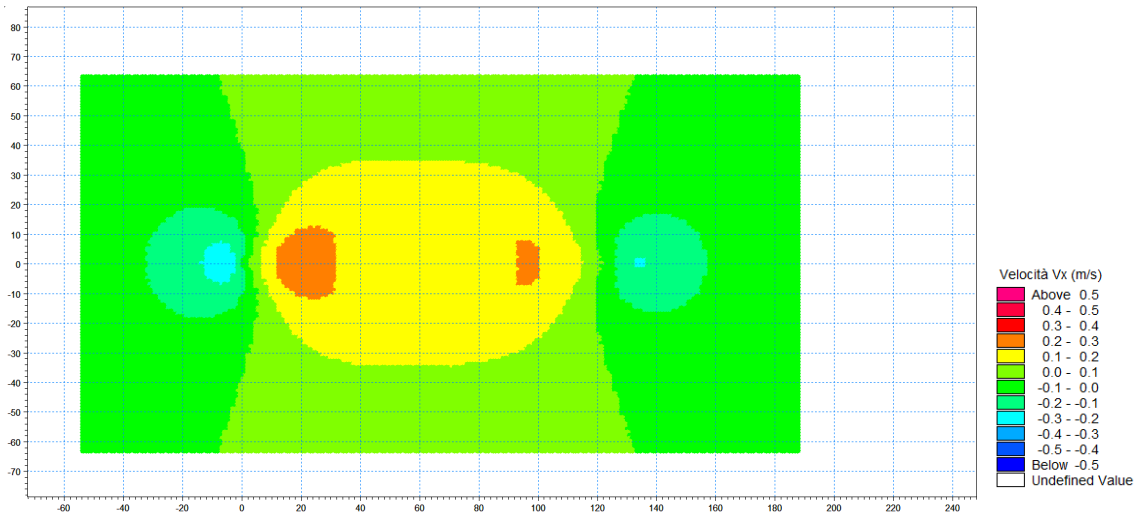


Figura 7-4 Distribuzione della componente orizzontale di velocità V_x generata al passaggio della "nave piccola" nel punto C sotto lo scafo.

Al fine di rappresentare adeguatamente nel modello di dispersione lo spill di sedimento, ciascuna categoria di nave è stata discretizzata con più celle di calcolo, il cui numero varia con le dimensioni della nave e con la distribuzione spaziale delle velocità di corrente ottenuta da SHIPFLOW "area di influenza". Si rammenta che le celle di calcolo del modello di dispersione (capitolo 5) lungo i corridoi di navigazione sono quadrate di lato 28 m.



In particolare, la distribuzione del campo di moto e del conseguente *shear stress* della "nave grande futura" è stata rappresentata con 27 celle di calcolo, la "nave grande" con 24 celle, la "nave media" con 21 celle e la "nave piccola" con 18 celle. A ciascuna di queste celle sono stati pertanto attribuiti diversi valori di velocità, derivanti dalla media dei valori di velocità forniti da SHIPFLOW all'interno della singola cella di 28x28m, e di conseguenza diversi valori di spill di sedimento.

L'operazione è stata ripetuta processando tutti i risultati disponibili del modello SHIPFLOW (punti A, B, C, D); tra due punti successivi l'entità dello spill di sedimento è ottenuta come interpolazione lineare tra i valori.

Il risultato della procedura è pertanto la generazione di una condizione di spill di sedimento variabile nel tempo e nello spazio (lungo la rotta della nave e, per ciascuna nave, in funzione della posizione al di sotto dello scafo).

I risultati ottenuti in termini di quantità di sedimento portata in sospensione hanno mostrato quanto segue:

- il passaggio delle navi appartenenti a tutte le categorie considerate nel presente studio non induce la messa in sospensione dei sedimenti nei punti D e A, ossia rispettivamente in prossimità dell'imboccatura del Mar Grande (profondità circa 40 m) ed a profondità di circa 30 m;
- il passaggio delle navi appartenenti alle categorie "nave grande futura", "nave grande" e "nave media" induce la messa in sospensione dei sedimenti nei punti B e C, ossia rispettivamente a profondità di circa 16 m e 11m;
- lungo l'intera rotta il passaggio delle navi appartenenti alla categoria "nave piccola" non induce la messa in sospensione dei sedimenti;
- le velocità massime al fondo generate dalle eliche delle navi appartenenti a tutte le categorie considerate nel presente studio non inducono la movimentazione dei sedimenti nei punti D, A e B (profondità rispettivamente di circa 40 m, 30 m e 16 m);
- le velocità massime al fondo generate dalle eliche delle navi appartenenti alle categorie "grande futura" e "grande" inducono la movimentazione dei sedimenti nel solo punto C (profondità assunta cautelativamente pari a 11 m);
- lungo l'intera rotta le velocità massime al fondo generate dalle eliche delle navi appartenenti alle categorie "nave media" e "nave piccola" non inducono la messa in sospensione dei sedimenti;
- le velocità massime al fondo generate dalle eliche dei rimorchiatori non inducono la movimentazione di sedimenti.

Come atteso, la messa in sospensione dei sedimenti è fortemente dipendente dal pescaggio delle navi, da cui dipende anche il diametro delle eliche, e dalle profondità locali del fondale.

Per rappresentare le condizioni di messa in sospensione del sedimento durante l'intero periodo di simulazione (15 giorni), è stato valutato il numero medio di passaggi delle quattro navi rappresentative durante 15 giorni, nelle condizioni di traffico attuale e in quelle di traffico futuro. Questi passaggi delle navi sono stati distribuiti temporalmente in maniera uniforme. In Figura 7-5 è illustrata l'ipotesi adottata per la rappresentazione delle frequenze di passaggio delle navi, nella



condizione di flotta futura, durante 15 giorni: ogni pallino indica il passaggio di una nave e a colore diverso corrisponde diversa categoria della nave. Nelle condizioni attuali è stato supposto mediamente il passaggio di una nave ogni 12 ore; nelle condizioni future alcuni giorni presentano un intervallo temporale tra due successivi passaggi di nave pari a circa 6 ore.

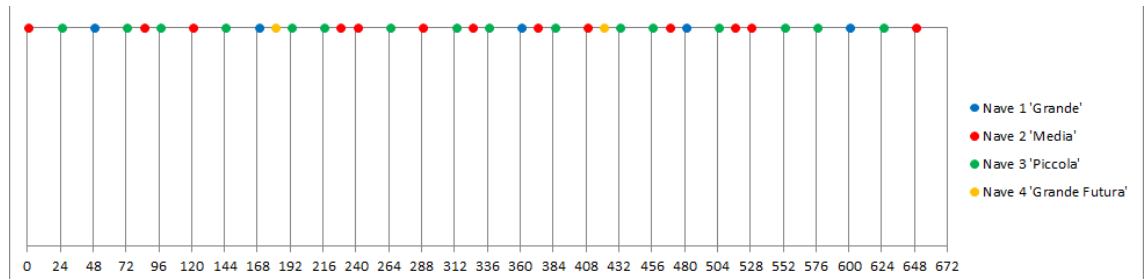


Figura 7-5 *Ipotesi adottata per la rappresentazione delle frequenze di passaggio delle navi, distinte nelle 4 categorie, per la condizione di flotta futura, durante 15 giorni. I valori riportati sull'asse delle ascisse sono in ore.*

7.4 Risultati della modellazione 3D di dispersione dei sedimenti

Di seguito sono riportati i risultati relativi ai 15 giorni simulati, nelle due differenti stagioni, in termini di:

- distribuzione spaziale della **concentrazione massima di sedimenti sospesi**, raggiunta durante i 15 giorni di simulazione nelle stagioni Estiva/Primaverile ed Invernale/Autunnale, nei tre layer più profondi;
- distribuzione della **probabilità di superamento** (in riferimento ai 15 giorni simulati) di determinate soglie di concentrazione di sedimento sospeso nel layer più profondo (2 mg/l, valore diffusamente utilizzato a livello internazionale quale valore soglia di tracciabilità per il plume di sedimenti sospesi in mare [1], [2] e 4 mg/l).
- **serie temporali di concentrazione di sedimenti sospesi** nel layer più profondo, in alcuni punti rappresentativi lungo la rotta delle navi, al fine di determinare i tempi di ricaduta dei sedimenti sul fondo.

7.4.1 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso

Da Figura 7-6 a Figura 7-17 sono riportate le mappe di distribuzione della massima concentrazione di sedimento sospeso (SSC) indotta dal traffico navale (sia attuale che futuro) durante i 15 giorni di simulazione (sia durante il periodo Autunnale/Invernale sia Primaverile/Estivo). Nelle figure è indicata anche un corridoio ("corridoio di controllo") di larghezza complessiva pari a circa 800 m (400 m dalla rotta delle navi, da entrambi i lati). Tale distanza è introdotta nella prescrizione della Commissione VIA-VAS quale distanza limite all'interno della quale devono essere confinati gli effetti della movimentazione di sedimenti potenzialmente inquinati).

Le mappe sono state realizzate per le sole profondità della colonna d'acqua caratterizzate da concentrazioni massime di sedimento sospeso non nulle. Il modello di dispersione del Mar Grande è stato realizzato utilizzando una stratificazione verticale di tipo sigma, ossia è stato fissato un numero pari a 8 layers di spessore variabile con le profondità locale. Le zone interessate da concentrazioni di sedimento sospeso non nulle sono generalmente comprese tra 16



m di profondità (punto B) e 11 m (punto C), pertanto i layers di calcolo presentano spessori compresi tra circa 2 m (16 m / 8 layers) e 1.4 m (11 m / 8 layers).

I risultati delle simulazioni mostrano una maggiore concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo; allontanandosi dal fondale la concentrazione diminuisce gradualmente fino a raggiungere valori pressoché nulli nel terzo strato a partire dal fondo, ossia a profondità comprese tra circa 7.5 m e 11 m (Figura 7-8, Figura 7-11, Figura 7-14, Figura 7-17).

Nello strato immediatamente superiore a quello più profondo, ossia a profondità comprese tra circa 9 m e 13 m, si hanno valori di concentrazione massima di sedimento sospeso estremamente bassi, non superiori a 0.006 kg/m^3 (6 mg/l), in una zona molto ristretta e comunque compresa nel corridoio di controllo (Figura 7-7, Figura 7-10, Figura 7-13, Figura 7-16).

Nello strato più profondo, durante i 15 giorni di simulazione del periodo Autunnale/Invernale, in condizioni di attuale traffico navale, il valore massimo di SSC (acronimo comunemente utilizzato per la concentrazione dei sedimenti in sospensione, Suspended Sediment Concentration) risulta pari a 0.03 kg/m^3 e si verifica lungo la rotta della nave, a circa 200 m al largo del pontile. Con l'intensificarsi del futuro traffico navale si nota un incremento delle concentrazioni massime di sedimento sospeso: il valore massimo, in questo caso, è pari a circa 0.10 kg/m^3 ed è localizzato lungo la rotta della nave, a circa 200 m al largo del pontile prolungato. In entrambi i casi il plume di SSC in misura assai modesta anche al di fuori del "corridoio di controllo" ma le concentrazioni presentano valori molto bassi, inferiori a 0.006 kg/m^3 .

Durante i 15 giorni di simulazione del periodo Primavera/Estivo si ottengono pressoché gli stessi risultati appena descritti, varia solamente la forma del plume di SSC. Infatti in condizioni di traffico attuale (Figura 7-6 e Figura 7-12) in direzione Nord-Sud si raggiungono valori nulli di SSC massimo a circa 300 m a Nord della testata del pontile, durante il periodo Autunnale/Invernale, e a circa 400 m durante il periodo Primavera/Estivo; a Sud si hanno valori non nulli di SSC massimo fino al punto B. Nella configurazione di progetto (Figura 7-9 e Figura 7-15) l'SSC massimo si annulla a circa 600 m a Nord della testata del pontile prolungato, durante il periodo Autunnale/Invernale, e a circa 900 m durante il periodo Primavera/Estivo; a Sud si hanno valori non nulli di SSC fino al punto B, durante il periodo Autunnale/Invernale, e fino a circa 200 m a Sud del punto B durante il periodo Primavera/Estivo.

Il sedimento una volta messo in sospensione dalle navi in passaggio si disperde in funzione dell'idrodinamica generale che si instaura nel bacino del Mar Grande; è per questo motivo che la forma del plume dei massimi di SSC è differente se si considera il periodo Autunnale/Invernale o il periodo Primavera/Estivo.

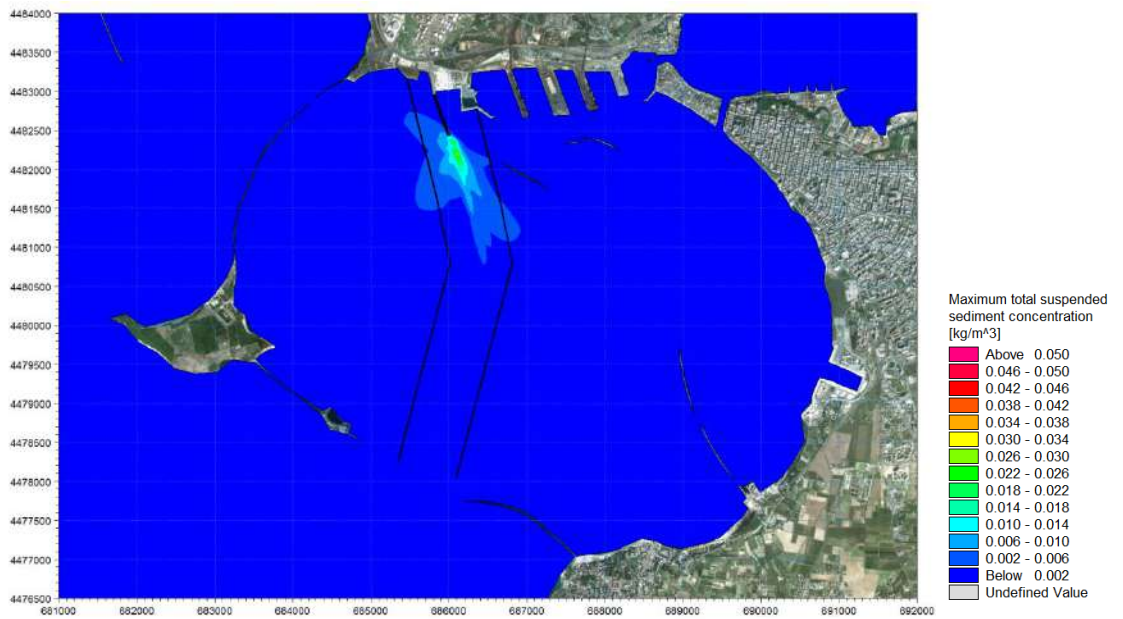


Figura 7-6 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer più profondo (layer 1) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di attuale traffico navale.



Figura 7-7 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 1 (layer 2) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di attuale traffico navale.



Figura 7-8 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 2 (layer 3) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di attuale traffico navale.

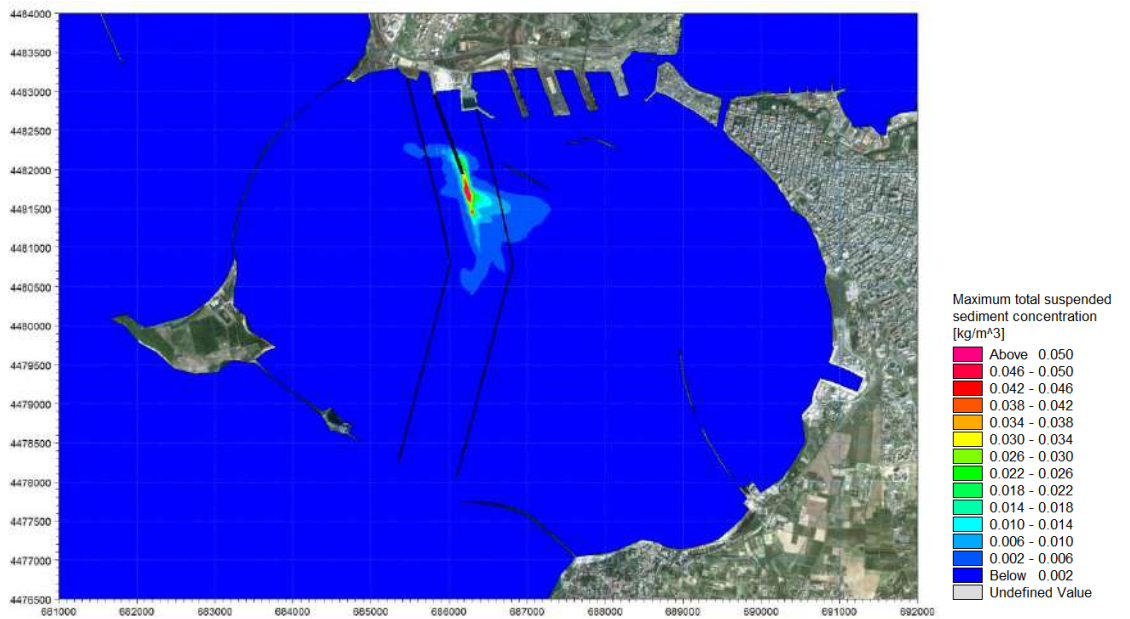


Figura 7-9 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer più profondo (layer 1) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di futuro traffico navale.

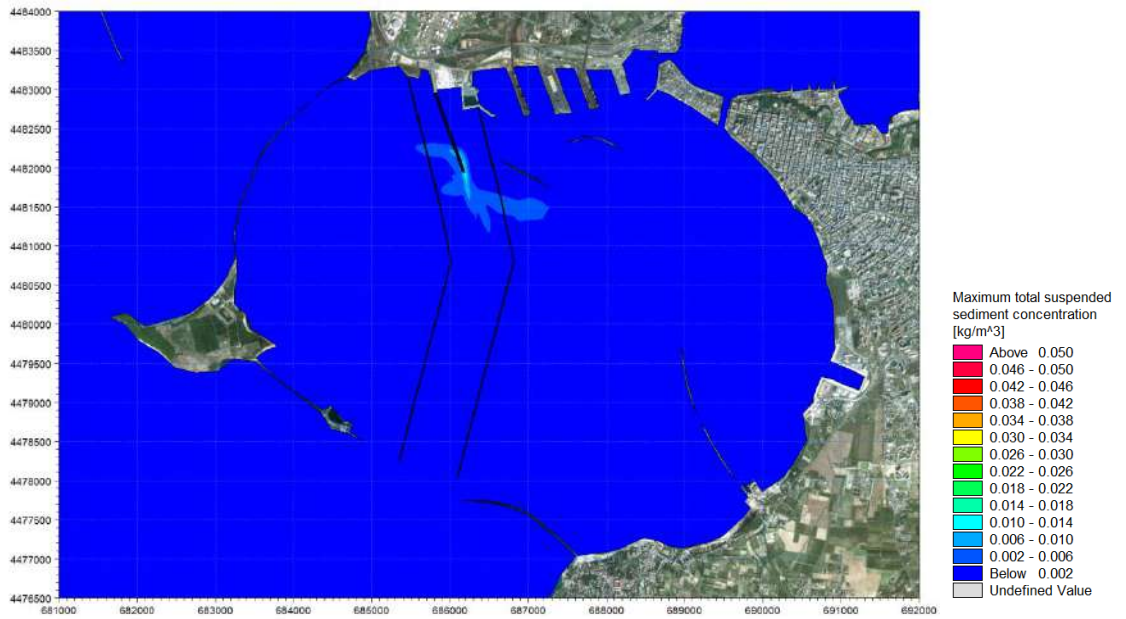


Figura 7-10 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 1 (layer 2) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di futuro traffico navale.



Figura 7-11 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 2 (layer 3) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di futuro traffico navale.

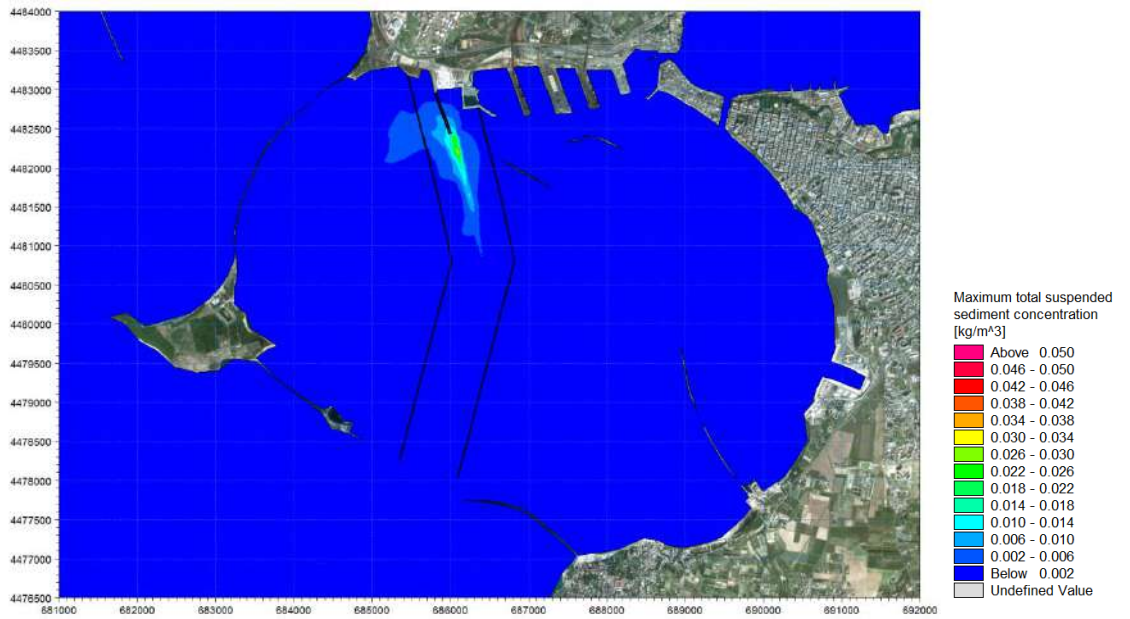


Figura 7-12 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer più profondo (layer 1) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di attuale traffico navale.



Figura 7-13 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 1 (layer 2) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di attuale traffico navale.



Figura 7-14 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 2 (layer 3) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di attuale traffico navale.

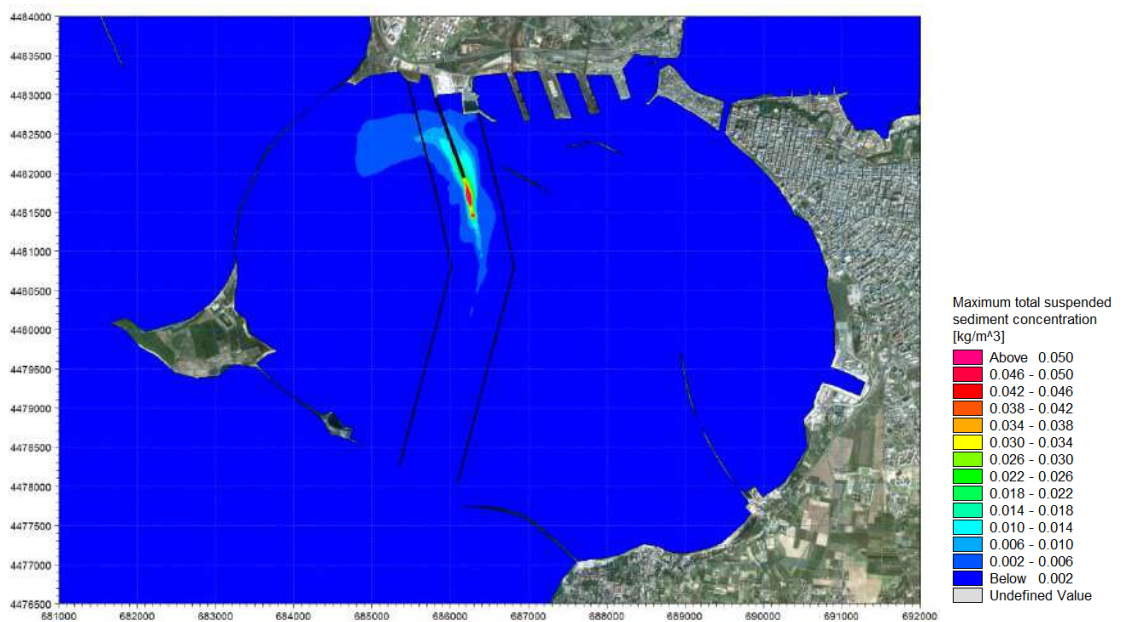


Figura 7-15 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer più profondo (layer 1) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di futuro traffico navale.

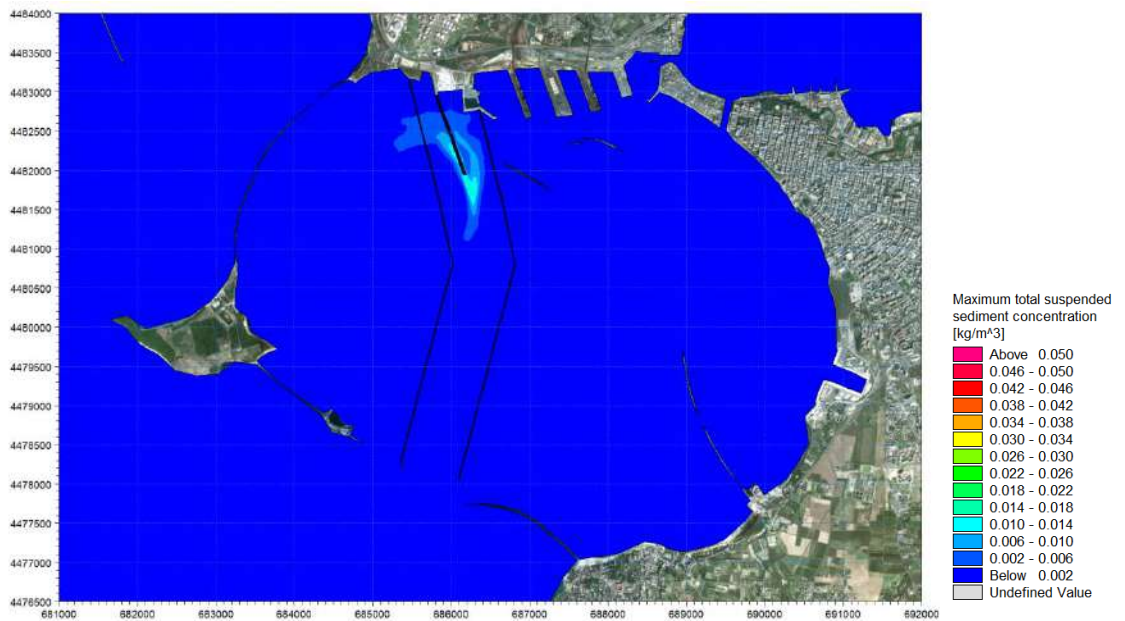


Figura 7-16 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 1 (layer 2) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di futuro traffico navale.

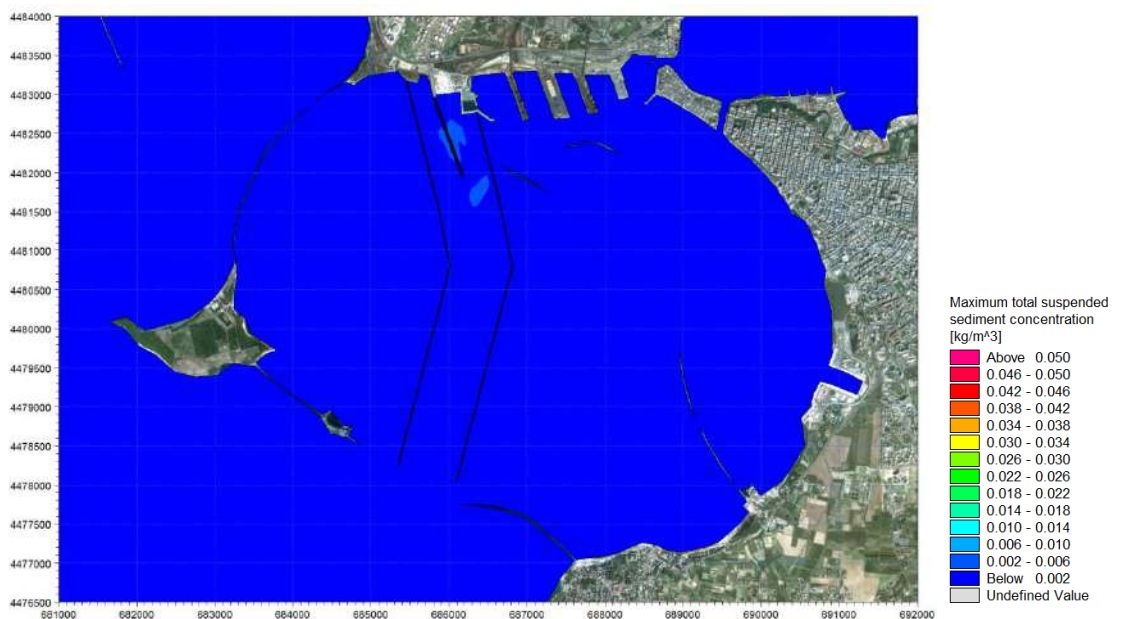


Figura 7-17 Distribuzione della concentrazione massima di sedimento sospeso nel layer superiore al layer 2 (layer 3) durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di futuro traffico navale.

7.4.2 Distribuzione della probabilità di superamento

Per l'intera superficie del Mar Grande sono riportate, da Figura 7-18 a Figura 7-25, le distribuzioni spaziali della **probabilità di superamento** di determinate soglie di concentrazione di sedimento sospeso (2 mg/l, valore diffusamente utilizzato a livello internazionale quale valore soglia di tracciabilità per il plume di sedimenti sospesi in mare [1], [2] e 4 mg/l) in riferimento ai 15 giorni di simulazione e per lo strato più profondo, l'unico per il quale i risultati evidenzino valori significativi di



concentrazione di sedimento sospeso. Come in precedenza, nelle mappe è indicata anche il "corridoio di controllo".

In generale si osserva che durante i 15 giorni di simulazione, sia nel periodo Autunnale/Invernale che Primavera/Estivo, si verifica il superamento di entrambe le soglie solo nella zona compresa tra il punto B, dove si hanno profondità di circa 16 m, ed il pontile. Per il periodo Autunnale/Invernale, esternamente al "corridoio di controllo" la probabilità di superamento delle due soglie è trascurabile, mentre durante i 15 giorni della stagione Primavera/Estiva si ha una zona esterna al "corridoio di controllo" di dimensioni assai modeste, in cui la probabilità di superamento del valore di 0.002 kg/m^3 (corrispondenti ai 2 mg/l sopra citati) è al massimo pari al 3% (0.03). Se si considera come soglia 0.004 kg/m^3 , la probabilità di superamento al di fuori della fascia di rispetto è sempre trascurabile.

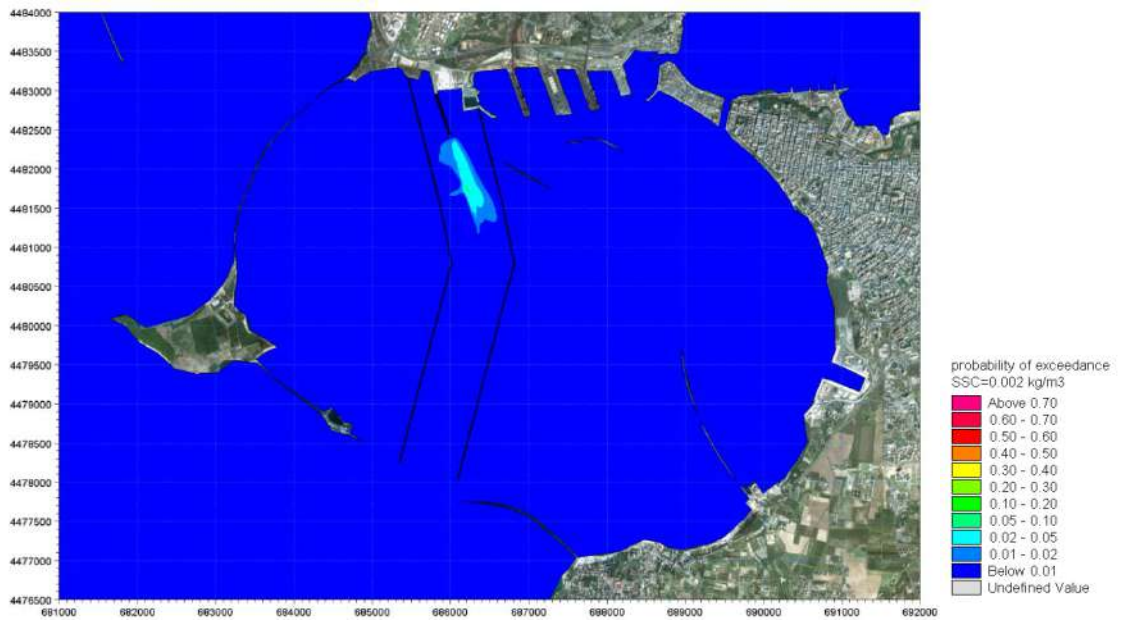


Figura 7-18 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.002 kg/m^3 nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di attuale traffico navale.



Figura 7-19 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.004kg/m³ nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di attuale traffico navale.

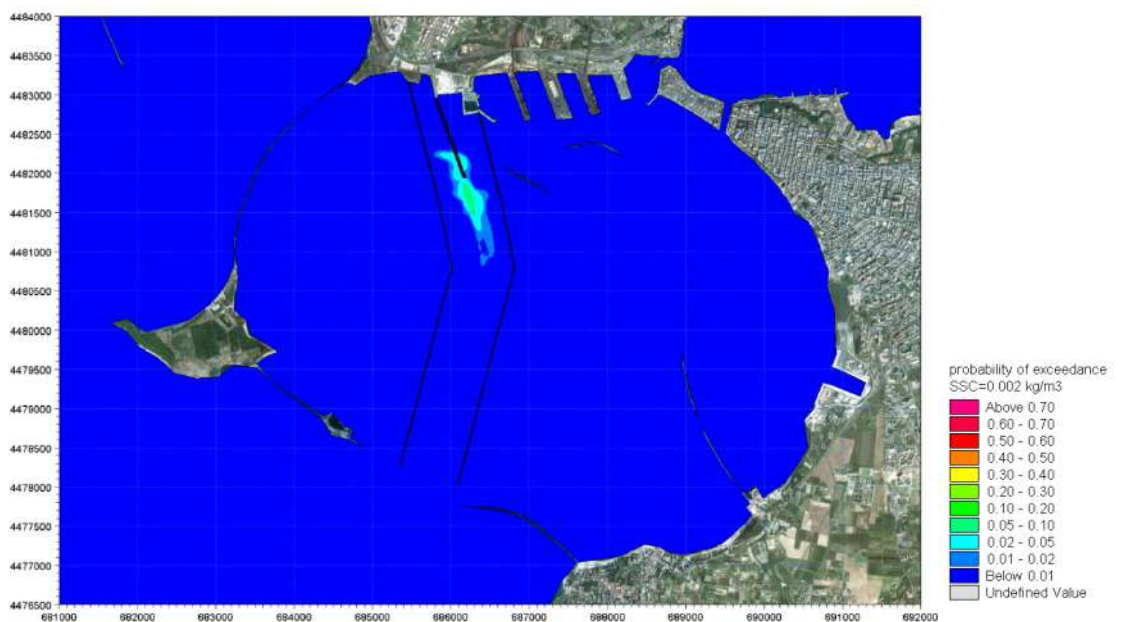


Figura 7-20 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.002kg/m³ nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di futuro traffico navale.

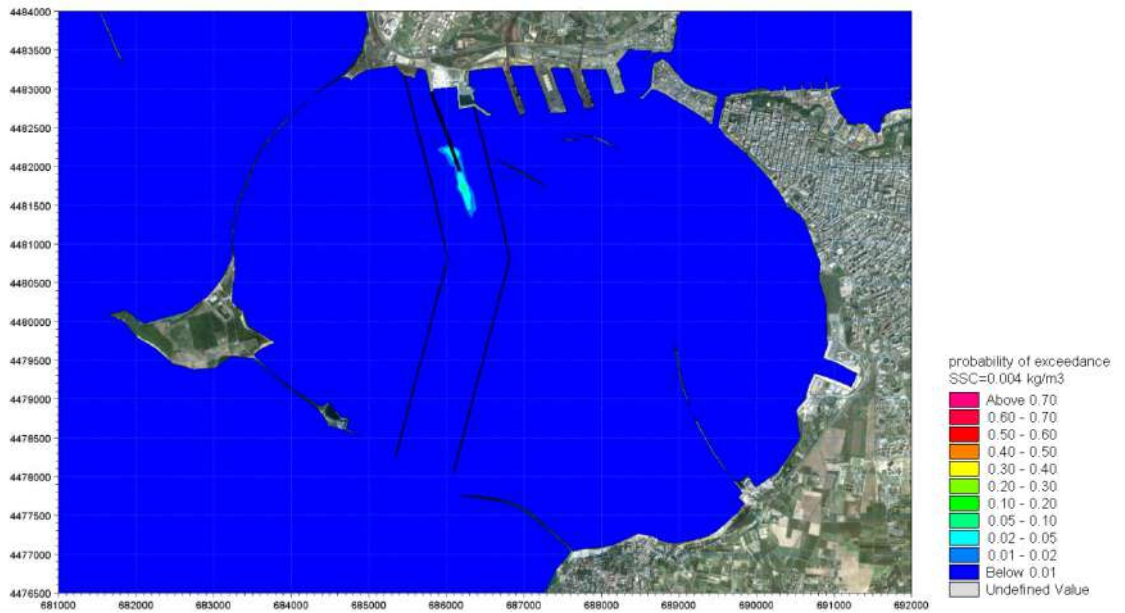


Figura 7-21 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.004kg/m³ nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale in condizioni di futuro traffico navale.



Figura 7-22 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.002kg/m³ nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di attuale traffico navale.

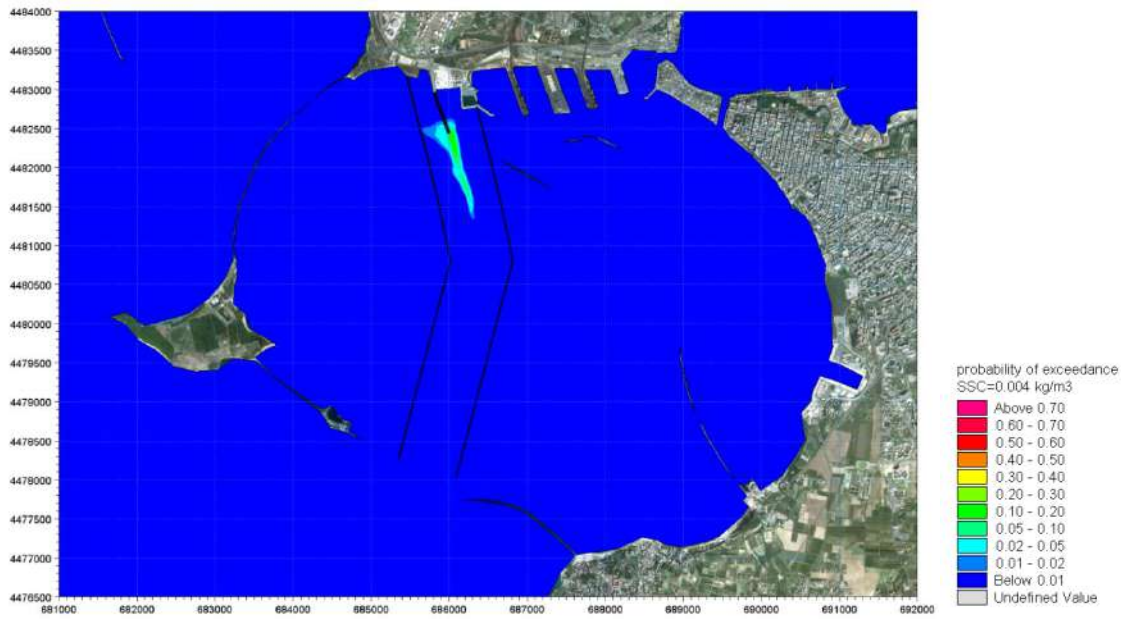


Figura 7-23 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.004kg/m^3 nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di attuale traffico navale.

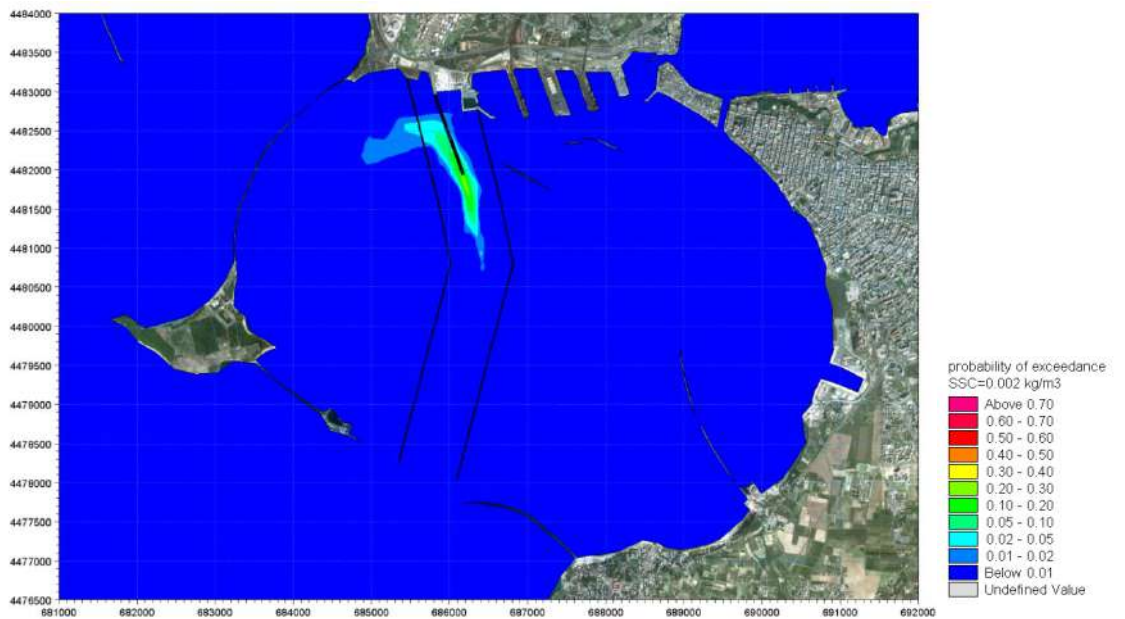


Figura 7-24 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.002kg/m^3 nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di futuro traffico navale.



Figura 7-25 Probabilità di superamento della soglia di concentrazione di sedimenti sospesi pari a 0.004kg/m^3 nel layer più profondo durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo in condizioni di futuro traffico navale.

7.4.3 Serie temporali di concentrazione

Da Figura 7-30 a Figura 7-33 sono riportate le serie temporali di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale e Primavera/Estivo, in condizioni di traffico navale attuale e futuro. Queste serie temporali sono state estratte nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile).

I risultati mostrano che la concentrazione di sedimento sospeso è nulla nel punto A, alla profondità di circa 30 m (curva verde), ed è trascurabile nel punto B, alla profondità di circa 16 m (curva blu). Le concentrazioni maggiori si verificano nel punto C, alla profondità di circa 11 m (curva rossa), ed in corrispondenza della testata del pontile (curva azzurra). In generale i picchi più alti di SSC si verificano nel punto C, fatta eccezione per il periodo Primavera/Estivo nella condizione di traffico attuale, durante il quale si ha una condizione equivalente nel punto C ed in prossimità del pontile. Questo diverso andamento, correlato alla variabilità del plume di sedimenti, dipende essenzialmente dal regime idrodinamico che s'instaura.

Inoltre, l'analisi ha messo in evidenza che mediamente i tempi di risospensione del sedimento movimentato dalle diverse navi (ossia l'intervallo di tempo compreso tra quando la nave mette in sospensione i primi sedimenti e quando la concentrazione di sedimento sospeso è inferiore a 0.002 kg/m^3 , valore diffusamente utilizzato a livello internazionale quale valore soglia di tracciabilità per il plume di sedimenti sospesi in mare [1], [2]), sono i seguenti:

- circa 5 ore per la nave 1 "grande";
- circa 4 ore per la nave 2 "media";
- circa 6 ore per la nave 4 "grande futura".

Il passaggio della nave 3 "piccola" e la propulsione delle sue eliche non creano un campo di velocità al fondo tale da mettere in sospensione i sedimenti lungo la rotta.



Per le navi nella condizione di traffico attuale è stato considerato un intervallo di tempo tra un passaggio ed il successivo pari a 12 ore; poiché i tempi di risospensione sopra indicati sono per tutte le categorie di navi significativamente inferiori a 12 ore, non si ha una sovrapposizione degli effetti, ossia il sedimento movimentato dal passaggio di una nave non rimane in sospensione fino al passaggio successivo (Figura 7-30 e Figura 7-32).

Questo è ben visibile in Figura 7-26 (per la stagione Autunnale/Invernale) e Figura 7-28 (per la stagione Primavera/Estiva) in cui è rappresentato a più elevato dettaglio l'andamento della concentrazione di sedimenti sospesi per un breve periodo di tempo (2 giorni) durante il quale si ha il passaggio di 5 navi.

Nel caso di traffico futuro la frequenza di passaggi risulta incrementata, per cui sono state aggiunte alcune navi rispetto al traffico attuale: in alcuni giorni l'intervallo di tempo tra due passaggi successivi si riduce a 6 ore (Figura 7-31 e Figura 7-33). La sovrapposizione degli effetti si verifica localmente (punto C) in una sola occasione (Figura 7-29) e solo nel semestre Estivo/Primaverile, in virtù delle peculiari condizioni idrodinamiche che mantengono in sospensione il sedimento per un tempo superiore a quello medio del semestre Autunnale/Invernale. I valori di concentrazione di sedimento sospeso rimangono comunque assai ridotti, dello stesso ordine di grandezza del valore minimo di tracciabilità per i sedimenti in mare.

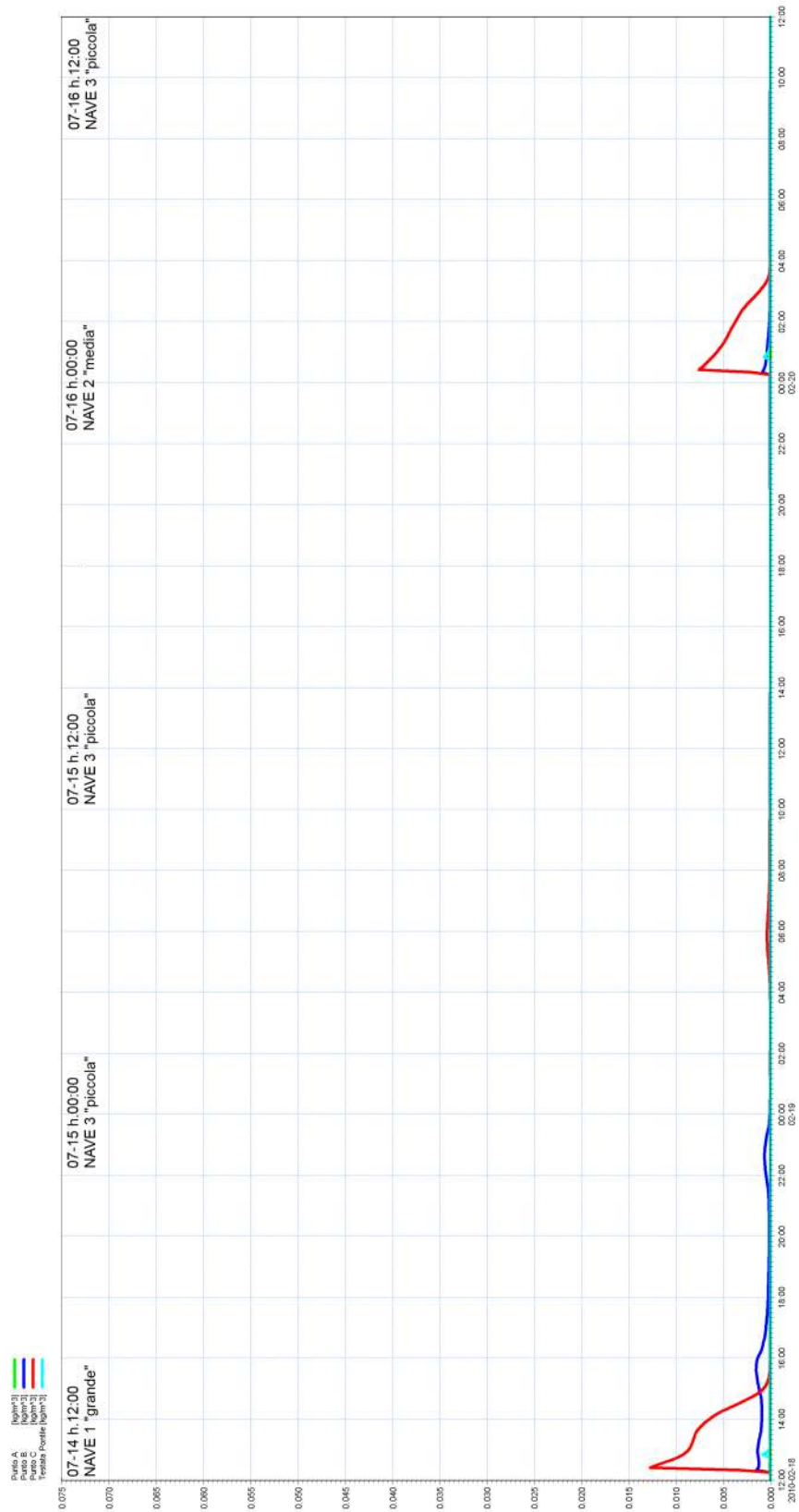


Figura 7-26 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante 2 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale, in condizioni di attuale traffico navale.

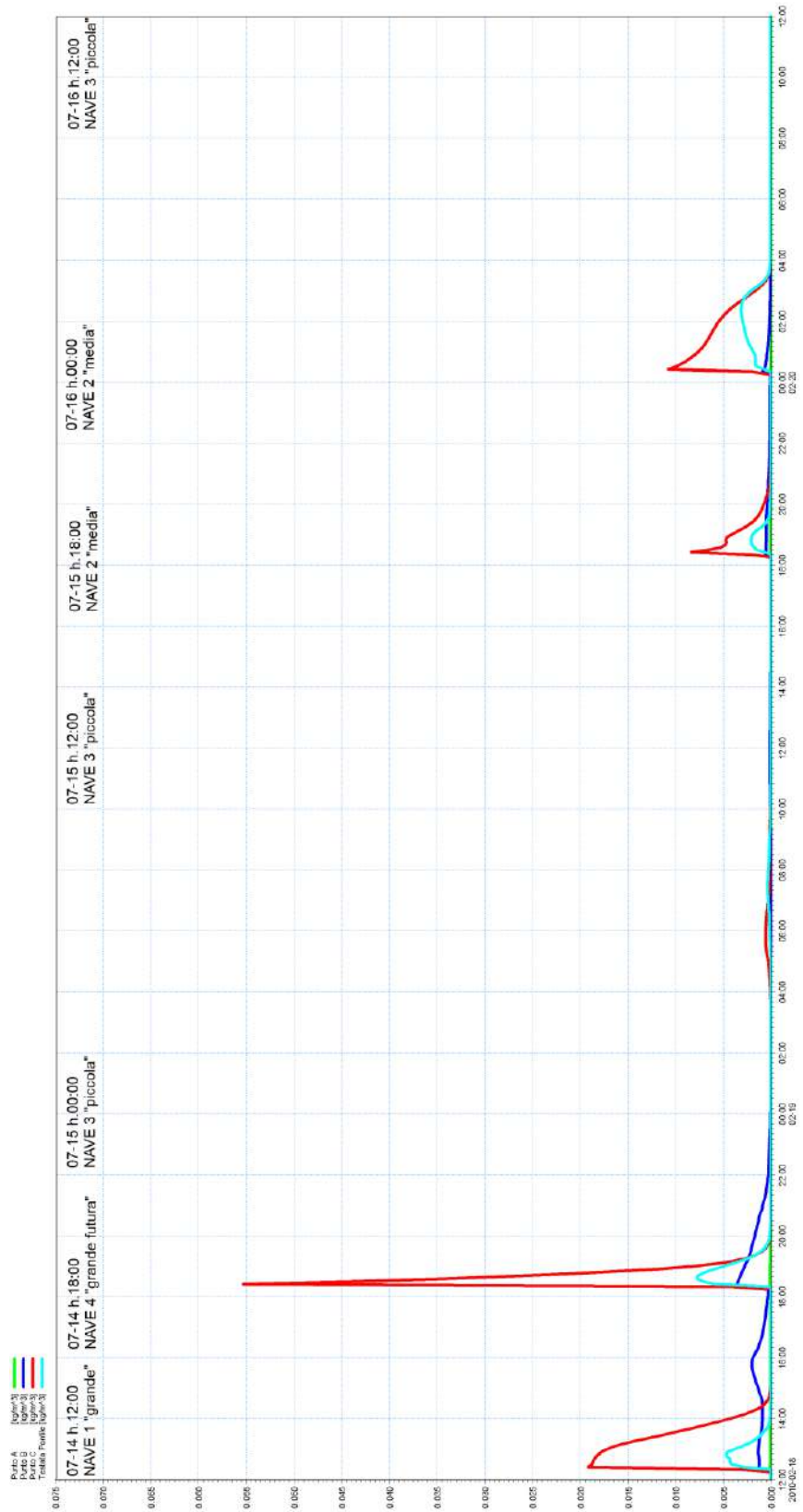


Figura 7-27 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante 2 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale, in condizioni di futuro traffico navale.

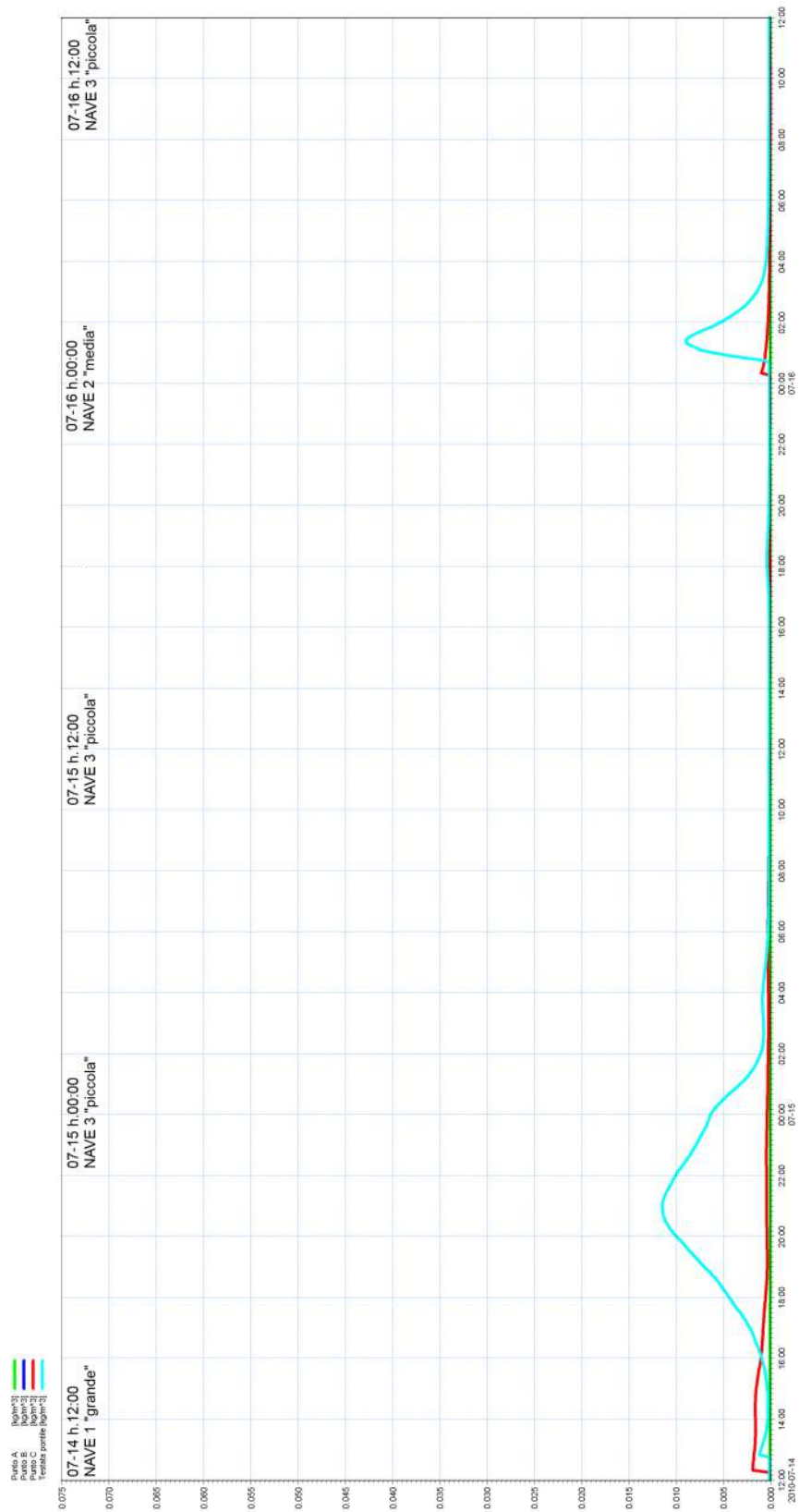


Figura 7-28 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante 2 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo, in condizioni di attuale traffico navale.

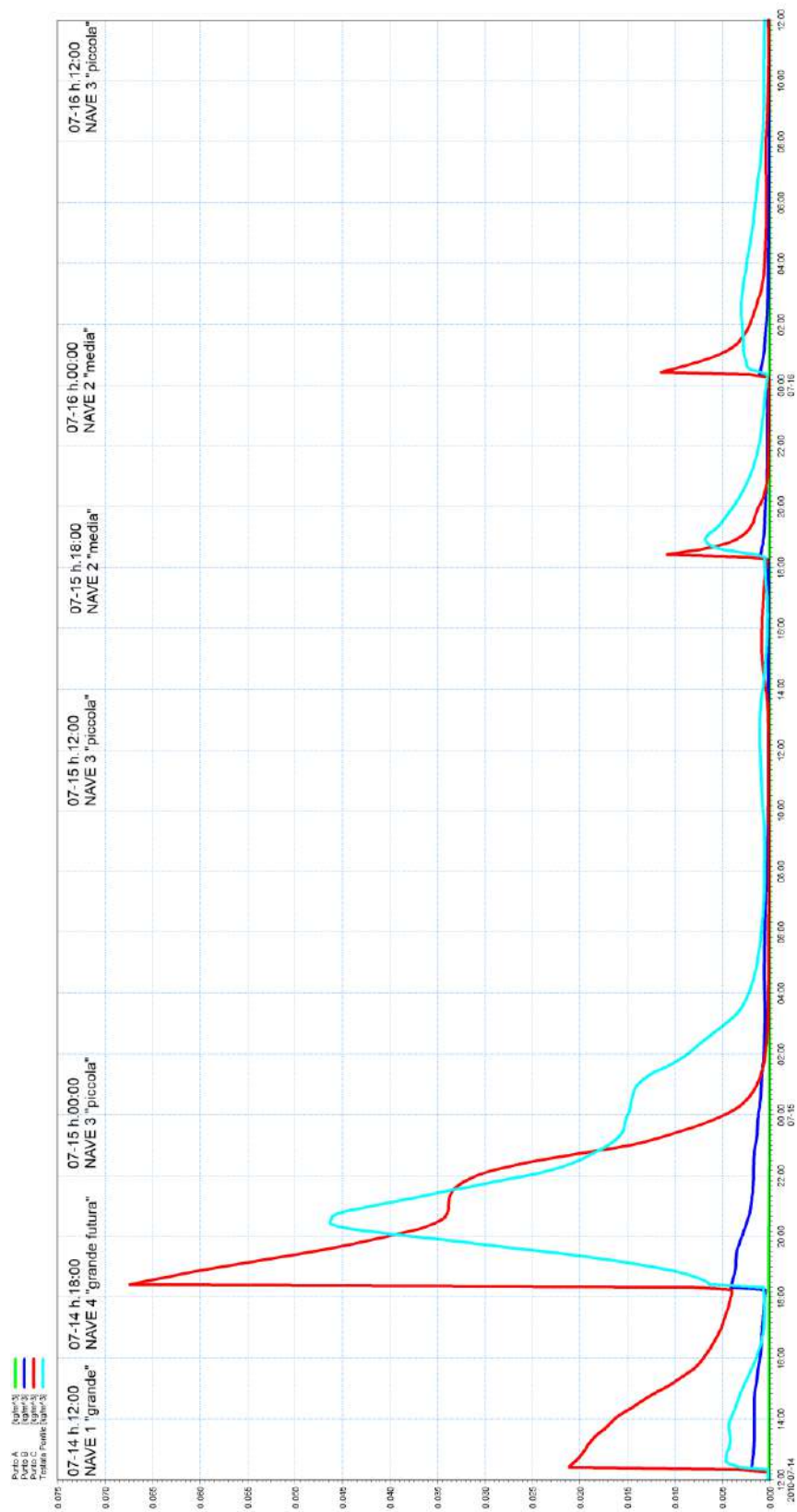


Figura 7-29 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante 2 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo, in condizioni di futuro traffico navale.

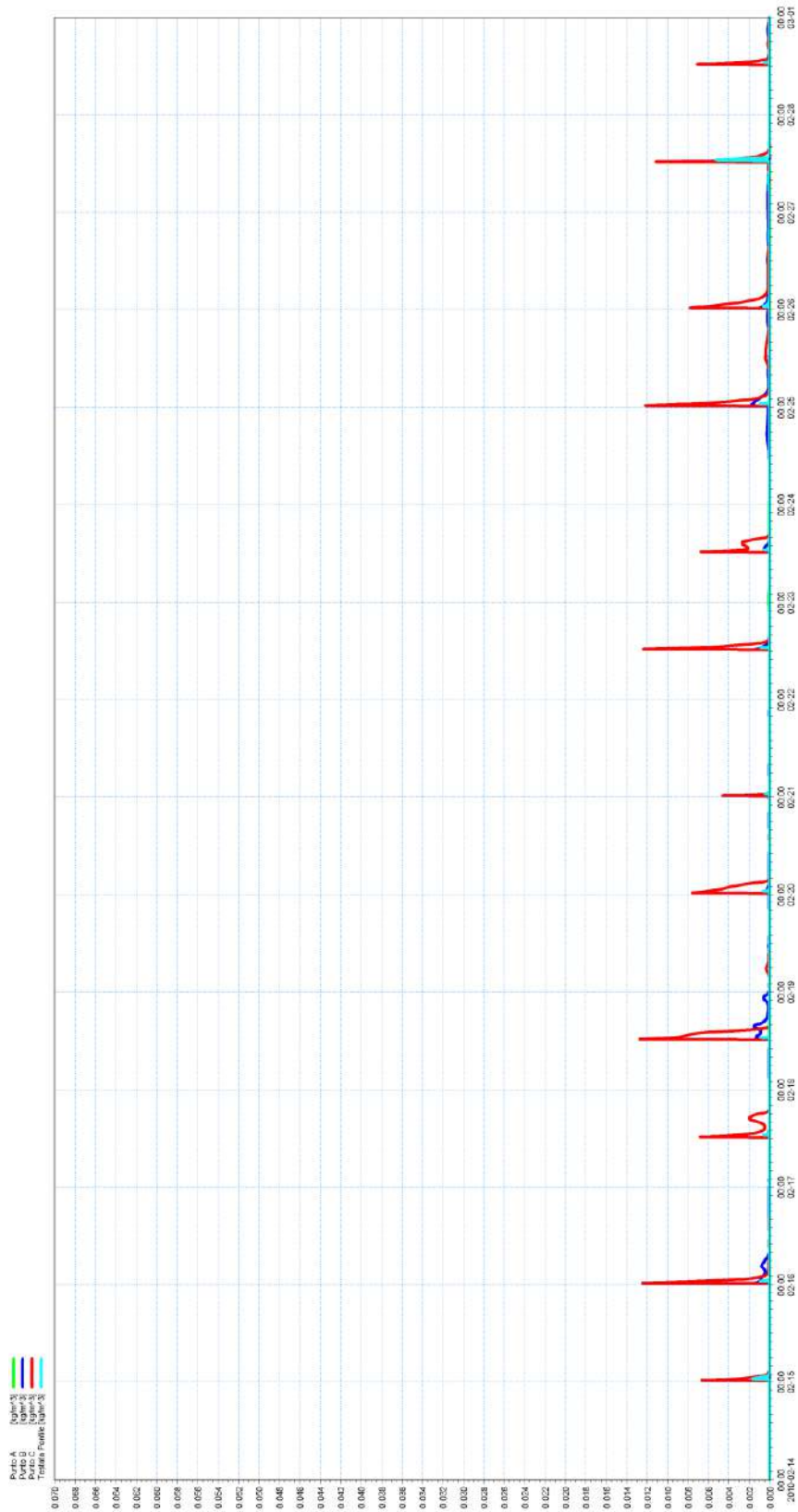


Figura 7-30 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale, in condizioni di attuale traffico navale.

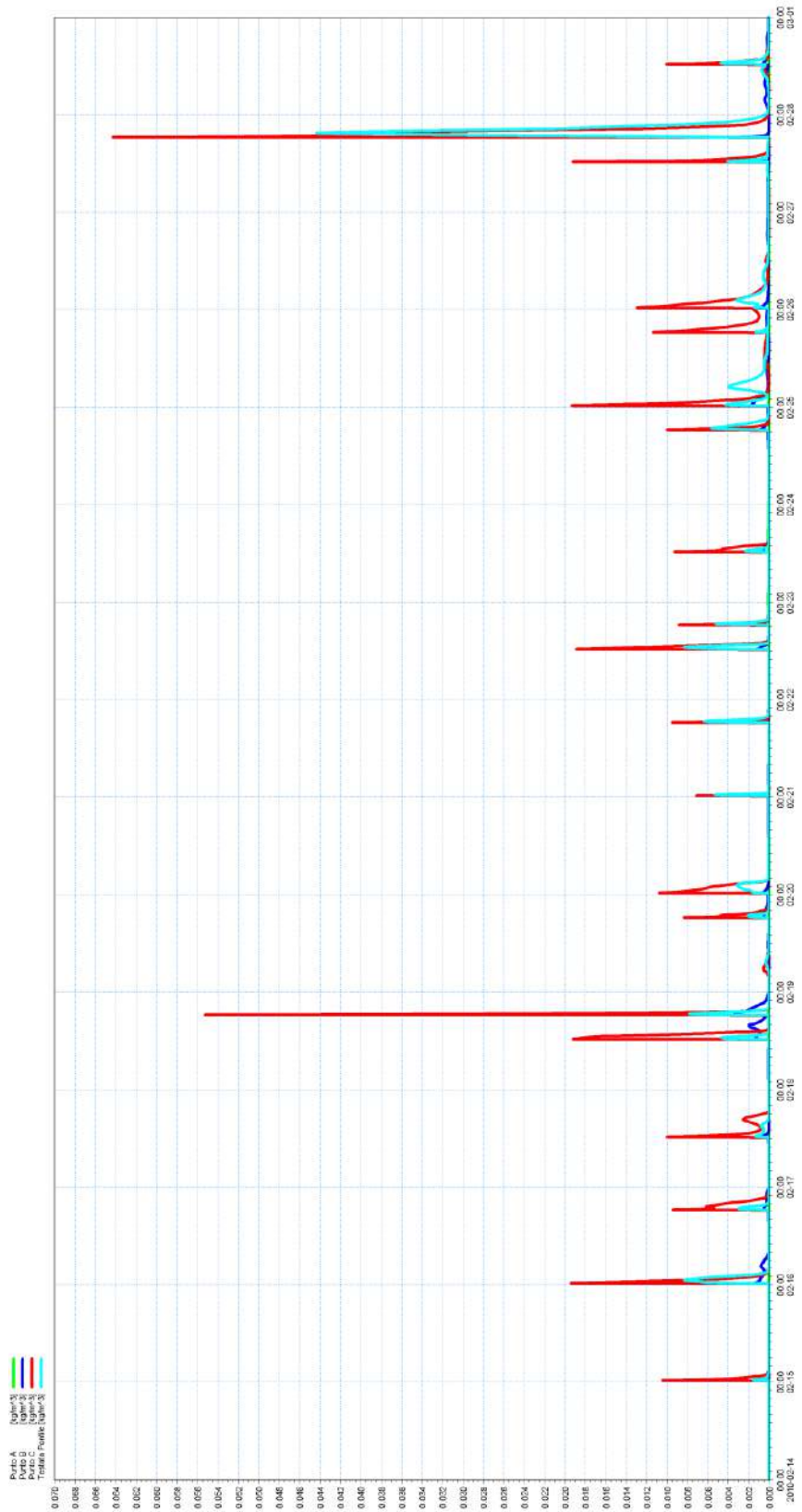


Figura 7-31 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Autunnale/Invernale, in condizioni di futuro traffico navale.

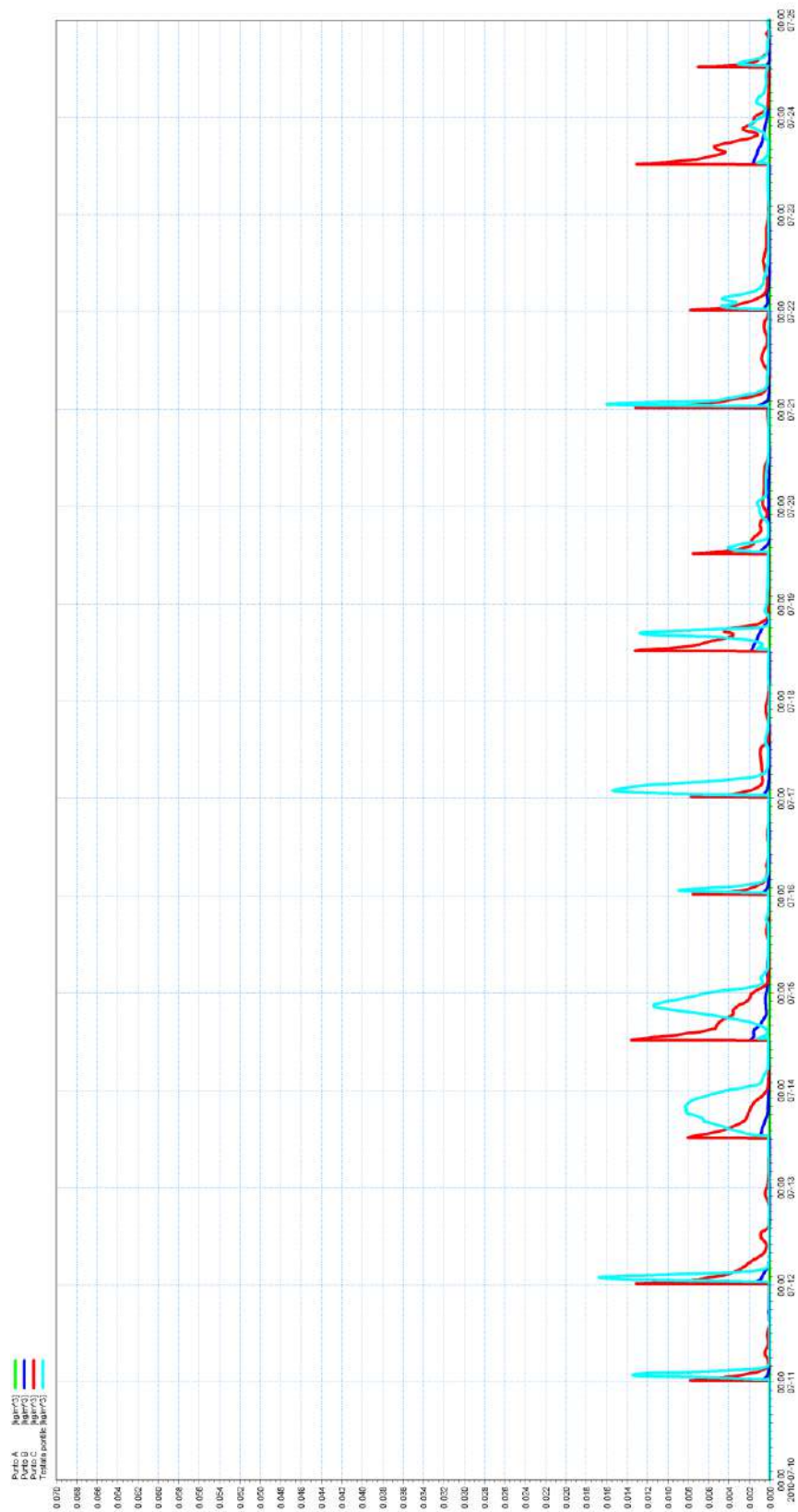


Figura 7-32 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo, in condizioni di attuale traffico navale.

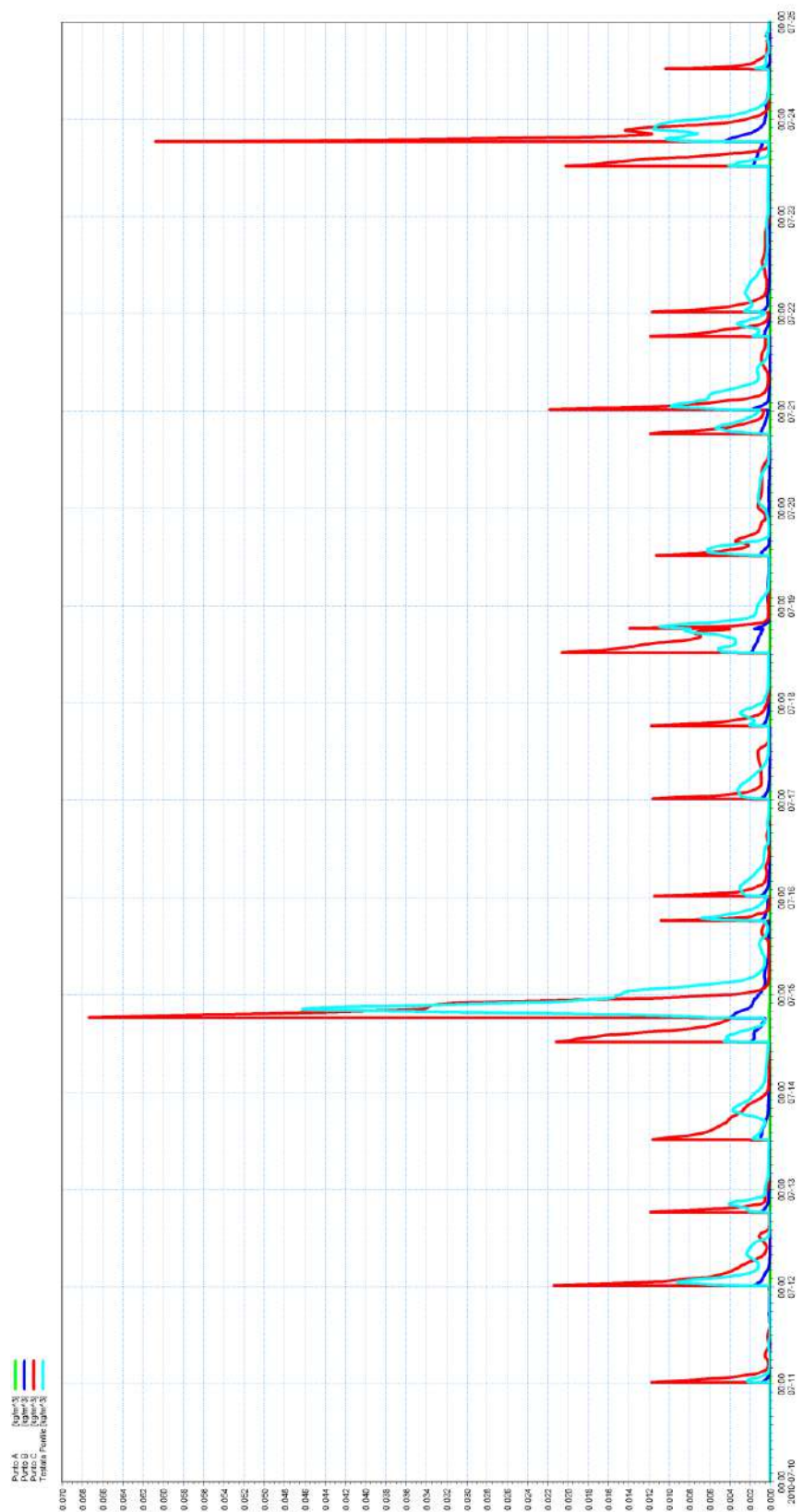


Figura 7-33 Serie temporale di concentrazione di sedimenti sospesi nel layer più profondo, nei 4 punti individuati come rappresentativi lungo la rotta delle navi (Punti A, B, C e testate del pontile), durante i 15 giorni di simulazione nel periodo Primavera/Estivo, in condizioni di futuro traffico navale.



8 CONCLUSIONI

Il presente studio è stato condotto al fine di analizzare l'impatto sulla dispersione dei sedimenti nell'ambiente marino indotto dal previsto incremento di traffico navale a seguito dell'ampliamento del pontile ENI e contestuale realizzazione di una piattaforma all'interno del porto industriale di Taranto (costa settentrionale del Mar Grande).

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, di concerto con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, ha già espresso parere favorevole circa la compatibilità ambientale del progetto, con prescrizioni (Decreto di Compatibilità Ambientale U.prot DVA_DEC-2011-0000573 del 27/10/2011). Il presente studio si pone l'obiettivo di adempiere alla Prescrizione della Commissione Tecnica per la Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS che riguarda il potenziale impatto sulla risospensione di sedimenti indotto dall'incremento di traffico navale a seguito della realizzazione delle strutture previste a supporto della raffineria ENI.

In particolare questo documento illustra l'analisi svolta mediante l'utilizzo di modellistica tridimensionale: il codice di calcolo applicato è MIKE 3 della famiglia MIKE, sviluppato dal DHI - Danish Hydraulic Institute, per la rappresentazione tridimensionale di correnti e concentrazioni di sedimenti sospesi.

L'analisi delle forzanti meteomarine ha messo in evidenza la presenza di un andamento stagionale per il regime dei venti e per le condizioni di stratificazione termica. Sono stati pertanto individuati due scenari rappresentativi di due diverse stagioni: quella Autunnale/Invernale e quella Primavera/Estiva. In particolare, è stato considerato un periodo reale di lunghezza 15 giorni, in modo da includere nella simulazione un ciclo completo di marea astronomica.

L'elaborazione dei dati batimetrici e sedimentologici del sito in studio ha permesso la costruzione della mesh di calcolo utilizzata per l'applicazione della modellazione tridimensionale; il dominio di calcolo considera l'intero Mar Grande e Mar Piccolo.

I risultati ottenuti con l'applicazione del modello idrodinamico MIKE 3 HD FM hanno messo in evidenza che le condizioni anemometriche giocano un ruolo fondamentale nella generazione del campo di corrente nel Mar Grande, in particolare per gli strati più superficiali. Infatti, in qualunque istante temporale, le velocità di corrente in superficie risultano maggiori rispetto a quelle negli strati profondi e presentano una direzione di propagazione fortemente correlata alla direzione di incidenza del vento. Gli strati più profondi risentono meno dell'azione del vento e l'influenza dell'oscillazione di marea risulta più significativa. **Il campo idrodinamico di base** che s'instaura all'interno del Mar Grande è inoltre fortemente influenzato dalla complessa morfologia della zona, dalla presenza delle infrastrutture portuali e dalla presenza di canali dragati. La complessità del sito induce un regime di corrente assai irregolare e non è pertanto agevole definire un andamento idrodinamico caratteristico. I risultati delle successive simulazioni del modello di dispersione dei sedimenti hanno evidenziato che le forzanti meteomarine considerate, combinazione di vento e marea meteorologica, non sono in grado di determinare tensioni tangenziali al fondo tali da mettere in sospensione i sedimenti.

Sulla base del contenuto del Decreto di Compatibilità Ambientale citato, ed in particolare della prescrizione della Commissione Tecnica per la Valutazione dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS, "punto 4. Sedimenti Marini", le simulazioni numeriche sono state effettuate tenendo conto dei seguenti aspetti:



- **caratteristiche effettive delle navi attraccanti al pontile.** Attraverso l'analisi del traffico navale nel porto di Taranto in un anno di riferimento (2011) sono state individuate le caratteristiche delle navi che operano nel corridoio di traffico a servizio del pontile ENI in termini di larghezza, lunghezza, pescaggio e tonnellaggio (DWT, Dead Weight Tonnage). Sulla base di questi dati sono state individuate 4 categorie di navi "equivalenti" considerate rappresentative del traffico complessivo. La suddivisione in categorie è avvenuta da un punto di vista dimensionale ed ad ogni categoria è stata attribuita una frequenza di passaggi rappresentativa dell'intero traffico navale, sia attuale che previsto a seguito del potenziamento del pontile ENI. La caratterizzazione delle navi rappresentative ha inoltre preso in considerazione le dimensioni e la potenza delle eliche;
- **caratteristiche dei sedimenti.** Le dimensioni medie dei sedimenti costituenti il fondale marino all'interno del Porto di Taranto sono state ricavate dalle analisi effettuate nell'area marina del Mar Grande da ISPRA, integrate con la carta dei sedimenti marini elaborata nell'ambito del progetto CoNISMa-SPICAMAR;
- **velocità di ricaduta sul fondale marino.** Sono state calcolate dal modello tridimensionale di dispersione dei sedimenti MIKE 3 MT FM di DHI, che simula l'effettiva "Fall Velocity" in funzione delle caratteristiche granulometriche del sedimento, dei campi di corrente forzanti e della concentrazione del sedimento in sospensione;

Le correnti indotte dal transito delle navi sono state simulate mediante l'applicazione di opportuna modellistica tridimensionale, ed in particolare del modello SHIPFLOW, che tiene conto delle reali caratteristiche delle navi. Questo modello ha fornito, per ciascuna tipologia di nave considerata ed in diversi punti all'interno del Mar Grande lungo la rotta della nave, il campo delle velocità che si generano al di sotto dello scafo al passaggio della nave (prevalentemente per l'effetto della scia non viscosa, *Bernoulli wake*).

Un'altra forzante che determina la potenziale risospensione dei sedimenti del fondale è riconducibile alla propulsione delle navi e dei rimorchiatori. L'analisi di questa ulteriore forzante ha messo in evidenza che le eliche dei rimorchiatori, in virtù delle profondità del fondale, non sono in grado di determinare alcuna risospensione dei sedimenti. Al contrario, l'effetto delle eliche delle navi in passaggio è risultato contribuire alla messa in sospensione dei sedimenti marini.

Le simulazioni di dispersione del sedimento sono state eseguite lungo le rotte previste per le navi trasportanti il greggio sia in avvicinamento che in allontanamento dal pontile fino all'imboccatura del Mar Grande, caratterizzata da profondità del fondale pari a circa 40 m e non oltre. I risultati delle simulazioni effettuate con il modello SHIPFLOW, infatti, hanno evidenziato che a profondità maggiori, al di fuori dell'imboccatura del Mar Grande (posta ad una distanza dal pontile ENI pari a circa 5 km), le velocità al fondo indotte dal passaggio delle navi sono trascurabili e pertanto non determinano la messa in sospensione dei sedimenti.

Lungo le rotte previste per le navi trasportanti il greggio la simulazione della dispersione dei sedimenti è stata effettuata con una discretizzazione spaziale dell'ordine dei 30 metri, a fronte di una scansione minima di 1 km citata nella prescrizione della Commissione VIA-VAS.

Per l'intera superficie del Mar Grande sono riportate la distribuzione spaziale della concentrazione massima di sedimenti sospesi nei due periodi di riferimento e le distribuzioni spaziali della probabilità di superamento di determinate soglie di



concentrazione di sedimento sospeso (2 mg/l, valore diffusamente utilizzato a livello internazionale quale valore soglia di tracciabilità per il plume di sedimenti sospesi in mare [1], [2] e 4 mg/l). Sono inoltre riportate le serie temporali di concentrazione di sedimenti sospesi in 4 punti rappresentativi lungo la rotta delle navi, al fine di determinare i tempi di ricaduta dei sedimenti sul fondo.

L'analisi ha messo in evidenza che il plume di sedimenti messi in sospensione dal passaggio delle navi rimane confinato alle profondità prossime al fondale; inoltre, la dispersione di sedimenti rimane circoscritta entro una distanza limitata rispetto alla rotta delle navi stesse, prossima ai 400m indicati nella prescrizione della Commissione VIA-VAS. Il rispetto di tale condizione garantisce conseguentemente che in ogni condizione ambientale la concentrazione di eventuali inquinanti contenuta nei sedimenti in sospensione al di fuori della fascia di rispetto sia trascurabile.

Non si ritiene pertanto necessaria una prescrizione sull'intervallo di transito di una nave rispetto all'altra né di ulteriori limitazioni alla velocità delle navi oltre quelle già comprese nell'Articolo 4 del "Regolamento di Sicurezza e dei Servizi Marittimi del Porto di Taranto" della Capitaneria di Porto di Taranto, che prescrive una velocità massima che le navi possono raggiungere durante la navigazione nei canali di separazione del traffico, nonché nella Rada, pari a 6 nodi o comunque pari alla velocità minima di manovra.

9 BIBLIOGRAFIA

- [1] Øresund Link Environmental Impact Assessment, DHI, 1990-2000.
- [2] Feedback Monitoring, Environmental Monitoring and Management, Øresund, Denmark, DHI, 1995-2000.
- [3] Portale del Servizio Mareografico Nazionale: www.idromare.it.
- [4] Banca dati del Sistema Difesa Mare (Si.Di.Mar.): www.sidimar.tutelamare.it.
- [5] Database CM-93, Norwegian C-MAP, release 2011.
- [6] Tool MIKE C-MAP, Danish Hydraulic Institute (DHI), release 2011.
- [7] MIKE 3 HD FM, Danish Hydraulic Institute (DHI), release 2011.
- [8] MIKE 3 MT FM, Danish Hydraulic Institute (DHI), release 2011.
- [9] Sito internet: www.MarineTraffic.com.
- [10] Hamill, G.A. and Johnston, H.T., 1989: Estimating the velocities in a ship propeller wash. PIANC Bulletin No. 89-46.
- [11] Beliaev, N. 1996. Scouring by Ship's Propeller St. Petersburg Technical University.
- [12] Basic Principles of Ship Propulsion, MAN Diesel & Turbo.
- [13] The stability of bottom and banks subjected to the velocities in the propeller jet behind ships, H.J.Verthey, DHI, Aprile 1983.



-
- [14] "Relazione tecnica – studio di traffico portale per la movimentazione di grezzi – ampliamento pontile, emissione per FEED Luglio 2011" (ENI S.p.a.).
 - [15] Piano di Gestione dei sedimenti nel Porto di Taranto, ISPRA, Settembre 2009.
 - [16] "Regolamento di Sicurezza e dei Servizi Marittimi del Porto di Taranto" Capitaneria di Porto – Guardia Costiera di Taranto, edizione 2011.



A L L E G A T I



A L L E G A T O A

Descrizione del modello MIKE 3



MIKE 3

Modello tridimensionale
per fiumi, laghi, aree
costiere ed offshore



1. PREMESSA	1
2. MODULO IDRODINAMICO (HD FM)	4
3. MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)	8

1. PREMESSA

MIKE 3 è un codice di calcolo professionale per la simulazione di correnti a pelo libero in tre dimensioni utilizzabile per lo studio di livelli e correnti, trasporto di sedimenti coesivi, qualità delle acque ed ecologia in fiumi, laghi, estuari, baie, aree costiere e mare aperto. MIKE 3 costituisce un pacchetto professionale unico per le attività di ingegneria e consulenza a supporto della progettazione, pianificazione e gestione in ambienti fluviali e marini a diverse scale spaziali. Il codice è il risultato di una continua attività di sviluppo e mantenimento da più di 20 anni, frutto di un'elevata esperienza conseguita in centinaia di applicazioni in tutto il mondo.

La scelta di utilizzare la versione 2D o 3D dipende da numerosi fattori. Ad esempio, in acque poco profonde, le condizioni di vento e di marea sono sufficienti a mantenere omogenee le caratteristiche della colonna d'acqua (salinità e temperatura). Nei corpi idrici stratificati, sia per problematiche legate alla densità o di altro tipo (ecologiche), può convenire l'utilizzo della versione tridimensionale.

I principali campi di applicazione sono:

- idrodinamica in acque profonde o stratificate;
- supporto alla progettazione e costruzione di opere ed impianti;
- studi di impatto ambientale;
- studi sulla circolazione costiera ed oceanica;
- analisi di laghi e grandi bacini artificiali;
- modellazione della dispersione di inquinanti;
- valutazione dell'impatto di gradienti di temperatura e salinità;
- analisi di aree complesse in cui siano rilevanti i fenomeni tridimensionali.

Il pacchetto MIKE 3 è disponibile in 3 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

SINGLE GRID (Griglia singola):

le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo.

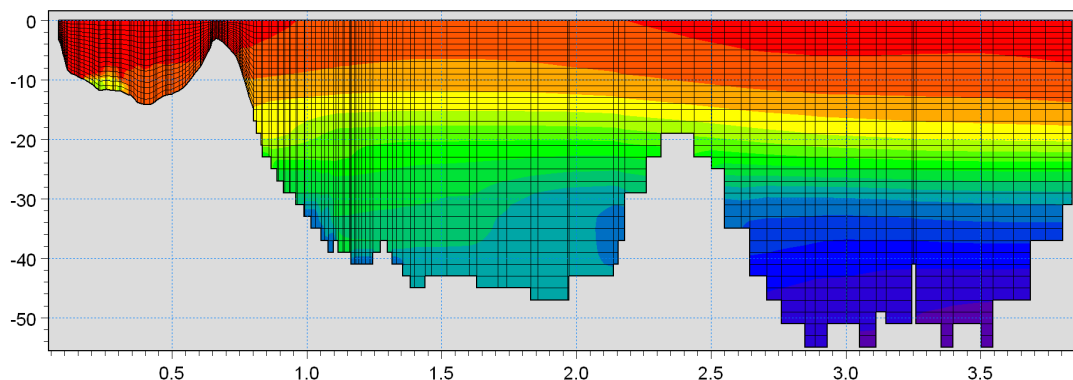
MULTIPLE GRID (Griglia multipla):

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.

Nelle versioni Griglia Singola e Griglia Multipla, le equazioni tempovarianti di continuità e del moto in tre dimensioni sono risolte mediante uno schema alle differenze finite su di una griglia rettangolare. Entrambe le schematizzazioni includono sia la versione idrostatica che non 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 di calcolo è discretizzato orizzontalmente attraverso una maglia non strutturata costituita da elementi triangolari o quadrangolari; per la dimensione verticale è possibile adottare una discretizzazione con struttura a layer di altezza costante o variabile in funzione della profondità.



Oltre a poter utilizzare campi di correnti e di vento, MIKE 3 può ricevere in input anche i risultati di un qualunque modulo d'onda di MIKE 21.

Essendo in grado di esaminare le correnti indotte da gradienti di densità generati da non uniforme distribuzione di salinità e temperatura, MIKE 3 risulta particolarmente adatto per studi di impatto ambientale in funzione di diversi tipi di rilasci. Attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 3 consente inoltre di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti reagenti.

MIKE 3 risulta ideale anche per il *downscaling* di modelli oceanografici ad ampia scala fino ad applicazioni costiere ad alta risoluzione. La risoluzione del modello ad ampia scala e la batimetria possono essere ben approssimate lungo i contorni per poi, gradatamente, imporre risoluzioni via via più elevate procedendo verso la costa, utilizzando l'approccio a maglia flessibile.

Breve descrizione dei moduli MIKE 3	
Modulo	Descrizione
PP (Pre and Post Processing)	Il modulo PP è l'ambiente di lavoro di base e fornisce un insieme di tool per l'importazione e processamento dei dati di input nonché l'elaborazione degli output e la preparazione di immagini ed animazioni. PP è necessario per tutti i moduli di MIKE 3.
HD (Hydrodynamics)	Il modulo idrodinamico simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. HD consente la simulazione di un'ampia gamma di fenomeni idraulici.
TR (AD) (Advection – Dispersion)	Il modulo simula il trasporto, dispersione e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. Può essere utilizzato per studi di dispersione di soluti non reagenti (o caratterizzati da decadimento dipendente dal solo fattore tempo) o per studi di eccesso di temperatura o salinità.
ST (Sediment Transport)	E' il modulo avanzato per il trasporto solido di materiale non coesivo generato da correnti o dall'azione combinata di onde e correnti. ST include svariate formulazioni di trasporto e può essere utilizzato indistintamente in campo marittimo-costiero o fluviale.
MT (Mud Transport)	Modulo multifrazione e multistrato in grado di descrivere l'erosione, il trasporto e la rideposizione di materiale coesivo e di sedimenti misti coesivi e non. Particolarmente adatto per studi di dispersione di sedimento conseguenti a dragaggi dei fondali.
Oil Spill	Simula la diffusione e dispersione di sostanze oleose in corpi idrici, considerandone i processi di decadimento.
PA/PT (Particle Tracking)	Simula il trasporto e decadimento di sostanze disciolte o sospese in acqua. E' utilizzato in particolare per analisi di rischio, versamenti accidentali e monitoraggio delle attività di dragaggio. Utilizza un approccio Lagrangiano.
EcoLab	Modulo avanzato per studi di qualità delle acque ed idroecologia in presenza di reazioni, decadimenti complessi, eutrofizzazione e trasporto di metalli pesanti.

2. MODULO IDRODINAMICO (HD FM)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 3, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. MIKE 3 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.

In particolare, il modulo HD di MIKE 3 permette di tenere in considerazione i seguenti aspetti:

- flooding and drying;
- gradienti di densità;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/evaporazione;
- moto ondoso (attraverso i radiation stress);
- apporti puntuali (pozzi e sorgenti).

Il modulo idrodinamico, utilizzato assieme al modulo di trasporto TR, è utilizzato per simulare la dispersione di sostanze disciolte o in sospensione. Analogamente, il modulo idrodinamico può essere accoppiato al modulo di qualità delle acque ed idro-ecologia (ECO Lab) per gli studi ed applicazioni nel settore ecologico.

Inoltre, il modulo HD può essere utilizzato insieme ai moduli Sand Transport e Mud Transport per simulare il trasporto rispettivamente di materiale non coesivo e coesivo.

Nelle aree costiere, laddove il trasporto è in gran parte dominato dalle correnti indotte dal moto ondoso, il modulo idrodinamico può essere forzato dai campi di radiation stress ottenuti mediante l'utilizzo del modulo SW (Spectral Wave).

EQUAZIONI DEL MODELLO

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.

Il modello risolve le equazioni di continuità, quantità di moto, temperatura, salinità e densità. La densità non dipende dalla pressione ma dai soli gradienti di temperatura e salinità. Per il modello 3D, la superficie libera è modellata utilizzando l'approccio di trasformazione delle coordinate sigma o combinato sigma-z. A seguire si presentano in coordinate cartesiane, le equazioni utilizzate.

Equazione di continuità:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Equazione della quantità di moto lungo la componente x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

Equazione della quantità di moto lungo la componente y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} = fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

Il calcolo degli scambi di temperatura (T) e di salinità (s) è modellato secondo le equazioni generali del trasporto:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + \hat{H} + s_s S$$

I termini di diffusività orizzontale sono definiti da:

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

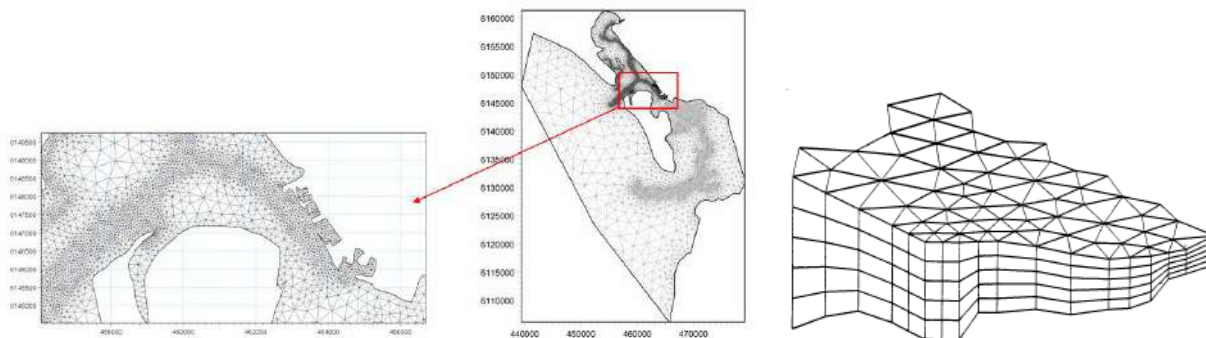
Le equazioni per l'idrodinamica bidimensionale sono ottenute integrando le equazioni lungo la verticale. Possono essere considerati anche gli scambi termici con l'atmosfera.

Symbol list

t	time
x, y, z :	Cartesian coordinates
u, v, w :	flow velocity components
T, s :	temperature and salinity
D_v :	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
\hat{H} :	source term due to heat exchange with atmosphere
S :	magnitude of discharge due to point sources
T_s, s_s :	temperature and salinity of source
F_T, F_s, F_c :	horizontal diffusion terms
D_h :	horizontal diffusion coefficient
h :	depth

TECNICHE DI SOLUZIONE

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.

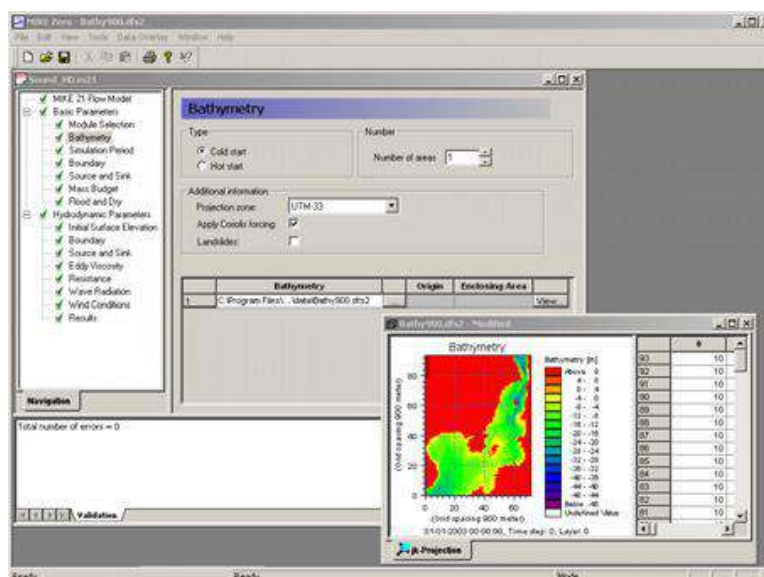


Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Nel modello 2D gli elementi possono essere triangolari o quadrilateri.

INPUT AL MODELLO

Il modello MIKE 3 HD 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).

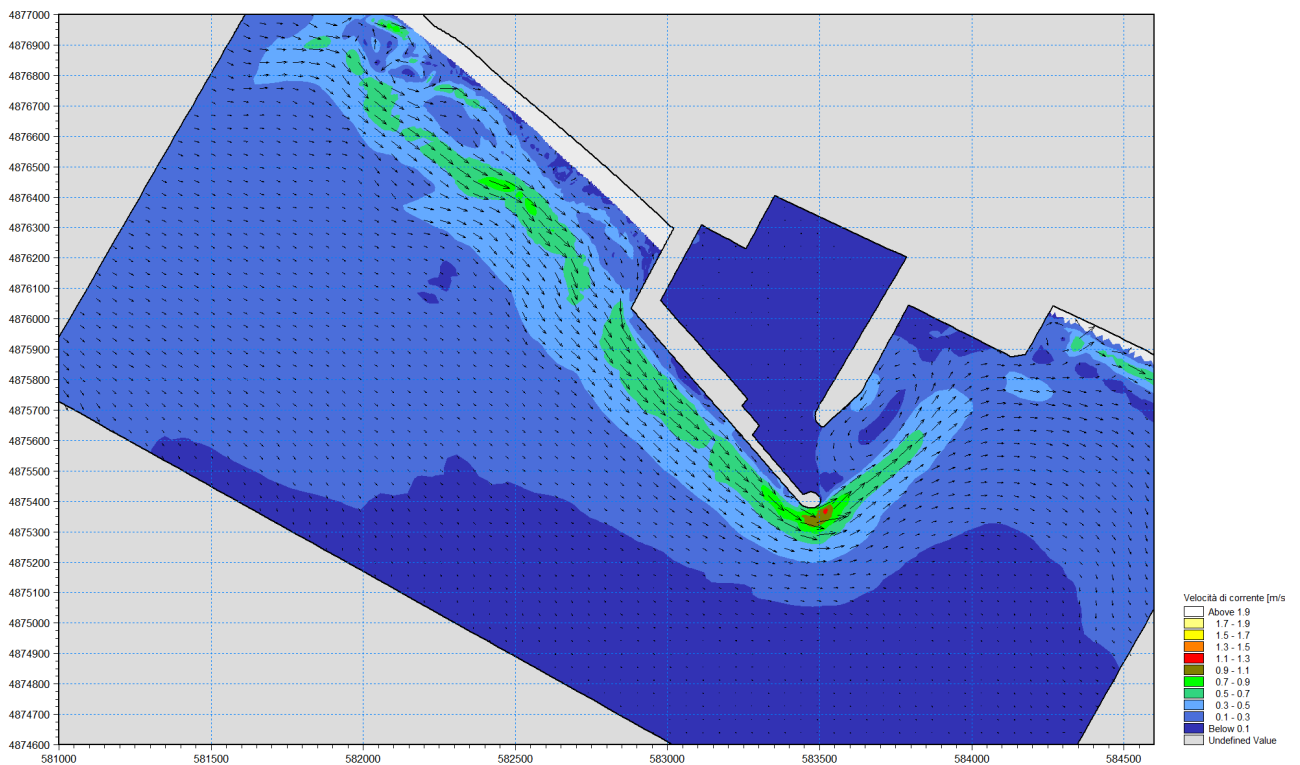


OUTPUT DEL MODELLO

I risultati di un'applicazione modellistica tridimensionale 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 animazioni da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo tridimensionale permette di indagare per l'intera colonna d'acqua non solo l'intensità delle correnti ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Per ciascuna cella/elemento di calcolo (griglia classica o flessibile), 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.



3. MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)

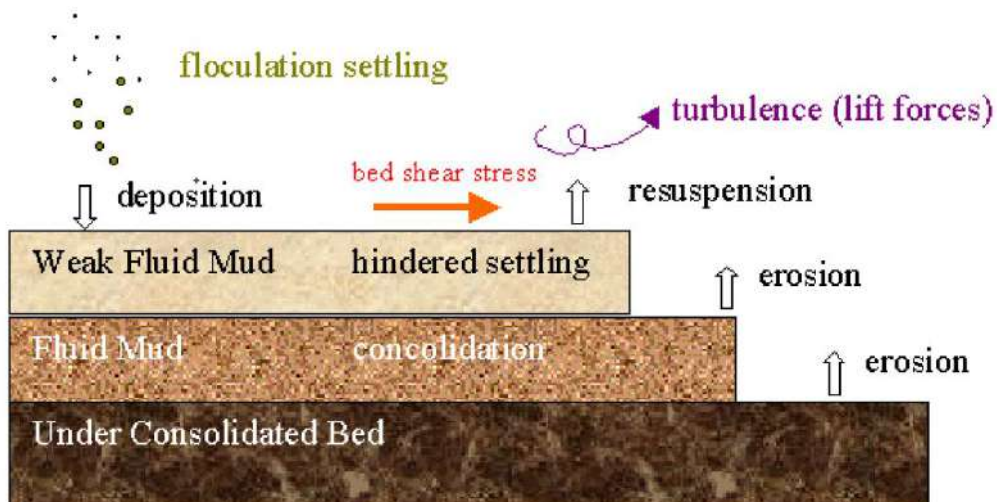
MT (Mud Transport) è il modulo di MIKE 3 che descrive l’erosione, il trasporto e la deposizione di limi e misture sabbie/limi sotto l’azione di correnti e di onde.

Il modulo MT calcola il trasporto solido sulla base delle simulazioni idrodinamiche effettuate con il modulo HD ed eventualmente delle simulazioni di moto ondoso effettuate con SW. Per effettuare simulazioni a fondo mobile è possibile includere il feedback degli effetti dell’idrodinamica sulla batimetria utilizzando i moduli HD, SW ed MT in maniera accoppiata.

Il Modulo MT può essere applicato in svariati casi, laddove si verificano fenomeni di erosione, deposizione e dispersione di sedimenti fini. In particolare: per studi di trasporto solido per materiali coesivi o per misture sabbie/limi in estuari o aree costiere, nelle quali sono importanti gli aspetti ambientali e può facilmente diminuire la qualità dell’acqua; insabbiamento nei porti, canali navigabili, fiumi, invasi; studi di dragaggio di fondali e del relativo plume.



E’ possibile includere in MIKE 3 MT: simulazione di frazioni multiple di sedimenti; simulazione di diversi “bed layers”; flocculazione; inclusione di sedimenti non-coesivi; bed shear stress risultanti dall’azione combinata onde-correnti; update morfologico del fondale; consolidamento;



EQUAZIONI DEL MODELLO

Le equazioni del modulo MT sono basate essenzialmente su *Mehta et al.* (1989), che riguardano il movimento del sedimento fine in un fluido e la sua interazione con il fondo. L'azione del moto ondoso è introdotta mediante il "bed shear stress". L'equazione del trasporto è descritta di seguito (*Teisson* 1991):

$$\frac{\partial c^i}{\partial t} + \frac{\partial uc^i}{\partial x} + \frac{\partial vc^i}{\partial y} + \frac{\partial wc^i}{\partial z} - \frac{\partial w_s c^i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_{Tx}}{\sigma_{Tx}^i} \frac{\partial c^i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_{Ty}}{\sigma_{Ty}^i} \frac{\partial c^i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\nu_{Tz}}{\sigma_{Tz}^i} \frac{\partial c^i}{\partial z} \right) + S^i$$

Symbol list

t	time
x, y, z	Cartesian co-ordinates
u, v, w	flow velocity components
D_v	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
c^i	the i 'th scalar component (defined as the mass concentration)
w_s^i	fall velocity
σ_{Tx}^i	turbulent Schmidt number
ν_{Tx}	anisotropic eddy viscosity
S^i	source term

La velocità di sedimentazione, descritta dal termine $\frac{\partial w_s c^i}{\partial z}$, può essere specificata come un valore costante se la concentrazione del sedimento risulta inferiore ad un determinato valore ($c < c_{floc}$). Al di sotto di tale valore di concentrazione, la flocculazione può essere ritenuta trascurabile e pertanto si può applicare un valore costante della velocità di sedimentazione ($w_s = k$).

Nel momento in cui $c > c_{floc}$, il sedimento inizia a flocculare e la velocità di sedimentazione viene descritta dalla relazione seguente (*Burt* 1986):

$$w_s = k \times \left(\frac{c}{\rho_{sediment}} \right)^\gamma$$

laddove k è una costante, $\rho_{sediment}$ è la densità del sedimento e γ è un coefficiente che regola la sedimentazione.

Nel momento in cui viene raggiunta una concentrazione di sedimenti relativamente alta ($c > c_{hindered}$) i fiocchi di sedimento iniziano ad ostacolarsi l'un l'altro, per tale motivo la velocità di sedimentazione si riduce. Tale riduzione è implementata nel codice secondo le formulazioni di *Richardshon* e *Zaki* (1954) e *Winterwerp* (1999).

La Deposizione è descritta nel modo seguente (Krone, 1962):

$$S_D = w_s c_b p_D$$

Dove w_s è la velocità di sedimentazione, c_b è la concentrazione di sedimento sospeso al fondo e p_D è espressione della probabilità di deposizione:

$$p_D = 1 - \frac{\tau}{\tau_{cd}}$$

L'erosione è trattata nel modello in due modi differenti, in funzione della consistenza del fondale. Per fondali consolidati, il tasso di erosione S_E viene definito nel modo seguente (Partheniades, 1965):

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_c} - 1 \right)^n$$

Dove E è l'erodibilità, n rappresenta la potenza dell'erosione, τ_b è il "bed shear stress" mentre τ_c è il "bed shear stress" critico.

Nel caso di fondale parzialmente consolidato il tasso di erosione viene definito secondo Parchure e Mehta (1985):

$$S_E = E \left(e^{\alpha \sqrt{\tau_b - \tau_c}} \right)$$

Nel caso simulazioni a lungo termine la consolidazione di sedimenti depositati può ricoprire un ruolo importante. Nel caso in cui si utilizzino diversi "bed layers" è possibile applicare un tasso di transizione (T_i) che consente ai sedimenti degli strati superiori di passare agli strati inferiori (consolidamento).

TECNICHE DI SOLUZIONE

La soluzione delle equazioni del trasporto è strettamente legata alla soluzione delle condizioni idrodinamiche. La discretizzazione spaziale delle equazioni di base viene effettuata utilizzando un approccio ai volumi finiti. Il dominio spaziale è discretizzato da una suddivisione del continuo in celle non sovrapposte. Nel piano orizzontale viene utilizzata una mesh non strutturata mentre nel dominio verticale (nel caso di modello 3D) viene utilizzata una mesh strutturata. L'integrazione temporale è effettuata utilizzando uno schema esplicito.

INPUT AL MODELLO

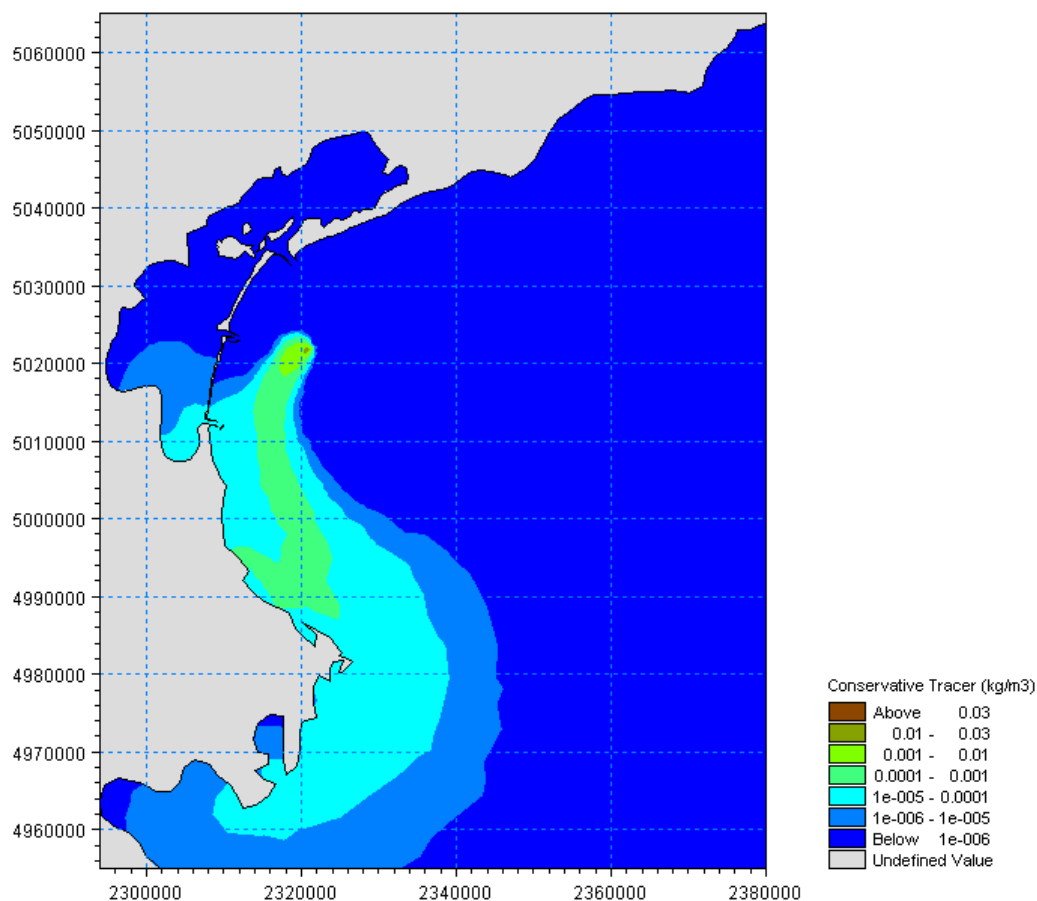
Premesso che la dinamica dei sedimenti coesivi è tale da richiedere sempre un grande lavoro di calibrazione, i principali parametri da inserire in input sono i seguenti:

- velocità di sedimentazione;
- "shear stress" critico per l'erosione e la deposizione;
- caratteristiche dell'erosione (coefficienti di erosione e potenza);
- concentrazioni dei sedimenti ai contorni aperti;
- coefficienti di dispersione;
- spessore dei "bed layers";
- coefficienti di transizione tra i layers;

- densità dei "bed layers"

OUTPUT DEL MODELLO

I principali output che fornisce il modello sono: concentrazioni di sedimenti sospesi nel tempo e nello spazio; spessori o massa di sedimenti che costituiscono i "bed layers"; tasso di sedimentazione netta, ecc..





A L L E G A T O B

Rapporto tecnico modello applicazione SHIPFLOW

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

INDICE

1.	EXECUTIVE SUMMARY	2
2.	PREMESSA E SCOPO DELLO STUDIO	3
3.	DIMENSIONI PRINCIPALI DELLE CARENE UTILIZZATE NELLE SIMULAZIONI	5
4.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO: PROFONDITA' DEL MARE SCELTE PER LE SIMULAZIONI	7
5.	DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE DEL MOTO ONDOSO E DEL FLUSSO INDOTTO DA UN CARENA CHE SI MUOVE A VELOCITA' COSTANTE IN MARE CALMO	10
6.	SET-UP DELLE SIMULAZIONI	12
7.	BOUNDARY LAYER	14
8.	FORMATO DEI DATI DI OUTPUT CONSEGNATI	16
9.	RISULTATI E BREVE DISCUSSIONE	17
10.	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	33

1. EXECUTIVE SUMMARY

La società Società DHI Italia ha incaricato il Dipartimento di Ingegneria ed Architettura dell'Università degli Studi di Trieste di effettuare uno studio, tramite modellazione matematica, del campo idrodinamico indotto dalle navi nel Mar Grande di Taranto durante il loro transito nel canale di traffico da/verso i pontili del terminale ENI.

In base alla statistica del traffico navale esistente e di quello aggiuntivo indotto dal nuovo pontile in progetto, sono state prese in considerazione 4 classi di navi di dimensioni diverse in 3 profondità del mare caratteristiche all'interno del Mar Grande lungo il corridoio di traffico verso il terminale ENI, alle velocità compatibili con le ordinanze della Capitaneria di Porto. Inoltre è stata eseguita una simulazione singola nella condizione di acque libere e sufficientemente profonde (fuori dal Golfo) destinata al confronto con i risultati ottenuti nei punti interni del Golfo in acque a profondità limitata.

Dai risultati delle simulazioni è emerso quanto segue:

- alle velocità considerate e per le dimensioni delle navi utilizzate in questo studio (Froude number), la formazione ondosa è poco rilevante o pressoché trascurabile; si vede chiaramente un treno d'onde, per altro molto corte e quindi con scarsa propagazione verticale, a poppa della nave solo per le carene più corte considerate le quali a parità di velocità assoluta presentano un numero di Froude più alto;
- il flusso è dominato dalla scia non viscosa (Bernoulli wake) con valori assiali al fondo che raggiungono un massimo (in valore assoluto) di 0.6 m/s ed un valore di oltre 0.7 m/s del modulo della velocità per la carena più grande e nella condizione di fondale più basso tra quelli presi in esame.

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

2. PREMESSA E SCOPO DELLO STUDIO

Con riferimento al contratto del 25/07/2012 tra la Società DHI Italia (di seguito indicata con "DHI") ed il Dipartimento di Ingegneria ed Architettura dell'Università degli Studi di Trieste (di seguito indicato con "DIA"), la società DHI ha incaricato il DIA di effettuare uno studio, tramite modellazione matematica, del campo idrodinamico indotto dalle navi nel Mar Grande di Taranto durante il loro transito nel canale di traffico da/verso i pontili del terminale ENI.

Tale studio si inquadra in un più ampio studio di impatto ambientale condotto da ENI R&M, denominato Progetto TEMPA ROSSA, finalizzato anche alla stima dell'effetto indotto nel Golfo di Taranto dall'incremento del traffico navale da/per il nuovo terminale ENI in progetto.

Lo scopo dello studio condotto dal DIA è pertanto quello di fornire al DHI il campo idrodinamico che "accompagna" la nave lungo rotte e con velocità prestabilite all'interno del Mar Grande. Tale campo idrodinamico verrà poi utilizzato da DHI come forzante per la modellazione della sospensione di sedimenti dal fondo.

Lo studio riguarda 4 classi di navi di dimensioni diverse, compatibili secondo la statistica del traffico navale esistente e di quello aggiuntivo indotto dal nuovo pontile. Sono state prese in esame 3 profondità caratteristiche all'interno del Mar Grande corrispondenti ad altrettante posizioni lungo il corridoio di traffico da/verso il terminale ENI. Inoltre è stata eseguita una simulazione singola nella condizione di acque libere e sufficientemente profonde (fuori dal Golfo) destinata al confronto con i risultati ottenuti nei punti interni del Golfo in acque a profondità limitata.

In totale quindi sono stati analizzati 13 casi.

Questo RAPPORTO TECNICO riassume la metodologia adottata, i dati di riferimento utilizzati per condurre lo studio ed i risultati conseguiti.

I risultati numerici relativi al campo di moto del fluido attorno alla generica carena sono stati predisposti in un formato alfanumerico concordato tra le parti e consegnati al DHI per via informatica.

I documenti di riferimento per questo studio sono:

- A. ENI R&M – Raffineria di Taranto - Studio di Impatto Ambientale – Progetto di potenziamento delle strutture per lo stoccaggio e la spedizione del greggio Tempa Rossa – Richiesta di integrazioni 1857 – Quadro di riferimento – 3 Zonizzazione dei fondali in un intorno appropriato in relazione agli interventi previsti sul pontile - URS Italia - Dicembre 2010 [1].
- B. ENI R&M - Raffineria di Taranto - Studio di Impatto Ambientale - Tempa Rossa - Progetto di adeguamento delle strutture della Raffineria di Taranto per lo stoccaggio

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

e la movimentazione del greggio proveniente dal giacimento denominato Tempa Rossa - Integrazioni presentate su base volontaria - URS Italia - Giugno 2011 [2].

C. CORPO PILOTI DEL PORTO DI TARANTO – Corridoi e spazi di manovra per ormeggi agli accosti del pontile ENI - Comunicazione ad ENI SpA del 19/04/2011 [3].

Per l'elenco completo dei documenti e delle pubblicazioni si rimanda alla Bibliografia ([§10](#)).

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

3. DIMENSIONI PRINCIPALI DELLE CARENE UTILIZZATE NELLE SIMULAZIONI

Le carene adottate per le simulazioni, con particolare riguardo alle dimensioni principali, sono state concordate tra le parti sulla base della statistica delle navi attualmente in transito da/per il terminale ENI e sulla previsione delle caratteristiche principali delle navi che potranno accedere al nuovo pontile in progetto.

Si è concordato di adottare 4 classi di navi, di dislocamento e dimensioni principali che rientrano nella statistica esistente e nelle proiezioni future dette.

La Tabella 3.1 riassume i dati principali.

Tabella 3.1

	Lpp (m)	Beam (m)	Draft laden (m)	Draft from/to berth (m)	DWT (ton)
Ship1	183	32	10.9	10.0	45800
Ship2	150	24	10.0	10.0	30000
Ship3	134	24	5.8	5.8	16000
Ship4	230	40	14.0	10.0	80000

Per quanto riguarda la geometria delle navi, si è deciso di utilizzare un'unica geometria di riferimento, adattandola per affinità (3 scale diverse nelle 3 direzioni cartesiane classiche) alle 4 classi di cui sopra.

La geometria di riferimento scelta corrisponde alla carena KVLCC2 (Kriso Very Large Crude Carrier) che nel settore Architettura Navale rappresenta una forma geometrica su cui, a livello internazionale, sono stati svolti numerosi benchmarks CFD e misure sperimentali integrali e puntuali.

La carena è disponibile in formato IGES al sito <http://www.göthenburg2010.org/index.html> [4]. Per trasformare questo formato con quello utilizzato per le simulazioni svolte in questo studio, la geometria è stata manipolata attraverso il software ParCAD, interamente sviluppato presso UniTS [5]. Si tratta di un software che consente di rappresentare forme anche complesse di carena in modo parametrico, consentendo quindi variazioni importanti delle forme attraverso l'uso di un numero limitato di parametri. Nel caso specifico, la manipolazione della carena si limita alla divisione in blocchi logici della superficie ed all'esportazione delle informazioni di tali blocchi nel formato di input utilizzato per le simulazioni.

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

La Figure 3.1 mostrano una rappresentazione schematica della suddivisione in 7 blocchi logici della superficie di carena, rappresentati in questo caso dai diversi colori della superficie stessa.

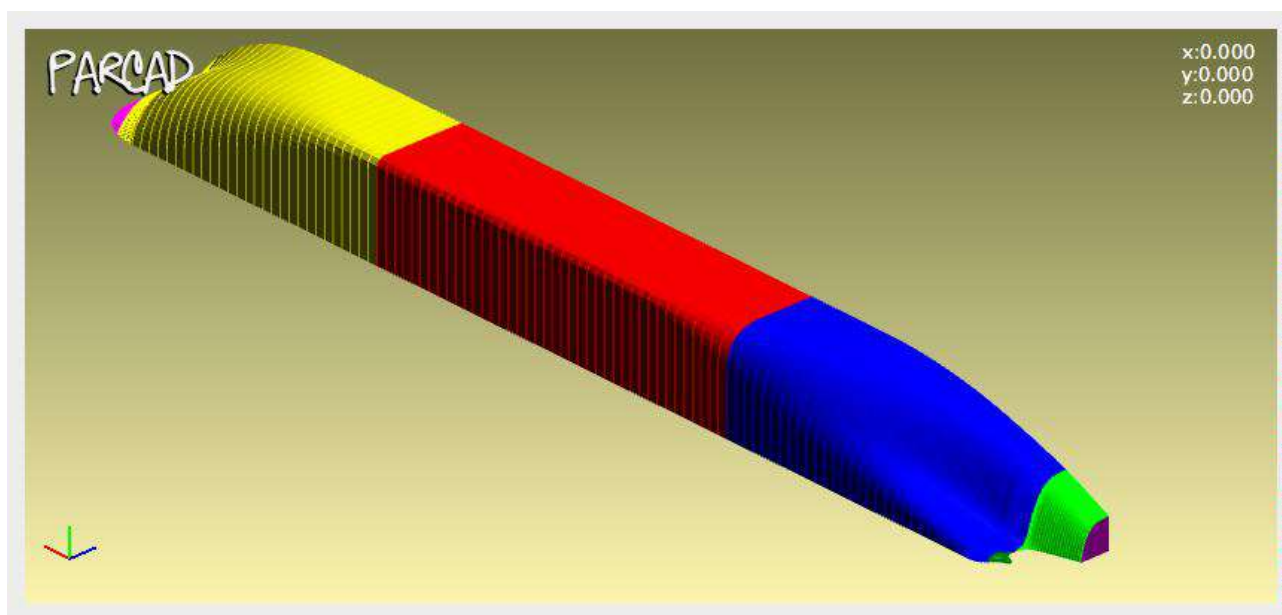


Figura 3.1 – Rappresentazione schematica della suddivisione in 7 blocchi logici della superficie di carena, rappresentati in questo caso dai diversi colori della superficie stessa.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO: PROFONDITA' DEL MARE SCELTE PER LE SIMULAZIONI

La Figura 4.1 mostra un estratto dalla carta nautica C-map relativa al Golfo di Taranto ed al canale di traffico navale per l'ingresso/uscita verso/da il Mar Grande e il Mar Piccolo.

La Figura 4.2 mostra, segnato in grigio, il canale di traffico interno al Mar Grande da/verso il pontile ENI (estratto della comunicazione del Corpo Piloti del Porto di Taranto ad ENI [3]).

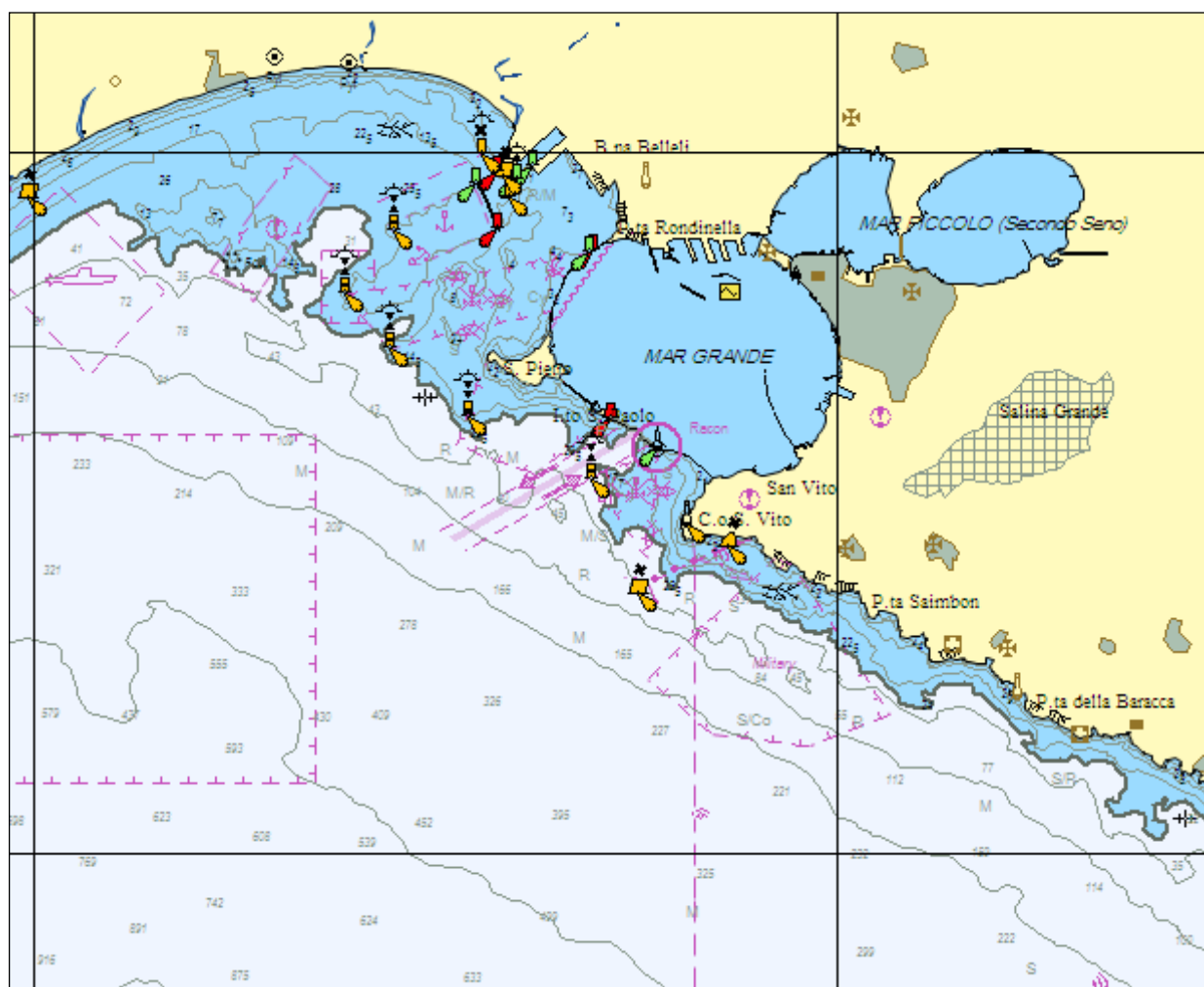


Figura 4.1 - Estratto dalla carta nautica Cmap relativa al Golfo di Taranto ed al canale di traffico navale per l'ingresso/uscita verso/da il Mar Grande e Mar Piccolo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

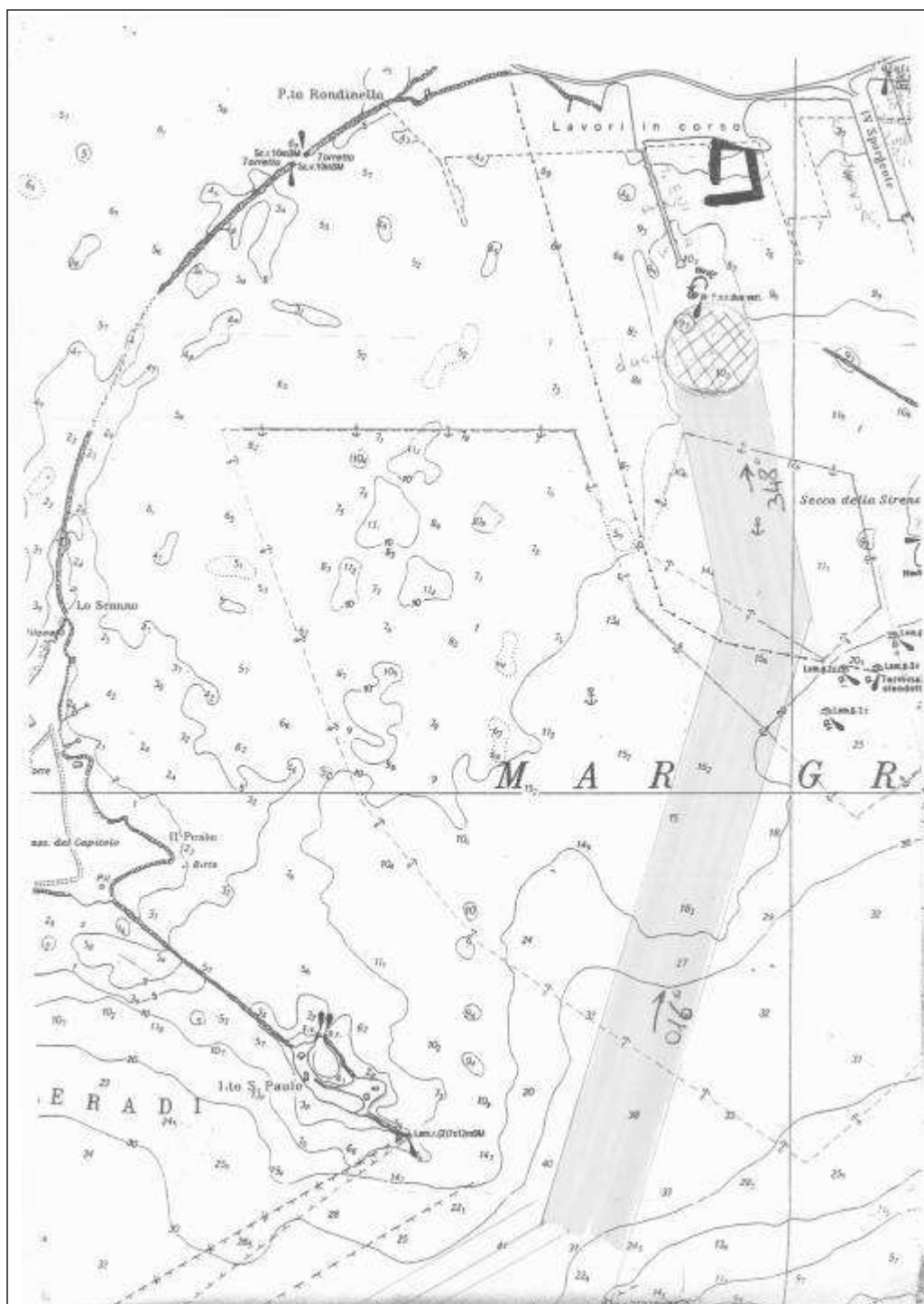


Figura 4.2 – Canale di traffico da/verso il pontile ENI (estratto della comunicazione del Corpo Piloti del Porto di Taranto ad ENI [3]).

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

In base ad ulteriori comunicazioni telefoniche dirette del DIA con il Corpo Piloti del Porto di Taranto, risulta che in condizioni di mare calmo le navi in ingresso procedono alla velocità di 6 kn fino al campo boe in prossimità della Secca Sirena (gomito del canale di traffico di Figura 4.2), per poi ridurre progressivamente la velocità fino a 0 kn in corrispondenza della zona di evoluzione rappresentato in Figura 4.2 dal cerchio tratteggiato. In quest'area le navi vengono ruotate dai rimorchiatori e poi ormeggiate ai moli. In condizioni di vento e mare da sud, spesso l'operazione di ingresso e ormeggio non viene eseguita a causa della forte onda interna che si viene a generare nel Mar Grande.

La decisione sulle profondità del mare da adottare per le simulazioni è stata presa in maniera condivisa da DHI e DIA. In particolare è stato deciso di adottare 3 profondità diverse all'interno del Mar Grande lungo il canale di traffico ed una aggiuntiva corrispondente ad un punto esterno all'imboccatura.

In base a quanto sopra, la Tabella 4.1 riporta le profondità scelte a cui sono state accoppiate univocamente le velocità di passaggio delle navi nel punto.

Tabella 4.1 – Velocità nave e profondità del mare nei punti di simulazione

POINT	A	B	C	D (*)
SPEED (kn - m/s)	6 (3.08664)	6 (3.08664)	4 (2.05776)	6 (3.08664)
WATER DEPTH (m)	30	16	11	40

(*) Punto fuori Mar Grande - 1 ship only x 1 ship speed

Tabella 4.2 – Numero di Froude (Fn), Numero di Froude relativo alla profondità (FnD), profondità relativa (depth/Lpp)

POINT	A			B			C			D (*)		
	Fn	FnD	depth/Lpp	Fn	FnD	depth/Lpp	Fn	FnD	depth/Lpp	Fn	FnD	depth/Lpp
Ship1	0.073	0.179	0.164	0.073	0.246	0.087	0.048	0.198	0.060	0.073	0.156	0.218
Ship2	0.080	0.179	0.200	0.080	0.246	0.107	0.054	0.198	0.073	0.080	0.156	0.267
Ship3	0.085	0.179	0.224	0.085	0.246	0.119	0.057	0.198	0.082	0.085	0.156	0.299
Ship4	0.065	0.179	0.130	0.065	0.246	0.070	0.043	0.198	0.048	0.065	0.156	0.174



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project:	Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI
Customer:	DHI Italia (Sede di Genova) Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

5. DESCRIZIONE SINTETICA DEL MODELLO UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE DEL MOTO ONDOSO E DEL FLUSSO INDOTTO DA UN CARENA CHE SI MUOVE A VELOCITA' COSTANTE IN MARE CALMO

Con riferimento alla specifica tecnica del contratto tra DHI e DIA, al fine di simulare il campo di moto idrodinamico indotto dal treno d'onde prodotto dalla nave in mare calmo ed a velocità costante (Bernoulli wake) [6] (Fig. 5.1), il modello matematico adottato per questo studio è quello riportato in [7][8][9][10]. Si tratta di un modello che non considera effetti viscosi nel fluido (Bernoulli wake), che tratta la superficie libera in maniera lineare o non-lineare e che consente di trattare anche la nave in assetto libero (free trim and sinkage). La modalità da adottare viene scelta in dipendenza dal problema analizzato: tipicamente velocità nave e numeri di Froude estremamente bassi come nei casi considerati in questo studio, non necessitano di simulazioni non-lineari e ad assetto libero.

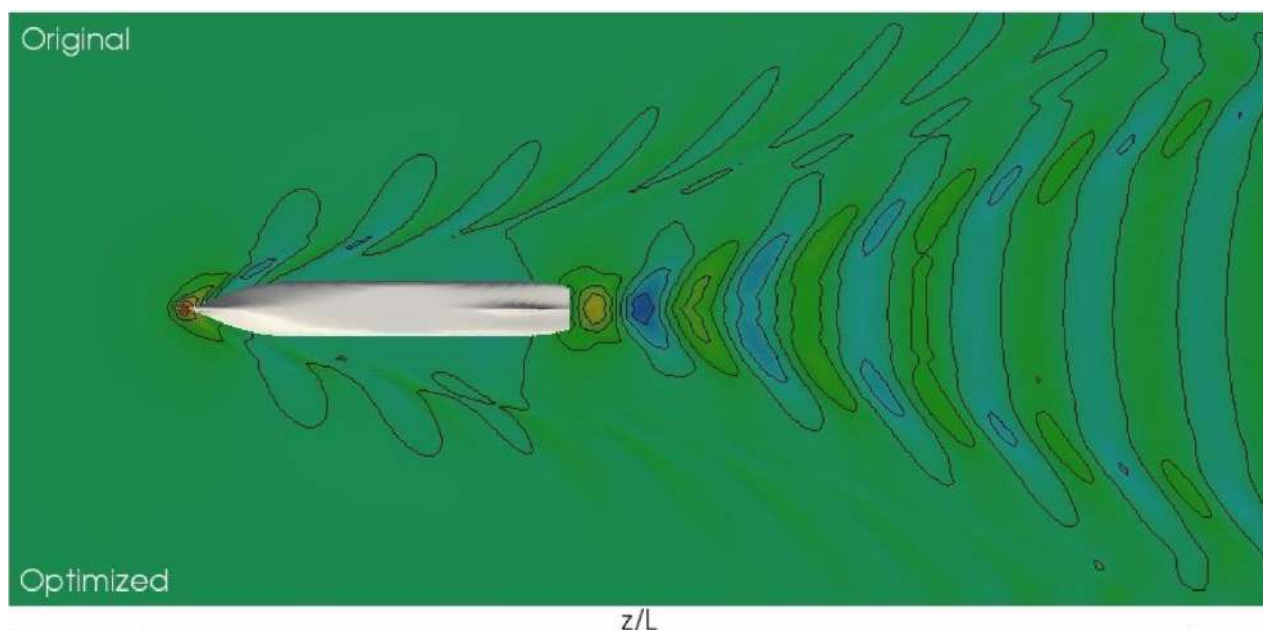


Figura 5.1 - Esempio di wave pattern prodotto da un cruise vessel a F_n superiore a 0.25.

Per questo tipo di flussi, i solutori più efficienti dal punto di vista computazionale sono quelli basati su tecniche BEM (Boundary Element Methods) che risolvono le equazioni che governano il moto del fluido nel potenziale di velocità sulla sola superficie del volume di controllo. Una volta nota la soluzione su questa superficie, è possibile calcolare campo di pressione e velocità in qualsiasi altro punto del volume di controllo.

Nel caso in cui si sia interessati solamente al flusso stazionario attorno alla carena che si muove a velocità costante all'interfaccia aria-acqua, è conveniente utilizzare un sistema di

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

riferimento solidale alla nave (Body Fixed – *B.F.*) in cui il flusso entrante dal boundary IN-LET è uguale in intensità e contrario in direzione a quello della nave stessa.

Il sistema di riferimento (Fig. 5.2) adottato in queste simulazioni è di tipo Body Fixed (*B.F.*) con asse X rivolto da prora a poppa della nave ed asse Z rivolto verso l'alto.

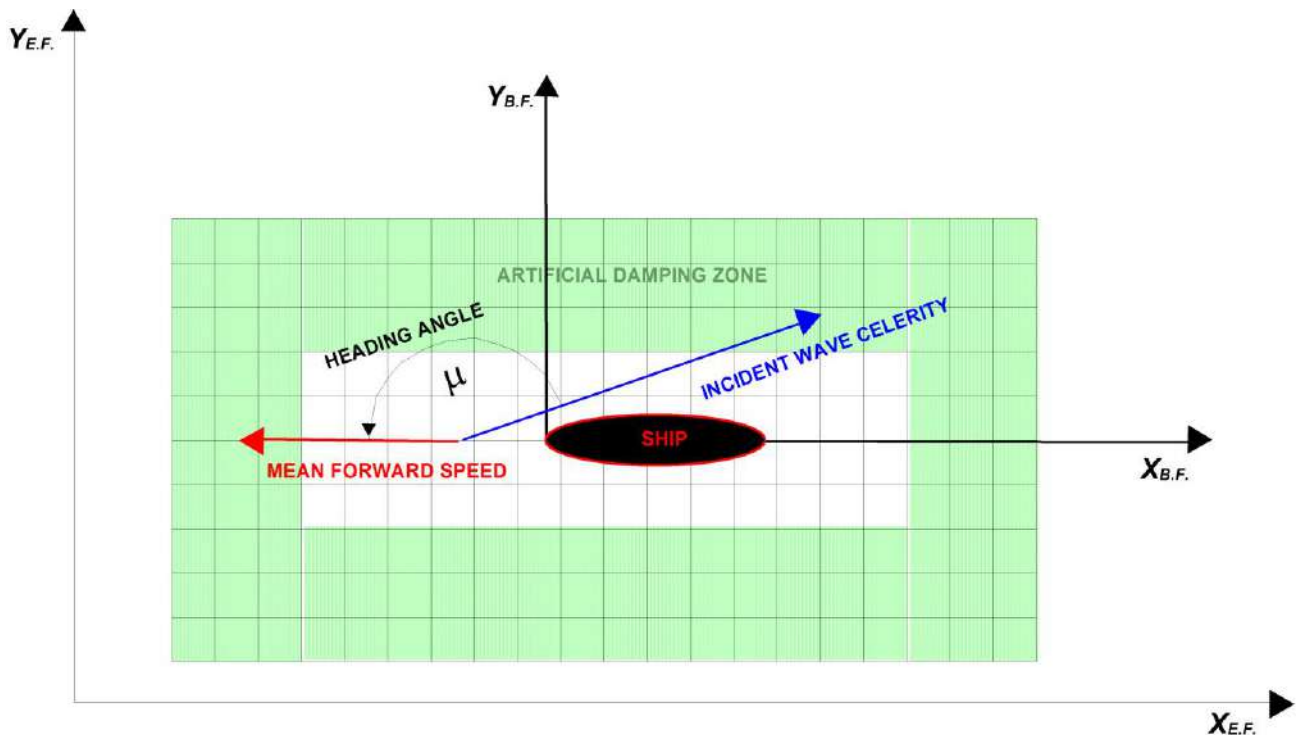


Figura 5.2 – Sistemi di riferimento utilizzati nelle simulazioni (B.F. = Body Fixed; - E.F. = Earth Fixed)

Il campo di velocità del fluido nel sistema di riferimento Earth-Fixed (*E.F.*) è pertanto:

$$\vec{V}_{E.F.} = \vec{V}_{B.F.} + \vec{V}_{SHIP}$$

Nelle simulazioni effettuate, la velocità nave ha sempre direzione opposta rispetto agli assi $X_{E.F.}$ e $X_{B.F.}$, pertanto $\vec{V}_{SHIP} = (-|\vec{V}_{SHIP}|, 0, 0)$.

Inoltre i risultati del campo di velocità \vec{V}_{FLUID} sono prodotti in output dal software in modo non dimensionale $\frac{V_{FLUID}}{|\vec{V}_{SHIP}|}$.

I dati di output consegnati, tengono conto di quanto sopra e delle esigenze di DHI. Pertanto sono stampati su file nel sistema Earth Fixed in unità dimensionali (m/s).



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

6. SET-UP DELLE SIMULAZIONI

Le dimensioni dei domini di calcolo e la risoluzione di griglia utilizzati nelle simulazioni sono state impostate sulla base dei risultati ottenuti in alcuni test preliminari che hanno permesso di verificare simultaneamente le due richieste.

Trattandosi di simulazioni a numeri di Froude estremamente bassi (≤ 0.085), la risoluzione nello spazio richiesta è dell'ordine di 0.5 m al vero, in modo da garantire almeno 4 elementi per lunghezza d'onda trasversale, stimata in base alla relazione di dispersione delle onde lineari piane progressive.

Per quel che concerne la dimensione del dominio, dai test fatti risulta che per numeri di Froude così bassi il dominio può essere di dimensioni ragionevolmente ridotte, in ragione delle piccole lunghezze d'onda. In tal modo si privilegia la risoluzione, con un onere computazionale accettabile.

Le Figure 6.1a,b mostrano una vista in pianta ed assonometrica del generico dominio e della griglia di calcolo utilizzati. In sintesi, risulta più che sufficiente che la parte a prora sia estesa per 0.4 Lpp e che la parte a poppa sia estesa per 0.4 Lpp. Trasversalmente si è adottata una dimensione pari a 0.47 Lpp.

Sempre in ragione dei numeri di Froude considerati, la nave è stata considerata sempre ad assetto fisso diritto e le simulazioni sono state eseguite in modalità lineare. Un test eseguito a parte, mostra che in condizioni di simulazione in assetto libero (Ship1 - caso C), le variazioni dell'immersione e dell'assetto (angolo) sono rispettivamente: Change of sinkage/Lpp = $0.2766E-07$; Change of trim angle = $0.1619E-04$ e quindi del tutto trascurabili.

L'effetto shallow water (fondale limitato) è incluso nelle simulazioni adottando la tecnica del mirroring della soluzione rispetto ad un piano $Z=\text{costante}$ (pari alla profondità). Questo garantisce la condizione di no-cross flow e quindi implicitamente si ottiene lo stesso effetto prodotto da una condizione di impermeabilità applicata al fondale reale ma l'onere computazionale del BEM risulta decisamente ridotto.

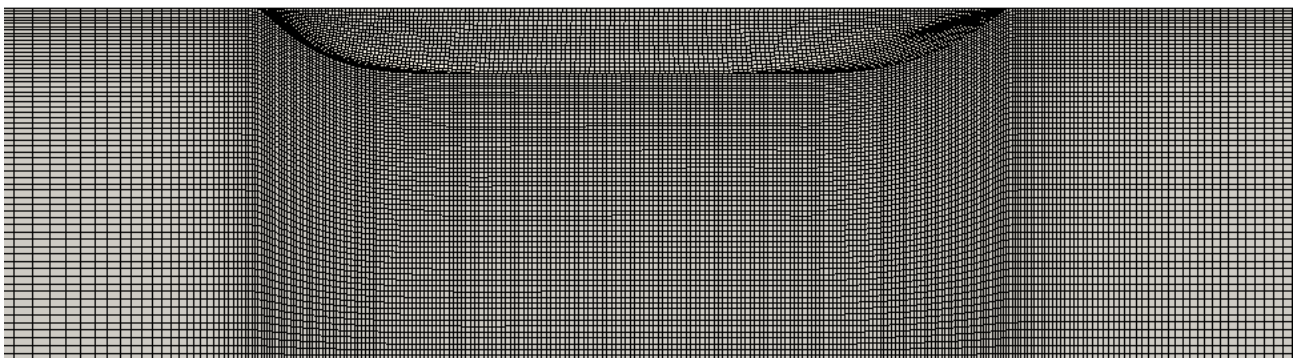


Figura 6.1a – Esempio di dominio di calcolo utilizzati nelle simulazioni e griglia adottata (caso Ship4)

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

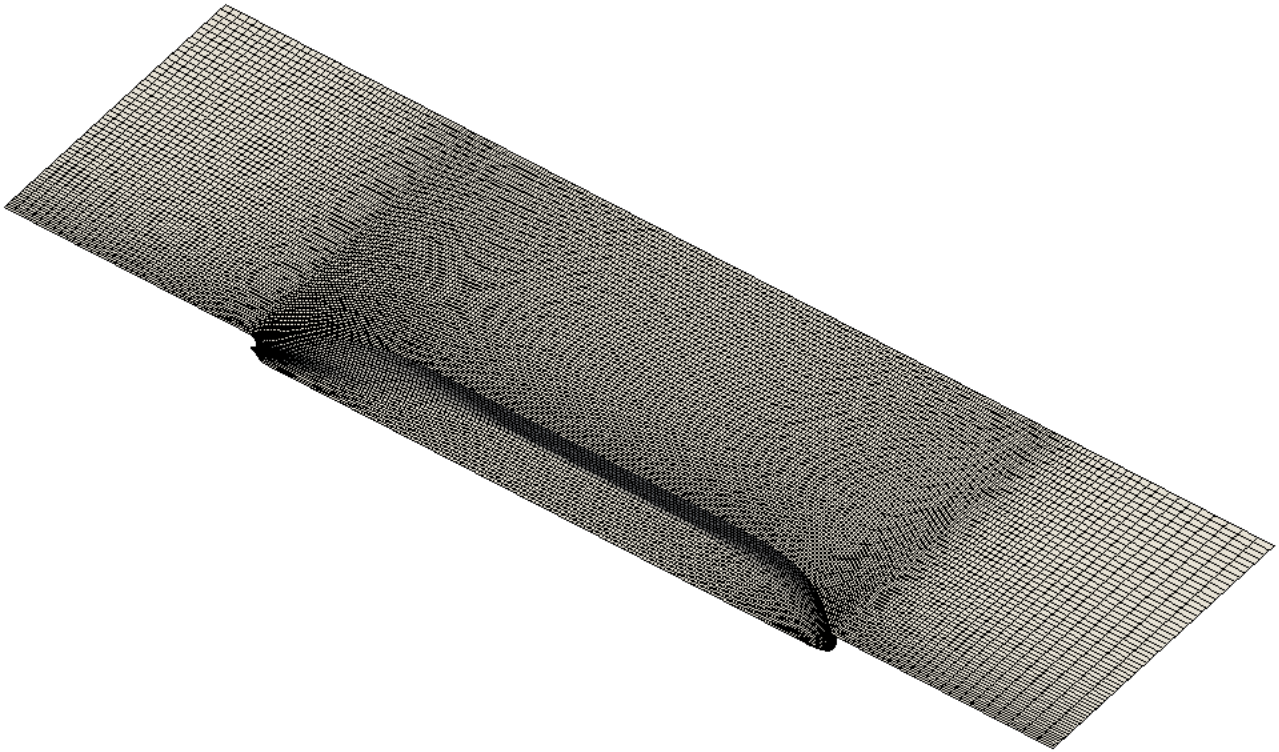


Figura 6.1b – Dominio di calcolo utilizzati nelle simulazioni e griglia adottata (caso Ship4)



Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
 Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

7. BOUNDARY LAYER

In aggiunta al calcolo della Bernoulli wake (scia non viscosa) studiata con le simulazioni di cui sopra, è stata fatta una stima semplificata degli effetti viscosi indotti dallo strato limite che si sviluppa attorno alla carena. A tal fine si è usato il modello integrale approssimato valido per flussi turbolenti su lastra piana in assenza di gradiente di pressione [11],[12]. Si tratta ovviamente di una stima destinata a stabilire ordini di grandezza più che valori rigorosi assoluti. Si tratta inoltre di stime cautelative in quanto la presenza del gradiente di pressione attorno alla carena dovrebbe tendere a ridurre lo spessore dello strato limite rispetto a quello stimato senza gradiente di pressione. La Tabella 7.1 mostra i valori del Numero di Reynolds e dello spessore massimo dello strato limite turbolento secondo il modello detto.

Tabella 7.1 – Numero di Froude (Fn), Numero di Reynolds e spessore massimo dello strato limite turbolento secondo il modello integrale approssimato valido per flussi turbolenti su lastra piana in assenza di gradiente di pressione [11],[12].

POINT	A			B			C		
	Fn	Rn	δ_{MAX} (m)	Fn	Rn	δ_{MAX} (m)	Fn	Rn	δ_{MAX} (m)
Ship1	0.073	5.63×10^8	1.203	0.073	5.63×10^8	1.203	0.048	3.75×10^8	1.305
Ship2	0.080	4.62×10^8	1.026	0.080	4.62×10^8	1.026	0.054	3.08×10^8	1.113
Ship3	0.085	4.12×10^8	0.938	0.085	4.12×10^8	0.938	0.057	2.75×10^8	1.017
Ship4	0.065	7.08×10^8	1.445	0.065	7.08×10^8	1.445	0.043	4.72×10^8	1.567

L'espressione per il profilo di velocità adimensionale (Fig. 7.1) del modello semplificato [11],[12] è data da

$$\frac{u}{U} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^{1/7} = \eta^{1/7}$$

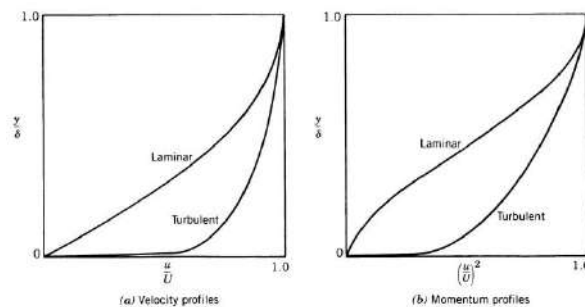


Figura 7.1 – Profili adimensionali di velocità e di quantità di moto per strato limite laminare e turbolento su lastra piana [11],[12].

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Tale espressione si riferisce a lastra piana ferma ($Y=0$) e flusso esterno di trascinamento. Nell'applicazione di questo modello al caso di interesse, la situazione è opposta e cioè è la nave che si muove in fluido in quiete pertanto la quantità da valutare è

$$\frac{U-u}{U} = 1 - \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7}$$

Considerando il caso a maggior spessore di strato limite (Ship4, caso C), l'ordine di grandezza della velocità indotta dallo strato limite sul fondale (11 m) è di 0.10 m/s.

Da notare che, visto nel piano X-Y sul fondo, questo valore vale in corrispondenza della poppa dove lo strato limite ha raggiunto il suo massimo spessore.

A partire dalla prora ($x=0$), lo spessore di strato limite turbolento fornito dal modello semplificato [11],[12] vale,

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0.370}{Re_x^{1/5}}$$

e quindi δ assume valori decisamente più bassi e conseguentemente lo sono anche le velocità indotte.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA
Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

8. FORMATO DEI DATI DI OUTPUT CONSEGNATI

I files consegnati (uno per ogni simulazione) hanno la seguente struttura (ad es):

```
SHIP LENGTH      183.0      (m)
SHIP SPEED       3.08664    (m/s)
POINT           XP          YP          ZP          VX          VY          VZ          CP
```

POINT = numero progressivo del punto dove sono consegnati \vec{V}_{FLUID} e CP

XP = coordinata $X_{B.F.}$ del punto in Body Fixed coord

YP = coordinata $Y_{B.F.}$ del punto in Body Fixed coord

ZP = coordinata $Z_{B.F.}$ del punto in Body Fixed coord

VX = componente X del flusso in Earth Fixed coord

VY = componente Y del flusso in Earth Fixed coord

VZ = componente Z del flusso in Earth Fixed coord

CP = coefficiente di pressione non dimensionale = $\frac{p}{0.5\rho|\vec{v}_{SHIP}|^2}$

Per ogni simulazione, nave X (X=1,4) di Tabella 3.1, caso Y (Y=A,B,C,D) di Tabella 4.1 o 4.2, i files consegnati sono 3 e sono relativi a 3 piani orizzontali paralleli al fondo, in corrispondenza di altrettante posizioni verticali.

Si è deciso di fornire i dati secondo questa codifica dei files:

ShipX_Y_bottom dati relativi alla nave X, caso Y, velocità/pressione sul fondo

ShipX_Y_layer1 dati relativi alla nave X, caso Y, velocità/pressione a 0.05 m dal fondo

ShipX_Y_layer2 dati relativi alla nave X, caso Y, velocità/pressione a 0.10 m dal fondo

La numerazione dei punti è progressiva per ciascun strato.

La scrittura a file per ogni strato ($k=1, 3$) è prodotta come segue:

```
jj=1
do i=1,NPOINTS_X
  do j=1,NPOINTS_Y
    write(11,100) jj,x(i,j)*SHIPLen,y(i,j)*SHIPLen,z(i,j,k)*SHIPLen,
    > (vx(i,j,k)-1.)*SHIPVEL,
    > vy(i,j,k)*SHIPVEL,
    > vz(i,j,k)*SHIPVEL,
    > CP(i,j,k)
  
```

```
  jj=jj+1
```

```
end do
```

```
end do
```

```
100 format(I8,1x,7(G14.6E3,1x))
```

dove NPOINTS_X = 278, NPOINTS_Y = 64



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

9. RISULTATI E BREVE DISCUSSIONE

Dai risultati delle simulazioni è emerso quanto segue:

- alle velocità considerate e per le dimensioni delle navi utilizzate in questo studio (Froude number), la formazione ondosa è poco rilevante o pressoché trascurabile; si vede chiaramente un treno d'onde, per altro molto corte e quindi con scarsa propagazione verticale, a poppa della nave solo per le carene più corte (Ship2 e Ship3) che a parità di velocità assoluta presentano un numero di Froude più alto;
- il flusso è dominato dalla scia non viscosa (Bernoulli wake) con valori assiali (VX) al fondo che raggiungono un massimo (in valore assoluto) di 0.6 m/s ed un valore di oltre 0.7 m/s del modulo della velocità VTOT (carena ship4 - caso C) riportato in Figura 9.1.

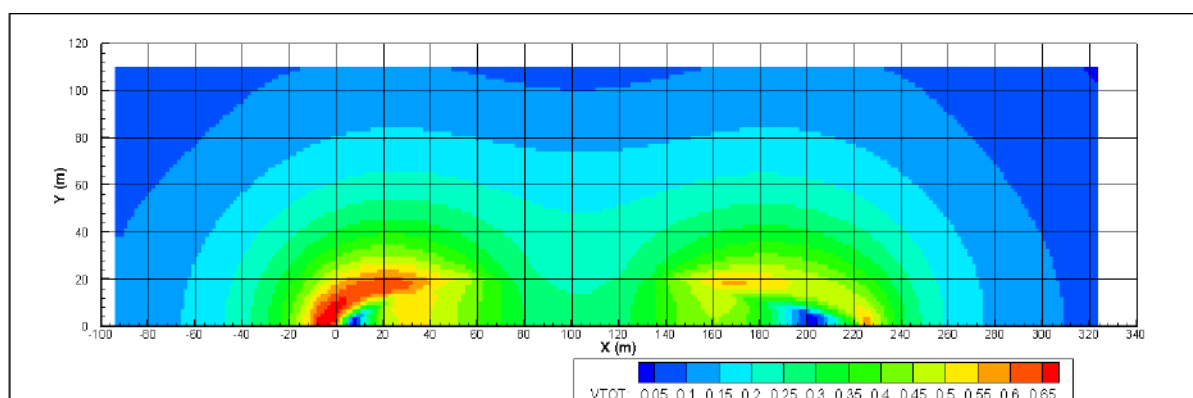


Figura 9.1 – Contour plot del modulo della velocità sul fondo per la carena ship4 caso C.

Di seguito, per ciascuna simulazione, sono riportati i grafici (contour plots) della elevazione non-dimensionale della superficie libera e del coefficiente di pressione sulla superficie della carena (Figure 9.2-14a) e della componente VX della velocità sul fondo (Figure 9.2-14b). Si è scelto quest'ultima variabile (VX) in quanto probabilmente è la più rappresentativa del fenomeno analizzato. L'ascissa $X=0$ corrisponde alla perpendicolare avanti della nave (prora) e la direzione di avanzamento della nave stessa è da destra verso sinistra.

Per motivi di esaltazione delle variazioni, nei grafici le scale della velocità sono diverse da caso a caso.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship1_A

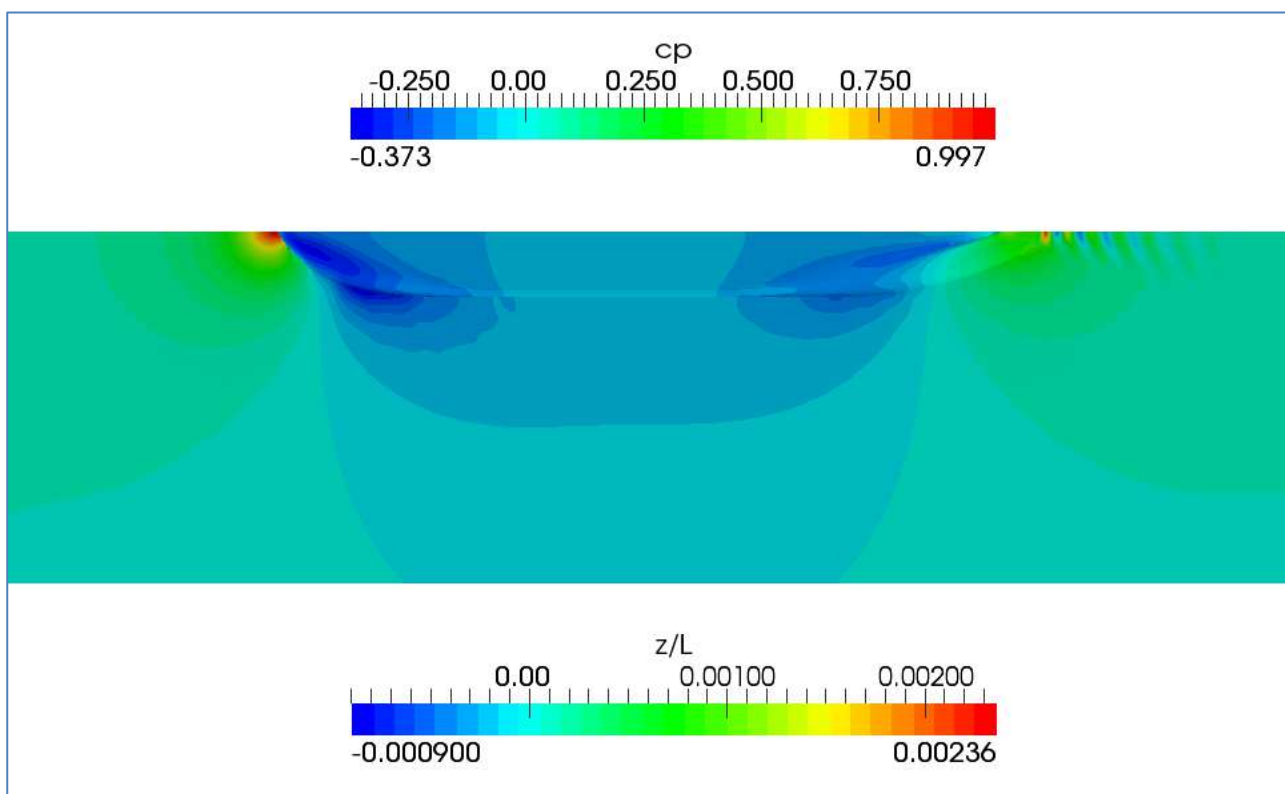


Figura 9.2a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

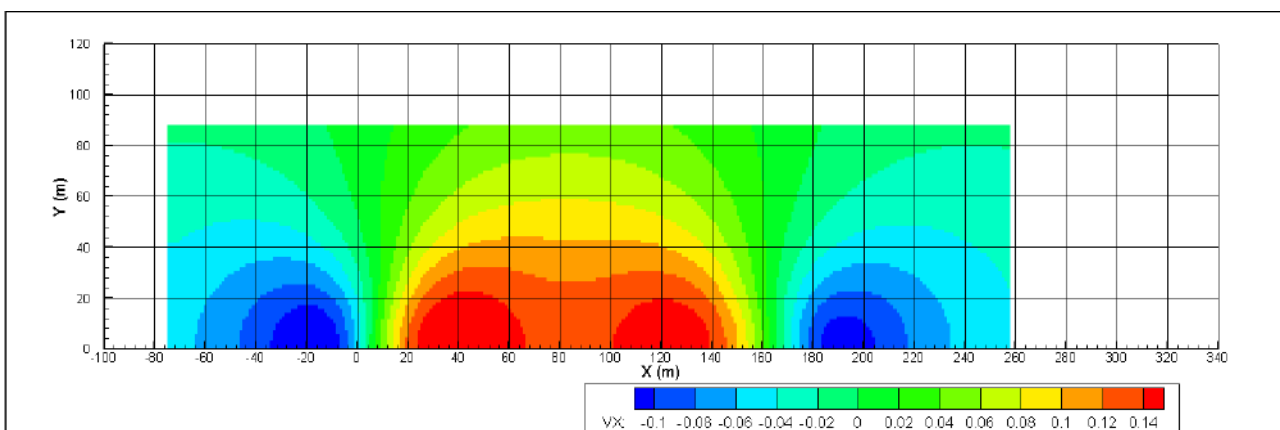


Figura 9.2b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship1_B

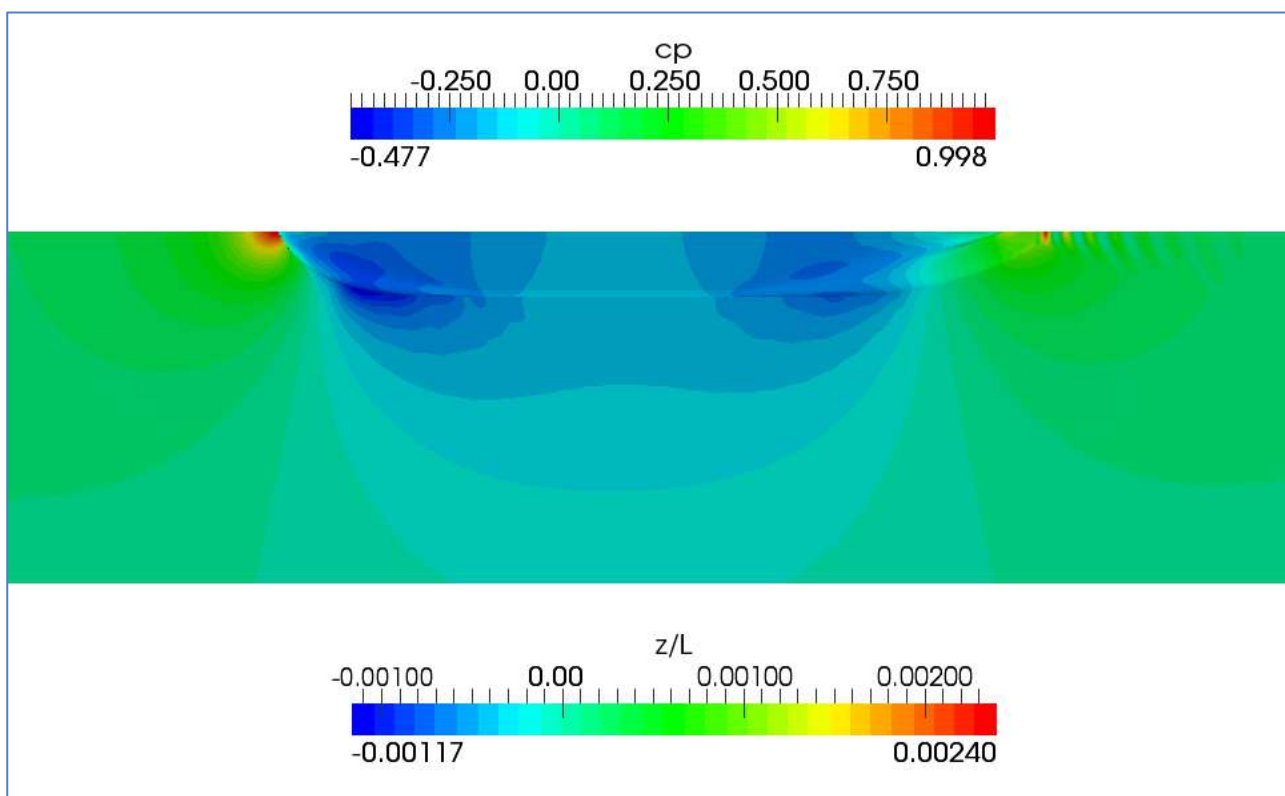


Figura 9.3a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

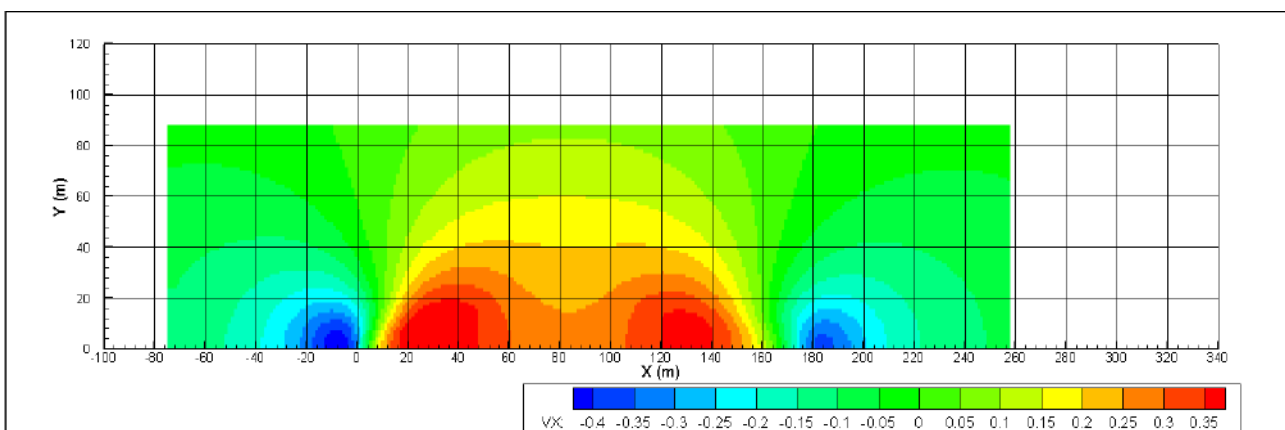


Figura 9.3b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship1_C

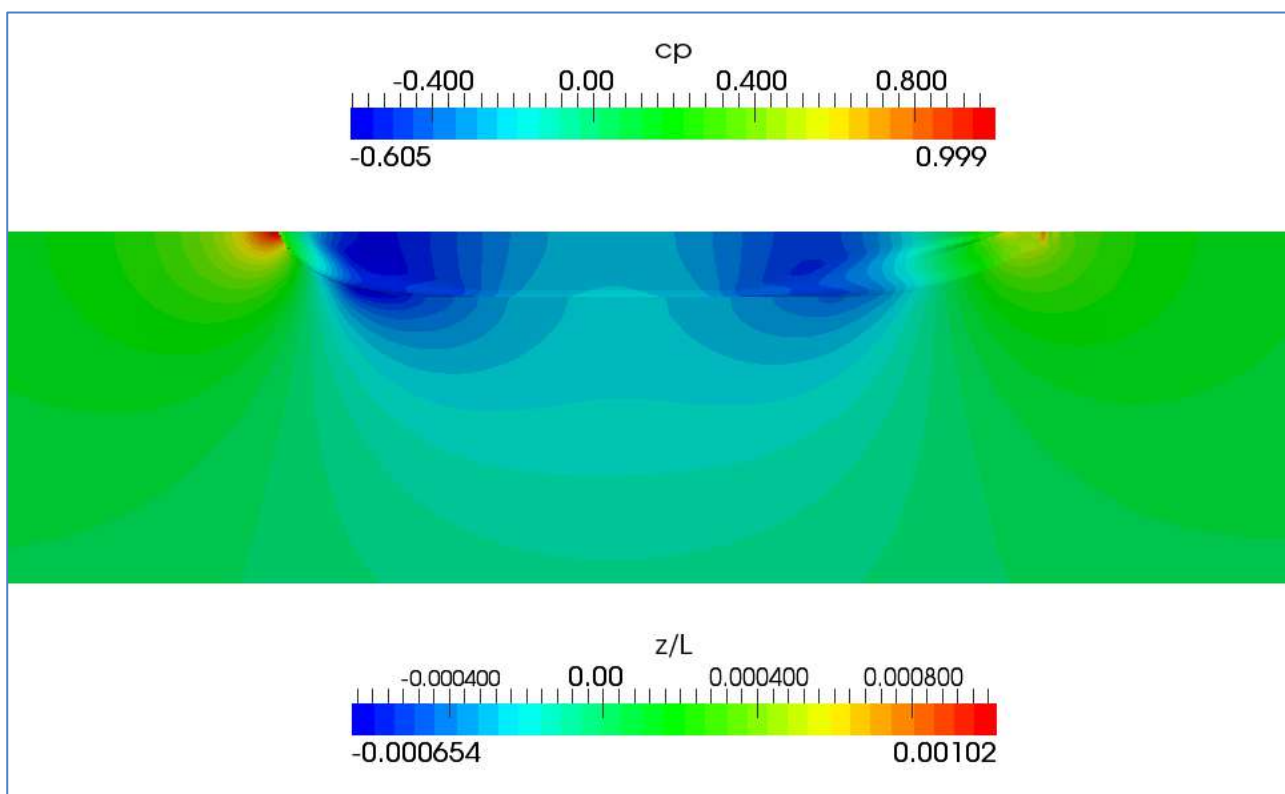


Figura 9.4a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

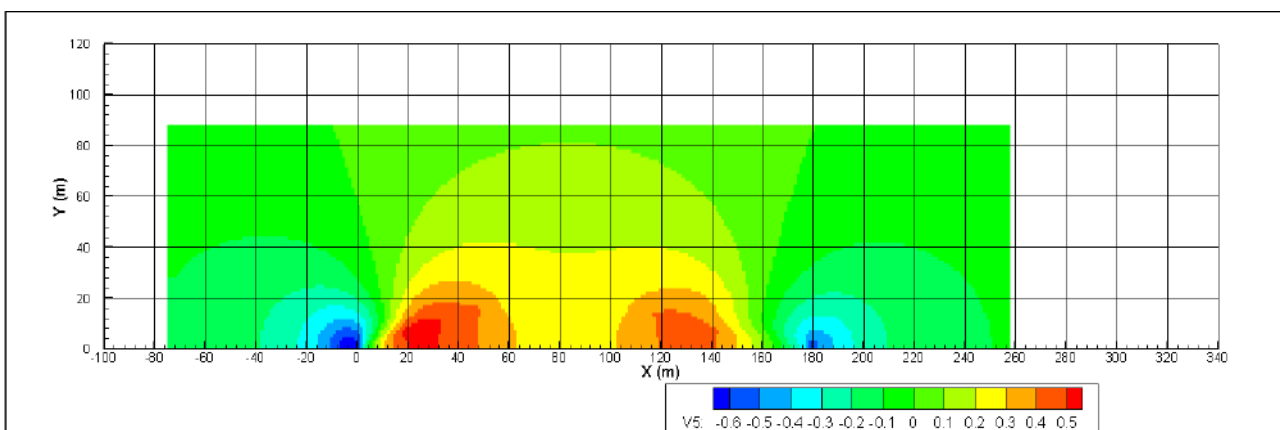


Figura 9.4b – Contour plot della componente V_x della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship2_A

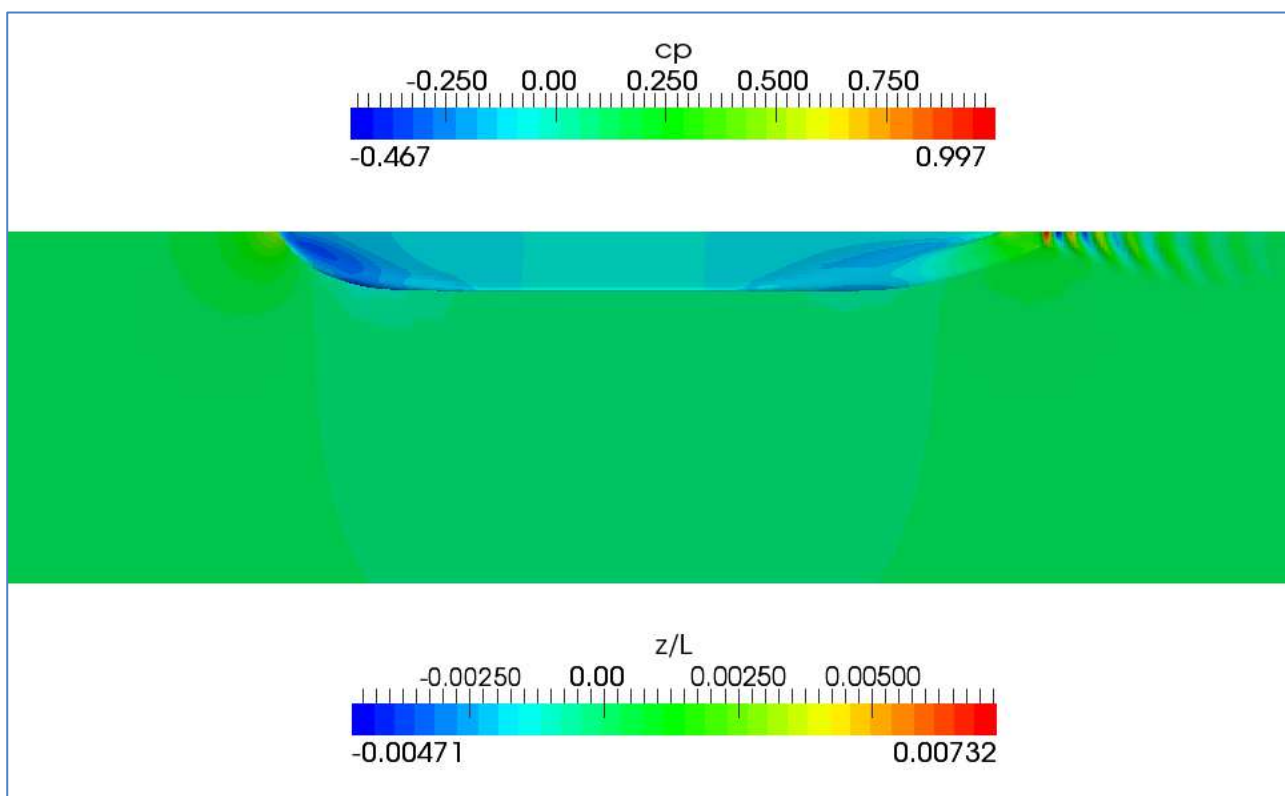


Figura 9.5a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

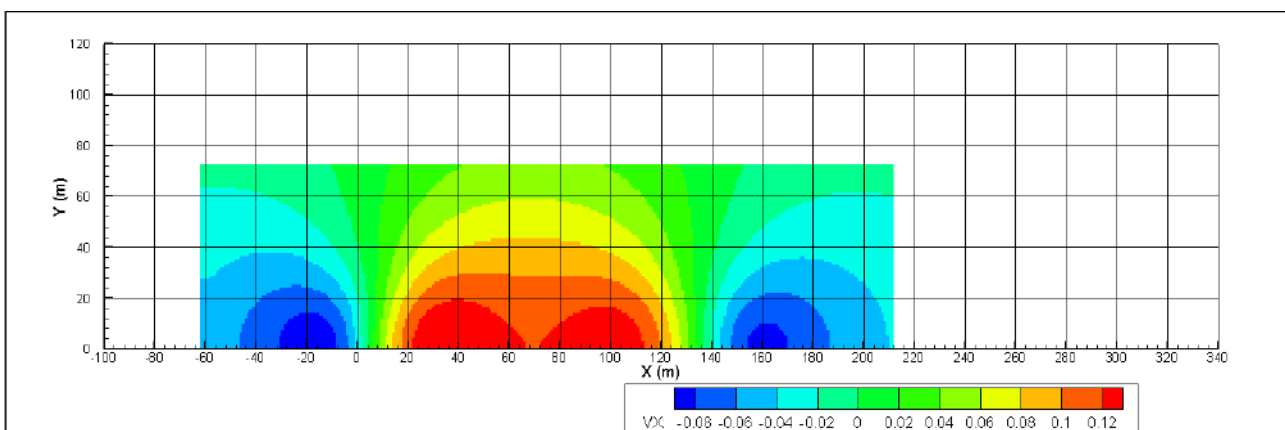


Figura 9.5b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship2_B

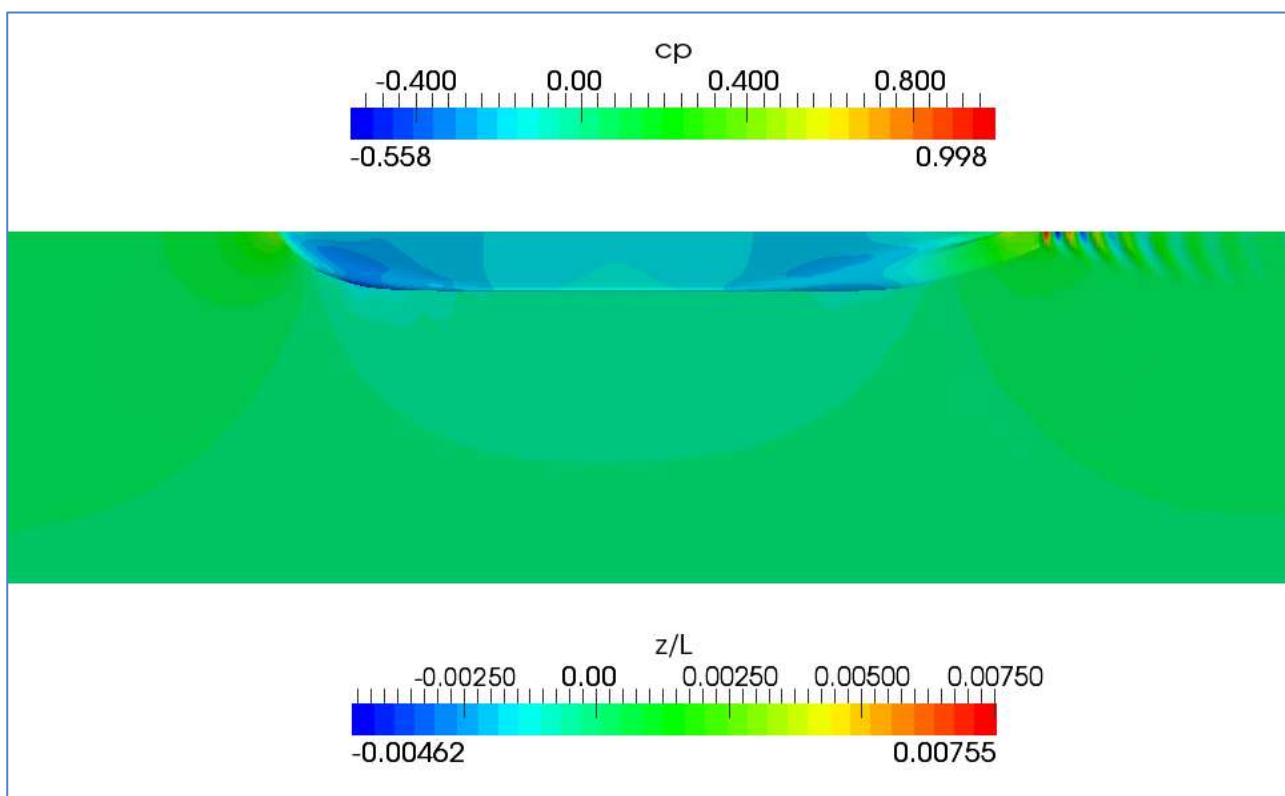


Figura 9.6a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

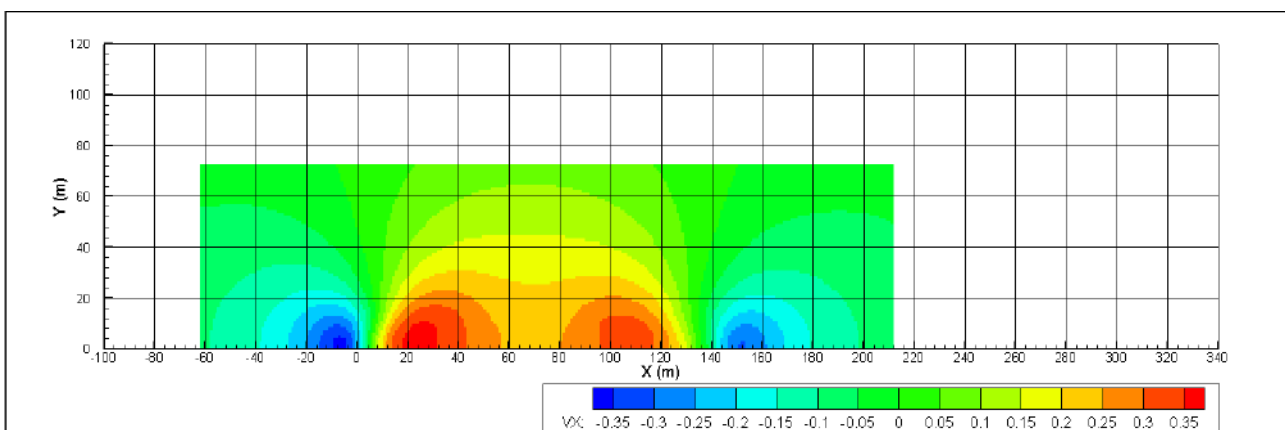


Figura 9.6b – Contour plot della componente V_x della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship2_C

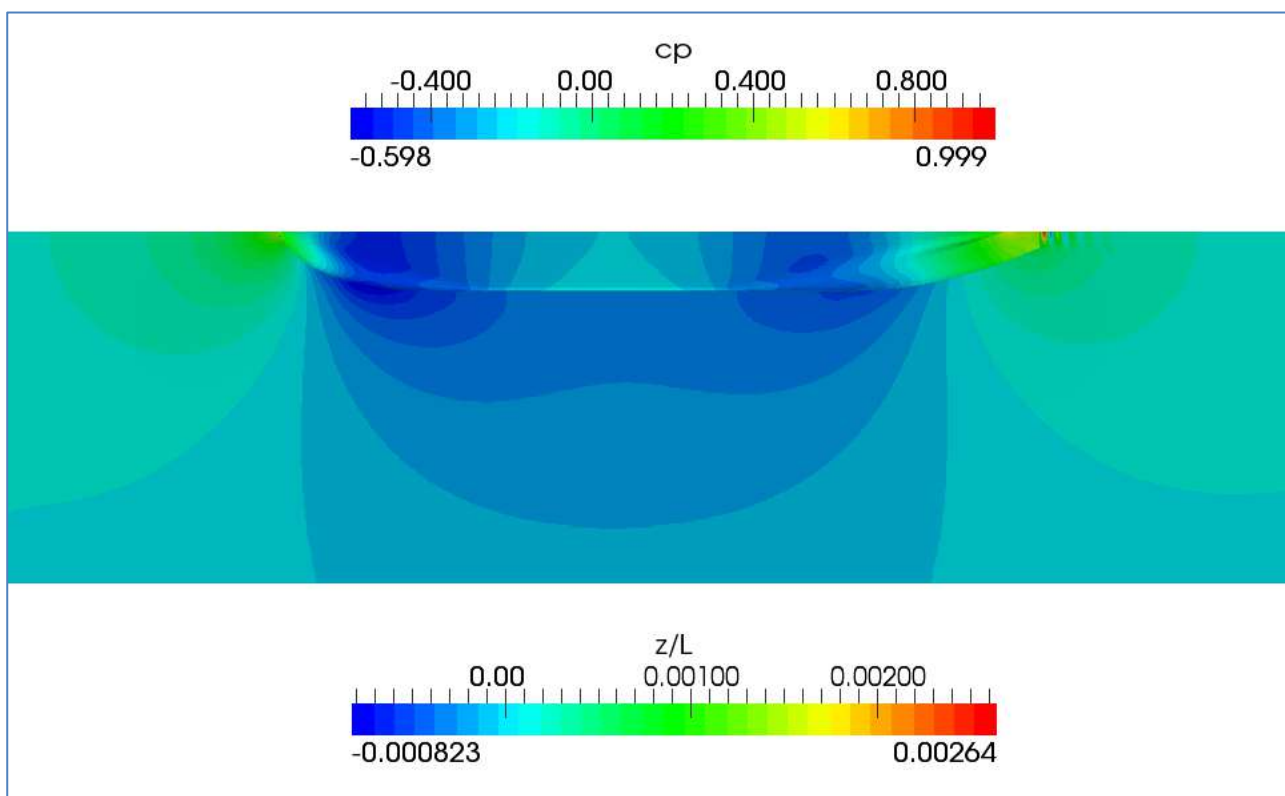


Figura 9.7a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

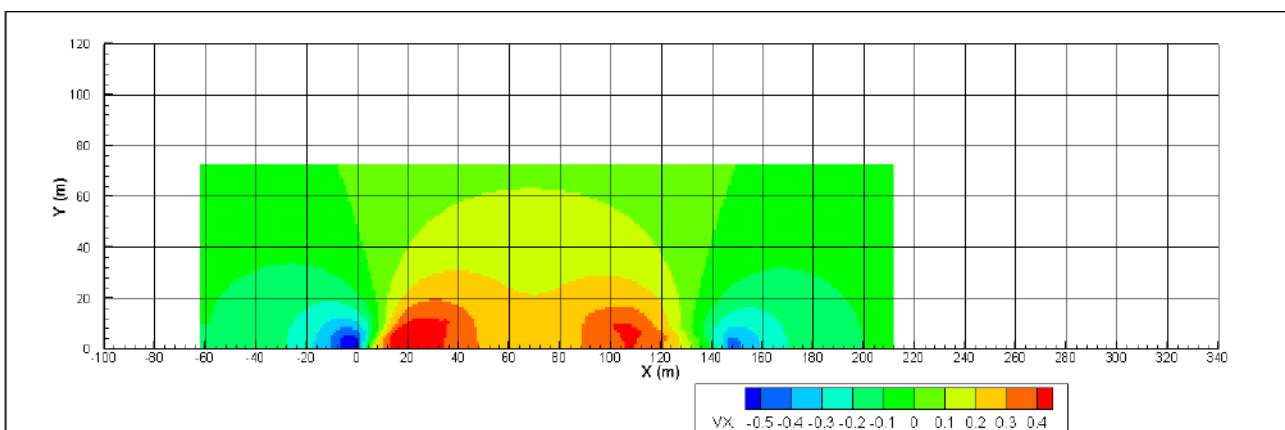


Figura 9.7b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship3_A

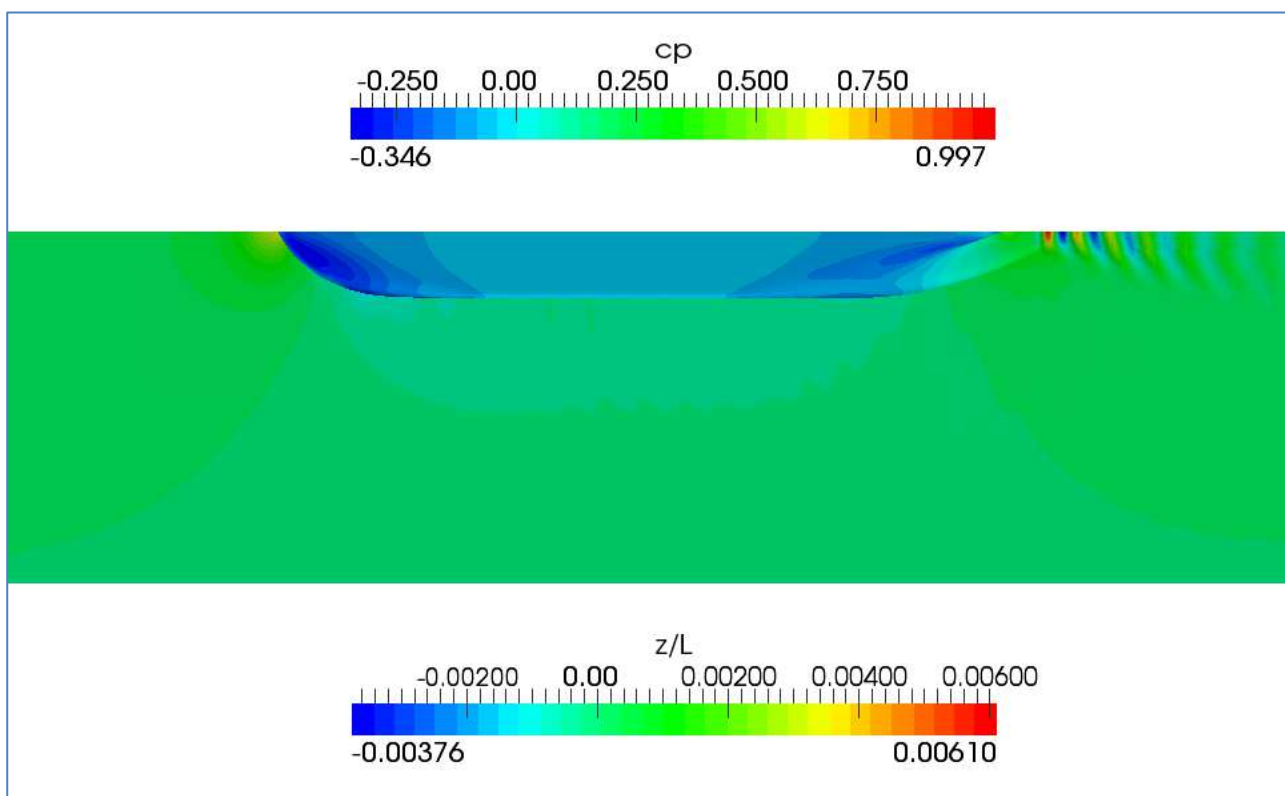


Figura 9.8a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

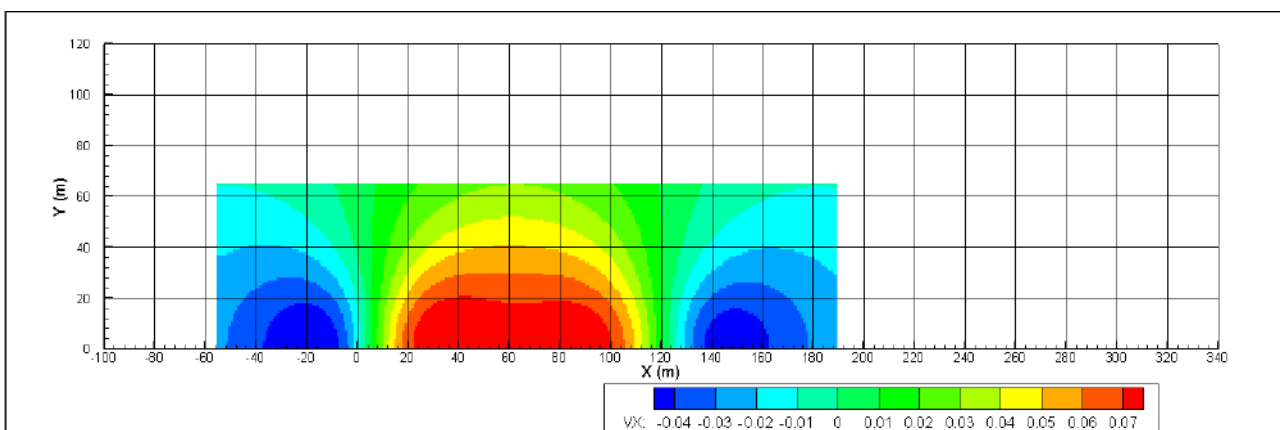


Figura 9.8b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship3_B

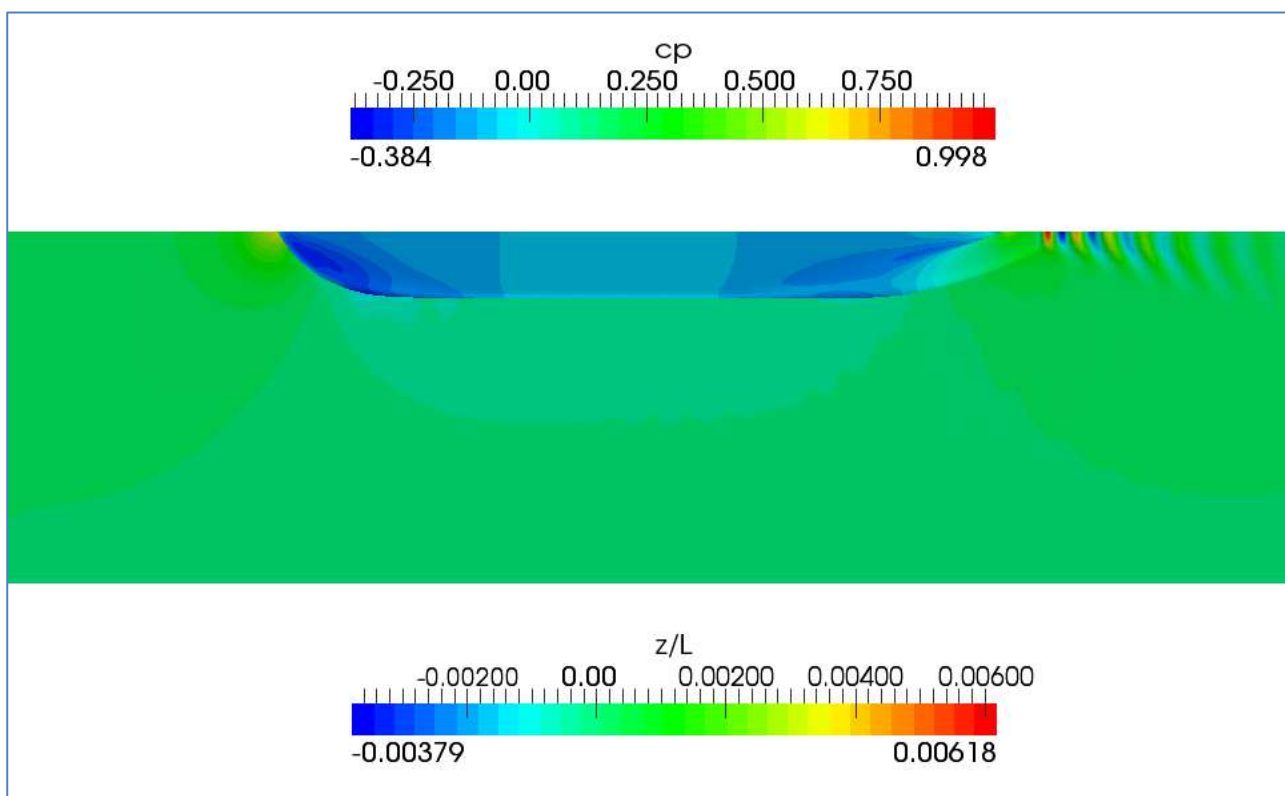


Figura 9.9a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

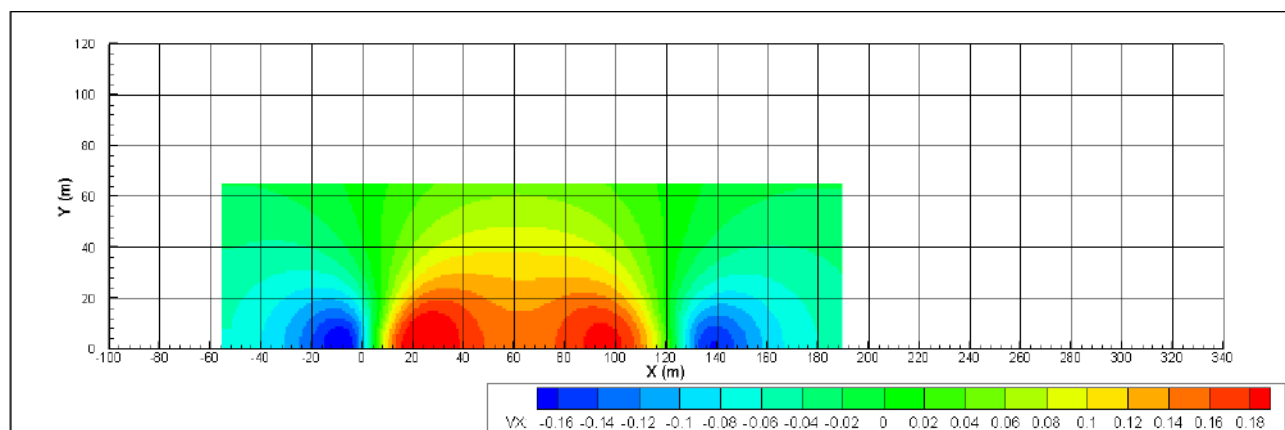


Figura 9.9b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship3_C

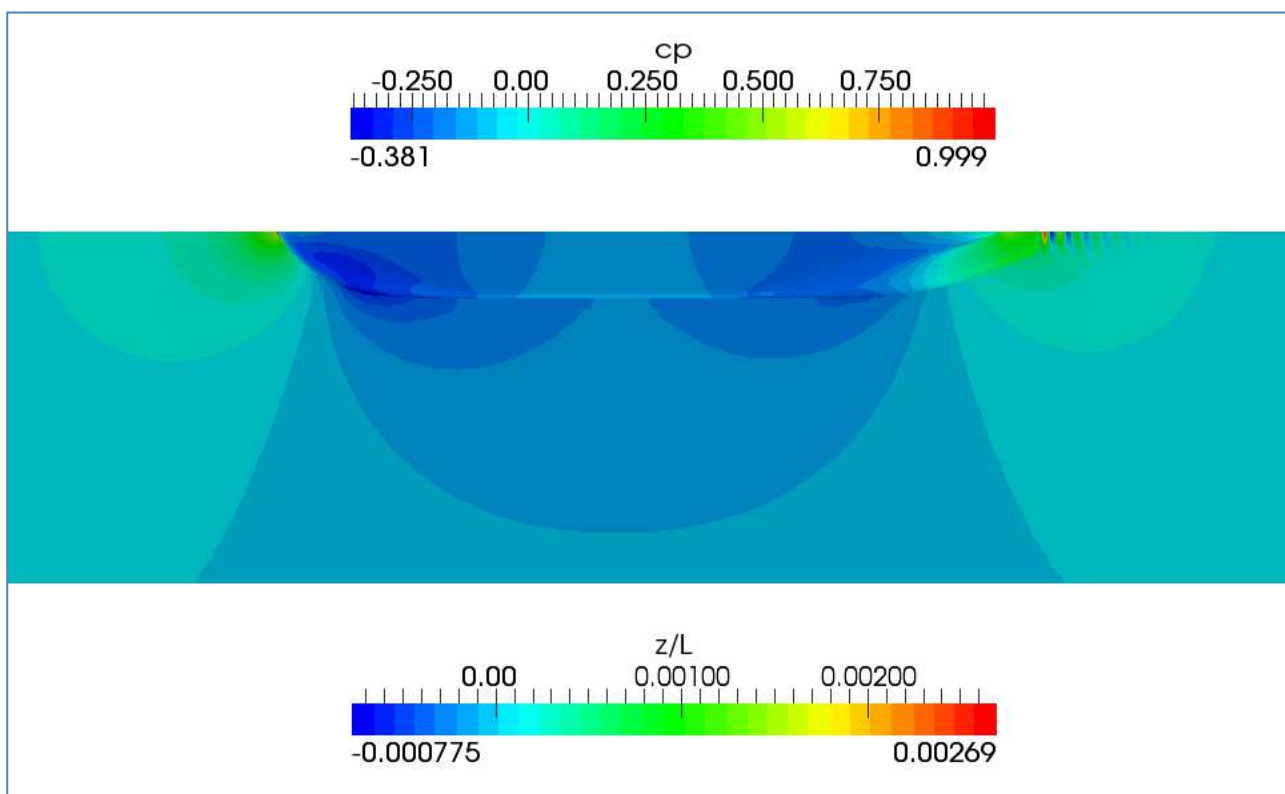


Figura 9.10a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

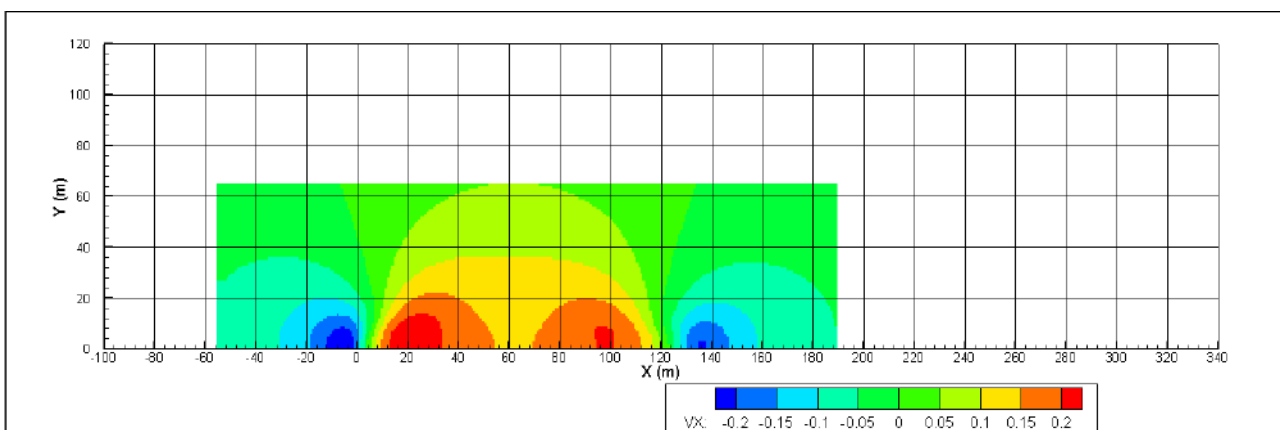


Figura 9.10b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship4_A

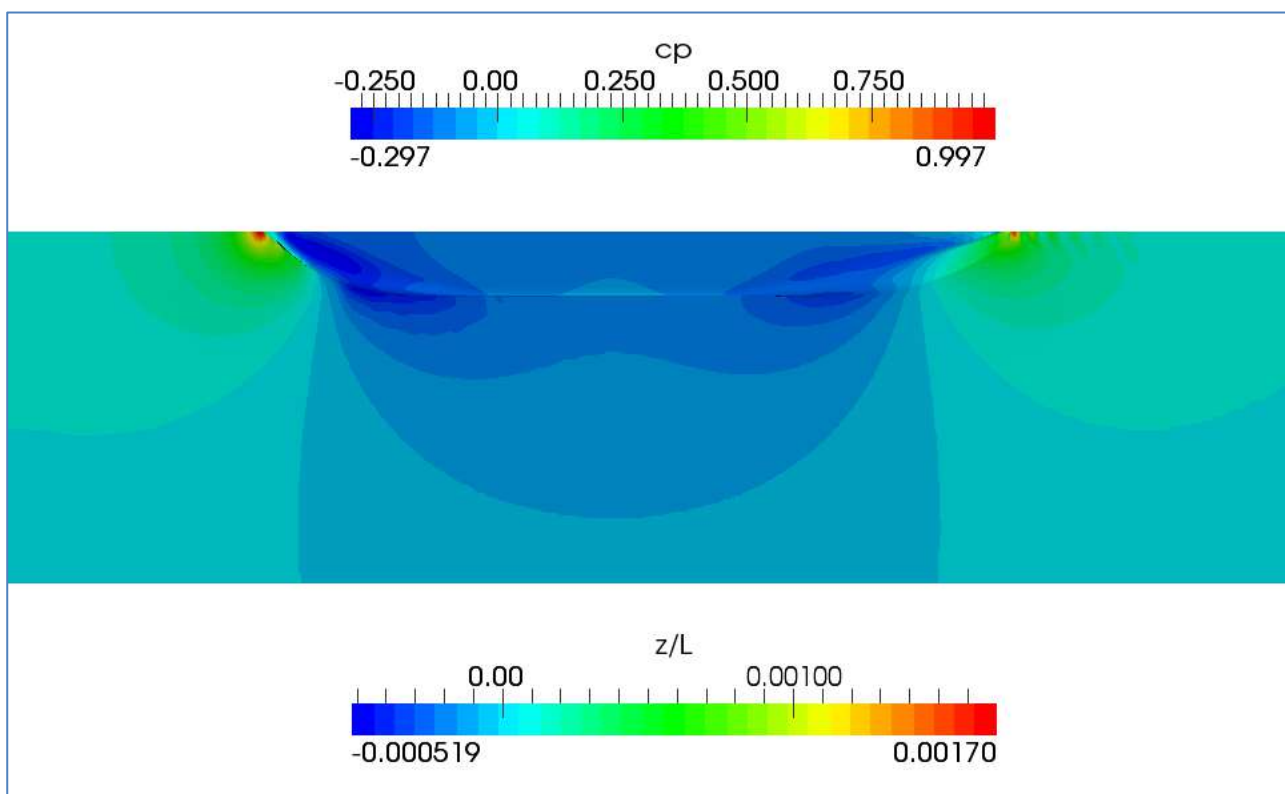


Figura 9.11a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

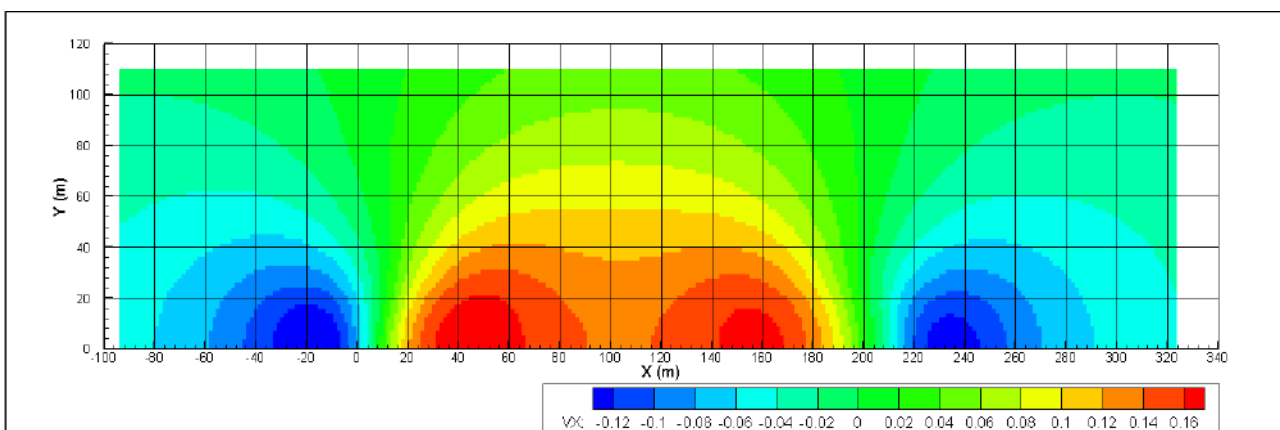


Figura 9.11b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship4_B

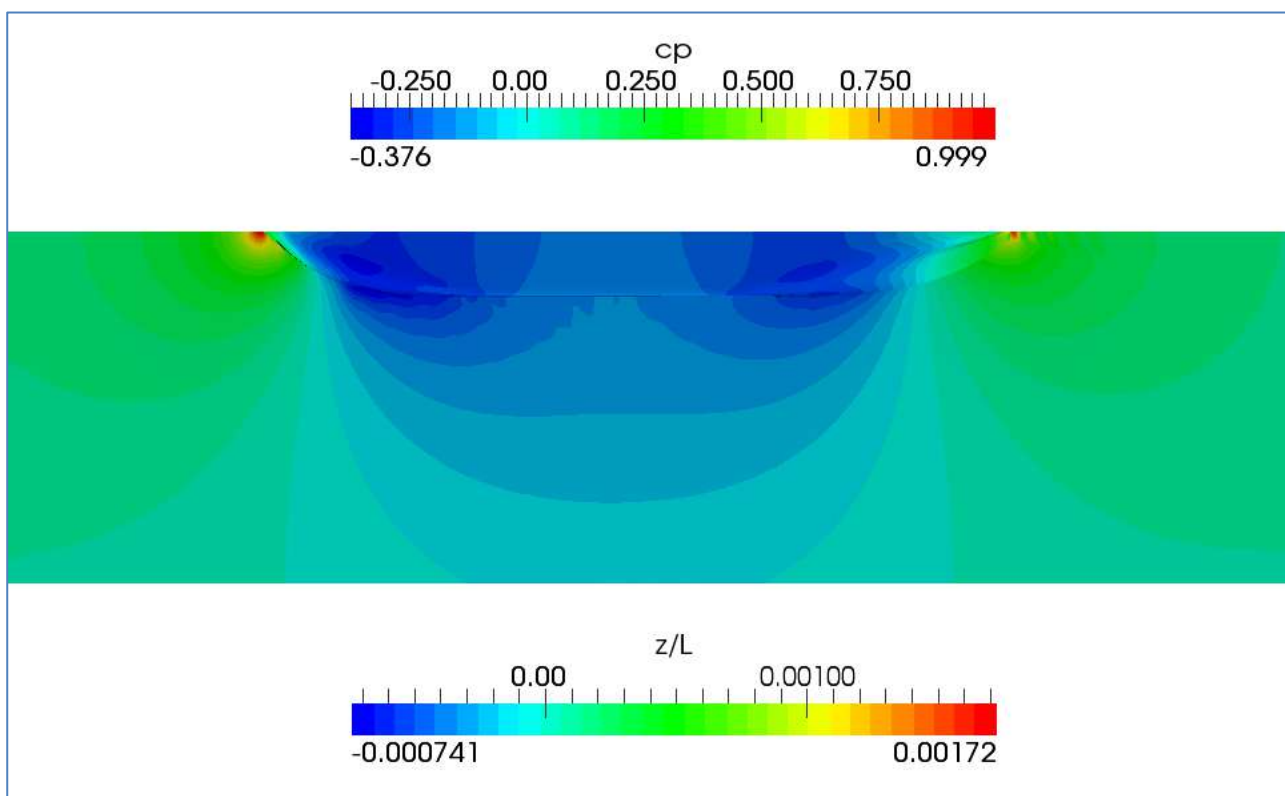


Figura 9.12a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

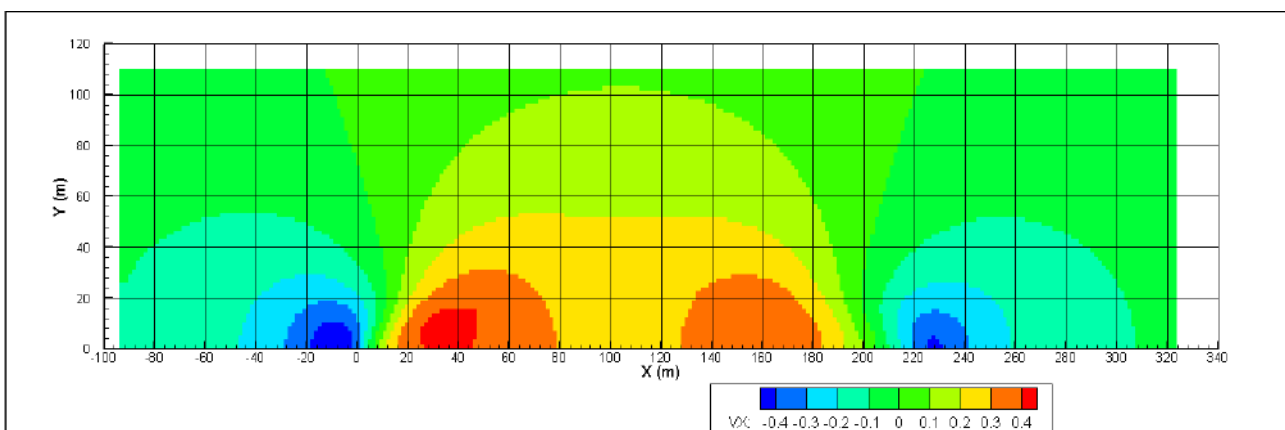


Figura 9.12b – Contour plot della componente V_x della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship4_C

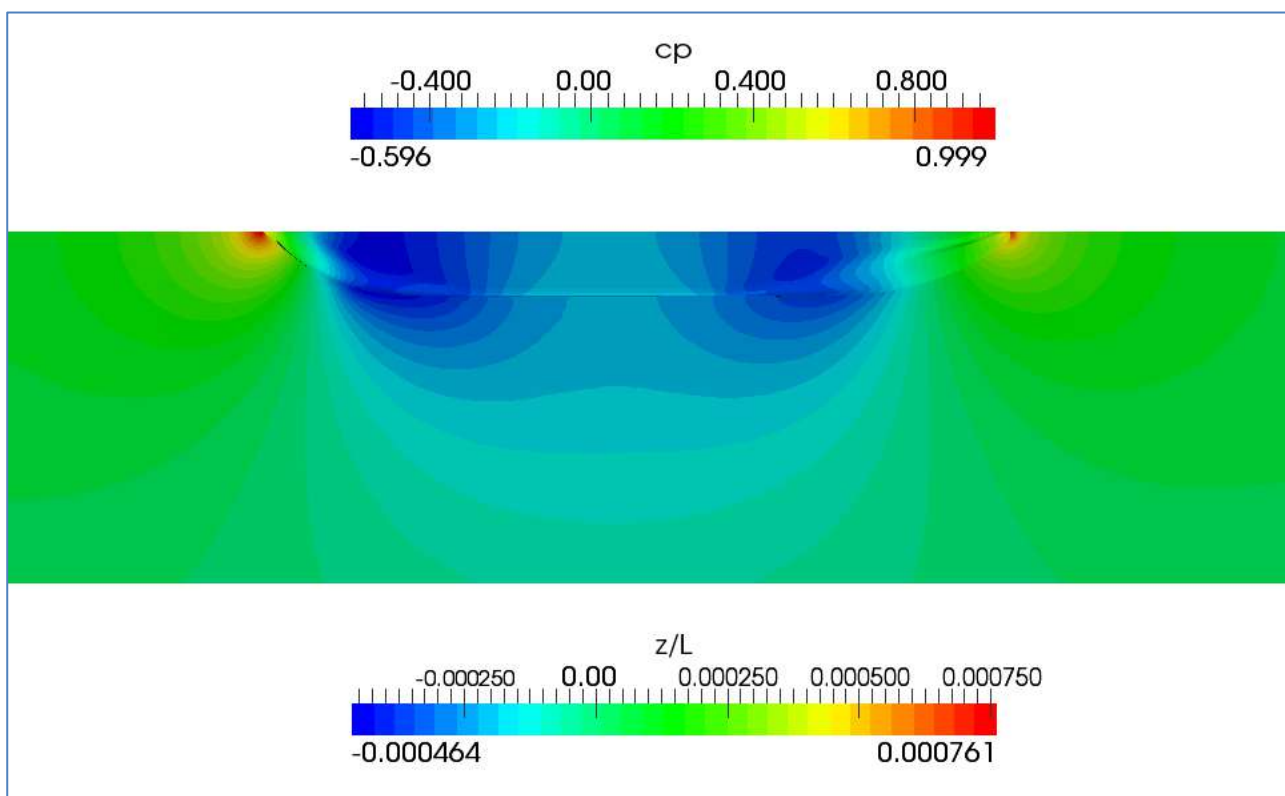


Figura 9.13a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

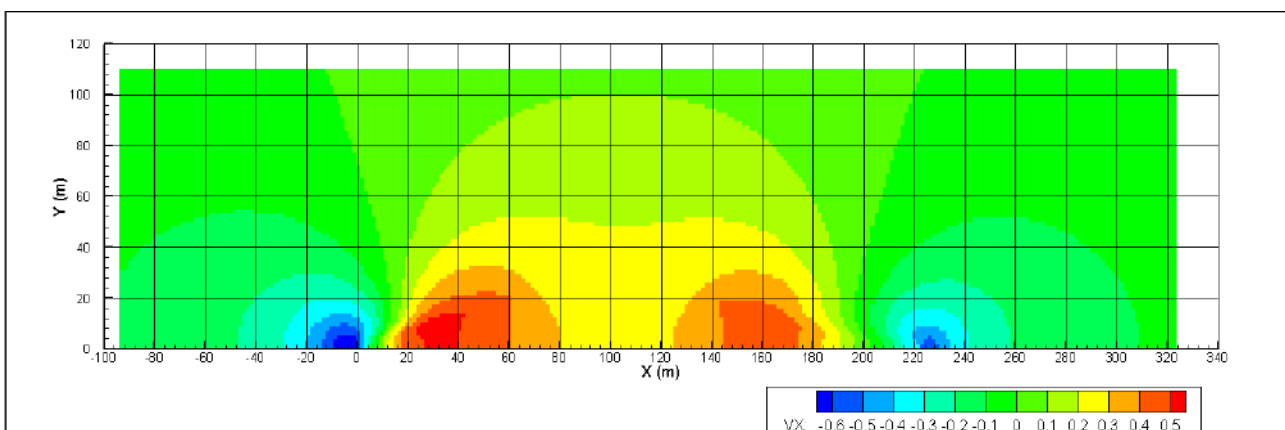


Figura 9.13b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.



DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA

Università degli Studi di Trieste
Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste
P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project: Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI

Customer: DHI Italia (Sede di Genova)
Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

Ship4_D

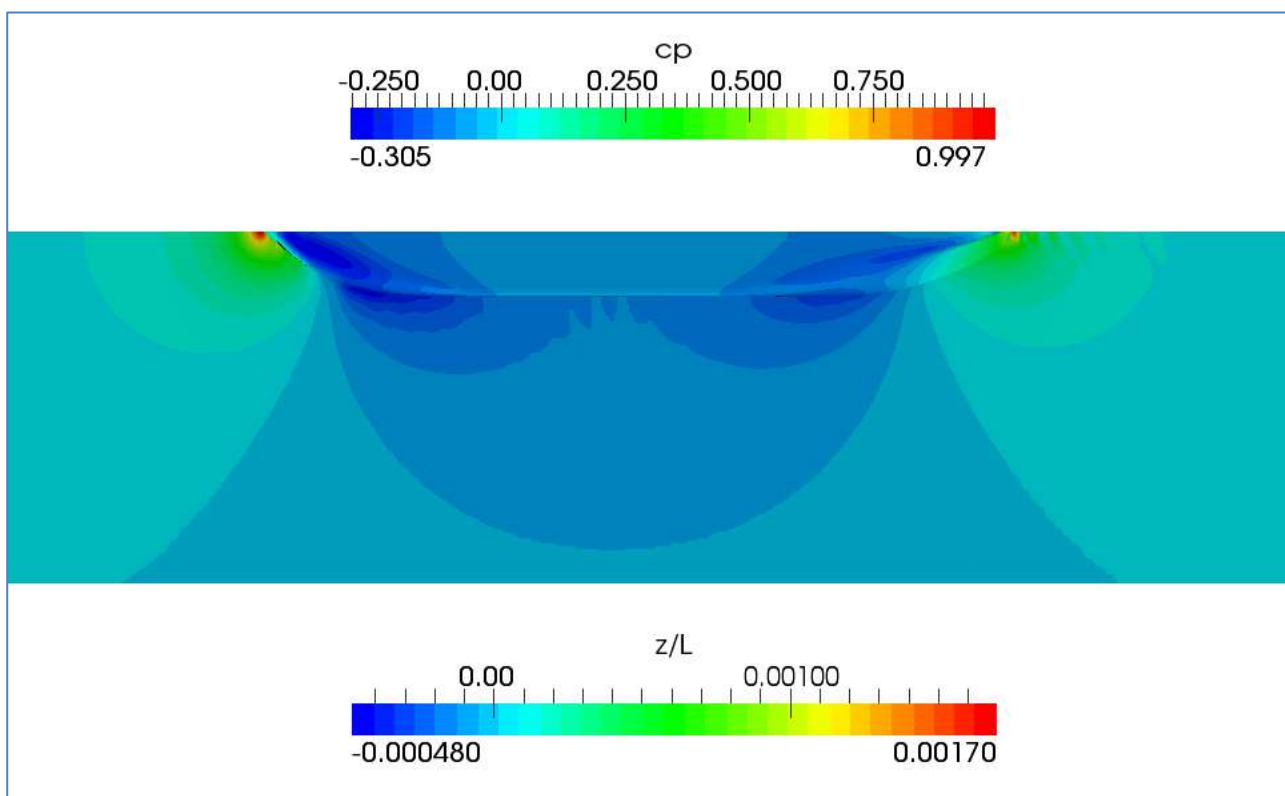


Figura 9.14a – Contour plot (visto da sotto) della elevazione non-dimensionale della superficie libera (z/L) e della pressione (C_p) sulla superficie della carena. Prora a sinistra.

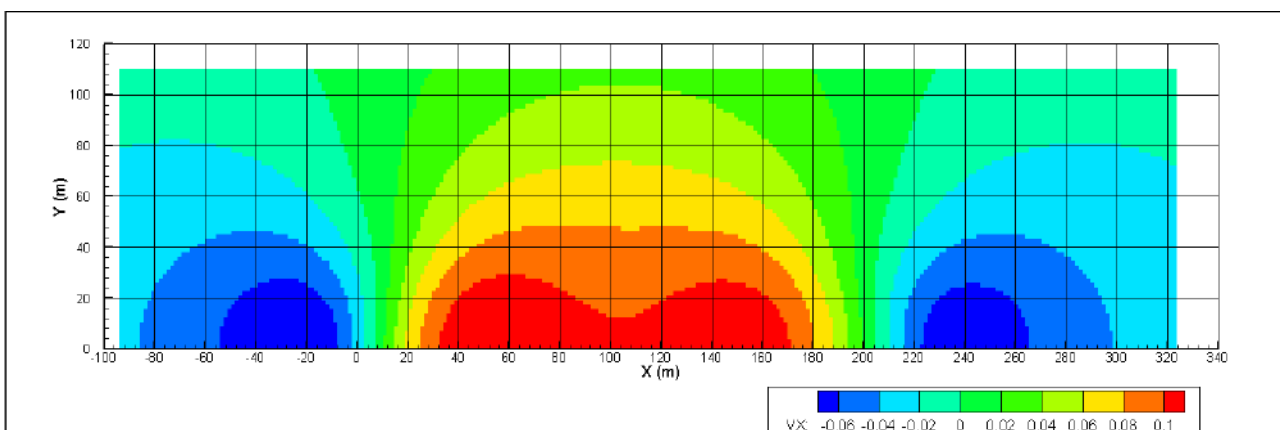


Figura 9.14b – Contour plot della componente V_X della velocità del flusso sul fondo.

**DIA - DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA**

Università degli Studi di Trieste

Via A. Valerio, 10 - 34127 Trieste

P.IVA. 00211830328 - C.F. 80013890324

Project:	Studio, mediante modello matematico, del campo di moto idrodinamico indotto dalle navi in movimento nel corridoio di traffico del Mar Grande (Taranto) da/verso il pontile ENI
Customer:	DHI Italia (Sede di Genova) Via degli Operai, 40 - 16149 Genova - Italia

10. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] ENI R&M – Raffineria di Taranto - Studio di Impatto Ambientale – Progetto di potenziamento delle strutture per lo stoccaggio e la spedizione del greggio Tempa Rossa – Richiesta di integrazioni 1857 – Quadro di riferimento – 3 Zonizzazione dei fondali in un intorno appropriato in relazione agli interventi previsti sul pontile - URS Italia - Dicembre 2010.
- [2] ENI R&M - Raffineria di Taranto - Studio di Impatto Ambientale - Tempa Rossa - Progetto di adeguamento delle strutture della Raffineria di Taranto per lo stoccaggio e la movimentazione del greggio proveniente dal giacimento denominato Tempa Rossa - Integrazioni presentate su base volontaria - URS Italia - Giugno 2011.
- [3] CORPO PILOTI DEL PORTO DI TARANTO – Corridoi e spazi di manovra per ormeggi agli accosti del pontile ENI - Comunicazione ad ENI SpA del 19/04/2011.
- [4] <http://www.gothenburg2010.org/index.html>
- [5] Del Puppo, N., Contento, G., 2011, A parametric representation of fair hull shapes by means of splines in tension, *Proceedings, International Conference IMAM'2011*, pp. 449-459.
- [6] PIANC-AIPCN, 2003, GUIDELINES FOR MANAGING WAKE WASH FROM HIGH-SPEED VESSELS, ISBN 2-87223-142-0.
- [7] Janson, C.E., 1997, Potential Flow Panel Methods for the Calculation of Free-Surface Flows with Lift, Ph.D. Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- [8] Kijelberg, M., Contento, G., Janson, C.E., 2011, A Nested Domains Technique for a Fully Nonlinear Unsteady Three-Dimensional Boundary Element Method for Free-Surface Flows with Forward Speed, *International Conference on Offshore and Polar Engineering – ISOPE'2011*.
- [9] Contento, G., 2000, Numerical Wave Tank Computations of Nonlinear Motions of 2D Arbitrarily Shaped Floating Bodies, *Ocean Engineering*, Vol. 27, pp. 531-556.
- [10] Contento, G., Codiglia, R., D'Este, F., 2001, Nonlinear effects in transient non-breaking waves in a closed basin, *Int. Jou. Applied Ocean Research*, Vol. 23/1, pp. 3-13.
- [11] Fox, R.W., McDonald, A.T., 1985, Introduction to Fluid Mechanics, John Wiley and Sons.
- [12] Contento, G., 2002, Appunti del Corso di Architettura Navale I (Idrodinamica), Università degli Studi di Trieste.