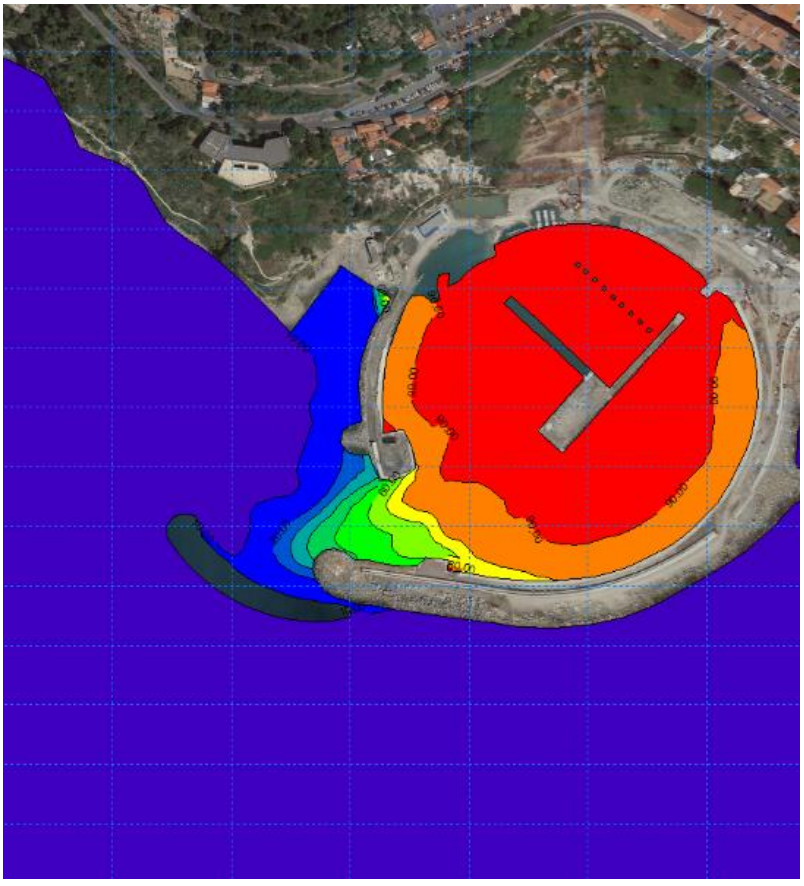
Progetto di un'opera di difesa della costa posta a ponente della imboccatura del nuovo porto turistico di Ventimiglia (IM)

Studio degli effetti dell'opera sul moto ondoso e sull'idrodinamismo a ponente del molo di sottoflutto - Relazione Tecnica



CALA DEL FORTE
VENTIMIGLIA
MONACO PORTS

Relazione

Gennaio 2022

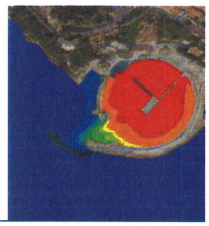
This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)



Progetto di un'opera di difesa della costa posta a ponente della imboccatura del nuovo porto turistico di Ventimiglia (IM)

Studio degli effetti dell'opera sul moto ondoso e sull'idrodinamismo a ponente del molo di sottoflutto - Relazione Tecnica

Committente	Cala del Forte S.r.l. a socio unico
Referente del Committente	avv. Marco Paoletti



Esempio di distribuzione della concentrazione del tracciante

Project manager	Luis Alberto Cusati
Quality supervisor	Andrea Pedroncini
Autore	Luis Alberto Cusati

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA
Dott. Ing. ANDREA PEDRONCINI N. 8223

Codice progetto - elaborato	22803334
Data di approvazione	04.01.2022
Emissione	1.1
Classificazione	Ristretta

DHI S.r.l. a socio unico • Via Bombrini 11/12• 16149 Genova • Italia•
Telefono: +39 010 8481220 • dhi-italia@dhi-italia.it • www.dhigroup.com

INDICE

1 Premessa 1

2 Inquadramento del sito e finalità dello studio 2

3 Analisi della circolazione e del ricambio idrico 4
3.1 Approccio metodologico 4
3.1 Selezione del periodo rappresentativo 5
3.2 Dominio di calcolo e batimetria del modello 7
3.3 Modello idrodinamico 9
3.4 Modello di ricambio idrico 12

4 Analisi delle variazioni dell'energia ondosa nell'insenatura e lungo la falesia 17

5 Sintesi dello studio e conclusioni 19

6 Riferimenti 21

ALLEGATI

ALLEGATO A
MIKE 21 Hydrodynamics (HD)
Descrizione Tecnica

ALLEGATO B
MIKE 21 Advection/Dispersion (AD)
Descrizione Tecnica

1 Premessa

Il presente documento è volto ad illustrare le attività finalizzate alla quantificazione degli effetti della prevista opera di difesa della costa, posta a ponente dell'imboccatura della Marina Cala del Forte, sulle dinamiche di circolazione e di ricambio idrico in corrispondenza dell'insenatura (grotte) posta immediatamente a ponente del molo di sottoflutto e delle aree limitrofe. Inoltre, è oggetto dello studio la quantificazione degli effetti dell'opera sull'energia ondosa nelle medesime aree ed in corrispondenza della falesia che separa il porto dalla spiaggia delle Calandre, a ovest.

Le attività sono state predisposte con l'ausilio di modellistica numerica utilizzando i software sviluppati da DHI, ed in particolare il modello MIKE 21 HD – *Hydrodynamics* e MIKE 21 AD – *Advection Dispersion*.

In precedenza, il pacchetto software MIKE by DHI è stato utilizzato per la simulazione dell'agitazione residua all'interno del porto [1]. Nell'ambito di tale studio sono illustrate le attività preliminari di caratterizzazione meteomarina che costituiscono la base di partenza per le attività oggetto del presente lavoro.

2 Inquadramento del sito e finalità dello studio

La marina “Cala del Forte”, capace di ospitare imbarcazioni fino a 70 m di lunghezza, è ubicata nell’estremo ponente ligure all’interno del territorio comunale di Ventimiglia, al confine con la Francia. Il litorale locale risulta essere orientato secondo la direttrice NO-SE ed esposto ad un settore di traversia piuttosto ampio che va da Levante (a partire da 100°N) a Libeccio (fino a 240°N).

In Figura 2-1 è riportato l’inquadramento del sito, per i dettagli sui dati (batimetrici e di moto ondoso) utilizzati per la caratterizzazione meteomarina preliminare si rimanda all’elaborato [1].

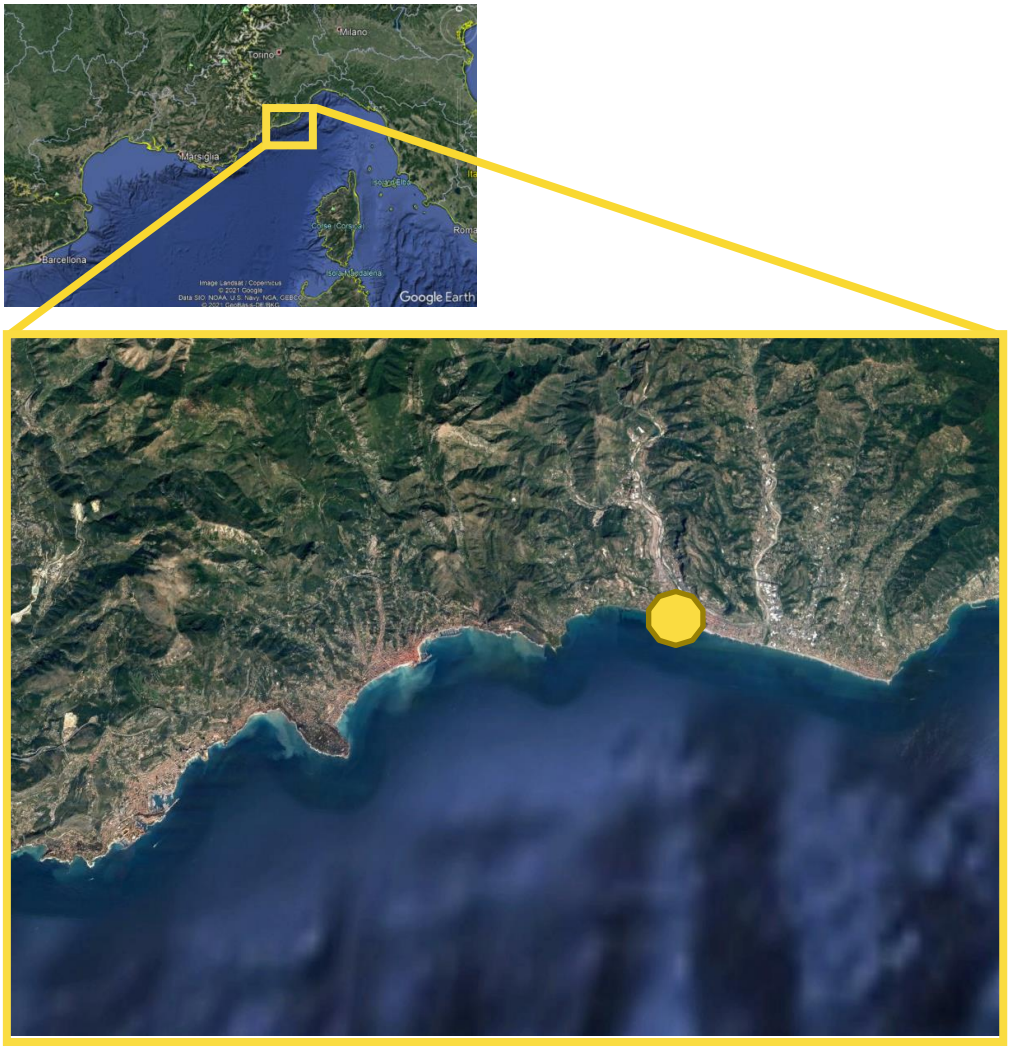


Figura 2-1 Inquadramento geografico: Ubicazione della Marina “Cala del Forte” (pallino giallo)

In Figura 2-1 è riportata la nuova configurazione di progetto del porto, che prevede l’introduzione di un’opera di difesa della costa in prossimità dell’attuale imboccatura della Marina “Cala del Forte”. Il primo obiettivo delle attività qui illustrate è la quantificazione degli effetti di tale opera sulla circolazione, e conseguentemente sul ricambio idrico, nel tratto di mare posto immediatamente all’esterno del bacino attuale (avamporto), laddove è presente un’insenatura naturale con grotte. La successiva Figura 2-2 illustra le tre aree sulle quali è stata focalizzata l’analisi idrodinamica. In particolare, per la zona del porto (rettangolo giallo), del nuovo avamporto (rettangolo verde) e dell’insenatura (rettangolo rosso) sono state valutati i tempi di

ricambio della massa d'acqua nella configurazione di progetto in rapporto alla configurazione di stato attuale.

Per la zona antistante la falesia (poligono viola) sono state valutate le variazioni, rispetto allo stato attuale, dell'energia del moto ondoso incidente.

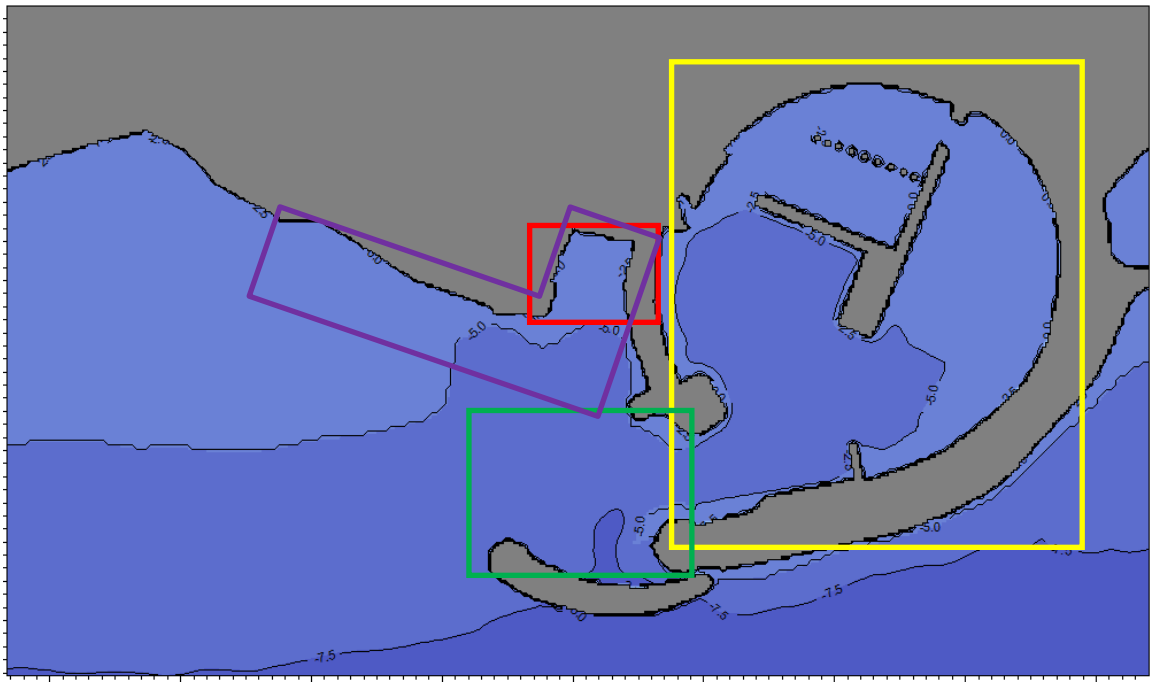


Figura 2-2 Configurazione di progetto ed indicazione delle aree oggetto di studio

3 Analisi della circolazione e del ricambio idrico

3.1 Approccio metodologico

In generale, gli studi di circolazione sono fortemente influenzati dalla scelta delle forzanti che contribuiscono alla definizione dell'idrodinamica locale. Quelle che svolgono un ruolo rilevante nelle dinamiche di circolazione idrica sono essenzialmente tre: vento, livelli del mare e moto ondoso. Nel caso specifico si è deciso di ricostruire il campo idrodinamico a partire dai dati di livello e di vento; tale scelta si pone a vantaggio di sicurezza in considerazione del fatto che le onde, nella fascia dei frangenti, generano correnti litoranee in grado di disperdere più rapidamente gli eventuali contaminanti disciolti in mare.

Si è deciso inoltre di condurre l'analisi in riferimento ad un mese caratterizzato da un regime anemometrico medio, quindi non caratterizzato da fenomeni meteo-marini particolarmente intensi, che possano determinano condizioni favorevoli per il ricambio delle acque. È stato pertanto predisposto un modello al fine di ricostruire per un mese rappresentativo (30 giorni) la reale circolazione che si instaura nel sito di interesse in presenza delle forzanti appena descritte.

Per quanto riguarda la stima dei tempi di ricambio idrico, è stata analizzata la dispersione di un tracciante posto inizialmente ad una concentrazione pari a 100 in tutta l'area di interesse: il ricambio del volume d'acqua è totale quando la concentrazione del tracciante è ovunque nulla. In particolare, al fine di cogliere l'intera variabilità della circolazione naturale del sito, è stato adottato un approccio metodologico a "finestre mobili": le 15 simulazioni del ricambio idrico sono state effettuate modificando di volta in volta le condizioni idrodinamiche variando, sempre all'interno del mese di riferimento, la data di inizio simulazione. I risultati di tutte le simulazioni sono stati successivamente processati al fine di fornire una stima dei tempi di ricambio medi delle aree di interesse.

Per lo sviluppo di questa analisi è stata applicata opportuna modellistica numerica bidimensionale ed in particolare il modello MIKE 21 AD – *Advection-Dispersion* accoppiato dinamicamente al modello idrodinamico MIKE 21 HD – *Hydrodinamics* La descrizione di questi modelli è riportata negli Allegati A e B al presente documento.

Il modulo MIKE 21 HD (Hydrodynamics), cuore del codice bidimensionale MIKE 21, simula le variazioni di livello e di corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate. Il sistema modellistico si basa sulla soluzione numerica delle equazioni dei Navier-Stokes mediate (Reynolds Averaged Navier-Stokes equations) sotto le ipotesi di Boussinesq e in condizioni di pressione idrostatica. La versione Flexible Mesh utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento.

Il modulo MIKE 21 AD simula il comportamento di sostanze in sospensione o disciolte in acqua per effetto del flusso idrodinamico (avvezione) e dei processi di dispersione. Le sostanze simulate sono essenzialmente conservative, ma può essere applicato anche un decadimento di primo ordine. Il modulo di avvezione/dispersione può essere applicato ad un'ampia gamma di fenomeni idraulici. Le aree di applicazione sono generalmente legate all'idrodinamica ed al trasporto di sostanze disciolte, simulazioni di traccianti, studi di ricircolo di bacini portuali e studi di qualità delle acque in generale. Il sistema modellistico del modulo AD è basato sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes valide per fluidi incomprimibili e soggette all'assunzione di Boussinesq e alla pressione idrostatica.

3.1 Selezione del periodo rappresentativo

A fine di rappresentare la complessa variabilità idrodinamica del sito, le simulazioni sviluppate per la valutazione della circolazione e del ricambio idrico sono state predisposte per un periodo reale pari ad un mese.

Come anticipato, al fine di incrementare la rappresentatività dell'analisi, si è assunto di fare riferimento ad un mese caratterizzato da un regime anemometrico medio, utilizzando anche i relativi livelli marini, pure responsabili della circolazione locale.

Per la selezione del mese rappresentativo è stata condotta un'analisi dei dati di vento a disposizione, ricavati dal database di ricostruzione storica di vento ed onda del DICCA (Dipartimento di Ingegneria Chimica, Civile ed Ambientale dell'Università di Genova) relativi ad un punto situato a circa 2 km al largo dalla Marina di Cala del Forte [1]. In Figura 3-1 si riporta la rosa del vento riferita a tale punto, mentre la Tabella 3-1 riporta le occorrenze delle classi di velocità e direzione del vento.

L'analisi mostra che i venti più intensi e più frequenti provengono da Nord / Nord-Est (350°-70°N) e da Sud-Ovest (230°-310°N). Per identificare il periodo di riferimento per le simulazioni, la serie temporale di velocità del vento è stata processata al fine di calcolare le medie per ciascuno dei mesi degli ultimi 10 anni (Tabella 3-2). Sulla base di tale analisi è stato selezionato il mese di Aprile 2016 quale mese rappresentativo, in quanto caratterizzato da una media della velocità del vento praticamente identica alla media complessiva, pari a 4.8 m/s.

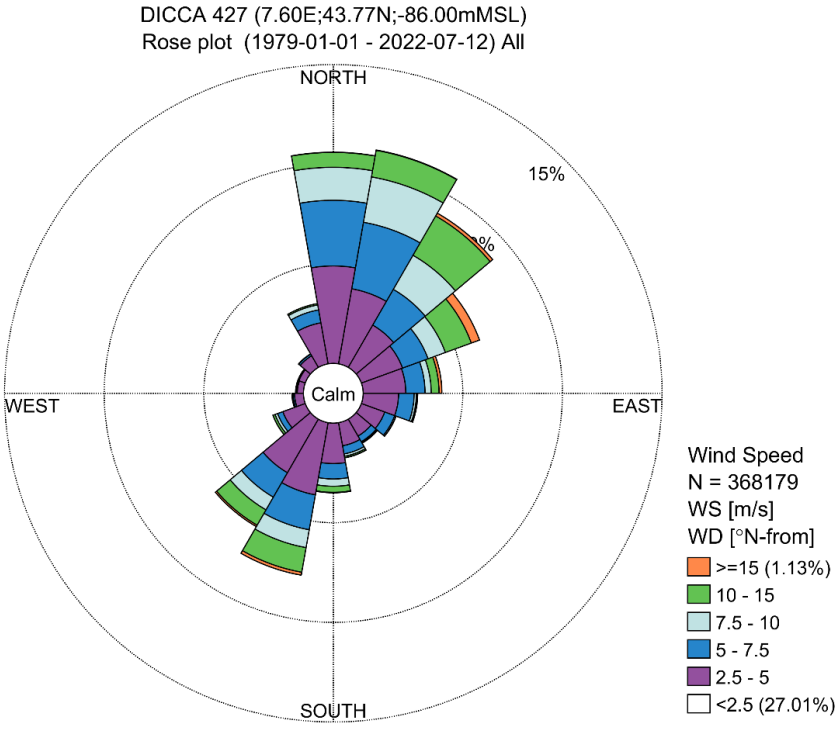


Figura 3-1 Rosa del vento nel punto DICCA (LON 7.60E, LAT43.77N)

Tabella 3-1 Numero di occorrenze per classi di velocità del vento (WS) e direzione del vento (WD) in corrispondenza del punto DICCA (LON 7.60E, LAT43.77N)

DICCA 427
Number of Occurrences (1979-01-01 - 2022-07-12) All
WS [m/s] - Wind Speed

WD [°N-from] - Wind Direction	[0-2.5[	[2.5-5[	[5-7.5[	[7.5-10[	[10-12.5[	[12.5-15[	[15-17.5[	[17.5-20[	[20-22.5[	[22.5-25[	[25-27.5[	[27.5-30[	Total	Accum
[330-350[	4027	5593	2432	258	35	16	5	-	-	-	-	-	12366	368179
[310-330[	3867	3846	1473	190	47	18	7	5	-	-	-	-	9453	355813
[290-310[	4075	3695	1228	272	117	65	18	6	2	2	1	-	9481	346360
[270-290[	4866	5444	1994	769	368	127	34	13	5	1	-	-	13621	336879
[250-270[	5975	10773	4562	2343	1873	734	138	32	5	1	-	-	26436	323258
[230-250[	7297	13880	7080	3580	3118	1782	533	125	6	1	-	-	37402	296822
[210-230[	6823	7571	2567	1372	962	559	104	1	-	-	-	-	19959	259420
[190-210[	5423	2580	438	202	76	36	7	1	-	-	-	-	8763	239461
[170-190[	4914	1233	245	107	46	20	7	1	-	-	-	-	6573	230698
[150-170[	4262	1128	133	60	20	3	-	-	-	-	-	-	5606	224125
[130-150[	4835	1607	190	47	15	3	-	-	-	-	-	-	6697	218519
[110-130[	6472	4150	885	209	29	4	-	-	-	-	-	-	11749	211822
[90-110[	8286	13607	6415	2968	1057	151	5	2	1	-	-	-	32492	200073
[70-90[	7784	17515	14628	8210	3278	629	49	8	-	-	-	-	52101	167581
[50-70[	6195	10787	9477	8349	5455	1653	198	20	1	1	-	-	42136	115480
[30-50[	5206	8316	6228	5230	4497	2801	942	261	36	2	-	-	33519	73344
[10-30[	4782	8077	4133	1972	1568	1286	799	388	86	16	2	-	23109	39825
[-10-10[	4359	7358	3283	751	404	291	154	76	30	10	-	-	16716	16716
Total	99448	127160	67391	36889	22965	10178	3000	939	172	34	3	-	368179	-
Accum	99448	226608	293999	330888	353853	364031	367031	367970	368142	368176	368179	368179	-	-

Tabella 3-2 Valori di velocità del vento medie nei vari mesi degli ultimi 10 anni in corrispondenza del punto DICCA (LON 7.60E, LAT43.77N). L'ultima colonna (denominata AVG) indica la media delle medie mensili. In giallo è evidenziato il mese selezionato per le simulazioni.

Mean	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	AVG
	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
Annual	**4.9**	**4.9**	**4.8**	**4.8**	**4.9**	**4.9**	**4.7**	**4.7**	**4.6**	**4.6**	**4.8**
Jan	5.3	4.9	4.9	5.2	6.6	6.9	6.5	5.2	4.7	5.0	5.5
Feb	5.9	6.1	5.9	6.0	6.2	6.0	5.3	5.1	4.6	5.2	5.6
Mar	6.0	5.6	6.2	5.9	5.9	5.4	5.3	5.4	5.4	5.5	5.7
Apr	5.6	5.4	4.5	4.5	4.5	4.8	4.9	5.0	5.1	4.9	4.9
May	4.1	4.4	4.5	5.0	4.7	4.6	4.0	4.4	4.6	5.0	4.5
Jun	3.6	3.8	4.0	4.0	4.0	3.8	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9
Jul	4.1	3.8	3.6	3.7	3.6	3.7	3.5	3.7	3.6	3.6	3.7
Aug	3.1	3.5	3.6	3.2	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4
Sep	4.2	4.2	4.0	4.8	4.7	4.0	3.9	4.2	4.3	4.4	4.3
Oct	5.4	5.1	4.8	5.1	5.3	4.6	5.0	5.2	4.5	4.5	4.9
Nov	6.2	6.3	6.6	5.4	5.1	5.4	5.4	5.8	5.2	4.6	5.6
Dec	5.3	4.9	5.2	4.7	4.5	5.7	5.3	5.2	5.5	4.9	5.1

3.2 Dominio di calcolo e batimetria del modello

Il modello di circolazione è stato implementato su un dominio di calcolo avente un'estensione di circa 3 km lungo la costa e circa 1.5 km verso il largo. La risoluzione della *mesh* di calcolo, intesa come lunghezza media dei triangoli che la compongono, varia da circa 90 m al largo fino a circa 10 m nella zona di interesse.

Per quanto riguarda i dati batimetrici si è fatto riferimento agli stessi utilizzati per le attività modellistiche pregresse, descritti dettagliatamente in [1]. In Figura 3-2 è rappresentata la batimetria ottenuta dal processamento dei dati a disposizione.

La *mesh* di calcolo così costruita è costituita da circa 25.000 elementi ed è caratterizzata da un solo contorno aperto a forma semicircolare come mostrato in Figura 3-3. In Figura 3-4 è riportato un dettaglio della mesh di calcolo nella zona di interesse.

Le simulazioni sono state condotte in riferimento alla configurazione attuale e a quella di progetto, comprensiva dell'opera di protezione in corrispondenza dell'attuale imboccatura portuale.

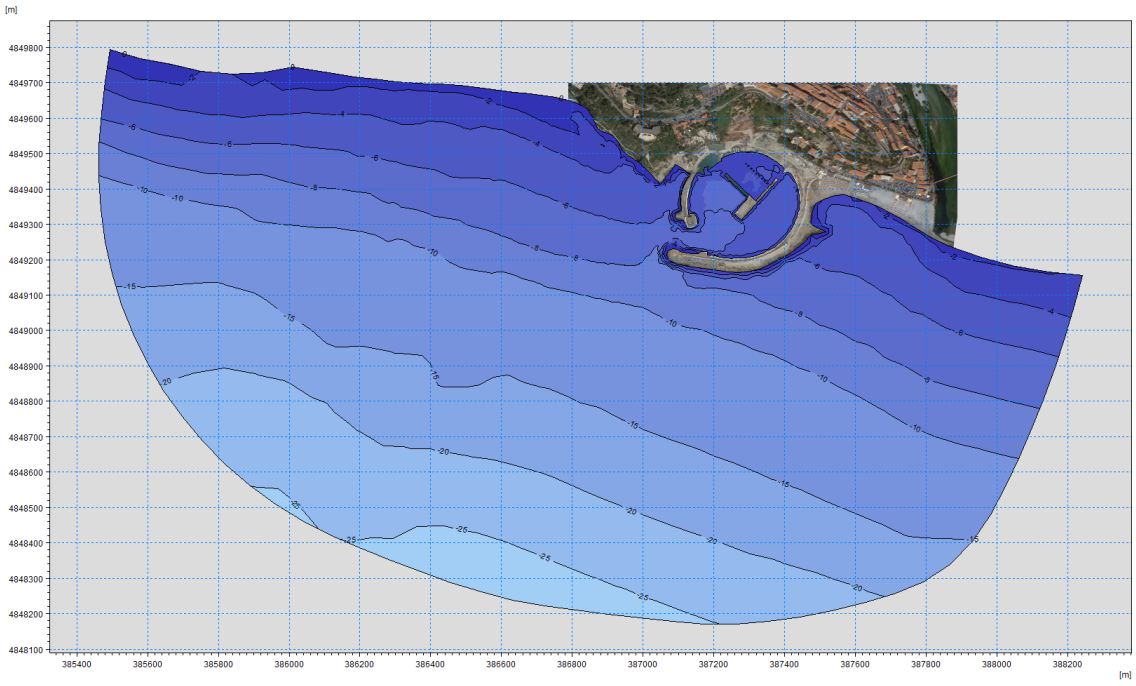


Figura 3-2 Batimetria ottenuta dal processamento dei dati a disposizione

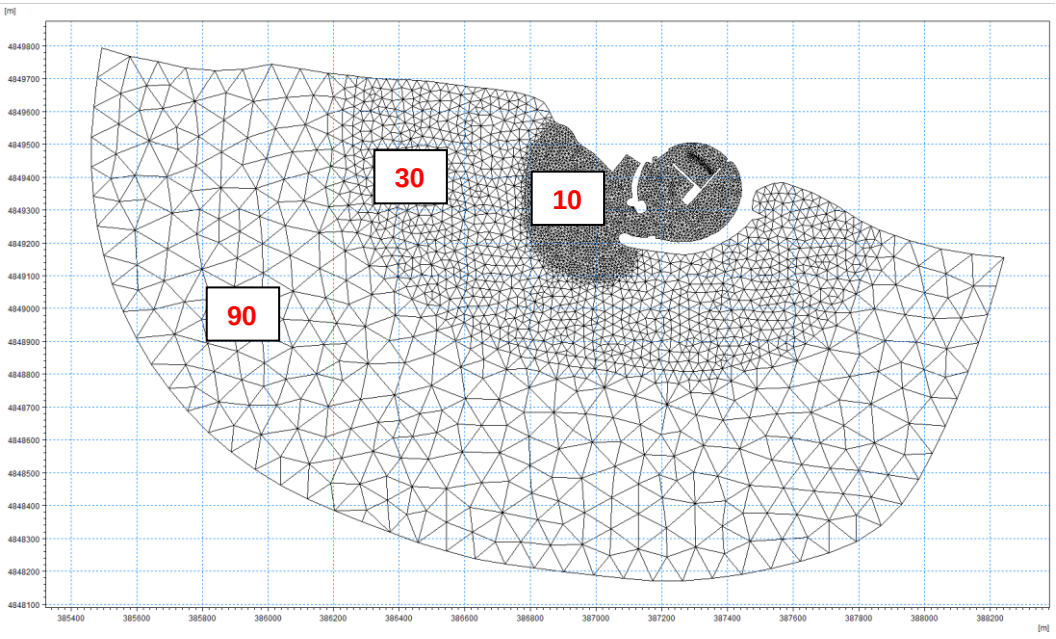


Figura 3-3 Rappresentazione della differente risoluzione della *mesh* di calcolo utilizzata nel modello di circolazione e ricambio idrico

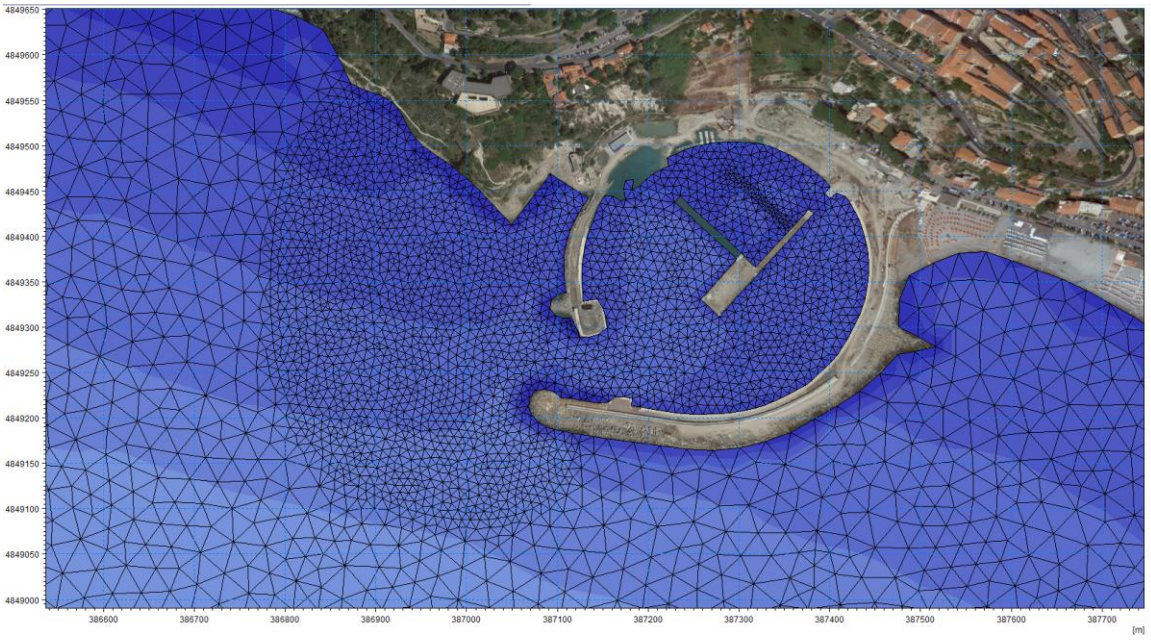


Figura 3-4 Dettaglio della *mesh* di calcolo nell'area di interesse

3.3 Modello idrodinamico

Come esposto nella sezione 3.1, il modello idrodinamico MIKE 21 HD è stato implementato per il mese di Aprile 2016, utilizzando come condizioni al contorno l'andamento del livello marino (derivato dal mareografo di Imperia) e come forzante il vento (derivato dai dati DICCA) per il periodo dall'01.04.2016 al 30.04.2016.

Nelle immagini di Figura 3-5 e Figura 3-6 sono riportati a titolo di esempio i campi idrodinamici generati in diversi istanti temporali, in condizioni di velocità più intense: in particolare 9 Aprile alle ore 9.00 e 13 Aprile alle ore 21.00, caratterizzati rispettivamente da una velocità del vento pari a 8.9 m/s da Scirocco (120°N) e 10.7 m/s da Libeccio (245°N).

Le immagini mostrano che le velocità di corrente nella zona di interesse sono basse, generalmente inferiori a 0.20 m/s. In particolare, nella zona dell'insenatura posta a ponente del molo di sottoflutto esse presentano intensità comprese tra 1 e 4 cm/s, sia nella configurazione attuale che in quella in presenza dell'opera di difesa.

Sempre in riferimento all'insenatura, è interessante osservare che in entrambe le condizioni di corrente rappresentate, la presenza della nuova opera di difesa determina uno spostamento verso ponente di circa 150 m della zona di massimo gradiente di circolazione, laddove la corrente presenta un significativo abbattimento. Diretta conseguenza di tale variazione nell'idrodinamica locale è la prevedibile tendenza, nella nuova configurazione, ad una migrazione verso ovest dell'area caratterizzata dalla deposizione di materiale (sedimento e/o foglie di Posidonia morta) eventualmente in sospensione rispetto alla configurazione attuale.

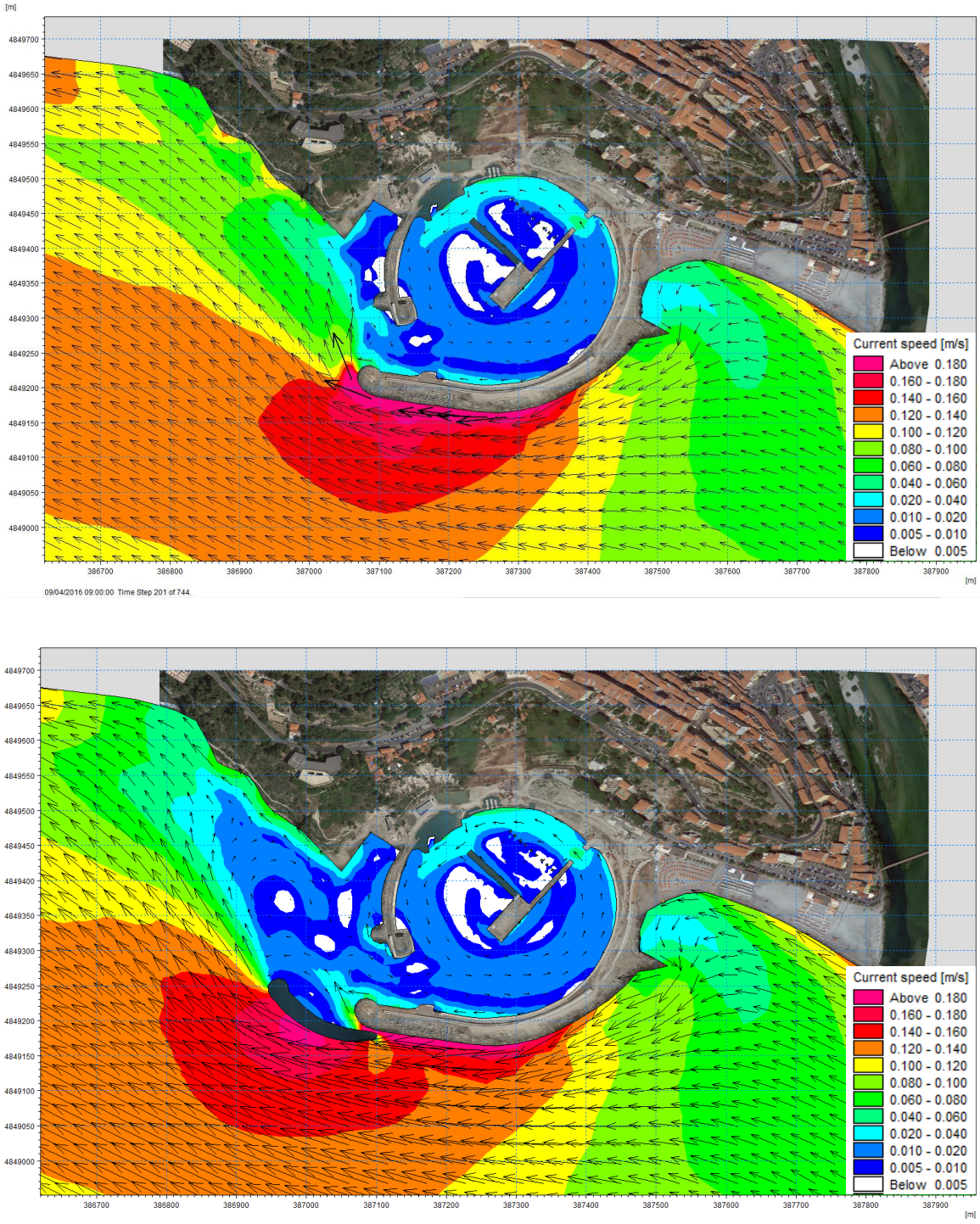


Figura 3-5 Esempio di campo idrodinamico: 09 Aprile 2016 h 9:00 in riferimento alla configurazione di stato attuale (sopra) e alla configurazione di progetto (sotto)

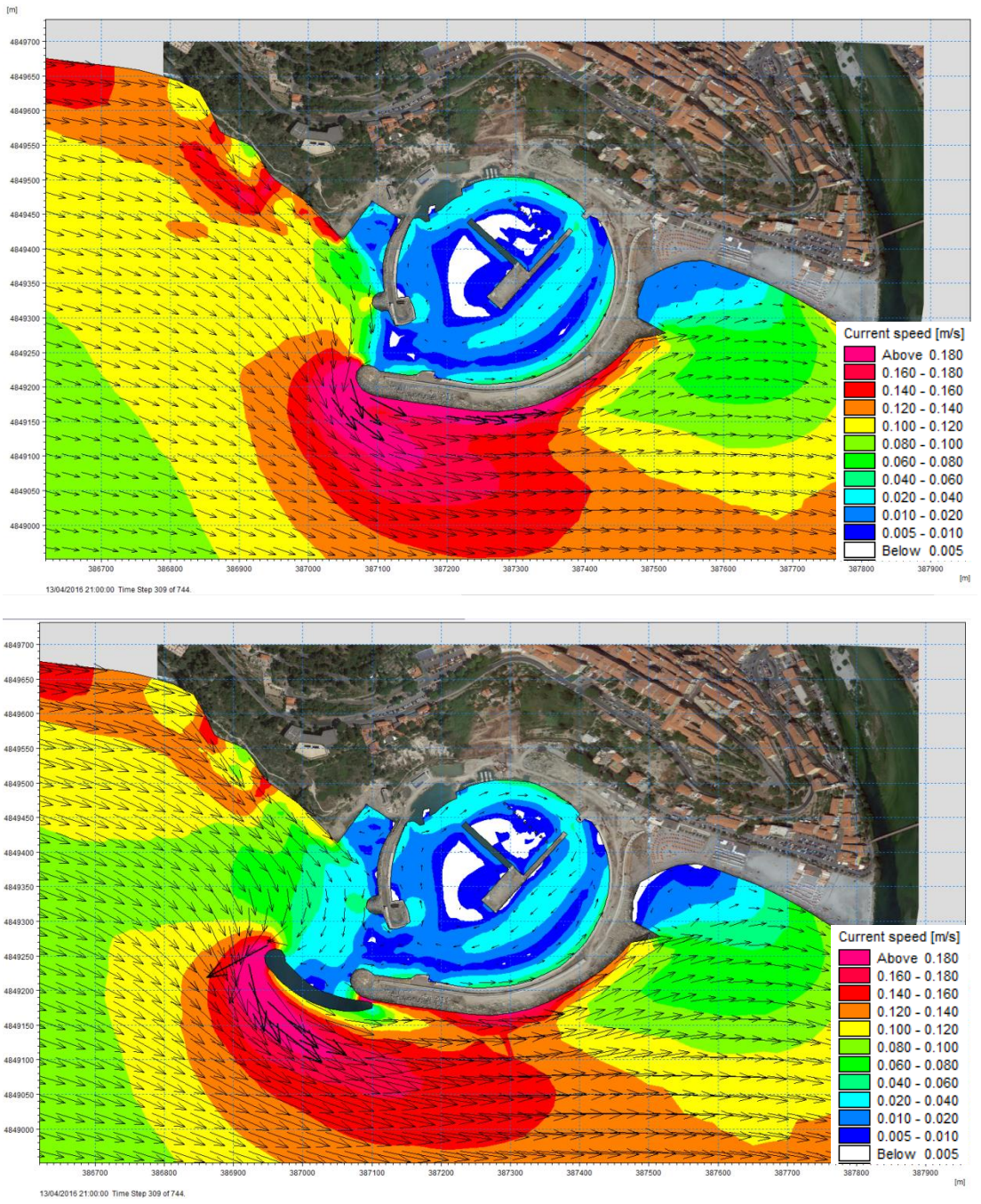


Figura 3-6 Esempio di campo idrodinamico: 13 Aprile 2016 h 21:00 in riferimento alla configurazione di stato attuale (sopra) e alla configurazione di progetto (sotto)

3.4 Modello di ricambio idrico

Una volta ricostruita la circolazione locale, al modello MIKE 21 HD è stato dinamicamente accoppiato il modello di avvezione e dispersione MIKE 21 AD, seguendo la metodologia precedentemente illustrata delle “finestre mobili”. In particolare, sono state predisposte 15 simulazioni combinate idrodinamica-trasporto (avvezione - dispersione) ognuna della durata di quindici giorni, e sfasate tra loro di 1 giorno, al fine di coprire l’intero mese preso a riferimento (Aprile 2016). In Figura 3-7 è presentato uno schema delle simulazioni effettuate.

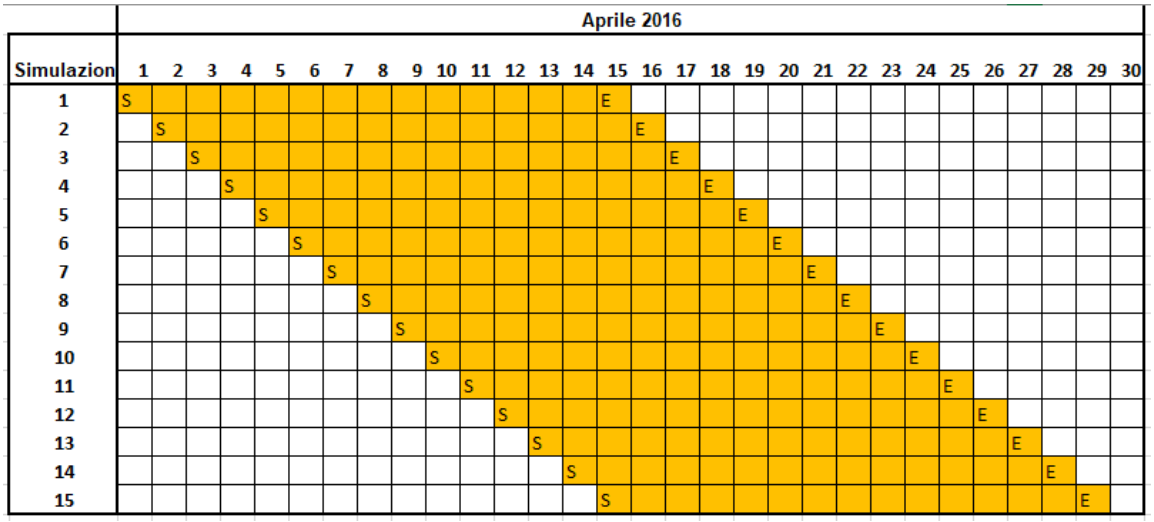


Figura 3-7 Schema delle simulazioni effettuate con il modello MIKE21 AD. S=inizio simulazione (“Start”); E=fine della simulazione (“End”)

Per il modello di trasporto, ognuna delle 15 simulazioni è caratterizzata dalla medesima condizione iniziale in termini di concentrazione di tracciante (pari a 100) nel bacino delimitato dal porto, avamporto ed insenatura, sia nella configurazione attuale che in quella di progetto. La condizione iniziale è mostrata in Figura 3-9, dove in rosso è rappresentata la concentrazione di tracciante pari a 100, mentre nel resto del dominio la concentrazione è nulla.

La concentrazione iniziale pari a 100 permette di ricavare in maniera immediata la percentuale di ricambio idrico nel tempo: al primo istante temporale, quando la concentrazione è pari a 100, lo 0% del volume d’acqua è stato ricambiato. Al passare del tempo, il tracciante viene gradualmente trasportato dalla circolazione, la concentrazione nelle aree di interesse diminuisce nel tempo e, di conseguenza, il ricambio aumenta gradualmente fino ad essere totale (pari al 100%), ossia fino alla completa scomparsa del tracciante (concentrazione nulla).

Grazie all’applicazione del modello MIKE 21 AD, questa variazione nel tempo e nello spazio, in funzione delle specifiche condizioni idrodinamiche, della concentrazione del tracciante è stata ottenuta su tutto il dominio di calcolo e per ogni step temporale (in questo caso pari a un’ora). Al fine di rendere più fruibili i risultati di questo modello, le mappe tempo-varianti di concentrazione sono state mediate su tutte le 15 simulazioni. Nelle immagini a seguire (da Figura 3-9 a Figura 3-13) sono pertanto rappresentate le mappe di concentrazione media del tracciante dopo 3, 6, 12, 24, 36, 48, 60, 120, 240 e 360 ore. Per semplicità di visualizzazione, queste mappe sono rappresentate solo nell’intorno delle aree oggetto dell’analisi, sia per la configurazione di stato attuale che per quella di progetto in presenza dell’opera di difesa.

Le immagini consentono di quantificare il ricambio idrico medio in ogni parte del bacino confermando che la zona a più alto dinamismo, ossia dove il ricambio idrico avviene più velocemente, è quella dell’avamporto. Nella configurazione di stato attuale, vista l’assenza di opere di protezione, per tale area si ottiene una percentuale di ricambio dell’80% (concentrazione di tracciante mediamente pari a 20) già dopo circa 6 ore. Viceversa, nella

configurazione di progetto dopo sole 3 ore la concentrazione di tracciante è compresa tra 90 e 70 con una percentuale di ricambio che quindi varia tra il 10% ed il 30%. Per raggiungere una percentuale di ricambio all'incirca pari al 50% sono necessarie 12 ore, mentre per raggiungere una percentuale di ricambio vicina al 80% sono necessarie 48 ore.

La zona dell'insenatura (grotte) risulta caratterizzata da un livello di dinamismo più basso rispetto all'area dell'avamporto. È opportuno sottolineare che tra configurazione attuale e di progetto, in riferimento alla zona dell'insenatura (grotte), non si osservano sostanziali differenze. In particolare, per raggiungere una percentuale di ricambio all'incirca pari al 50% sono necessarie 12 ore in entrambe le configurazioni, mentre per raggiungere una percentuale di ricambio vicina al 80% sono necessarie 36 ore.

La quantificazione delle differenze nel ricambio idrico della zona dell'insenatura (grotte) tra configurazione attuale e di progetto è stata inoltre possibile attraverso il confronto delle cosiddette "curve di ricambio" nelle due configurazioni (Figura 3-8). L'analisi delle due curve evidenzia, come atteso, un idrodinamismo leggermente inferiore nell'area dell'insenatura (grotte) con la presenza dell'opera di difesa; tuttavia, le differenze risultano poco significative (la variazione percentuale media del ricambio tra le differenti configurazioni studiate è pari al 4%), per cui si può affermare che l'idrodinamismo è sostanzialmente il medesimo.

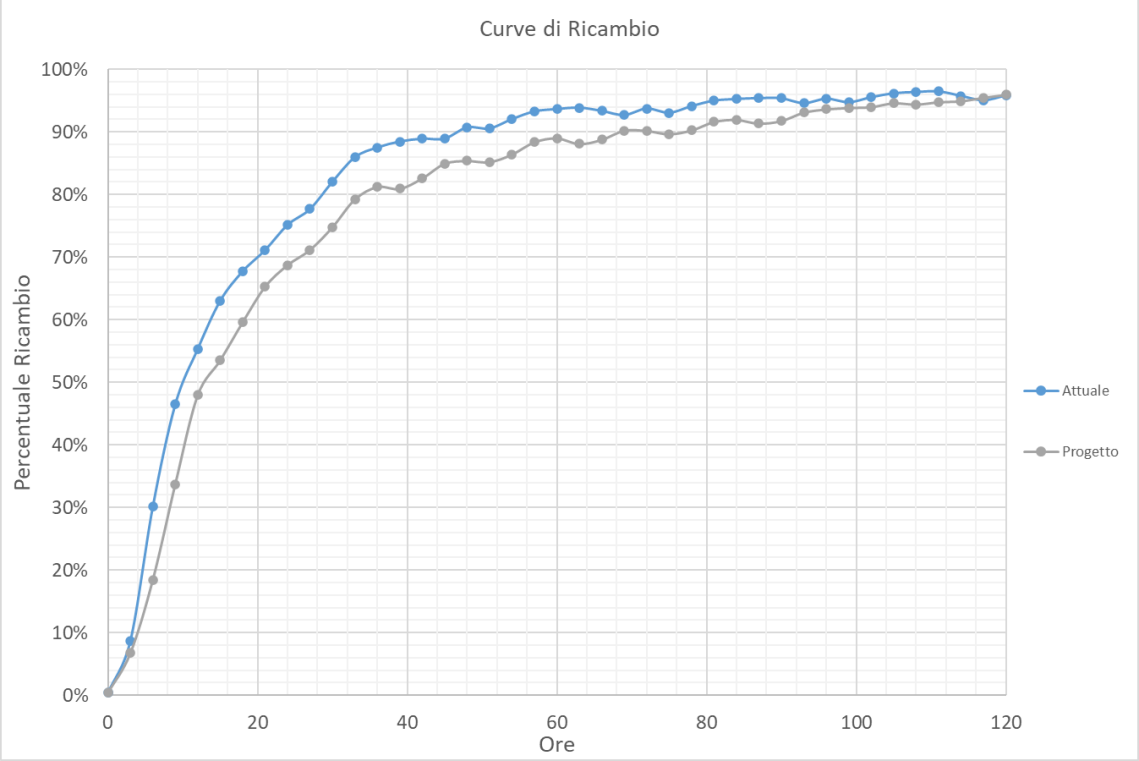


Figura 3-8 Curve di ricambio per la zona dell'insenatura. In blu è riportata la curva di ricambio per la configurazione attuale, in grigio quella per la configurazione di progetto

La zona del bacino portuale, come atteso, risulta essere quella caratterizzata da tempi di ricambio più elevati, ma anche in questo caso non si osservano sostanziali differenze tra lo configurazione di progetto e quella di stato attuale. Nello specifico si osserva che sono necessarie almeno 72 ore per raggiungere una percentuale di ricambio del 20% e 240 ore per raggiungere il 50%. Al termine della simulazione, dopo 15 giorni (360 ore), le percentuali di ricambio sono circa pari al 70%.

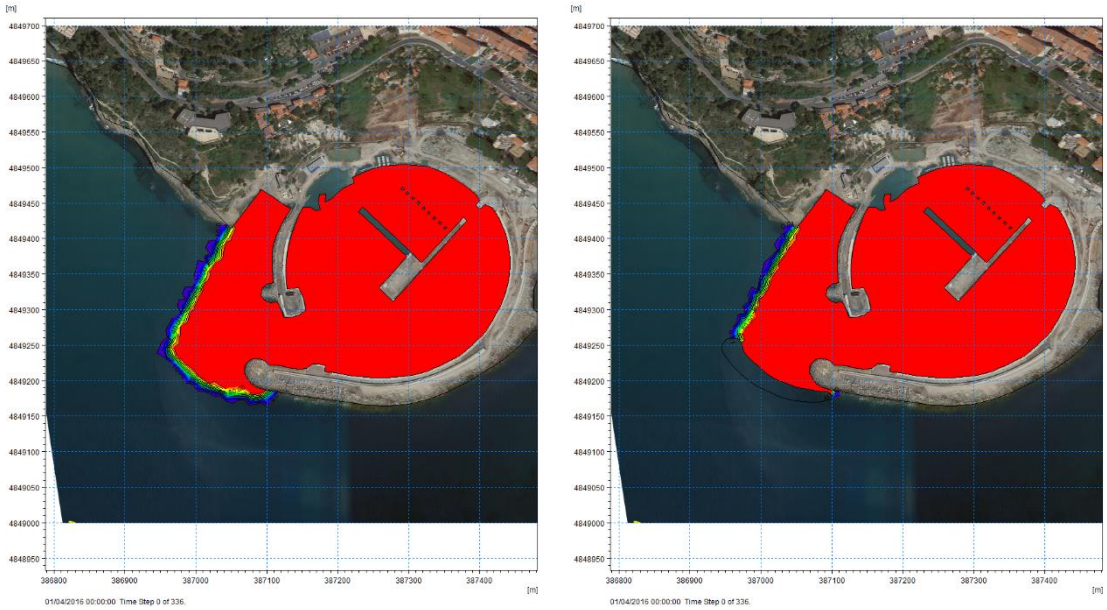


Figura 3-9 Concentrazione iniziale di tracciante nella configurazione di stato attuale (a sinistra) e di

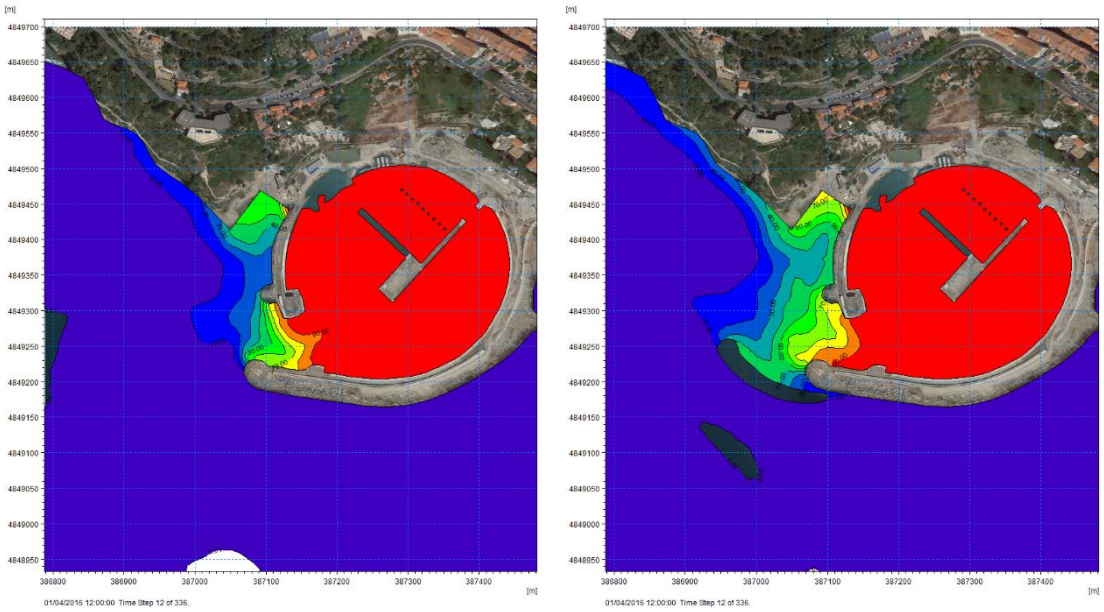


Figura 3-10 Concentrazione di tracciante dopo 12 ore nella configurazione di stato attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

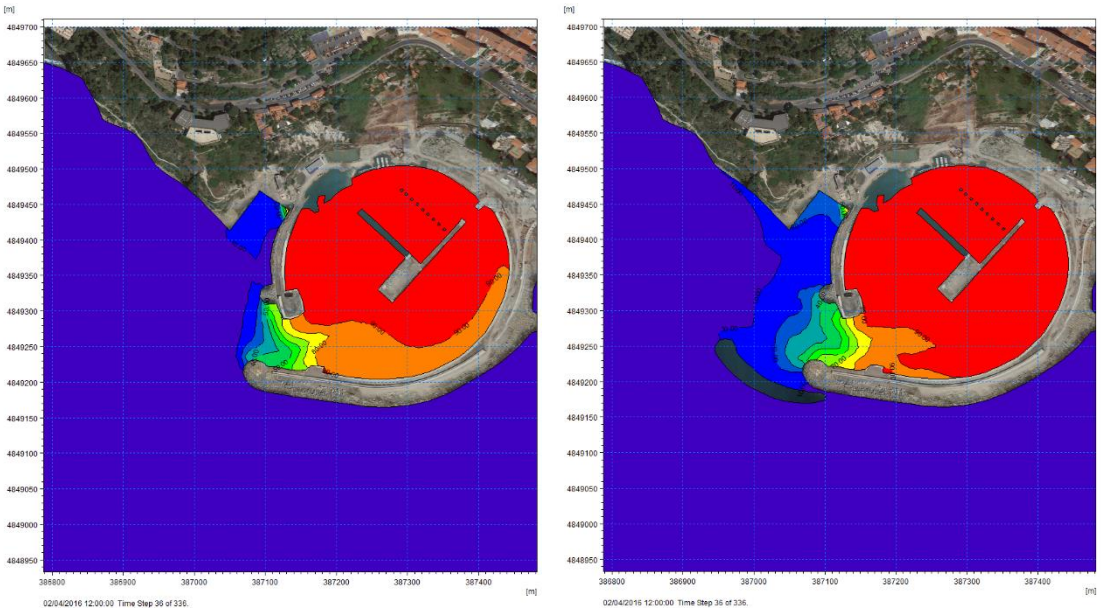


Figura 3-11 Concentrazione di tracciante dopo 36 ore nella configurazione di stato attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

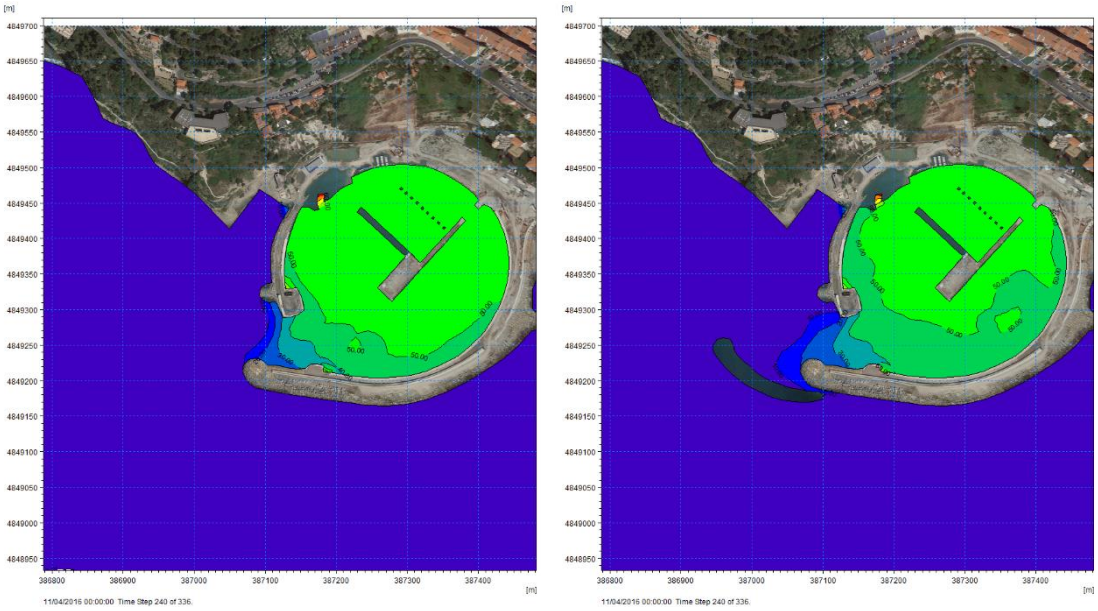


Figura 3-12 Concentrazione di tracciante dopo 240 ore nella configurazione di stato attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

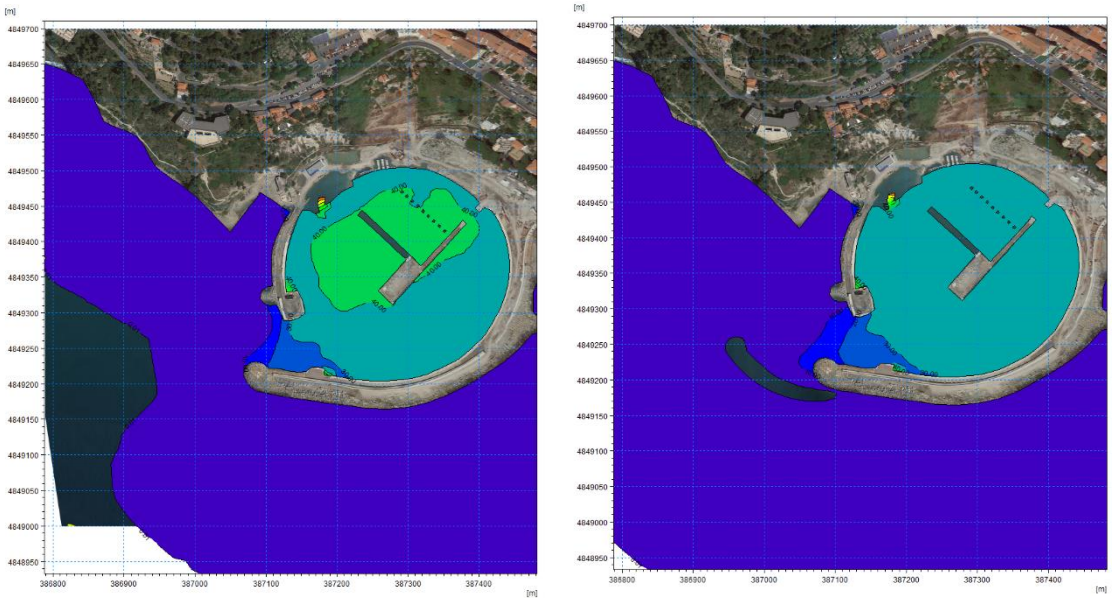


Figura 3-13 Concentrazione di tracciante dopo 360 ore nella configurazione di stato attuale (a sinistra) e di progetto (a destra)

4 Analisi delle variazioni dell'energia ondosa nell'insenatura e lungo la falesia

Al fine di quantificare gli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera di difesa della costa posta a ponente dell'imboccatura portuale sull'energia ondosa agente sull'insenatura posta immediatamente a ponente del molo di sottoflutto del porto di Ventimiglia (grotte) e sulla falesia che separa il porto dalla spiaggia delle Calandre è stato condotto uno specifico approfondimento modellistico basato sul calcolo dell'energia ondosa risultante in alcuni punti significativi (da P1 a P5 - Figura 4-1) sia nella configurazione attuale che in quella di progetto, in presenza dell'opera di difesa.

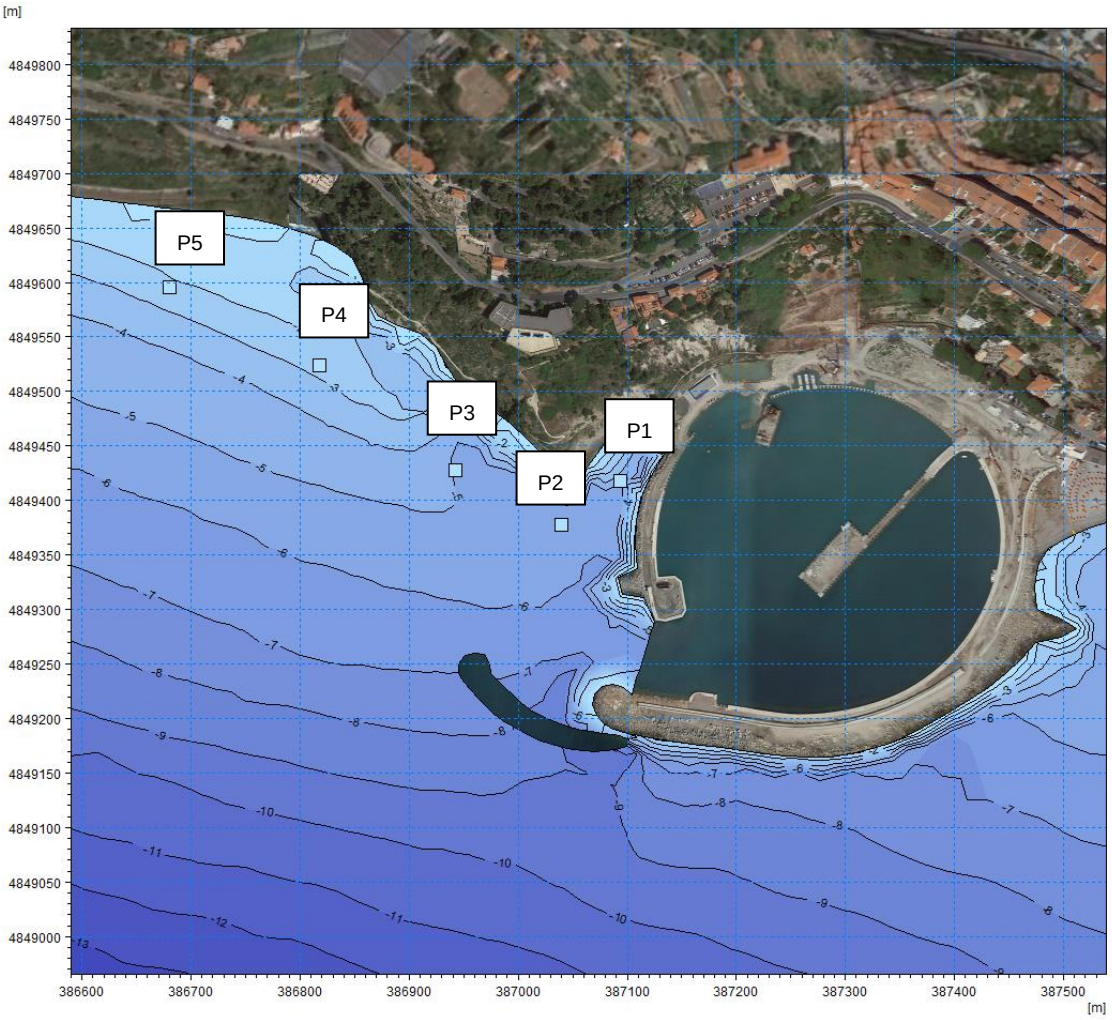


Figura 4-1 Punti utilizzati per il calcolo dell'energia ondosa nella configurazione attuale ed in quella di progetto

Dal modello di propagazione del moto ondoso largo-costa, implementato mediante l'utilizzo del modulo MIKE 21 SW (Spectral Waves) ed illustrato in [1] sono stati estratti i parametri di modo ondoso nei diversi punti ed è stata calcolata la densità di energia per unità di area orizzontale espressa dalla seguente formula:

$$E = \frac{1}{8}\rho g H_s^2 \quad \text{[Joule/m}^2\text{]}$$

dove:

ρ=densità dell'acqua

g=accelerazione di gravità

Hs= altezza d'onda significativa

In Tabella 4-1 sono riportate le variazioni % dell'energia ondosa incidente tra configurazione di progetto e configurazione attuale.

Tabella 4-1 Differenze % di energia ondosa per i punti P1-P5 tra la configurazione di progetto e quella attuale

	Riduzione Energia [%]
P1	-76%
P2	-73%
P3	-25%
P4	-7%
P5	0%

Analizzando i valori in tabella si osserva che le differenze nei due layout sono molto evidenti soprattutto per i punti P1 e P2, ubicati proprio a tergo della nuova opera di difesa. In questi punti si ottiene una riduzione dell'energia superiore al 70%. Nel punto P3 e nel punto P4 invece si ottengono riduzioni rispettivamente del 25% e del 7% mentre nel punto P5 l'opera in progetto non determina alcuna influenza in termini di riduzioni dell'energia da moto ondoso.

La riduzione dell'energia del moto ondoso incidente si evidenzia pertanto lungo l'intero sviluppo della falesia compresa tra il porto e la spiaggia della Calandre, con differenze molto significative nella zona dell'insenatura (grotte) e nel primo tratto della falesia, e variazioni via via minori procedendo verso ovest, fino ad annullarsi e risultare quindi ininfluente in prossimità dell'estremo est della spiaggia delle Calandre.

5 Sintesi dello studio e conclusioni

Il presente documento è volto a illustrare le attività finalizzate alla quantificazione degli effetti della prevista opera di difesa della costa, posta in corrispondenza dell'imboccatura della Marina Cala del Forte, sulla circolazione idrodinamica in corrispondenza dell'insenatura (grotte) posta immediatamente a ponente del molo di sottoflutto e delle aree limitrofe. Inoltre, è stata oggetto dello studio la quantificazione degli effetti dell'opera sull'energia ondosa (e quindi sulla conseguente capacità di trasporto) nelle medesime aree ed in corrispondenza della falesia che separa il porto dalla spiaggia delle Calandre, a ovest.

Le attività sono state predisposte con l'ausilio di modellistica numerica utilizzando i software sviluppati da DHI, ed in particolare il modello MIKE 21 HD – *Hydrodynamics* e MIKE 21 AD – *Advection Dispersion*. In precedenza, il pacchetto software MIKE by DHI è stato utilizzato per la simulazione dell'agitazione residua all'interno del porto [1]. Nell'ambito di tale studio sono illustrate le attività preliminari di caratterizzazione meteomarina che costituiscono la base di partenza per le attività oggetto del presente lavoro.

Il campo idrodinamico è stato riprodotto a partire dai dati di livello marino e di vento. Si è assunto di condurre l'analisi in riferimento ad un mese caratterizzato da un regime anemometrico medio, quindi non caratterizzato da fenomeni meteo-marini particolarmente intensi. È stato pertanto predisposto un modello al fine di ricostruire per un mese rappresentativo (identificato, a valle di un'analisi dei dati disponibili, nel mese di Aprile 2016) la reale circolazione che si instaura nel sito di interesse in presenza delle forzanti appena descritte.

Per quanto riguarda il regime idrodinamico, le simulazioni hanno evidenziato che le velocità di corrente nella zona di interesse sono basse, generalmente inferiori a 0.20 m/s. In particolare, nella zona dell'insenatura posta a ponente del molo di sottoflutto (grotte) esse presentano intensità comprese tra 1 e 4 cm/s, sia nella configurazione attuale che in quella in presenza dell'opera di difesa. Sempre in riferimento all'insenatura, in entrambe le condizioni di corrente rappresentate (corrente da ovest e corrente da est), la presenza della nuova opera di difesa determina uno spostamento verso ponente di circa 150 m della zona di massimo gradiente di circolazione, laddove la corrente presenta un significativo abbattimento. Diretta conseguenza di tale variazione nell'idrodinamica locale è la prevedibile tendenza, nella nuova configurazione, ad una migrazione verso ovest dell'area caratterizzata dalla deposizione di materiale eventualmente in sospensione (sedimento e/o foglie di Posidonia morta) rispetto alla configurazione attuale.

I risultati del modello hanno inoltre evidenziato che tra configurazione attuale e quella di progetto, in riferimento alla zona dell'insenatura (grotte), non si osservano sostanziali differenze nelle mappe di concentrazione di tracciante, di conseguenza, nei tempi del ricambio idrico. In particolare, per raggiungere una percentuale di ricambio all'incirca pari al 50% sono necessarie 12 ore in entrambe le configurazioni, mentre per raggiungere una percentuale di ricambio vicina al 80% sono necessarie 36 ore. La quantificazione delle differenze nel ricambio idrico della zona dell'insenatura tra configurazione attuale e di progetto è stata inoltre possibile attraverso il confronto delle cosiddette "curve di ricambio" nelle due configurazioni. Tale confronto ha messo in luce, come atteso, un idrodinamismo leggermente inferiore nell'area dell'insenatura (grotte) in presenza dell'opera di difesa; tuttavia, le differenze di ricambio idrico risultano poco significative (la variazione percentuale media del ricambio tra le differenti configurazioni studiate è pari al 4%).

Infine, per quantificare gli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera di difesa della costa posta a ponente dell'imboccatura portuale sull'energia ondosa agente sull'insenatura delle grotte posta immediatamente ad ovest del porto di Ventimiglia e sulla falesia che separa il porto dalla spiaggia delle Calandre è stato condotto uno specifico approfondimento modellistico basato sul calcolo dell'energia ondosa in alcuni punti significativi, sia nella configurazione attuale che in quella di progetto, in presenza dell'opera di difesa.

L’analisi ha evidenziato che, seppure a fronte di variazioni limitate nel regime di circolazione e di conseguente ricambio idrico in corrispondenza delle grotte, la riduzione dell’energia del moto ondoso incidente (e quindi la sua capacità di trasporto solido) lungo l’intero sviluppo della falesia compresa tra il porto e la spiaggia della Calandre, e quindi la maggiore protezione dagli eventi meteomarini intensi, è invece assai significativa, con differenze massime proprio nella zona dell’insenatura (grotte) (-76%) e nel primo tratto della falesia (-73%) e variazioni via via minori procedendo verso ovest.

In sintesi, è possibile affermare che la progettata opera di difesa della costa garantisce:

1. una significativa protezione della falesia dalle mareggiate intense;
2. una significativa riduzione dell’energia del moto ondoso incidente nella zona delle grotte;
3. una migrazione verso ovest (e quindi un allontanamento dall’insenatura delle grotte) dell’area caratterizzata dalla deposizione di materiale (sedimento e/o foglie di Posidonia morta) eventualmente in sospensione rispetto alla configurazione attuale.

6 Riferimenti

[1] DHI - Progetto di un'opera di difesa posta all'imboccatura del nuovo porto turistico di Ventimiglia (IM) – Relazione Tecnica. 22803334-01-00202.pdf

[2] Contento, G., Donatini, L., Lupieri, G., Pedroncini, A. and Cusati, L. *MWM: A 35 years wind & wave high resolution hindcast dataset and an operational forecast service for the Mediterranean Sea*. Proceedings of 18th International Conference on Ships and Shipping Research NAV'2015, pp. 116-125, ISBN 978-88-940557-1-9.

[3] Gierlevsen, T., Hebsgaard, H., & Kirkegaard, J. (2001). Wave Disturbance Modelling in the Port of Sines, Portugal - with special emphasis on the long period oscillations. International Conference on Port and Maritime R&D and Technology. Singapore.

[4] Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici, AIPCN-PIANC Associazione Internazionale di Navigazione (Sezione Italiana) - (Febbraio 2002)",

[5] MIKE by DHI 2021. *MIKE 21 Spectral Wave Module. Scientific Documentation*. DHI, Hørsholm, Denmark.

[6] MIKE by DHI 2021. *MIKE 21 Boussinesq Module. Scientific Documentation*. DHI, Hørsholm, Denmark

[7] CM-93 Edition 3.0, CM-93/3 - www.jeppesen.com/marine/commercial/professional/

[8] Trend in absolute sea level across Europe based on satellite measurements - Spatial distribution of trends in mean sea level in European seas (January 1993- December 2017): https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/trend-in-asbolute-sea-level-2

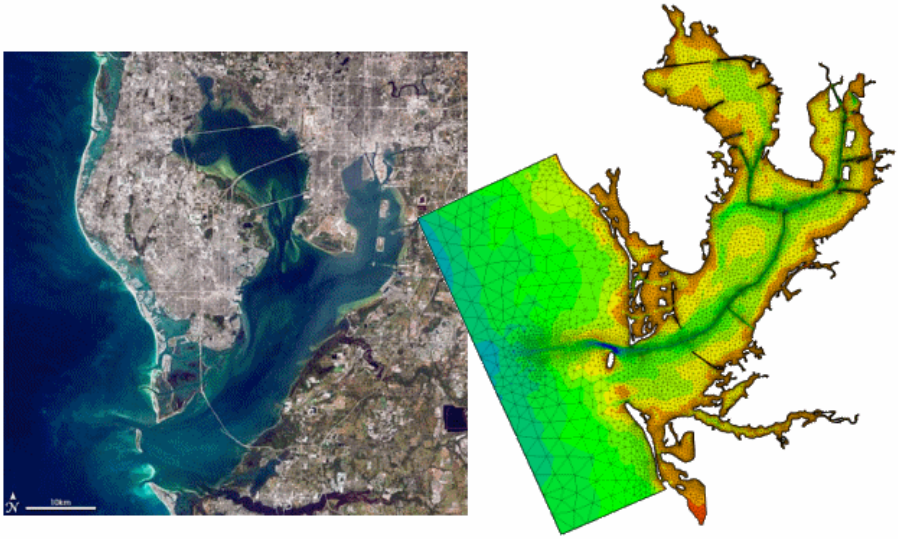

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA
Dott. Ing.
ANDREA
PEDRONCINI
N. 8223

ALLEGATI

ALLEGATO A

MIKE 21 Hydrodynamics (HD)

Descrizione Tecnica



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Hydrodynamic Module

Short Description

The expert in WATER ENVIRONMENTS



DHI headquarters
Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

+45 4516 9200 Telephone
+45 4516 9333 Support
+45 4516 9292 Telefax

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

MIKE213_HD_FM_Short_Description_.docx / AJS/EBR/NHP / 2017-10-02

© DHI

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

The Flow Model FM is a comprehensive modelling system for two- and three-dimensional water modelling developed by DHI. The 2D and 3D models carry the same names as the classic DHI model versions MIKE 21 & MIKE 3 with an 'FM' added referring to the type of model grid - Flexible Mesh.

The modelling system has been developed for complex applications within oceanographic, coastal and estuarine environments. However, being a general modelling system for 2D and 3D free-surface flows it may also be applied for studies of inland surface waters, e.g. overland flooding and lakes or reservoirs.



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is a general hydrodynamic flow modelling system based on a finite volume method on an unstructured mesh

The Modules of the Flexible Mesh Series

DHI's Flexible Mesh (FM) series includes the following modules:

Flow Model FM modules

- Hydrodynamic Module, HD
- Transport Module, TR
- Ecology Modules, MIKE ECO Lab/AMB Lab
- Oil Spill Module, OS
- Mud Transport Module, MT
- Particle Tracking Module, PT
- Sand Transport Module, ST
- Shoreline Morphology Module, SM

Wave module

- Spectral Wave Module, SW

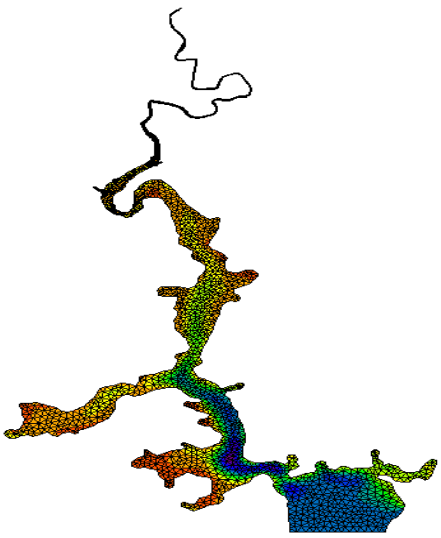
The FM Series meets the increasing demand for realistic representations of nature, both with regard to 'look alike' and to its capability to model coupled processes, e.g. coupling between currents, waves and sediments. Coupling of modules is managed in the Coupled Model FM.

All modules are supported by advanced user interfaces including efficient and sophisticated tools for mesh generation, data management, 2D/3D visualization, etc. In combination with comprehensive documentation and support, the FM series forms a unique professional software tool for consultancy services related to design, operation and maintenance tasks within the marine environment.

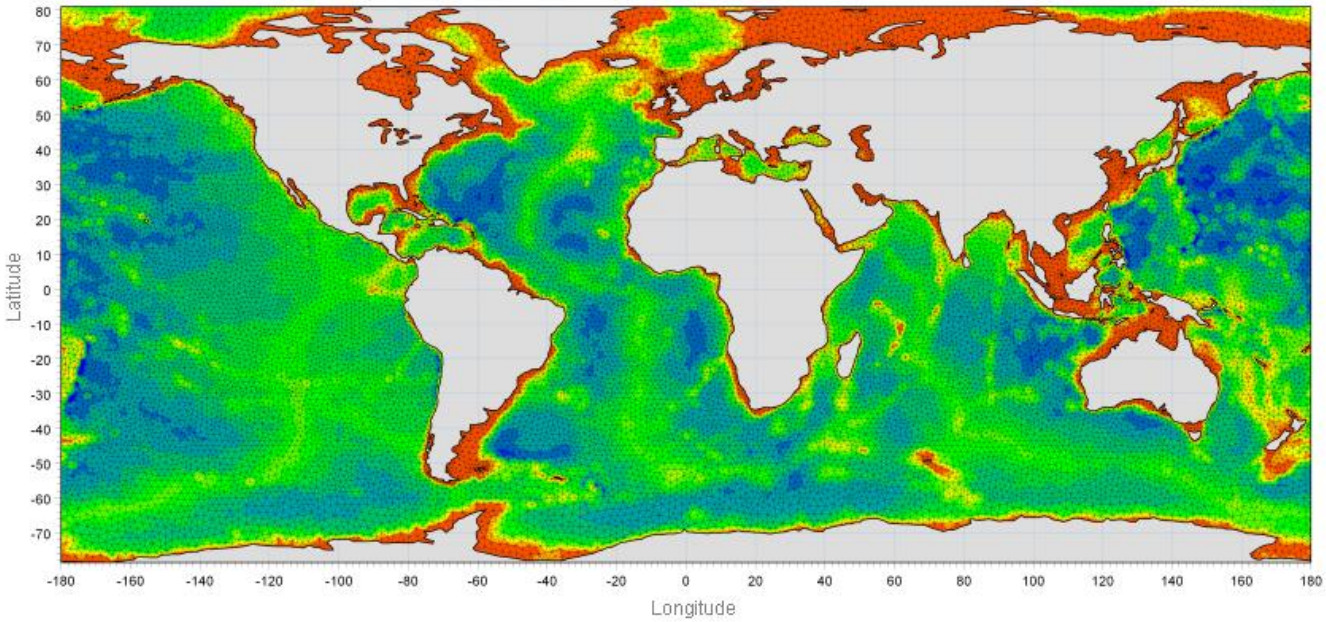
An unstructured grid provides an optimal degree of flexibility in the representation of complex geometries and enables smooth representations of boundaries. Small elements may be used in areas where more detail is desired, and larger elements used where less detail is needed, optimising information for a given amount of computational time.

The spatial discretisation of the governing equations is performed using a cell-centred finite volume method. In the horizontal plane, an unstructured grid is used while a structured mesh is used in the vertical domain (3D).

This document provides a short description of the Hydrodynamic Module included in MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM.



Example of computational mesh for Tamar Estuary, UK



MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM supports both Cartesian and spherical coordinates. Spherical coordinates are usually applied for regional and global sea circulation applications. The chart shows the computational mesh and bathymetry for the planet Earth generated by the MIKE Zero Mesh Generator

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Hydrodynamic Module

The Hydrodynamic Module provides the basis for computations performed in many other modules, but can also be used alone. It simulates the water level variations and flows in response to a variety of forcing functions on flood plains, in lakes, estuaries and coastal areas.

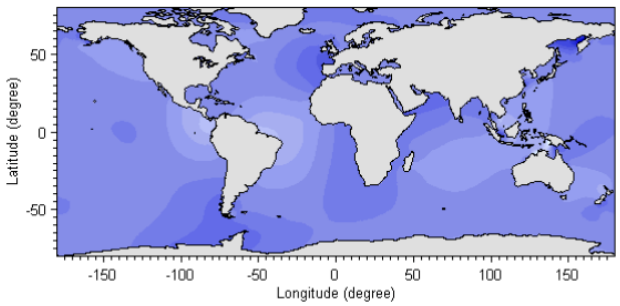
Application Areas

The Hydrodynamic Module included in MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM simulates unsteady flow taking into account density variations, bathymetry and external forcings.

The choice between 2D and 3D model depends on a number of factors. For example, in shallow waters, wind and tidal current are often sufficient to keep the water column well-mixed, i.e. homogeneous in salinity and temperature. In such cases a 2D model can be used. In water bodies with stratification, either by density or by species (ecology), a 3D model should be used. This is also the case for enclosed or semi-enclosed waters where wind-driven circulation occurs.

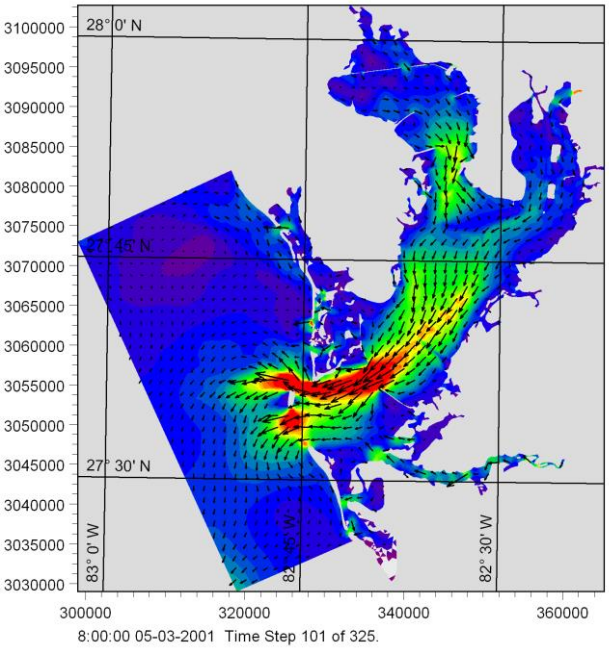
Typical application areas are

- Assessment of hydrographic conditions for design, construction and operation of structures and plants in stratified and non-stratified waters
- Environmental impact assessment studies
- Coastal and oceanographic circulation studies
- Optimization of port and coastal protection infrastructures
- Lake and reservoir hydrodynamics
- Cooling water, recirculation and desalination
- Coastal flooding and storm surge
- Inland flooding and overland flow modelling
- Forecast and warning systems

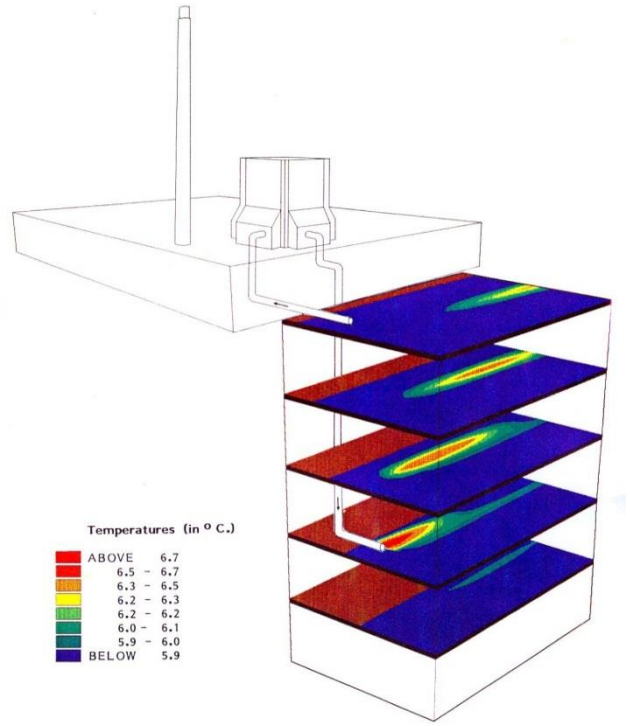


Example of a global tide application of MIKE 21 Flow Model FM. Results from such a model can be used as boundary conditions for regional scale forecast or hindcast models

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM also support spherical coordinates, which makes both models particularly applicable for global and regional sea scale applications.



Example of a flow field in Tampa Bay, Florida, simulated by MIKE 21 Flow Model FM

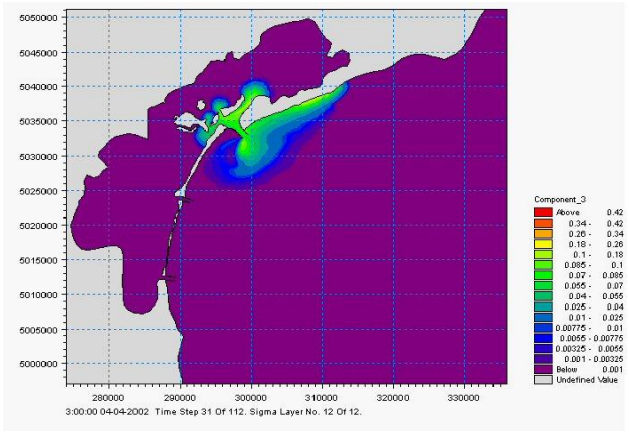


Study of thermal plume dispersion



Typical applications with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM include cooling water recirculation and ecological impact assessment (eutrophication)

The Hydrodynamic Module is together with the Transport Module (TR) used to simulate the spreading and fate of dissolved and suspended substances. This module combination is applied in tracer simulations, flushing and simple water quality studies.



Tracer simulation of single component from outlet in the Adriatic, simulated by MIKE 21 Flow Model FM HD+TR



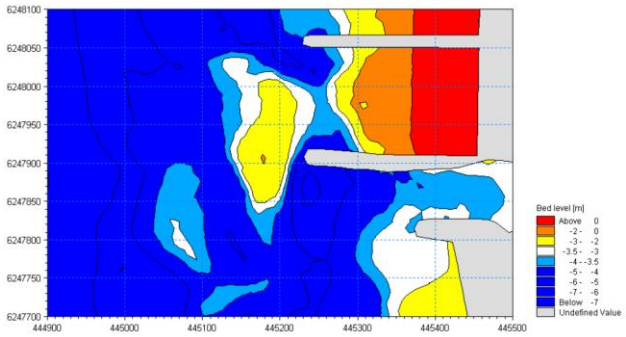
Prediction of ecosystem behaviour using the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM together with MIKE ECO Lab

The Hydrodynamic Module can be coupled to the Ecological Module (MIKE ECO Lab) to form the basis for environmental water quality studies comprising multiple components.

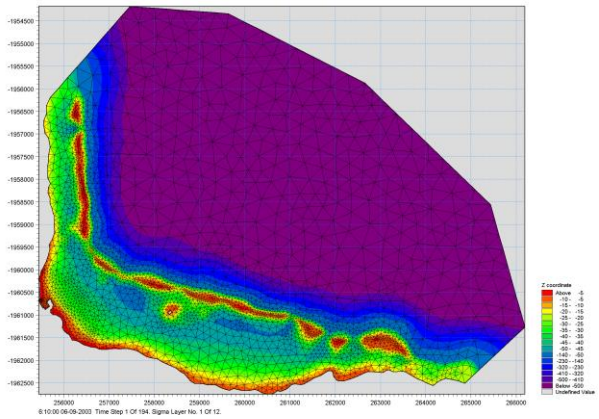
Furthermore, the Hydrodynamic Module can be coupled to sediment models for the calculation of sediment transport. The Sand Transport Module and Mud Transport Module can be applied to simulate transport of non-cohesive and cohesive sediments, respectively.

In the coastal zone the transport is mainly determined by wave conditions and associated wave-induced currents. The wave-induced currents are generated by the gradients in radiation stresses that occur in the surf zone. The Spectral Wave Module can be used to calculate the wave conditions and associated radiation stresses.

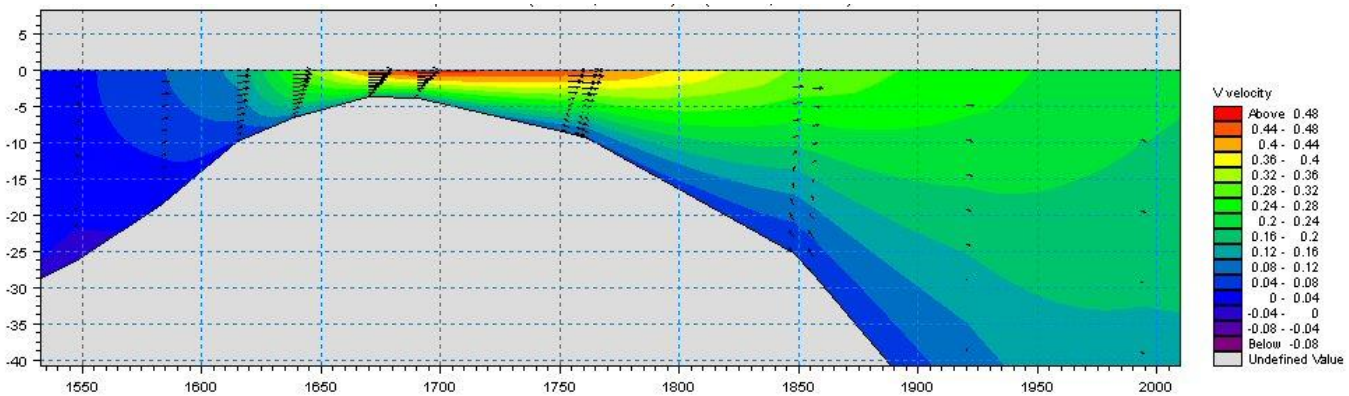




Coastal application (morphology) with coupled MIKE 21 HD, SW and ST, Torsminde harbour Denmark



Model bathymetry of Taravao Bay, Tahiti



Example of vertical profile of cross reef currents in Taravao Bay, Tahiti simulated with MIKE 3 Flow Model FM. The circulation and renewal of water inside the reef is dependent on the tides, the meteorological conditions and the cross reef currents, thus the circulation model includes the effects of wave induced cross reef currents

Computational Features

The main features and effects included in simulations with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Hydrodynamic Module are the following:

- Flooding and drying
- Momentum dispersion
- Bottom shear stress
- Coriolis force
- Wind shear stress
- Barometric pressure gradients
- Ice coverage
- Tidal potential
- Precipitation/evaporation
- Infiltration
- Heat exchange with atmosphere
- Wave radiation stresses
- Sources and sinks, incl. jet
- Structures

Model Equations

The modelling system is based on the numerical solution of the two/three-dimensional incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations subject to the assumptions of Boussinesq and of hydrostatic pressure. Thus, the model consists of continuity, momentum, temperature, salinity and density equations and it is closed by a turbulent closure scheme. The density does not depend on the pressure, but only on the temperature and the salinity.

For the 3D model, the free surface is taken into account using a sigma-coordinate transformation approach or using a combination of a sigma and z-level coordinate system.

Below the governing equations are presented using Cartesian coordinates.

The local continuity equation is written as

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

and the two horizontal momentum equations for the x- and y-component, respectively

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

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

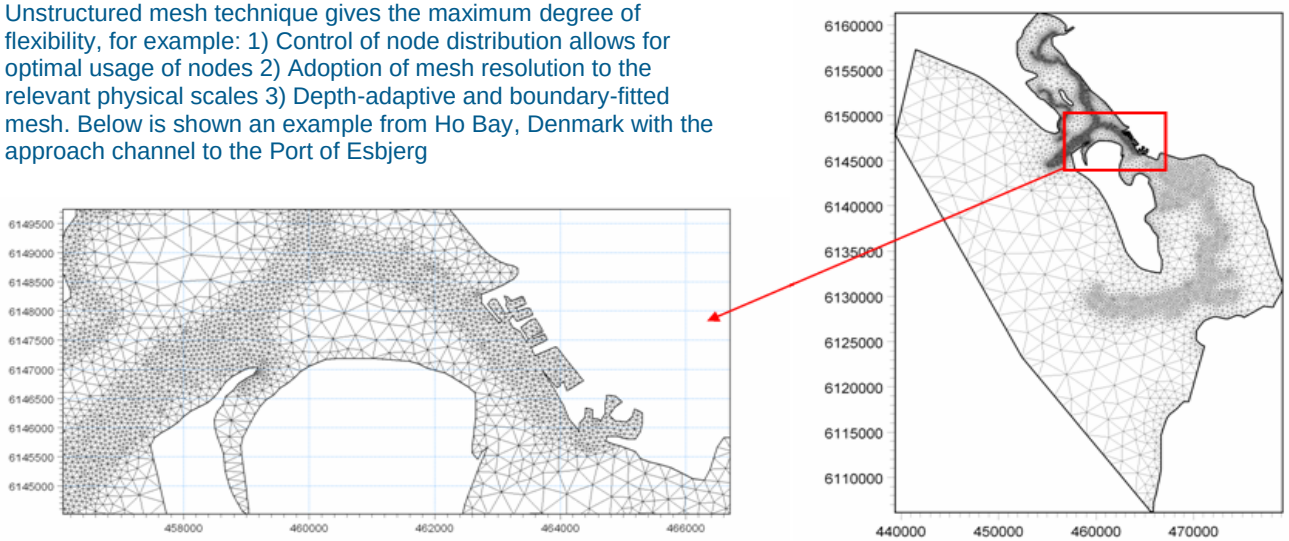
Temperature and salinity

In the Hydrodynamic Module, calculations of the transports of temperature, *T*, and salinity, *s* follow the general transport-diffusion equations as

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

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

Unstructured mesh technique gives the maximum degree of flexibility, for example: 1) Control of node distribution allows for optimal usage of nodes 2) Adoption of mesh resolution to the relevant physical scales 3) Depth-adaptive and boundary-fitted mesh. Below is shown an example from Ho Bay, Denmark with the approach channel to the Port of Esbjerg



The horizontal diffusion terms are defined by

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

The equations for two-dimensional flow are obtained by integration of the equations over depth.

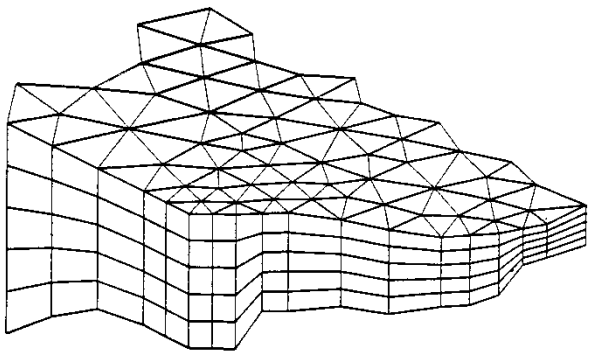
Heat exchange with the atmosphere is also included.

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

Solution Technique

The spatial discretisation of the primitive equations is performed using a cell-centred finite volume method. The spatial domain is discretised by subdivision of the continuum into non-overlapping elements/cells.



Principle of 3D mesh

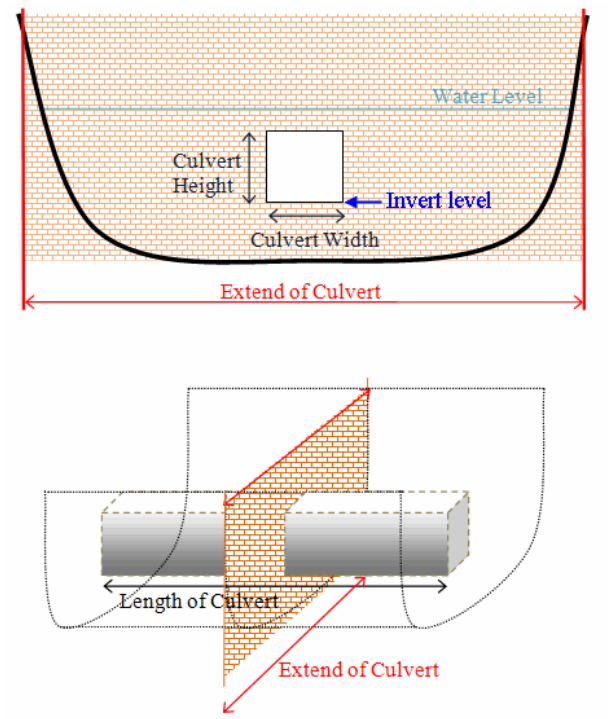
In the horizontal plane an unstructured mesh is used while a structured mesh is used in the vertical domain of the 3D model. In the 2D model the elements can be triangles or quadrilateral elements. In the 3D model the elements can be prisms or bricks whose horizontal faces are triangles and quadrilateral elements, respectively.

The effect of a number of structure types (weirs, culverts, dikes, gates, piers and turbines) with a horizontal dimension which usually cannot be resolved by the computational mesh is modelled by a subgrid technique.

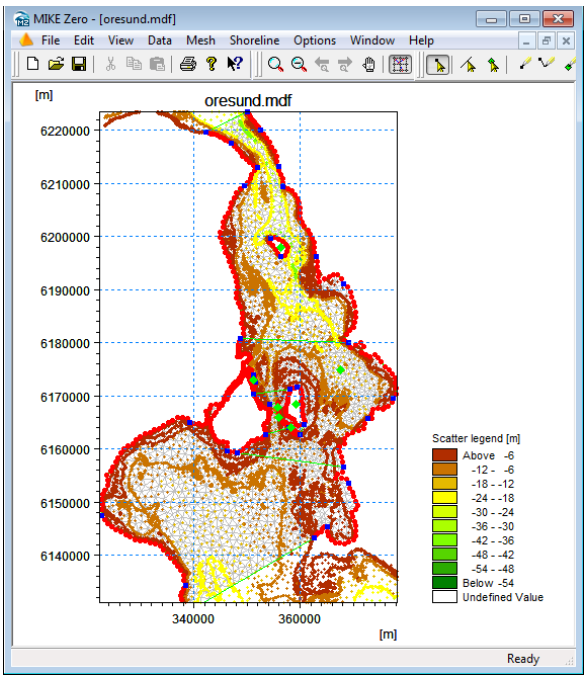
Model Input

Input data can be divided into the following groups:

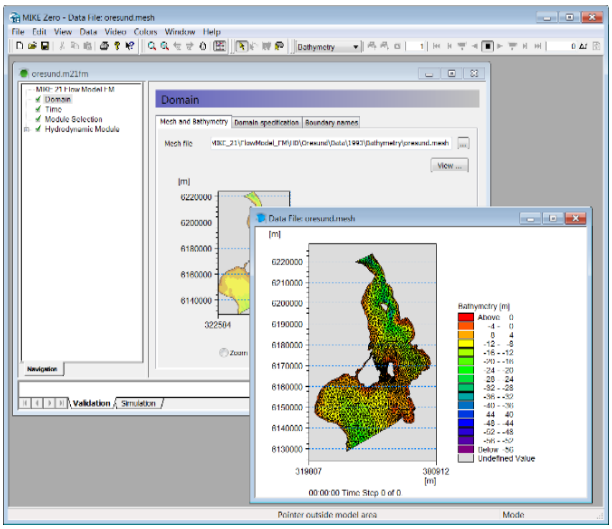
- Domain and time parameters:
  - computational mesh (the coordinate type is defined in the computational mesh file) and bathymetry
  - simulation length and overall time step
- Calibration factors
  - bed resistance
  - momentum dispersion coefficients
  - wind friction factors
  - heat exchange coefficients
- Initial conditions
  - water surface level
  - velocity components
  - temperature and salinity
- Boundary conditions
  - closed
  - water level
  - discharge
  - temperature and salinity
- Other driving forces
  - wind speed and direction
  - tide
  - source/sink discharge
  - wave radiation stresses
- Structures
  - Structure type
  - location
  - structure data



Setup definition of culvert structure



The Mesh Generator is an efficient MIKE Zero tool for the generation and handling of unstructured meshes, including the definition and editing of boundaries



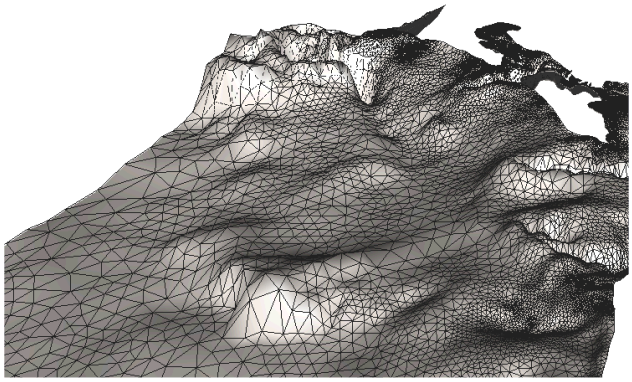
View button on all the GUIs in MIKE 21 & MIKE 3 FM HD for graphical view of input and output files

Providing MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM with a suitable mesh is essential for obtaining reliable results from the models. Setting up the mesh includes the appropriate selection of the area to be modelled, adequate resolution of the bathymetry, flow, wind and wave fields under consideration and definition of codes for defining boundaries.



2D visualization of a computational mesh (Odense Estuary)

Bathymetric values for the mesh generation can e.g. be obtained from the MIKE Powered by DHI product MIKE C-Map. MIKE C-Map is an efficient tool for extracting depth data and predicted tidal elevation from the world-wide Electronic Chart Database CM-93 Edition 3.0 from C-MAP Norway.

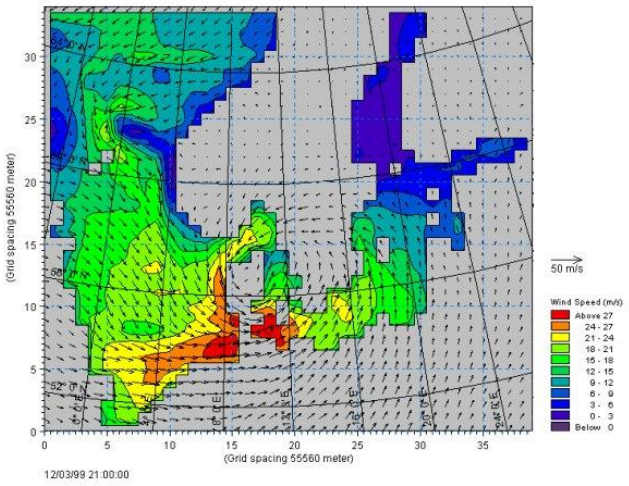


3D visualization of a computational mesh

If wind data is not available from an atmospheric meteorological model, the wind fields (e.g. cyclones) can be determined by using the wind-generating programs available in MIKE 21 Toolbox.

Global winds (pressure & wind data) can be downloaded for immediate use in your simulation. The sources of data are from GFS courtesy of NCEP, NOAA. By specifying the location, orientation and grid dimensions, the data is returned to you in the correct format as a spatial varying grid series or a time series. The link is:

http://www.waterforecast.com/hindcastdataproducts



The chart shows a hindcast wind field over the North Sea and Baltic Sea as wind speed and wind direction

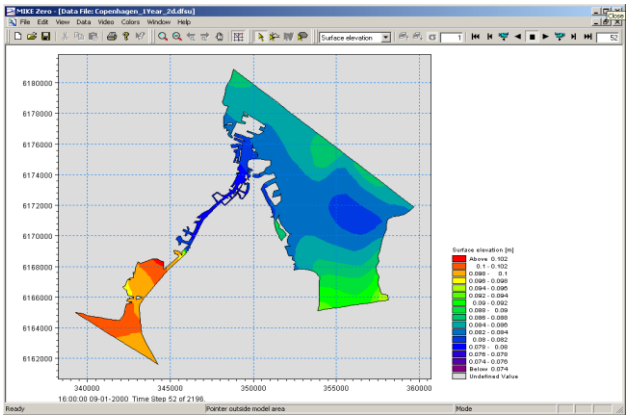
Model Output

Computed output results at each mesh element and for each time step consist of:

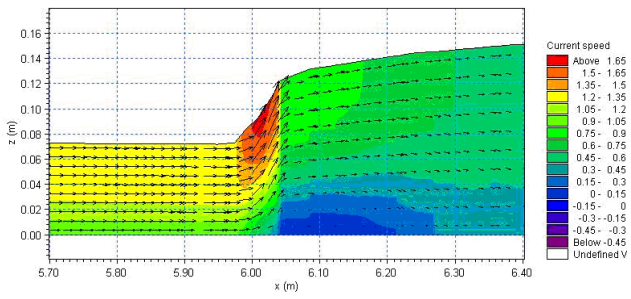
- Basic variables
  - water depths and surface elevations
  - flux densities in main directions
  - velocities in main directions
  - densities, temperatures and salinities
- Additional variables
  - Current speed and direction
  - Wind velocity
  - Air pressure
  - Drag coefficient
  - Precipitation/evaporation
  - Courant/CFL number
  - Eddy viscosity
  - Element area/volume

The output results can be saved in defined points, lines and areas. In the case of 3D calculations, the results are saved in a selection of layers.

Output from MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM is typically post-processed using the Data Viewer available in the common MIKE Zero shell. The Data Viewer is a tool for analysis and visualization of unstructured data, e.g. to view meshes, spectra, bathymetries, results files of different format with graphical extraction of time series and line series from plan view and import of graphical overlays.



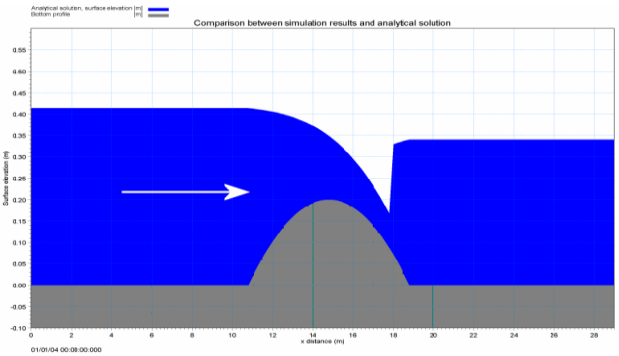
The Data Viewer in MIKE Zero – an efficient tool for analysis and visualization of unstructured data including processing of animations. Above screen dump shows surface elevations from a model setup covering Port of Copenhagen



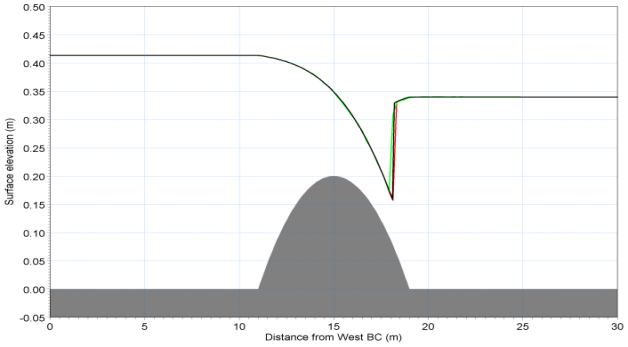
Vector and contour plot of current speed at a vertical profile defined along a line in Data Viewer in MIKE Zero

Validation

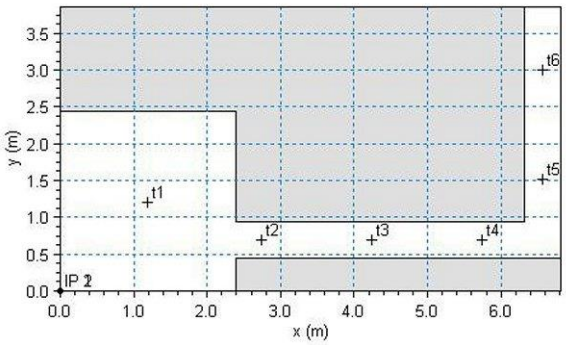
Prior to the first release of MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM in year 19xx the model has successfully been applied to a number of basic idealized situations for which the results can be compared with analytical solutions or information from the literature.



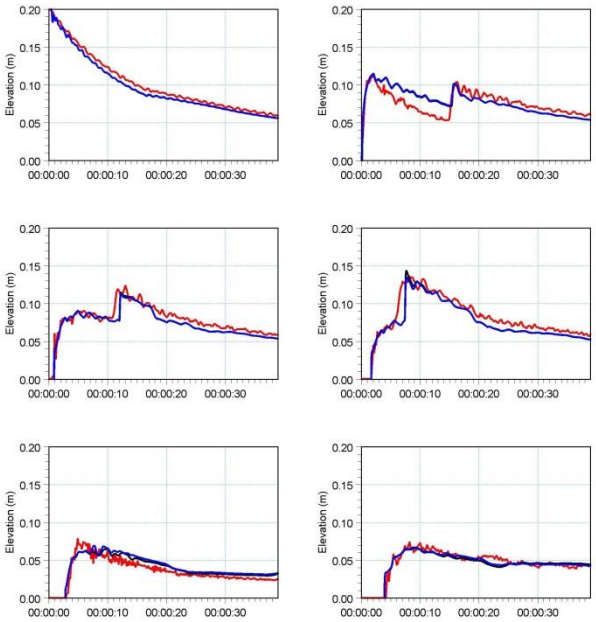
The domain is a channel with a parabola-shaped bump in the middle. The upstream (western) boundary is a constant flux and the downstream (eastern) boundary is a constant elevation. Below: the total depths for the stationary hydraulic jump at convergence. Red line: 2D setup, green line: 3D setup, black line: analytical solution



A dam-break flow in an L-shaped channel (a, b, c):

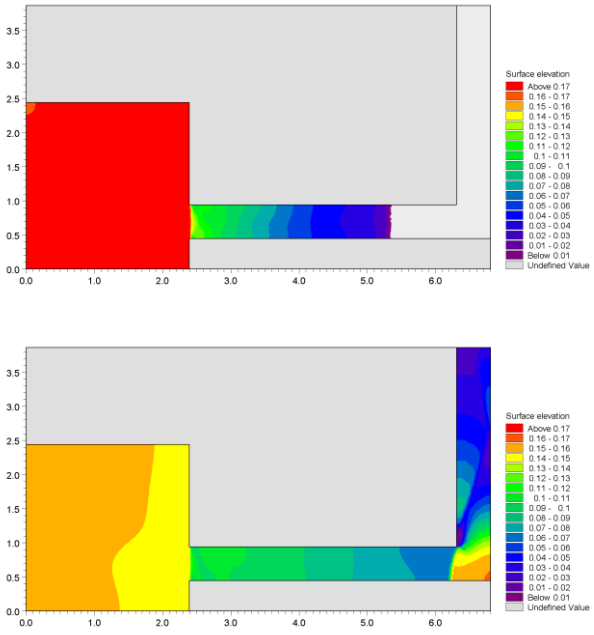


a) Outline of model setup showing the location of gauging points



b) Comparison between simulated and measured water levels at the six gauge locations.
(Blue) coarse mesh solution (black) fine mesh solution and (red) measurements

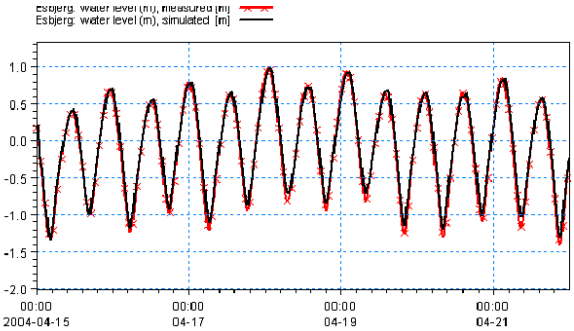
The model has also been applied and tested in numerous natural geophysical conditions; ocean scale, inner shelves, estuaries, lakes and overland, which are more realistic and complicated than academic and laboratory tests.



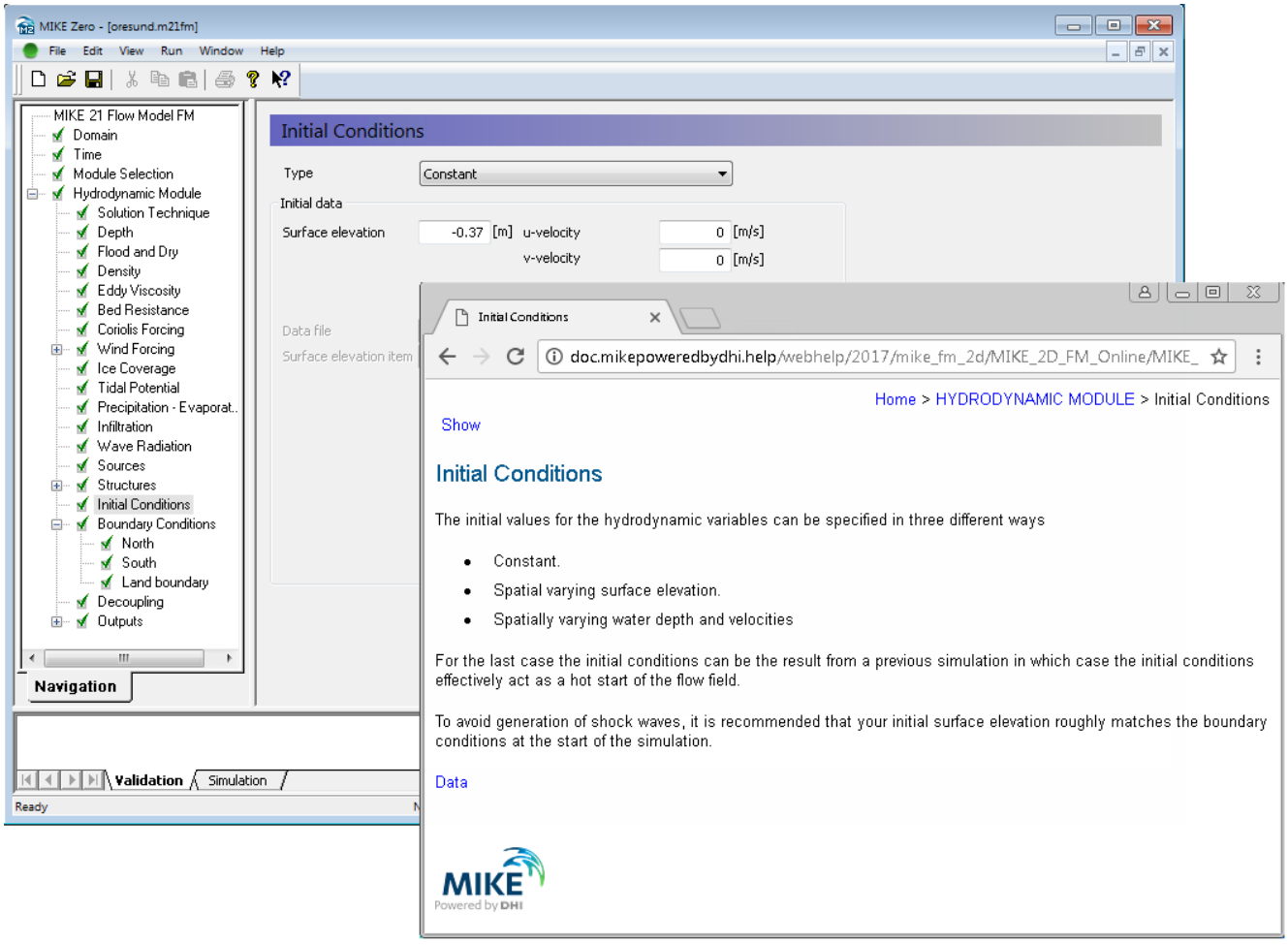
c) Contour plots of the surface elevation at T = 1.6 s (top) and T = 4.8 s (bottom)



Example from Ho Bay, a tidal estuary (barrier island coast) in South-West Denmark with access channel to the Port of Esbjerg.



Comparison between measured and simulated water levels

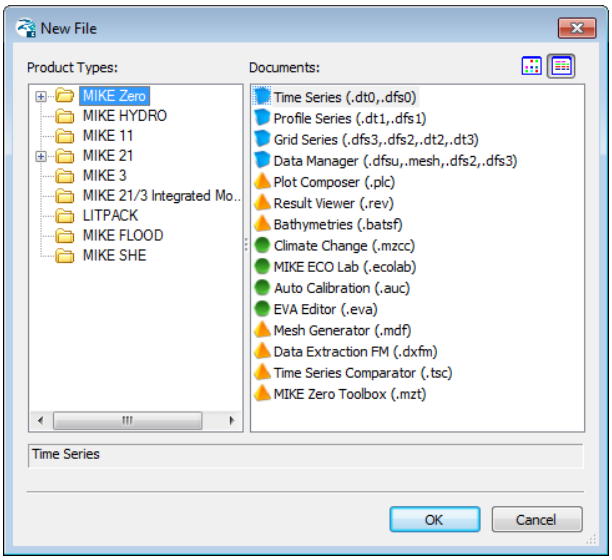


The user interface of the MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM (Hydrodynamic Module), including an example of the extensive Online Help system

Graphical User Interface

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic Module is operated through a fully Windows integrated graphical user interface (GUI). Support is provided at each stage by an Online Help system.

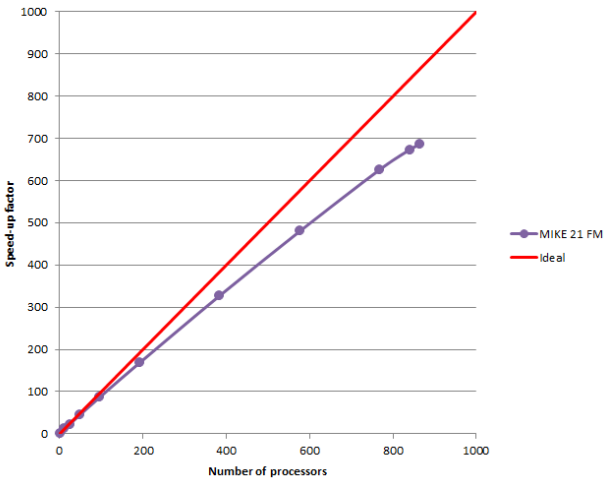
The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and utilities such as the Mesh Generator and Data Viewer.



Overview of the common MIKE Zero utilities

Parallelisation

The computational engines of the MIKE 21 & MIKE 3 FM series are available in versions that have been parallelised using both shared memory as well as distributed memory architecture. The latter approach allows for domain decomposition. The result is much faster simulations on systems with multiple cores. It is also possible to use a graphics card (GPU) to perform computational intensive hydrodynamic computations.



Example of MIKE 21 HD FM speed-up using a HPC Cluster with distributed memory architecture (purple)

Hardware and Operating System Requirements

The MIKE Zero Modules support Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (64 bit), Windows 10 Pro (64 bit), Windows Server 2012 R2 Standard (64 bit) and Windows Server 2016 Standard (64 bit).

Microsoft Internet Explorer 9.0 (or higher) is required for network license management. An internet browser is also required for accessing the web-based documentation and online help.

The recommended minimum hardware requirements for executing the MIKE Zero modules are:

Processor:	3 GHz PC (or higher)
Memory (RAM):	2 GB (or higher)
Hard disk:	40 GB (or higher)
Monitor:	SVGA, resolution 1024x768
Graphics card: (GUI and visualisation)	64 MB RAM (256 MB RAM or higher is recommended)
Graphics card: (for GPU computation)	1 GB RAM (or higher). requires a NVIDIA graphics card with compute capability 2.0 or higher

Support

News about new features, applications, papers, updates, patches, etc. are available here:

www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx

For further information on MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM software, please contact your local DHI office or the support centre:

MIKE Powered by DHI Client Care
Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

Tel: +45 4516 9333
Fax: +45 4516 9292

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

Further Reading

Petersen, N.H., Rasch, P. “Modelling of the Asian Tsunami off the Coast of Northern Sumatra”, presented at the 3rd Asia-Pacific DHI Software Conference in Kuala Lumpur, Malaysia, 21-22 February, 2005

French, B. and Kerper, D. Salinity Control as a Mitigation Strategy for Habitat Improvement of Impacted Estuaries. 7th Annual EPA Wetlands Workshop, NJ, USA 2004.

DHI Note, “Flood Plain Modelling using unstructured Finite Volume Technique” January 2004 – download from

http://www.theacademybydhi.com/research-and-publications/scientific-publications

Documentation

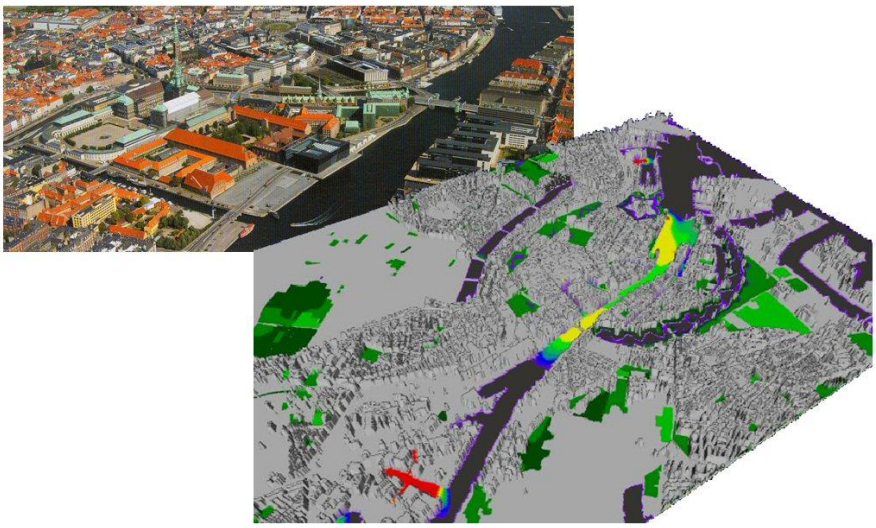
The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM models are provided with comprehensive user guides, online help, scientific documentation, application examples and step-by-step training examples.



ALLEGATO B

MIKE 21 Advection/Dispersion (AD)

Descrizione Tecnica



MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM

Transport Module

Short Description



DHI headquarters
Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

+45 4516 9200 Telephone
+45 4516 9333 Support
+45 4516 9292 Telefax

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

MIKE213_TR_FM_Short_Description.docx / AJS / 2017-10-03

© DHI

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM - Transport Module

The Transport Module simulates the spreading and fate of dissolved or suspended substances in an aquatic environment under the influence of the fluid transport and associated dispersion processes. The substance may be of any kind, conservative or non-conservative, inorganic or organic. Non-conservative substances are distinguished by the manner in which they decay. Examples of linearly decaying substances are tracers that are absorbed to particulate matter.

The hydrodynamic basis for the Transport Module is calculated with the Hydrodynamic Module (HD). The hydrodynamic modules can be applied for both barotrophic (constant density) or baroclinic flows. In the latter case, the effect of variable density on the flow is included by solving the transport equations for salt and temperature. The viscosities or diffusivities in the hydrodynamic module are described either as simple constant or calculated using state-of-the-art turbulence models.

Application Areas

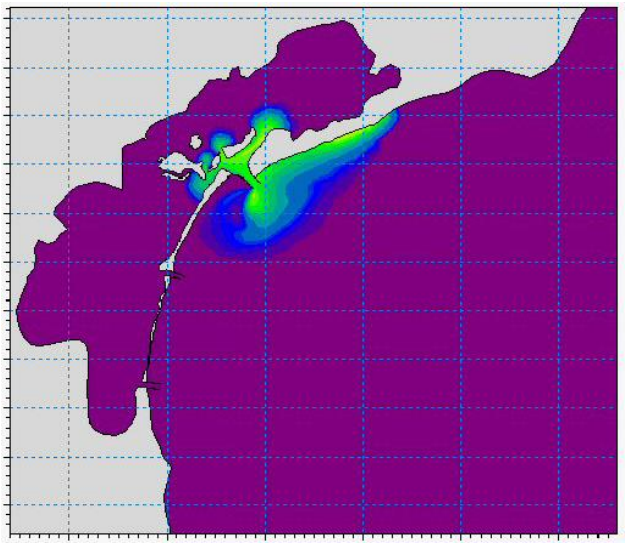
The Transport Module can be applied to a wide range of hydraulic and related phenomena. The application areas are generally problems where flow and transport phenomena are important with emphasis on coastal and marine applications, where the flexibility inherited in the unstructured meshes can be utilised.

Typical substances, which are modelled using the Transport Module are:

- Tracers
- Coliform bacteria
- Xenobiotic compounds

Typical applications include flushing studies, tracer simulations and simple water quality studies. In relation to point pollution sources the Transport Module can be used for conservative approximations of transport and dispersion of e-coli bacteria provided sufficient choice of decay coefficient.

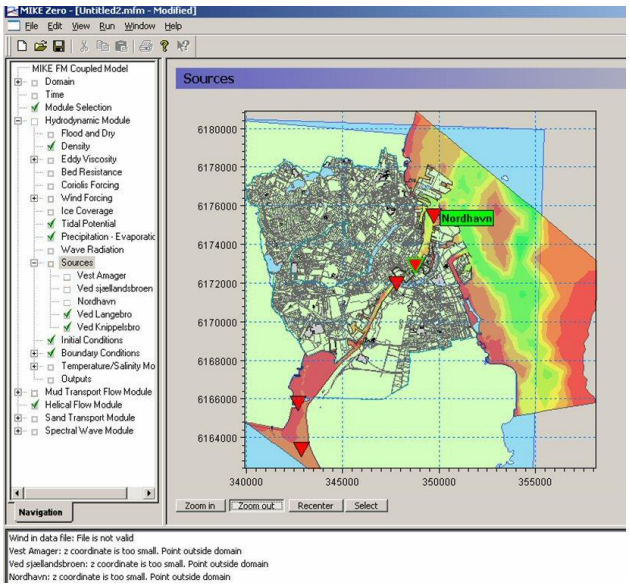
The Ecology and Water Quality Module (MIKE ECO Lab) is closely integrated with the Transport Module and the Hydrodynamic Module. MIKE ECO Lab simulates reaction processes in multi-compound systems or of substances with a more complex decay than linear, i.e. decay of substances that also depend on light intensity like e-coli. This enables complex ecosystem studies in coastal areas, estuaries and lakes.



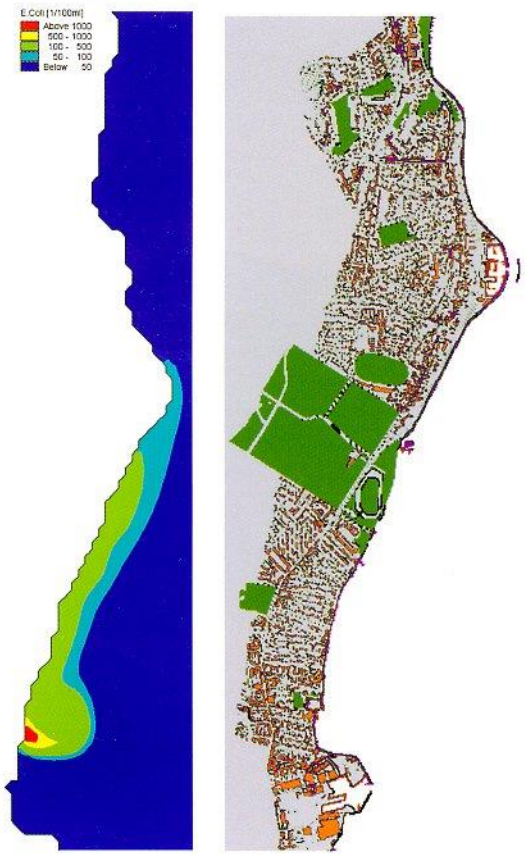
Typical applications with the MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module include tracer studies as shown above in the Venice lagoon



Example of plumes from outfall with colours indicating different concentrations



Example of user interface where sources from CSO's are specified to be used in model simulations to compare different abatement schemes, or online as input to forecasts of water quality



Example of bathing water quality forecasts from a municipality north of Copenhagen. The forecasts are made available on a dedicated bathing water quality webpage

Computational Features

The main features of MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM – Transport Module are as follows:

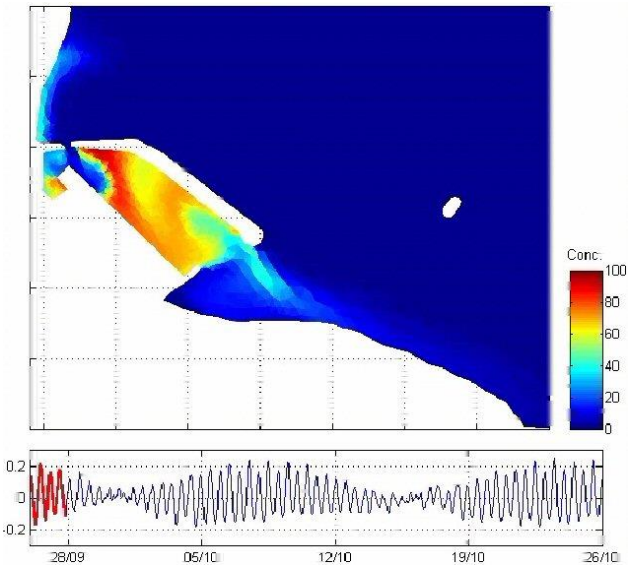
- Conservative substances
- Linear decay
- Sources and sinks (mass and momentum)

Model Equations

MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Transport Module is dynamically linked to the Hydrodynamic Module.

The modelling system is based on the numerical solution of the two/three-dimensional incompressible Reynolds averaged Navier-Stokes equations subject to the assumptions of Boussinesq and of hydrostatic pressure. Thus the model consists of continuity, momentum, temperature, salinity and density equations and it is closed by a turbulent closure scheme. The density does not depend on the pressure, but only on the temperature and the salinity.

For the 3D model, the free surface is taken into account using a sigma-coordinate transformation approach.



Flushing study example from a harbour on Tahiti.
Top: An initial concentration field is placed in the harbour and the dilution due to advection-dispersion processes are then simulated with the HD-TR modules.
Bottom: Time series of tidal elevations

Scalar quantity

The Transport Module can calculate the transport of a scalar quantity. The conservation equation for a scalar quantity is given by

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial uC}{\partial x}+\frac{\partial vC}{\partial y}+\frac{\partial wC}{\partial z}=F_C+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_v\frac{\partial C}{\partial z}\right)-k_pC+C_sS$$

The horizontal diffusion term is defined by

$$F_C=\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(D_h\frac{\partial}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_h\frac{\partial}{\partial y}\right)\right]C$$

For 2D calculations, the conservation equation is integrated over depth and defined by

$$\frac{\partial h\overline{C}}{\partial t}+\frac{\partial h\overline{u}\overline{C}}{\partial x}+\frac{\partial h\overline{v}\overline{C}}{\partial y}=hF_C-hk_p\overline{C}+hC_sS$$

Symbol list

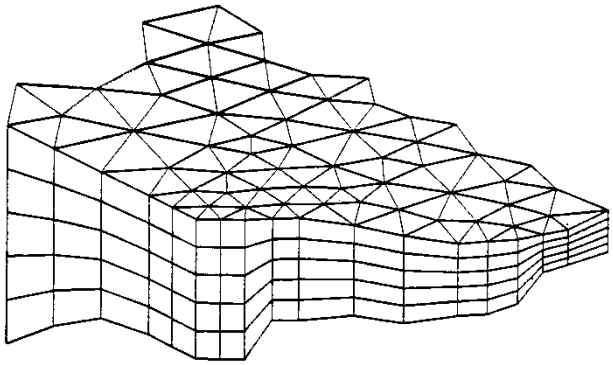
t	time
x, y, z	Cartesian coordinates
D_v	vertical turbulent (eddy) diffusion coefficient
S	magnitude of discharge due to point sources
F_c	horizontal diffusion term
D_h	horizontal diffusion coefficient
h	depth
$\overline{u}$, $\overline{v}$	depth-averaged velocity components
C	concentration of scalar quantity
k_p	linear decay rate of scalar quantity
C_S	concentration of scalar quantity in source

Solution Technique

The solution of the transport equations is closely linked to the solution of the hydrodynamic conditions.

The spatial discretization of the primitive equations is performed using a cell-centred finite volume method. The spatial domain is discretized by subdivision of the continuum into non-overlapping elements/cells. In the horizontal plane an unstructured mesh is used while in the vertical domain in the 3D model a structured mesh is used. In the 2D model the elements can be triangles or quadrilateral elements. In the 3D model the elements can be prisms or bricks whose horizontal faces are triangles and quadrilateral elements, respectively.

The time integration is performed using an explicit scheme.

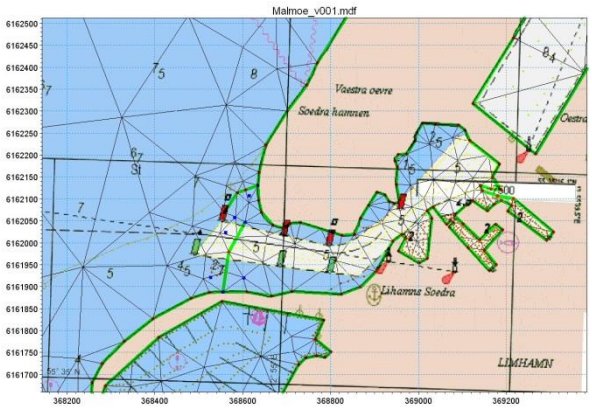


Principle of 3D mesh

Model Input Data

The necessary input data to the transport model is, besides the input for the hydrodynamic model alone, information about the components to simulate:

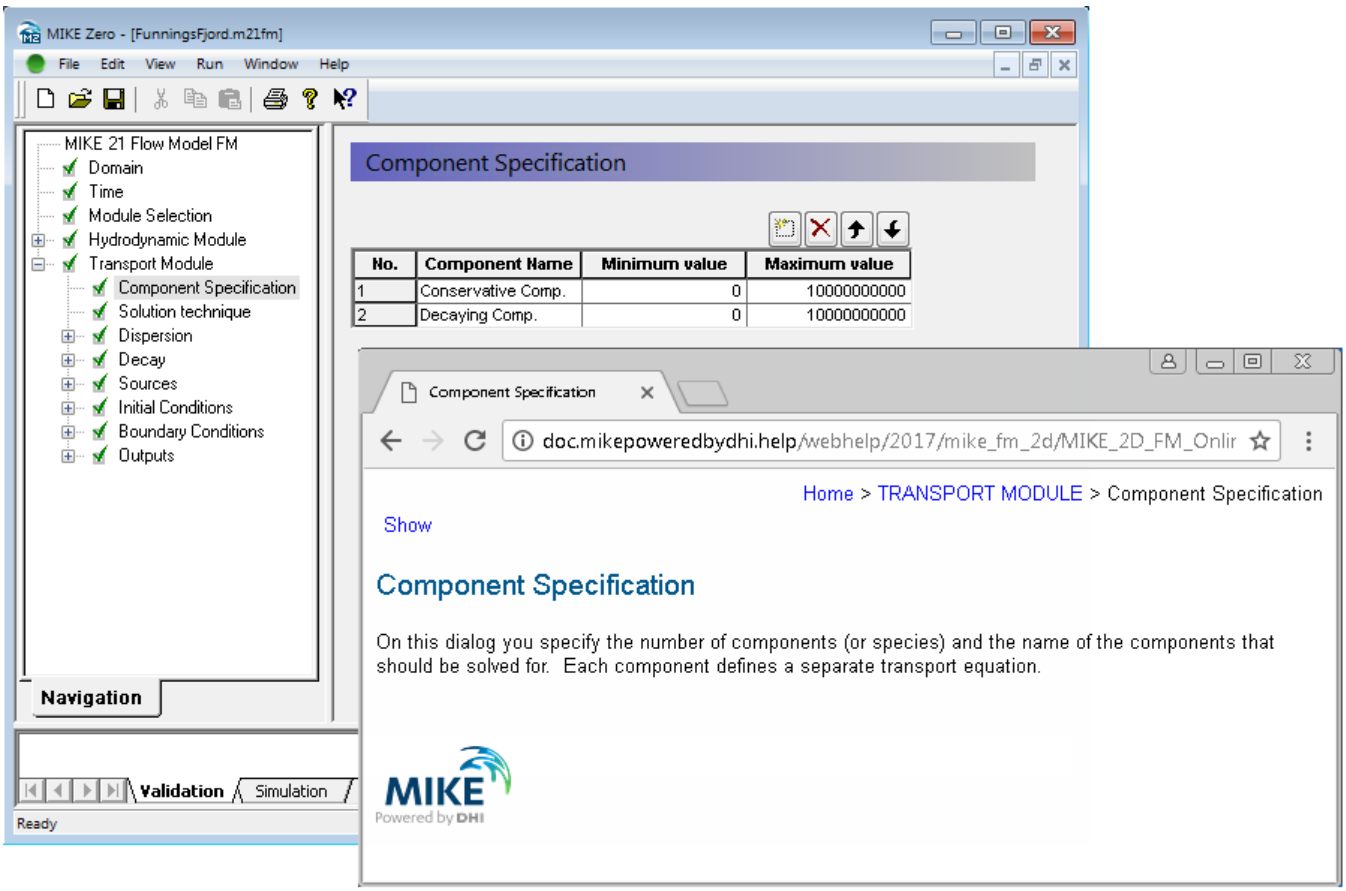
- Component type
- Dispersion coefficients
- Decay information
- Initial conditions
- Boundary conditions



Example of Flexible Mesh generated for a flushing study in Port of Malmoe, Sweden. The background image is from MIKE C-Map which enables extraction of land contours and water depths from digitized Admiralty Charts provided by Jeppesen Norway

Model Output Data

The output from the model includes the concentrations of the given components.
It is possible to specify the format of the output files in MIKE 21 & MIKE 3 as times series of points, lines, areas and volumes (three-dimensional calculations only).

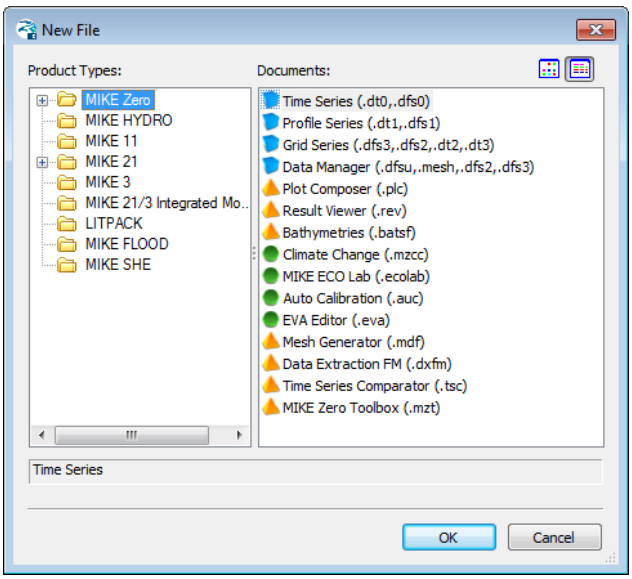


Graphical user interface of the MIKE 21 Flow Model FM, Transport Module, including an example of the Online Help System

Graphical User Interface

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM, Transport Module is operated through a fully Windows integrated Graphical User Interface (GUI). Support is provided at each stage by an Online Help System.

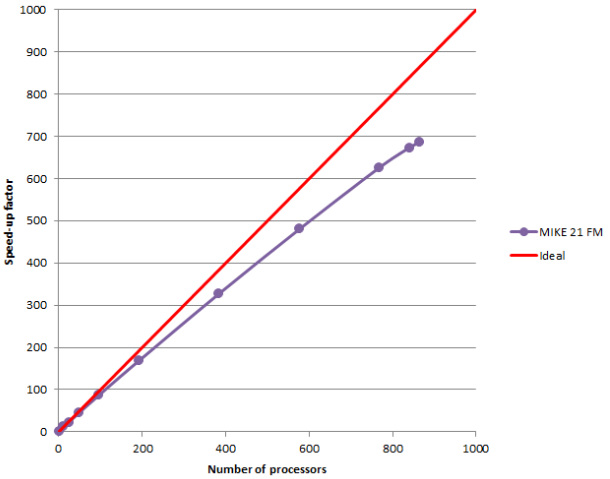
The common MIKE Zero shell provides entries for common data file editors, plotting facilities and a toolbox for/utilities as the Mesh Generator and Data Viewer.



Overview of the common MIKE Zero utilities

Parallelisation

The computational engines of the MIKE 21/3 FM series are available in versions that have been parallelised using both shared memory as well as distributed memory architecture. The latter approach allows for domain decomposition. The result is much faster simulations on systems with many cores.



MIKE 21 HD FM speed-up using a HPC Cluster with distributed memory architecture (purple)

Hardware and Operating System Requirements

The MIKE Zero Modules support Microsoft Windows 7 Professional Service Pack 1 (64 bit), Windows 10 Pro (64 bit), Windows Server 2012 R2 Standard (64 bit) and Windows Server 2016 Standard (64 bit).

Microsoft Internet Explorer 9.0 (or higher) is required for network license management. An internet browser is also required for accessing the web-based documentation and online help.

The recommended minimum hardware requirements for executing the MIKE Zero modules are:

Processor:	3 GHz PC (or higher)
Memory (RAM):	2 GB (or higher)
Hard disk:	40 GB (or higher)
Monitor:	SVGA, resolution 1024x768
Graphics card: (GUI and visualisation)	64 MB RAM (256 MB RAM or higher is recommended)

Support

News about new features, applications, papers, updates, patches, etc. are available here:

www.mikepoweredbydhi.com/Download/DocumentsAndTools.aspx

For further information on MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM software, please contact your local DHI office or the support centre:

MIKE Powered by DHI Client Care
Agern Allé 5
DK-2970 Hørsholm
Denmark

Tel: +45 4516 9333
Fax: +45 4516 9292

mike@dhigroup.com
www.mikepoweredbydhi.com

Documentation

The MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM models are provided with comprehensive user guides, online help, scientific documentation, application examples and step-by-step training examples.

