



Regione Siciliana



PO FEAMP

PO FEAMP
ITALIA 2014 | 2020

Comunità Europea



ASSESSORATO REGIONALE DELL'AGRICOLTURA, DELLO SVILUPPO RURALE E DELLA PESCA MEDITERRANEA

DIPARTIMENTO DELLA PESCA MEDITERRANEA - BANDO DI ATTUAZIONE DELLA MISURA 1.43 PORTI, LUOGHI DI SBARCO, SALE PER LA VENDITA ALL'ASTA E RIPARI DI PESCA

COMUNE DI LIPARI

PROGETTO

PROGETTO PER L'AMPLIAMENTO DELLA BANCHINA DEL PORTO DI SOTTOMONASTERO, PER LA REALIZZAZIONE DI UN' AREA DESTINATA ALL'ORMEGGIO DELLA MARINERIA, PER LA VENDITA DEL PESCATO FRESCO E ZONA DI ALAGGIO E VARO DELL'ISOLA DI LIPARI.

PROGETTISTA

GIOSA SRL

via Catania, 164 - 98124 Messina (ME)
P.I. 03524570839

**DIRETTORE
TECNICO**

Architetto Salvatore DIELI

via Nino Bixio, 143 - 97019 Vittoria (RG)
email: studioarchdieli@gmail.com

P.I. 01265050888

PEC: salvatore.dieli@archiviopec.it

GIOSA srl
Via Catania, 164 - 98124 MESSINA
C.F./P.IVA 03524570839

Stampa circolare: Provincia Agrigento, DIELI SALVATORE, N. 252, ANNO 1997. Firma autografa.

IL R.U.P.

Geom. Carmelo Meduri

PROGETTO ESECUTIVO

N. 03

VISTO

1. RELAZIONE TECNICA
2. VALUTAZIONE INCIDENZA AMBIENTALE
3. **RELAZIONE IDRAULICO MARINO**
4. RELAZIONE ARCHEOLOGICA
5. RELAZIONE GEOLOGICA
6. RELAZIONE DI CALCOLO
7. FASCICOLO DEI CALCOLI
8. RELAZIONE SUI MATERIALI
9. RELAZIONE GEOTECNICA
10. RELAZIONE SULLE FONDAZIONI
11. ZONIZZAZIONE, INQUADRAMENTO TERRITORIALE
12. STATO DI FATTO - PLANIMETRIE
13. STATO DI FATTO - RILIEVO TOPOGRAFICO, PROFILI E SEZIONI
14. STATO DI PROGETTO - PLANIMETRIE E SEZIONI
15. STATO DI PROGETTO - SEZIONI DI PROGETTO
16. STATO DI PROGETTO - PLANIMETRIE CASSONI
17. STATO DI PROGETTO - SEZIONI DEI CASSONI
18. STATO DI PROGETTO - IMPIANTI
19. STATO DI PROGETTO - ESECUTIVI PALI E SOLETTONE
20. ELENCO PREZZI
21. ANALISI PREZZI
22. COMPUTO METRICO
23. INCIDENZA SICUREZZA
24. INCIDENZA MANODOPERA
25. QUADRO TECNICO ECONOMICO
26. PIANO DELLA SICUREZZA
27. CRONOPROGRAMMA
28. PIANO DELLE MANUTENZIONI
29. CAPITOLATO GENERALE E SPECIALE D'APPALTO
30. DISTINTA SPESE TECNICHE
31. SCHEMA DI CONTRATTO

COMUNE DI LIPARI
Piazza Mazzini, 1, 98055 (ME)
ITALIA

COMUNE DI LIPARI - REGIONE SICILIANA - I - UE
Riproduzione vietata, tutti i diritti riservati. Nessuna parte del presente documento può essere riprodotta o diffusa con un mezzo qualsiasi

INDICE

1. PREMESSE.....	2
2. MODELLO DI CALCOLO.....	3
3. MESH DI CALCOLO - BATIMETRIE	8
4. VERIFICA CLIMA ONDOSO CON TR=50.....	15
5. RIEPILOGO GRAFICO DI DETTAGLIO CLIMA ONDOSO-PROFILI.....	27
6. SINTESI ESPLICATIVA DEI MODELLI DI CALCOLO	36

1. PREMESSE

In riferimento ed a supporto del progetto definitivo “*progetto per l’ampliamento della banchina di Sottomonastero, per la realizzazione di un’area destinata all’ormeggio della marineria, per la vendita del pescato fresco e zona di alaggio e varo dell’isola di Lipari*” si è redatto il presente Studio su modello numerico bidimensionale finalizzato alle verifiche progettuali della banchina antiriflettente.

STUDIO IDRAULICO-MARITTIMO SU MODELLO NUMERICO

Allo scopo di interpretare la dinamica idraulico-marittima delle zone interessate dalle opere in progetto, sono stati utilizzati modelli numerici bidimensionali tramite i quali è stato possibile ricostruire il clima ondoso sottocosta ed il campo di correnti.

L’analisi è stata sviluppata con il codice di calcolo Mike 21 del Danish Hydraulic Institute, un sistema di modellazione bidimensionale, in grado di simulare onde, correnti, trasporto di sedimenti e le relative tendenze a deposito o erosione, mediante l’utilizzo in sequenza dei seguenti modelli numerici:

MIKE 21 WAVE MODELLING

- **MIKE 21 SW - Spectral Waves FM**
- **MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM - Hydrodynamique module**

2. MODELLO DI CALCOLO

Si è modellata una mesh generale di calcolo opportunamente estesa per tener conto in modo puntuale dell'esposizione del sito in esame alle traversie del 1° e 2° quadrante.

Per studiare in dettaglio la trasformazione che l'onda subisce nella sua propagazione verso la costa, è stato costruito un modello numerico bidimensionale, utilizzando il modulo SW (Spectral Waves) del codice di calcolo MIKE 21 di DHI (di cui si allega, al numero 6, la sintesi funzionale).

MIKE 21 SW è un modello spettrale per vento ed onde di nuova generazione, basato su una griglia non strutturata. Il modello simula la trasformazione di onde generate dal vento ed onde di swell sia offshore, sia in aree costiere.

MIKE 21 SW include due differenti formulazioni: "Directional decoupled parametric" e Fully spectral". La prima delle due formulazioni è basata su una parametrizzazione dell'equazione di conservazione dell'energia del moto ondoso. La parametrizzazione è effettuata nel dominio della frequenza mediante l'introduzione, come variabili dipendenti, del momento di ordine zero e del momento di primo ordine dello spettro (Holthuijsen, 1989). La seconda formulazione è basata sulla conservazione dell'energia del moto ondoso come descritta da Komen (1994) e Young (1999).

Il codice consente di simulare il moto ondoso in zone costiere tenendo conto dei fenomeni di shoaling e di rifrazione, dell'attrito di fondo, del frangimento, dell'interazione tra moto ondoso e correnti, della generazione locale di onde dovuta al vento e della dispersione direzionale dello spettro energetico che caratterizza il moto ondoso.

Le equazioni che stanno alla base sono derivate dall'equazione di conservazione dello spettro di energia del moto ondoso. Una parametrizzazione di tale equazione nel dominio della frequenza è stata eseguita introducendo i momenti di ordine zero e di ordine uno dello spettro energetico (variabile dipendente del problema). Questo porta alle seguenti equazioni accoppiate alle derivate parziali:

$$\frac{\partial(c_{gx}m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_qm_0)}{\partial q} = T_0$$

$$\frac{\partial(c_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_qm_1)}{\partial q} = T_1$$

nelle quali:

$m_0(x, y, \theta)$ - momento di ordine zero dello spettro di energia;

$m_1(x, y, \theta)$ - momento di ordine uno dello spettro di energia;

c_{gx} e c_{gy} - componenti nella direzione x e y della velocità di gruppo c_g ;

c_θ - velocità di propagazione rappresentante la variazione di energia nella direzione θ ;

x e y - coordinate cartesiane;

θ - direzione di propagazione dell'onda;

T_0 e T_1 - termini sorgenti.

Il momento $m_n(\theta)$ è definito come:

$$m_n(\theta) = \int_0^\infty \omega^n A(\omega, \theta) d\omega$$

dove ω è la frequenza assoluta e A è lo spettro energetico.

Le velocità di propagazione c_{gx} , c_{gy} e c_θ sono ottenute utilizzando la teoria lineare del moto ondoso.

I due momenti m_0 e m_1 sono calcolati dalle condizioni al contorno H_s e T_m come:

$$m_0 = \frac{H_s^2}{16},$$

$$m_1 = \frac{m_0}{T_m}.$$

Le equazioni prendono in considerazione gli effetti della rifrazione e dello shoaling, i termini sorgenti, gli effetti locali dovuti al vento ed alla dissipazione di energia per attrito sul fondo e per frangimento. Sono inoltre inclusi gli effetti generati dalle correnti.

La discretizzazione spaziale delle equazioni alle derivate parziali è eseguita utilizzando il metodo delle differenze finite. La griglia con cui viene discretizzato il campo di integrazione è costante sia nelle direzioni x e y che nella direzione di propagazione θ . La griglia deve essere scelta in modo tale da garantire un'adeguata risoluzione nella rappresentazione della batimetria, del campo di venti e di correnti nel piano x, y e del campo d'onda nello spazio x, y, θ .

Le caratteristiche della griglia devono inoltre essere selezionate in modo tale da garantire la stabilità dello schema numerico applicato. Utilizzando uno schema alle differenze centrali nella direzione y ed uno schema alle differenze in avanti nella direzione θ , il criterio di stabilità è dato da (Abbott, 1979):

$$\left| \frac{c_{gy} \Delta x}{c_{gx} \Delta y} \right| + \left| \frac{c_\theta \Delta x}{c_{gx} \Delta \theta} \right| \leq 1$$

dove Δx , Δy e $\Delta \theta$ rappresentano le dimensioni (costanti) della griglia lungo le tre direzioni x , y , θ . In pratica tale criterio è però di difficile applicazione in quanto non sono note a priori le componenti della velocità di propagazione. Nel caso in cui non sono previste correnti, possono essere utilizzate le seguenti due approssimazioni (Holthuijsen et al., 1989):

$$\frac{\Delta x}{\Delta \theta} \leq \frac{1}{2} \frac{d}{|\nabla d|}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} \geq 2 \tan(\theta)$$

dove d è la profondità e $|\nabla d|$ la pendenza del fondo.

Tali condizioni di stabilità indicano che una griglia spaziale a maglia piccola ed un grande settore di direzioni di provenienza del moto ondoso (un grande numero di direzioni discrete) richiedono una buona discretizzazione spaziale nella direzione x . Per garantire un settore di provenienza di circa 120° (condizione accettabile nella maggioranza delle applicazioni) il rapporto $\Delta y/\Delta x$ deve essere maggiore di 4.

La perdita di energia per attrito sul fondo viene regolata con il parametro di scabrezza di Nikuradse K_N . Per quanto concerne la perdita di energia dovuta al frangimento viene utilizzata la formulazione di Battjes e Janssen da cui risulta:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-\alpha}{8\pi} \cdot Q_b \omega H_m^2$$

dove:

E: energia totale del moto ondoso;

ω : frequenza;

H_{rms} : altezza quadratica media che caratterizza il moto ondoso;

H_m : altezza massima possibile del moto ondoso;

Q_b : percentuale delle onde che frangono;

α : costante.

Q_b è definito da:

$$\frac{1 - Q_b}{\ln(Q_b)} = - \left(\frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2,$$

H_m massima altezza d'onda che si può verificare è definita da:

$$H_m = \frac{\gamma_1}{k} \cdot \tanh \left(\frac{\gamma_2 \cdot k \cdot d}{\gamma_1} \right),$$

k è il numero d'onda;

d è la profondità;

γ_1 è un parametro che regola il frangimento dovuto alla ripidità dell'onda;

γ_2 è un parametro che regola il frangimento dovuto all'interazione con il fondo.

In pratica, considerando un treno d'onde caratterizzato da una certa altezza d'onda significativa H_s , ipotizzando valida la distribuzione di Rayleigh si ha:

$$H_{rms} = \frac{H_s}{\sqrt{2}}$$

Q_b è la percentuale di onde che, sempre secondo la distribuzione di Rayleigh, ha un'altezza superiore ad H_m e per le quali viene imposta un'altezza pari ad H_m avendo così una perdita di energia indicata dalla equazione precedente.

I fenomeni fisici che sono modellati con MIKE 21 SW sono i seguenti:

- generazione dell'onda ad opera del vento;
- interazione non lineare onda-onda;
- dissipazione dovuta al cosiddetto “white capping”;
- dissipazione dovuta all'attrito con il fondo;
- dissipazione dovuta al frangimento;
- rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni del fondale;
- interazione onde-correnti;
- diffrazione;
- riflessione.

Tale modello, a maglia triangolare “flessibile” permette di utilizzare una risoluzione spaziale variabile, consentendo di impiegare una risoluzione elevata nelle aree per le quali si richiede un maggior dettaglio, laddove rifrazione, shoaling, attrito con il fondo ed eventualmente frangimento determinano una forte trasformazione delle caratteristiche dell'onda incidente su distanze relativamente limitate.

L'input al modello è costituito dalla batimetria dell'area che si vuole studiare, discretizzata nei valori relativi alle celle della griglia di calcolo. Per ogni punto o per sottozona dell'area di applicazione viene definito il parametro di scabrezza. I valori dei coefficienti γ_1 e γ_2 per le equazioni di frangimento costituiscono altri parametri di input.

Le condizioni al contorno sono rappresentate dalle caratteristiche dell'onda off-shore: altezza significativa (H_s), periodo medio (T_m), direzione media di propagazione (MWD) e coefficiente di spreading direzionale (n), che rappresenta la dispersione dell'energia nel campo delle direzioni.

I risultati del modello sono i parametri caratteristici del moto ondoso (H_s , T_m , MWD , n) in tutti i punti della griglia di calcolo. E' così possibile ricostruire il piano d'onda in tutto l'intorno simulato. La restituzione dei risultati può avvenire con rappresentazioni grafiche a scala cromatica o ad isolinee in cui sono riportate la distribuzione delle altezze d'onda ed i campi vettoriali della direzione di propagazione. Possono inoltre essere calcolati i *radiation stress* per l'accoppiamento con il modulo idrodinamico.

Per ricavare i dati di input batimetrico si sono acquisite le carte nautiche digitalizzate di tutta l'area interessata dalla mesh di calcolo; si è utilizzato in tal senso il codice di calcolo C-Map, sempre del DHI, che consente di inserire nella mesh di calcolo le carte nautiche di dettaglio della zona in forma digitale.

Per la batimetria di dettaglio locale si è utilizzato un rilievo batimetrico di dettaglio effettuato con acquisizione multi-beam della baia prospiciente il pontile aliscafi esistente.

Le figure riportate successivamente nel successivo cap. 3 mostrano la mesh utilizzata (opportunamente infittita nelle zone di interesse) e la relativa rappresentazione batimetrica.

3. MESH DI CALCOLO - BATIMETRIE

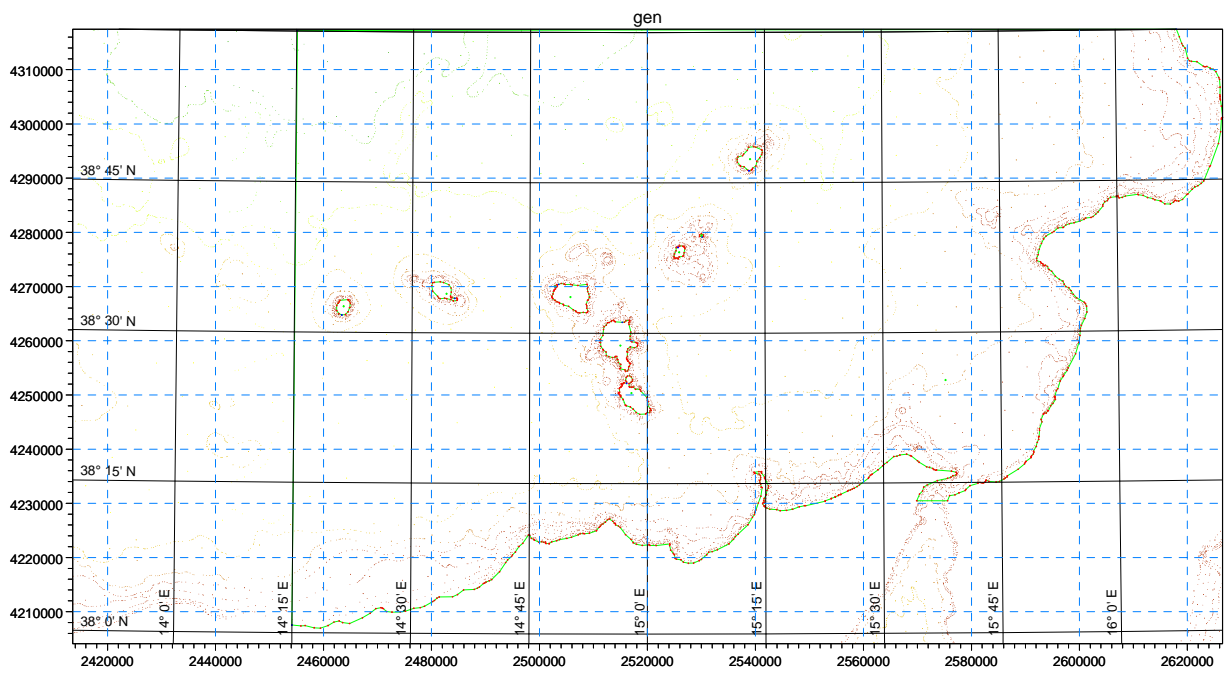


Figura 1 Punti globali CMap Eolie

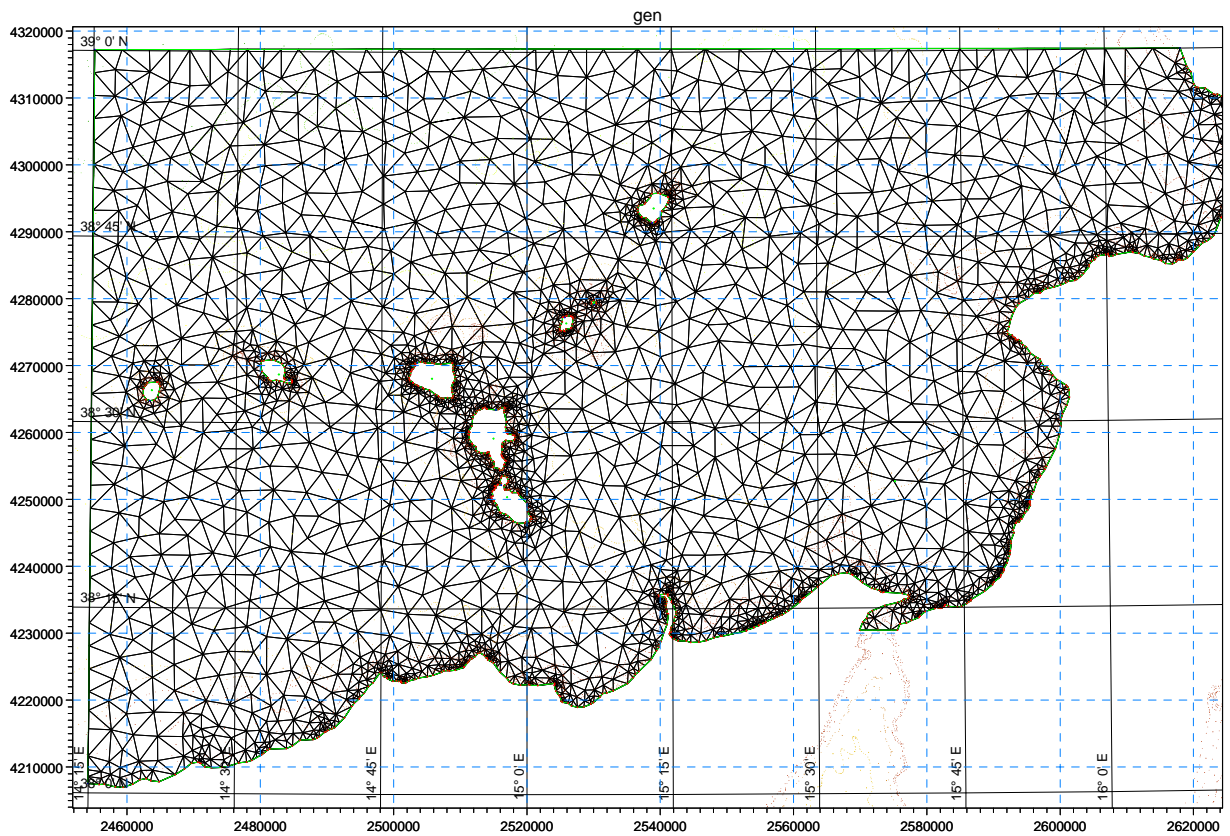


Figura 2 Mesh di calcolo generale

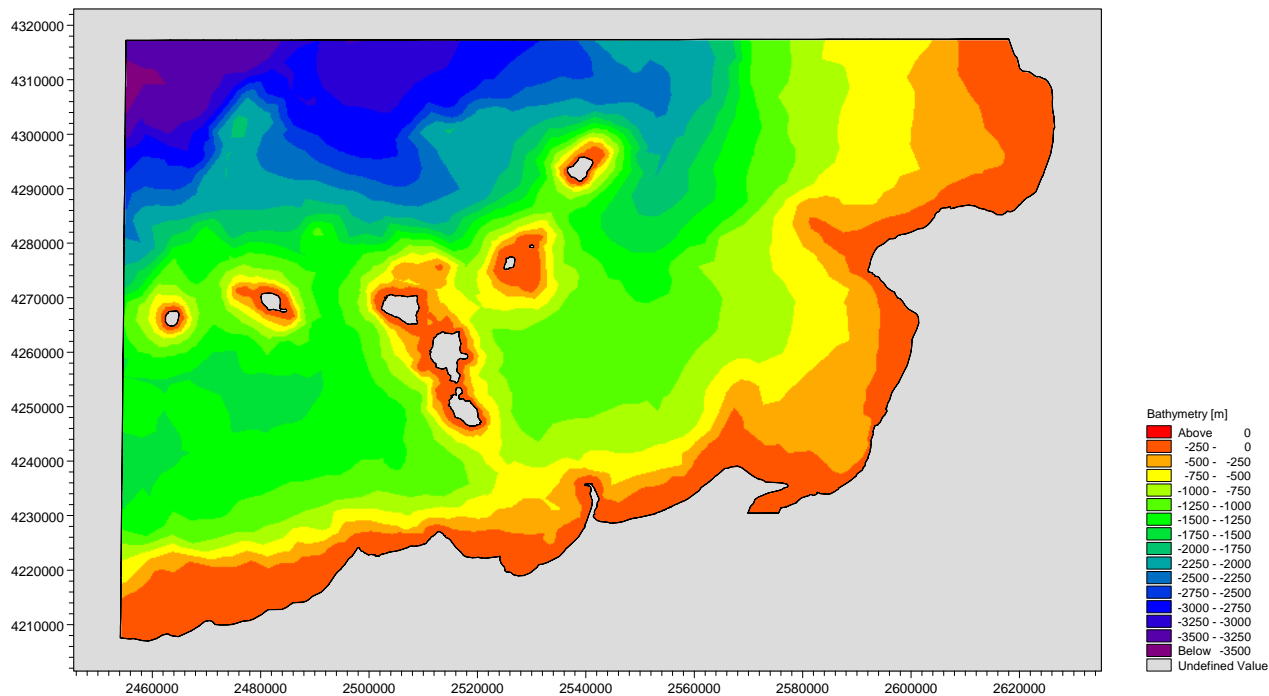


Figura 3 Batimetria generale

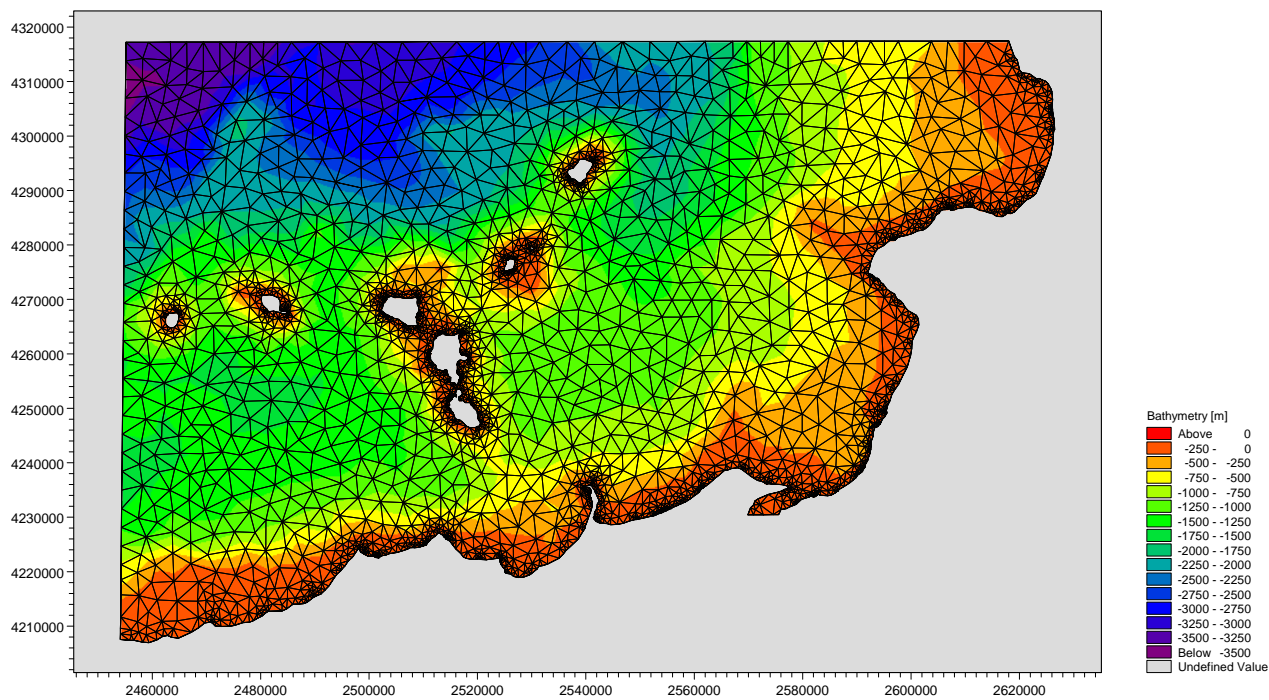


Figura 4 Mesh di calcolo sovrapposta alla batimetria

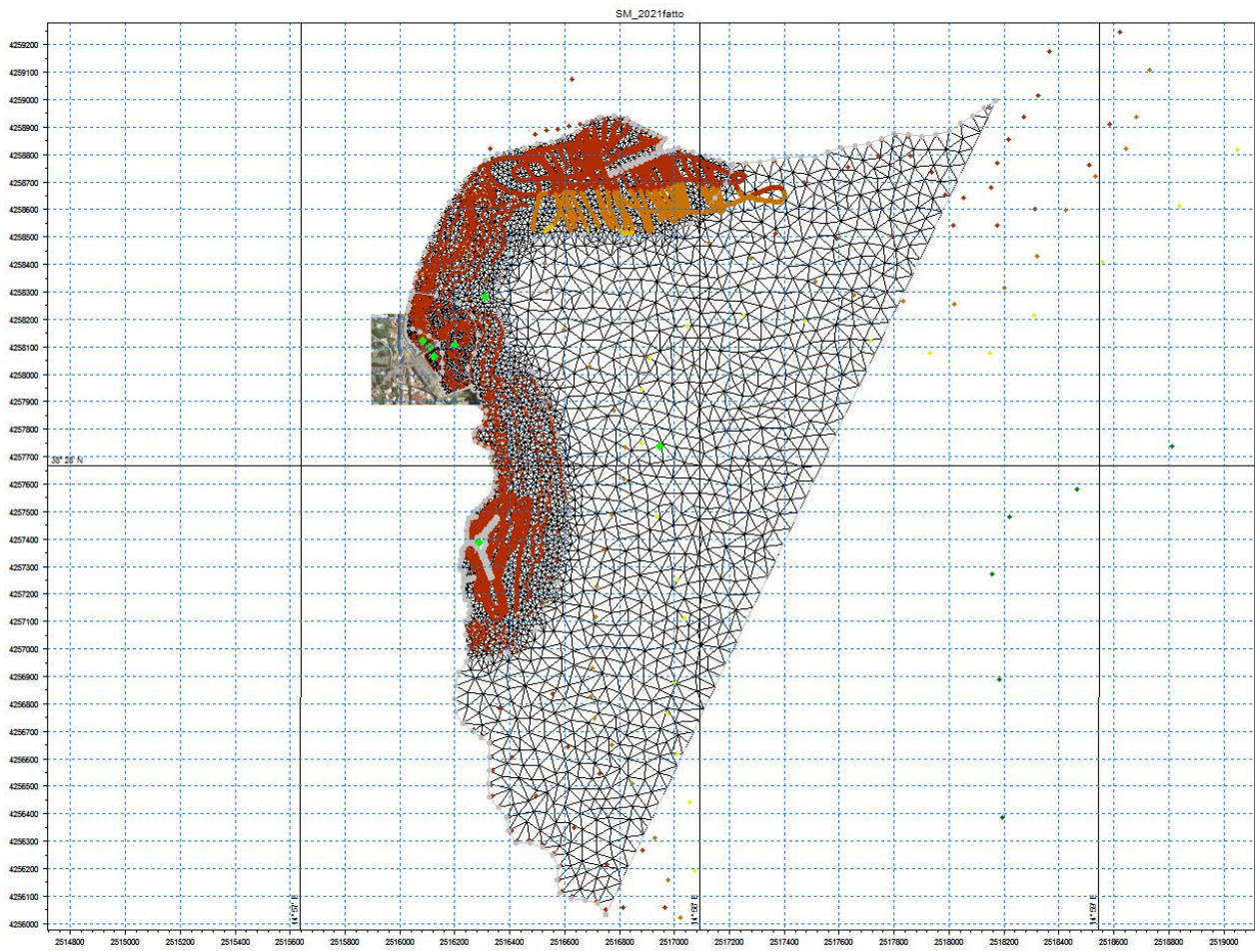


Figura 5 Mesh baia (Marina Corta-Sottomonastero-Pignataro)

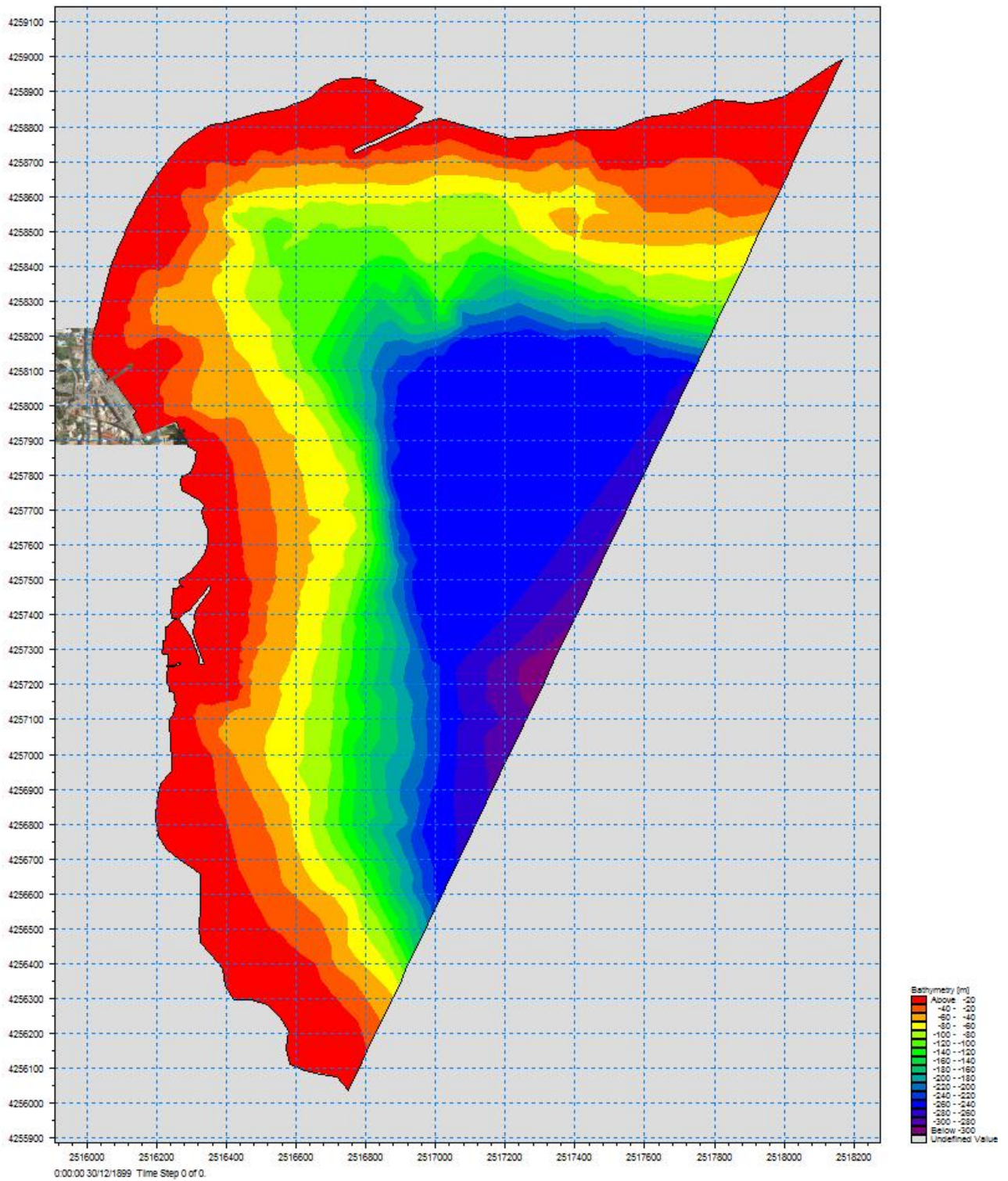


Figura 6 Batimetria baia (Marina Corta-Sottomonastero-Pignataro)

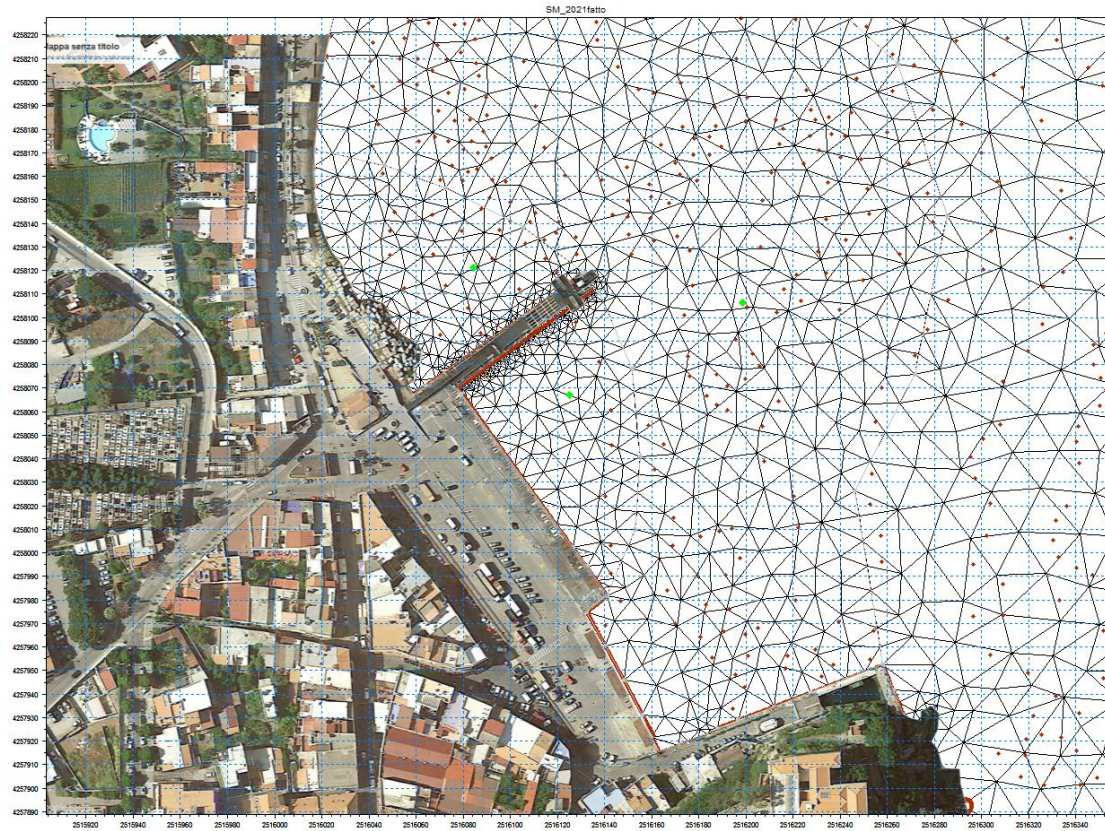


Figura 7 Mesh locale fatto

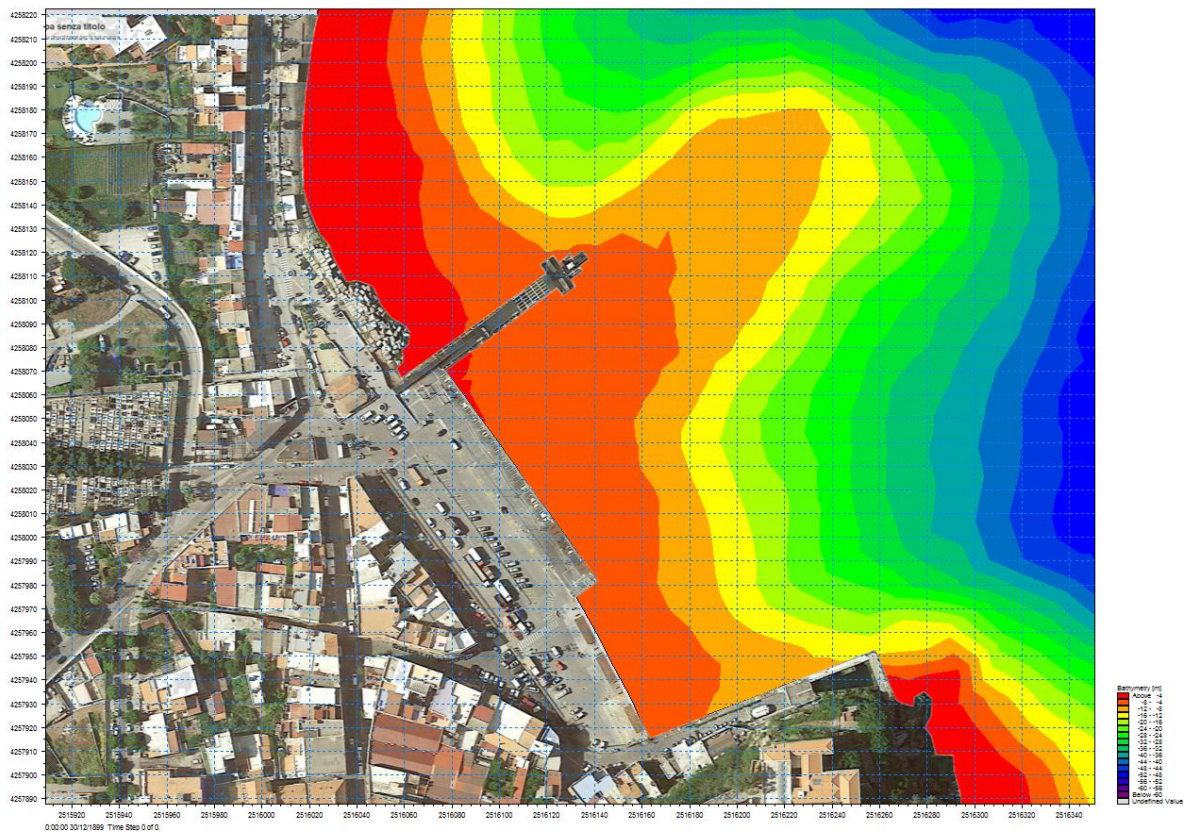


Figura 8 Mesh locale progetto

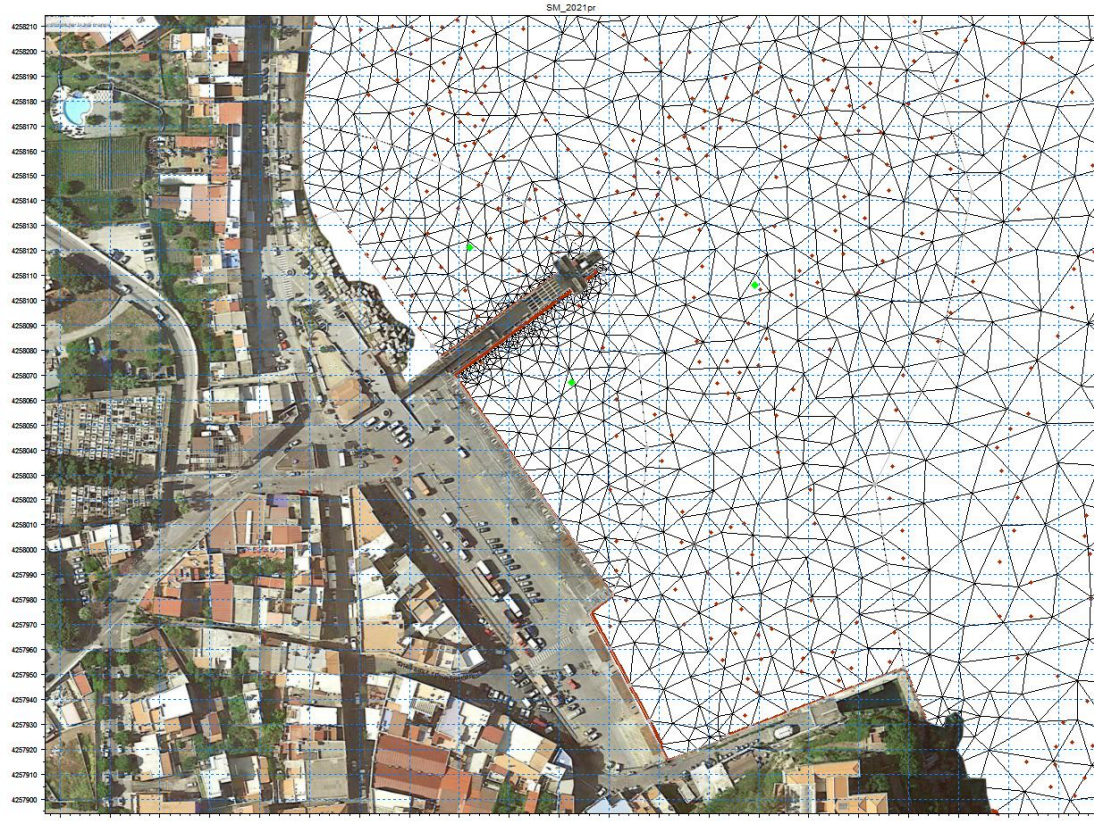


Figura 9 Mesh locale progetto

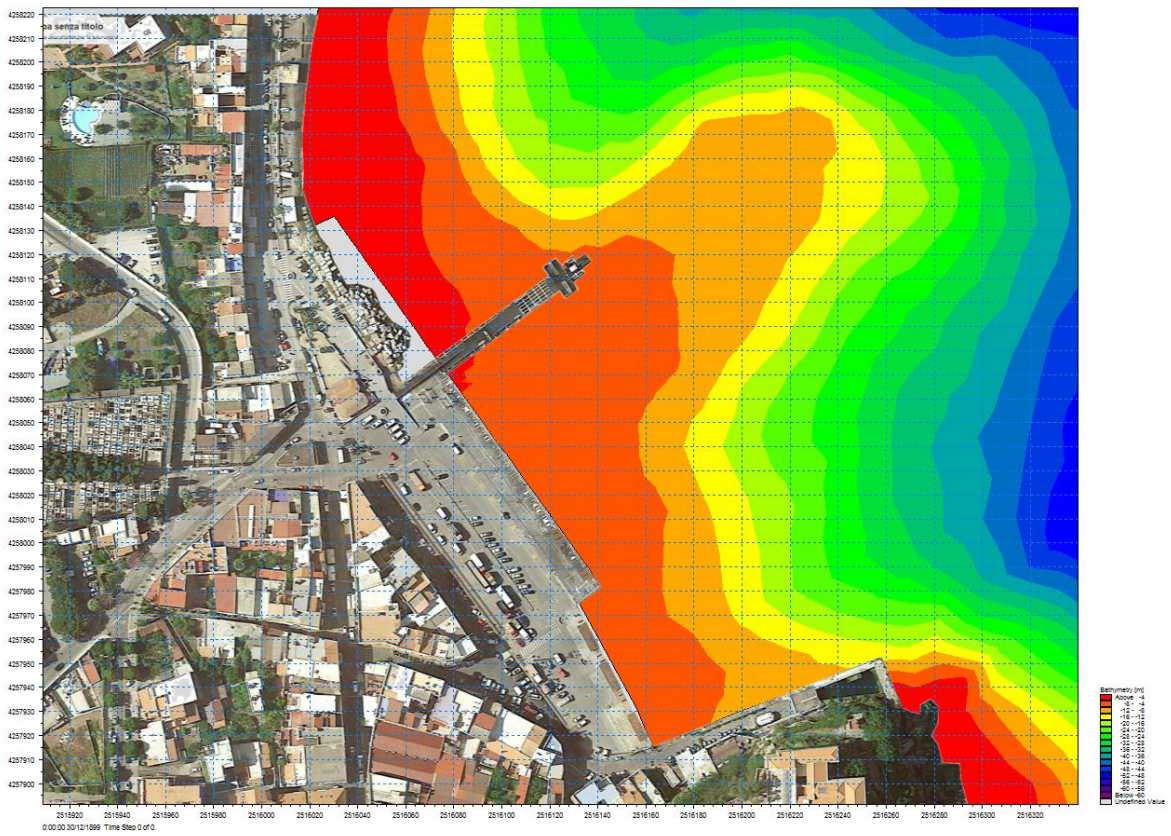


Figura 10 Batimetria locale progetto

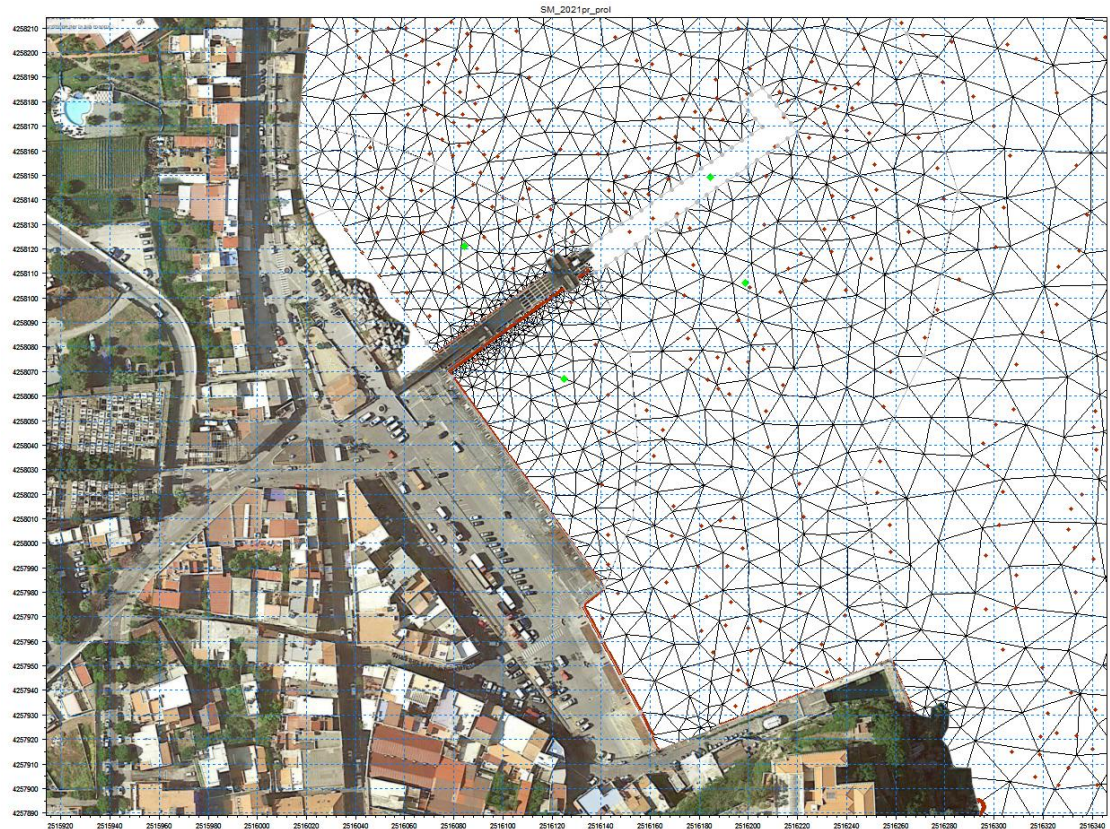


Figura 11 Mesh locale progetto+prolungamento

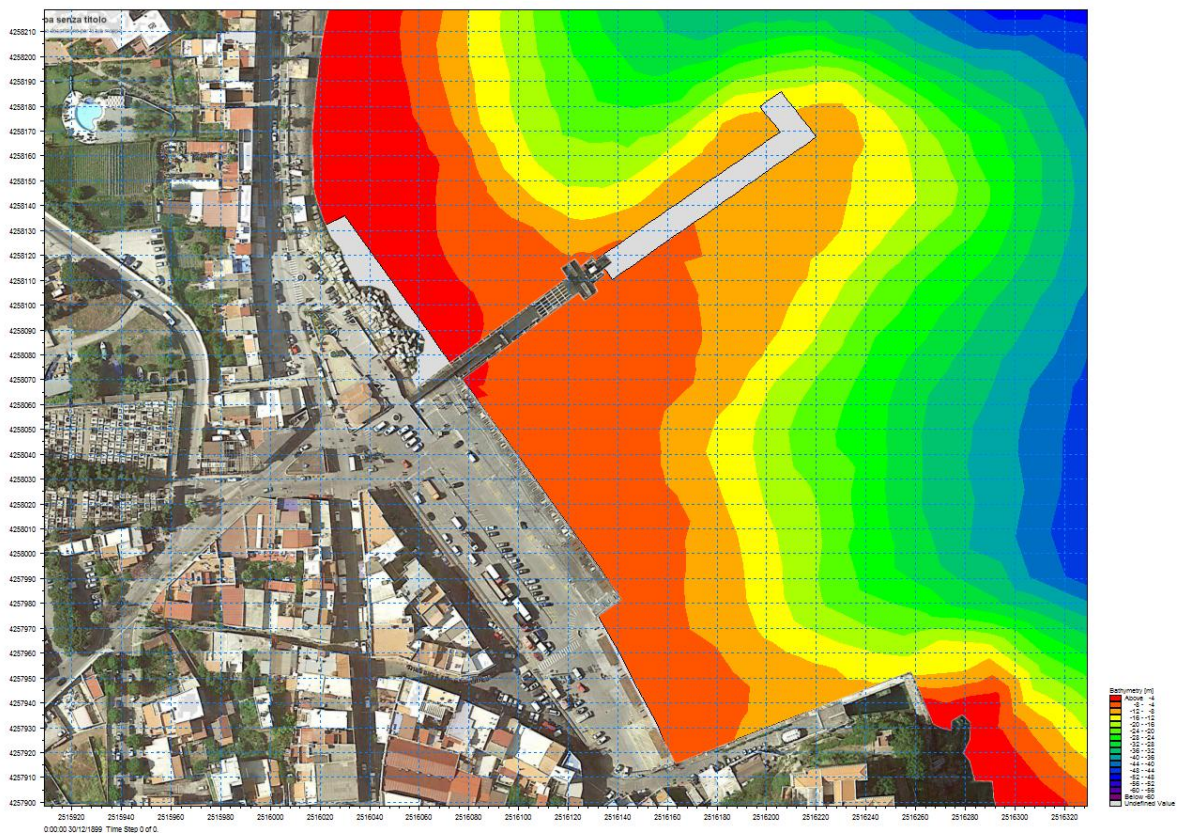


Figura 12 Batimetria locale progetto+prolungamento

4. VERIFICA CLIMA ONDOSO CON TR=50

Tenuto conto della tipologia di opera si sono effettuate le verifiche del clima ondoso con un tempo di ritorno $Tr=50$ anni, finalizzate al calcolo dell'altezza d'onda significativa posta alla base delle verifiche di stabilità globale e strutturali della banchina a cassoni antiriflettenti prevista in progetto.

In considerazione del fetch ridotto, relativo alle traversie di 1° e 2° quadrante, dovuto alla presenza delle coste della Sicilia e della Calabria si è utilizzato come input non il clima ondoso ma l'azione diretta, ricavata da analisi statistiche con $Tr=50$, del vento agente per un tempo di 10 ore di intensità 15 m/s per la direzione di provenienza $MWD=90^\circ$ e di intensità 19 m/s per la direzione di provenienza $MWD=135^\circ$.

4.1 SIMULAZIONE MWD 135° Tr 50

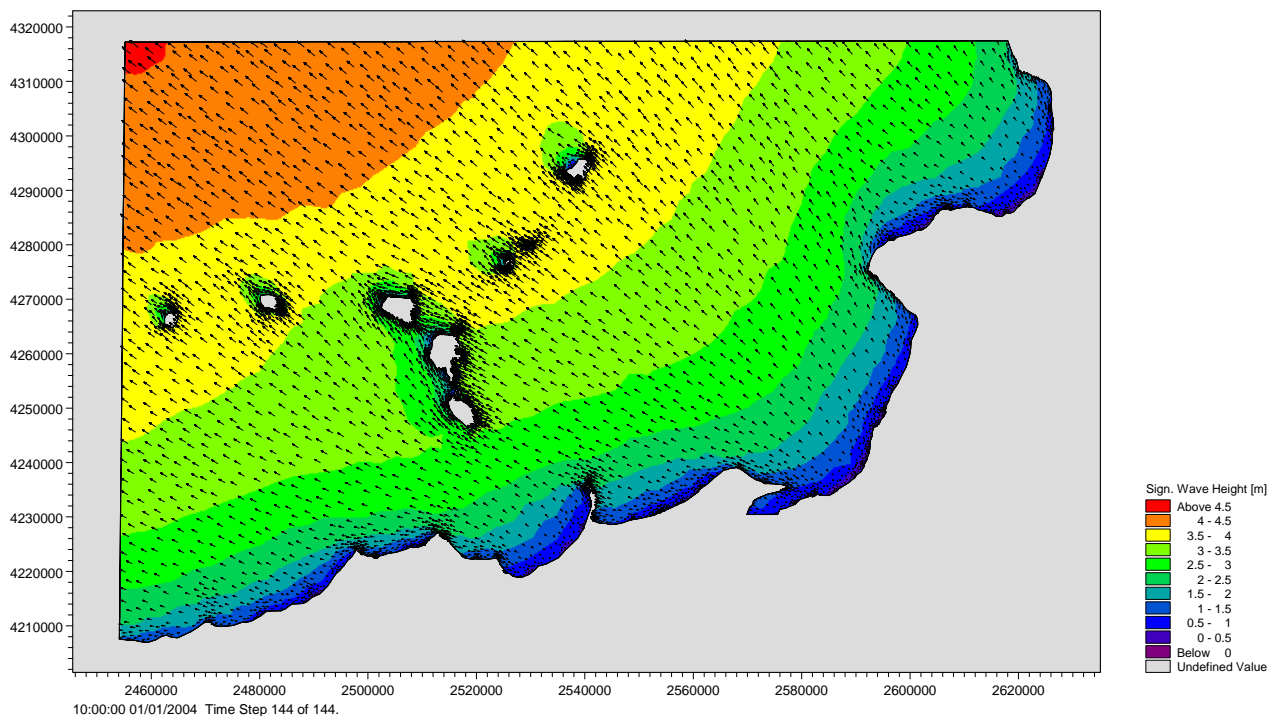


Figura 13 Clima ondoso globale Wind MWD=135° 19m/s

==== Computing Environment =====

Computer name :
Number of processors: 1

=====
number_of_domains : 1 (default)

Section: TIME -----

start_time : 2004 1 1 0 0 0
time_step_interval : 0.125
number_of_time_steps : 288000

Section: DOMAIN -----
 number_of_dimensions : 2
 discretization : 2
 number_of_mesheres : 1
 file_name : C:\Documents and Settings\Antonio\Desktop\last Eolie\generale\mesh3.mesh
 type_of_datum_depth : 1 (default)
 datum_depth : 0
 minimum_depth : -2.000003
 threshold_depth : -2.000003 (default)
 type_of_mesh : 0
 type_of_gauss : 3
 mesh_debug : 0 (default)

===== Mesh information =====

Number of elements : 5736
 Number of faces : 9037
 Number of nodes : 3293
 Number of sections : 3
 Min x-coordinate : 2454135.39
 Max x-coordinate : 2626494.43
 Min y-coordinate : 4206981.54
 Max y-coordinate : 4317464.49
 Min z-coordinate : -3522.9311
 Max z-coordinate : -2.000003

===== Boundary information =====

number	code	number of points	number of faces
1	1	789	788
2	2	36	35
3	3	44	43

write_boundary : 0 (default)

Section: MODULE_SELECTION -----
 mode_of_hydrodynamic_module : 0
 mode_of_spectral_wave_module : 2
 mode_of_transport_module : 0
 mode_of_mud_transport_module : 0
 mode_of_sand_transport_module : 0
 mode_of_eco_lab_module : 0

Section: SPECTRAL_WAVE_MODULE -----
 mode : 2

Section: EQUATION -----
 formulation : 2
 time_formulation : 2

Section: TIME -----
 start_time_step : 0
 time_step_factor : 300

Section: SPACE -----
 number_of_mesh_geometry : 1

Section: SPECTRAL -----
 type_of_frequency_discretization : 2
 number_of_frequencies : 25
 minimum_frequency : 0.055
 frequency_factor : 1.1
 type_of_directional_discretization : 1
 number_of_directions : 16

===== Frequency discretization =====

Number	Frequency	Interval	Period
1	0.5500E-01	0.5250E-02	0.1818E+02
2	0.6050E-01	0.5775E-02	0.1653E+02
3	0.6655E-01	0.6353E-02	0.1503E+02
4	0.7321E-01	0.6988E-02	0.1366E+02
5	0.8053E-01	0.7687E-02	0.1242E+02
6	0.8858E-01	0.8455E-02	0.1129E+02
7	0.9744E-01	0.9301E-02	0.1026E+02
8	0.1072E+00	0.1023E-01	0.9330E+01
9	0.1179E+00	0.1125E-01	0.8482E+01
10	0.1297E+00	0.1238E-01	0.7711E+01
11	0.1427E+00	0.1362E-01	0.7010E+01
12	0.1569E+00	0.1498E-01	0.6373E+01
13	0.1726E+00	0.1648E-01	0.5793E+01
14	0.1899E+00	0.1812E-01	0.5267E+01
15	0.2089E+00	0.1994E-01	0.4788E+01
16	0.2297E+00	0.2193E-01	0.4353E+01
17	0.2527E+00	0.2412E-01	0.3957E+01
18	0.2780E+00	0.2654E-01	0.3597E+01
19	0.3058E+00	0.2919E-01	0.3270E+01
20	0.3364E+00	0.3211E-01	0.2973E+01
21	0.3700E+00	0.3532E-01	0.2703E+01
22	0.4070E+00	0.3885E-01	0.2457E+01
23	0.4477E+00	0.4274E-01	0.2234E+01
24	0.4925E+00	0.4701E-01	0.2031E+01
25	0.5417E+00	0.5171E-01	0.1846E+01

=====
 ===== Directional discretization =====

Number	Direction	Interval
1	0.0000E+00	0.2250E+02
2	0.2250E+02	0.2250E+02
3	0.4500E+02	0.2250E+02
4	0.6750E+02	0.2250E+02
5	0.9000E+02	0.2250E+02
6	0.1125E+03	0.2250E+02
7	0.1350E+03	0.2250E+02
8	0.1575E+03	0.2250E+02
9	0.1800E+03	0.2250E+02
10	0.2025E+03	0.2250E+02
11	0.2250E+03	0.2250E+02
12	0.2475E+03	0.2250E+02
13	0.2700E+03	0.2250E+02
14	0.2925E+03	0.2250E+02
15	0.3150E+03	0.2250E+02
16	0.3375E+03	0.2250E+02

Section: SOLUTION_TECHNIQUE -----
 error_level : 0 (default)
 maximum_number_of_errors : 200 (default)
 number_of_levels_in_transport_calc : 32
 number_of_steps_in_source_calc : 1
 type_of_courant_number : 2 (default)
 maximum_courant_number : 1 (default)

Section: DEPTH -----
 type : 0
 minimum_depth : 0.01 (default)

Number of water points: 5736

Section: CURRENT -----
 type : 0

Section: WIND -----
 type : 1

format : 0
soft_time_interval : 3600
constant_speed : 19
constant_direction : 135
type_of_air_sea_interaction : 1
Background_Charnock_parameter : 0.01

Section: ICE -----
type : 0

Section: TRANSFER -----
type : 1
type_triad : 0 (default)

Section: BOTTOM_FRICTION -----
type : 3
constant_fc : 0

Section: NIKURADSE_ROUGHNESS -----
format : 0
constant_value : 0.04

Section: WAVE_BREAKING -----
type : 1
alpha : 1

Section: GAMMA -----
format : 0
constant_value : 0.8

Section: WHITECAPPING -----
type : 1

Section: DISSIPATION_CDISS -----
format : 0
constant_value : 4.5

Section: DISSIPATION_DELTA -----
format : 0
constant_value : 0.5

Section: INITIAL_CONDITIONS -----
type : 1
type_of_spectra : 1
type_of_fetch : 2 (default)
fetch : 100000
max_peak_frequency : 0.4
max_Phillips_constant : 0.0081
shape_parameter_sigma_a : 0.07
shape_parameter_sigma_b : 0.09
peakednes_parameter_gamma : 3.3

Section: BOUNDARY_CONDITIONS -----

Section: CODE_1 -----
type : 1 (default)

Section: CODE_2 -----
type : 6

Section: CODE_3 -----
type : 6

Section: OUTPUTS -----

number_of_outputs : 1

Section: OUTPUT_1 -----

include : 1
file_name : C:\Documents and Settings\Antonio\Desktop\last Eolie\generale\SWout-gen135-19.dfsu
title : Output 1
type : 1
format : 2
delete_value : 1.E-35 (default)
flood_and_dry : 0
first_time_step : 0
last_time_step : 288000
time_step_frequency : 2000
number_of_variables : 0 (default)

Section: INTEGRAL_WAVE_PARAMETERS -----

type_of_spectrum : 1
separation_of_wind_sea_and_swell : 3
maximum_threshold_frequency : 0.125
hm0_minimum : 0.01
type_of_h_max : 3
duration : 10800

Section: Total_wave_parameters -----

Significant_wave_height : 1
Maximum_wave_height : 0
Peak_wave_period : 0
Wave_period_t01 : 1
Wave_period_t02 : 0
Wave_period_tm10 : 0
Peak_wave_direction : 0
Mean_wave_direction : 1
Directional_standard_deviation : 0
Wave_velocity_components : 1
Radiation_stresses : 0

Section: Wind_sea_parameters -----

Significant_wave_height : 0
Maximum_wave_height : 0
Peak_wave_period : 0
Wave_period_t01 : 0
Wave_period_t02 : 0
Wave_period_tm10 : 0
Peak_wave_direction : 0
Mean_wave_direction : 0
Directional_standard_deviation : 0
Wave_velocity_components : 0
Radiation_stresses : 0

Section: Swell_parameters -----

Significant_wave_height : 0
Maximum_wave_height : 0
Peak_wave_period : 0
Wave_period_t01 : 0
Wave_period_t02 : 0
Wave_period_tm10 : 0
Peak_wave_direction : 0
Mean_wave_direction : 0
Directional_standard_deviation : 0
Wave_velocity_components : 0
Radiation_stresses : 0

Section: INPUT_PARAMETERS -----

Surface_elevation : 0
Water_depth : 0
Current_velocity_components : 0
Wind_speed : 0
Wind_direction : 0
Dissipation_coefficient_c : 0 (default)

Dissipation_coefficient_delta : 0 (default)
Ice_concentration : 0

Section: MODEL_PARAMETERS -----

Wind_friction_speed : 0
Roughness_length : 0
Drag_coefficient : 0
Charnock_constant : 0
Friction_coefficient : 0
Breaking_parameter_gamma : 0
Threshold_period : 0
Courant_number : 0
Time_step_factor : 0
Length : 0
Area : 0
interpolation_type : 1
input_format : 1
coordinate_type : GAUSS-BOAGA

Section: AREA -----

x_min : 2450000
x_max : 2630000
y_min : 4200000
y_max : 4320000

===== Spectral Wave Simulation information =====

Maximum CFL number (initial)

element number : 164
CFL number : 0.999881
x-coordinate (center) : 2537163.37
y-coordinate (center) : 4292225.35
still water depth (d) : 38.260373
length : 109.882206
local time step : 2.34375

===== Output Statistics =====

----- Data File Summary -----

Creator:
File : C:\Documents and Settings\Antonio\Desktop\last Eolie\generale\SWout-gen135-19.dfsu
Title : Output 1

Start date Start time Sets Interval Unit
2004-01-01 00:00:00 145 250 second

Axis Sets Interval Axis origin Unit
1 5736 1 0 meter

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Node id	Undefined	1	3293	undefined
X-coord	Undefined	2454135.39	2626494.43	undefined
Y-coord	Undefined	4206981.54	4317464.49	undefined
Z-coord	Undefined	-3522.9311	-2.000003	undefined
Code	Undefined	0	3	undefined
Element id	Undefined	1	5736	undefined
Element type	Undefined	21	21	undefined
No of nodes	Undefined	3	3	undefined
Connectivity	Undefined	1	3293	undefined

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Sign. Wave Height	Significant wave hei	0.000323	5.072741	meter
Wave Period, T01	Wave period	1.0000E-35	7.168117	second
Mean Wave Direction	Mean Wave Direction	1.0000E-35	358.373291	degree
x-comp. of wave vect	u-velocity component	-3.90412	0.493676	m/s
y-comp. of wave vect	v-velocity component	-0.702367	3.358	m/s

=====

4.2 SIMULAZIONE MWD 90° Tr 50

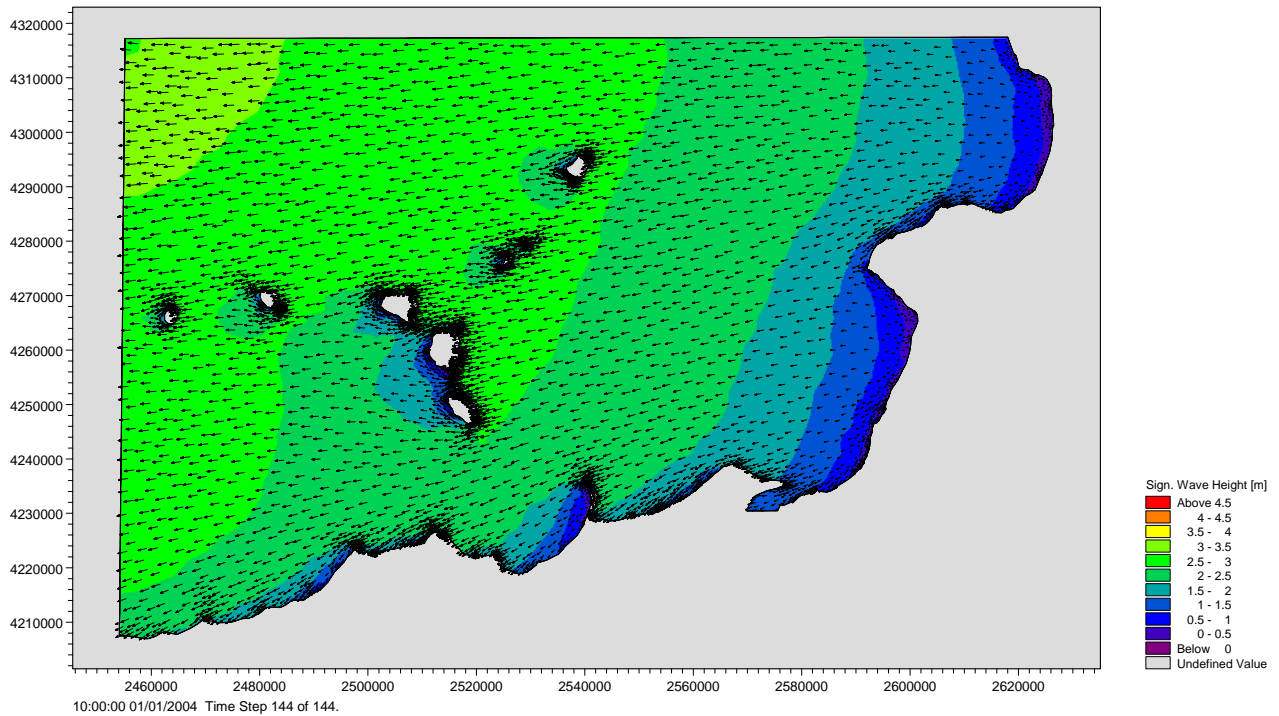


Figura 14 Clima ondoso globale Wind MWD=90° 15m/s

```

===== Computing Environment =====
Computer name      :
Number of processors: 1
=====

number_of_domains : 1 (default)

Section: TIME -----
start_time : 2004 1 1 0 0 0
time_step_interval : 0.125
number_of_time_steps : 288000

Section: DOMAIN -----
number_of_dimensions : 2
discretization : 2
number_of_meshes : 1
file_name : C:\Documents and Settings\Antonio\Desktop\last Eolie\generale\mesh3.mesh
type_of_datum_depth : 1 (default)
datum_depth : 0
minimum_depth : -2.000003
threshold_depth : -2.000003 (default)
type_of_mesh : 0
type_of_gauss : 3
mesh_debug : 0 (default)

===== Mesh information =====
Number of elements      : 5736
Number of faces        : 9037
Number of nodes        : 3293
Number of sections     : 3
Min x-coordinate       : 2454135.39
Max x-coordinate       : 2626494.43
Min y-coordinate       : 4206981.54
Max y-coordinate       : 4317464.49
Min z-coordinate       : -3522.9311
Max z-coordinate       : -2.000003
  
```

=====
 ===== Boundary information =====

number	code	number of points	number of faces
1	1	789	788
2	2	36	35
3	3	44	43

=====
 write_boundary : 0 (default)

Section: MODULE_SELECTION -----

mode_of_hydrodynamic_module : 0
 mode_of_spectral_wave_module : 2
 mode_of_transport_module : 0
 mode_of_mud_transport_module : 0
 mode_of_sand_transport_module : 0
 mode_of_eco_lab_module : 0

Section: SPECTRAL_WAVE_MODULE -----

mode : 2

Section: EQUATION -----

formulation : 2
 time_formulation : 2

Section: TIME -----

start_time_step : 0
 time_step_factor : 300

Section: SPACE -----

number_of_mesh_geometry : 1

Section: SPECTRAL -----

type_of_frequency_discretization : 2
 number_of_frequencies : 25
 minimum_frequency : 0.055
 frequency_factor : 1.1
 type_of_directional_discretization : 1
 number_of_directions : 16

=====
 ===== Frequency discretization =====

Number	Frequency	Interval	Period
1	0.5500E-01	0.5250E-02	0.1818E+02
2	0.6050E-01	0.5775E-02	0.1653E+02
3	0.6655E-01	0.6353E-02	0.1503E+02
4	0.7321E-01	0.6988E-02	0.1366E+02
5	0.8053E-01	0.7687E-02	0.1242E+02
6	0.8858E-01	0.8455E-02	0.1129E+02
7	0.9744E-01	0.9301E-02	0.1026E+02
8	0.1072E+00	0.1023E-01	0.9330E+01
9	0.1179E+00	0.1125E-01	0.8482E+01
10	0.1297E+00	0.1238E-01	0.7711E+01
11	0.1427E+00	0.1362E-01	0.7010E+01
12	0.1569E+00	0.1498E-01	0.6373E+01
13	0.1726E+00	0.1648E-01	0.5793E+01
14	0.1899E+00	0.1812E-01	0.5267E+01
15	0.2089E+00	0.1994E-01	0.4788E+01
16	0.2297E+00	0.2193E-01	0.4353E+01
17	0.2527E+00	0.2412E-01	0.3957E+01
18	0.2780E+00	0.2654E-01	0.3597E+01
19	0.3058E+00	0.2919E-01	0.3270E+01
20	0.3364E+00	0.3211E-01	0.2973E+01
21	0.3700E+00	0.3532E-01	0.2703E+01
22	0.4070E+00	0.3885E-01	0.2457E+01
23	0.4477E+00	0.4274E-01	0.2234E+01
24	0.4925E+00	0.4701E-01	0.2031E+01

25 0.5417E+00 0.5171E-01 0.1846E+01

=====
===== Directional discretization =====

Number Direction Interval

1	0.0000E+00	0.2250E+02
2	0.2250E+02	0.2250E+02
3	0.4500E+02	0.2250E+02
4	0.6750E+02	0.2250E+02
5	0.9000E+02	0.2250E+02
6	0.1125E+03	0.2250E+02
7	0.1350E+03	0.2250E+02
8	0.1575E+03	0.2250E+02
9	0.1800E+03	0.2250E+02
10	0.2025E+03	0.2250E+02
11	0.2250E+03	0.2250E+02
12	0.2475E+03	0.2250E+02
13	0.2700E+03	0.2250E+02
14	0.2925E+03	0.2250E+02
15	0.3150E+03	0.2250E+02
16	0.3375E+03	0.2250E+02

=====
Section: SOLUTION_TECHNIQUE -----

error_level : 0 (default)
maximum_number_of_errors : 200 (default)
number_of_levels_in_transport_calc : 32
number_of_steps_in_source_calc : 1
type_of_courant_number : 2 (default)
maximum_courant_number : 1 (default)

Section: DEPTH -----

type : 0
minimum_depth : 0.01 (default)

Number of water points: 5736

Section: CURRENT -----

type : 0

Section: WIND -----

type : 1
format : 0
soft_time_interval : 3600
constant_speed : 15
constant_direction : 90
type_of_air_sea_interaction : 1
Background_Charnock_parameter : 0.01

Section: ICE -----

type : 0

Section: TRANSFER -----

type : 1
type_triad : 0 (default)

Section: BOTTOM_FRICTION -----

type : 3
constant_fc : 0

Section: NIKURADSE_ROUGHNESS -----

format : 0
constant_value : 0.04

Section: WAVE_BREAKING -----
type : 1
alpha : 1

Section: GAMMA -----
format : 0
constant_value : 0.8

Section: WHITECAPPING -----
type : 1

Section: DISSIPATION_CDISS -----
format : 0
constant_value : 4.5

Section: DISSIPATION_DELTA -----
format : 0
constant_value : 0.5

Section: INITIAL_CONDITIONS -----
type : 1
type_of_spectra : 1
type_of_fetch : 2 (default)
fetch : 100000
max_peak_frequency : 0.4
max_Phillips_constant : 0.0081
shape_parameter_sigma_a : 0.07
shape_parameter_sigma_b : 0.09
peakednes_parameter_gamma : 3.3

Section: BOUNDARY_CONDITIONS -----

Section: CODE_1 -----
type : 1 (default)

Section: CODE_2 -----
type : 6

Section: CODE_3 -----
type : 6

Section: OUTPUTS -----
number_of_outputs : 1

Section: OUTPUT_1 -----
include : 1
file_name : C:\Documents and Settings\Antonio\Desktop\last Eolie\generale\SWout-gen90-15.dfsu
title : Output 1
type : 1
format : 2
delete_value : 1.E-35 (default)
flood_and_dry : 0
first_time_step : 0
last_time_step : 288000
time_step_frequency : 2000
number_of_variables : 0 (default)

Section: INTEGRAL_WAVE_PARAMETERS -----
type_of_spectrum : 1
separation_of_wind_sea_and_swell : 3
maximum_threshold_frequency : 0.125
hm0_minimum : 0.01
type_of_h_max : 3
duration : 10800

Section: Total_wave_parameters -----

Significant_wave_height : 1
Maximum_wave_height : 0
Peak_wave_period : 0
Wave_period_t01 : 1
Wave_period_t02 : 0
Wave_period_tm10 : 0
Peak_wave_direction : 0
Mean_wave_direction : 1
Directional_standard_deviation : 0
Wave_velocity_components : 1
Radiation_stresses : 0

Section: Wind_sea_parameters -----

Significant_wave_height : 0
Maximum_wave_height : 0
Peak_wave_period : 0
Wave_period_t01 : 0
Wave_period_t02 : 0
Wave_period_tm10 : 0
Peak_wave_direction : 0
Mean_wave_direction : 0
Directional_standard_deviation : 0
Wave_velocity_components : 0
Radiation_stresses : 0

Section: Swell_parameters -----

Significant_wave_height : 0
Maximum_wave_height : 0
Peak_wave_period : 0
Wave_period_t01 : 0
Wave_period_t02 : 0
Wave_period_tm10 : 0
Peak_wave_direction : 0
Mean_wave_direction : 0
Directional_standard_deviation : 0
Wave_velocity_components : 0
Radiation_stresses : 0

Section: INPUT_PARAMETERS -----

Surface_elevation : 0
Water_depth : 0
Current_velocity_components : 0
Wind_speed : 0
Wind_direction : 0
Dissipation_coefficient_c : 0 (default)
Dissipation_coefficient_delta : 0 (default)
Ice_concentration : 0

Section: MODEL_PARAMETERS -----

Wind_friction_speed : 0
Roughness_length : 0
Drag_coefficient : 0
Charnock_constant : 0
Friction_coefficient : 0
Breaking_parameter_gamma : 0
Threshold_period : 0
Courant_number : 0
Time_step_factor : 0
Length : 0
Area : 0
interpolation_type : 1
input_format : 1
coordinate_type : GAUSS-BOAGA

Section: AREA -----

x_min : 2450000
x_max : 2630000
y_min : 4200000
y_max : 4320000

===== Spectral Wave Simulation information =====

Maximum CFL number (initial)

element number : 164
CFL number : 0.999881
x-coordinate (center) : 2537163.37
y-coordinate (center) : 4292225.35
still water depth (d) : 38.260373
length : 109.882206
local time step : 2.34375

===== Output Statistics =====

----- Data File Summary -----

Creator:
File : C:\Documents and Settings\Antonio\Desktop\last Eolie\generale\SWout-gen90-15.dfsu
Title : Output 1

Start date Start time Sets Interval Unit
2004-01-01 00:00:00 145 250 second

Axis Sets Interval Axis origin Unit
1 5736 1 0 meter

Static items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Node id	Undefined	1	3293	undefined
X-coord	Undefined	2454135.39	2626494.43	undefined
Y-coord	Undefined	4206981.54	4317464.49	undefined
Z-coord	Undefined	-3522.9311	-2.000003	undefined
Code	Undefined	0	3	undefined
Element id	Undefined	1	5736	undefined
Element type	Undefined	21	21	undefined
No of nodes	Undefined	3	3	undefined
Connectivity	Undefined	1	3293	undefined

Dynamic items:

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Sign. Wave Height	Significant wave hei	0.000229	3.117791	meter
Wave Period, T01	Wave period	1.0000E-35	6.747778	second
Mean Wave Direction	Mean Wave Direction	1.0000E-35	359.992218	degree
x-comp. of wave vect	u-velocity component	-3.117119	0.054884	m/s
y-comp. of wave vect	v-velocity component	-1.243253	0.790844	m/s

=====

5. RIEPILOGO GRAFICO DI DETTAGLIO CLIMA ONDOSO-PROFILI

Dalle simulazioni di cui al precedente cap. 4 si sono estratti di seguito i grafici di dettaglio del clima ondoso ed i profili d'onda nelle tre condizioni:

- **Stato di fatto**
- **Stato di progetto**
- **Stato di progetto + prolungamento futuro a cassoni del pontile aliscafi**

5.1 DETTAGLIO LOCALE CLIMA ONDOSO MWD 135°

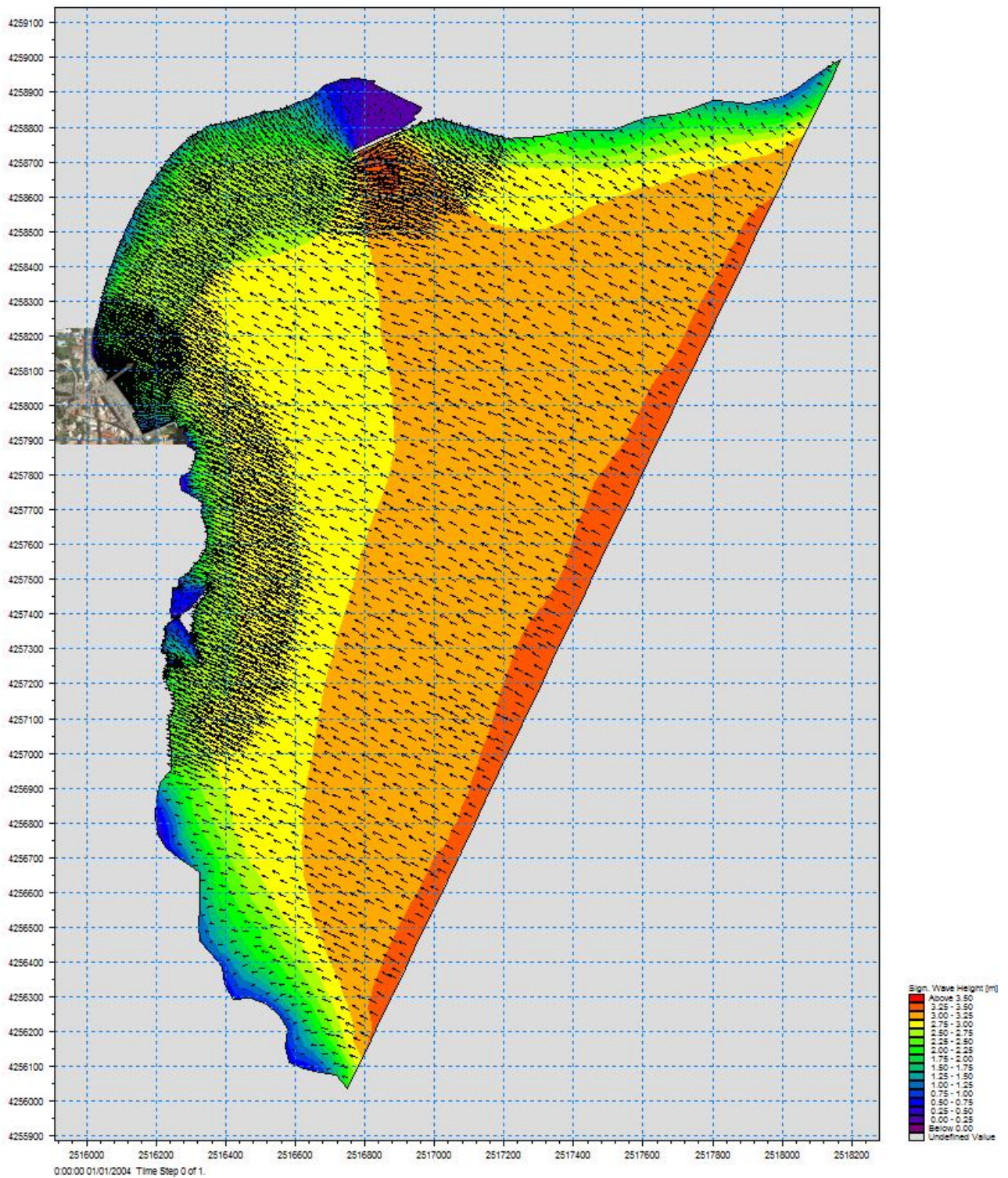


Figura 15 Clima ondosu baia MWD=135°

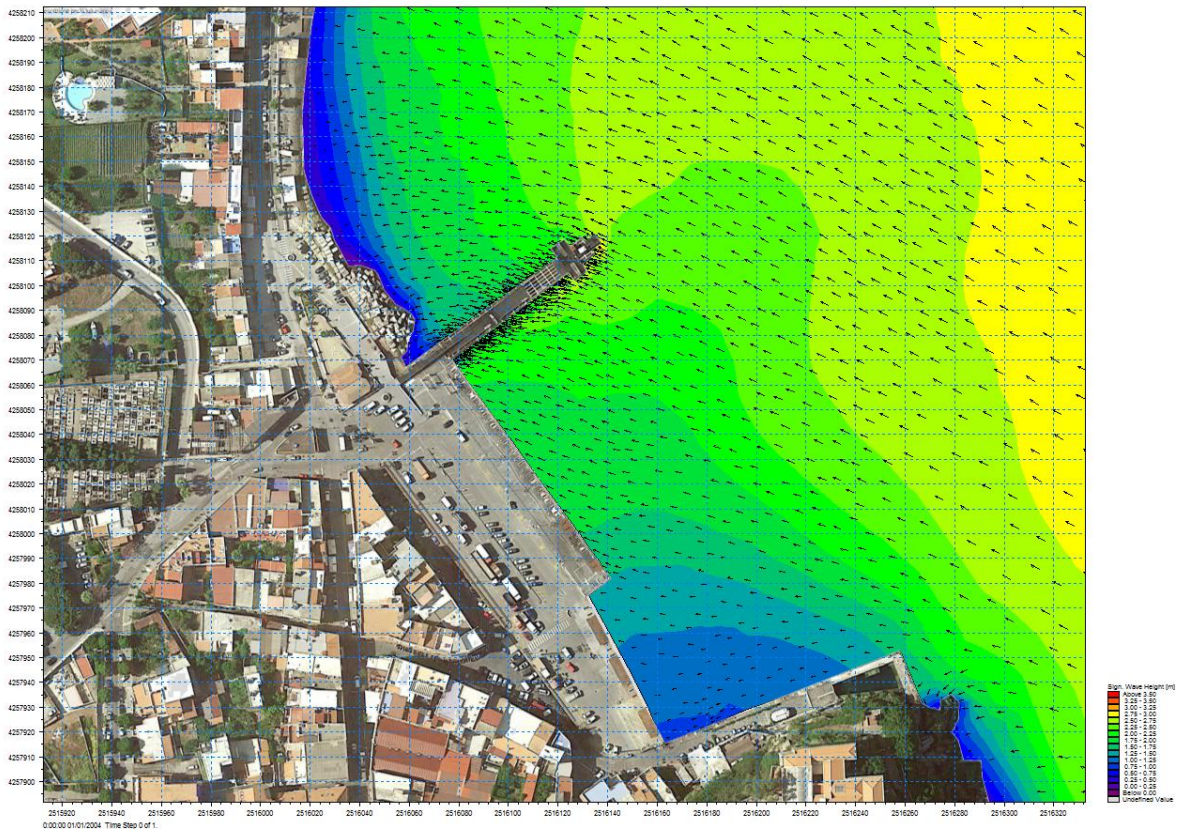


Figura 16 Clima ondoso stato di fatto MWD=135°

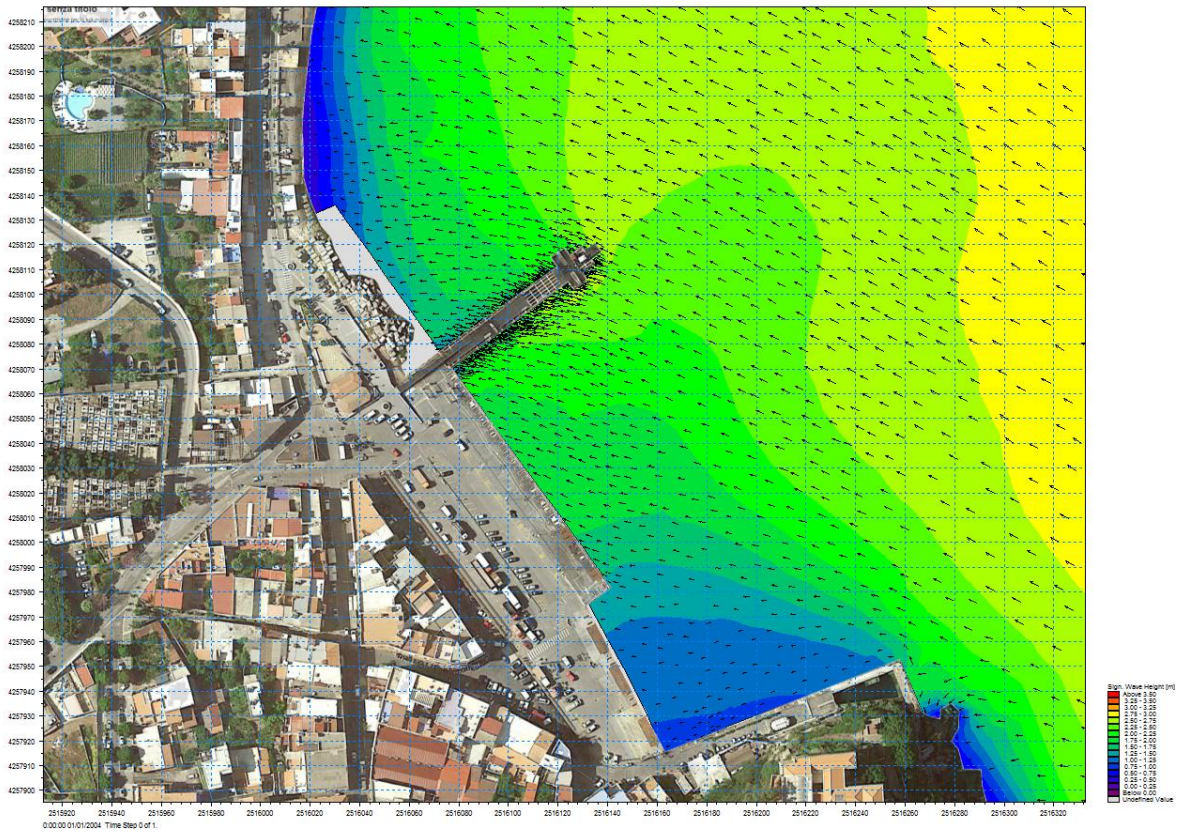


Figura 17 Clima ondoso stato di progetto MWD=135°

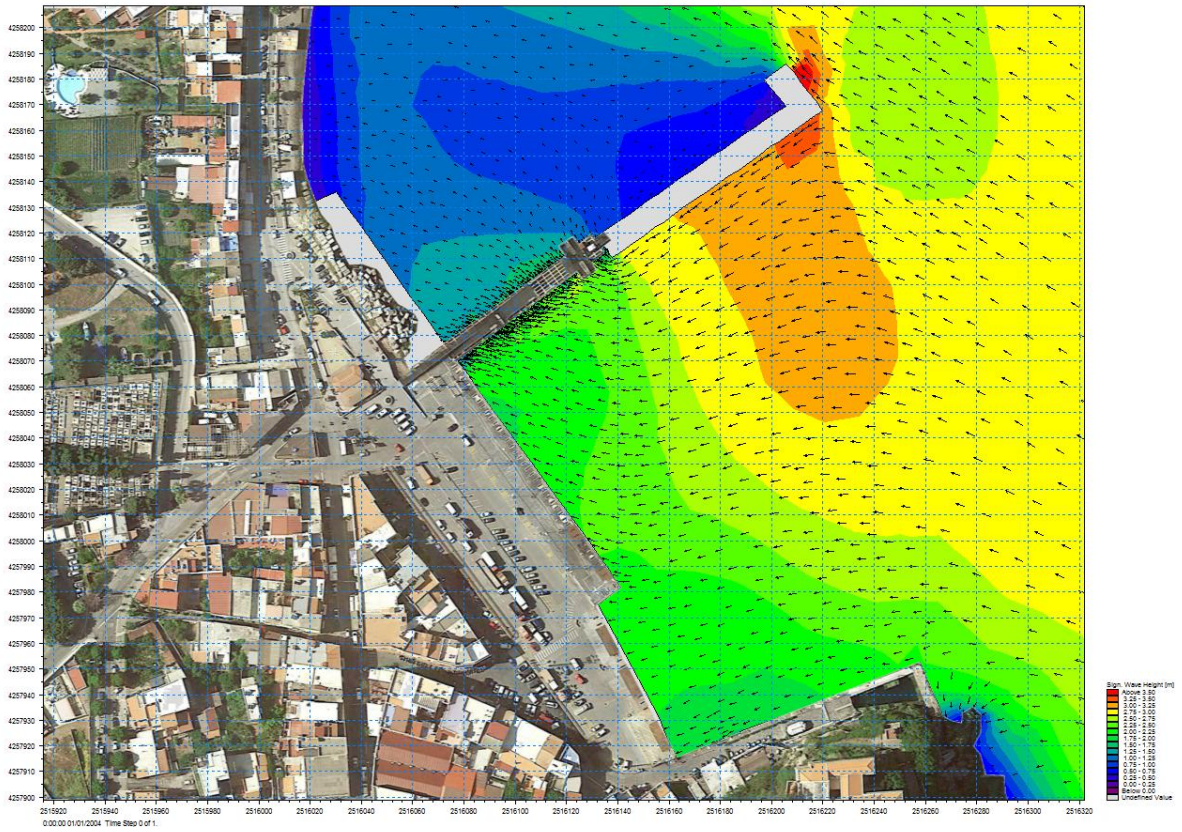
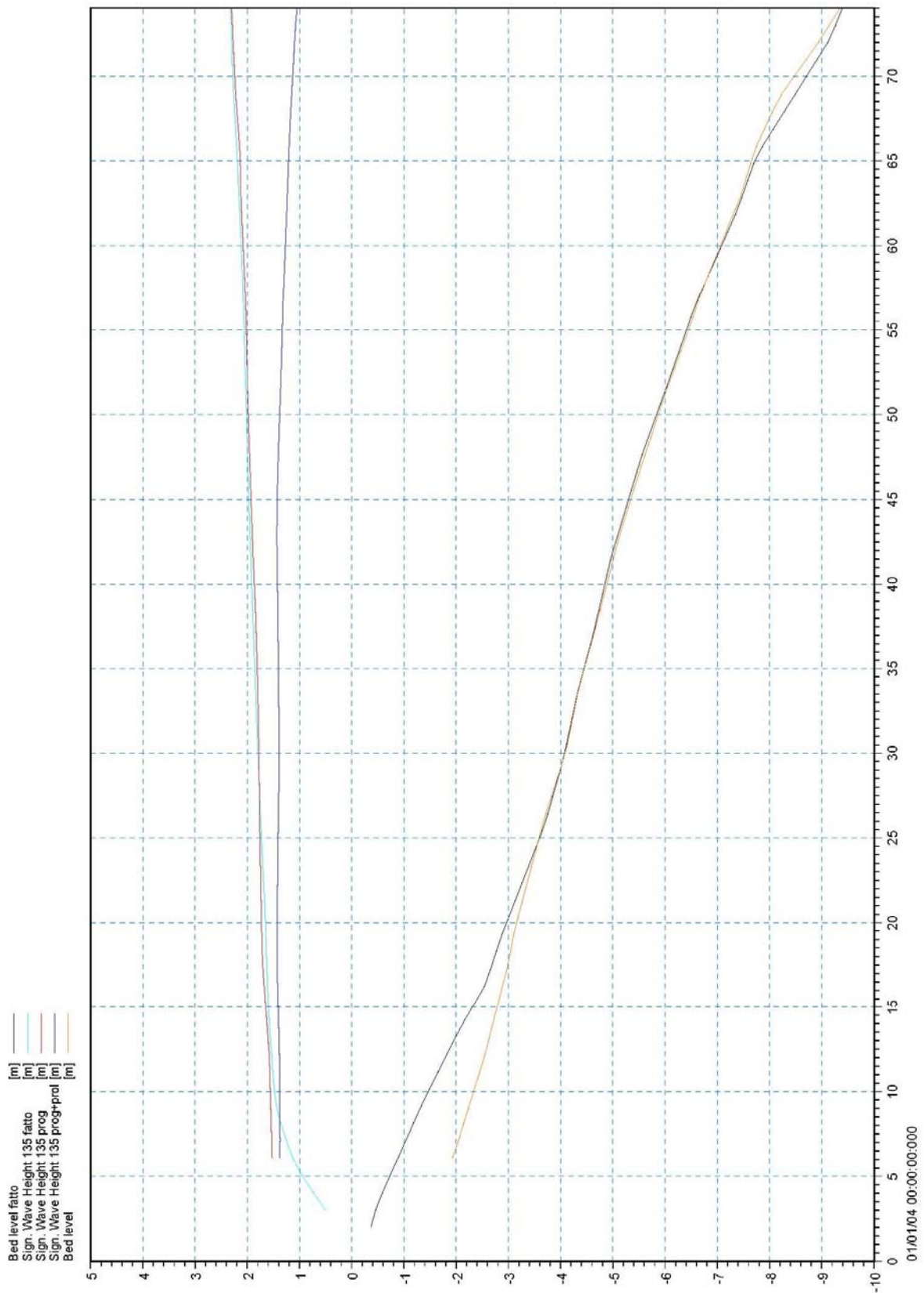


Figura 18 Clima ondoso stato di progetto+prolungamento MWD=135°

5.2 PROFILO D'ONDA ORTOGONALE ALLA BANCHINA MWD 135°



5.3 DETTAGLIO LOCALE CLIMA ONDOSO MWD 90°

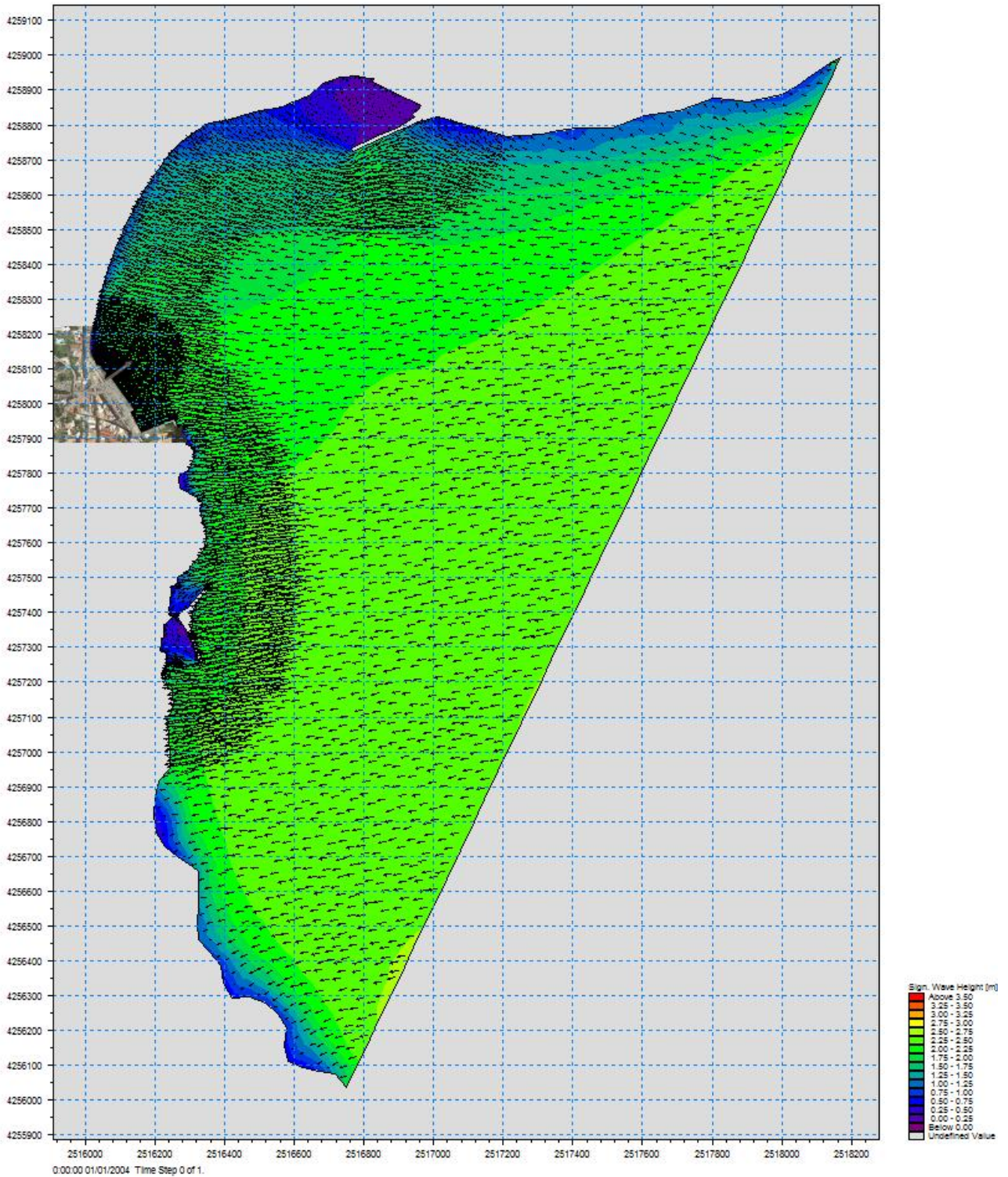


Figura 19 Clima ondoso baia MWD=90°

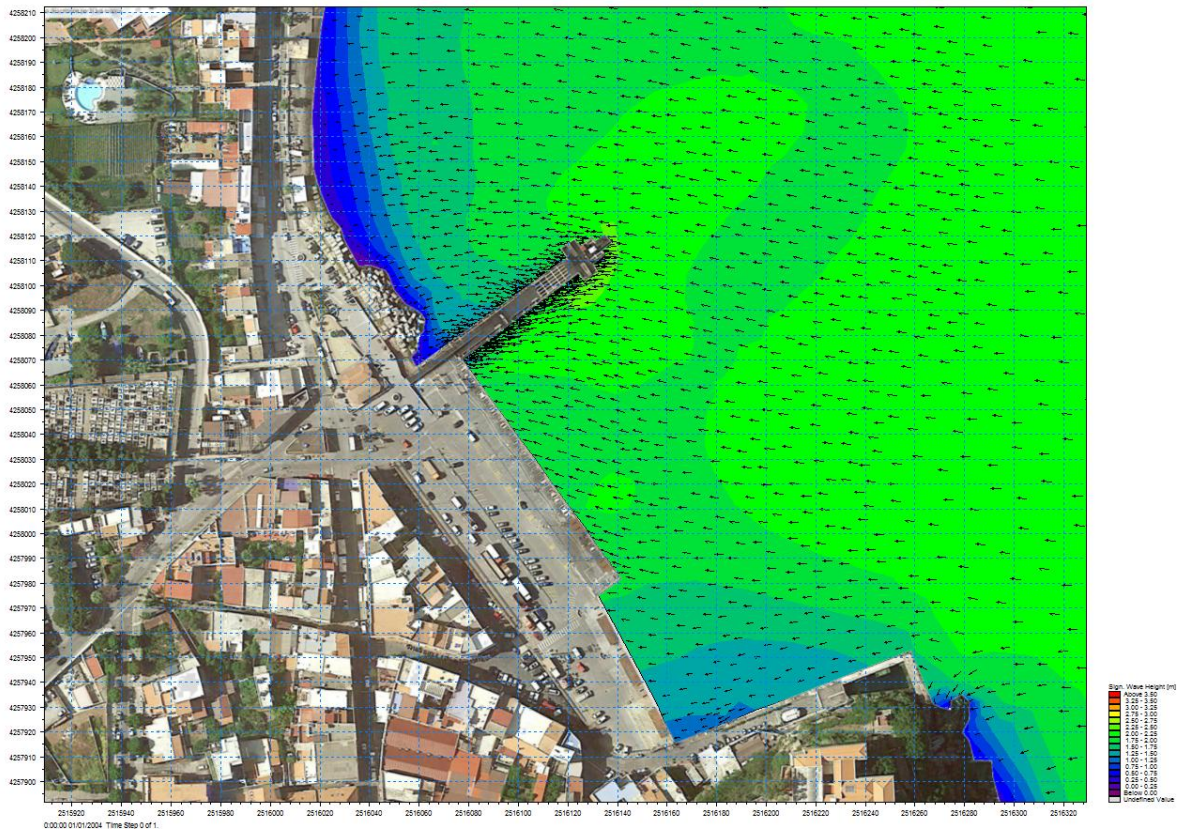


Figura 20 Clima ondoso stato di fatto MWD=90°

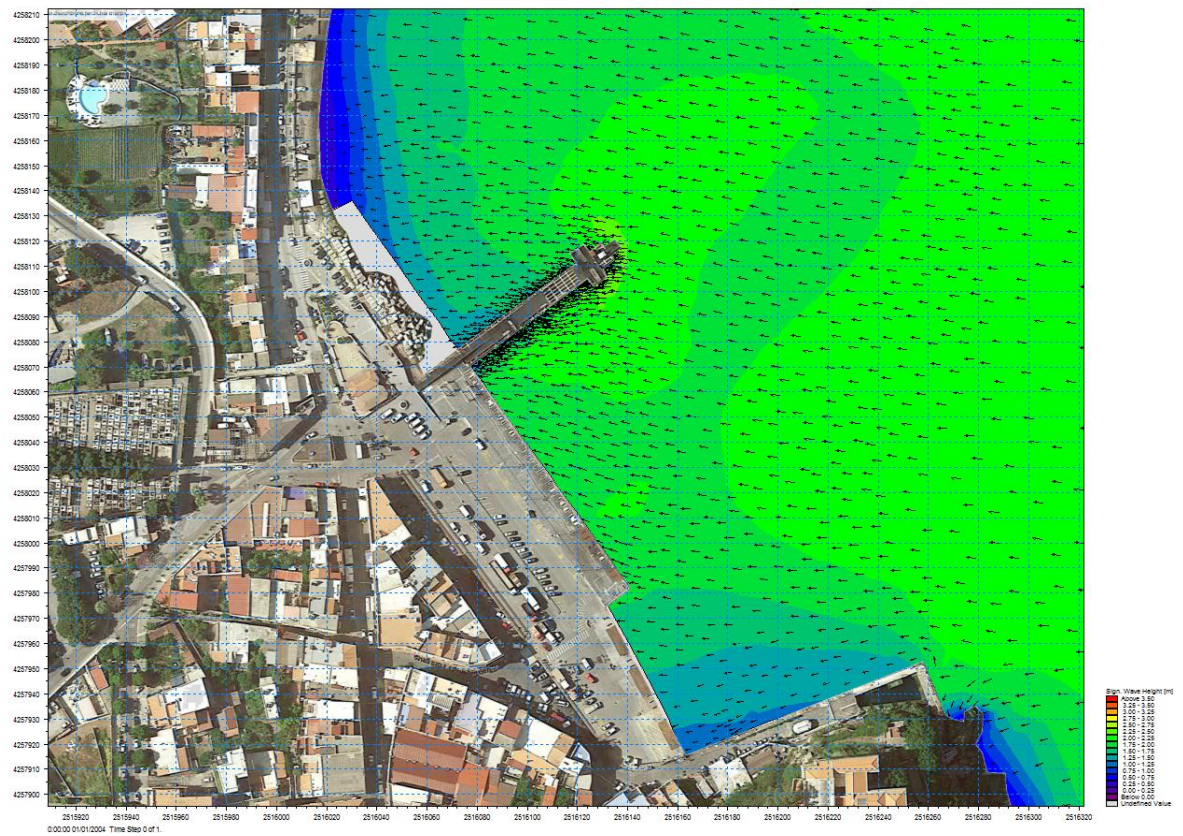


Figura 21 Clima ondoso stato di progetto MWD=90°

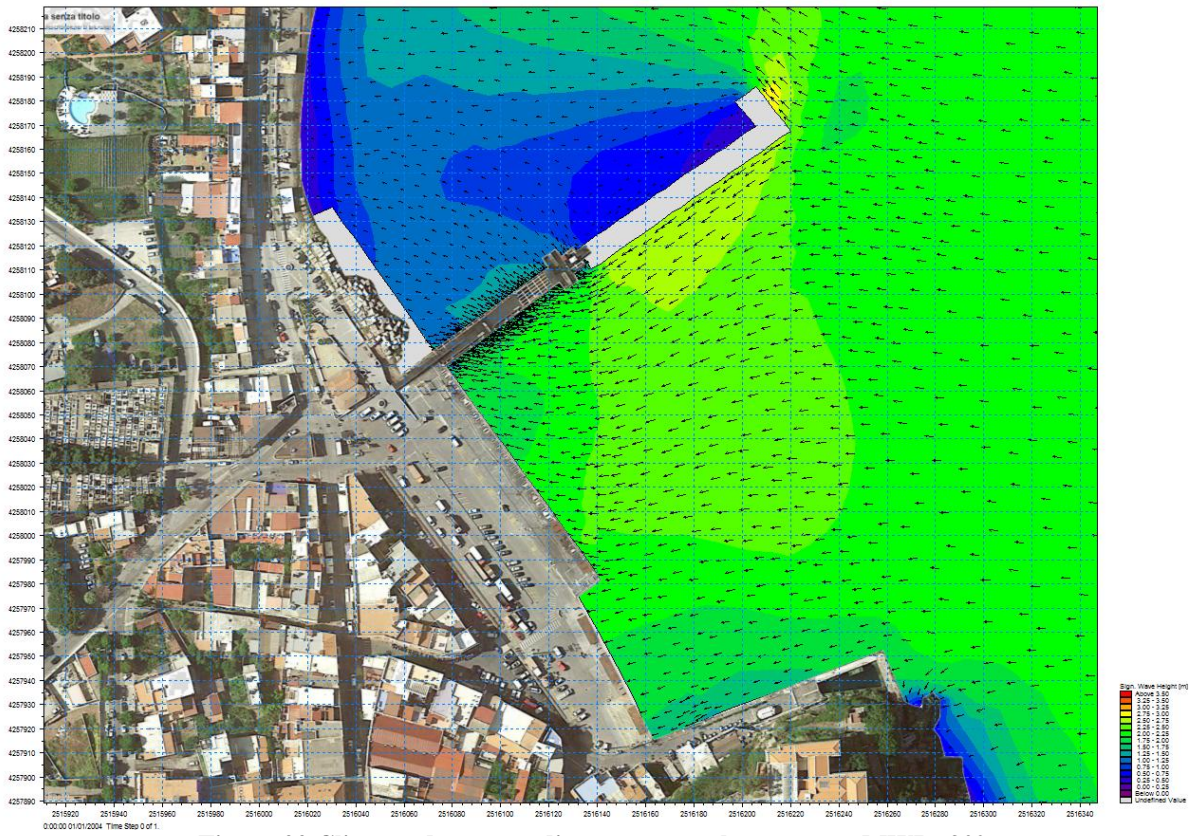
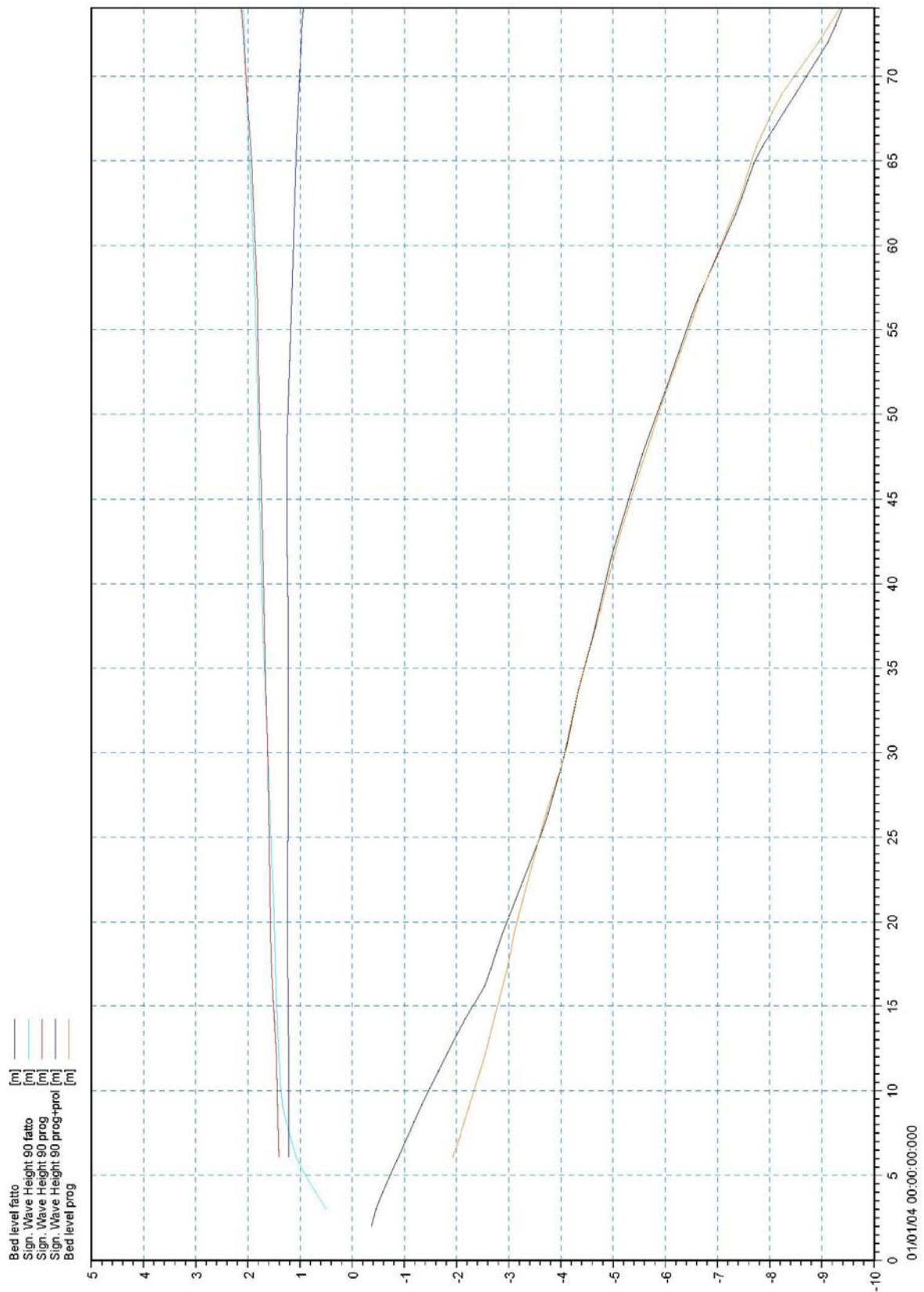


Figura 22 Clima ondoso stato di progetto+prolungamento MWD=90°

5.4 PROFILO D'ONDA ORTOGONALE ALLA BANCHINA MWD 90°



6. SINTESI ESPLICATIVA DEI MODELLI DI CALCOLO



MIKE 21

Modello bidimensionale
per fiumi, laghi, aree
costiere ed offshore



1. PREMESSA	1
2. MODULO IDRODINAMICO (HD FM)	5
3. MODULO AVVEZIONE/DISPERSIONE (TR)	9
4. MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI NON COESIVI (ST)	12
5. MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)	14
6. MODULO D'ONDA (SW)	18
7. MODULO DI BOUSSINESQ (BW)	22

1. PREMESSA

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

Il sistema modellistico è stato sviluppato per applicazioni complesse in aree costiere, mare aperto e in corrispondenza di estuari. Tuttavia, essendo un codice di calcolo per la simulazione delle correnti a pelo libero, può essere anche applicato per la simulazione di fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi. I principali campi di applicazione sono:

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

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



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

- **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;
- **CURVILINEAR** (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:

- MIKE 11, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;
- MIKE URBAN CS per la simulazione di allagamenti in ambito urbano dalla rete di drenaggio.

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

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

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



Breve descrizione dei moduli MIKE 21	
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 21.
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 e può essere utilizzato per la rappresentazione di ogni corrente a pelo libero non stratificata.
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 lineare 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.
CAMS (Coastal Morphology)	E' uno strumento disponibile solo per la versione Single Grid, combina in modo dinamico i moduli d'onda, idrodinamico e di trasporto solido, di MIKE 21, costituendo un modello morfologico, a fondo mobile, particolarmente utile per le analisi di dettaglio in aree costiere. Nella versione FM di MIKE 21 il modulo morfologico è invece attivabile direttamente dai moduli HD, SW, ST.
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.
SW (Spectral Waves)	Modulo di propagazione spettrale di onde sea ed onde swell in aree offshore e costiere. Permette di simulare rifrazione, diffrazione, shoaling, attrito con il fondo, frangimento, riflessione semplice utilizzando un approccio con maglia FM. E' il modulo d'onda oggi più utilizzato per applicazioni costiere e offshore.
NSW (Near Shore Spectral Wind-Wave Model)	Modulo di propagazione del moto ondoso in aree costiere e offshore. Include rifrazione, shoaling, attrito con il fondo e frangimento utilizzando un approccio alle differenze finite.
PMS (Parabolic Mild Slope Wave Model)	Modulo di propagazione spettrale in aree costiere. Include rifrazione, shoaling, attrito con il fondo, diffrazione e frangimento utilizzando un approccio alle differenze finite. Viene utilizzato in particolare per lo studio del moto ondoso in presenza di opere di difesa sia emergenti che soffolte.



BW (Boussinesq Wave Model)	E' il modulo d'onda più completo, in grado di simulare anche gli effetti di riflessione in ogni direzione e di diverso ordine; per questo viene utilizzato principalmente per le analisi di agitazione ondosa all'interno di bacini portuali. Include anche i fenomeni idrodinamici; utilizza griglie rettangolari.
EMS (Elliptic Mild Slope Wave Model)	Modulo semplificato per lo studio dell'agitazione interna a bacini portuali in risposta ad onde monocromatiche.
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 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

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

Il modulo idrodinamico, utilizzato assieme al modulo di trasporto TR, è utile per simulare la dispersione di sostanze disciolte o in sospensione. Analogamente 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 è costituito dalle equazioni di continuità, quantità di moto, temperatura, salinità e densità. La densità non dipende dalla pressione ma solo dalla temperatura e dalla 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:

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

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:

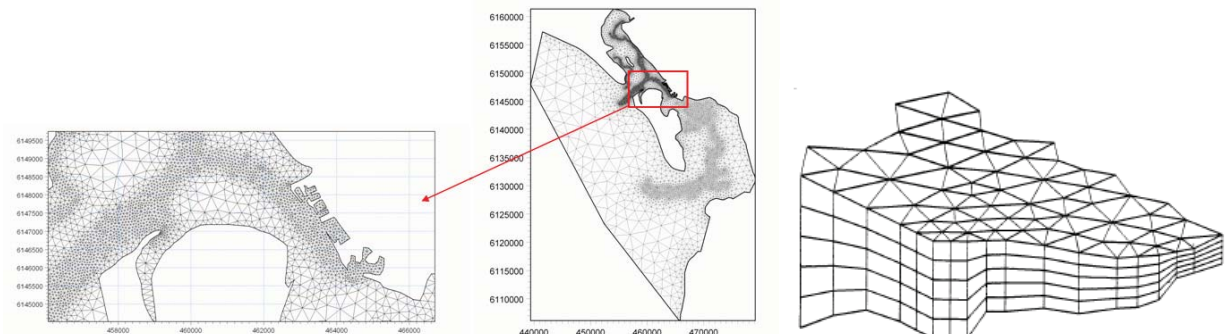
$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s)$$

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

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

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.

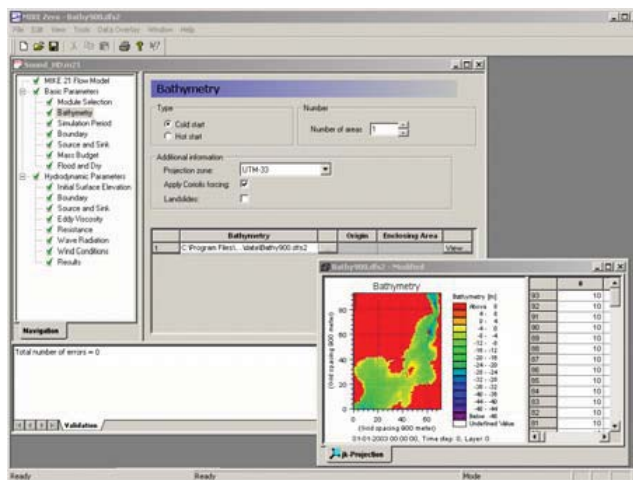


Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Nel modello 2D gli elementi possono essere triangolari o quadrilateri.

INPUT AL MODELLO

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

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

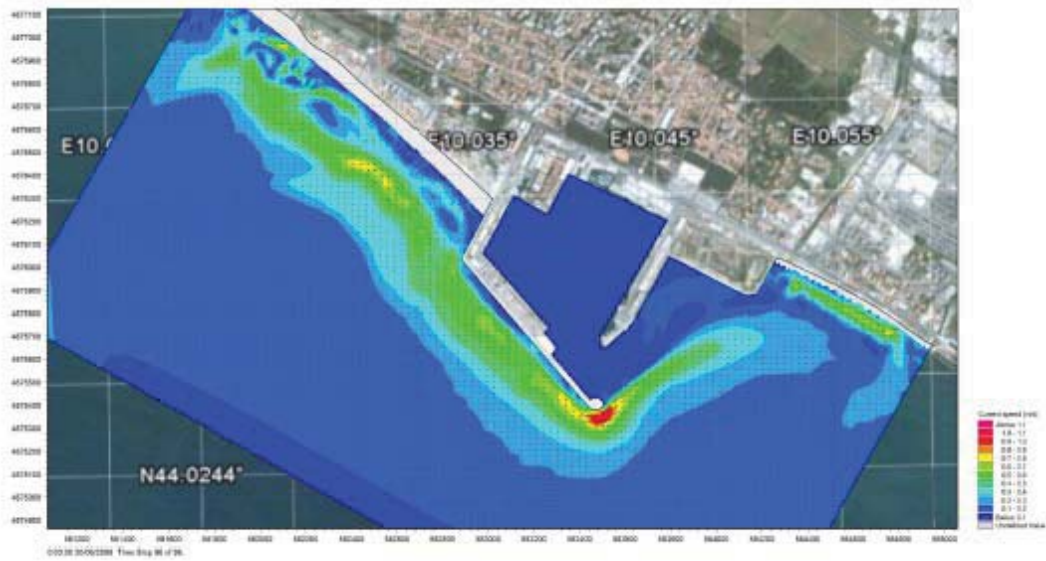


OUTPUT DEL MODELLO

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

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale, permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio per ognuno degli elementi della griglia (classica o flessibile), sono rappresentati 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 AVVEZIONE/DISPERSIONE (TR)

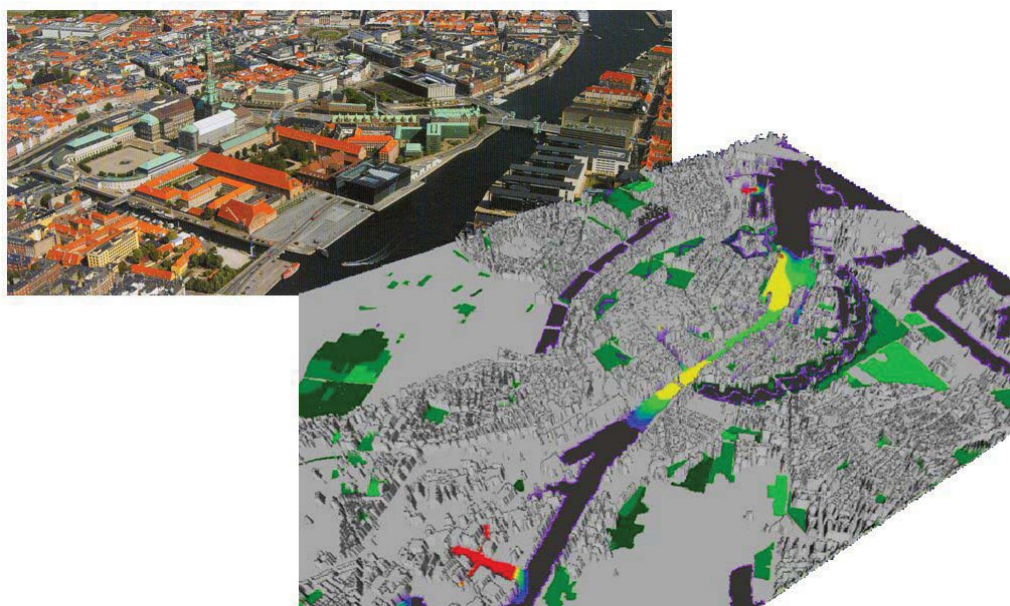
Il Modulo TR di MIKE 21 simula il comportamento di sostanze in sospensione o disciolte in acqua per effetto del flusso idrodinamico (avvezione) e dei processi di dispersione. Le sostanze possono essere conservative o non-conservative, organiche o inorganiche. Le sostanze non-conservative sono simulate attraverso fenomeni di decadimento lineare.

La base idrodinamica per TR è costituita dal modulo idrodinamico HD, il quale può essere applicato sia per il flusso barotropico (densità costante) sia baroclinico. In quest'ultimo caso l'effetto della densità variabile è incluso risolvendo le equazioni di trasporto per salinità e temperatura.

Il modulo di avvezione/dispersione può essere applicato per una ampia gamma di fenomeni idraulici. Le aree di applicazione sono generalmente legate all'idrodinamica e al trasporto di sostanze disciolte, simulazioni di traccianti, studi di ricircolo e semplici studi di qualità delle acque.

Un'importante applicazione del modulo TR, a supporto della progettazione di strutture portuali, è rappresentata sicuramente dagli studi della circolazione interna dei bacini portuali, finalizzata a stimare i tempi necessari al ricambio completo e parziale delle acque interne al bacino stesso.

Il modulo TR è strettamente correlato a ECOLab, il codice di calcolo del DHI per la modellazione dei processi ecologici ed ambientali, il quale permette di simulare reazioni chimiche complesse e decadimento non lineare delle sostanze.



EQUAZIONI DEL MODELLO

Il sistema modellistico del modulo TR, legato dinamicamente al modulo idrodinamico HD, è basato sulla soluzione numerica delle equazioni di Navier-Stokes valide per fluidi incomprimibili e soggette all'assunzione di Boussinesq e alla pressione idrostatica. L'equazione di continuità utilizzata per il calcolo del trasporto di una grandezza scalare è riportata di seguito:

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

Il termine di diffusività orizzontale è dato da:

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

Per le simulazioni 2D, l'equazione di continuità è mediata sulla profondità ed è definita in maniera seguente:

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

Symbol list

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

TECNICHE DI SOLUZIONE

La soluzione delle equazioni del trasporto è strettamente legata alla soluzione delle condizioni idrodinamiche. La discretizzazione spaziale è effettuata utilizzando metodo ai volumi finiti con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio spaziale è discretizzato tramite la suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte.

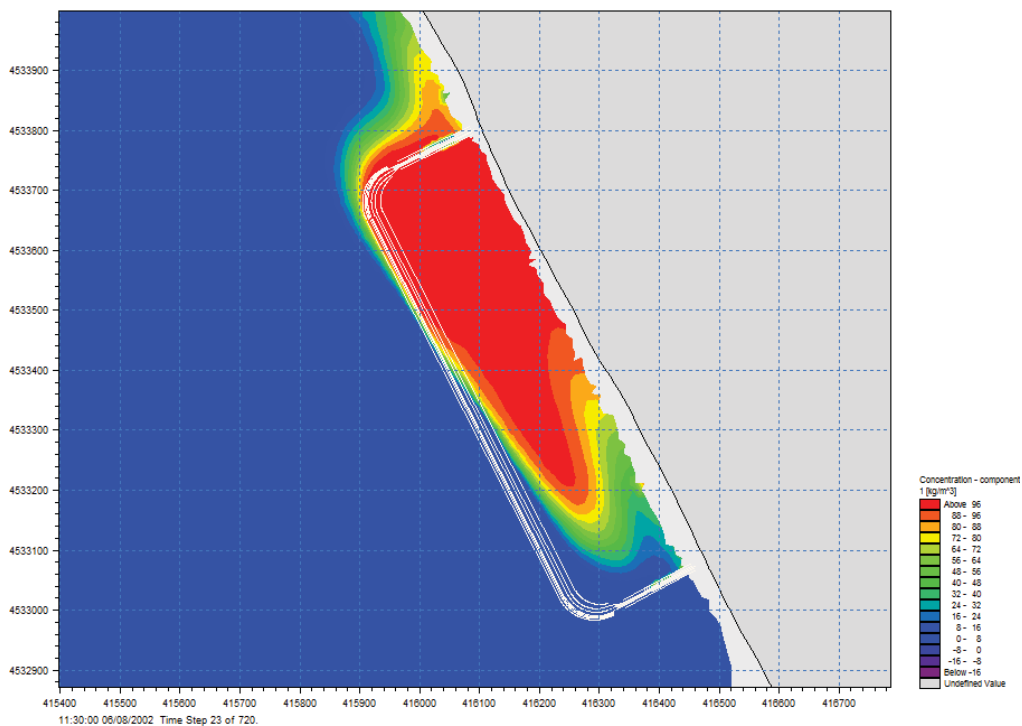
Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Nel modello 2D gli elementi possono essere triangolari o quadrilateri. L'integrazione temporale è effettuata utilizzando uno schema esplicito.

INPUT AL MODELLO

I dati di input al modello sono relativi ai componenti da simulare, in particolare bisogna specificare: il tipo di componente, la formulazione scelta per il calcolo dei coefficienti di dispersione, la legge di decadimento, le condizioni iniziali e le condizioni al contorno (in termini di concentrazione del componente).

OUTPUT DEL MODELLO

Gli output forniscono informazioni, per ciascun elemento e per ciascuno step della simulazione, sulla concentrazione dei componenti simulati.



4. MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI NON COESIVI (ST)

ST (Sand Transport) è il modulo di MIKE 21 per il calcolo della capacità di trasporto di sedimenti non coesivi, per effetto dell'azione combinata onde-correnti o solo delle correnti. MIKE 21 ST include svariate formulazioni di trasporto e può essere utilizzato indistintamente in campo marittimo-costiero o fluviale. In ambito fluviale MIKE 21 ST può essere sostituito dal MIKE 21 C che, utilizzando una griglia di calcolo curvilinea, rappresenta lo stato dell'arte tra i codici di calcolo per la morfologia fluviale.

Il modulo ST 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 ST in maniera accoppiata.

Il modulo ST può essere applicato per la quantificazione della capacità di trasporto laddove il moto ondoso e/o le correnti causano trasporto di sedimenti non coesivi. ST può essere utilizzato per applicazioni a larga scala oppure a scala locale, laddove si desidera studiare l'impatto di strutture costiere sulla dinamica litoranea con risoluzioni dell'ordine del metro. Aree di applicazione tipiche sono: gestione e protezione dei litorali; ottimizzazione di layout portuali; studi di insabbiamento dei bacini portuali, morfologia costiera etc.



TECNICHE DI SOLUZIONE

Il modulo ST di MIKE 21 presenta due diverse implementazioni numeriche a seconda che sia utilizzato in modalità solo correnti o modalità combinata onde-correnti.

Modalità combinata onde-corrente - approccio quasi 3D

Nel caso di effetto combinato di moto ondoso e correnti, i valori del trasporto solido sono calcolati attraverso la generazione di una tabella (Sediment Table) creata precedentemente alla simulazione. La generazione della tabella basa su un approccio quasi-3D (metodo STP), tenendo conto delle condizioni locali di moto ondoso, del profilo di corrente e delle caratteristiche sedimentologiche. Nel modello possono essere inclusi alcuni effetti secondari che possono avere una influenza sul trasporto solido, quali: la formazione di ripples, la pendenza del fondale, l'undertow, l'asimmetria del moto ondoso, lo streaming.

Il trasporto solido è un fenomeno tipicamente tridimensionale, per questo motivo è utilizzato un approccio quasi-3D, ovvero pur utilizzando un modello bidimensionale si tiene conto di alcuni effetti a tre dimensioni parametrizzandoli. In particolare il modello tiene conto:

- della caratterizzazione del profilo di corrente lungo la verticale: Il valore di velocità di corrente mediato, preso in input da ST, viene ridistribuito lungo la verticale in modo tale da effettuare correttamente il calcolo del trasporto tenendo conto del reale profilo verticale di corrente;
- della discretizzazione dell'onda infra-periodo: L'intero periodo dell'onda viene suddiviso in diversi step, per ciascuno dei quali viene effettuato il calcolo del trasporto.

Modalità solo corrente

Il modulo ST nella modalità "pure currents" offre la possibilità di includere nello sviluppo morfologico effetti trasporto che non si esauriscono ad ogni step del passo di integrazione (lag); Gli effetti di lag sul carico di sedimenti sospesi sono determinati risolvendo una equazione di avvezione dispersione.

INPUT AL MODELLO

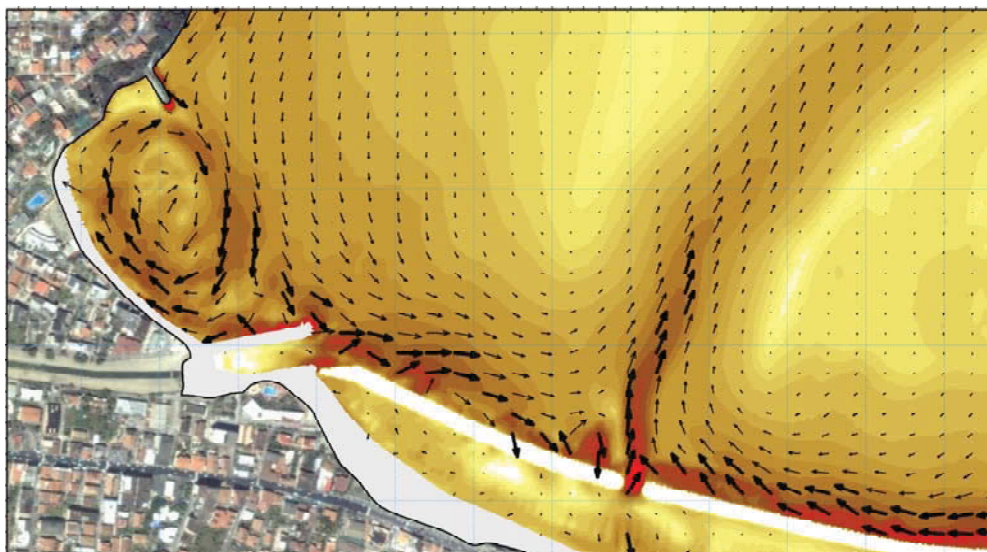
I dati di input da inserire nel modello possono essere raggruppati in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (mesh di calcolo, time step, durata simulazione);
- dati idrodinamici (livelli e campi di corrente calcolati con HD);
- dati di moto ondoso (campi di altezza d'onda significativa, periodo di picco e direzione media di propagazione calcolati con SW);
- dati sedimentologici (D50 e grading);
- parametri morfologici (frequenza di upgrade della batimetria).

Altro input da dare al modello è la Sediment Table, un database che include i valori calcolati di capacità di trasporto in una serie di casi possibili ottenuti facendo variare: altezza d'acqua, altezza dell'onda, velocità della corrente, granulometria del materiale di fondo ecc., nel range di variazione di tali grandezze osservato in sito. Nel corso dell'applicazione di MIKE 21 ST per ogni punto di calcolo, a seconda del valore locale delle grandezze di interesse, il dato di trasporto solido viene ottenuto interpolando i valori contenuti nelle tabelle costruite con il modulo STP. La sediment Table deve essere generata utilizzando il programma del MIKE 21toolbox "Generation of Q3D Sediment Tables".

OUTPUT DEL MODELLO

In output vengono rappresentati il campo vettoriale del trasporto solido calcolato (direzione ed entità del trasporto) i tassi di sedimentazione/erosione del fondo e, nel caso di simulazione a fondo mobile, le variazioni effettive della batimetria.



5. MODULO TRASPORTO SOLIDO – SEDIMENTI COESIVI (MT)

MT (Mud Transport) è il modulo di MIKE 21/3 che descrive l'erosione, il trasporto e la deposizione di limi e misture sabbie/limi sotto l'azione di correnti e di onde.

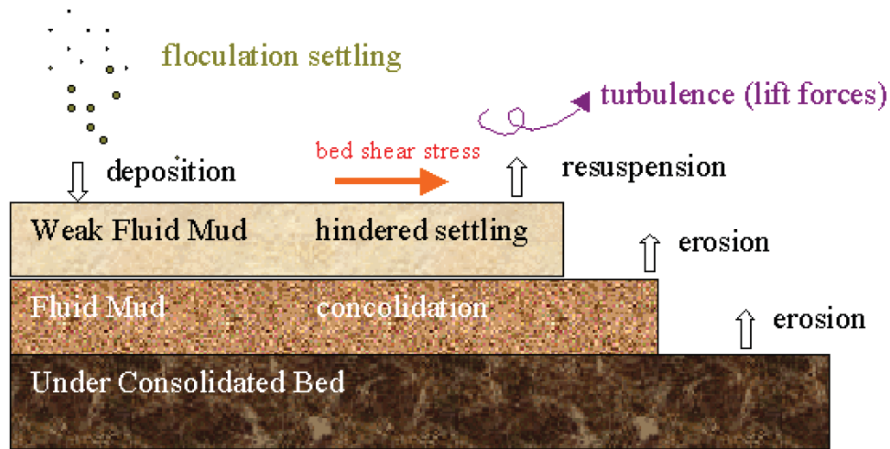
Il modulo MT calcola il trasporto solido sulla base delle simulazioni idrodinamiche effettuate con il modulo HD ed eventualmente delle simulazioni di moto ondoso effettuate con SW. Per effettuare simulazioni a fondo mobile è possibile includere il feedback degli effetti dell'idrodinamica sulla batimetria 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 21/3 – 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; consolidazione;



EQUAZIONI DEL MODELLO

Le equazioni alla base 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 certo valore ($c < c_{floc}$). Al di sotto di un certo 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 diversi sono utilizzati "bed layers" è possibile applicare un tasso di transizione (T_i) che consente ai sedimenti degli strati superiori di essere spostati agli strati inferiori.

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

La dinamica dei sedimenti coesivi è tale da richiedere sempre un grande lavoro di calibrazione. Il modello richiede in input i seguenti parametri:

- velocità di sedimentazione;
- "shear stress" critico per l'erosione e la deposizione;
- coefficienti di erosione;
- potenza dell'erosione;
- concentrazioni dei sedimenti ai contorni;
- 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..

6. MODULO D'ONDA (SW)

MIKE 21 SW rappresenta lo stato dell'arte tra i modelli numerici spettrali di nuova generazione per vento ed onde sviluppato da DHI. Il codice di calcolo simula la crescita, la trasformazione e la dissipazione di onde corte e onde lunghe in aree costiere.

MIKE 21 SW comprende due differenti formulazioni:

- fully spectral formulation
- directional decoupled parametric formulation

La prima è basata sulla "wave action conservation equation" sviluppata da Komen et al. (1994) e Young (1999). La seconda, è basata su una parametrizzazione della "wave action conservation equation" introdotta nel dominio delle frequenze. Le equazioni di base sono formulate sia nelle coordinate cartesiane, per domini di calcolo a scala limitata, sia nelle coordinate polari per applicazioni a larga scala. La discretizzazione spaziale delle equazioni di base è effettuata utilizzando l'approccio ai volumi finiti, attraverso l'utilizzo di una mesh di calcolo non strutturata.

Il modello, nella formulazione "fully spectral", include i seguenti fenomeni fisici:

- crescita dell'onda per effetto del vento;
- interazione non lineare tra onde;
- dissipazione dovuta al white capping;
- dissipazione dovuta all'attrito col fondo;
- frangimento dell'onda su profondità limitate;
- rifrazione e shoaling dovuti alle variazioni batimetriche;
- effetto delle variazioni del fondale;
- diffrazione;
- riflessione semplice;

MIKE 21 SW è utilizzato per la valutazione del clima ondoso off-shore ed in aree costiere, per scopi previsionali e analisi storiche. Una tipica applicazione di SW è il supporto alla progettazione di un'opera costiera o portuale, partendo dalla disponibilità di dati meteo marini off-shore (boe ondometriche o modelli a larga scala) individuando il clima ondoso ordinario sotto costa o le condizioni estreme di progetto.



MIKE 21 SW è inoltre utilizzato, sempre a supporto della progettazione di un'opera costiera, come strumento di base del calcolo sia delle correnti sia del trasporto solido litoraneo indotti dall'azione del moto ondoso. I campi di corrente e di trasporto sono infatti determinati, a partire dai campi di radiation stresses forniti in output da MIKE 21 SW, mediante l'utilizzo di altri moduli aggiuntivi del pacchetto MIKE21.

EQUAZIONI DEL MODELLO

Fully spectral formulation

L'equazione alla base di MIKE 21 SW è la "wave action balance equation", sviluppata in coordinate cartesiane e sferiche. Tale equazione, in coordinate cartesiane, è indicata di seguito:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

dove $N(\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ è la "density action", t è il tempo, $\bar{x} = (x, y)$ rappresenta le coordinate cartesiane, $\bar{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ è la velocità di propagazione di gruppo delle onde in quattro dimensioni (x, y, θ, σ) . S è il termine di generazione di energia. Le celerità dell'onda sono date dalle equazioni della cinematica lineare:

$$(c_x, c_y) = \frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{c}_g + \bar{U} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} + \bar{U}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left(\frac{\partial d}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla_{\bar{x}} d \right) - c_g \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left(\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right)$$

dove s ed m sono le coordinate spaziali rispettivamente parallele e perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda θ , d è la profondità, \bar{k} è il vettore del numero di onde di magnitudo k , \bar{U} è il vettore di velocità di corrente.

Il termine di generazione, S , a secondo membro della " wave action balance equation" è dato da:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$$

Dove S_{in} rappresenta il trasferimento di quantità di moto dovuta al vento, S_{nl} il contributo dovuto all'interazione non lineare tra onde, S_{ds} la dissipazione dovuta al white capping, S_{bot} la dissipazione dovuta all'attrito col fondo e S_{surf} la dissipazione dovuta al frangimento.

Il contributo del vento è basato sulla quasi-linear theory of wind-wave generation (*Janssen's 1989, 1991*), dove la quantità di moto trasferita dal vento alla superficie libera non dipende solo dalle tensioni del vento ma anche dallo stato di mare stesso. Il contributo legato all'interazione non lineare tra onde è approssimato mediante l'approccio DIA (*Hasselmann et al. 1985*). Il termine di generazione relativo alla dissipazione da white capping è basato sulla teoria di *Hasselmann (1974)* e *Janssen (1989)*. La dissipazione dovuta all'attrito col fondo è modellata usando l'approccio di *Johnson e Kofoed-Hansen (2000)*, che dipende dal moto ondoso e dalle caratteristiche dei sedimenti. Il frangimento è basato sull'approccio di *Battjes e Janssen (1978)* e *Eldeberky e Battjes (1996)*.

Directional decupled parametric formulation

Questa formulazione del modello è basata su una parametrizzazione della " wave action balance equation" (*Holthuijsen 1989*) nel dominio delle frequenze introducendo come variabile dipendente il momento di ordine zero e di ordine uno. Le equazioni quindi diventano le seguenti:

$$\frac{\partial(m_0)}{\partial t} + \frac{\partial(c_x m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\theta m_0)}{\partial \theta} = T_0$$

$$\frac{\partial(m_1)}{\partial t} + \frac{\partial(c_x m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1$$

dove $m_0(x, y, \theta)$ e $m_1(x, y, \theta)$ sono rispettivamente i momenti di ordine zero e ordine uno della "action spectrum" $N(x, y, \sigma, \theta)$. $T_0(x, y, \theta)$ e $T_1(x, y, \theta)$ sono i termini di generazione basati sulla action spectrum. I momenti $m_n(x, y, \theta)$ sono definiti dall'equazione:

$$m_n(x, y, \theta) = \int_0^{\infty} \omega^n N(x, y, \omega, \theta) d\omega$$

I termini di generazione T_0 e T_1 tengono conto dell'effetto del vento (solo per la modalità stazionaria) attraverso una relazione empirica (*Johnson 1998*) della dissipazione di energia dovuta all'attrito col fondo e al frangimento, e dell'effetto di interazione onde-correnti.

TECNICHE DI SOLUZIONE

La discretizzazione spaziale e spettrale è effettuata utilizzando un metodo ai volumi finiti con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato attraverso una maglia non strutturata costituita da triangoli. Il dominio delle frequenze può essere discretizzato sia in maniera lineare che logaritmica.



La discretizzazione nel dominio temporale è fatta mediante time-steps, la propagazione della "wave action" è fatta attraverso un metodo esplicito in multi frequenza.

INPUT AL MODELLO

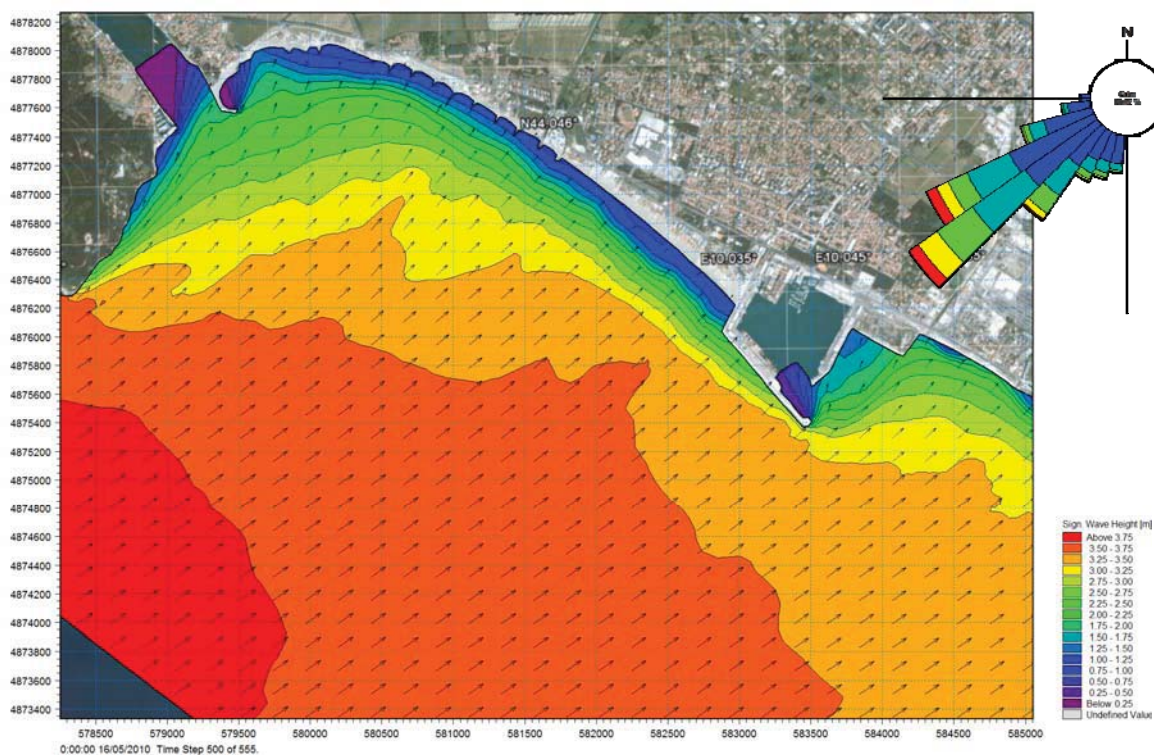
I dati di input da inserire nel modello possono essere raggruppati in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (Mesh di calcolo, Time step, durata simulazione);
- equazioni, discretizzazione e tecniche di soluzione (tipo di formulazione, discretizzazione delle frequenze e delle direzioni);
- forzanti (livelli, vento, correnti);
- parametri di dissipazione (frangimento, white-capping, attrito al fondo);
- condizioni iniziali (stato di mare iniziale);
- condizioni al contorno (tipo di onde in input o boundary chiusa).

OUTPUT DEL MODELLO

I risultati ottenuti, per ognuno degli elementi della mesh e per ciascun time step, si dividono essenzialmente in tre categorie.

- parametri caratteristici dell'onda: altezza d'onda significativa H_{m0} , periodo di picco T_p , Periodo medio T_{01} , periodo di zero up crossing T_{02} , Periodo dell'energia T_{-10} , Direzione di picco PWD , Direzione media MWD , Deviazione standard direzionale σ , Tensore dei radiation stress S_{xx} S_{xy} S_{yy} . Se il modello è utilizzato in modalità fully spectral, ciascuna delle variabili sopra riportate possono essere suddivise in onde swell e wind sea. La divisione può essere fatta mediante una soglia fissa o dinamica;
- parametri di input: livelli, velocità di corrente, velocità e direzione del vento;
- output spettrali: spettro frequenza-direzione, spettro direzionale, spettro di frequenza.



7. MODULO DI BOUSSINESQ (BW)

Il modulo Boussinesq Wave (BW) del codice di calcolo MIKE 21 è attualmente uno dei più completi strumenti per la modellazione matematica di onde corte e lunghe in ambito costiero ed in aree portuali. Il modello è in grado di riprodurre l'effetto combinato della maggior parte dei fenomeni che intervengono nella propagazione del moto ondoso in aree costiere e nei porti. Questi includono: shoaling, rifrazione, diffrazione, attrito del fondo, frangimento, riflessione parziale e trasmissione di spettri d'onda (direzione e frequenza) che si propagano in batimetrie complesse.

MIKE 21 BW include la possibilità di considerare la porosità delle strutture per la simulazione della riflessione parziale e la trasmissione attraverso pali o frangiflutti. Inoltre è possibile applicare dei contorni assorbenti laddove sia necessario simulare l'assorbimento dell'energia

dell'onda (ad esempio una spiaggia). L'immissione delle onde all'interno del dominio di calcolo può avvenire attraverso i contorni aperti o direttamente da linee di generazione interne.

MIKE 21 BW include sia la modalità bidimensionale sia quella monodimensionale, ed è basato sulla soluzione numerica nel dominio del tempo delle equazioni di Boussinesq attraverso uno schema implicito alle differenze finite. Le equazioni includono i termini non lineari e la dispersione in frequenza che è introdotta nelle equazioni del moto considerando gli effetti delle accelerazioni verticali sulla distribuzione di pressione. Le equazioni di Boussinesq sono risolte in riferimento ad una formulazione basata sul flusso con un miglioramento nella descrizione della dispersione lineare. Queste equazioni di Boussinesq "estese" rendono il modello adatto alla simulazione di onde direzionali che viaggiano da acque profonde a basse. La profondità massima rappresentabile con le equazioni di Boussinesq estese è pari a circa mezza lunghezza d'onda, mentre con le equazioni classiche tale rapporto si riduce a 0.22.

Il principale campo di applicazione di MIKE 21 BW è l'analisi delle dinamiche del moto ondoso nei porti e nelle aree costiere in genere. L'output principale fornito da MIKE 21 BW è il campo di agitazione residua (wave disturbance), che è la variabile di riferimento più importante per la progettazione di un porto in fase di definizione del layout ottimale.



Tipiche applicazioni sono:

- determinazione del campo di agitazione residua all'interno del porto causata da onde corte e/o swell;
- studi di risonanza (seiching) per l'effetto di onde a bassa frequenza;
- trasformazione del clima ondoso in aree costiere laddove i fenomeni di riflessione e diffrazione sono dominanti;
- modellazione della surf-zone per il calcolo del run-up e della circolazione indotta;
- modellazione della propagazione e trasformazione di transitori, quali onde generate da imbarcazioni e tsunamis.

EQUAZIONI DEL MODELLO

Il modulo BW risolve le equazioni di Boussinesq estese in una o due dimensioni in termini di superficie libera ξ e le velocità di corrente mediate lungo la verticale, P e Q.

$$n \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0$$

$$n \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + n^2 P \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gP\sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n\psi_1 = 0$$

$$n \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{h} \right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial y} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} + n^2 gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + n^2 Q \left[\alpha + \beta \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{h} \right] + \frac{gQ\sqrt{P^2 + Q^2}}{h^2 C^2} + n\psi_2 = 0$$

Dove i termini di dispersione ψ_1 e ψ_2 sono definiti in questo modo:

$$\psi_1 = - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 (P_{xxt} + Q_{xyt}) - nBgd^3 (\xi_{xxx} + \xi_{xyy}) - dd_x \left(\frac{1}{3} P_{xt} + \frac{1}{6} Q_{yt} + nBgd(2\xi_{xx} + \xi_{yy}) \right) - dd_y \left(\frac{1}{6} Q_{xt} + nBgd\xi_{xy} \right)$$

$$\psi_2 = - \left(B + \frac{1}{3} \right) d^2 (Q_{yyt} + P_{xyt}) - nBgd^3 (\xi_{yyy} + \xi_{xxy}) - dd_y \left(\frac{1}{3} Q_{yt} + \frac{1}{6} P_{xt} + nBgd(2\xi_{yy} + \xi_{xx}) \right) - dd_x \left(\frac{1}{6} P_{yt} + nBgd\xi_{xy} \right)$$

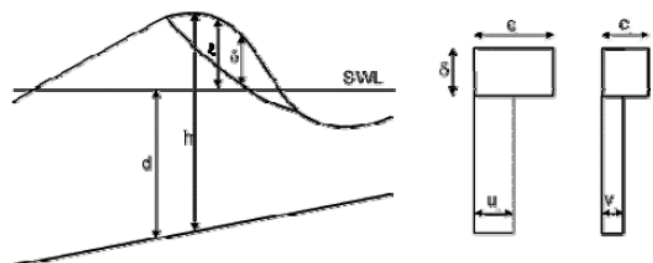
Gli indici x,y e t denotano rispettivamente i differenziali spaziali rispetto allo spazio e al tempo.

Symbol list

P	flux density in the x-direction ($m^3/m/s$)
Q	flux density in the y-direction ($m^3/m/s$)
B	Boussinesq dispersion coefficient (-)
x, y	Cartesian co-ordinates (m)
t	time (s)
h	total water depth ($=d+\xi$)
d	still water depth (m)
g	gravitational acceleration ($= 9.81 m/s^2$)
n	porosity (-)
C	Chezy resistance number ($m^{0.5}/s$)
α	resistance coefficient for laminar flow in porous media (-)
β	resistance coefficient for turbulent flow in porous media (-)
ξ	water surface elevation above datum (m)

L'inclusione del frangimento è basata sul concetto di "surface rollers", dove i termini R_{xx} , R_{xy} e R_{yy} sono definiti nel modo seguente:

$$R_{xx} = \frac{\delta}{1 - \delta/h} \left(c_x - \frac{P}{h} \right)^2$$



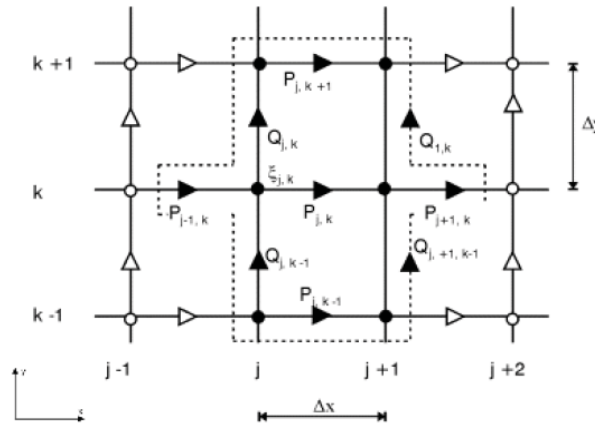
$$R_{xy} = \frac{\delta}{1 - \delta/h} \left(c_x - \frac{P}{h} \right) \left(c_y - \frac{Q}{h} \right)$$

$$R_{yy} = \frac{\delta}{1 - \delta/h} \left(c_y - \frac{Q}{h} \right)^2$$

Dove $\delta = \delta(t, x, y)$ è lo spessore del "surface roller" e c_x e c_y sono le componenti della celerità del roller.

TECNICHE DI SOLUZIONE

Le equazioni differenziali sono discretizzate su una griglia rettangolare sfalsata illustrata nell'immagine seguente. Le grandezze scalari (ad es. la superficie libera) sono definite ai nodi, mentre le componenti del flusso sono definite a metà strada tra nodi adiacenti nelle rispettive direzioni.



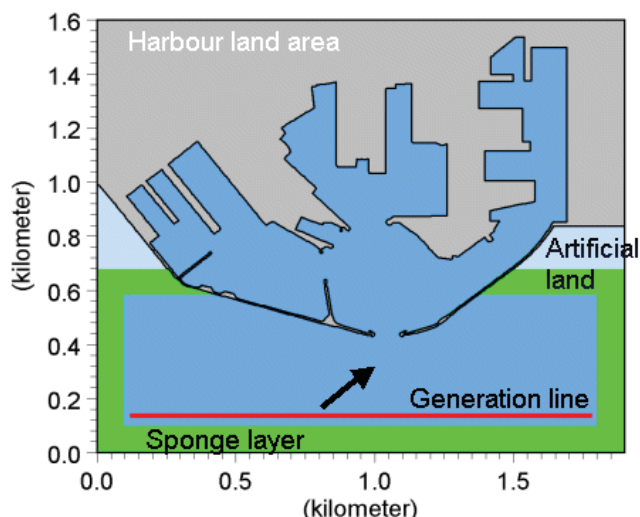
L'approssimazione alle differenze finite è effettuata direttamente a centro-cella, eccetto per i termini convettivi (Madsen and Sørensen 1992 e Madsen et al. 1997a). L'integrazione temporale è fatta utilizzando uno schema implicito non iterativo.

INPUT AL MODELLO

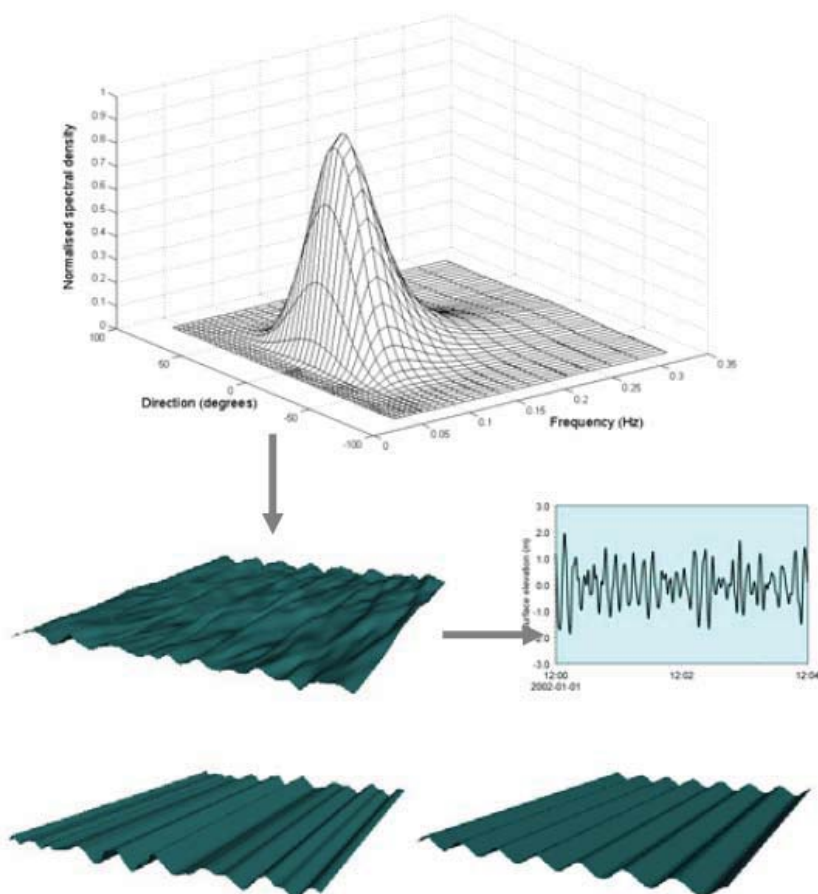
I dati di input da inserire nel modello possono essere raggruppati in differenti categorie, ovvero:

- Parametri base (Batimetria, Tipo di modello e equazioni, parametri numerici, tipo di boundaries, time step e durata della simulazione);
- Dati di calibrazione (condizioni iniziali, condizioni al contorno, linee di generazione interne, frangimento, moving shoreline, attrito al fondo, riflessione e trasmissione, strati assorbenti);

Le attività più onerose in fase di set-up del modello consistono nella generazione della batimetria, delle mappe di porosità e sponge. Tali operazioni vengono effettuate rispettivamente mediante il Bathimetry Editor, incluso nel modulo PP (pre- and post-processing) e uno specifico tool di MIKE 21 toolbox.



Le onde incidenti, in termini di variazione di superficie libera e flusso in ingresso, possono essere introdotte in due modi: attraverso le boundary conditions oppure mediante l'introduzione di linee di generazione interne. Le onde, monodirezionali regolari e irregolari, possono essere generate mediante uno specifico tool incluso in MIKE21 toolbox.



OUTPUT DEL MODELLO

Diversi tipi output possono ottenuti dal modello. Possono essere parametri deterministici (Superficie libera, livelli, flussi e parametri relativi al frangimento); Phase-averaged (Altezza d'onda significativa e massima, livello di superficie libera minima massima e media, velocità mediate sulla verticale, etc.); Parametri di disturbo (Altezza d'onda significativa, Coefficiente di disturbo, Tempo di arrivo della prima onda).

