

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO ALTERNATIVE AI SITI DI DEPOSITO

(Richieste CTVA del 22/12/2011 Prot. CTVA/2011/4534 e del 16/03/2012 Prot. CTVA/2012/1012)

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A.  
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A.  
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L.  
SACYR S.A.U.  
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD  
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE

#### IL PROGETTISTA

 SIGMA INGEGNERIA s.r.l.  
Via della Libertà 201/A  
90143 PALERMO  
Tel. 091.8254162 - Fax 091.307899  
e-mail: sgmangr@tiscali.com  
Ing. Fco. Giordano Direttore Tecnico

(Dott. Ing. F. Giordano)



Ing. E. Pagani  
Ordine Ing. Milano n°15408

IL CONTRAENTE GENERALE  
PROJECT MANAGER  
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA  
Direttore Generale  
Ing. G. Fiammenghi

STRETTO DI MESSINA  
Amministratore Delegato  
Dott. P. Ciucci

Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art.21 del D.Lgs. 82/2005"

CZV0929\_F0

Unità Funzionale COLLEGAMENTI VERSANTE SICILIA  
Tipo di sistema CANTIERI  
Raggruppamento di opere/attività RIPASCIMENTO  
Opera - tratto d'opera - parte d'opera ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE  
Titolo del documento STUDIO IDROLOGICO – IDRAULICO DELL'ITERAZIONE CORSI D'ACQUA OPERE

CODICE

C G 0 0 0 0 P S D V S C Z C 3 G O 0 0 0 0 0 0 0 8 F 0

| REV | DATA       | DESCRIZIONE      | REDATTO      | VERIFICATO | APPROVATO   |
|-----|------------|------------------|--------------|------------|-------------|
| F0  | 31/05/2012 | EMISSIONE FINALE | DICA CATANIA | E. FOTI    | F. GIORDANO |
|     |            |                  |              |            |             |



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE (DICA)

CONVENZIONE TRA LA SOCIETÀ' EUROLINK S.C.p.A. E IL  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DELL'UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI CATANIA



*Studi propedeutici relativi alla possibilità di impiego dei materiali di scavo per il ripascimento delle coste e analisi rischio idraulico dei bacini interessati dalle opere previste nel Progetto Definitivo del Collegamento Stabile dello Stretto di Messina sul versante Sicilia*

*Studio idrologico - idraulico dell'iterazione corsi d'acqua - opere*

Il Responsabile Scientifico  
(Prof. Ing. Enrico FOTI)

Il Direttore del DICA  
(Prof. Ing. Enrico FOTI)

Catania, Maggio 2012

## Indice

|     |                                                     |    |
|-----|-----------------------------------------------------|----|
| 1   | Introduzione .....                                  | 2  |
| 2   | Fonti di informazione .....                         | 6  |
| 3   | Analisi delle variazioni del livello del mare ..... | 7  |
| 3.1 | Effetto della marea astronomica.....                | 7  |
| 4   | Modelli di calcolo .....                            | 10 |
| 4.1 | Generalità .....                                    | 10 |
| 4.2 | Caratteristiche essenziali del modello RMA2.....    | 10 |
| 4.3 | Caratteristiche del modello RMA4 .....              | 12 |
| 4.4 | Discretizzazione del dominio.....                   | 12 |
| 4.5 | Condizioni al contorno .....                        | 13 |
| 5   | Analisi dei risultati .....                         | 15 |
| 5.1 | Generalità .....                                    | 15 |
| 5.2 | Risultati del modello .....                         | 15 |
| 6   | Sintesi dei risultati e conclusioni.....            | 17 |
|     | Bibliografia .....                                  | 18 |
|     | Elenco delle Figure.....                            | 19 |
|     | Appendice A.....                                    | 20 |

# 1 Introduzione

Durante la fase approvativa del Progetto Definitivo del Collegamento Stabile dello Stretto di Messina sul versante Sicilia è emersa la necessità di verificare un diverso impiego di parte del materiale di scavo derivante dalla realizzazione della citata opera. In particolare, si è individuata la possibilità di utilizzare parte dei sedimenti per la riqualificazione del litorale tirrenico della provincia di Messina compreso tra la foce del Torrente Niceto e la foce del torrente Calvaruso, realizzando un ripascimento protetto da una barriera soffolta.

In particolare, è prevista la realizzazione di cinque lunghi tratti di barriere soffolte, interrotte solo in corrispondenza delle foci dei torrenti Caracciolo, Senia, Pietra e Saponara, a protezione di un ripascimento artificiale a tergo di dette barriere (dalla Figura 1.1 alla Figura 1.4 si riportano una planimetria del progetto e alcune sezioni tipo).

Il progetto di riqualificazione prevede, altresì, il salpamento delle numerose scogliere, perlopiù del tipo emerso, che negli ultimi decenni sono state realizzate a protezione del litorale in oggetto e che non solo non hanno conseguito l'obiettivo desiderato ma, perlomeno in taluni casi, hanno prodotto effetti indesiderati. Infatti, sebbene le suddette scogliere fossero state realizzate al fine di salvaguardare il territorio posto immediatamente a ridosso della spiaggia e fortemente antropizzato, la probabile mancanza di un approccio con riguardo all'intera unità fisiografica ha talvolta amplificato i processi erosivi nei tratti di costa immediatamente sottoflutto, contribuendo a determinare litorali fortemente degradati.

In tale contesto, la scelta effettuata da Eurolink S.C.p.A. di realizzare una riqualificazione dei litorali in oggetto tramite un ripascimento protetto da una barriera soffolta, piuttosto che un più immediato ripascimento libero, è certamente da condividere. Tale soluzione, infatti, si rivela appropriata non solo a fronte della

considerazione che il ripascimento libero non interviene sulle cause di erosione né, pertanto, sul tasso di arretramento della linea di riva, ma altresì con riferimento alle ulteriori circostanze che un ripascimento protetto:

- richiede una minore quantità di volumi a parità di avanzamento della linea di riva;
- favorisce l'intrappolamento dei sedimenti che pertanto non tendono a disperdersi verso il largo per effetto delle correnti di ritorno;
- interviene sulle cause dell'erosione causando uno smorzamento dell'energia del moto ondoso incidente e delle correnti litoranee responsabili del trasporto solido.

Tali circostanze, in definitiva, consentono l'incremento della stabilità della spiaggia e, dunque, riducono fortemente la necessità di ulteriori ripascimenti periodici.

Appare opportuno evidenziare il fatto che, per quanto concerne il ripascimento, è previsto l'uso di sedimenti provenienti dagli scavi delle opere di collegamento al Ponte opportunamente selezionati granulometricamente. Detta selezione, essendo per lo più rivolta alla rimozione della frazione fine, unitamente alla realizzazione della protezione al piede del ripascimento che, come detto, favorisce l'intrappolamento dei sedimenti e lo smorzamento del moto ondoso incidente, consentirà di limitare al massimo, se non annullare del tutto, spiacevoli fenomeni di intorbidamento delle acque.

È importante, infine, rilevare, soprattutto nel caso in oggetto, come lo smorzamento dell'energia del moto ondoso sulle barriere soffolte abbia l'ulteriore vantaggio di ridurre drasticamente la risalita del moto ondoso sulla spiaggia e, dunque, di mitigare il rischio da mareggiate nel territorio posto immediatamente a ridosso della spiaggia, densamente antropizzato.

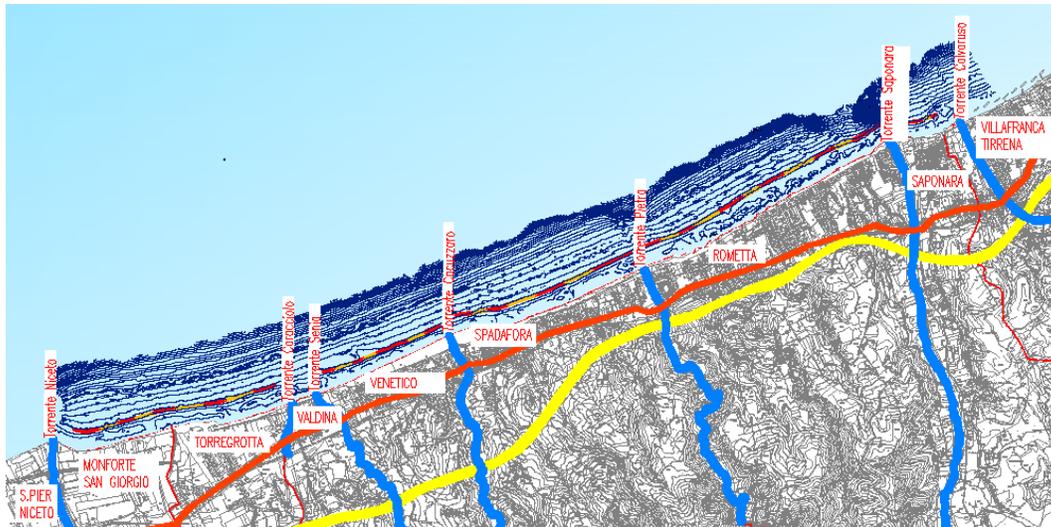


Figura 1.1 Sintesi planimetrica delle opere in progetto

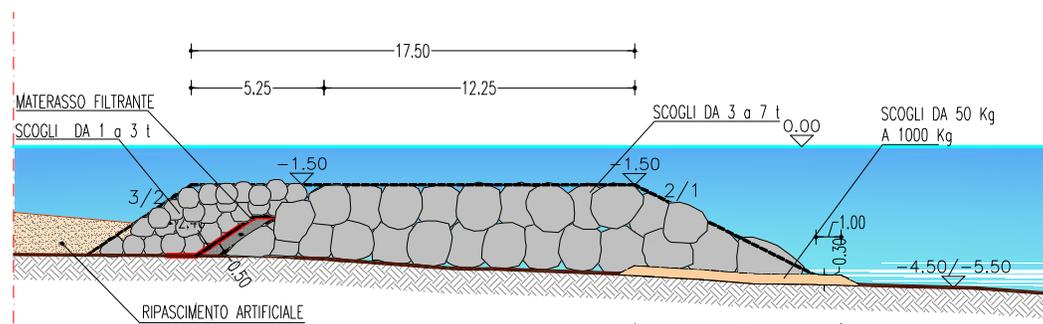


Figura 1.2 Esempio di sezione tipo della barriera soffolta realizzata in massi naturali

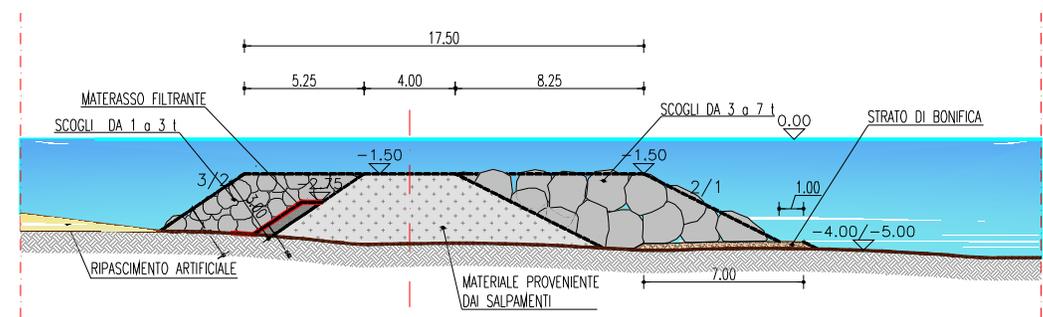


Figura 1.3 Esempio di sezione tipo della barriera soffolta realizzata in massi naturali e materiale proveniente dai salpamenti

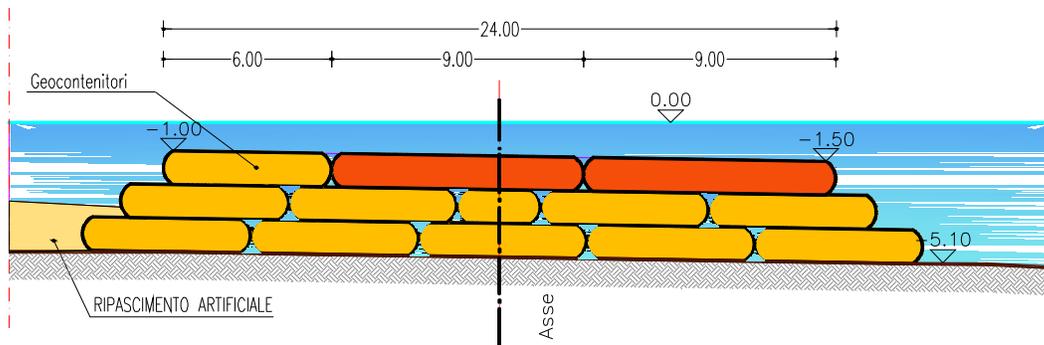


Figura 1.4 Esempio di sezione tipo della barriera soffolta realizzata in geocontenitori

Il presente studio riporta le analisi condotte per la verifica del ricambio idrico post-operam, ossia, dell'area compresa tra le barriere soffolte e la linea di riva. Tale verifica è stata condotta nella condizione più gravosa, cioè prevedendo la totale assenza di moto ondoso e dunque prevedendo una circolazione forzata unicamente dalla marea astronomica.

In dettaglio, il presente elaborato è organizzato come segue: il capitolo 2 riporta le fonti di informazioni utilizzate nella stesura dello studio; il capitolo 3 riporta l'analisi delle variazioni del livello del mare; il capitolo 4 fornisce le indicazioni sulle variazioni del livello del mare; il capitolo 5 descrive le caratteristiche delle correnti di macrocircolazione che interessano il paraggio; nel capitolo 6 è descritto il clima ondoso al largo del paraggio; nel capitolo 7 vengono determinate le caratteristiche del moto ondoso al largo per eventi estremi; nel capitolo 8 è illustrata la persistenza del moto ondoso a largo sopra prefissate soglie di altezza d'onda; infine il capitolo 9 riporta alcune considerazioni conclusive.

## 2 Fonti di informazione

Il presente studio è stato redatto sulla base delle informazioni desunte dalle fonti di seguito riportate. In particolare, le informazioni cartografiche necessarie per la stesura del presente studio sono state acquisite dalle seguenti carte:

- Carta Nautica dell'Istituto Idrografico della Marina Militare Italiana "Da Capo Milazzo a Roccella Ionica" (scala 1:100000, 2007);

Lo studio dei livelli di marea è stato redatto sulla base dei dati mareografici rilevati dalla stazione di Messina della Rete Mareografica Nazionale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

Si precisa che le informazioni relative l'intervento di ripascimento protetto nel tratto di litorale tirrenico compreso tra il torrente Calvaruso e il torrente Niceto sono state fornite dalla SIGMA S.r.l.. In particolare, ai fini del presente studio sono state utilizzate le informazioni relative sia al ripascimento che alla geometria delle previste barriere soffolte.

Infine, anche per quanto concerne la spiaggia sommersa si sono utilizzati i dati batimetrici forniti dalla stessa SIGMA S.r.l., ossia dalla Ditta che per conto di Eurolink S.C.p.A ha effettuato i rilievi sottocosta nei mesi di Marzo e Aprile 2012 tramite tecnologia Multi-Beam.

### **3 Analisi delle variazioni del livello del mare**

L'analisi delle variazioni del livello medio del mare è di fondamentale importanza ai fini della realizzazione di un'opera di difesa delle coste. Dette variazioni, infatti, possono influenzare la scelta delle diverse tipologie di intervento da realizzare. Infatti, la variazione della profondità locale influenza in modo significativo la meccanica del moto ondoso, causando condizioni più o meno gravose rispetto a quelle riferite al livello medio del mare.

Prescindendo dai modesti dislivelli imputabili a variazioni stagionali della densità del mare e a fenomeni di eustatismo, sicuramente trascurabili per il paraggio in esame, le escursioni di livello della superficie marina possono essere principalmente imputate alla marea, sia astronomica che meteorologica, e al sopralzo indotto dall'azione del moto ondoso. Con riferimento specifico all'intervento in oggetto, che, come detto, prevede la realizzazione di un ripascimento protetto tramite barriera soffolta, al fine di verificare il scambio idrico nella situazione più gravosa dal punto di vista meteomarinico, si è deciso di effettuare lo studio della circolazione post-operam considerando la totale assenza di moto ondoso e dunque prevedendo una circolazione solo forzata dalla marea astronomica. Pertanto, di seguito si riportano le analisi relative alle sole stime dell'effetto della marea astronomica. .

#### ***3.1 Effetto della marea astronomica***

La marea astronomica, dovuta principalmente all'azione esercitata dal campo gravitazionale del sole e della luna sulle masse oceaniche, ha nell'area in esame un andamento con due massimi e due minimi durante la giornata, di cui un massimo ed un minimo in genere più accentuati rispetto all'altro.

L'esame delle componenti armoniche della marea astronomica è stato condotto sulla base dei dati registrati dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Nazionale dell'Istituto Superiore per la

Protezione e la Ricerca Ambientale di Messina (Latitudine 38°11'21" - Longitudine 15°33'54"). In particolare, in Figura 3.1 è riportato l'andamento della marea negli anni 2004 e 2005 così come registrato dalla stazione mareografica sita nel porto di Messina.

Bisogna sottolineare che l'andamento riportato rappresenta la risultante della marea astronomica e della marea meteorologica.

L'analisi in frequenza condotta sulle registrazioni del mareografo ha mostrato come le componenti principali della marea sono quelle riportate nella Tabella 3.1.

Tabella 3.1 Principali componenti armoniche della marea ricavate dall'analisi in frequenza dei dati registrati dal mareografo della Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA sito nel porto di Messina.

| Nome | Periodo<br>[ore min] | Ampiezza<br>[cm] | Fase<br>[°] |
|------|----------------------|------------------|-------------|
| M2   | 12 25'               | 4.83             | 330.02      |
| S2   | 12 00'               | 2.45             | 355.71      |
| M4   | 6 37'                | 1.38             | 173.42      |
| MS4  | 6 12'                | 1.04             | 200.56      |
| O1   | 25 49'               | 0.98             | 38.67       |
| K2   | 11 58'               | 0.78             | 347.32      |
| K1   | 23 56'               | 0.62             | 249.42      |
| N2   | 12 39'               | 0.71             | 326.25      |

Come accennato, l'andamento risultante è di tipo semidiurno con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (maree di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono caratterizzate da una periodicità bimensile distinta nelle fasi sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura.

Dai risultati dell'analisi emergono dunque i seguenti dislivelli massimi rispetto al livello medio del mare:

massimo innalzamento: 0.12 m

massimo abbassamento 0.09 m.

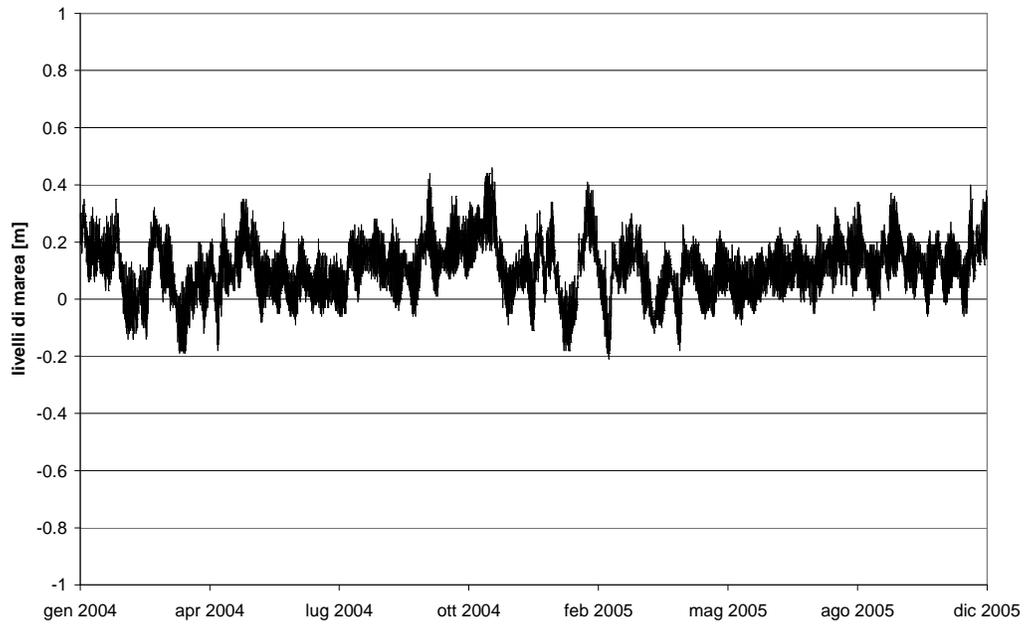


Figura 3.1 Livello della marea registrata dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Italiana dell'ISPRA sita nel porto di Messina nel periodo gennaio 2004 -dicembre 2005.

## **4 Modelli di calcolo**

### ***4.1 Generalità***

Al fine di condurre la verifica della circolazione e, dunque, della qualità delle acque nel tratto di costa oggetto del presente studio nella condizione post-operam, è necessario determinare il campo idrodinamico indotto dalle forzanti, quali il moto ondoso, la marea e il vento.

Tuttavia la condizione più gravosa, ai fini della verifica della qualità delle acque, a cui può essere soggetto lo specchio acqueo interessato dall'opera oggetto del presente studio è quella in cui l'unica forzante è rappresentata dall'oscillazione di marea astronomica.

Nel presente capitolo, pertanto, vengono descritti i codici di calcolo RMA2 e RMA4 utilizzati per descrivere il campo di moto che interessa l'area in oggetto al fine di valutare la diffusione di un generico tracciante per effetto di un campo di moto forzato dalla sola marea astronomica.

### ***4.2 Caratteristiche essenziali del modello RMA2***

RMA2 è un modello idrodinamico bidimensionale agli elementi finiti integrato sulla verticale. Esso valuta le elevazioni della superficie e le componenti planimetriche della velocità per correnti lenti.

Il modello è in grado di valutare i tiranti della superficie idrica e il campo di velocità nei punti di una griglia ad elementi finiti di un corpo fluido, quale un corso d'acqua, un estuario, un porto o un generico specchio acqueo.

Il modello fornisce soluzioni sia in moto permanente che in moto vario, consentendo quindi la soluzione di campi di moto generati sia da portate variabili che da cicli mareali.

Il modello è stato derivato utilizzando l'ipotesi che la pressione possa essere considerata idrostatica in ogni punto del dominio di

calcolo e dunque trascurando le accelerazioni verticali. L'approssimazione bidimensionale del modello non consente il suo utilizzo in problemi in cui i vortici o le accelerazioni verticali del fluido rivestono un ruolo importante.

Il modello RMA2 risolve l'equazione di conservazione della massa e l'equazione del moto secondo l'approssimazione di Reynolds, entrambe integrate sulla verticale:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - \frac{\varepsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left( \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - \frac{\varepsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

dove:

h = tirante idrico

u, v = componenti della velocità

x, y = coordinate cartesiane

t = tempo

$\rho$  = densità

$\varepsilon_{xx}$  = coefficiente normale di scambio turbolento in direzione x

$\varepsilon_{xy}$  = coefficiente tangenziale di scambio turbolento in direzione x

$\varepsilon_{yx}$  = coefficiente tangenziale di scambio turbolento in direzione y

$\varepsilon_{yy}$  = coefficiente normale di scambio turbolento in direzione y

g = accelerazione di gravità

$a_0$  = quota del fondo

C = coefficiente di scabrezza di Chezy

Le equazioni sono risolte secondo uno schema agli elementi finiti utilizzando il metodo di Galerkin dei "pesi residuali". Gli elementi possono essere canali monodimensionali o elementi triangolari o quadrangolari. La funzione di forma degli elementi è di tipo quadratico

per la velocità e lineare per la profondità. L'integrazione delle derivate spaziali avviene attraverso un'integrazione Gaussiana.

La soluzione è completamente implicita e le equazioni sono risolte secondo lo schema di Newton-Raphson.

### **4.3 Caratteristiche del modello RMA4**

Il modello RMA4 consente la risoluzione del campo di concentrazione di un generico inquinante, noto che sia il campo di moto dell'acqua.

In particolare, l'equazione della diffusione del generico inquinante è:

$$h \left( \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc + \frac{R(c)}{h} \right) = 0$$

dove:

h è la profondità

c è la concentrazione dell'inquinante

t è il tempo

u, v sono le componenti in direzione x e y della velocità

$D_x, D_y$  sono i coefficienti dispersione

k è la costante di decadimento dell'inquinante

$\sigma$  è la sorgente

R(c) è il tasso di evaporazione/pioggia

L'equazione è risolta secondo uno schema agli elementi finiti utilizzando il metodo dei "residui pesati" di Galerkin. Come il modello RMA2, RMA4 consente di utilizzare sia elementi monodimensionali sia bidimensionali (triangoli, quadrilateri o elementi curvi). L'integrazione spaziale avviene secondo la tecnica Gaussiana, mentre le variazioni nel tempo sono trattate con differenze finite non lineari congruenti con il metodo descritto nel paragrafo precedente per il modello RMA2.

### **4.4 Discretizzazione del dominio**

Il dominio del tratto di costa analizzato è stato discretizzato utilizzando elementi di dimensione maggiore sul contorno lato mare del

dominio ed elementi di dimensioni più piccola in prossimità delle zone interessate dalla presenza delle barriere soffolte, anche al fine di fornire un miglior dettaglio nelle zone di maggior interesse.

In particolare, la discretizzazione è stata effettuata con una maglia triangolare costituita da 5134 triangoli, ricavata a partire dalla quota nota per 2686 vertici. La profondità massima è di 77.70 m e quella minima di 0. L'asse della griglia si sviluppa lungo la direzione parallela alla linea di costa e forma un angolo di  $19^\circ$  con la direzione Est. m.

Nella Figura 4.1 si riporta la maglia triangolare con cui si è discretizzato il tratto di costa interessato.

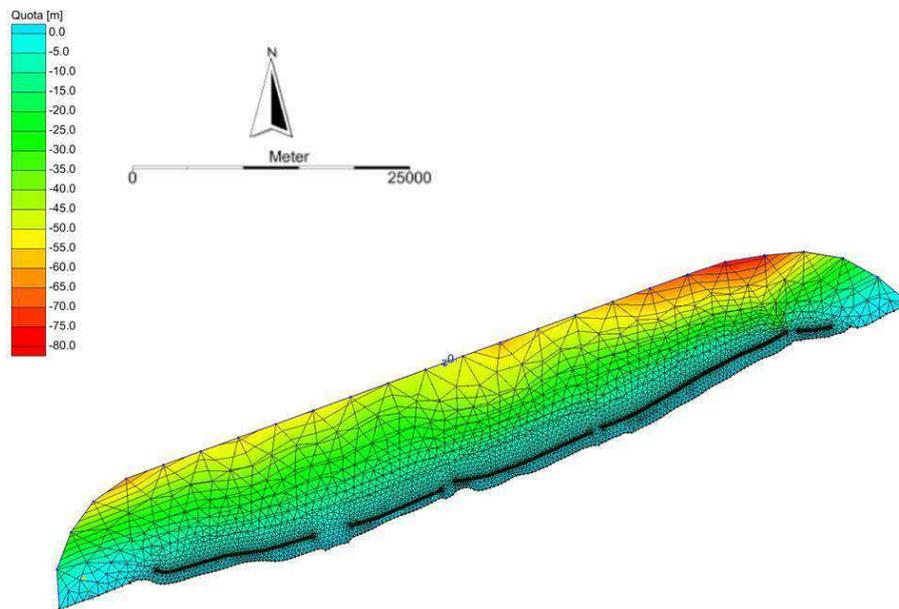


Figura 4.1 Griglia di calcolo avente l'asse lungo la direzione parallela alla linea di costa che forma un angolo di  $19^\circ$  con la direzione Est

#### **4.5 Condizioni al contorno**

Le condizioni al contorno imposte al modello di calcolo riguardano solo i livelli idrici imposti dall'onda di marea astronomica. Pertanto su tutto il contorno esterno lato mare è stato imposto un andamento del livello di marea determinato dall'analisi delle variazioni del livello del

mare riportato nel capitolo 3. In particolare si è ricostruito un segnale basato unicamente sulle principali componenti di marea astronomica. In Figura 4.2 è riportato l'andamento dei livelli di marea utilizzato come forzante e, dunque, come condizione al contorno nelle simulazioni condotte.

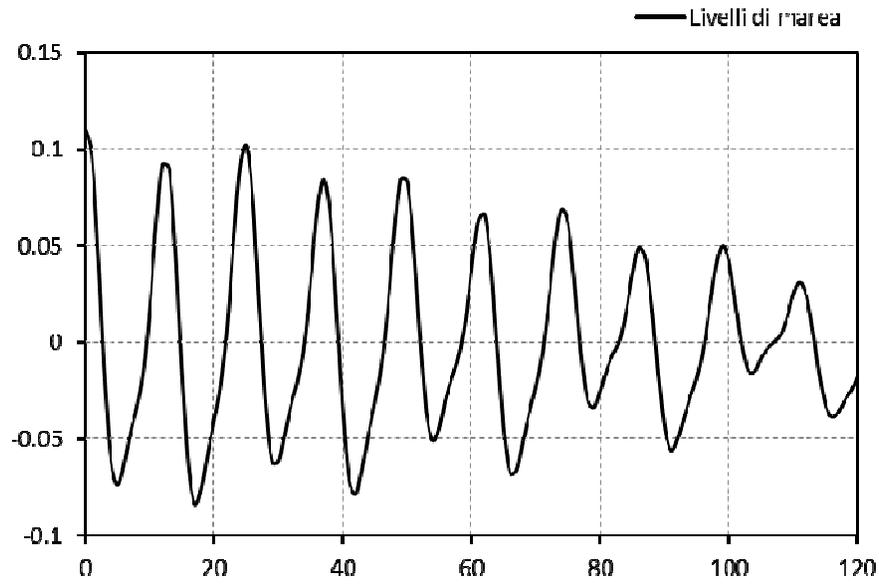


Figura 4.2 Livelli di marea utilizzati come condizione al contorno del modello idrodinamico

Per quanto attiene al modello RMA4, nella porzione di mare compresa tra le barriere e la linea di costa è stata fissata, all'istante iniziale, una concentrazione di un generico tracciante passivo pari a  $C_0=100\%$  mentre al di fuori di tale area è stata considerata una concentrazione iniziale pari a  $C_0=0\%$ .

## 5 Analisi dei risultati

### 5.1 Generalità

La letteratura tecnica riporta diversi metodi per la valutazione della qualità delle acque costiere, per lo più riferiti alle acque dei bacini portuali (vedere PIANC, 2008).

Nell'ambito del presente studio si è verificata l'andamento della concentrazione di un tracciante passivo presente nell'area a tergo delle barriere soffolte e, successivamente, si è condotta la verifica del grado di ricambio idrico con il metodo "Flushing exchange coefficient".

La verifica del grado di ricambio idrico di un bacino portuale può essere condotta valutando il "Flushing exchange coefficient", definito come:

$$E = 1 - \left( \frac{C_n}{C_0} \right)^{1/n}$$

dove:

$C_0$  è la concentrazione iniziale del generico marker;

$C_n$  è la concentrazione al n-esimo ciclo di marea del generico marker;

n è il numero di cicli di marea.

Il valore del coefficiente  $E$ , per un numero di cicli superiori a 4, deve avere un valore medio del bacino superiore a 0.20 e inoltre non più del 5% dell'area del bacino deve avere un valore di  $E$  minore di 0.15 (Smith et al., 2002).

### 5.2 Risultati del modello

Dalla Figura A.1 alla Figura A.13 sono riportati i risultati ottenuti dalla simulazione in riferimento a diversi istanti nel tempo rappresentativi dell'evoluzione della concentrazione del generico tracciante.

I risultati evidenziano come la concentrazione del tracciante, a seguito del campo di moto instauratosi sull'intero litorale, sia soggetta ad una notevole riduzione già a partire da 9 ore dall'inizio della simulazione, evidenziando come la presenza congiunta delle barriere soffolte e del ripascimento a tergo delle stesse, non influenza in maniera negativa il ricambio idrico del litorale in esame.

Per quanto attiene alla valutazione del "Flushing exchange coefficient", la Figura 5.1 ne illustra la distribuzione spaziale alla fine del quarto ciclo di marea. In particolare, si rileva come tutta la porzione di dominio compresa tra le barriere e la linea di riva presenti valori del citato coefficiente superiori a 0.2, con ciò evidenziando il più che sufficiente grado di ricambio idrico.

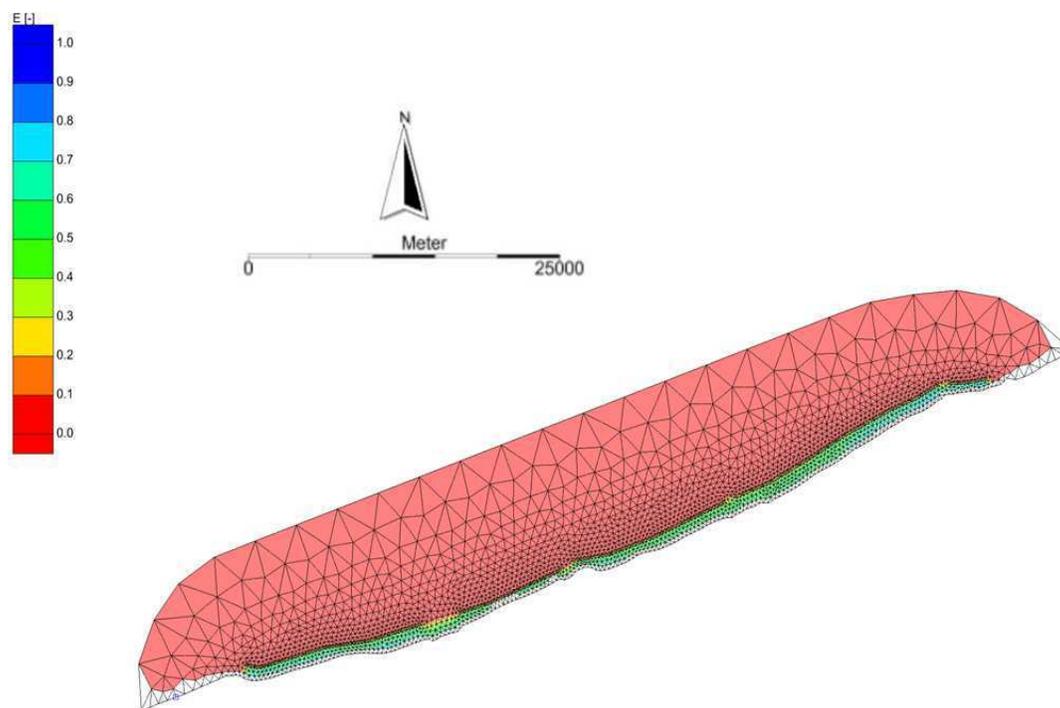


Figura 5.1 Flushing exchange coefficient – 4° ciclo di marea

## 6 Sintesi dei risultati e conclusioni

Il presente studio ha avuto per obiettivo la verifica del ricambio idrico post-operam del tratto di litorale tirrenico interessato dal ripascimento protetto da barriere soffolte. In particolare, lo studio della circolazione relativa dell'area compresa tra le barriere soffolte e la linea di riva nella condizione più gravosa; infatti esso è stato effettuato prevedendo la totale assenza di moto ondoso e, dunque, prevedendo una circolazione unicamente forzata dalla marea astronomica.

Le verifiche, pertanto, sono state condotte valutando preliminarmente il campo idrodinamico determinato dalla sola marea astronomica e, successivamente, verificando la dinamica di dispersione di un generico tracciante passivo.

Per quanto concerne le variazioni del livello del mare, sulla base delle analisi condotte, il sito in oggetto può essere classificato come microtidale. In particolare, i dati rilevati dalla stazione mareografica della rete RMN dell'ISPRA sita nel porto di Messina mostrano valori dell'oscillazione della marea complessiva compresi tra +45 cm e -20 cm. Tali valori sono stati anche confermati da altre analisi e valutazioni condotte da chi scrive.

Le simulazioni condotte hanno evidenziato come, nonostante si sia considerata la sola marea astronomica come unica forzante del sistema, la concentrazione del tracciante, a seguito del campo di moto instauratosi sull'intero litorale, sia soggetta ad una notevole riduzione già a partire da 9 ore dall'inizio della simulazione. In altre parole, la presenza delle barriere soffolte e del ripascimento a tergo delle stesse non presenta effetti negativi nel ricambio idrico del litorale in esame. Tale risultato è stato anche confermato dalla verifica del c.d. "Flushing exchange coefficient", che ha mostrato come dopo 4 cicli di marea raggiunge dei valori superiori a 0.2.

## **Bibliografia**

PIANC (2008) "Protecting water quality in marinas", PIANC REPORT n° 98.

Smith H., Carter R. e Jones D. (2002) "Achieving and Maintaining Water Qualità in Small Boats Harbors", prepared for Alaska Department of Environmental Conservation.

## Elenco delle Figure

- Figura 1.1 Sintesi planimetrica delle opere in progetto
- Figura 1.2 Esempio di sezione tipo della barriera soffolta realizzata in massi naturali
- Figura 1.3 Esempio di sezione tipo della barriera soffolta realizzata in massi naturali e materiale proveniente dai salpamenti
- Figura 1.4 Esempio di sezione tipo della barriera soffolta realizzata in geocontenitori
- Figura 3.1 Livello della marea registrata dalla stazione mareografica della Rete Mareografica Italiana dell'ISPRA sita nel porto di Messina nel periodo gennaio 2004 -dicembre 2005.
- Figura 4.1 Griglia di calcolo avente l'asse lungo la direzione parallela alla linea di costa che forma un angolo di  $19^\circ$  con la direzione Est
- Figura 4.2 Livelli di marea utilizzati come condizione al contorno del modello idrodinamico
- Figura 5.1 Flushing exchange coefficient – 4° ciclo di marea
- Figura A.1 Concentrazione costituente – ora 0
- Figura A.2 Concentrazione costituente – ora 3
- Figura A.3 Concentrazione costituente – ora 6
- Figura A.4 Concentrazione costituente – ora 9
- Figura A.5 Concentrazione costituente – ora 12
- Figura A.6 Concentrazione costituente – ora 15
- Figura A.7 Concentrazione costituente – ora 18
- Figura A.8 Concentrazione costituente – ora 21
- Figura A.9 Concentrazione costituente – ora 24
- Figura A.10 Concentrazione costituente – ora 27
- Figura A.11 Concentrazione costituente – ora 30
- Figura A.12 Concentrazione costituente – ora 33
- Figura A.13 Concentrazione costituente – ora 36

## Appendice A

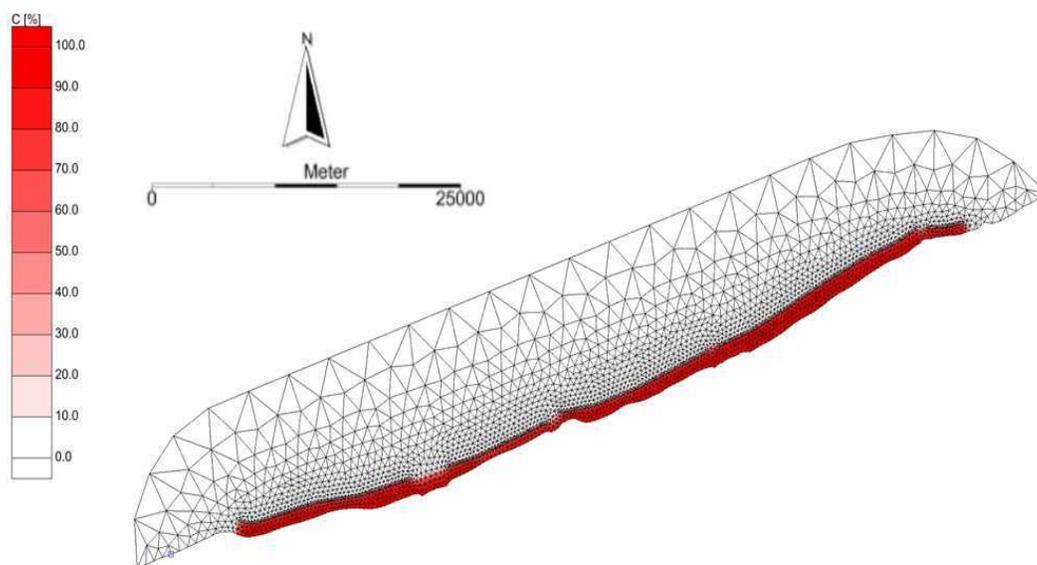


Figura A.1 Concentrazione costituente – ora 0

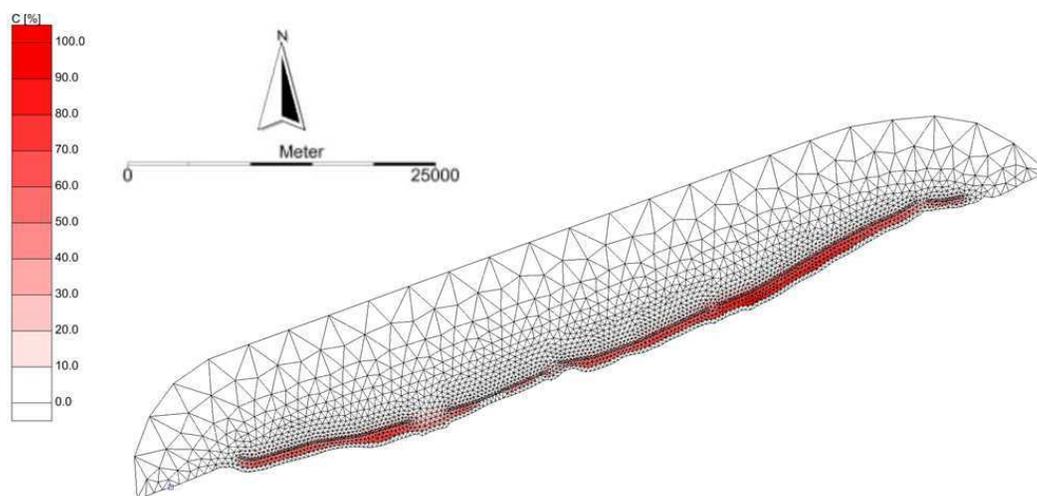


Figura A.2 Concentrazione costituente – ora 3

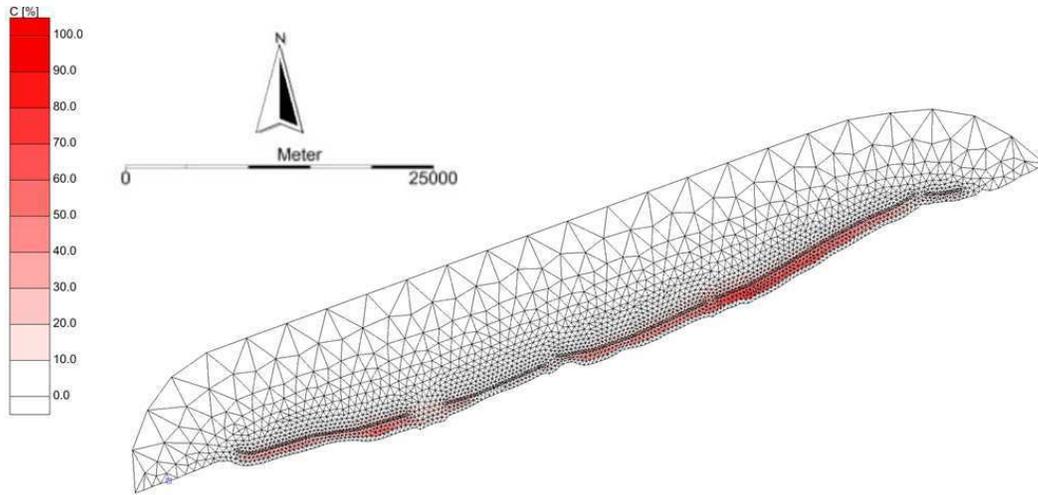


Figura A.3 Concentrazione costituente – ora 6

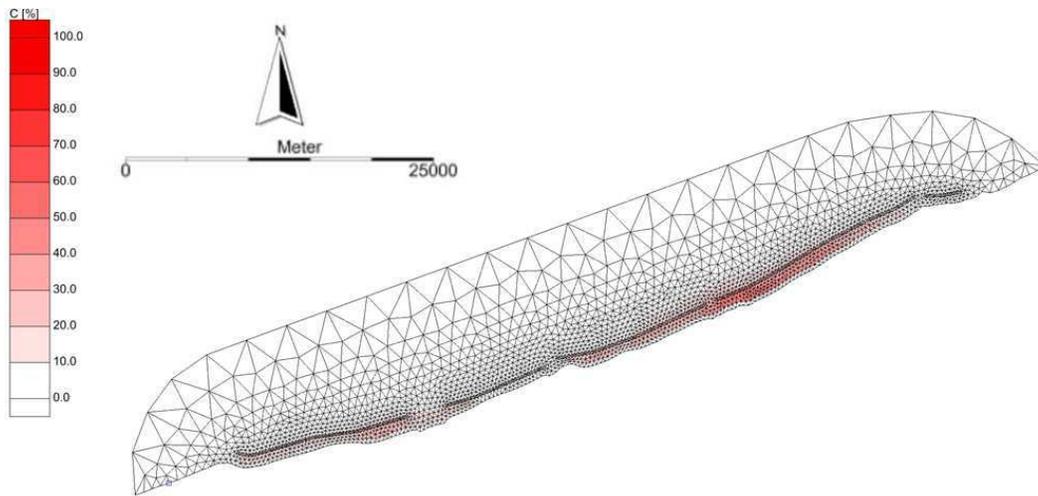


Figura A.4 Concentrazione costituente – ora 9

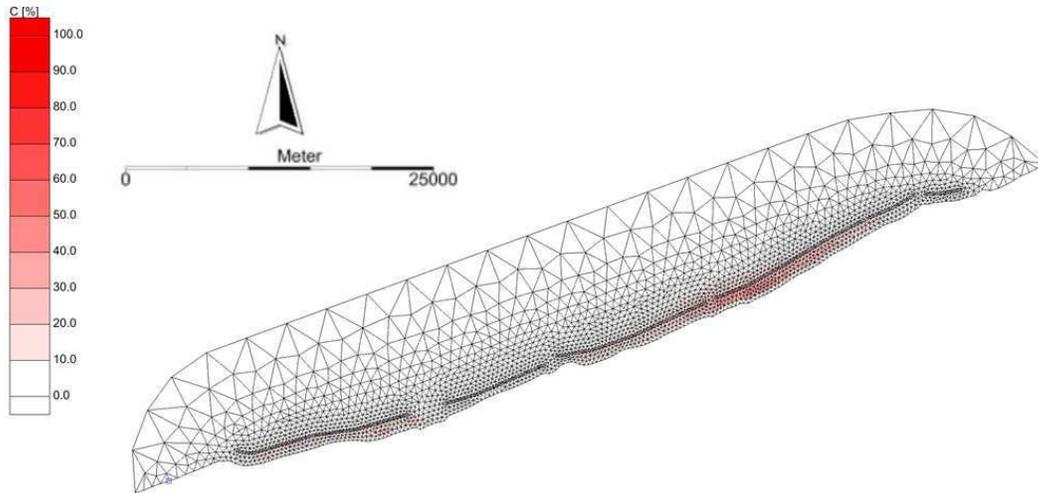


Figura A.5 Concentrazione costituente – ora 12

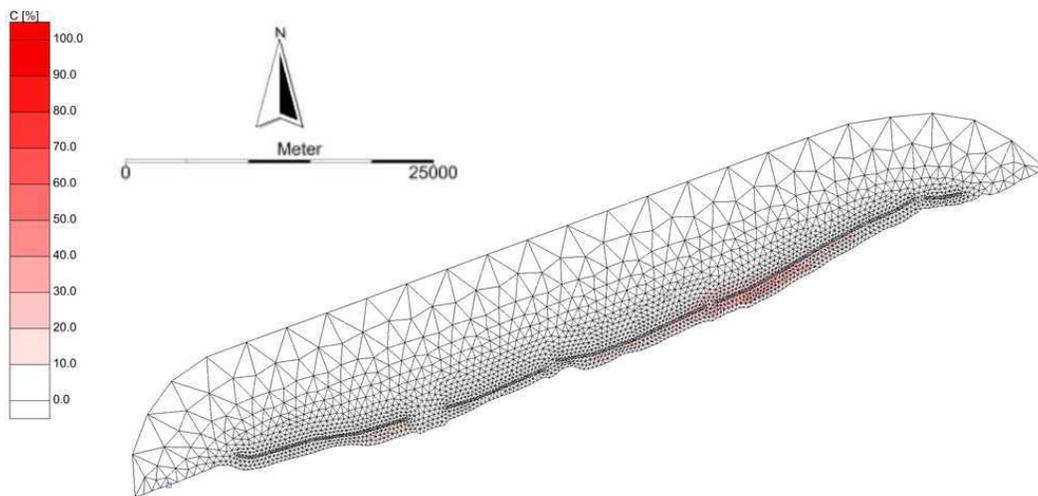


Figura A.6 Concentrazione costituente – ora 15

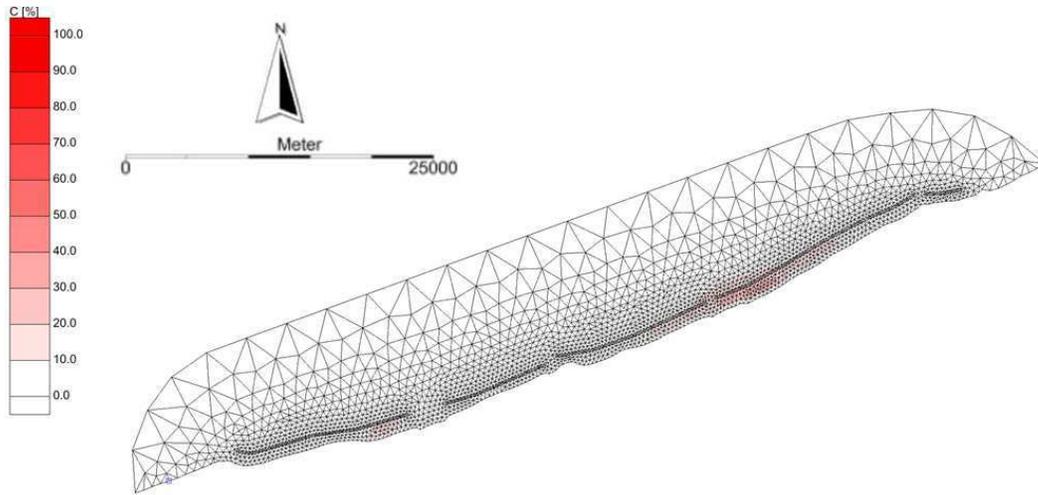


Figura A.7 Concentrazione costituente – ora 18

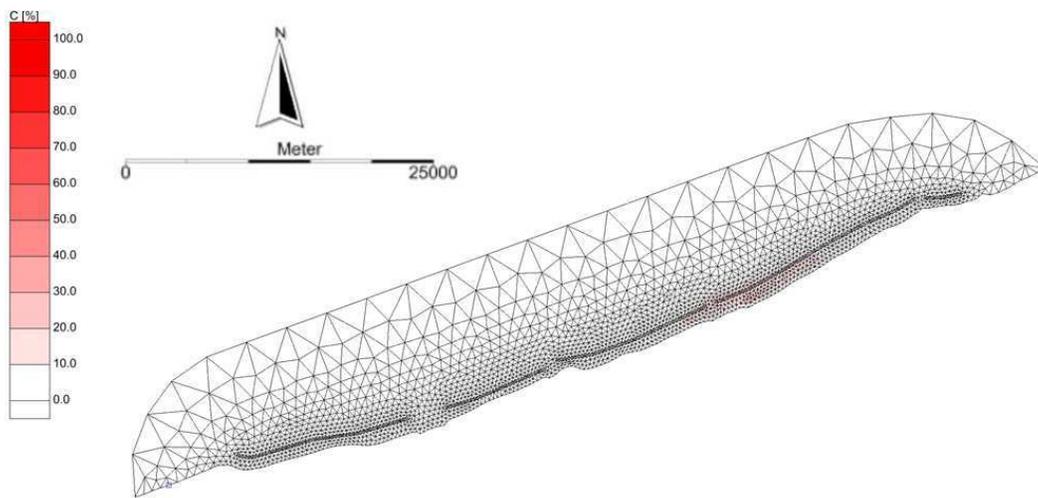


Figura A.8 Concentrazione costituente – ora 21

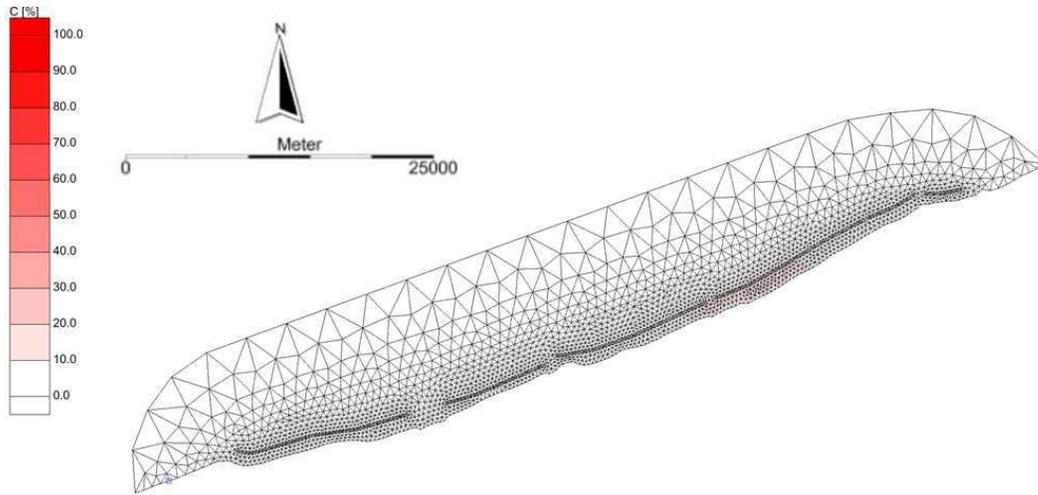


Figura A.9 Concentrazione costituente – ora 24

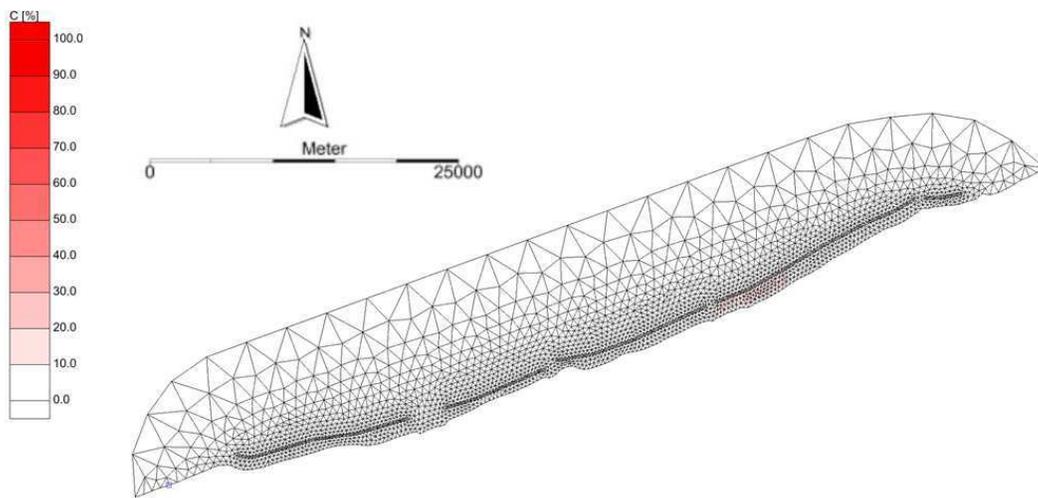


Figura A.10 Concentrazione costituente – ora 27

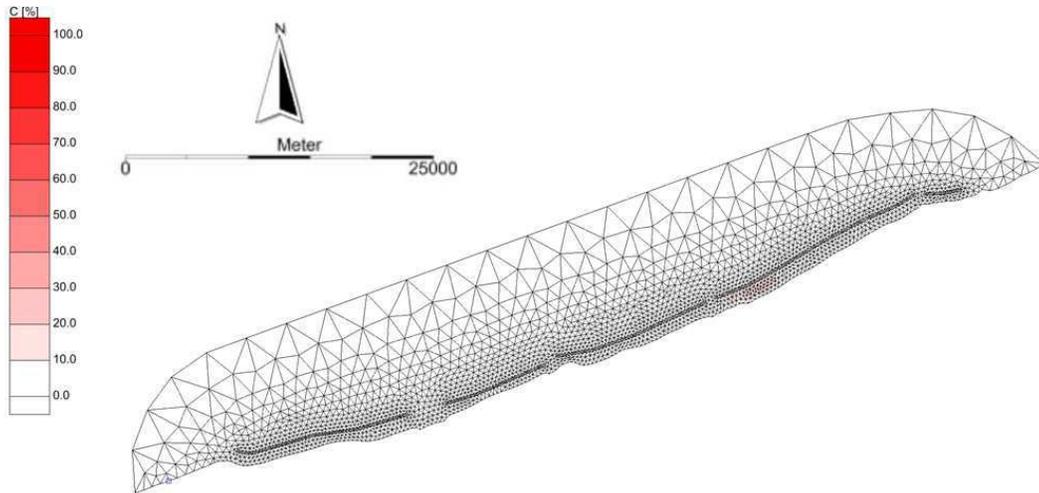


Figura A.11 Concentrazione costituente – ora 30

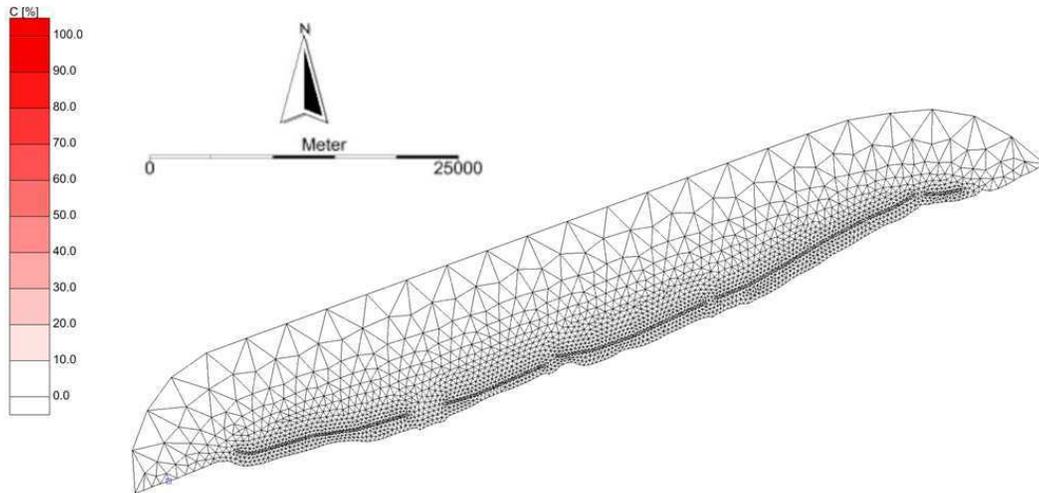


Figura A.12 Concentrazione costituente – ora 33

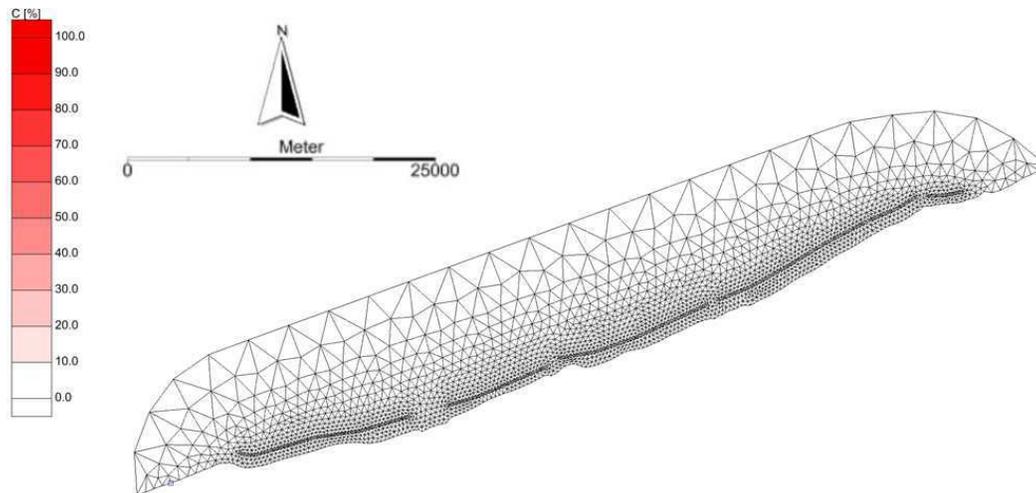


Figura A.13 Concentrazione costituente – ora 36