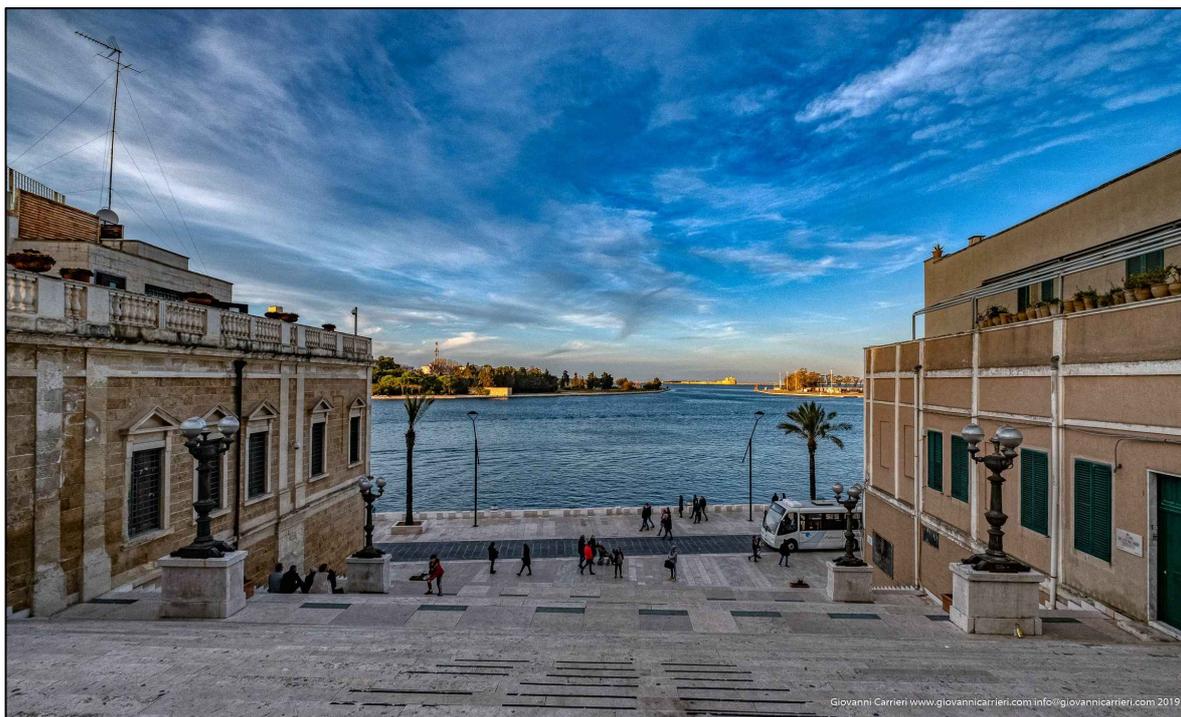


Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale



CONVENZIONE SOGESID SPA - ADSP del Mare Adriatico Meridionale Supporto tecnico-specialistico finalizzato alla redazione ed approvazione del Piano Regolatore Portuale del Porto di Brindisi

Titolo elaborato:

**STUDIO DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA PORTUALE E
DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE PORTUALI**

Cod. Elaborato:

21 21 PR 05a 0 MAR

Redatto da:



Il Direttore Tecnico e Responsabile della convenzione
Ing. Enrico BRUGIOTTI

Il Project Manager
Ing. Francesco Maria Lopez Y Royo

GRUPPO DI LAVORO SOGESID

Ing. Marco Deri
Ing. Fabio Tamburrino
Ing. Giovanni Borzi
Ing. Francesco Voltasio
Ing. Graziano Talò
Ing. Fabio De Giorgio

RELAZIONI SPECIALISTICHE

Pianificazione e aspetti trasportistici e marittimi



Arch. Pierfrancesco Capolei

Valutazione Ambientale Strategica

Ing. Angelo Micolucci

Committente:

Autorità di Sistema Portuale del
Mare Adriatico Meridionale

Il Direttore del Dipartimento Tecnico dell'AdSP

Ing. Francesco Di Leverano

Data:

Luglio 2022

GRUPPO DI LAVORO AdSP del Mare Adriatico Meridionale

Ing. Francesco Di Leverano
Ing. Cristian Casilli
Ing. Marinella Conte
Geom. Davide Boasso

Rev.	Data	Descrizione	Verificato	Approvato
0	07/2022	Emissione per adozione		

SOMMARIO

1	Premesse	2
1.1	Sintesi della metodologia utilizzata.....	2
1.2	Sintesi delle conclusioni.....	2
2	Circolazione idrica portuale	3
2.1	Applicazione del sistema di modellazione SMS.....	3
2.2	Discretizzazione dello specchio liquido	3
2.3	Definizione delle condizioni al contorno	5
2.4	Risultati delle simulazioni idrodinamiche.....	6
3	Verifica della qualità delle acque	15
4	Conclusioni	24
5	APPENDICI	25
I)	Descrizione del modello matematico SMS.....	25

1 PREMESSE

Il presente rapporto riguarda lo studio idrodinamico eseguito ai fini dell'analisi del ricambio idrico portuale per la nuova configurazione di progetto proposta nell'ambito del nuovo P.R.P. del porto di Brindisi.

1.1 Sintesi della metodologia utilizzata

Lo studio è stato condotto applicando il modello matematico agli elementi finiti denominato SMS (Surfacewater Modeling System), che risolve le equazioni non lineari per le acque basse (non linear shallow water equations).

In via cautelativa, le simulazioni sono state condotte utilizzando come unica forzante idrodinamica le oscillazioni di livello dovute alla sola marea astronomica. Sulla base dei risultati forniti dallo studio meteomarinario, si è assunta una marea di tipo semi-diurno con ampiezze pari a 0.4 m e 0.3 m. In funzione del campo idrodinamico calcolato, è stata successivamente valutata la capacità di ricambio idrico con riferimento al decadimento dell'ossigeno disciolto che si verifica in 5 giorni di cicli di marea.

I risultati sono stati quindi confrontati con quelli relativi alla configurazione attuale dello specchio acqueo portuale, per la quale è disponibile un precedente studio condotto dalla società MODIMAR S.r.l. nel 2010.

1.2 Sintesi delle conclusioni

I risultati hanno mostrato, come ci si aspettava, che in corrispondenza degli specchi acquei posti marginalmente rispetto all'imboccatura portuale, si creano delle zone di ristagno che determinano un sensibile decadimento della concentrazione di ossigeno.

Le condizioni di qualità delle acque nella configurazione di progetto sembrano del tutto equivalenti a quelle simulate nelle condizioni attuali dello specchio acqueo portuale. Si può quindi concludere che la nuova configurazione delle opere non induca un peggioramento della qualità delle acque.

2 CIRCOLAZIONE IDRICA PORTUALE

Per verificare in modo oggettivo l'influenza delle nuove opere marittime sul campo idrodinamico indotto dalle escursioni di marea, è stato utilizzato il modello matematico SMS, in grado di fornire per i diversi scenari ipotizzati tutte le necessarie indicazioni sulle grandezze fisiche che caratterizzano la circolazione idrica portuale.

Nel caso specifico è stato studiato all'interno dell'ampio porto di Brindisi, sia nella configurazione attuale che in quella di progetto, il campo idrodinamico generato da prefissate variazioni del livello idrico che rappresentano le oscillazioni dovute alla marea.

Nei paragrafi successivi vengono descritte le simulazioni condotte ponendo particolare attenzione alle ipotesi di base nonché alle condizioni al contorno cui si è fatto riferimento.

2.1 Applicazione del sistema di modellazione SMS

I modelli di calcolo impiegati nel presente studio appartengono al sistema di modellazione SMS che consente di simulare i fenomeni idrodinamici che si verificano nel flusso di masse d'acqua superficiali tramite il codice di calcolo agli elementi finiti RMA-2, descritto in appendice.

Il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processing relative alle analisi ed alla realizzazione dei grafici bidimensionali riproducenti i risultati delle elaborazioni.

Nella fase preliminare dello studio (procedura di pre-processor), è stato utilizzato il codice GFGEN per la costruzione del reticolo geometrico, agli elementi finiti, con cui è stato discretizzato lo specchio liquido da simulare. Successivamente, all'interno del modello di calcolo sono state definite le condizioni idrodinamiche al contorno, considerando le oscillazioni del livello marino imposte lungo i contorni che rappresentano il mare aperto.

Per le due configurazioni prese in esame è stato quindi possibile, attraverso l'applicazione del modello SMS con un passo temporale di 30 minuti, studiare il campo idrodinamico indotto dall'azione della sola marea all'interno dei bacini portuali di Brindisi.

2.2 Discretizzazione dello specchio liquido

Per la corretta applicazione delle routine di calcolo idrodinamico del modello SMS è stato necessario effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del sistema liquido che caratterizza le due configurazioni portuali da simulare (Figura 2.1 e Figura 2.2).

Nel dettaglio, il campo fluido è stato suddiviso nel modo seguente:

- CONFIGURAZIONE ATTUALE: griglia di calcolo costituita da 4594 elementi (di cui 962 triangolari e 3632 quadrilateri), per un totale di 13631 nodi di calcolo (Figura 2.3);
- CONFIGURAZIONE DI PROGETTO: griglia di calcolo costituita da 4986 elementi (di cui 1239 triangolari e 3747 quadrilateri), per un totale di 14317 nodi di calcolo (Figura 2.4);

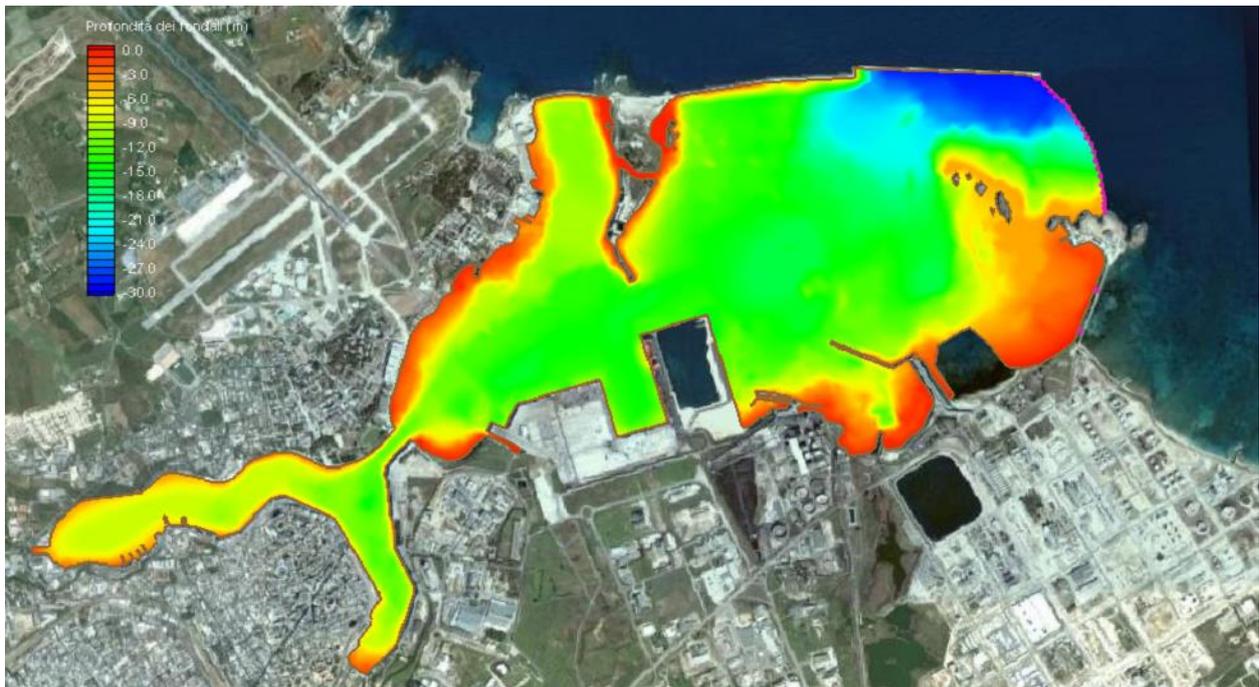


Figura 2.1 – Batimetria di riferimento: configurazione attuale.

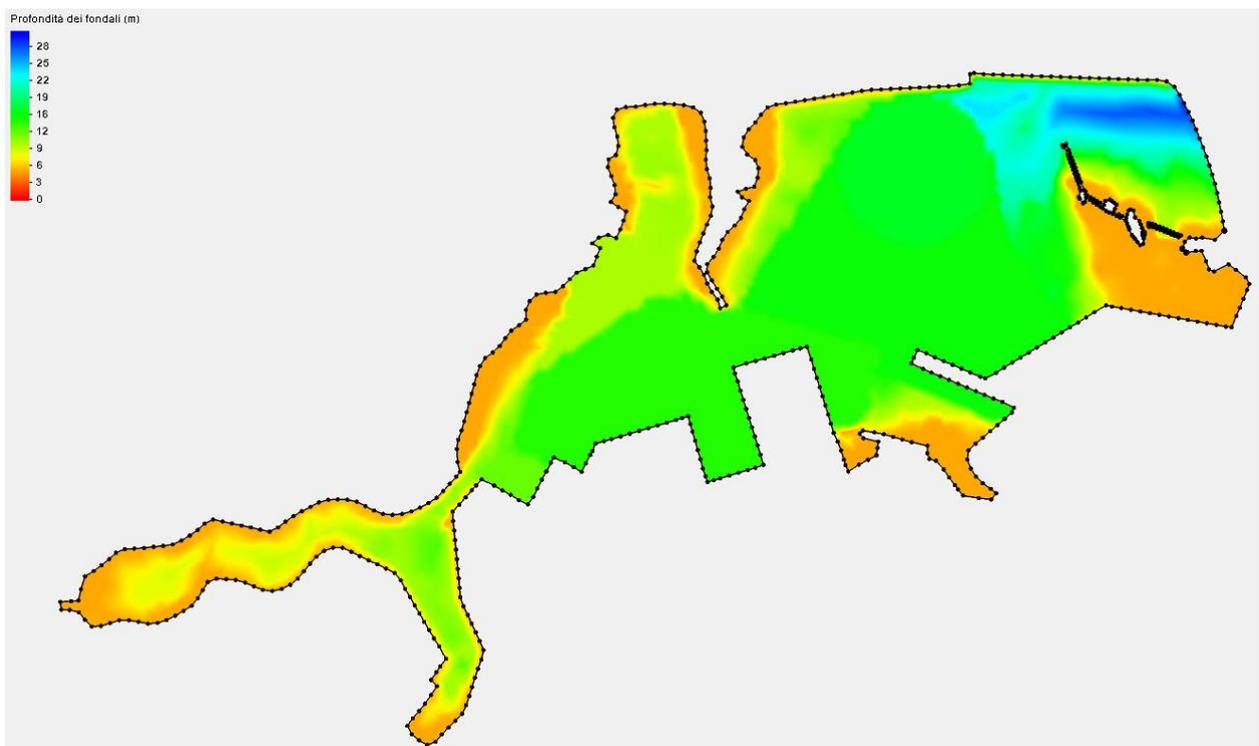


Figura 2.2 – Batimetria di riferimento: configurazione di progetto.



Figura 2.3 – Griglia di calcolo: configurazione attuale.

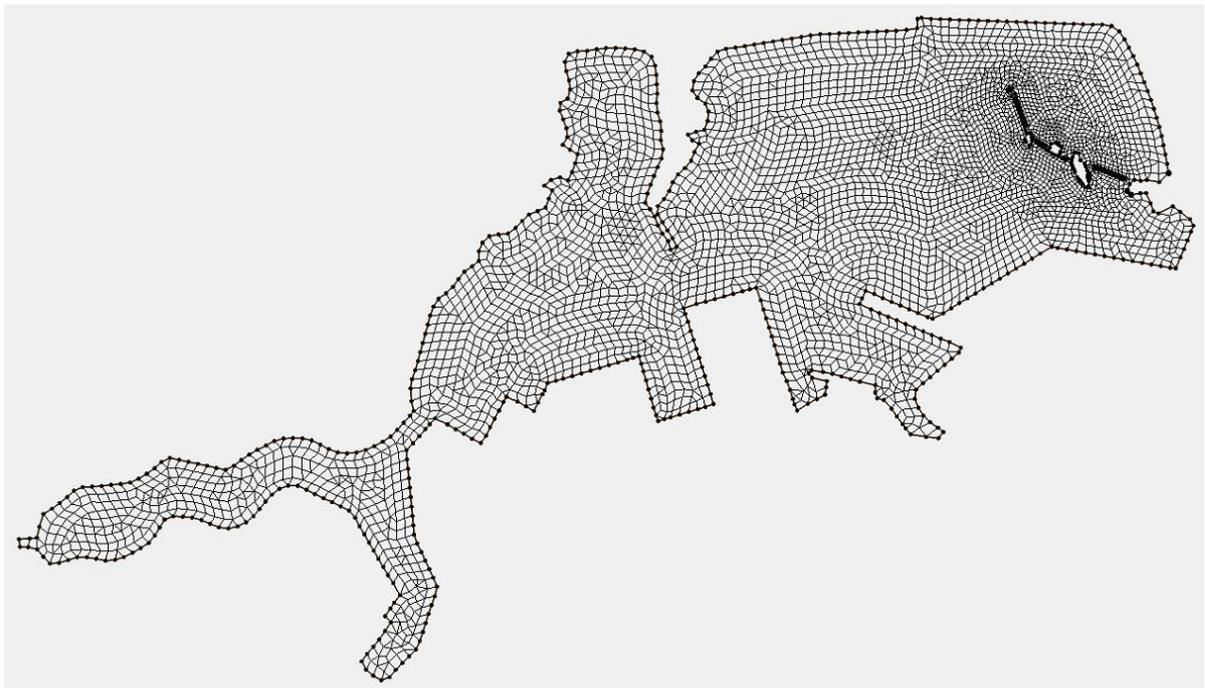


Figura 2.4 – Griglia di calcolo: configurazione di progetto.

2.3 Definizione delle condizioni al contorno

Per le configurazioni prese in esame nel presente studio, al fine di poter determinare il campo idrodinamico indotto dalle oscillazioni di marea all'interno dei bacini che costituiscono il porto di Brindisi, è stato necessario definire ed impostare all'interno del modello matematico SMS le opportune condizioni al contorno.

Nel dettaglio, lungo la linea di contorno che separa il dominio di calcolo dal mare aperto, sono state imposte le oscillazioni di marea in termini di variazioni del livello idrico.

Queste sono state imposte con un intervallo temporale tra i dati di mezz'ora e si riferiscono ad una marea di tipo semi-diurno con altezze pari a 0.4 m e 0.3 m, per un intervallo temporale complessivo di 120 ore comprendente 5 cicli di marea (Figura 2.5).

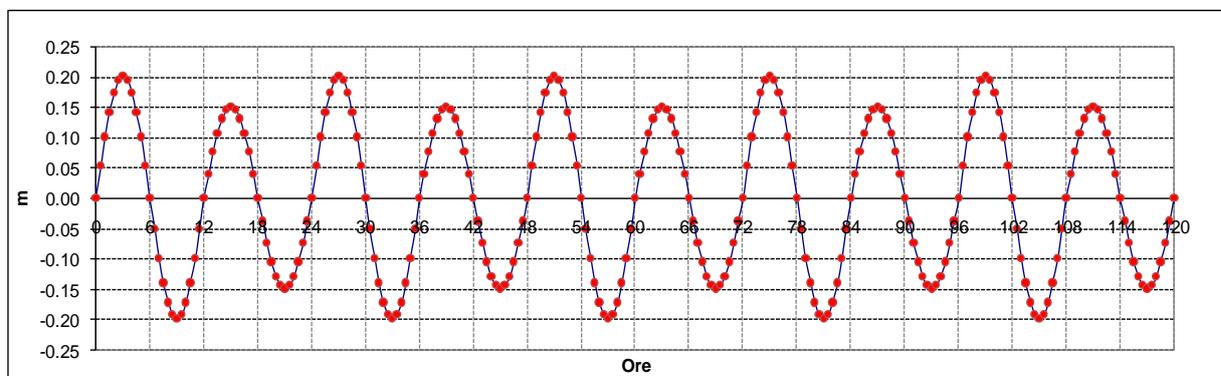


Figura 2.5 – Variazioni di livello considerate come condizioni al contorno per il modello SMS.

2.4 Risultati delle simulazioni idrodinamiche

Completata la fase di discretizzazione del sistema liquido e di definizione delle condizioni al contorno è stato applicato il programma GFGEN per la predisposizione dei file di input (in codice binario) utilizzati successivamente dal programma di idrodinamica RMA-2 agli elementi finiti.

Con quest'ultimo programma sono state quindi condotte diverse simulazioni, con lo scopo di determinare il campo idrodinamico dovuto alle sole variazioni della marea astronomica e successivamente di verificare per gli stessi bacini la qualità delle acque in termini di concentrazione di ossigeno disciolto.

Nelle figure che vanno dalla Figura 2.6 alla Figura 2.21 è riportato il campo di velocità media sulla vertical, indotto dalle sole variazioni di marea, sia nella configurazione attuale che in quella di progetto; la scala di rappresentazione delle velocità (m/s) mostra che per le zone più interne del porto in esame, come era plausibile immaginare, l'effetto di vivificazione dovuto alla sola marea ha una scarsa intensità (si determinano velocità inferiori a 0.001 m/s).

Al termine di queste simulazioni si è quindi constatato che la capacità naturale di ricircolo delle acque invase all'interno dell'ampio bacino portuale di Brindisi è alquanto limitata per entrambe le configurazioni prese in esame.

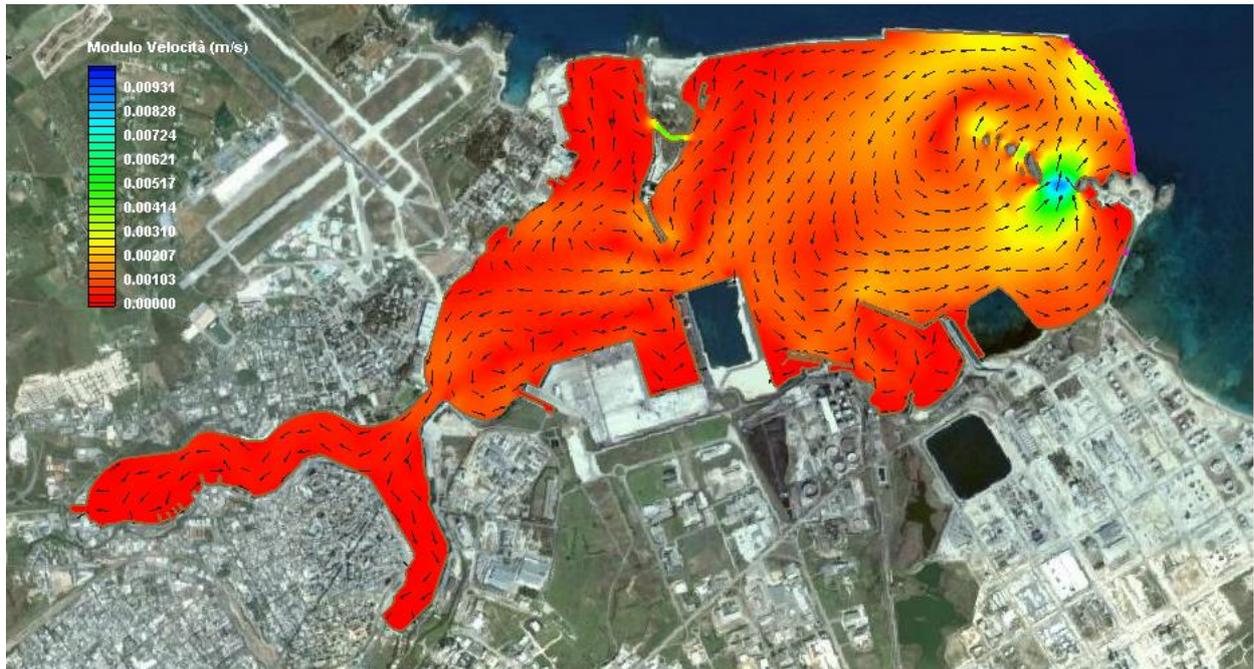
ORE 15:00 (Inversione del flusso)**• CONFIGURAZIONE ATTUALE**

Figura 2.6 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 15.00 (inversione del flusso).

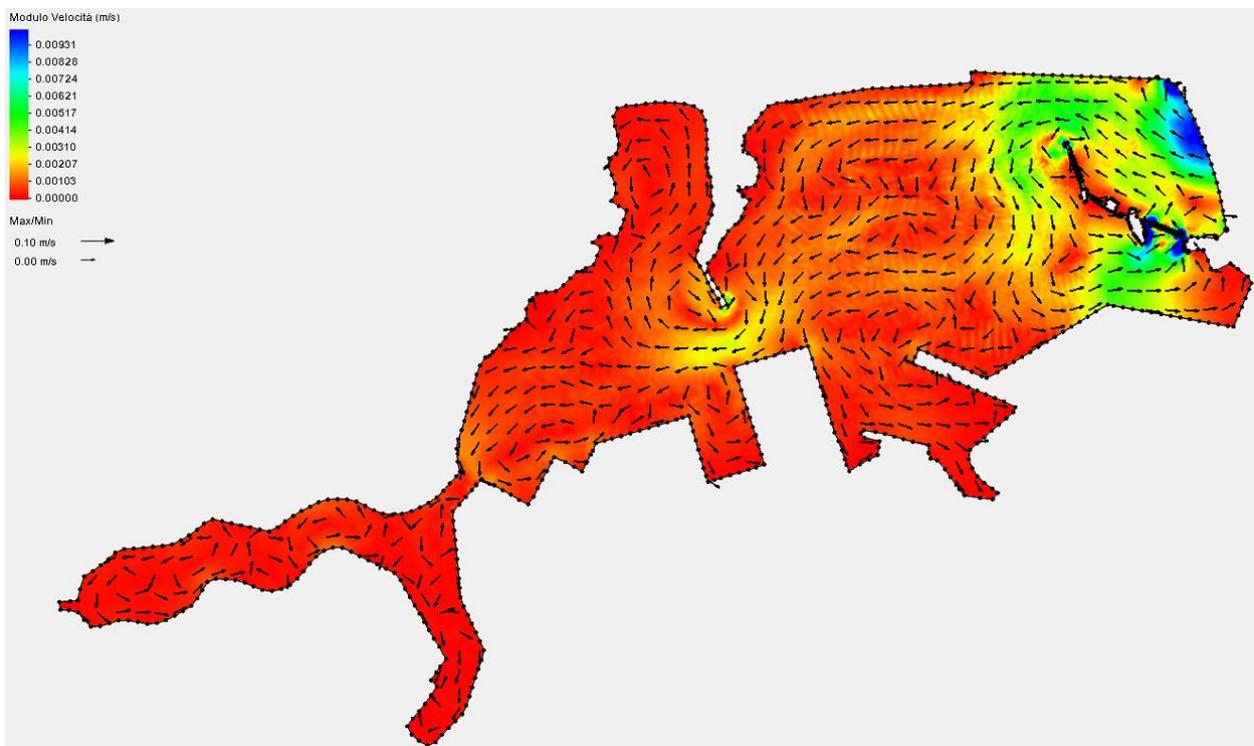
• CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Figura 2.7 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 15.00 (inversione del flusso).

ORE 18:00 (fase di riflusso)

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**

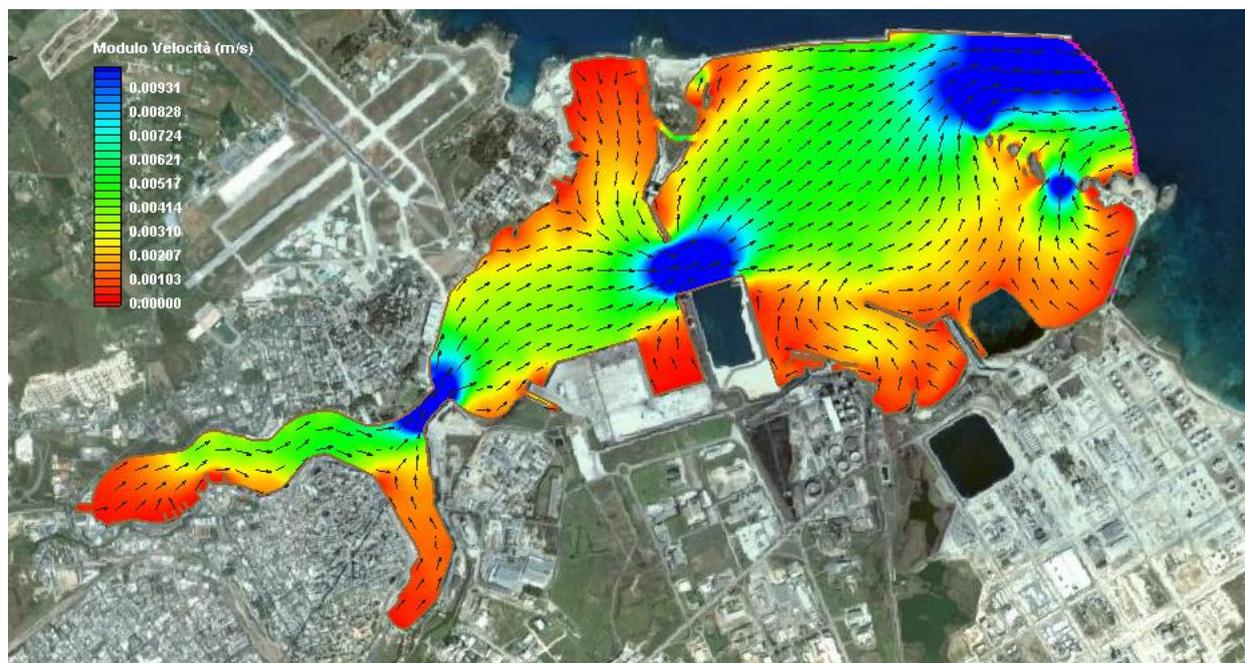


Figura 2.8 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 18.00 (fase di riflusso).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

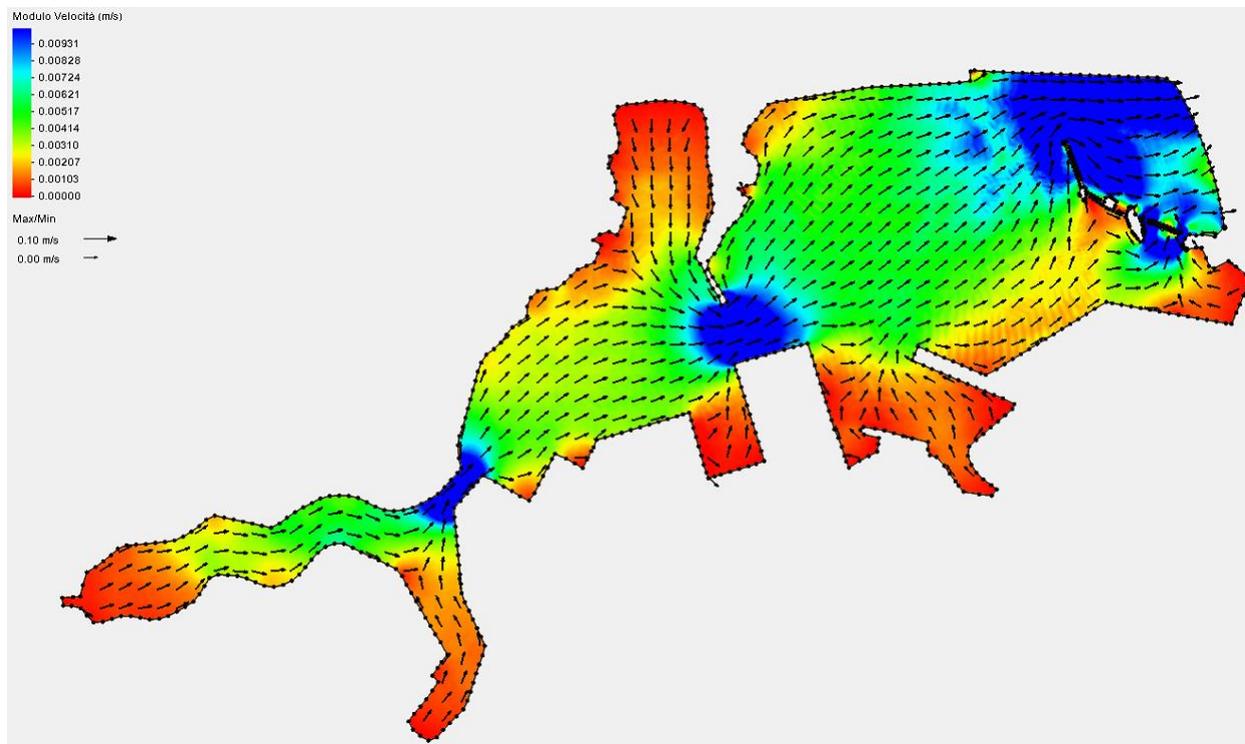


Figura 2.9 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 18.00 (fase di riflusso).

ORE 21:00 (inversione del flusso)**• CONFIGURAZIONE ATTUALE**

Figura 2.10 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 21.00 (inversione del flusso).

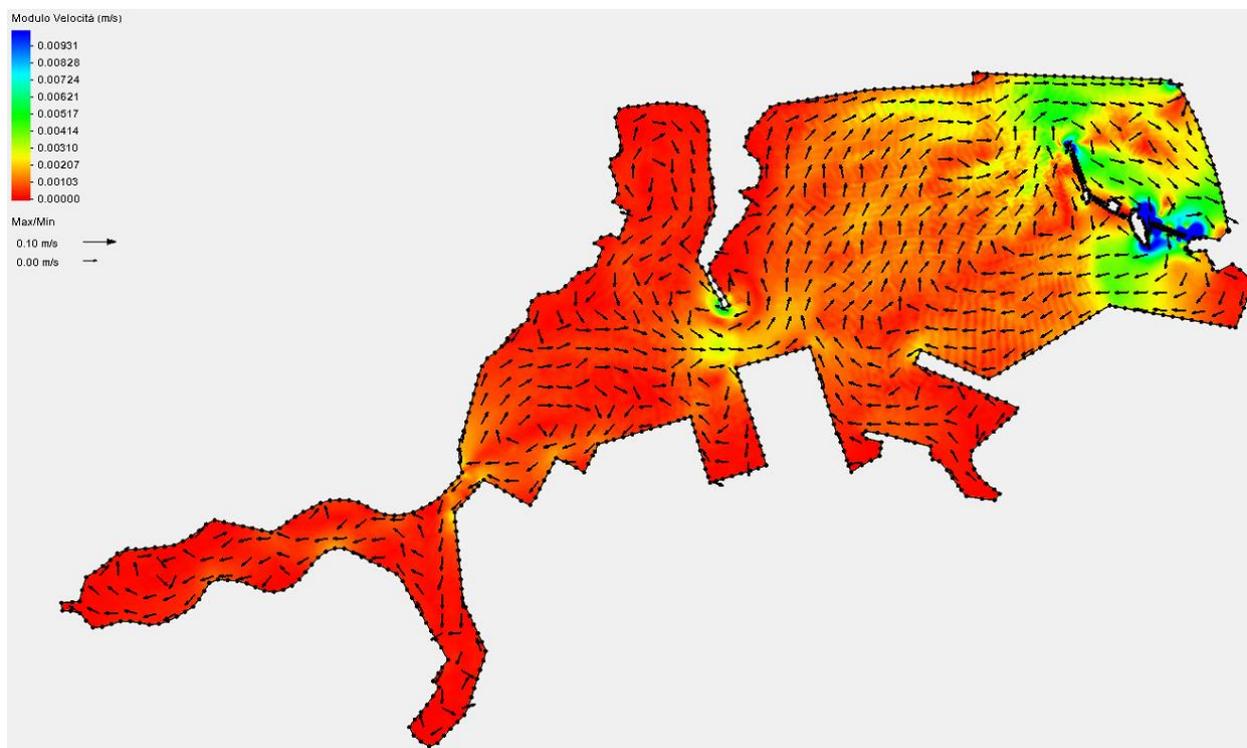
• CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Figura 2.11 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 21.00 (inversione del flusso).

ORE 24:00 (fase di flusso)

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**

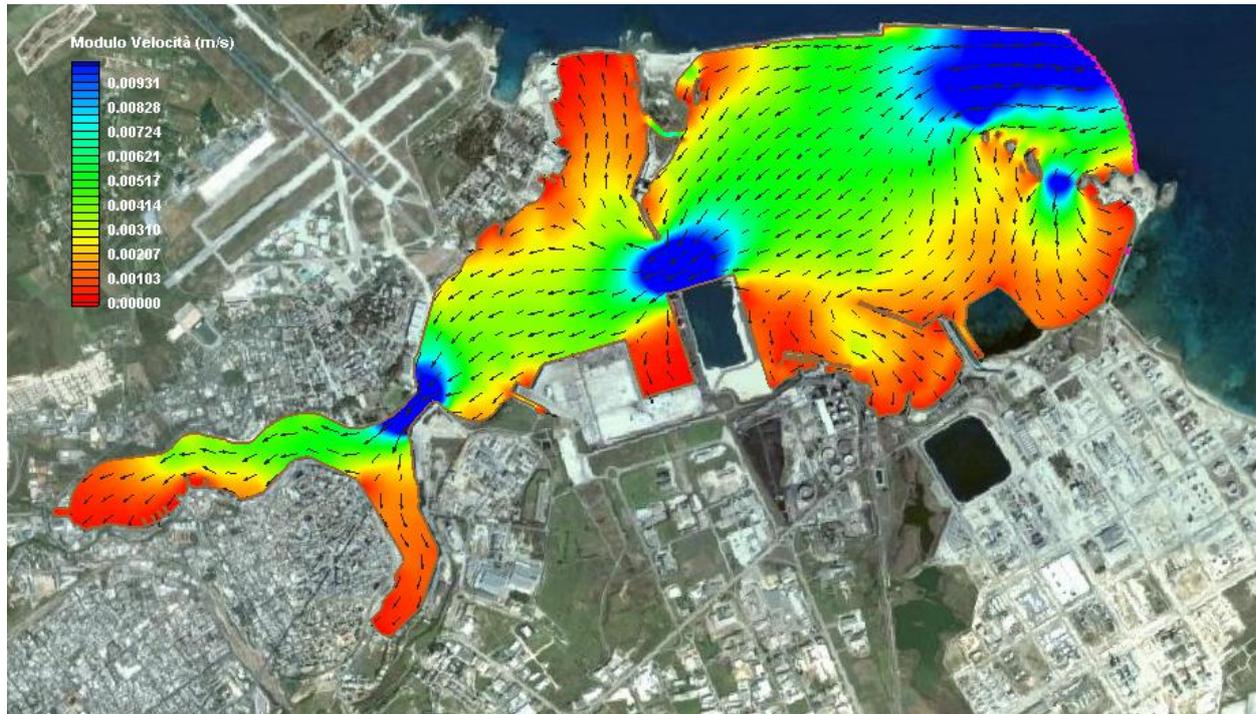


Figura 2.12 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 24.00 (fase di flusso).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

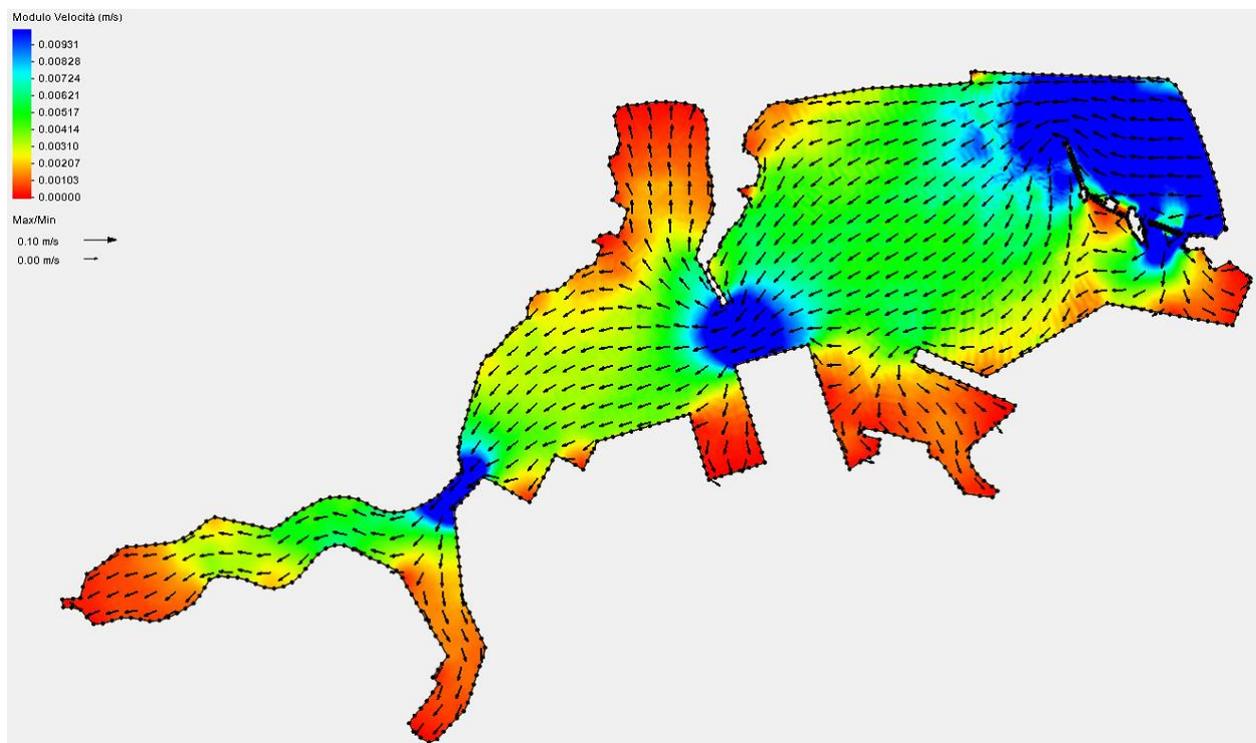


Figura 2.13 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 24.00 (fase di flusso).

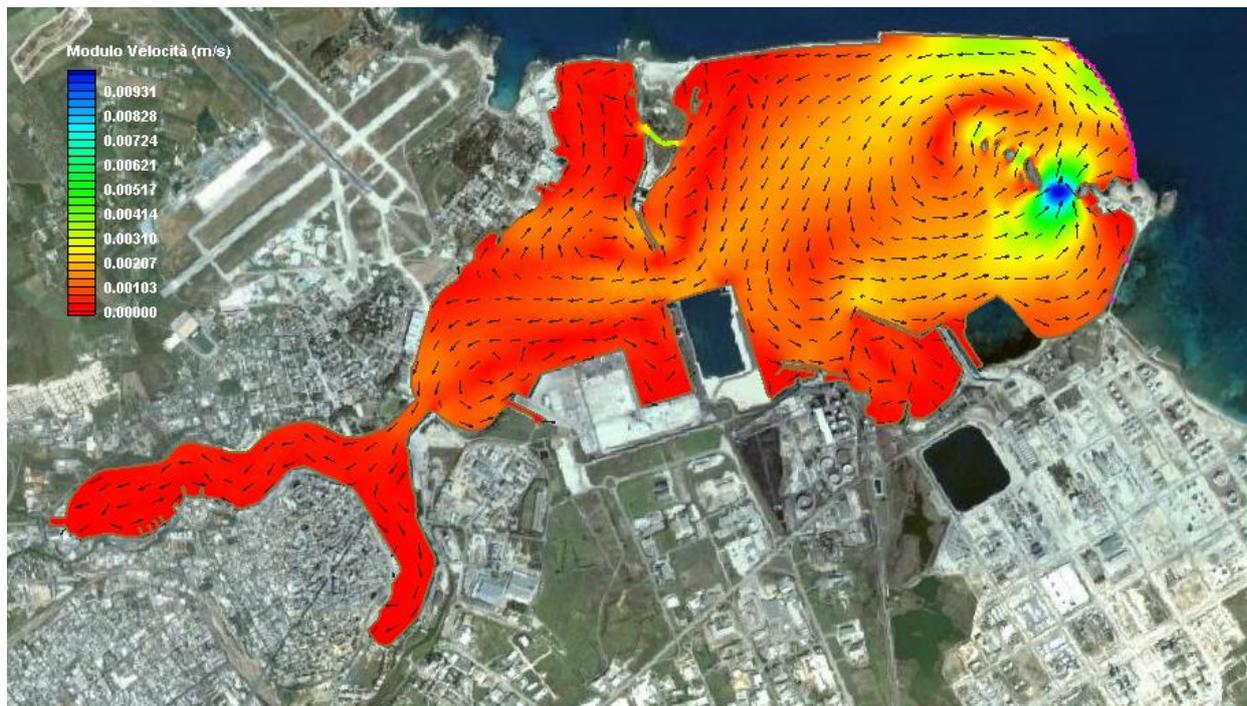
ORE 03:00 (inversione del flusso)**• CONFIGURAZIONE ATTUALE**

Figura 2.14 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 03:00 (inversione del flusso).

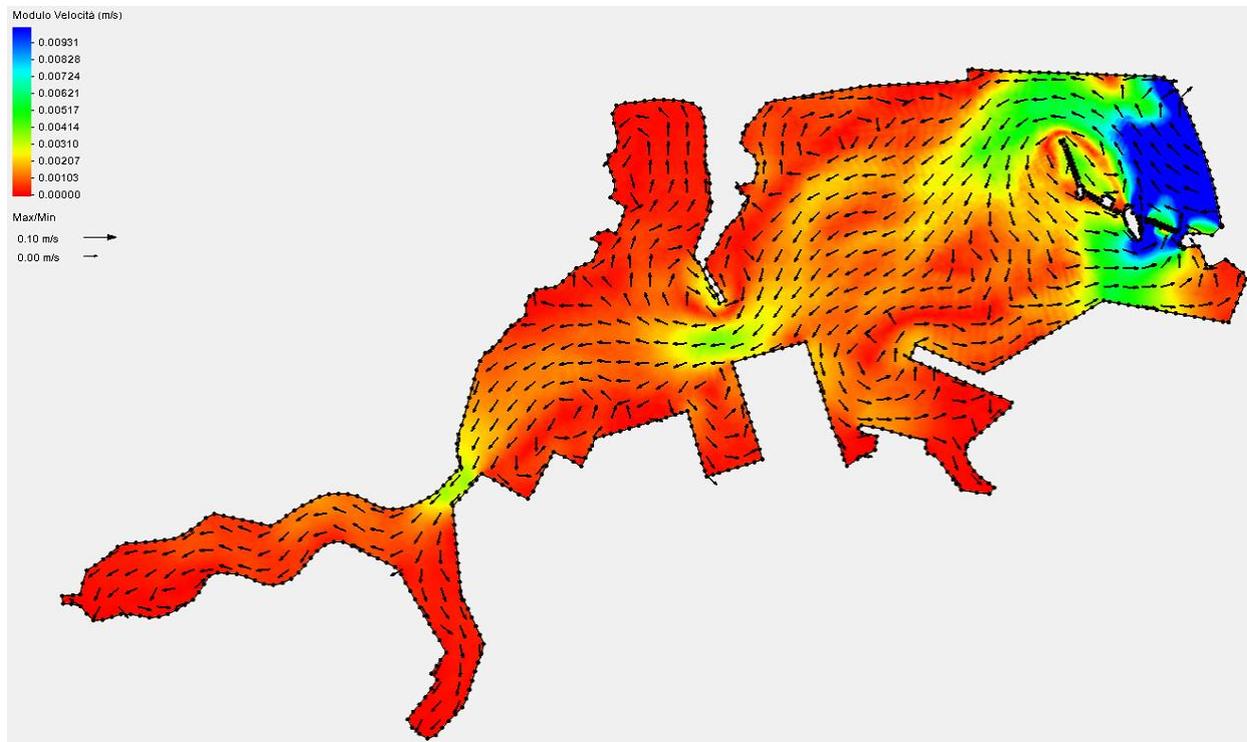
• CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Figura 2.15 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 03:00 (inversione del flusso).

ORE 06:00 (fase di riflusso)

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**

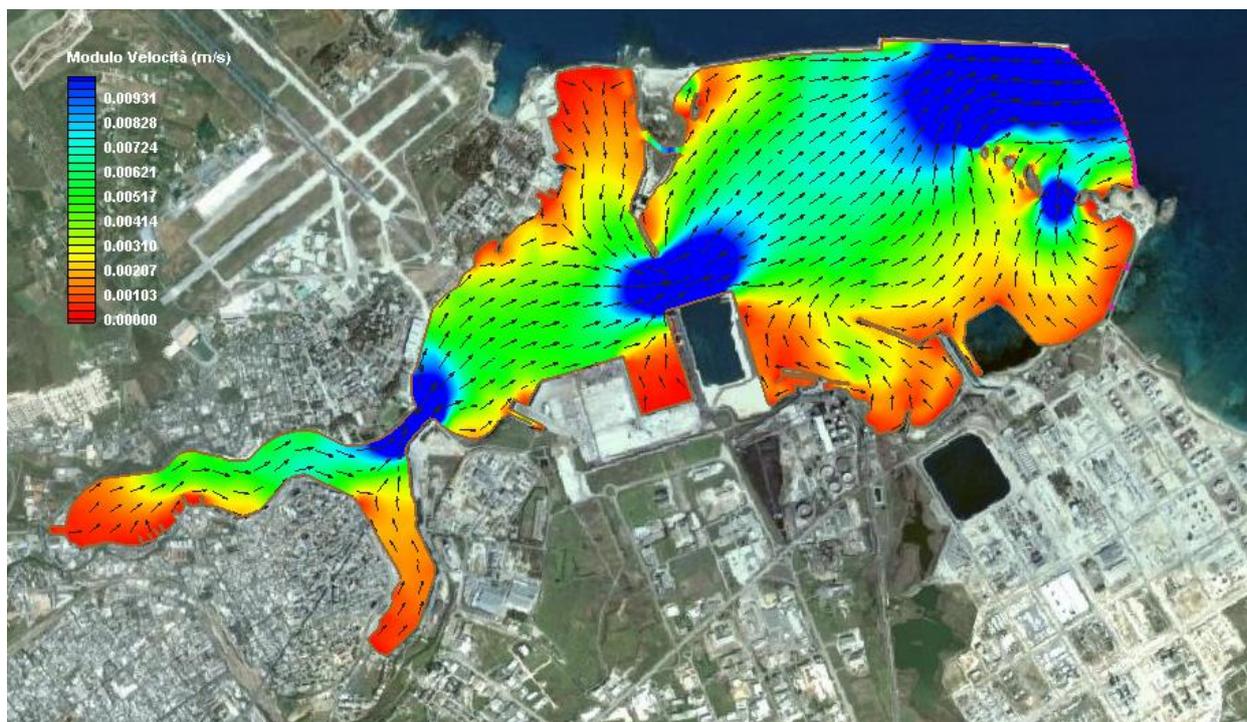


Figura 2.16 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 06:00 (fase di riflusso).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

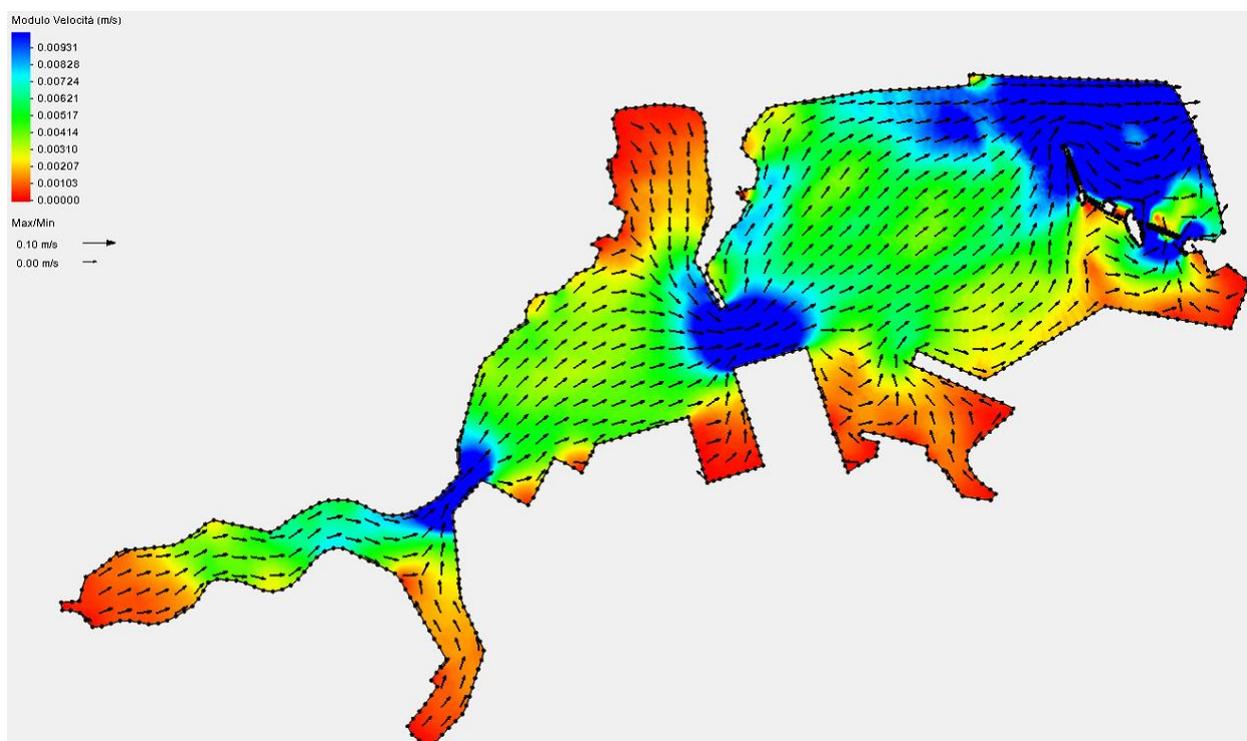


Figura 2.17 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 06:00 (fase di riflusso).

ORE 09:00 (inversione del flusso)

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**

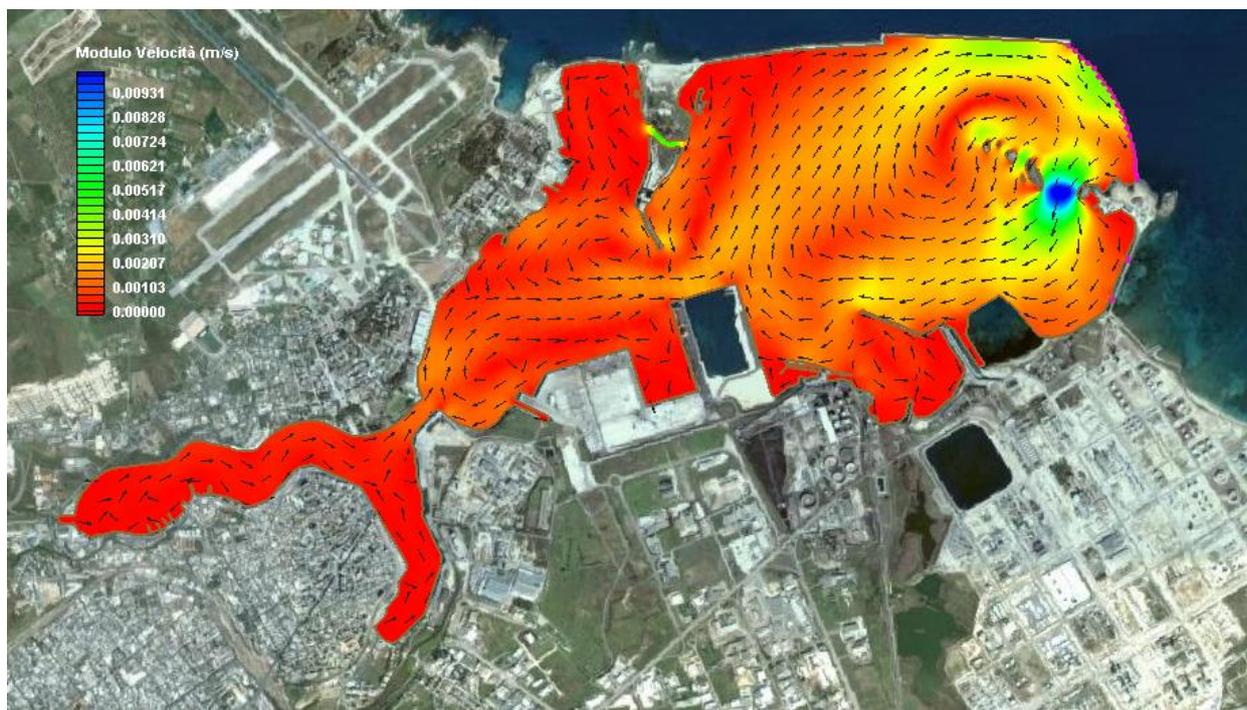


Figura 2.18 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 09:00 (inversione del flusso).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

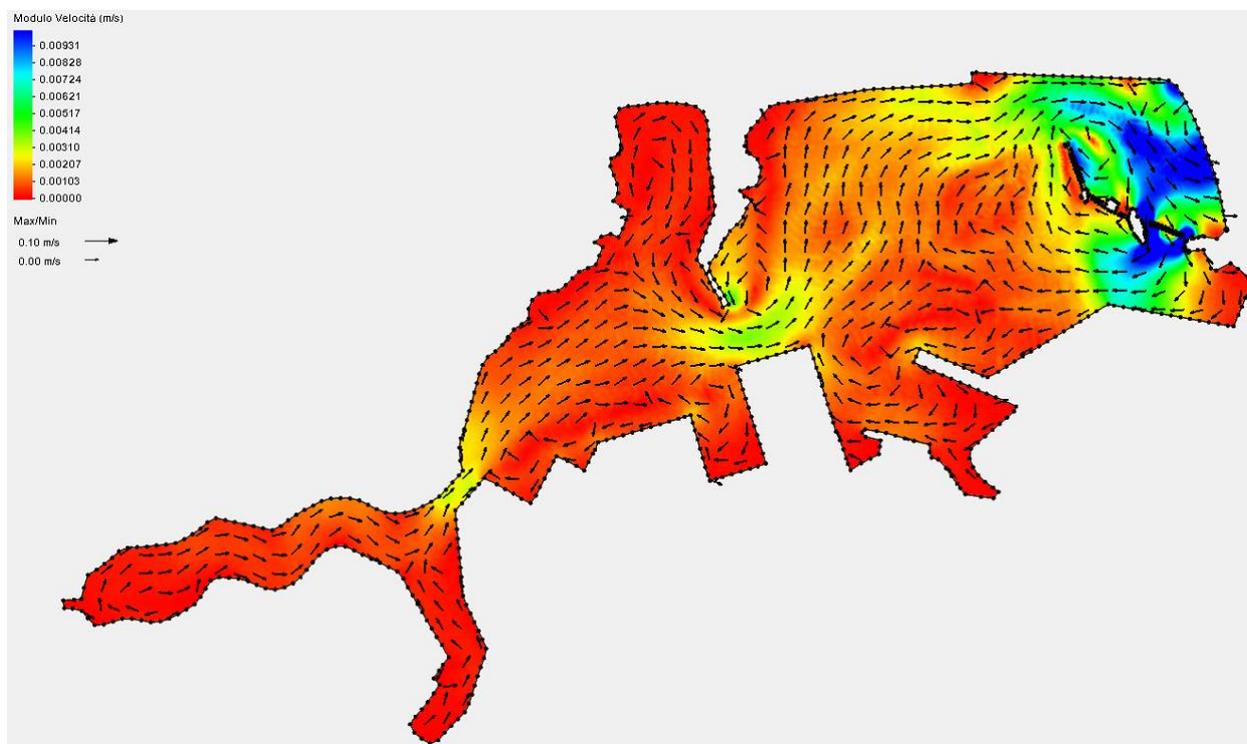


Figura 2.19 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 09:00 (inversione del flusso).

ORE 12:00 (fase di flusso)

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**

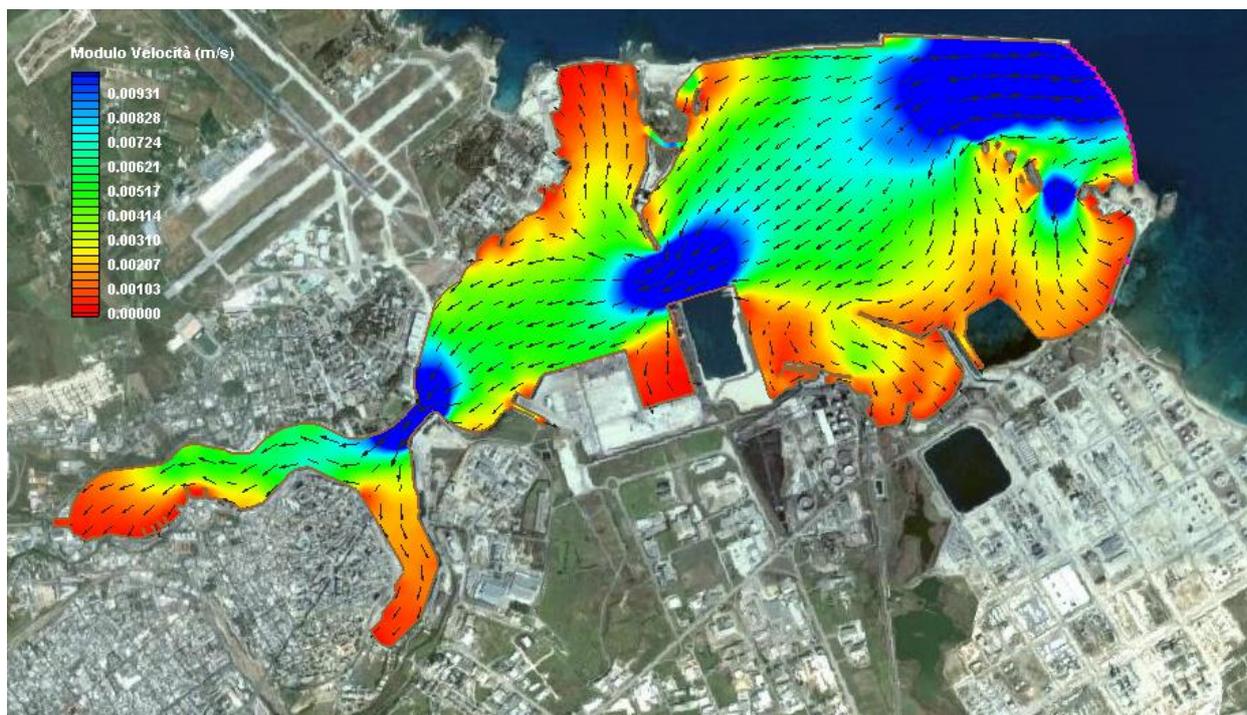


Figura 2.20 – Configurazione attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 12:00 (fase di flusso).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

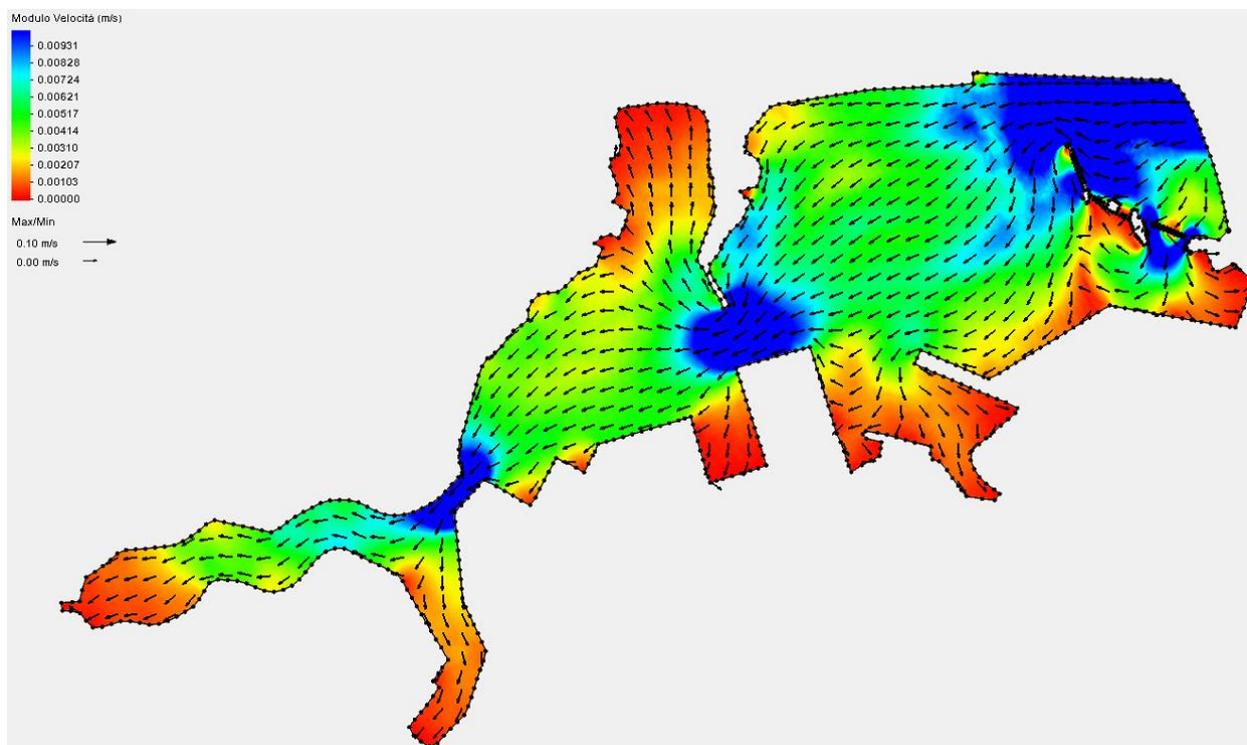


Figura 2.21 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 12:00 (fase di flusso).

3 VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE

Con lo scopo di verificare la qualità delle acque all'interno dell'ampio bacino del porto di Brindisi, sia nella configurazione attuale che in quella di progetto, è stata valutata la capacità di ricambio idrico con riferimento al decadimento dell'ossigeno disciolto che si verifica in 5 giorni di cicli di marea.

A tal fine i risultati relativi ai campi idrodinamici definiti con la serie di simulazioni condotte tramite il modello RMA2 sono stati utilizzati per simulare la variazione della concentrazione di ossigeno disciolto utilizzando il modulo di calcolo RMA4, anch'esso parte della suite degli applicativi del modello SMS, in grado di risolvere l'equazione di dispersione/diffusione e decadimento.

Per le configurazioni prese in esame è stato quindi possibile, attraverso l'applicazione del modello SMS, con un passo temporale di 30 minuti e su un periodo totale di 120 ore di simulazione, studiare le variazioni temporali della concentrazione di ossigeno nelle acque all'interno dei bacini portuali.

Le simulazioni sono state effettuate considerando una concentrazione iniziale per tutto lo specchio acqueo discretizzato pari a 5.0 mg/l ed una legge di decadimento di tipo esponenziale ($C(t) = C(t_0)e^{-kt}$, assumendo come coefficiente di decadimento un valore pari a $k = 1.0$). Inoltre si è imposto come condizione al contorno, che lungo il dominio di frontiera che separa lo specchio portuale dal mare esterno si abbia una concentrazione di ossigeno disciolto costante e pari a 7.0 mg/l. Tale scelta è sicuramente conservativa. Nella realtà lungo le imboccature portuali si potranno riscontrare valori della concentrazione di ossigeno disciolto superiori a quelli assunti in ragione della marcata miscelazione operata dalle onde e dalle correnti marine.

I risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate (Figura 3.1÷Figura 3.16), nello schema attuale ed in quello di progetto, hanno mostrato che per entrambe le configurazioni prese in esame si creano delle zone di ristagno che determinano un sensibile decadimento della concentrazione di ossigeno.

ORE 15:00

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**

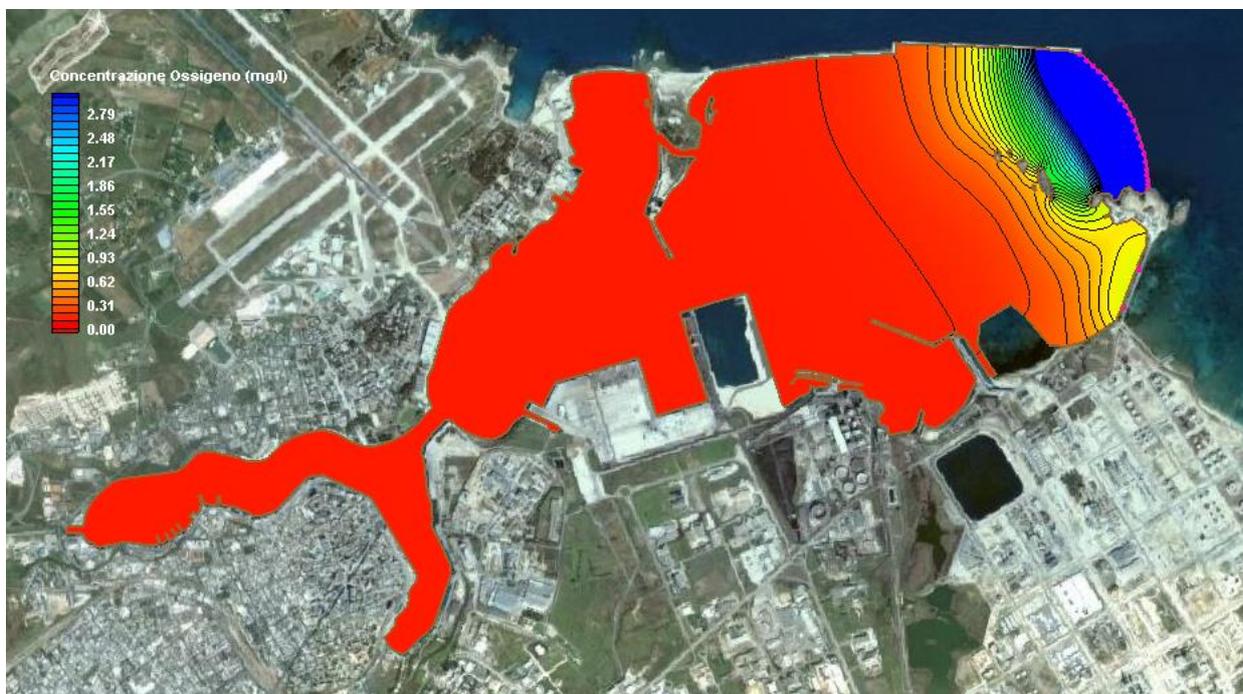


Figura 3.1 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 15.00 (valori in mg/l).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

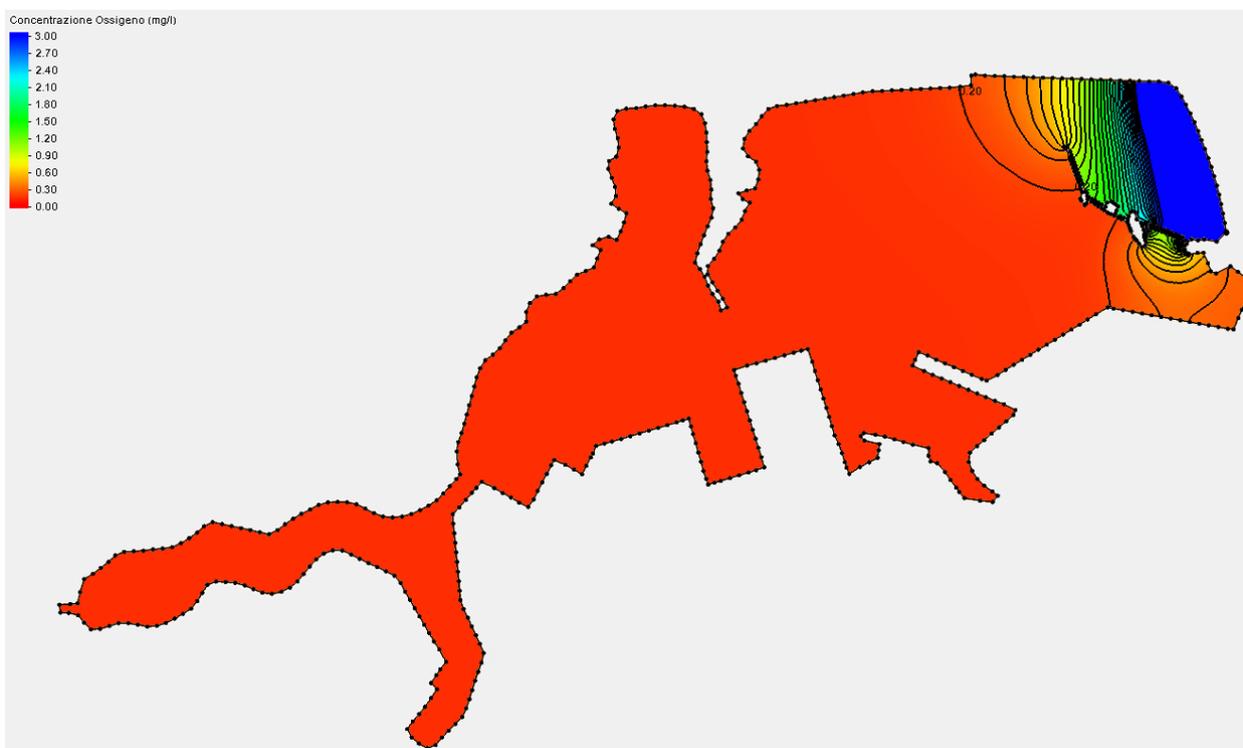


Figura 3.2 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 15.00 (valori in mg/l).

ORE 18:00

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**



Figura 3.3 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 18.00 (valori in mg/l).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

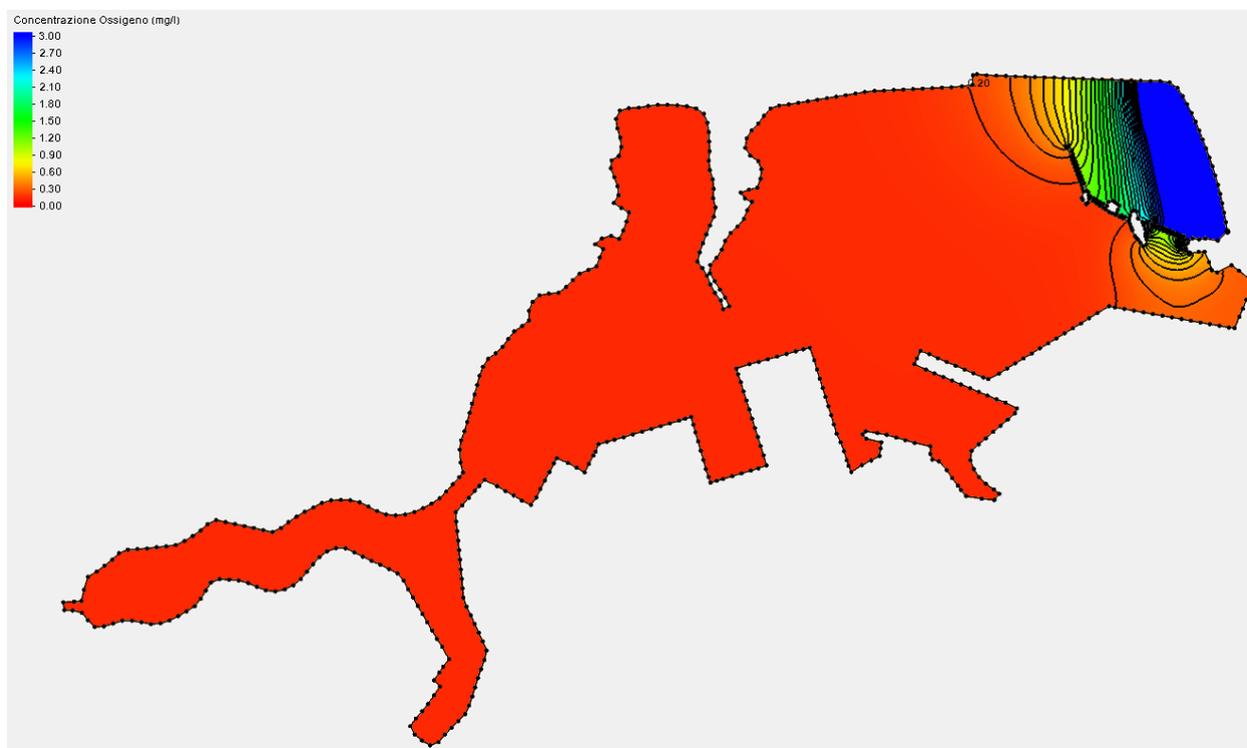


Figura 3.4 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 18.00 (valori in mg/l).

ORE 21:00

- CONFIGURAZIONE ATTUALE**



Figura 3.5 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 21.00 (valori in mg/l).

- CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

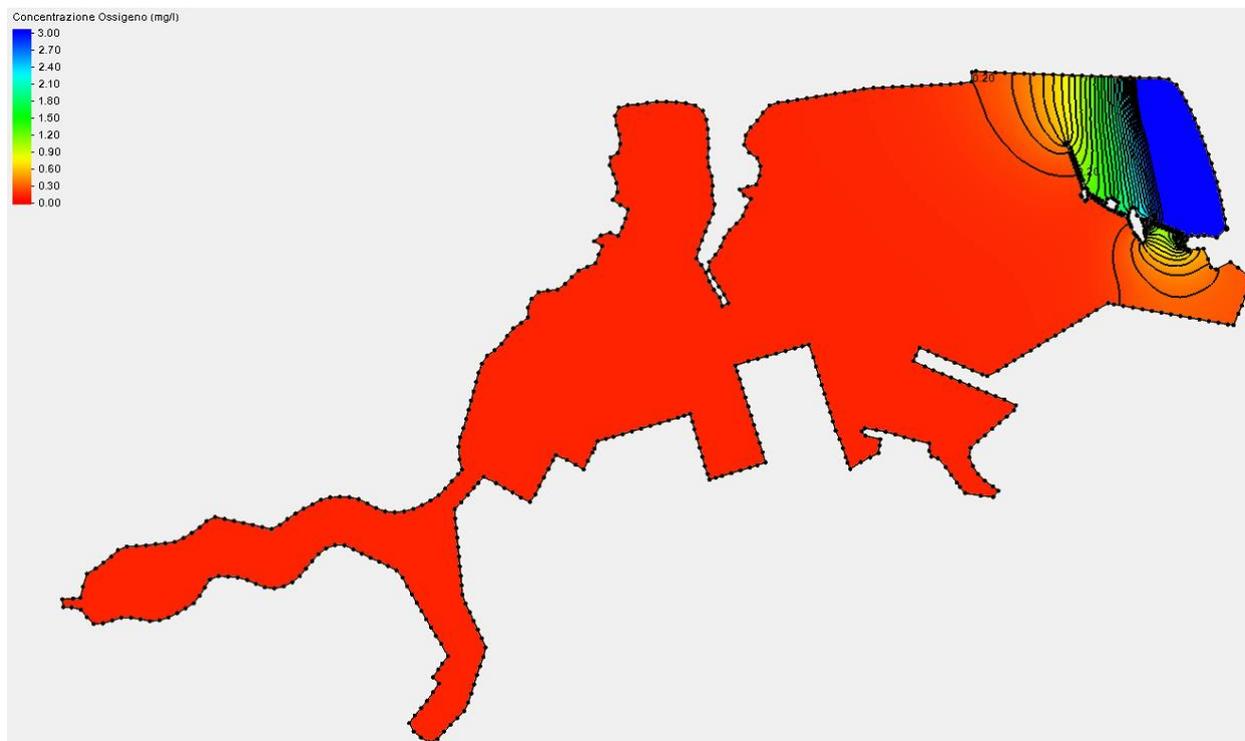


Figura 3.6 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 21.00 (valori in mg/l).

ORE 24:00

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**



Figura 3.7 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 24.00 (valori in mg/l).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

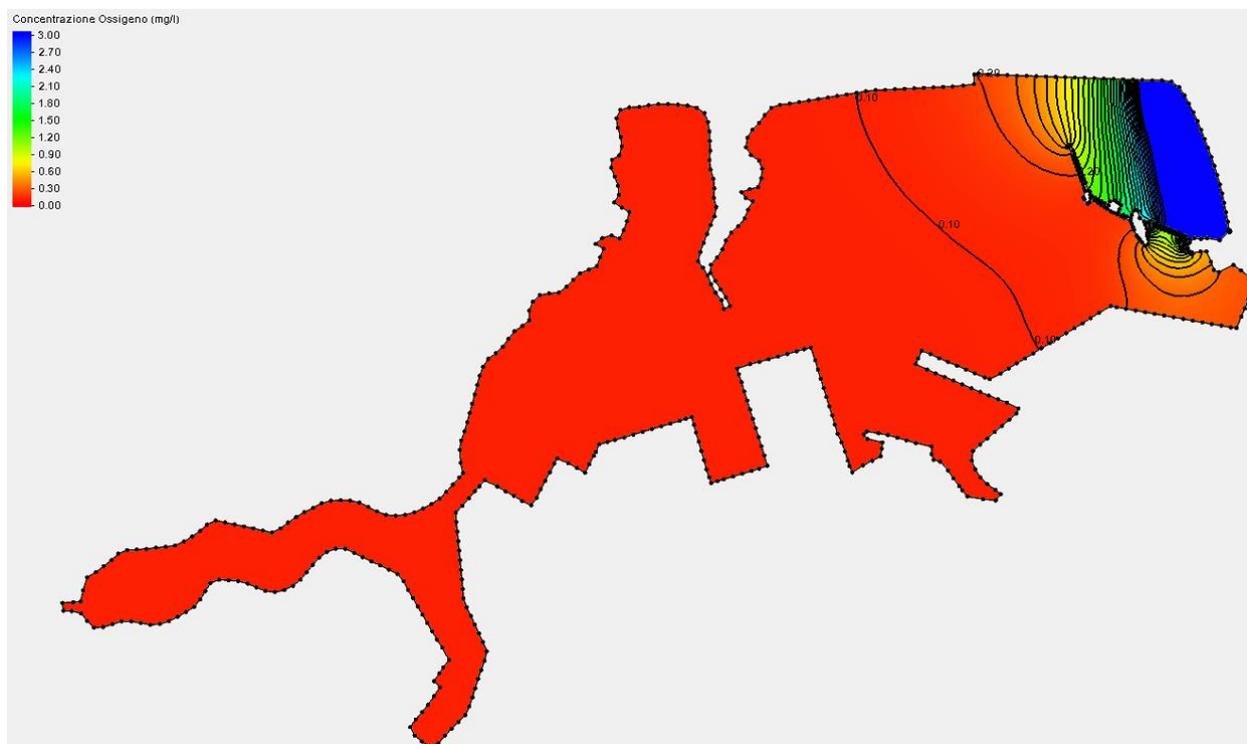


Figura 3.8 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 24.00 (valori in mg/l).

ORE 03:00

• CONFIGURAZIONE ATTUALE

Figura 3.9 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 03.00 (valori in mg/l).

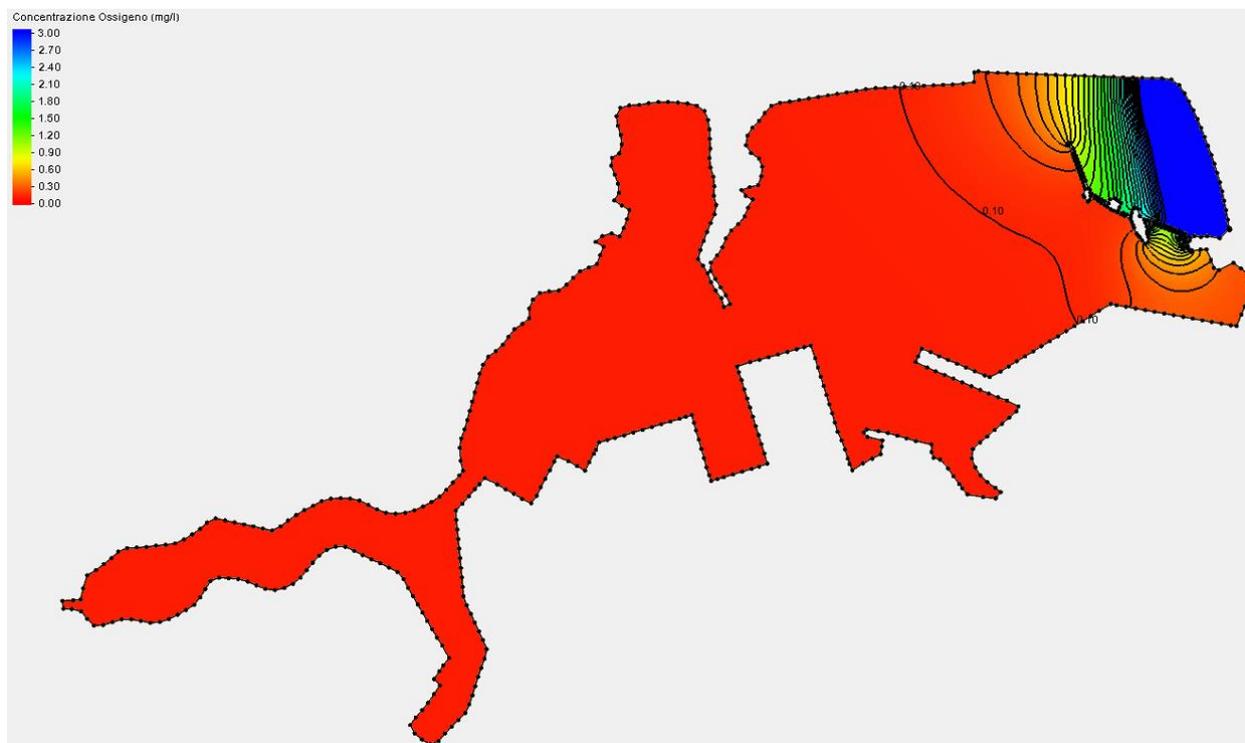
• CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Figura 3.10 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 03.00 (valori in mg/l).

ORE 06:00

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**



Figura 3.11 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 06.00 (valori in mg/l).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

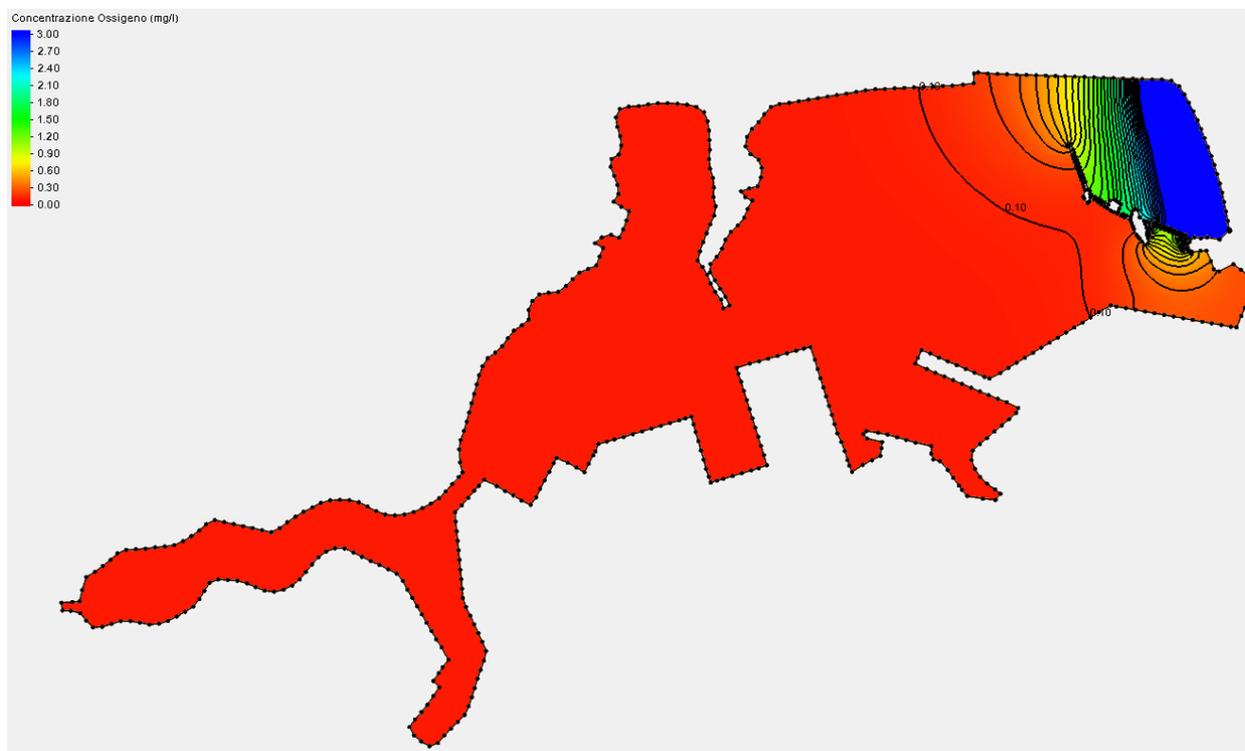


Figura 3.12 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 06.00 (valori in mg/l).

ORE 09:00

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**



Figura 3.13 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 09.00 (valori in mg/l).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

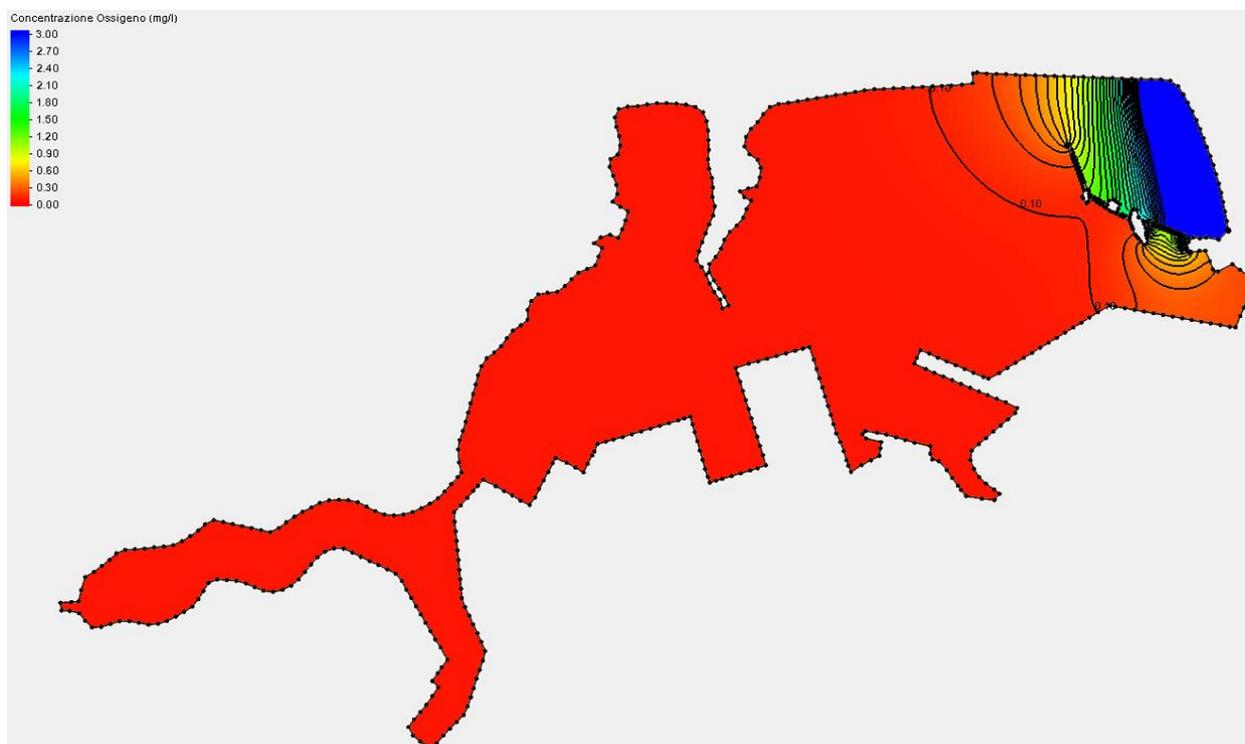


Figura 3.14 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 09.00 (valori in mg/l).

ORE 12:00

- **CONFIGURAZIONE ATTUALE**



Figura 3.15 – Configurazione attuale: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 12.00 (valori in mg/l).

- **CONFIGURAZIONE DI PROGETTO**

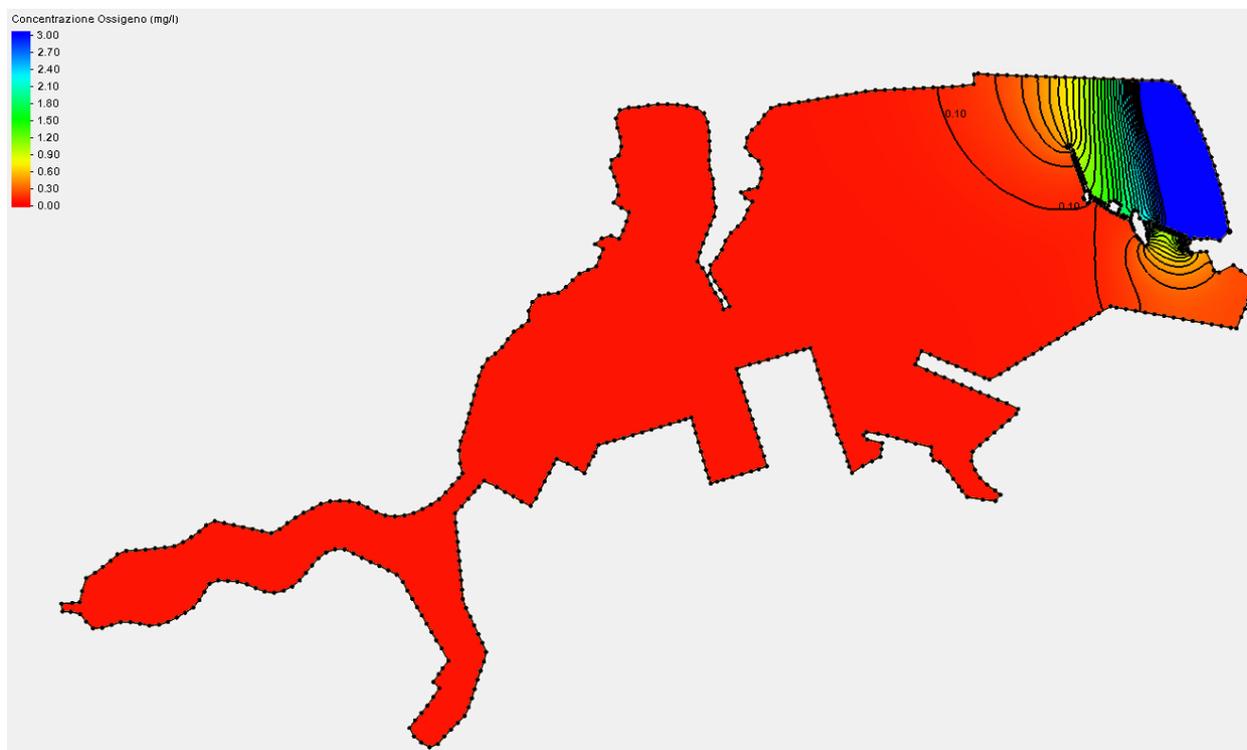


Figura 3.16 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto alle ore 12.00 (valori in mg/l).

4 CONCLUSIONI

A partire dai risultati ottenuti dallo studio della circolazione idrica all'interno del porto di Brindisi, sia nella configurazione attuale che in quella di progetto, è stato possibile ricavare l'andamento temporale della concentrazione di ossigeno sull'ampio specchio acqueo portuale relativo all'ultimo ciclo di marea.

È importante sottolineare che i risultati delle diverse simulazioni sono stati ottenuti considerando, come condizione di input per il modello SMS, la sola forzante mareale. Tale condizione rappresenta certamente lo scenario più gravoso ai fini della circolazione idrica portuale e quindi della qualità delle acque, in quanto non si tiene conto delle azioni del moto ondoso e del vento, le quali favoriscono il movimento delle masse d'acqua all'interno dell'intero bacino portuale.

Risulta pertanto evidente che i valori della concentrazione, ottenuti dalle diverse simulazioni, sono ampiamente cautelativi e non forniscono indicazioni quantitative sullo stato assoluto della qualità delle acque.

Peraltro il presente studio ha come obiettivo fondamentale quello di comparare lo scenario attuale con quello di progetto per un'oggettiva valutazione sull'eventuale influenza delle nuove opere sul campo idrodinamico in riferimento alla situazione attuale.

Confrontando quindi i risultati ottenuti per le configurazioni simulate, si evince che le nuove opere marittime proposte dal presente studio non condizionino negativamente la diffusione e la dispersione dell'ossigeno all'interno del bacino, lasciando pressoché inalterate le attuali condizioni organolettiche delle acque che costituiscono l'ampio bacino del porto di Brindisi.

5 APPENDICI

I) Descrizione del modello matematico SMS

Introduzione

Il sistema TABS è stato sviluppato dalla United States Army Engineering Waterways Experiment Station per simulare numerosi problemi idrodinamici in acque basse.

Il modello SMS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

I programmi contenuti nel pacchetto TABS possono essere usati per analizzare le variazioni di livello ed il campo di velocità per problemi idrodinamici in acque basse. Il TABS fornisce sia soluzioni in moto permanente che in moto vario, in altre parole la soluzione può trovarsi sia per istanti di tempo che per una serie di passi temporali.

I programmi del pacchetto TABS contengono, inoltre, un codice per la simulazione della diffusione di inquinanti, dell'erosione e del trasporto solido.

In una tipica applicazione, SMS viene utilizzato per costruire un reticolo agli elementi finiti della regione simulata e per applicare condizioni al contorno. Le informazioni che descrivono le griglie vengono quindi salvate in un file geometrico ed in uno o più file in cui sono contenute le condizioni al contorno.

Il software TABS è quindi utilizzato per eseguire analisi idrodinamiche attraverso simulazioni numeriche. Le soluzioni creano uno o più file contenenti, tra le altre cose, i livelli di superficie idrica e il campo di velocità in ciascun nodo della griglia presa in esame. Questi file soluzione possono essere introdotti nel modello SMS che consente una loro visualizzazione sotto forma di grafici vettoriali a colori, corredati, se necessario, dell'andamento temporale delle differenti grandezze di interesse.

Il modello SMS può essere utilizzato, anche, come un pre e post processore per altri programmi agli elementi finiti, purché questi programmi siano compatibili con i formati utilizzati. Il modello SMS è idoneo per la costruzione di griglie grandi e complesse (potendo raggiungere anche centinaia di elementi) di forma arbitraria.

L'intero pacchetto software è disponibile a livello commerciale ed è provvisto del manuale per l'utente.

I due componenti principali del sistema TABS, il codice RMA-2 per la determinazione del campo idrodinamico ed il codice RMA-4 per l'individuazione della concentrazione dell'ossigeno disciolto, vengono descritte di seguito.

Codice RMA-2

Il cuore del sistema TABS è rappresentato dal programma RMA-2 per la simulazione di moti a superficie libera. L'RMA-2 è un programma bidimensionale agli elementi finiti per la soluzione di problemi idrodinamici, che fornisce risultati mediati sulla verticale.

Originariamente, l'RMA-2 è stato sviluppato da Norton ed altri (1973) della Resource Management Associates, Inc. di Davis, in California. Diverse modifiche al codice originale sono state fatte da alcuni ricercatori della Waterway Experiment Station (Thomas e McAnally, 1991).

Applicazioni

L'RMA-2 può essere utilizzato per calcolare i livelli di superficie idrica e il campo di velocità nei punti nodali di una griglia agli elementi finiti che rappresenta un corpo d'acqua come ad esempio un fiume, un porto o un estuario.

L'RMA-2 può fornire soluzioni sia in moto permanente che in moto vario. In altre parole, le condizioni al contorno (portata entrante, livelli di superficie idrica) variano nel tempo e la soluzione si può trovare per un determinato numero di passi temporali. Ciò rende possibile la simulazione di condizioni dinamiche per le correnti causate da portate variabili o cicli mareali. L'RMA-2 non è applicabile a problemi con correnti supercritiche.

L'output dell'RMA-2 viene registrato in un file soluzione binario. Il file può contenere la soluzione di uno o più passi temporali, in funzione del fatto che sia stata eseguita un'analisi stazionaria o transitoria. Il file soluzione può essere introdotto nel processore grafico SMS per una rappresentazione grafica dei risultati.

Equazioni utilizzate

Le equazioni che governano il moto delle acque poco profonde, risolte dall'RMA-2, sono le seguenti:

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

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

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

Dove:

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT^{-1}]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT^{-1}]

t = tempo [T]

g = accelerazione dovuta alla gravità [LT^{-2}]

h = profondità dell'acqua [L]

a_0 = quota del fondo [L]

ρ = densità del fluido [ML^{-3}]

ε_{xx} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione x [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{xy} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione x [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{yx} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{yy} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

C = coefficiente di scabrezza di Chezy (derivato dal coefficiente di Manning n) [$L^{2/3}T^{-1}$]

RMA-4

L'RMA-4 è la parte del sistema TABS utilizzata per la simulazione della diffusione dell'ossigeno disciolto e per il trasporto di inquinanti. Utilizza la soluzione idrodinamica dell'RMA-2 per definire un campo di velocità per una data griglia. Inoltre legge un insieme di condizioni specificati dall'utente come input. Tali condizioni sono specificate come valori di massa o concentrazione e da tassi di decadimento per ciascun componente. L'RMA-4 quindi simula la diffusione e/o dissipazione del costituente per un dato numero di passi temporali.

L'output dell'RMA-4 è registrato in un file soluzione binario. Il file soluzione può essere introdotto nell'SMS per una rappresentazione grafica dei risultati.

Equazioni utilizzate

L'equazione che governa la convezione-diffusione risolta dall'RMA-4 è la seguente:

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

Dove:

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT^{-1}]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT^{-1}]

t = tempo [T]

c = concentrazione del costituente [ML^{-3}]

D_x = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione x [L^2T^{-1}]

D_y = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione y [L^2T^{-1}]

σ = sorgente o uscita locale del costituente [$MT^{-1}L^{-2}$]

k = tasso di decadimento del costituente [T^{-1}]

Processo di Simulazione

In un tipico problema di simulazione con il software TABS, la sequenza di operazioni per effettuare le simulazioni viene eseguita secondo una specifica sequenza. Ciascuno di questi passi viene brevemente descritto di seguito.

Costruzione della griglia

Anzitutto deve essere costruita una griglia agli elementi finiti che descriva la batimetria (geometria della superficie del fondo) del corpo d'acqua che deve essere simulato. I dati geometrici nella forma di coordinate xyz vengono inseriti in SMS ed usati come base per la costruzione di una griglia agli elementi finiti.

Nei casi in cui è disponibile una carta delle isobate, i punti possono essere digitalizzati dalle linee isobate e introdotti nell'SMS per la costruzione della griglia. Se non si dispone di una batimetria possono essere utilizzati rilievi o misure di indagini dirette.

Il software SMS è provvisto di numerosi strumenti per la generazione di una griglia e per l'editing interattivo. Questi strumenti sono descritti più dettagliatamente nel tutorial e nel manuale di riferimento. La geometria della griglia viene salvata dall'SMS in un file di testo di tipo ASCII.

Condizioni al contorno

Una volta costruita la griglia l'utente assegna le condizioni al contorno alla griglia. Le condizioni al contorno vengono usualmente introdotte come una portata entrante ad una estremità della griglia e come una prevalenza o un livello di superficie idrica all'estremità opposta della griglia. L'utente deve anche introdurre il coefficiente di Manning n ed i coefficienti di scambio turbolento per differenti regioni della griglia. Tutti questi parametri possono essere introdotti interattivamente utilizzando il software SMS. Le condizioni al contorno vengono salvate dall'SMS in un file di testo ASCII distinto dal file geometrico, ma comprendente le indicazioni in esso contenute.

GFGEN

Una volta costruita la griglia, viene eseguito il programma GFGEN prima di effettuare le simulazioni con l'RMA-2. Il GFGEN è un pre processore geometrico propedeutico per l'RMA-2. Il

GFGEN legge il file di testo ASCII che descrive la geometria e lo valida e quindi lo trasforma in un equivalente file binario.

RMA-2

Il passo successivo nel processo di simulazione è quello di effettuare le simulazioni con il programma RMA-2. L'RMA-2 legge il file di testo ASCII con l'indicazione delle condizioni al contorno e il file geometrico binario preparato precedentemente dal programma GFGEN. A questo punto il programma RMA-2 calcola la soluzione idrodinamica nei differenti punti della griglia considerata e genera un file soluzione binario da introdurre nel processore grafico dell'SMS.

Post-processing con l'SMS

Dopo aver effettuato le simulazioni con il programma RMA-2, i risultati devono essere osservati con il processore grafico SMS. Il software SMS consente di visualizzare i diagrammi vettoriali della velocità e grafici a colori sia della velocità che del livello idrico superficiale. Per le soluzioni transitorie si può generare l'andamento temporale per i nodi selezionati e le sequenze di animazione. Prima di visualizzare la soluzione idrodinamica, l'utente deve verificare che i risultati siano congruenti con la realtà fisica. Se necessario deve essere ridefinita in dettaglio la griglia oppure devono essere modificati i coefficienti di input e successivamente deve essere effettuata una nuova soluzione.

Validazione

In molti casi, l'RMA-2 viene utilizzato per simulare l'effetto di una nuova struttura sull'idrodinamica di un corpo d'acqua. In genere, in tali casi si segue l'intero processo sopra descritto con una griglia che rappresenta il corpo d'acqua nello stato attuale. Una volta che il modello è stato tarato (confrontandolo con misure o indagini disponibili), SMS può essere utilizzato per modificare la griglia in modo tale che essa rappresenti le condizioni successive alla realizzazione della struttura presa in esame. L'RMA-2 viene quindi utilizzato ancora una volta per simulare l'effetto della nuova struttura sull'idrodinamica, in modo da verificare le modifiche indotte sul campo idrodinamico.

RMA-4

Viene utilizzato quando si esegue uno studio del trasporto di un inquinante o la diffusione dell'ossigeno disciolto con l'RMA-4. È necessario preliminarmente determinare la soluzione idrodinamica usando l'RMA-2 come sopra descritto. L'insieme delle velocità di corrente che risulta da questa analisi viene utilizzato insieme con quello delle fonti puntuali d'inquinamento per simulare il trasporto di inquinanti con l'RMA-4.