

COMUNE DI ROMA LIDO DI OSTIA

COMUNE DI ROMA DIPARTIMENTO IX litiche di Attuazione degli Strumenti Urbanistici

1 8 FEB 2010 10588

PORTO DI ROMA PROGETTO DI AMPLIAMENTO



PROGETTO DEFINITIVO

0	Febbraio 2010	EMISSIONE				
INDICE	DATA	MODIFICHE		DISEGNATO	CONTROLLATO	APPROVATO
CONCE	SSIONARIO:	rilzzate	PROGETTAZION	E:		
PORTO TURISTICO DI ROMA s.r.l. Largo del Porto di Roma 5 - Ostia Lido 00121 ROMA PORTO TURISTICO DI ROMA PORTO TURISTICO DI ROMA			Via Monte Zebio 40 - 00195 ROMA Viale Parioli 60 - 00197 Roma Il Direttore Tecnico (Prof. Ing. Alessandro Togna) (Ing. Plassimo Vitellozzi)			
146	PROGETTO 1009SEA	ELABORATO SCALA R 009 borato con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi ser	E QU		ZIONE PORT	

STUDIO DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA PORTUALE E QUALITA' ACQUE INTERNE

INDICE

1	PREMESSE, METODOLOGIA E RISULTATI	3
2	CIRCOLAZIONE IDRICA PORTUALE	6
2.1	Applicazione dei sistema di modellazione SMS	6
2.2	Discretizzazione dello specchio liquido	6
2.3	Definizione delle condizioni al contorno	8
2.4	Risultati delle simulazioni idrodinamiche	9
2.5	Verifica della qualità delle acque all'interno del dispositivo portuale	22
3	APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS	36
3.1	Introduzione	36
3.2	Codice RMA-2	37
3.3	Applicazioni	37
3.4	Equazioni utilizzate	37
3.5	RMA-4	38
3.6	Equazion utilzzate	38
3.7	Processo di Simulazione	39
3	2.7.1 Costruzione della griglia	39
3	2.7.2 Condizioni al contorno	39
3	2.7.3 GFGEN	40

3.7.4	RMA-2	. 40
3.7.5	Post-processing con il SMS	. 40
3.7.6	Validazione	. 41
3.7.7	RMA-4	. 41

1 PREMESSE, METODOLOGIA E RISULTATI

Il presente rapporto riguarda lo studio idrodinamico eseguito ai fini dell'analisi del ricambio idrico per la nuova configurazione portuale proposta dal presente progetto definitivo per l'ampliamento del porto turistico di Roma.

Lo studio è stato condotto (ai sensi del D.M. 14/4/1998) 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 meteo marino, si è assunta una marea di tipo semi-diurno con altezze pari a 0.4 m e 0.3 m.

E' stato dapprima analizzato il campo idrodinamico all'interno dei bacini che costituiscono il porto di Roma nella configurazione di progetto definitivo in presenza della forzante mareale e dell'attuale impianto di miscelazione (Figura 1.1). Sulla base del campo idrodinamico calcolato, è stata poi 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 hanno mostrato che in corrispondenza delle darsene poste nelle parti più interne si creano delle zone di ristagno che, nonostante l'attuale sistema di miscelazione forzata, determinano un sensibile decadimento della concentrazione di ossigeno.

Ciò è da imputare al fatto che tre dei quattro miscelatori installati nell'attuale porto di Roma, che prevedevano l'immissione di acqua prelevata dall'esterno dei bacini portuali, nella nuova configurazione prevista dal presente progetto vengono a collegare il nuovo bacino con i vecchi, creando quindi solo una circolazione forzata senza ricambio idrico dall'esterno.

E' stato pertanto dimensionato e verificato un ulteriore sistema di pompaggio ad integrazione dell'esistente (Figura 1.2), in modo tale da garantire il ricambio idrico degli specchi acquei interni immettendo acqua prelevata dall'esterno dei bacini portuali ; nel contempo l'impianto esistente è stato ottimizzato in relazione alla circolazione idrica portuale ed alla capacità di ricambio dell'intero dispositivo portuale.

In relazione a tale nuova configurazione dell'impianto di ricambio delle acque interne è stata condotta una seconda sere di simulazioni con l'obiettivo di determinare:

- le posizioni ottimali e le relative portate dei nuovi miscelatori (mixer) da installare;
- i tempi di attivazione dei mixer rispetto alle fasi mareali (flusso e riflusso).

I risultati ottenuti mostrano che la soluzione ottimale è costituita dall'inserimento di ulteriori 4 miscelatori, aventi le stesse caratteristiche di quelli attualmente installati all'interno del porto (portata

di 500 l/s), e dall'inversione del flusso di tre dei quattro miscelatori presenti che, in seguito al collegamento dei vecchi bacini portuali con il nuovo, non immetteranno più acqua all'interno dei vecchi bacini ,bensì forzeranno la circolazione verso l'esterno del porto con conseguente incremento della capacità di ricambio idrico.

Tale sistema di miscelazione, durante i periodi di scarso ricambio idrico naturale (assenza di vento) tipici delle situazioni di alta pressione estiva, dovrà essere attivato per circa 3 ore al giorno durante una fase di riflusso della marea.

Ciò consente di ottenere buone condizioni di concentrazione di ossigeno disciolto anche nelle condizioni meteomarine più sfavorevoli ai fini della circolazione idrica (assenza di vento e di moto ondoso).

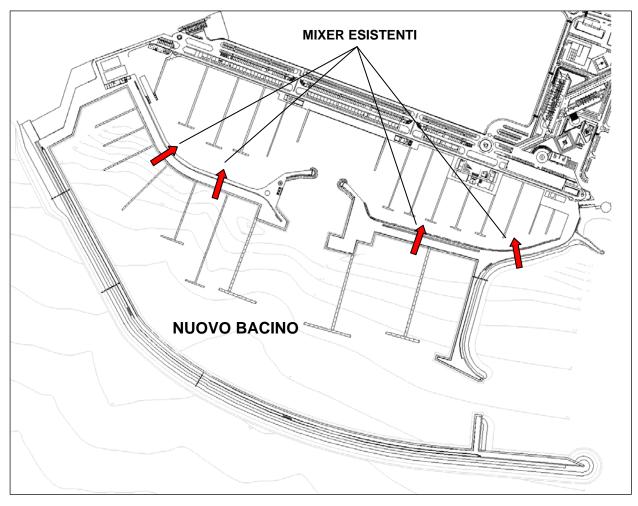


Figura 1.1 - Configurazione di progetto del nuovo porto di Roma ed attuale ubicazione dei miscelatori (portata 500 l/s)

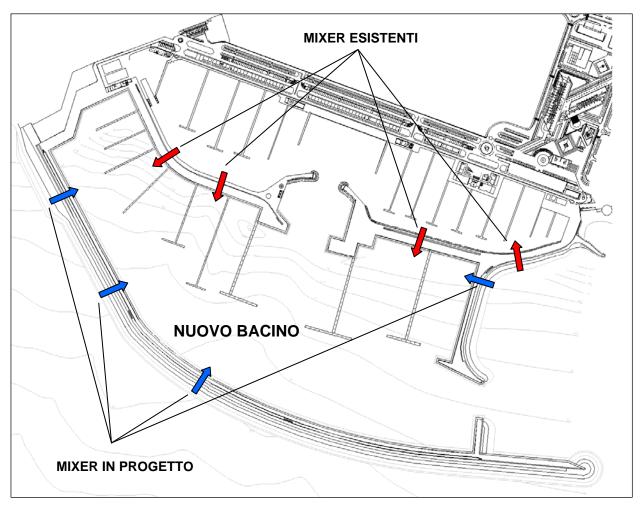


Figura 1.2 – Nuova configurazione ed ubicazione dei miscelatori (portata 500 l/s) all'interno del nuovo porto di Roma

2 CIRCOLAZIONE IDRICA PORTUALE

Per la verifica del campo idrodinamico che contraddistingue il nuovo porto di Roma é stato esaminato lo scenario che prevede come forzanti idrodinamiche naturali del sistema, in via cautelativa, le variazioni di livello dovute alla sola marea astronomica.

Nei paragrafi successivi vengono ampiamente descritte le simulazioni condotte con il codice di calcolo numerico SMS ponendo particolare attenzione alle ipotesi di base nonché alle condizioni al contorno cui si è fatto riferimento.

2.1 Applicazione dei 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 postprocessor relative alle analisi ed alle 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, oltre alle oscillazioni del livello marino imposte lungo il contorno che rappresenta il limite della nuova imboccatura portuale, immissioni di acqua dall'esterno dei bacini portuali e variazioni sul campo di velocità generate da appositi impianti di miscelazione.

Per la configurazione presa in esame è stato quindi possibile, attraverso l'applicazione del modello SMS con un passo temporale di 30 minuti, studiare il campo idrodinamico all'interno del nuovo porto di Roma indotto dall'azione della marea e forzato da un opportuno sistema di pompaggio.

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 per la configurazione portuale da simulare.

A tal proposito (Figura 2.1), si è fatto riferimento alle planimetrie di progetto sulle quali vengono riportate le variazioni planimetriche relative allo schema portuale.

Nel dettaglio, il campo fluido é stato suddiviso nel modo seguente: griglia di calcolo costituita da 2075 elementi (di cui 443 triangolari e 1632 quadrilateri), per un totale di 6281 nodi di calcolo (Figura 2.2).

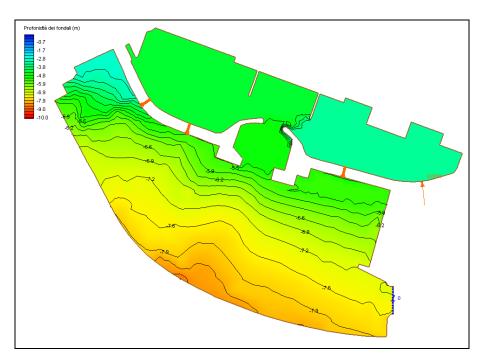


Figura 2.1 - Batimetria di riferimento

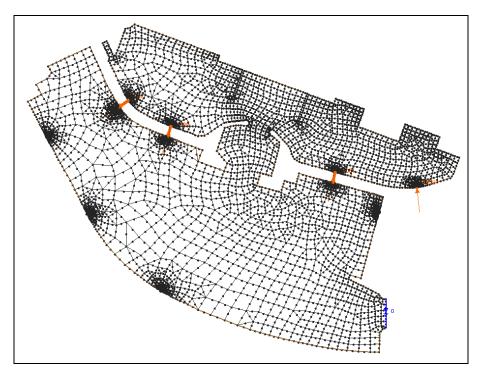


Figura 2.2 - Discretizzazione dello specchio liquido

2.3 Definizione delle condizioni al contorno

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

Nel dettaglio, lungo una linea di contorno posta sull'imboccatura portuale e che rappresenta le condizioni in mare aperto, sono state imposte le oscillazioni di marea in termini di variazioni del livello idrico.

Per quanto riguarda le oscillazioni del livello idrico, i dati imposti come condizioni al contorno, con un intervallo temporale tra i dati di mezz'ora, si riferiscono ad una marea di tipo semi-diurno con altezze pari a 0.4 m e 0.3 m per un intervallo temporale di 120 ore e 10 cicli di marea (Figura 2.3).

Per quanto riguarda il sistema di miscelazione, descritto in maniera dettagliata nelle premesse, le portate immesse in funzione del tempo all'interno dei bacini vengono di seguito riportate (Figura 2.4).

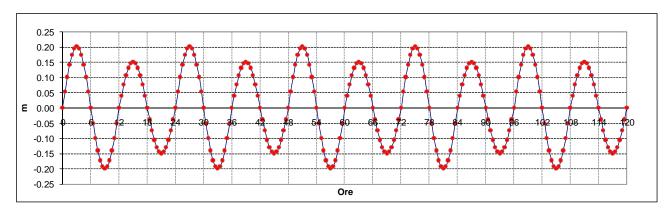


Figura 2.3 - Variazioni di livello considerate come condizioni al contorno per il modello SMS

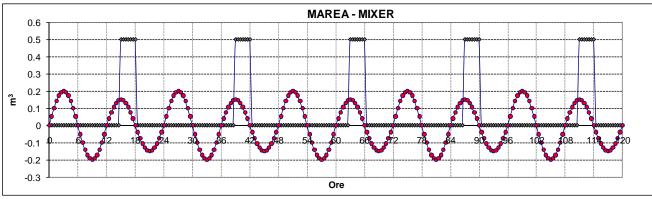


Figura 2.4 – andamento temporale dei livelli di marea e delle portate immesse all'interno dei nuovi bacini portuali simulati

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 poi sono state condotte diverse simulazioni con lo scopo di determinare dapprima il campo idrodinamico dovuto alle variazioni della marea astronomica ed al funzionamento dell'attuale sistema di pompaggio all'interno dei nuovi bacini portuali e successivamente di verificare per gli stessi bacini gli effetti benefici sulla qualità delle acque derivanti dall'istallazione di ulteriori dispositivi di miscelazione opportunamente dimensionati.

Nelle figure che vanno dalla Figura 2.5 alla Figura 2.28 è possibile verificare il campo di velocità all'interno del nuovo porto di Roma che si registra nelle varie fasi di marea; la scala di rappresentazione delle velocità (m/s) mostra che per le zone più interne del porto in esame, l'effetto di vivificazione dovuto alla sola marea ed all'attuale impianto di pompaggio ha una scarsa intensità (si determinano velocità inferiori a 0.001 m/s). Infatti, le condizioni idrodinamiche ottenute in queste simulazioni lasciano supporre livelli di qualità delle acque al limite dell'accettabilità, soprattutto nei periodi estivi, caratterizzati da temperature medie elevate e correnti litoranee basse, quando risultano esasperati i cicli biologici dei micro-organismi algali.

A tal fine, nella seconda serie di simulazioni condotte sono stati considerati altri quattro dispositivi, del tutto simili a quelli esistenti (portata 500 l/s), in grado di favorire la circolazione nelle aree più interne del nuovo porto di Roma.

In seguito a diverse considerazioni di carattere tecnico effettuate sulla fattibilità di tale impianto, a diverse ipotesi effettuate sugli schemi di posizionamento dei mixer, sulle possibili condizioni di immissione degli stessi e sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni (Figura 2.5÷Figura 2.16) sono state opportunamente scelte le caratteristiche ed il posizionamento dei miscelatori che vengono schematicamente riportate nella Figura 1.2.

Si precisa che per tutte le simulazioni effettuate non si è stato tenuto conto sia della presenza di correnti litoranee che dell'effetto del vento, forzanti che comunque contribuiscono alla movimentazione delle acque superficiali favorendo quindi la vivificazione nelle zone di ristagno.

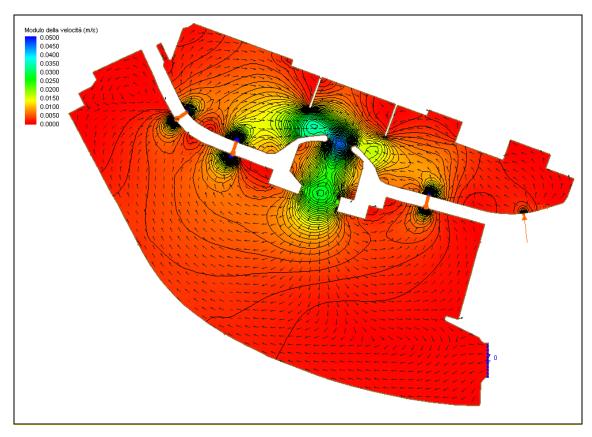


Figura 2.5 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 15.00 (fase di stanca ed impianto attivo)

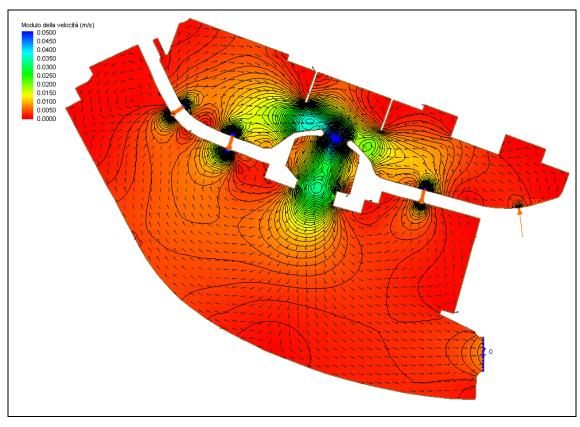


Figura 2.6 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 15.30 (fase di riflusso ed impianto attivo)

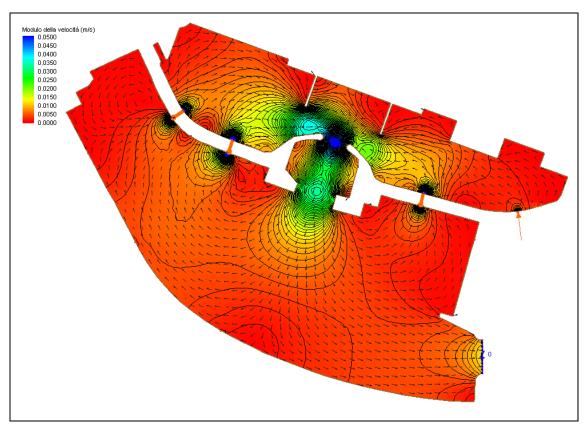


Figura 2.7 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 16.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

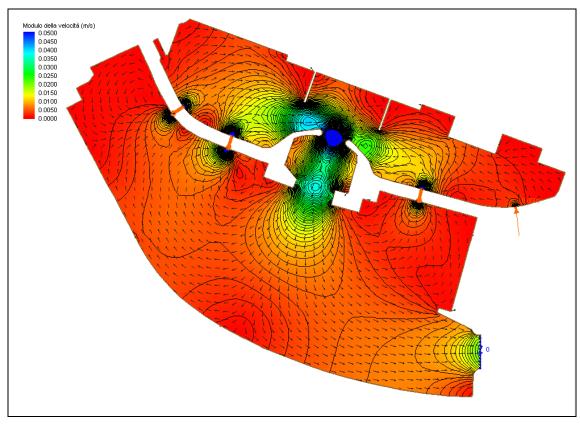


Figura 2.8 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 17.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

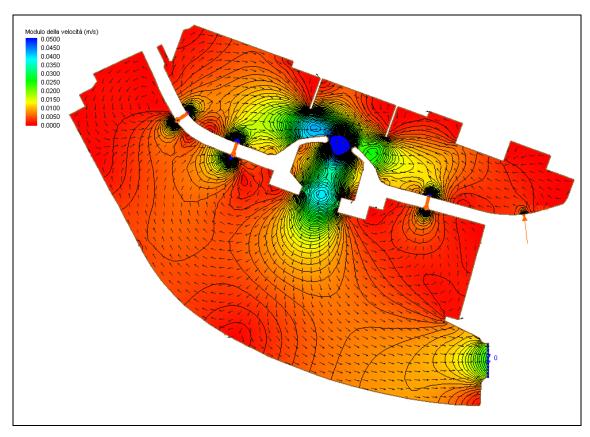


Figura 2.9 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 18.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

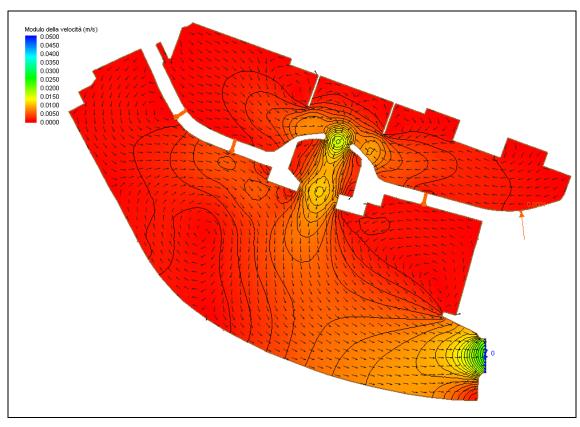


Figura 2.10 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 18.30 (fase di riflusso ed impianto disattivo)



Figura 2.11 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 21.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)

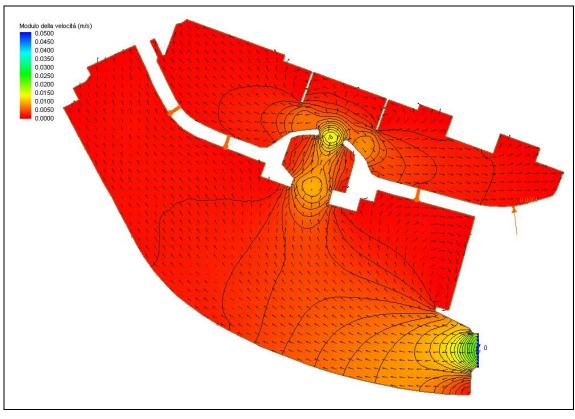


Figura 2.12 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 24.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)



Figura 2.13 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 03.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)

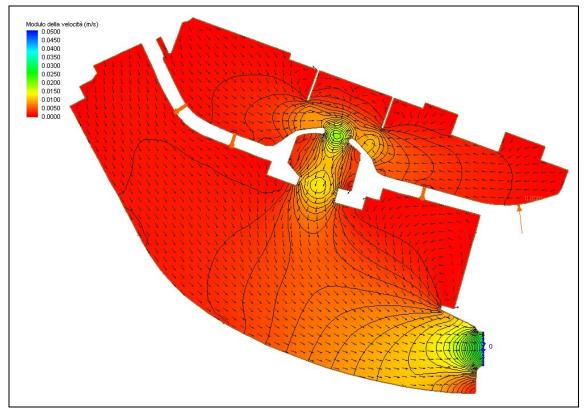


Figura 2.14 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 06.00 (fase di riflusso ed impianto disattivo)

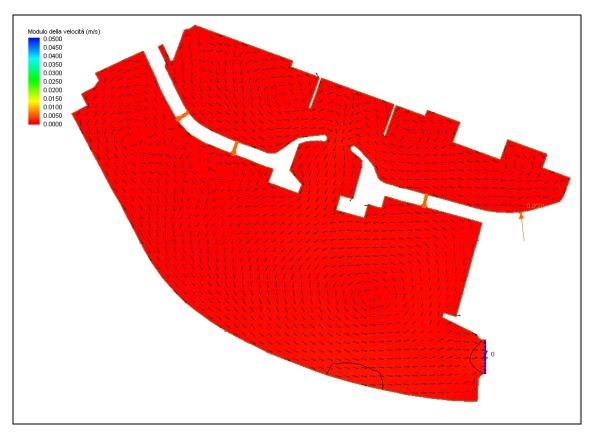


Figura 2.15 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 09.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)

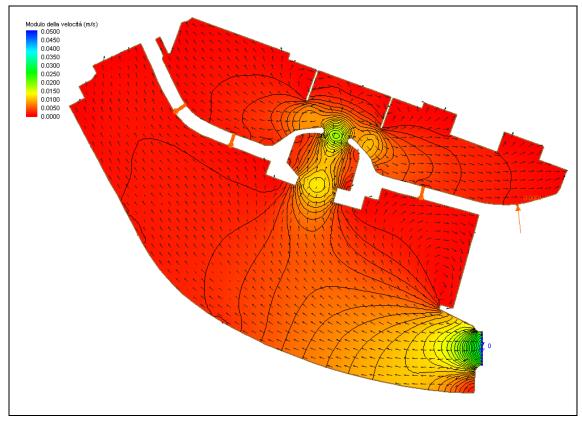


Figura 2.16 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dall'attuale impianto di miscelazione alle ore 12.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)

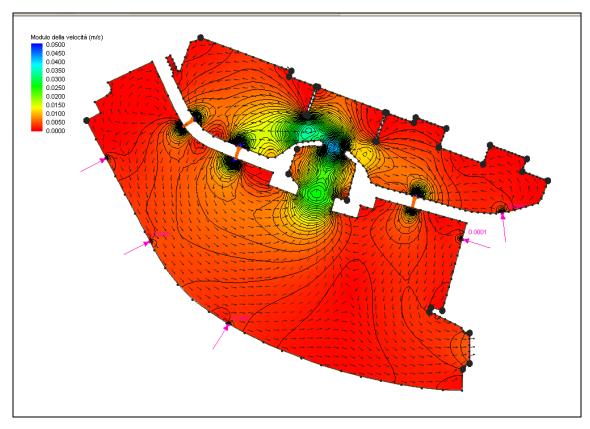


Figura 2.17 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 15.00 (fase di stanca ed impianto attivo)

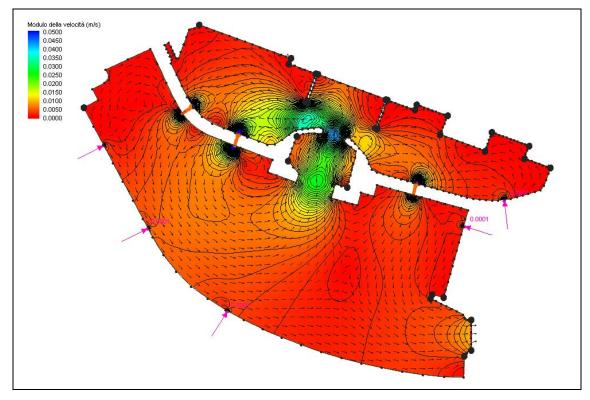


Figura 2.18 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 15.30 (fase di riflusso ed impianto attivo)

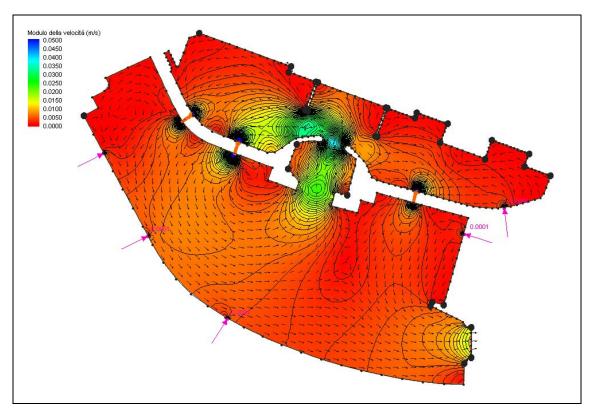


Figura 2.19 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 16.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

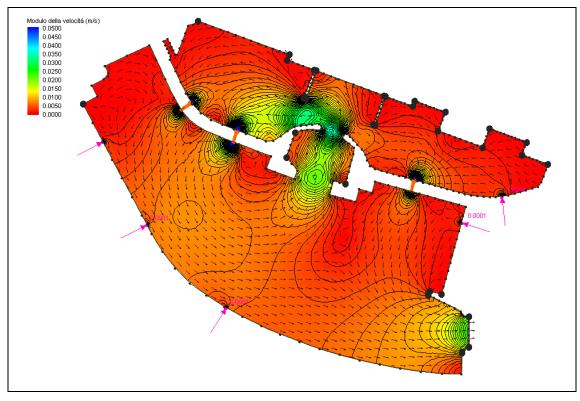


Figura 2.20 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 17.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

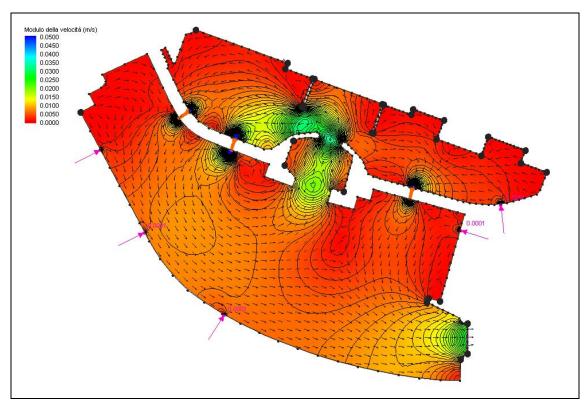


Figura 2.21 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 18.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

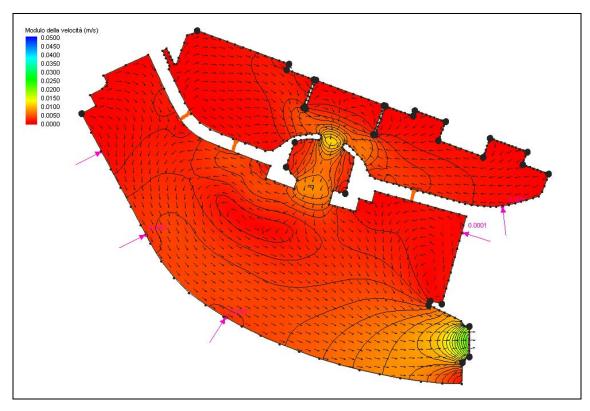


Figura 2.22 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 18.30 (fase di riflusso ed impianto disattivo)



Figura 2.23 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 21.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)

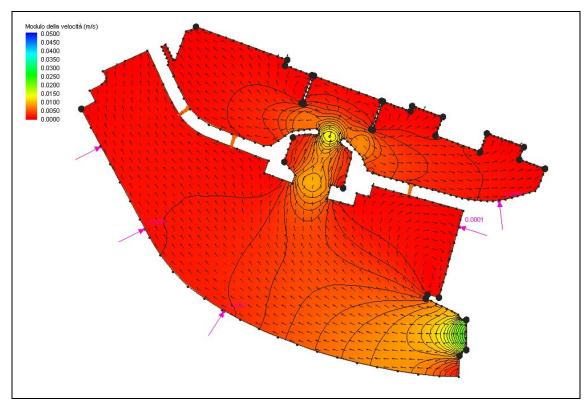


Figura 2.24 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 24.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)



Figura 2.25 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 03.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)

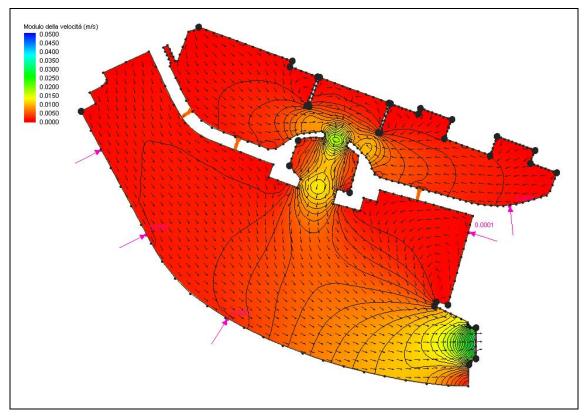


Figura 2.26 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 06.00 (fase di riflusso ed impianto disattivo)

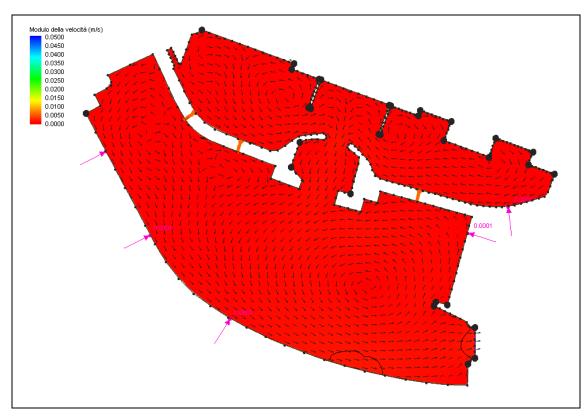


Figura 2.27 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 09.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)

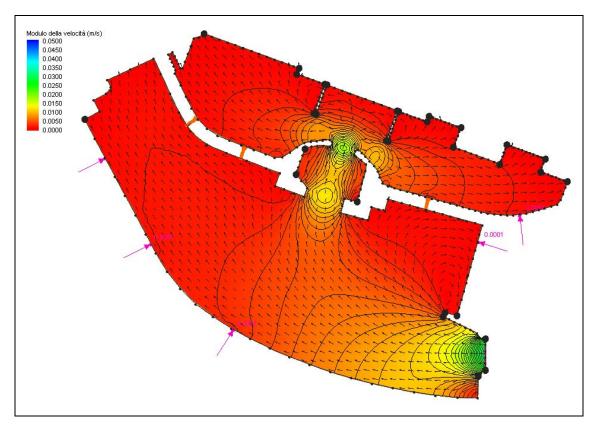


Figura 2.28 – Configurazione di progetto: particolare del campo idrodinamico indotto dalla marea astronomica e dal nuovo impianto di miscelazione alle ore 12.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)

2.5 Verifica della qualità delle acque all'interno del dispositivo portuale

Con lo scopo di verificare la qualità delle acque all'interno dei bacini che costituiranno la nuova configurazione del porto turistico di Roma, 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 (dalla suite degli applicativi del modello SMS) i grado di risolvere l'equazione di dispersione/diffusione.

Per la configurazione di progetto presa 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 $[C(t)=C(t_o)e^{-kt}]$ assumendo come coefficiente di decadimento un valore pari a k=1.0. Inoltre si è imposto come condizioni al contorno che l'acqua immessa attraverso i mixer all'interno dei bacini portuali e che lungo il dominio di frontiera del dominio di calcolo lato mare si abbia una concentrazione di ossigeno disciolto pari a 7.0 mg/l. Tale scelta è sicuramente conservativa. Nella realtà lungo l'imboccatura portuale 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 per la configurazione di progetto con l'attuale impianto di pompaggio, hanno mostrato che in corrispondenza degli attuali bacino Ovest e bacino Est, si creano delle zone di ristagno che determinano un sensibile decadimento della concentrazione di ossigeno (Figura 2.29÷Figura 2.16).

Per ovviare a tale problema sono stati inseriti, in aggiunta a quelli esistenti, altri quattro miscelatori aventi le stesse caratteristiche di quelli attuali, i quali immettendo acqua prelevata dall'esterno del nuovo bacino portuale in progetto forzano la circolazione naturale migliorando la capacità di ricambio del sistema.

Inoltre, al fine di ottimizzare l'intero sistema, è stato invertito il flusso a tre dei quattro dispositivi di ricambio idrico attualmente istallati all'interno del porto; infatti nella nuova configurazione portuale questi dispositivi, che prima immettevano acqua prelevata dall'esterno del porto, con le nuove opere previste dal presente progetto ovvero con l'impossibilità di prelevare acqua pulita, forzeranno la

circolazione dal vecchio bacino verso il nuovo in maniera tale da consentire un più rapido ricambio idrico.

L'analisi dei risultati conferma che attraverso l'ottimizzazione sopra descritta del sistema di circolazione forzata si ottengono buoni valori di concentrazione di ossigeno disciolto anche nelle condizioni meteomarine più sfavorevoli ai fini della circolazione idrica (assenza di vento e di moto ondoso).

Durante i periodi di scarso ricambio idrico naturale (assenza di vento), tipici delle situazioni di alta pressione estiva, al fine di ottenere i benefici attesi sulla qualità delle acque all'interno del porto i miscelatori dovranno essere attivati per circa 3 ore al giorno durante una fase di riflusso della marea.

CONFIGURAZIONE DI PROGETTO CON L'ATTUALE SISTEMA DI POMPAGGIO

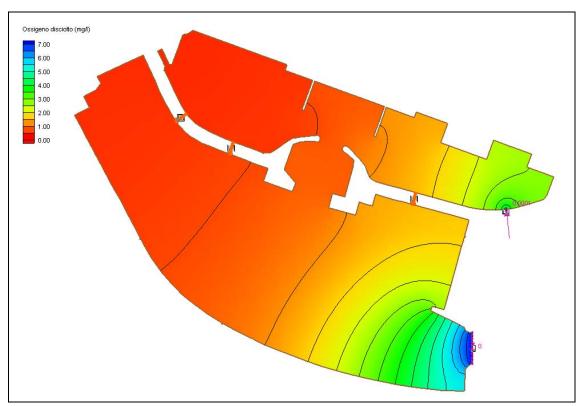


Figura 2.29 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 15.00 (fase di stanca ed impianto attivo)

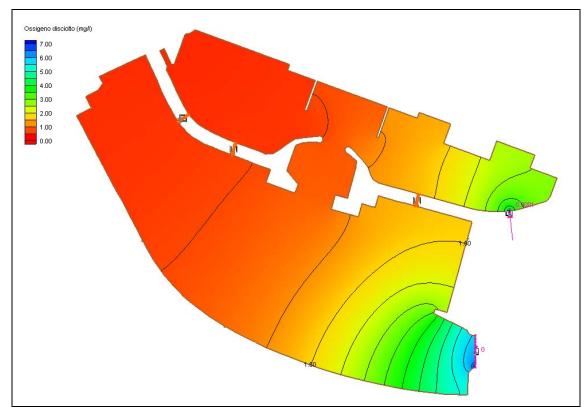


Figura 2.30 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 15.30 (fase di riflusso ed impianto attivo)

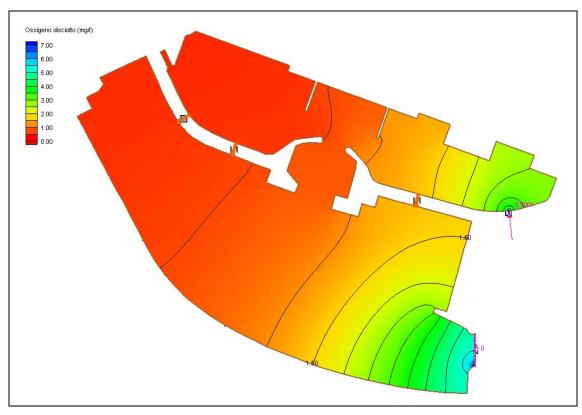


Figura 2.31 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 16.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

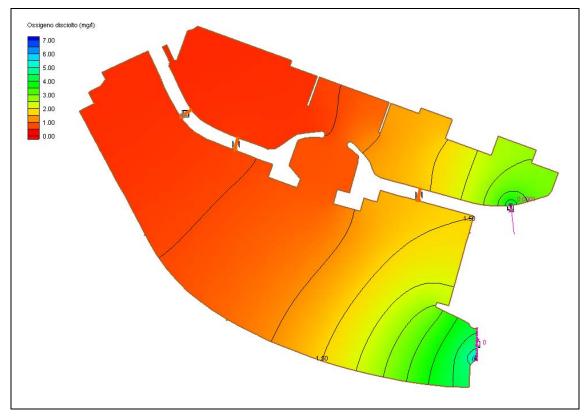


Figura 2.32 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 17.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

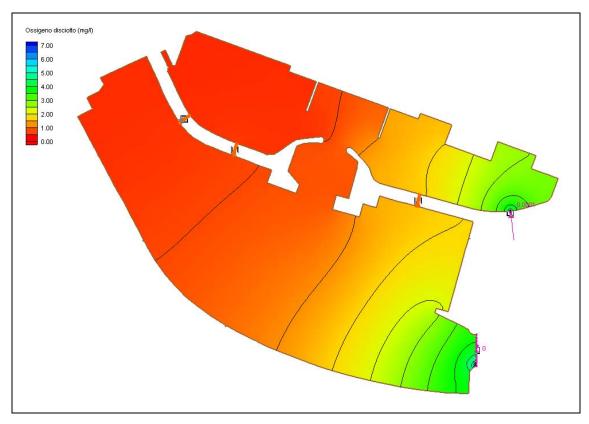


Figura 2.33 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 18.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

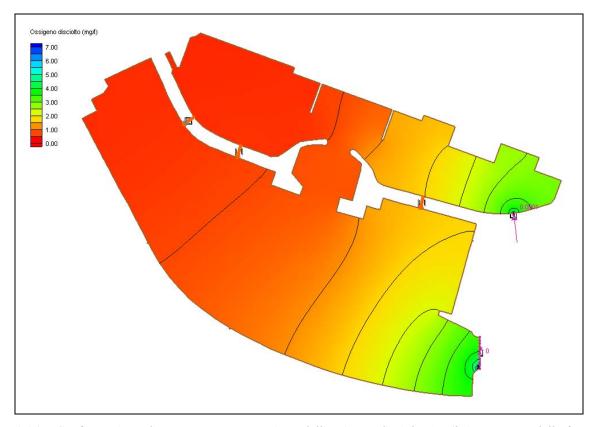


Figura 2.34 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 18.30 (fase di riflusso ed impianto disattivo)



Figura 2.35 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 21.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)



Figura 2.36 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 24.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)



Figura 2.37 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 03.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)



Figura 2.38 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 06.00 (fase di riflusso ed impianto disattivo)



Figura 2.39 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 09.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)



Figura 2.40 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea e dell'attuale impianto di pompaggio alle ore 12.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)

CONFIGURAZIONE DI PROGETTO CON IL NUOVO SISTEMA DI POMPAGGIO

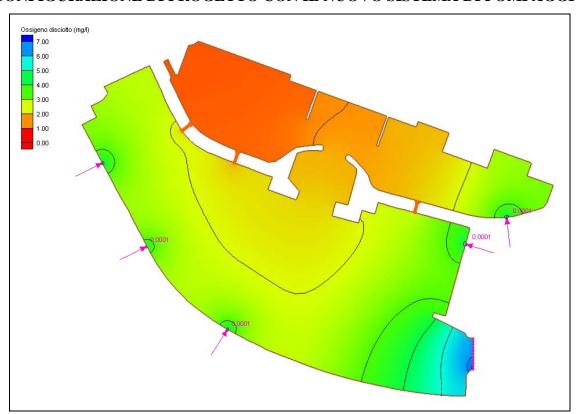


Figura 2.41 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 15.00 (fase di stanca ed impianto attivo)



Figura 2.42 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 15.30 (fase di riflusso ed impianto attivo)



Figura 2.43 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 16.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

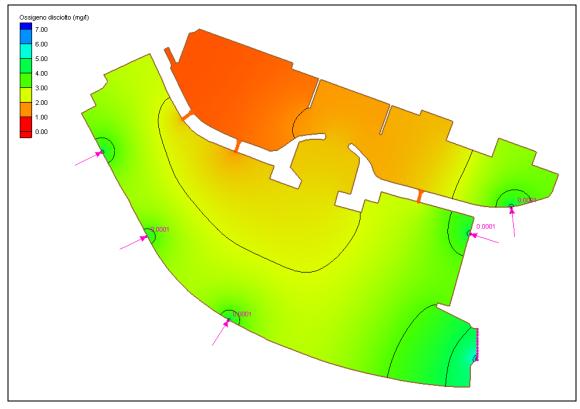


Figura 2.44 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 17.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

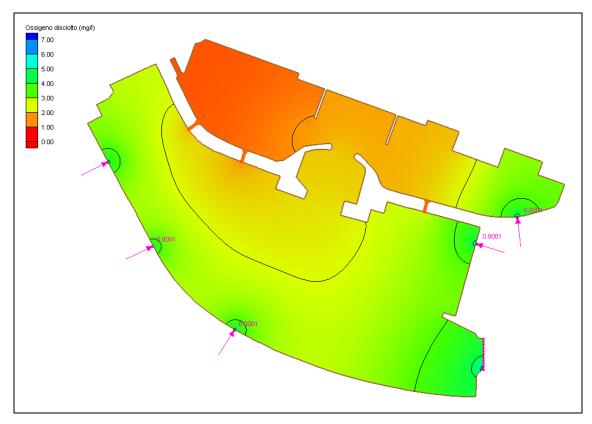


Figura 2.45 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 18.00 (fase di riflusso ed impianto attivo)

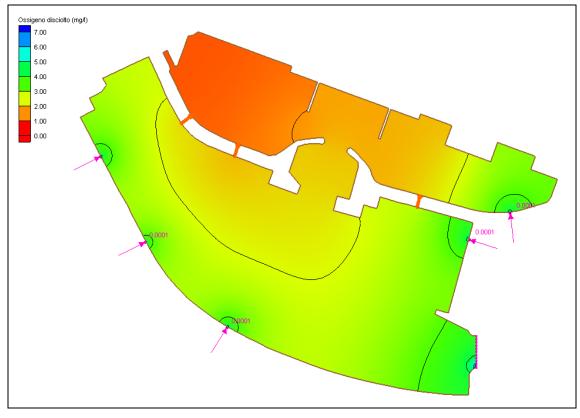


Figura 2.46 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 18.30 (fase di riflusso ed impianto disattivo)

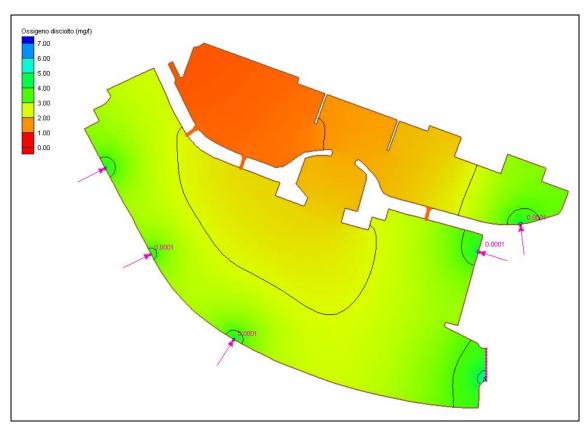


Figura 2.47 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 21.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)



Figura 2.48 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 24.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)



Figura 2.49 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 03.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)



Figura 2.50 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 06.00 (fase di riflusso ed impianto disattivo)



Figura 2.51 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 09.00 (fase di stanca ed impianto disattivo)

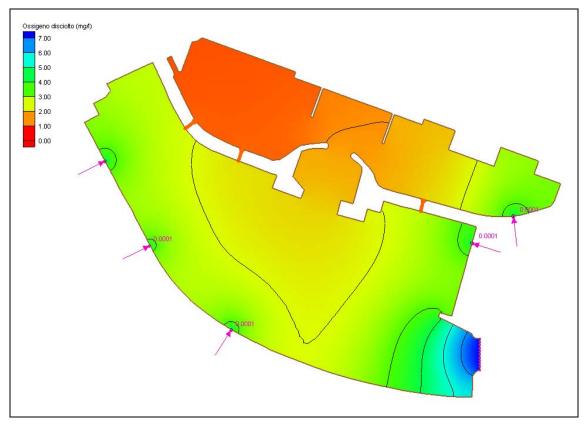


Figura 2.52 – Configurazione di progetto: concentrazione dell'ossigeno disciolto (mg/l) in presenza della forzante di marea con il nuovo impianto di pompaggio alle ore 12.00 (fase di flusso ed impianto disattivo)

3 Appendice: descrizione del modello matematico SMS

3.1 Introduzione

Il sistema TABS è stato sviluppato dalla United States Army Engineering Wateways 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.

3.2 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 Managment 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).

3.3 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.

3.4 Equazioni utilizzate

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

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

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

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

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⁻¹L⁻¹]

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

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

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

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

3.5 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 specificati 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 nel SMS per una rappresentazione grafica dei risultati.

3.6 Equazion utilzzate

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 [L²T⁻¹]

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

 σ = sorgente o uscita locale del costituente [MT⁻¹L⁻²]

k = tasso di decadimento del costituente [T⁻¹]

3.7 Processo di Simulazione

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

3.7.1 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 nel 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 nel 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 dal SMS in un file di testo di tipo ASCII.

3.7.2 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 dal SMS in un file di testo ASCII distinto dal file geometrico, ma comprendente le indicazioni in esso contenute.

3.7.3 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.

3.7.4 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 del SMS.

3.7.5 Post-processing con il 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.

3.7.6 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), il 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.

3.7.7 RMA-4

Viene utilizzato quando si esegue uno studio del trasporto di un inquinante o la diffusione dell'ossigeno disciolto con l'RMA-4. E' 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.