



**AUTORITA' PORTUALE DI CIVITAVECCHIA,
FIUMICINO E GAETA**

PORTO DI FIUMICINO

**DRAGAGGIO DEI FONDALI DEL PORTO CANALE E DELLA DARSENA
DI FIUMICINO E VASCA DI CONTENIMENTO**

PROGETTO ESECUTIVO

**VERIFICA DELLA QUALITA' DELLE ACQUE
ALL'INTERNO DEL BACINO DI SEDIMENTAZIONE**

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	DEFINIZIONE DEL CAMPO IDRODINAMICO	4
2.1.	Applicazione del sistema di modellazione SMS-TABS	4
2.2.	Discretizzazione dello specchio liquido.....	5
2.3.	Definizione delle condizioni al contorno	7
2.4.	Risultati delle simulazioni idrodinamiche.....	8
3.	VERIFICA DELLA QUALITA' DELLE ACQUE INVASATE	13
3.1.	Verifica del Flushing exchange coefficient –E	14
3.2.	Verifica dell'Ossigeno disciolto (DO)	22
4.	CONCLUSIONI.....	28

5.	APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS-TABS	29
5.1.	Introduzione	29
5.2.	Codice RMA-2	30
	Applicazioni	30
	Equazioni utilizzate	31
5.3.	Codice RMA-4	32
	Equazioni utilizzate	32
	Processo di Simulazione.....	33
	Costruzione della griglia	33
	Condizioni al contorno	33
	GFGEN.....	34
	RMA-2.....	34
	Post-processing con il SMS 9.2.1.....	34
	Validazione.....	34
	RMA-4.....	35

1. INTRODUZIONE

Il mantenimento di qualità organolettiche accettabili all'interno di un bacino costituisce un delicato problema di gestione delle aree limitrofe spesso imprescindibile per le esigenze operative e funzionali delle aree. Infatti, in periodi di scarse oscillazioni di marea abbinati a condizioni di temperature elevate tipiche dei mesi estivi, possono verificarsi indesiderati fenomeni di ristagno per ovviare i quali è talvolta necessario intervenire con idonei dispositivi di pompaggio e miscelazione immettendo “nuovi” volumi di acqua nel corpo idrico al fine di incrementare la velocità dei processi di ricambio dell'acqua invasata.

In letteratura “PIANC – Report n.98/2008 sono stati definiti vari metodi per determinare la qualità delle acque in un bacino semichiuso:

- **flushing time** : tempo necessario affinché un inquinante introdotto nel bacino raggiunga un grado di diluizione accettabile (63% di dispersione). In caso di marea semidurna tale tempo è dato da $t = (V_L + v/2)/v \times t_{m2} = 144$ h (6 giorni); dove $V_L = 70000$ m³ (volume del bacino in bassa marea), $v = 31600 \times 0.2 = 6320$ m³ (volume del prisma definito dall'oscillazione di marea), $t_{m2} = 12.42$ h (durata della componente armonica M2 della marea). Le raccomandazioni del US EPA considerano buono un valore del tempo di ricambio di circa 4 giorni ed accettabile 10 giorni.
- **Tidal prism ratio (TPR)**: il rapporto tra il volume entrante durante un ciclo di marea ed il volume totale in alta mare deve essere maggiore di 0.25, preferibile 0.35. Nel caso in esame tale valore risulta pari a circa 0.1
- **Flushing exchange coefficient (E)** : $E = 1 - (C_i/C_o)^{1/n}$ dove C_o e C_i sono rispettivamente la concentrazione iniziale e nella nella posizione i_{ma} di un componente “marker”, n è il numero di cicli di marea (almeno 4). Il valore medio di E nel bacino deve essere maggiore di 0.20. Inoltre “non più del 5% dell'area del bacino dovrà avere un valore di E (mediato su un ciclo completo di marea) minore di 0.15” Smith, Nece et al. 2002.

Nel seguito viene sviluppato in dettaglio il metodo “**Flushing exchange coefficient**”, pertanto per definire la concentrazione C_i all'interno del bacino è necessario in una prima fase valutare il campo idrodinamico conseguente alla sola forzante di marea e successivamente valutare la dinamica del “marker”, utilizzando un opportuno modello matematico di simulazione.

2. DEFINIZIONE DEL CAMPO IDRODINAMICO

Per la definizione del campo idrodinamico che contraddistingue il bacino sono stati esaminati due scenari aventi come condizione al contorno, la forzante della sola escursione di marea:

- Il primo prevede una unica apertura avente una larghezza di 30 m
- La seconda prevede due aperture avente entrambe una larghezza di 30 m

I risultati delle simulazioni condotte con il codice di calcolo numerico SMS - TABS hanno permesso la verifica delle condizioni di circolazione idrodinamica nello specchio liquido preso in esame.

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-TABS

I modelli di calcolo impiegati appartengono al sistema di modellazione SMS-TABS 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 (v.APPENDICE per una descrizione completa del modello).

Inoltre il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processor relative alle analisi ed alle realizzazioni 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. Successivamente sono state definite le condizioni idrodinamiche al contorno considerando la sola forzante indotta dalle oscillazioni del livello marino per effetto della marea astronomica. Il codice di calcolo RMA-2 ha consentito l'analisi del dominio fluido riferito ad un periodo di 120 ore.

2.2. Discretizzazione dello specchio liquido

Per la corretta applicazione delle routine di calcolo idrodinamico del modello TABS è importante effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del sistema liquido in esame. A tal proposito si è fatto riferimento all'andamento planimetrico del bacino con la batimetria ottenuta dai recenti rilievi.

Per quanto riguarda la profondità del bacino si è fatto riferimento alla batimetria naturale, che prevede fondali variabili dai -4.0 m slm in corrispondenza dell'apertura/e del bacino ai -1.0 m nelle aree più interne (fig. 1 e 2).

Tenendo conto di tutti questi fattori il campo fluido è stato suddiviso in una griglia di calcolo costituita da:

- primo scenario: 451 elementi (di cui 124 triangolari e 327 quadrangolari), per un totale di 1338 nodi di calcolo (fig. 1);
- secondo scenario : 454 elementi (di cui 124 triangolari e 330 quadrangolari), per un totale di 1349 nodi di calcolo (fig. 2)

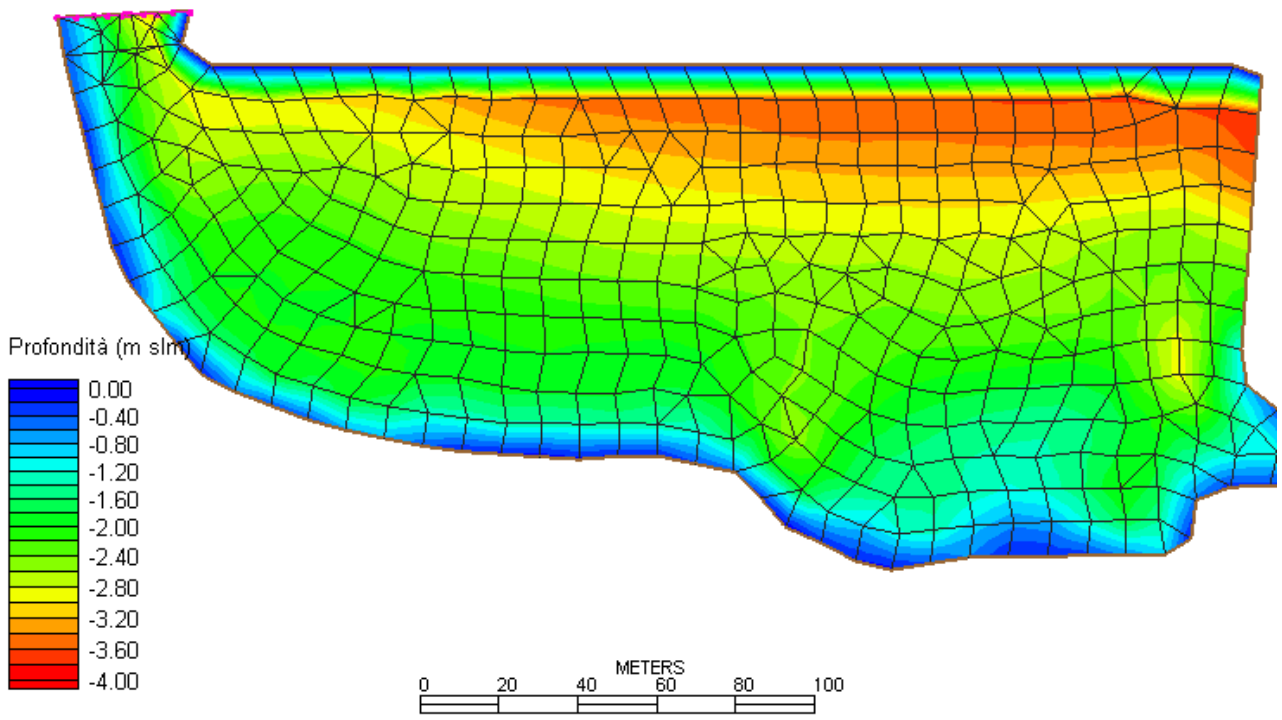


Fig.1 - Scenario 1 – Griglia di calcolo e batimetria

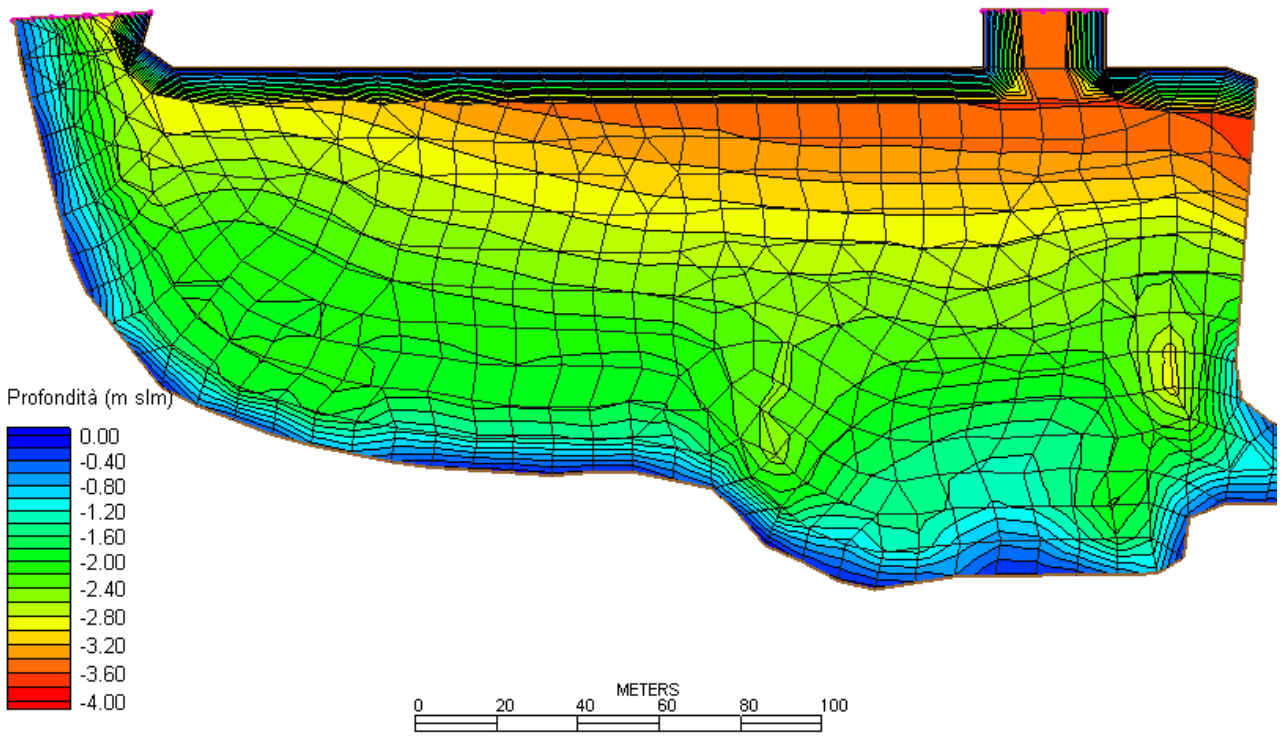


Fig.2 - Scenario 2 – Griglia di calcolo e batimetria

2.3. Definizione delle condizioni al contorno

Per il sistema liquido così discretizzato sono state definite le condizioni al contorno in termini di livelli idrici lungo l'apertura della vasca assunta come confine lato mare del sistema liquido simulato.

Per le condizioni di livello idrico si è fatto riferimento a 10 cicli di marea (120 ore) assumendo cautelativamente un dislivello di ± 0.10 m s.l.m.m. rappresentativo delle condizioni medie di oscillazione di marea astronomica (M2 componente semidiurno lunare principale) (fig 3).

Per simulare correttamente il campo idrodinamico anche lungo le scogliere perimetrali inclinate tenendo conto delle oscillazioni del livello liquido indotte dalla marea, si è fatto ricorso alla funzione opzionale di wet-dry contemplata dal programma RMA-2, che consente di simulare le condizioni di bagnato-asciutto per quegli elementi interessati da questo fenomeno.

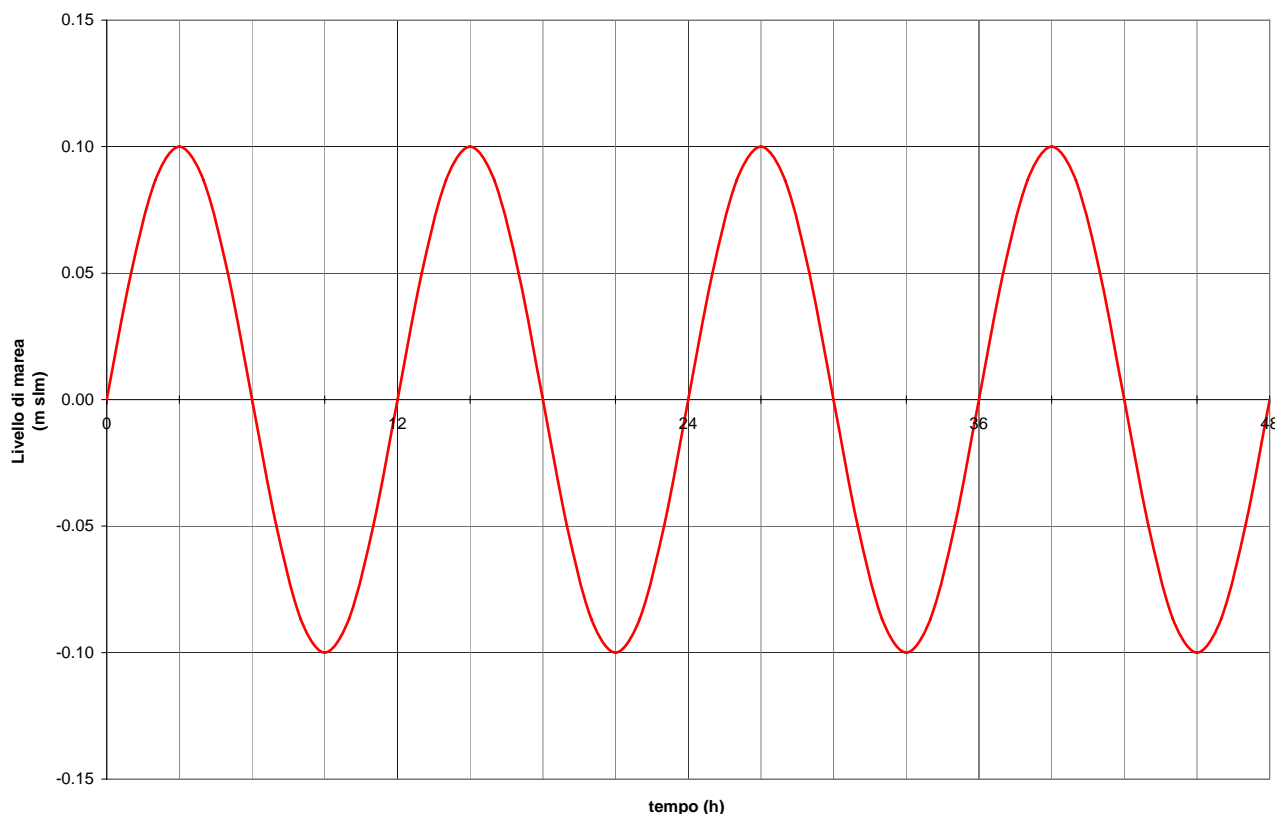


Fig.3 – Andamento della marea

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.

Le simulazioni sono state effettuate al fine di verificare il livello di vivificazione naturale associato alle sole correnti di marea. Si è così verificato che le condizioni di flusso (corrente liquida entrante nel bacino di sedimentazione nella fase di passaggio da bassa ad alta marea) e di riflusso (corrente liquida uscente nella fase di passaggio da alta a bassa marea) operano una pessima miscelazione dei volumi d'acqua invasati nel primo scenario ed una buona nel secondo.

Nelle figure 4 ÷ 11 è possibile verificare il campo di velocità che si registra nelle varie fasi di marea ogni 3 ore (per un ciclo di marea); la rappresentazione grafica delle velocità (m/s) mostra che:

- nel primo scenario per la zona più interna del bacino, l'effetto di vivificazione dovuto alla sola marea è trascurabile (registrandosi velocità inferiori ad 0,0003 m/s), mentre in prossimità dell'apertura si hanno velocità dell'ordine di 0.01 m/s.
- nel secondo scenario per la zona più interna del bacino, l'effetto di vivificazione dovuto alla sola marea è basso (registrandosi velocità inferiori ad 0,001 m/s), mentre in prossimità delle due aperture si hanno velocità dell'ordine di 0.005 m/s.

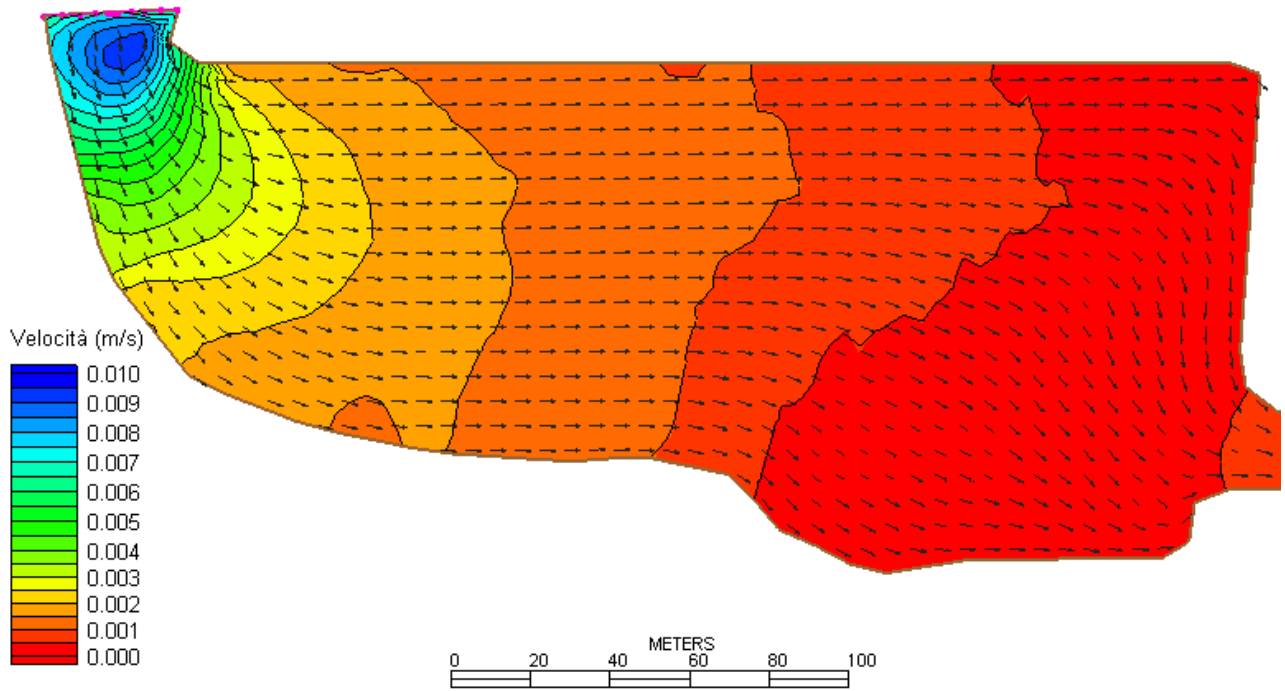


Fig.4 - Scenario 1 – Campo delle velocità ora 0.00

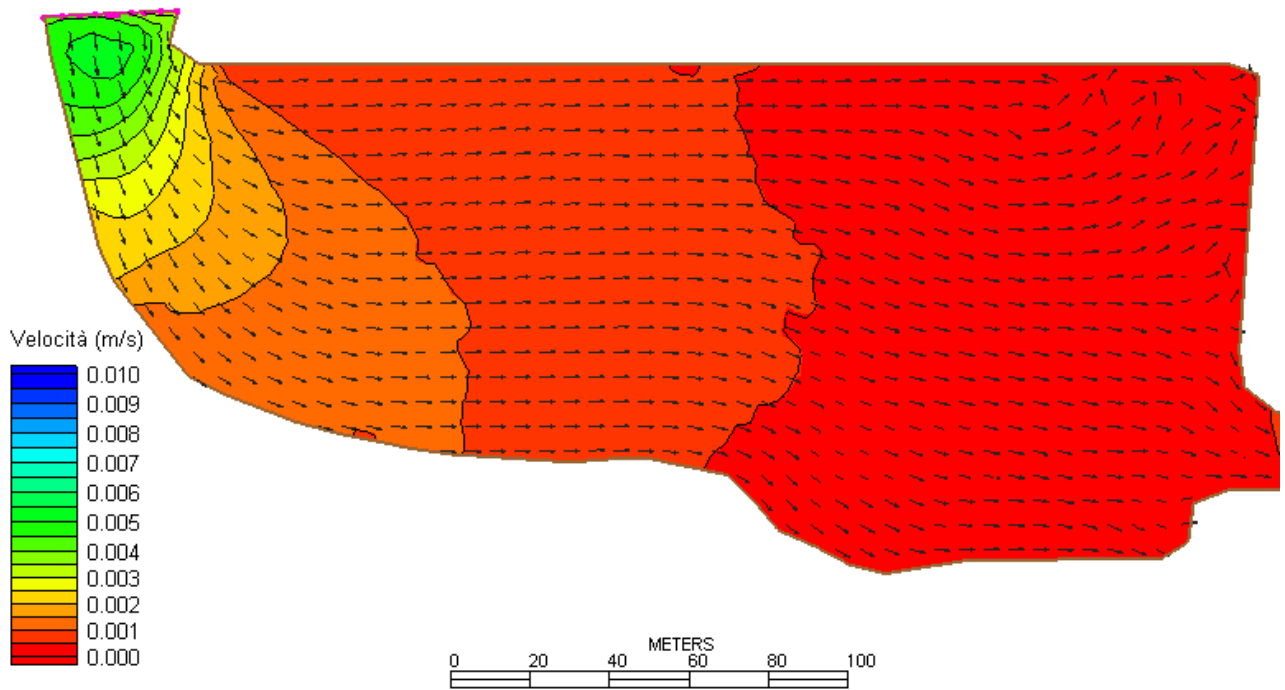


Fig.5 - Scenario 1 – Campo delle velocità ora 3.00

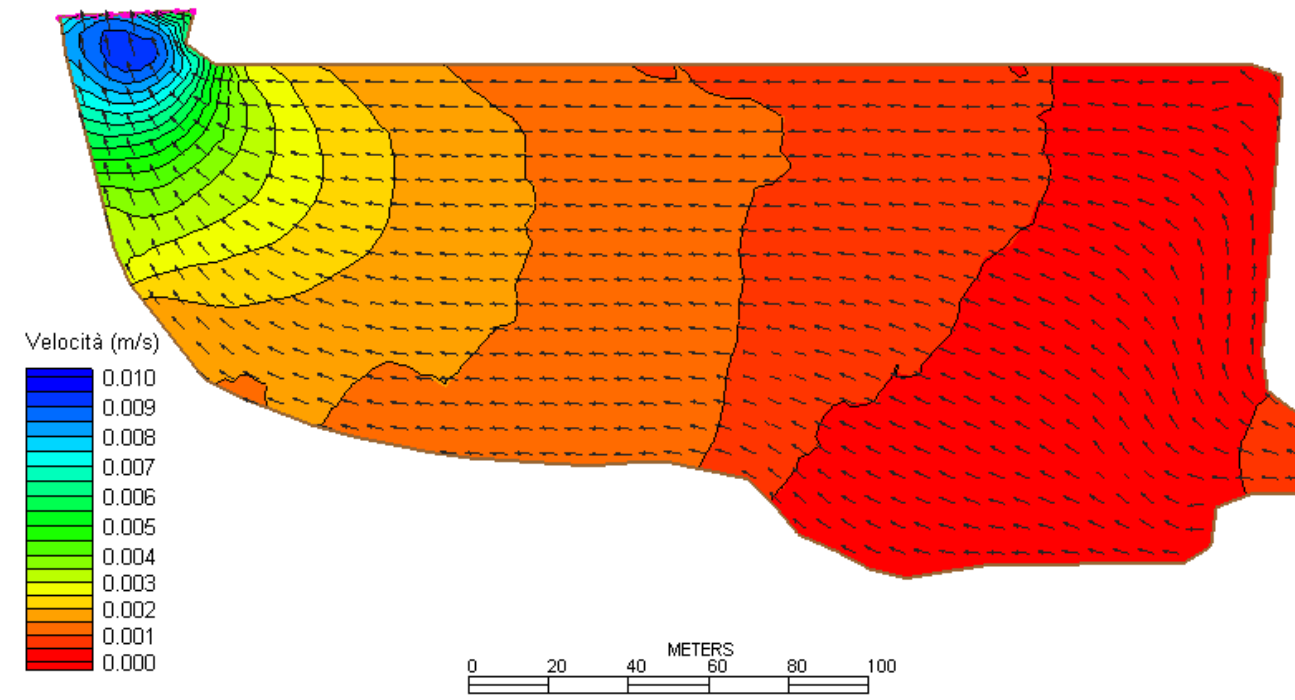


Fig.6 - Scenario 1 – Campo delle velocità ora 6.00

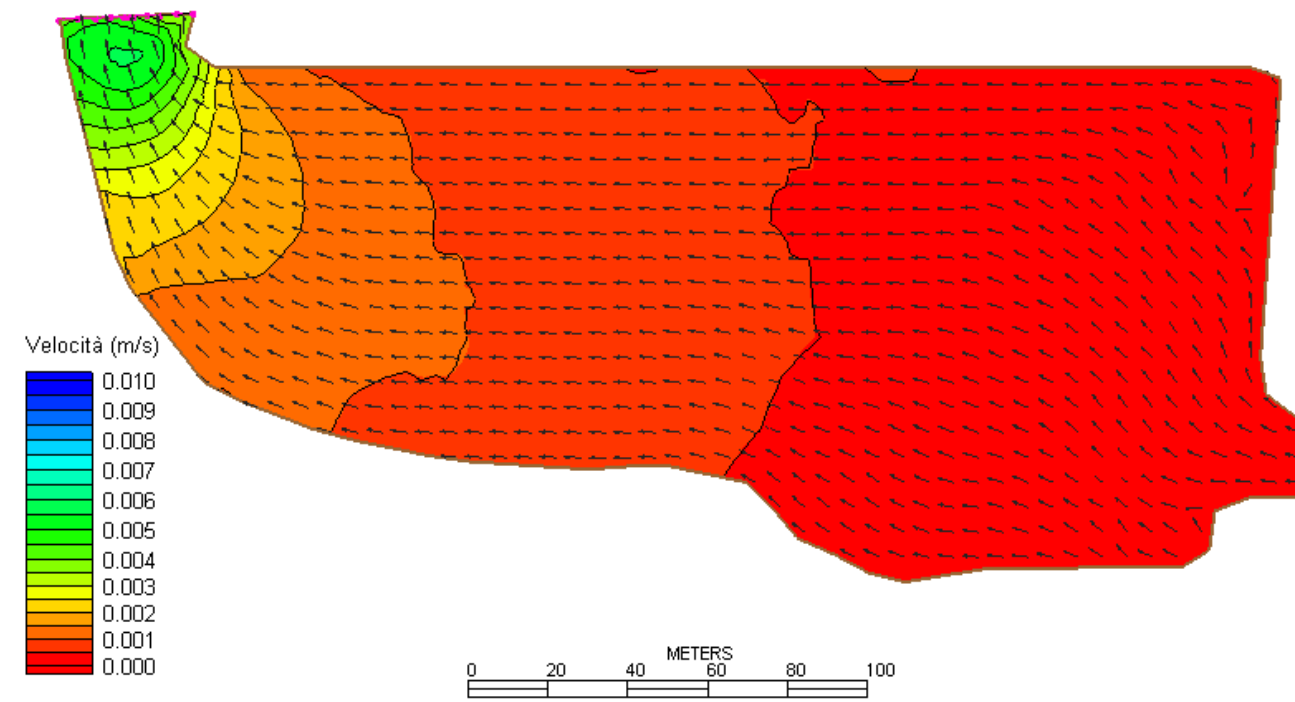


Fig.7 - Scenario 1 – Campo delle velocità ora 9.00

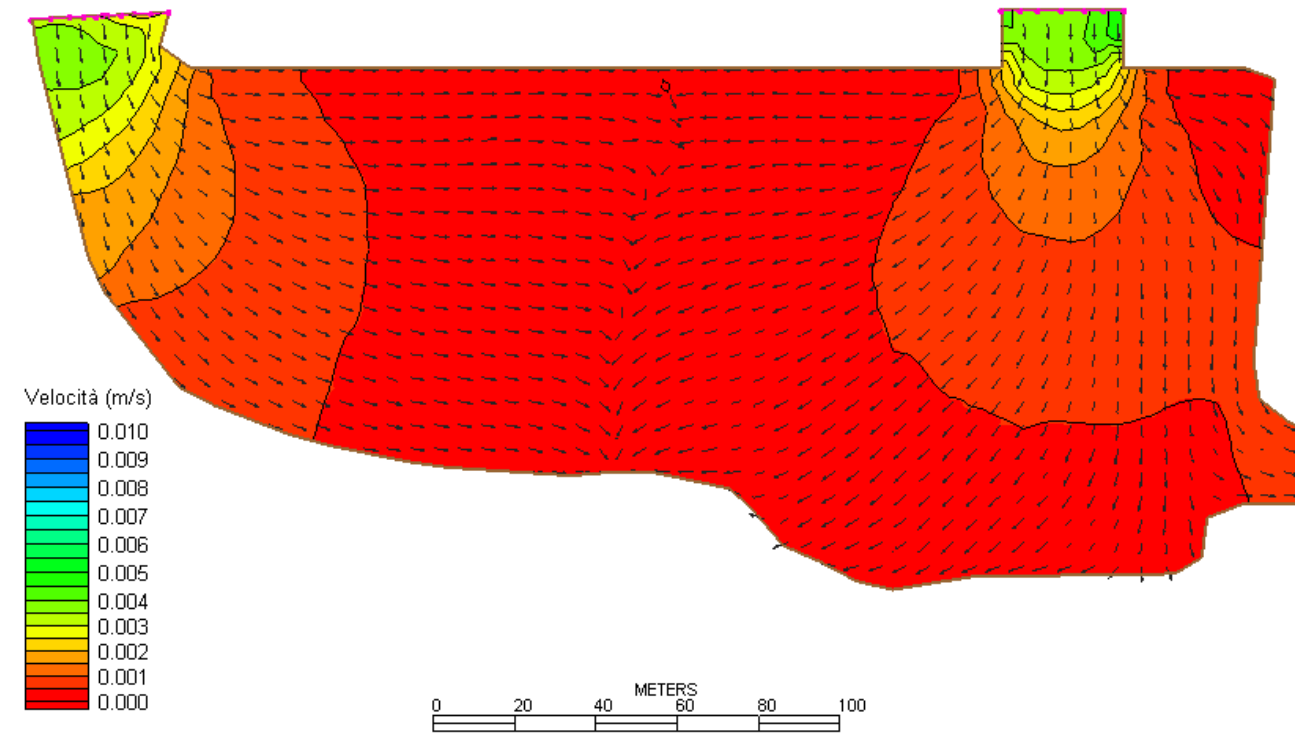


Fig.8 - Scenario 2 – Campo delle velocità ora 0.00

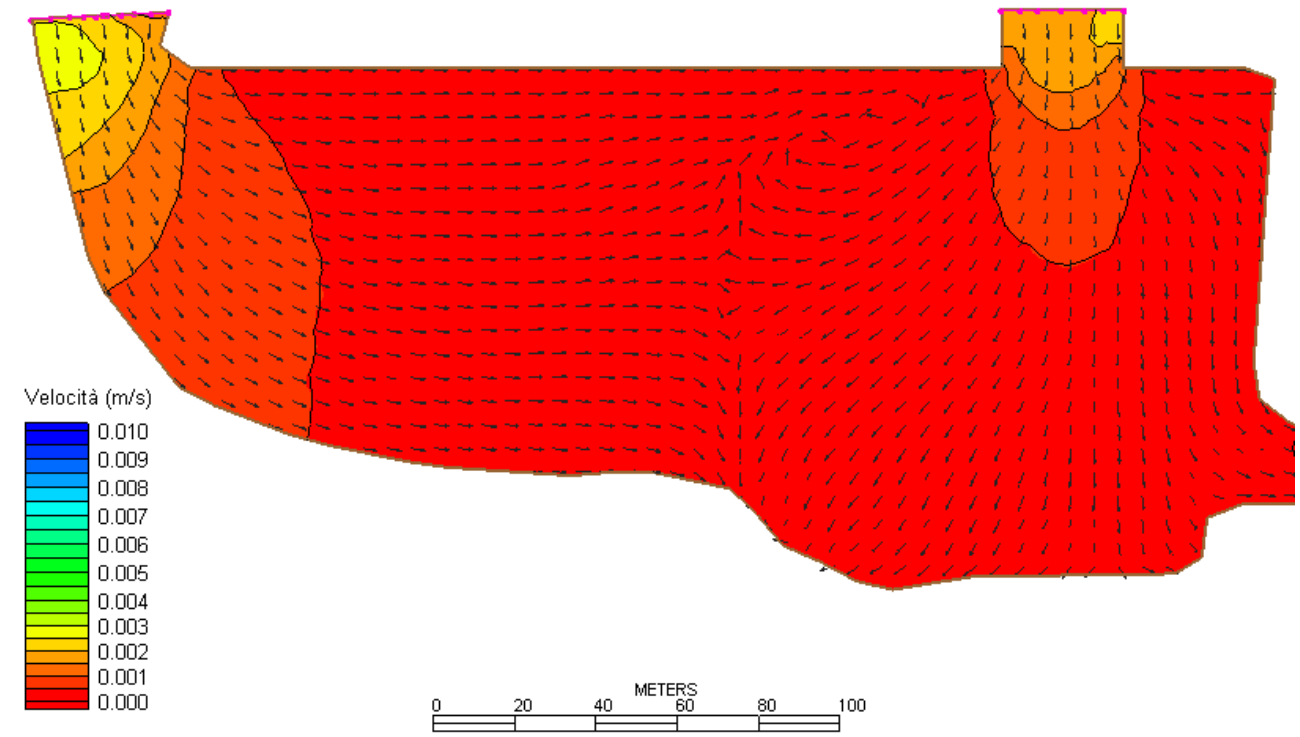


Fig.9 - Scenario 2 – Campo delle velocità ora 3.00

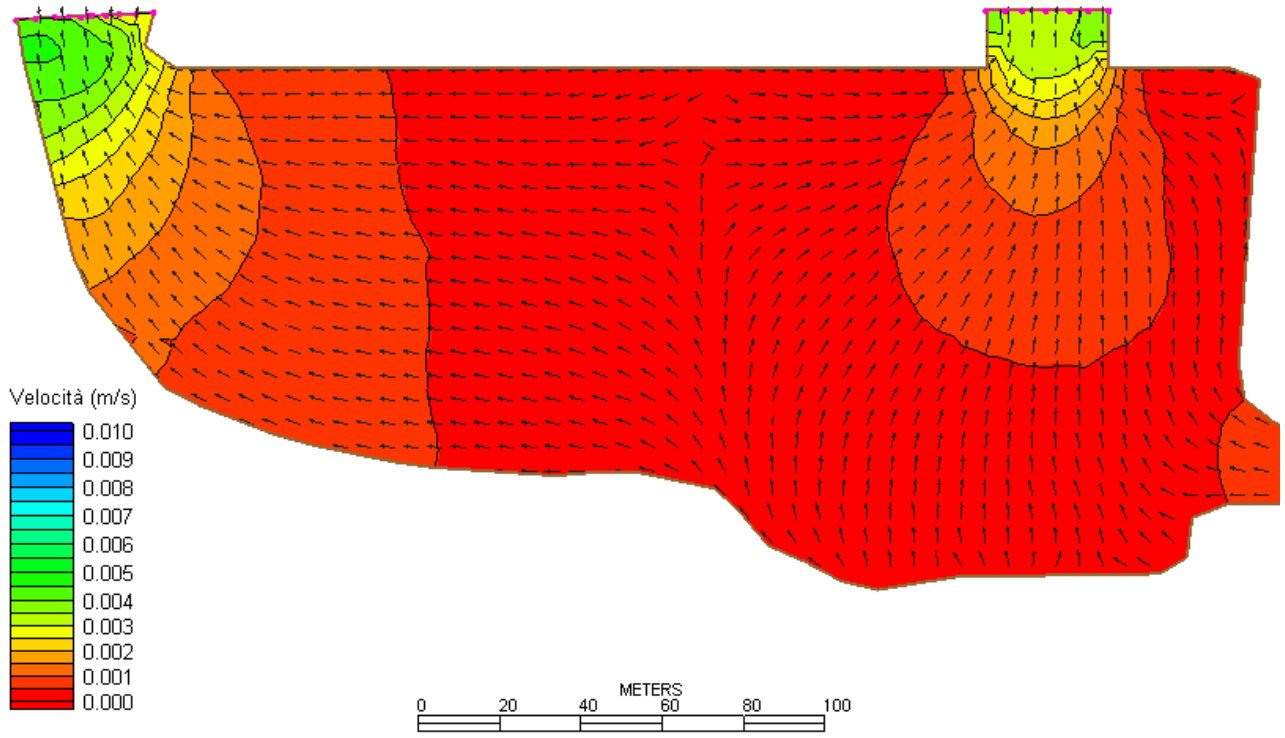


Fig.10 - Scenario 2 – Campo delle velocità ora 6.00

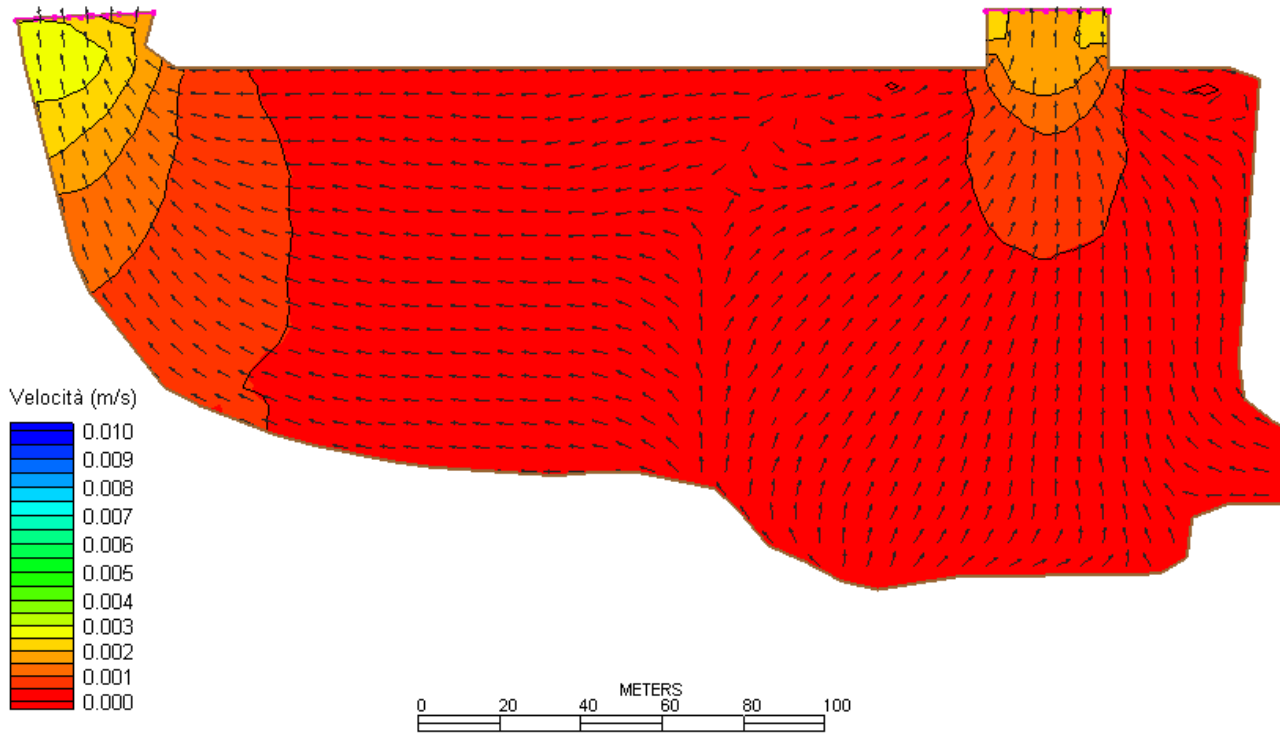


Fig.11 - Scenario 2 – Campo delle velocità ora 9.00

3. VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE INVASATE

La qualità delle acque invasate nello specchio idrico può deteriorarsi per molteplici ragioni. In particolare lo stato di relativa quiete in cui si trova l'acqua all'interno di un bacino chiuso favorisce i processi di sedimentazione anche di sostanze organiche con accumuli di fango che, diventando in fasi successive più leggero per effetto delle fermentazioni anaerobiche, è spesso trascinato in superficie con conseguenze sgradevoli.

Anche la presenza di sostanze oleose e/o schiume in sospensione, oltre a dare un aspetto antiestetico allo specchio liquido, limita alquanto gli scambi di ossigeno con l'atmosfera. L'insieme di questi fattori può comportare condizioni estreme, alterando il naturale equilibrio biologico e chimico-fisico dell'acqua, e può causare inconvenienti non trascurabili per i fruitori del marina (cattivi odori, posa di schiume, micro alghe ed oli lungo le fasce di galleggiamento dei natanti, aspetto sgradevole dello specchio acqueo).

In particolare il problema della qualità dell'acqua invasata in un bacino chiuso si riconduce a:

- Verificare il grado di ricambio idrico con il mare aperto (Flushing exchange coefficient -E)
- Verificare che il parametro ossigeno disciolto DO (mg/l) assuma valori al di sopra di opportune concentrazioni limite.

3.1. Verifica del Flushing exchange coefficient –E

Per verificare il grado di ricambio idrico in un bacino, occorre fare riferimento al parametro “Flushing exchange coefficient – E”, definito come:

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

dove, considerando di riempire il bacino con un inquinante “marker” avente una concentrazione iniziale pari a C_o , si verifica dopo n cicli di marea (almeno quattro) l’entità e la distribuzione della concentrazione (C_i) del “marker” rimanente nel bacino e quindi di E (mediata in un ciclo completo di marea).

Per effettuare tale simulazione si è utilizzato il programma agli elementi finiti di trasporto dei costituenti, mediato sulla profondità, RMA4, imponendo come concentrazione iniziale $C_o = 100$. I risultati delle condizioni idrodinamiche definiti con la serie di simulazioni condotte tramite il modello RMA2 sono stati utilizzati per simulare la variazione della concentrazione del “marker”.

Le simulazioni condotte riferendosi ai due distinti scenari (una sola apertura e doppia apertura) confermano che:

- nel primo caso, la concentrazione media del marker raggiunge il 51% in 96h a cui corrisponde un valore medio di E pari a 0.1. Si tenga presente che per bacini con un sufficiente ricambio idrico tale valore è maggiore di 0.20. Inoltre per la zona prossima all’apertura, la concentrazione del “marker” è assai modesta pari al 10% invece nella parte più interna siamo ancora al 70% sempre in 96h. Pertanto l’effetto della marea in termini di ricambio idrico si esaurisce a breve distanza dall’apertura. (Figg. 13 – 20)
- nel secondo caso, la concentrazione media del marker raggiunge il 7% in 96h a cui corrisponde un valore medio di E pari a 0.28, valore che garantisce un buon ricambio idrico. Inoltre per la concentrazione del “marker” dopo 96h risulta abbastanza uniforme su tutto il bacino; pertanto l’effetto della marea in termini di ricambio idrico risulta soddisfacente (Figg. 21 – 24).

Il valore medio di E non è un indicatore sufficiente a garantire un buon ricambio omogeneo su tutto il bacino. A tal fine occorre verificare che “non più del 5% dell’area del bacino abbia un valore di E (mediato su un ciclo completo di marea) minore di 0.15” Smith, Nece et al. 2002.

Nella figura seguente sono riportati gli andamenti di E in funzione dell'area parziale del bacino espresso in percentuali per i due scenari. Si evince come il secondo scenario garantisca un buon ricambio idrico in modo uniforme, mentre nel secondo caso risulta nettamente insufficiente.

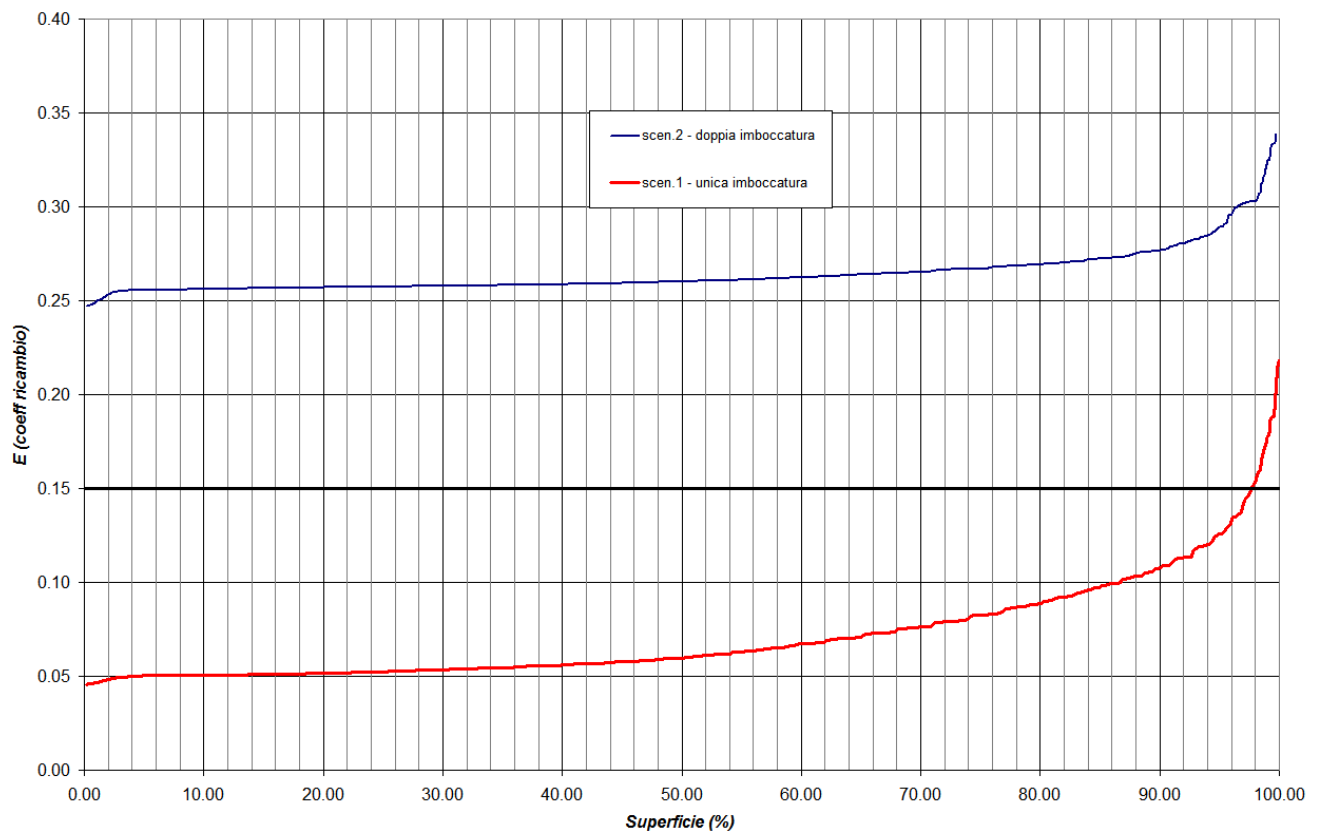


Fig. 12 – Andamento di E con la superficie del bacino

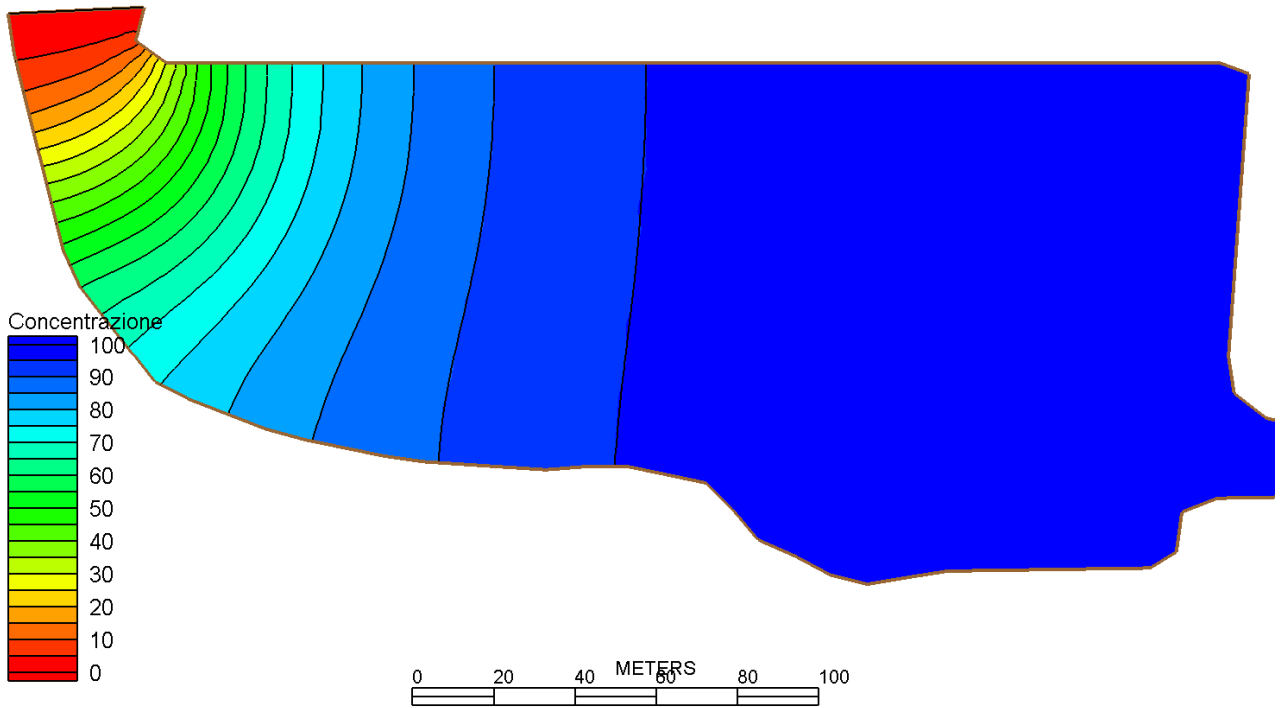


Fig. 13 - Scenario 1 – Concentrazione “marker” - ora 12.00

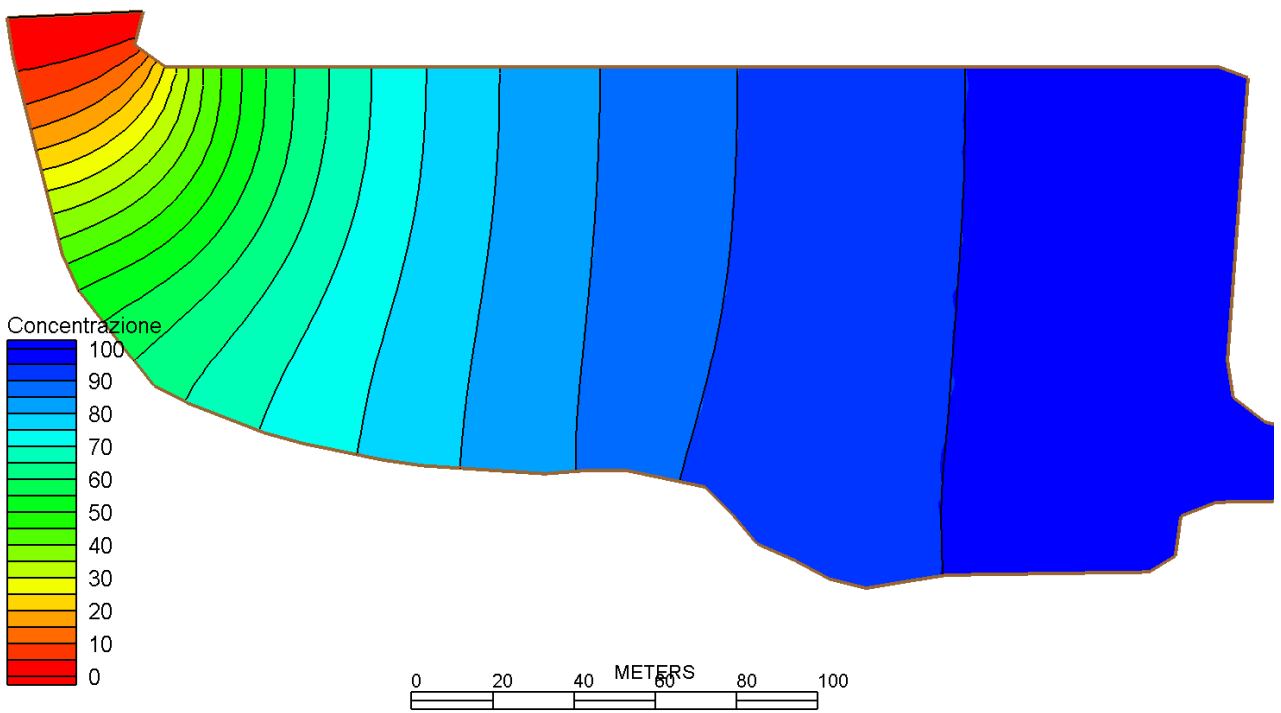


Fig. 14- Scenario 1 – Concentrazione “marker” - ora 24.00

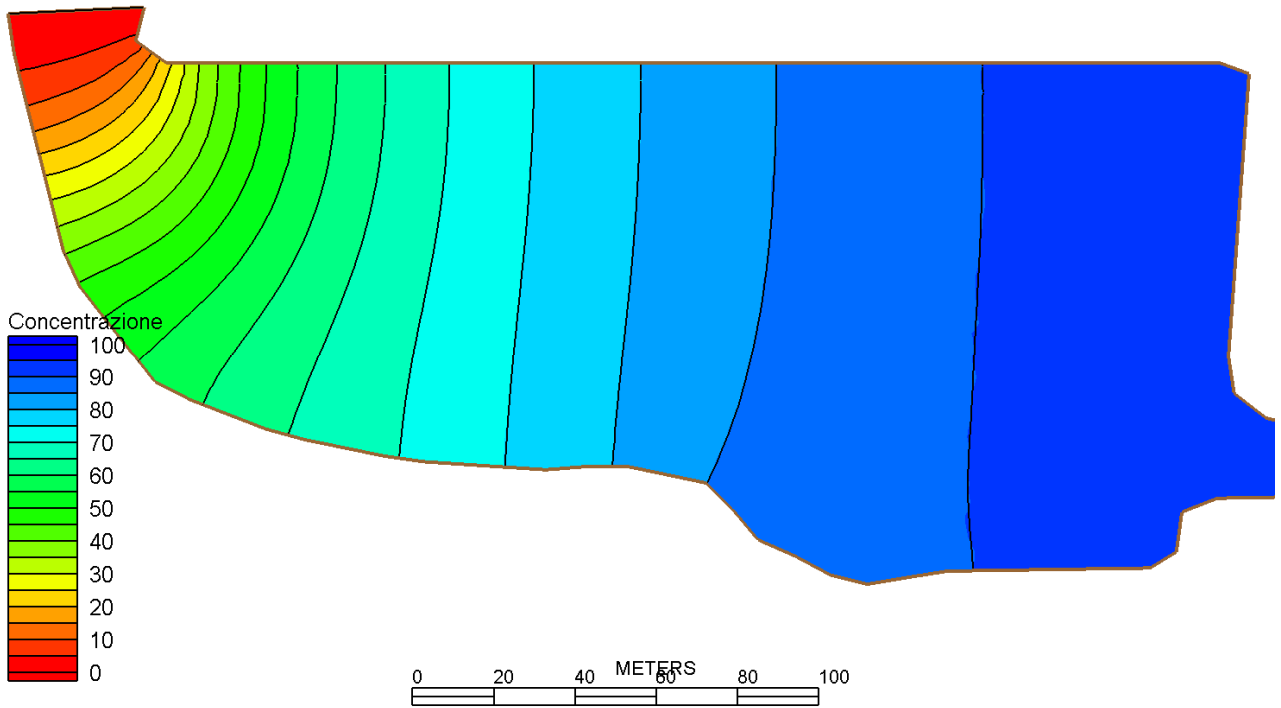


Fig. 15- Scenario 1 – Concentrazione “marker” - ora 36.00

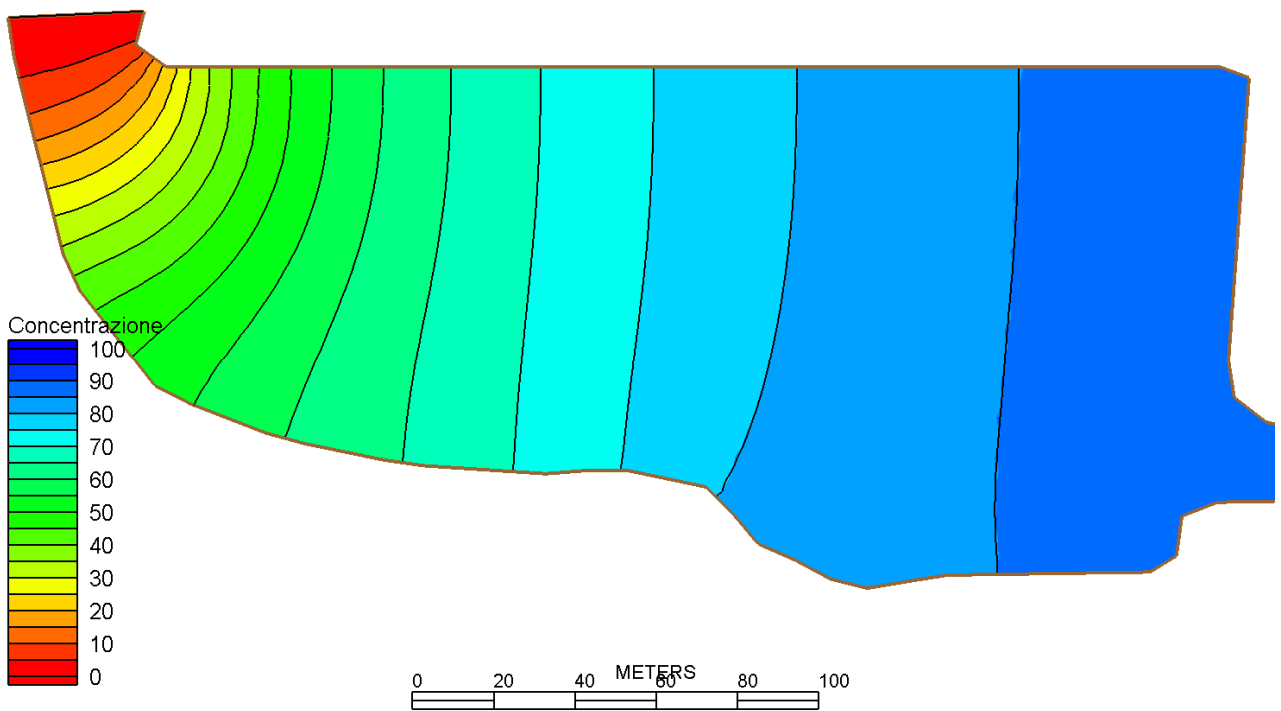


Fig.16 - Scenario 1 – Concentrazione “marker” - ora 48.00

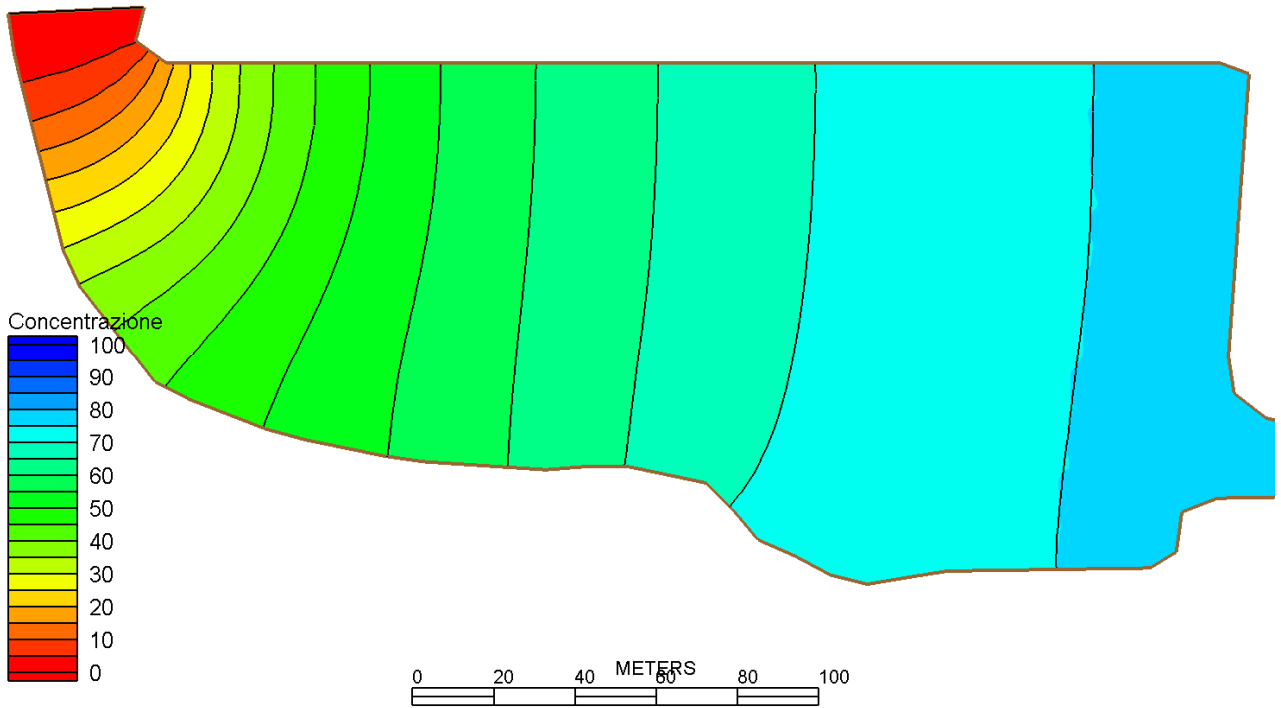


Fig. 17 - Scenario 1 – Concentrazione “marker” - ora 72.00

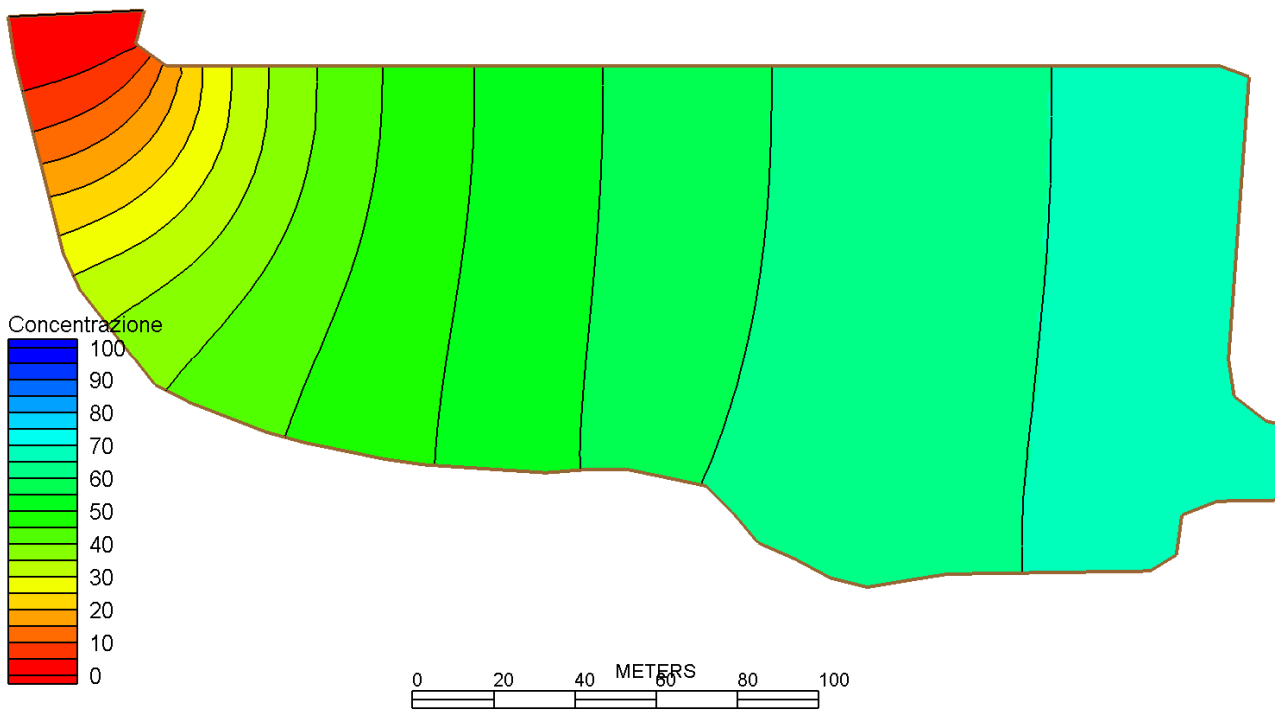


Fig. 18 - Scenario 1 – Concentrazione “marker” - ora 96.00

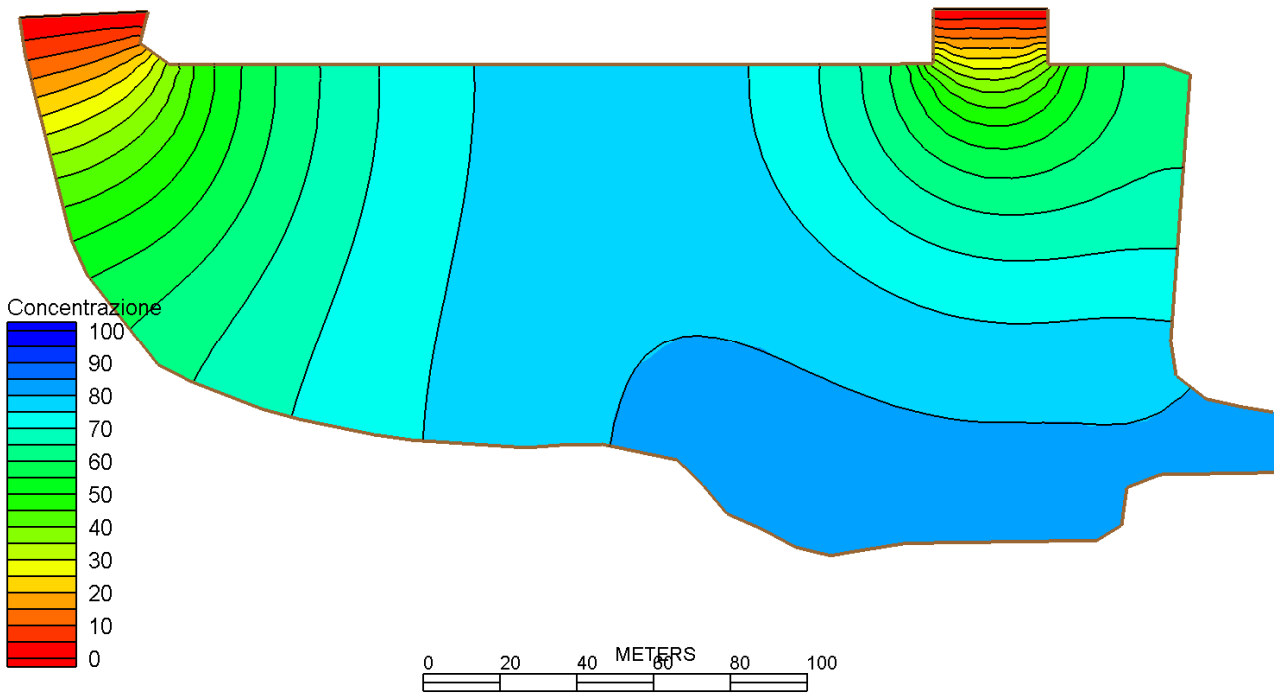


Fig. 19 - Scenario 2 – Concentrazione “marker” - ora 12.00

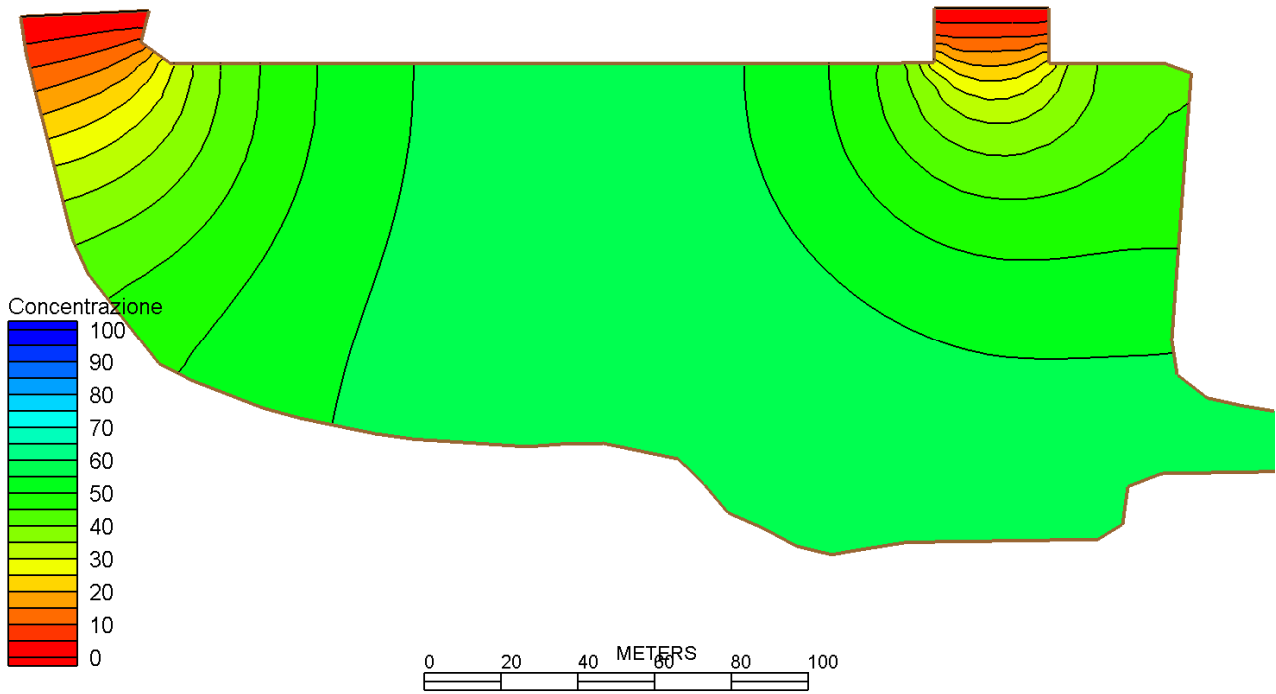


Fig. 20- Scenario 2 – Concentrazione “marker” - ora 24.00

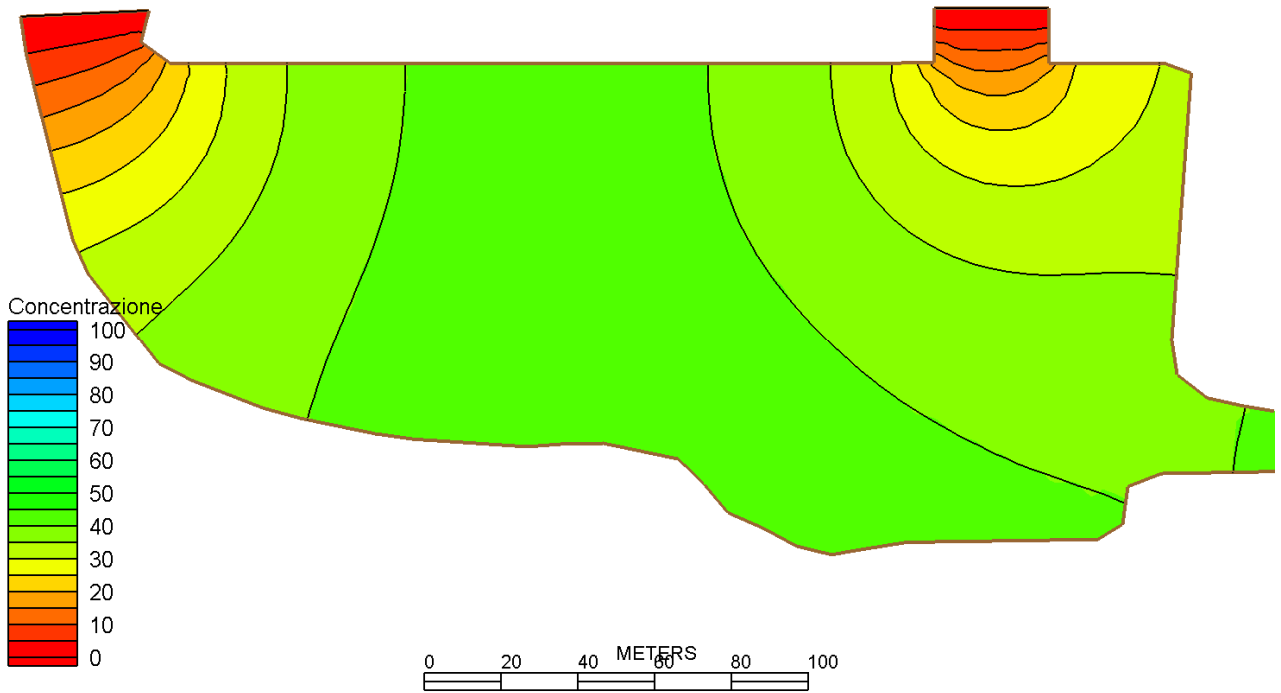


Fig. 21 - Scenario 2 – Concentrazione “marker” - ora 36.00

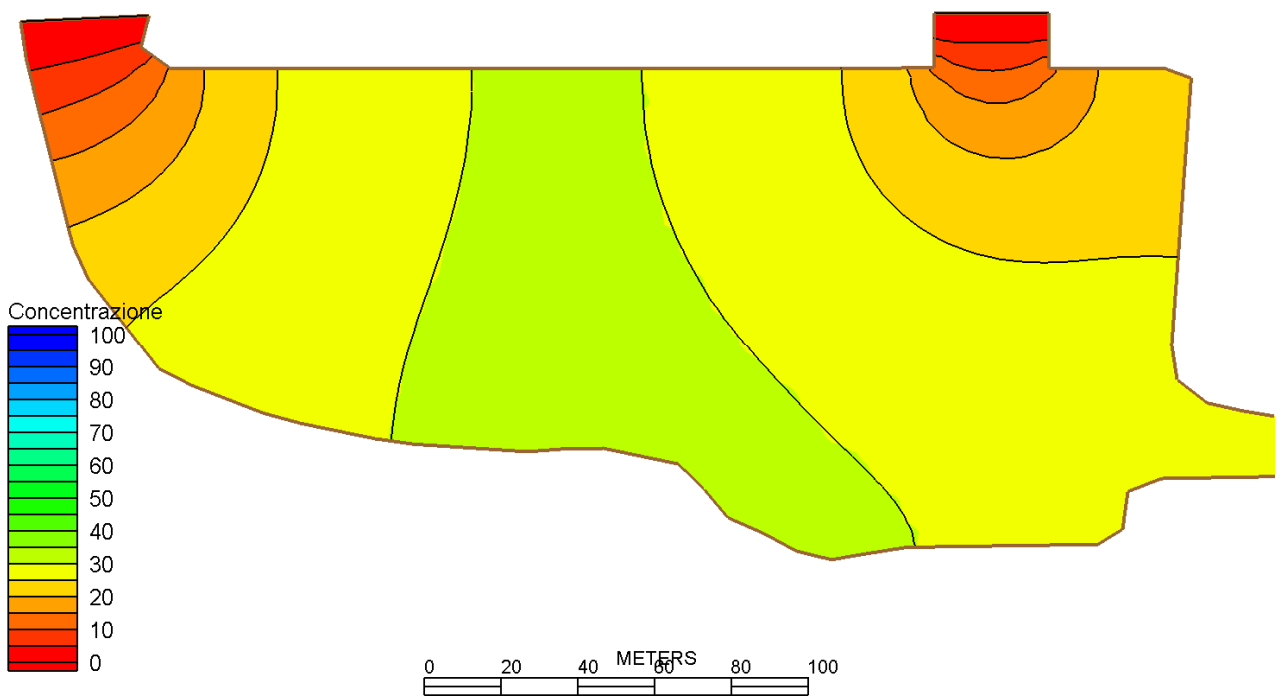


Fig. 22- Scenario 2 – Concentrazione “marker” - ora 48.00

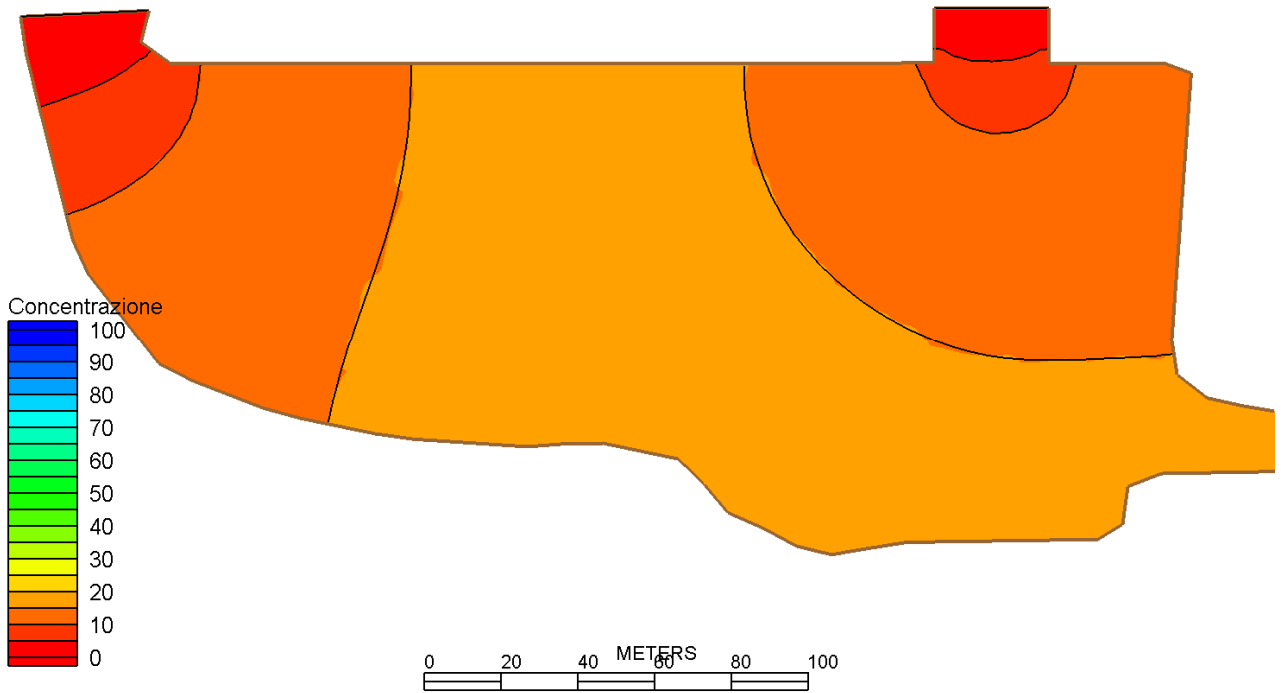


Fig. 23 - Scenario 2 – Concentrazione “marker” - ora 72.00



Fig. 24- Scenario 2 – Concentrazione “marker” - ora 96.00

3.2. Verifica dell'Ossigeno disciolto (DO)

Questo parametro consente una valida caratterizzazione qualitativa dello "stato di salute" delle acque invase, anche se non è certo in grado di esprimere i complessi rapporti biologici, chimici e fisici che si instaurano all'interno del corpo d'acqua, per l'analisi dei quali si renderebbe necessario definire altri parametri quali la temperatura, il pH, il BOD, la carica batterica, le sostanze disciolte e quelle in sospensione.

In generale infatti si osserva che il corpo d'acqua permane in uno stato di "salute", fintanto che in esso si mantiene una concentrazione di ossigeno tale da assicurare la vita e lo sviluppo degli organismi più elevati e più sensibili a carenze di ossigeno (Masotti, 1978). La concentrazione di ossigeno disciolto in acqua di mare in condizioni di saturazione varia tra 6.4 e 11,9 mg/l con temperatura variabile tra 30° C e 0° C.

Studi più specifici condotti sulla qualità delle acque in un bacino portuale indicano come non sia sufficiente garantire elevate concentrazioni di ossigeno ma sia comunque necessario contenere la concentrazione di sostanze inquinanti (organiche e/o minerali) entro opportuni valori di sicurezza. Si è verificato che una riduzione della concentrazione di ossigeno sotto valori di 3 mg/l provocherebbe la morte ed il decadimento delle specie di macro invertebrati e fitoplankton più sensibili incrementando la massa dei fanghi organici ed innescando ulteriori fenomeni di deterioramento della qualità della massa idrica invasata.

Per verificare la qualità delle acque, in condizioni ordinarie di esercizio, si è simulato il grado di concentrazione dell'ossigeno disciolto a regime in uno scenario di condizioni al contorno (temperature medie del periodo estivo e sola escursione di marea).

I risultati delle condizioni idrodinamiche definiti con la serie di simulazioni condotte tramite il modello RMA2 sono stati utilizzati per simulare la variazione della concentrazione di ossigeno disciolto con il programma RMA4.

A tal proposito è stata posta una concentrazione iniziale minima pari a 3.0 mg/l considerando anche una legge di decadimento di tipo esponenziale [$C(t)=C(t_0)e^{-kt}$] assumendo come coefficiente di decadimento un valore pari a $k = 0,1$. Inoltre si è imposto che in corrispondenza delle aperture si abbia una concentrazione di ossigeno disciolto non eccessivamente

elevata operando, in tal modo, a vantaggio della sicurezza pari a 5.0 mg/l. Nella realtà lungo l'apertura 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.

Le simulazioni condotte riferendosi ai due distinti scenari (una sola apertura e doppia apertura) confermano che:

- nel primo caso, considerate le dimensioni e la conformazione del bacino, la concentrazione dell'ossigeno disciolto non è sufficientemente alimentata dai volumi di acqua affluenti con le fasi di marea. Fatta eccezione per la zona prossima all'apertura, la concentrazione di ossigeno assume valori assai prossimi a 3.0 mg/l (figg. 25÷28). Si sottolinea che in mancanza di ricambio idrico la concentrazione di ossigeno disciolto sarebbe destinata a decadere secondo la legge esponenziale $C(t)=C_0e^{-kt}$. La circolazione idrodinamica associata al fenomeno di escursione di marea è abbinata a limitati valori della concentrazione di ossigeno disciolto. L'effetto della marea in termini di rigenerazione biochimica delle acque invase si esaurisce a breve distanza dall'apertura.
- nel secondo caso, la presenza di una ulteriore apertura costituisce una ulteriore fonte di alimentazione in cui la massa d'acqua si trova ad una concentrazione equivalente a quella presente nella fascia di mare antistante l'apertura. Il beneficio in termini di concentrazione di ossigeno è palese (vedi figg. 29÷32). In questa situazione l'intero bacino presenta valori di ossigeno disciolto superiori a 4.0 mg/l (a fronte di un valore minimo vitale di 3.0 mg/l).

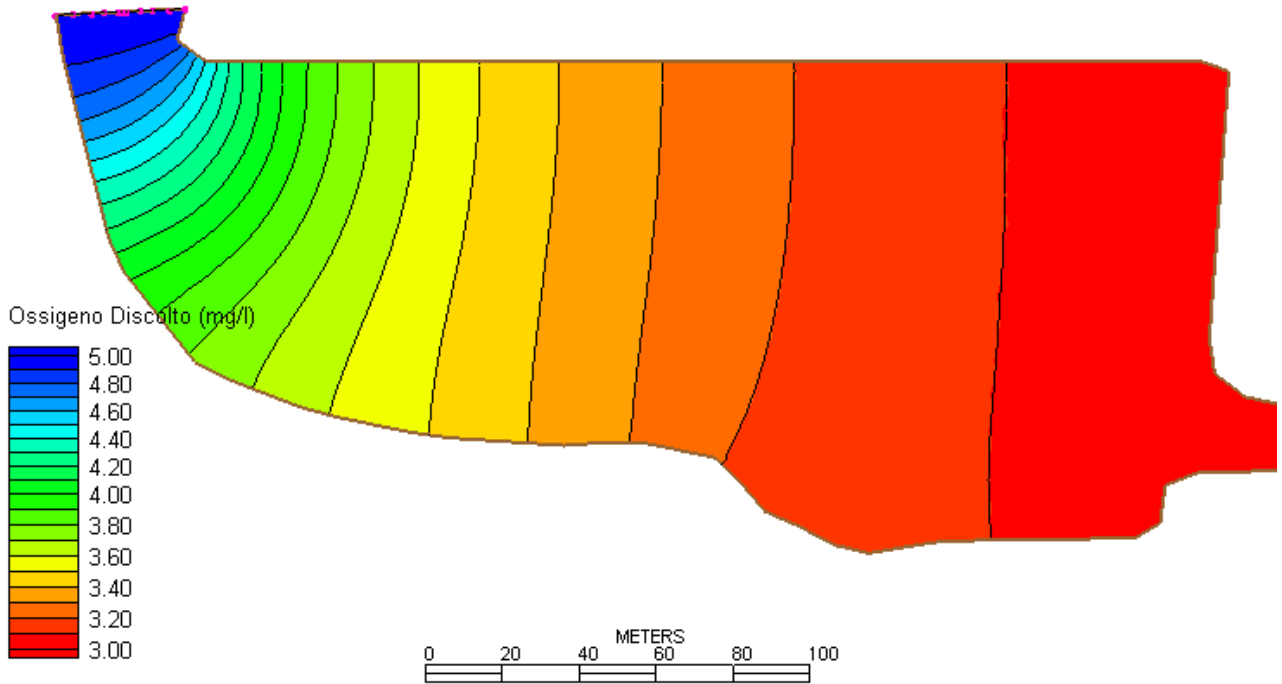


Fig. 25 - Scenario 1 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 0.00

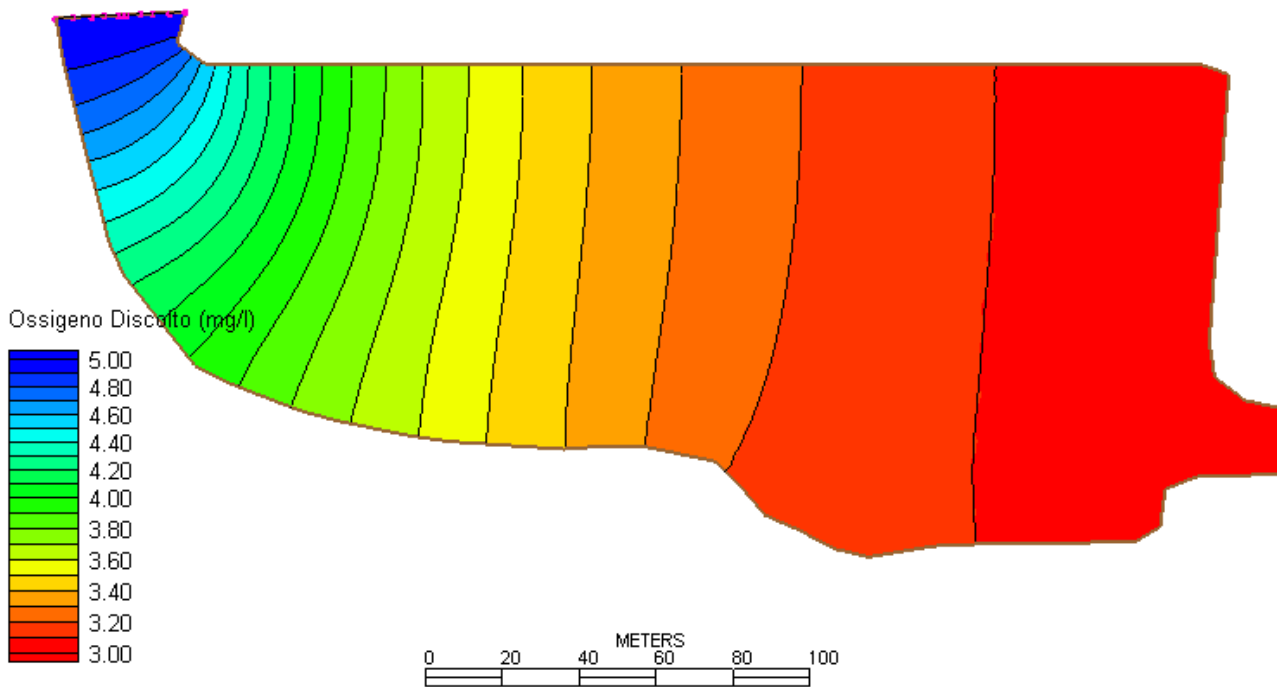


Fig. 26 - Scenario 1 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 3.00

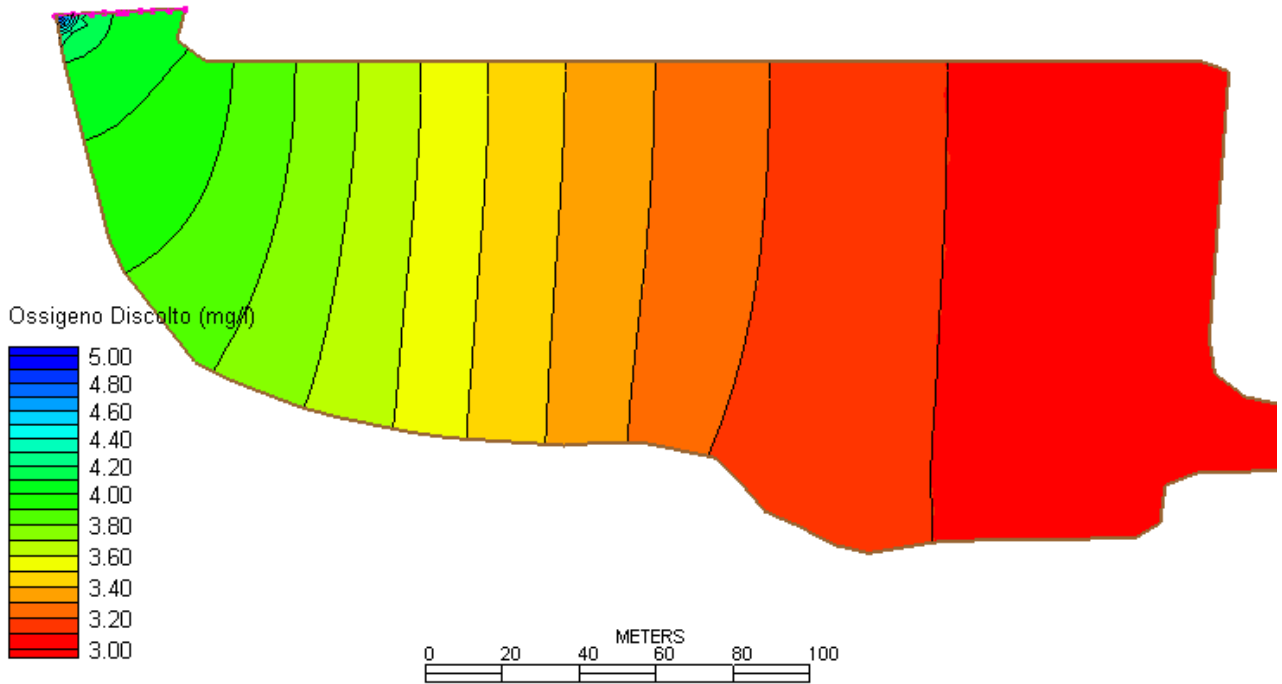


Fig. 27 - Scenario 1 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 6.00

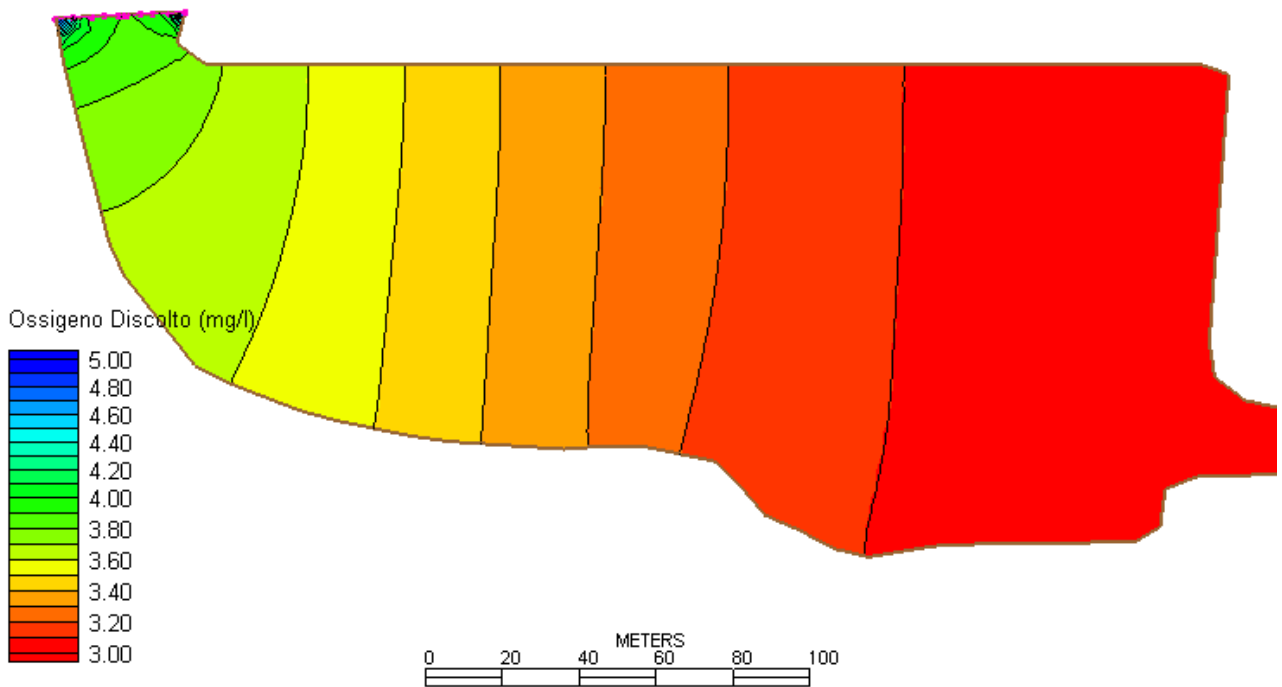


Fig. 28 - Scenario 1 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 9.00

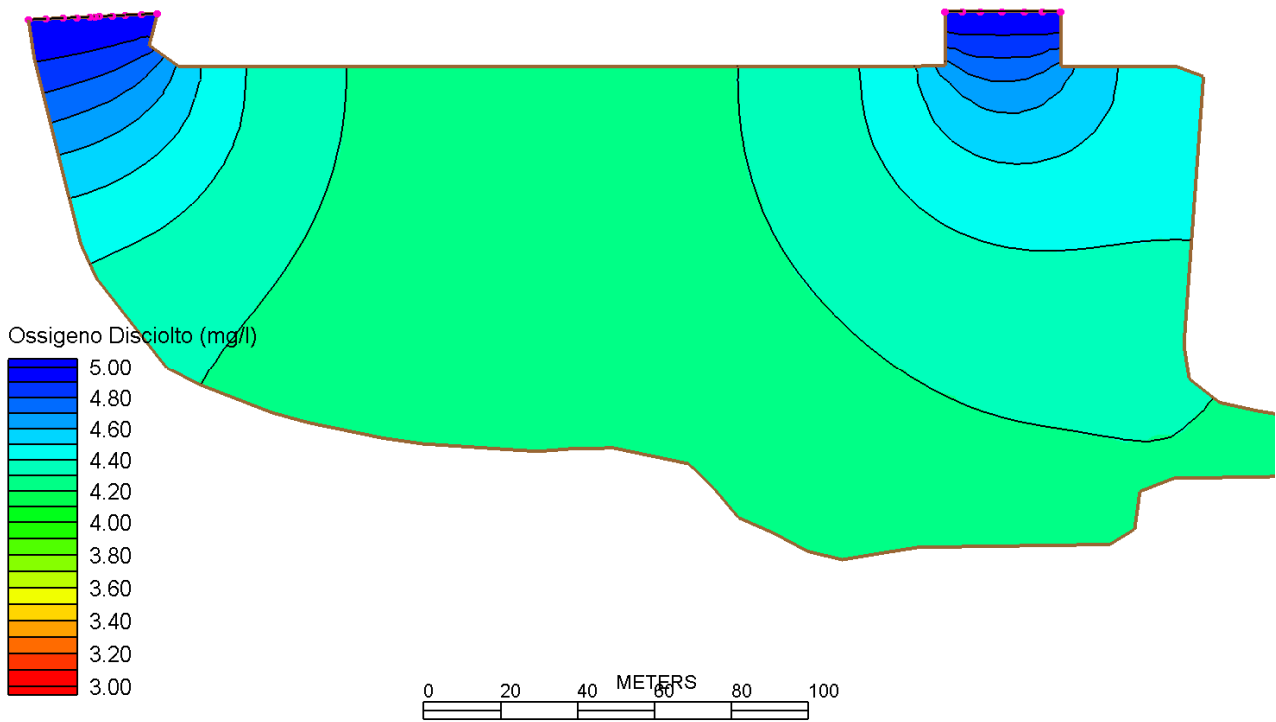


Fig. 29 - Scenario 2 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 0.00

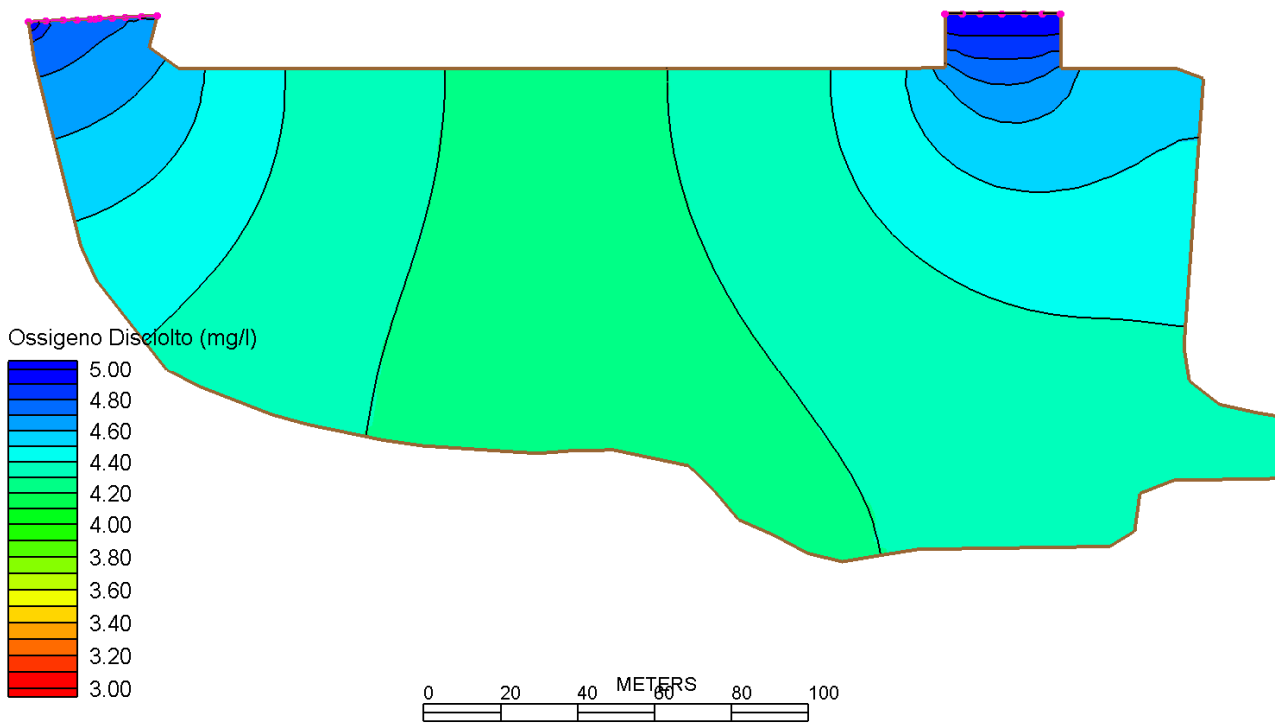


Fig. 30 - Scenario 2 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 3.00

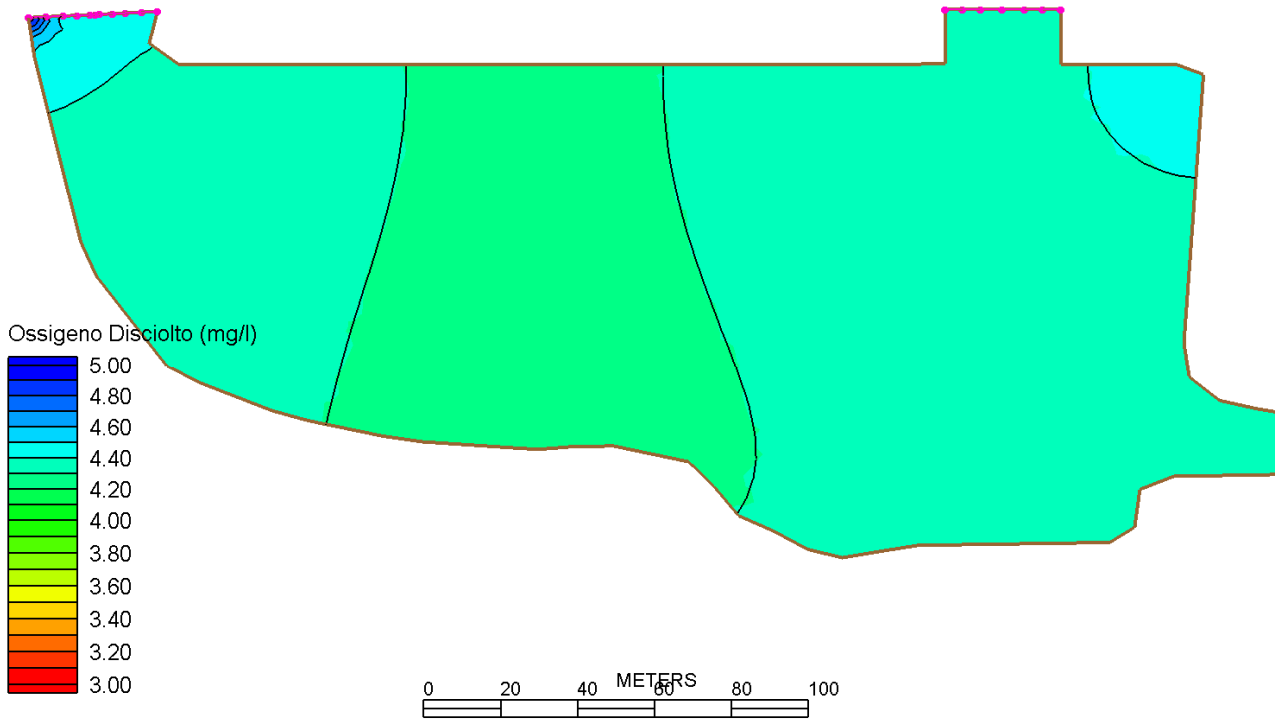


Fig. 31- Scenario 2 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 6.00

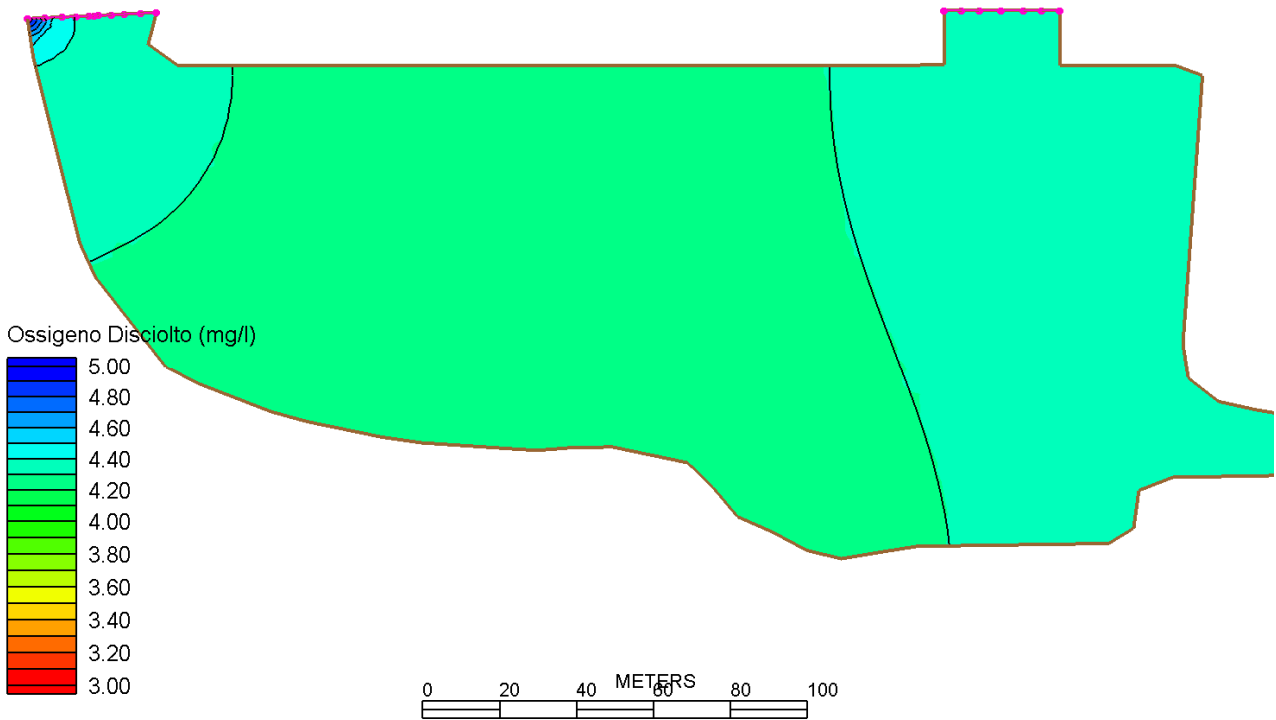


Fig. 32 - Scenario 2 – Concentrazione ossigeno disciolto - ora 9.00

4. CONCLUSIONI

L'applicazione di un idoneo modello numerico agli elementi finiti ha permesso di simulare il campo di corrente indotto dalla sola marea astronomica e successivamente a per messo di valutare il grado di ricambio idrico e la distribuzione dell'ossigeno disciolto nell'intero bacino.

Le modeste oscillazioni mareali naturali non sono in grado di assicurare un adeguato ricircolo nel caso di una unica apertura in particolar modo nei mesi estivi con un modesto moto ondoso. Un netto miglioramento è possibile considerando una ulteriore apertura di medesime dimensioni da collocare nell'estremità Nord del bacino

5. APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS-TABS

5.1. 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-TABS 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 9.2.1 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-TABS 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 9.2.1 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 9.2.1 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.

5.2.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 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 9.2.1 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:

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

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

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]

a₀ = quota del fondo [L]

ρ = densità del fluido [ML⁻³]

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

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

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

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

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

5.3. Codice 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 9.2.1 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 [$L T^{-1}$]

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

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

t = tempo [T]

c = concentrazione del costituente [$M L^{-3}$]

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

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

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

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 vengono eseguite 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 nel SMS 9.2.1 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 9.2.1 per la costruzione della griglia. Se non si dispone di una batimetria possono essere utilizzati rilievi o misure di indagini dirette.

Il software SMS 9.2.1 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 9.2.1 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. Tali parametri sono definiti con l'ausilio del software "make_ev_df" fornito a corredo del SMS 9.2.1. Tutti questi parametri possono essere introdotti interattivamente utilizzando il software SMS 9.2.1. Le condizioni al contorno vengono salvate dal SMS 9.2.1 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 del SMS 9.2.1.

Post-processing con il SMS 9.2.1

Dopo aver effettuato le simulazioni con il programma RMA-2, i risultati devono essere osservati con il processore grafico SMS 9.2.1. Il software SMS 9.2.1 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), il SMS 9.2.1 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. 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. Anche il parametro di diffusione viene determinato con l'ausilio del software '2make_ev_df', fornito a corredo di SMS 9.2.1.