

# NUOVO ATTRACCO PER TRAGHETTI E MESSA IN SICUREZZA DELL'APPRODO TURISTICO

## PROGETTO ESECUTIVO

Titolo elaborato :

**ALLEGATO ALLO STUDIO METEOMARINO  
STUDIO DELLA QUALITA' DELLE ACQUE INTERNE PORTUALI**

Scala:

**E R S    0 3    0 0 4    A    0 0 1    0**

Committente:

**AUTORITA' PORTUALE  
DI LIVORNO**

R.U.P.

Dott. Ing. Umberto CAMPANA

Progettisti:

MODIMAR S.r.l.  
Prof. Ing. Alberto NOLI  
Prof. Ing. Alessandro TOGNA  
Dott. Ing. Maurizio VERZONI  
Dott. Ing. Marco TARTAGLINI  
Dott. Ing. Mauro MARINI  
Dott. Ing. Paolo CONTINI  
Dott. Ing. Giancarlo MILANA

Dott. Ing. Davide SALTARI  
Dott. Ing. Pietro CHIAVACCINI

	marzo 2006	0	EMISSIONE	R. PAREGGIANI	M. TARTAGLINI	A. TOGNA
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Disegnato:	Verificato:	Approvato:

Dimensioni foglio:

La MODIMAR s.r.l. si riserva la proprietà di questo disegno con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.  
This document is property of MODIMAR s.r.l. Reproduction and divulgation forbidden without written permission

Visto del Committente:

# **PORTO DI CAPRAIA**

## **NUOVO ATTRACCO PER I TRAGHETTI E MESSA IN SICUREZZA DELL'APPRODO TURISTICO**

### **PROGETTO ESECUTIVO**

#### **ALLEGATO ALLO STUDIO METEOMARINO**

#### **STUDIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE INTERNE PORTUALI MEDIANTE SIMULAZIONI NUMERICHE CON MODELLO MATEMATICO**

#### **INDICE**

1. INTRODUZIONE .....	2
2. VERIFICA DEL CAMPO IDRODINAMICO .....	3
2.1 Applicazione del sistema di modellazione SMS .....	3
2.2 Discretizzazione dello specchio liquido .....	3
2.3 Definizione delle condizioni al contorno .....	6
2.4 Risultati delle simulazioni idrodinamiche .....	7
3. VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE INVASATE .....	19
APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS .....	30
Introduzione .....	31
Codice RMA-2 .....	32
Applicazioni .....	32
Equazioni utilizzate .....	32
RMA-4 .....	33
Equazioni utilizzate .....	34
Processo di Simulazione .....	34

## 1. INTRODUZIONE

Il mantenimento di qualità organolettiche accettabili all'interno di un porto turistico costituisce un delicato problema di gestione del sistema portuale spesso imprescindibile per le esigenze operative e funzionali del porto. Infatti, in periodi di scarse oscillazioni di marea abbinati a condizioni di temperature elevate tipiche dei mesi estivi e quando peraltro è di maggiore utilizzazione del marina, 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.

Nella progettazione del porto turistico di Capraia è stato condotto (ai sensi del D. M. 14/4/1998) il presente studio sulla qualità delle acque interne portuali utilizzando un opportuno modello matematico di simulazione.

In una prima simulazione sono state considerate come forzanti idrodinamiche del sistema l'azione contemporanea della marea astronomica e delle portate del fosso di Vado del Porto; nella seconda elaborazione numerica, oltre alle precedenti, sono stati presi in considerazione anche gli effetti dovuti all'introduzione della circolazione forzata dovuta all'installazione di pompe di “vivificazione” verificando la portata necessaria per garantire livelli di qualità accettabili delle acque interne.

## 2. VERIFICA DEL CAMPO IDRODINAMICO

Per la verifica del campo idrodinamico che contraddistingue il porto turistico é stato esaminato lo scenario che prevede come forzanti idrodinamiche del sistema l'azione indotta dalla marea astronomica e quella dovuta all'immissione nel lago delle acque del fosso di Vado del Porto. I risultati delle simulazioni condotte con il codice di calcolo numerico SMS hanno permesso la verifica delle condizioni di circolazione idrodinamica nello specchio liquido preso in esame.

Nei paragrafi successivi vengono ampiamente 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 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.

Inoltre il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processor 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. 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 48 ore.

### *2.2 Discretizzazione dello specchio liquido*

Per la corretta applicazione delle routine di calcolo idrodinamico del modello SMS è importante effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del sistema liquido in esame. A tal proposito si è fatto riferimento all'andamento planimetrico del porto turistico e delle sponde interne. Inoltre per quanto riguarda la profondità del bacino si è fatto riferimento alle sezioni di progetto che prevedono fondali variabili dai  $-5.00$  m in corrispondenza dell'imboccatura portuale ai  $-3.00$  m nelle darsene più interne (vedi fig. 2.2.1).

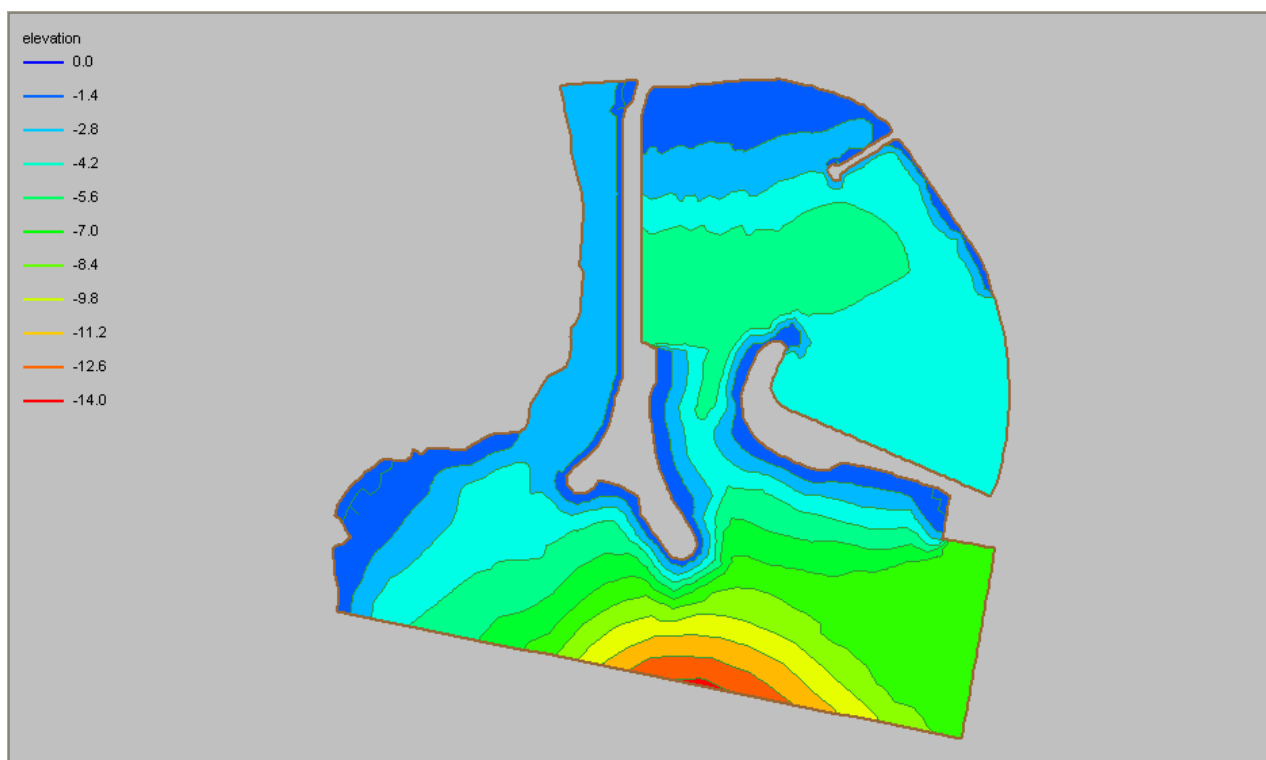


Fig. 2.2.1 - Batimetria di riferimento

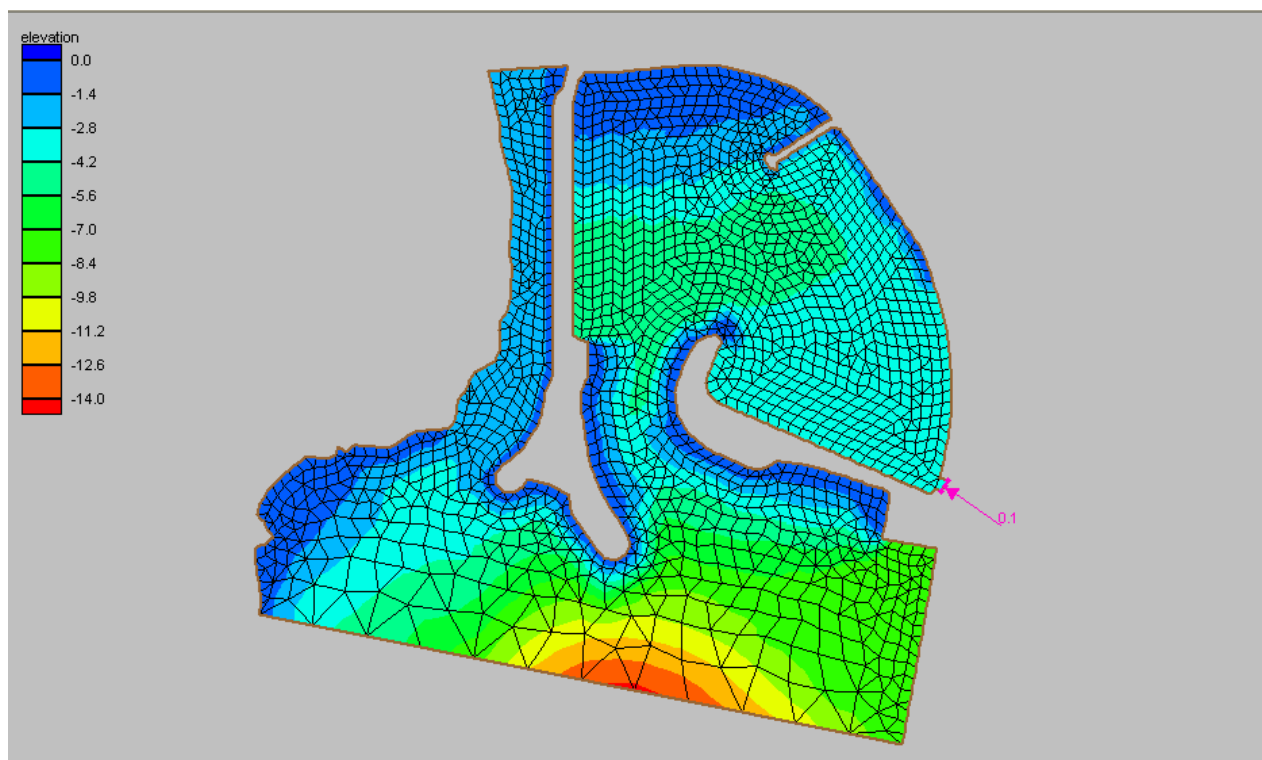


Fig. 2.2.2 - Discretizzazione dell'area di studio ed ubicazione delle pompe per la vivificazione

Tenendo conto di quanto appena esposto il campo fluido é stato suddiviso in una griglia di calcolo costituita da 2162 elementi (di cui 745 triangolari e 1417 quadrilateri), per un totale di 6097 nodi di calcolo (fig. 2.2.2).

### 2.3 Definizione delle condizioni al contorno

Al sistema liquido così discretizzato sono state imposte le condizioni al contorno in termini di livelli idrici (onda di marea) lungo la frontiera lato mare del dominio ed in termini di portata addotta dal fosso di Vado del Porto.

Per le condizioni di livello idrico si è fatto riferimento a due cicli di marea (24 ore) assumendo cautelativamente un dislivello di  $\pm 0.15$  m s.l.m.m. rappresentativo delle condizioni medie di oscillazione di massima marea astronomica (fig 2.3.1).

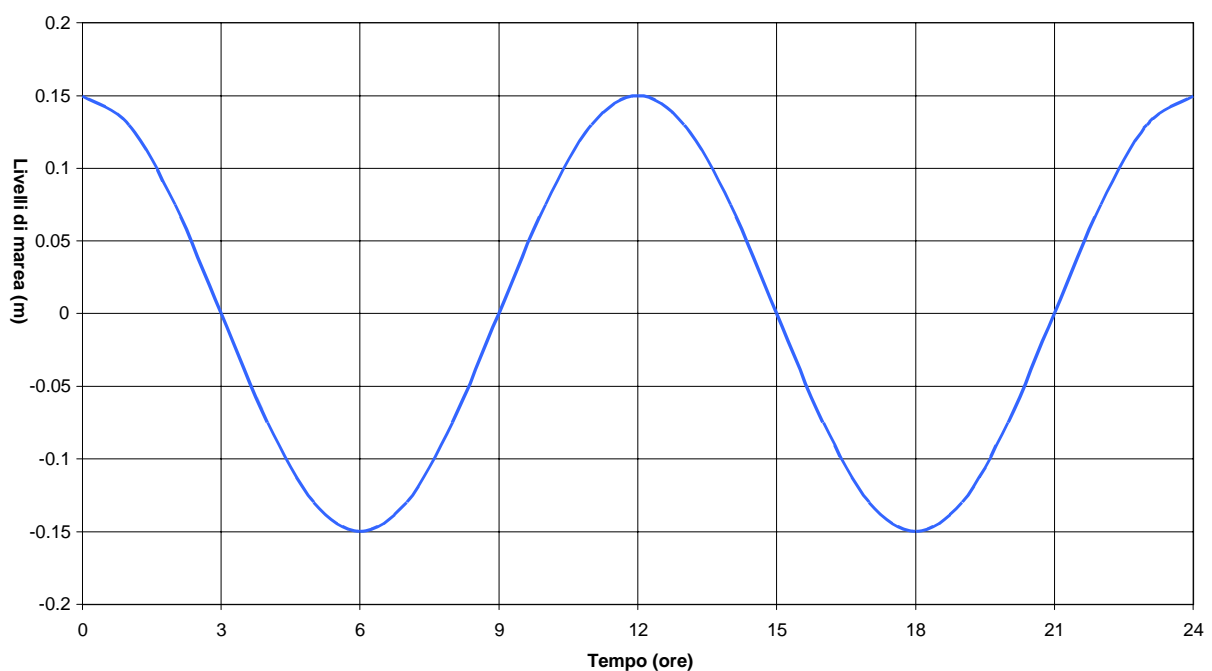


Figura 2.3.1 – Ciclo di marea semidiurno imposto al contorno nelle simulazioni

Per quanto riguarda i volumi fluidi immessi dal fosso, si è fatto riferimento alla portata di magra  $Q_1=0.10$  m<sup>3</sup>/s (ipotesi cautelativa). Per simulare correttamente l'intero campo idrodinamico anche in acque basse, 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 transitorie di asciutto-bagnato che nel corso del ciclo di marea può caratterizzare elementi contraddistinti da un basso tirante idrico.

#### 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 è stata condotta una prima simulazione per verificare la idoneità del livello di discretizzazione operato e la validità delle condizioni al contorno. La simulazione è stata effettuata al fine di verificare il livello di vivificazione naturale associato all'azione contemporanea delle correnti di marea e delle portate immesse dal fosso. Si è così verificato che le condizioni di flusso (corrente liquida entrante nello specchio portuale 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 discreta miscelazione dei volumi d'acqua invasati.

Nelle figure 2.3.2÷2.3.10 è possibile verificare il campo di velocità che si registra nelle varie fasi di marea; la scala di rappresentazione delle velocità (m/s) mostra che per la zona più interna del porto in esame, l'effetto di vivificazione dovuto alla sola marea ha una scarsa intensità (si determinano velocità inferiori ad 0.001 m/s). Al termine di queste simulazioni si è quindi constatato che la capacità naturale di ricircolo delle acque invase nel porto interno è alquanto limitata; queste condizioni idrodinamiche 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.

Nello scenario simulato non è stato tenuto conto sia della presenza di correnti litoranee che dell'effetto del vento, che comunque contribuiscono alla movimentazione delle acque superficiali e quindi forniscono un sensibile aiuto alla vivificazione dello specchio acqueo. Per aumentare la circolazione delle acque interne si può prevedere l'immissione di una portata di vivificazione distribuita mediante un opportuno numero di bocchette disposte in modo tale da favorire la circolazione nel bacino interno, al fine di ottenere nel canale di accesso e nella parte più interna condizioni che possano ritenersi soddisfacenti.



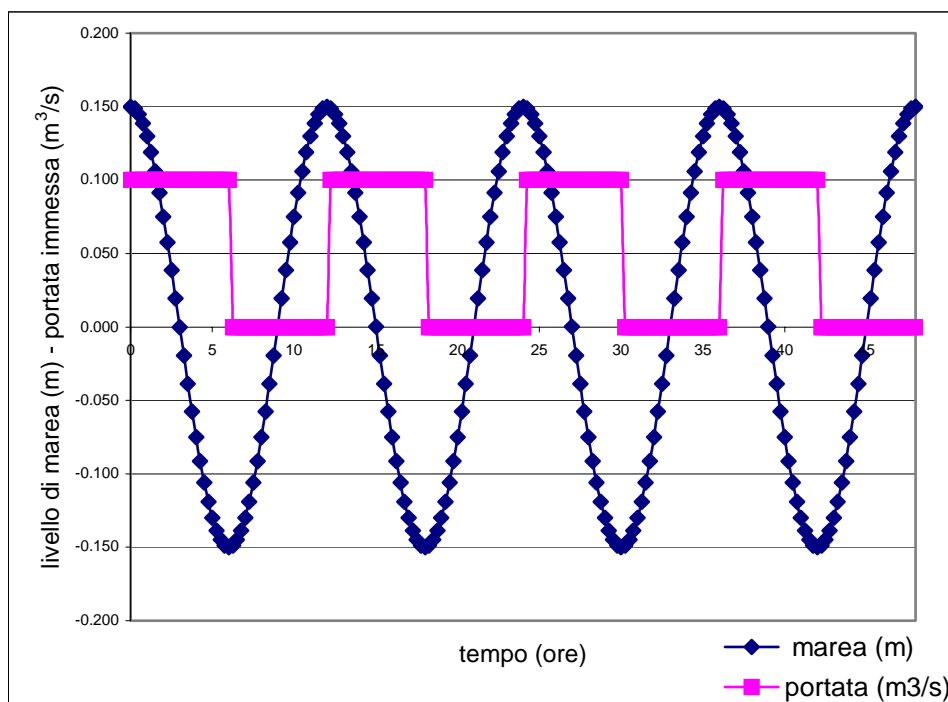


Fig. 2.3.1 – Grafico andamento temporale della marea e dell'azionamento delle portate di vivificazione

Le condizioni per l'immissione più favorevoli sono quelle corrispondenti alle fasi di marea calante a partire dal l.m.m. fino a raggiungere il minimo livello di marea, in modo tale da favorire la fuoriuscita dell'acqua dallo specchio portuale. Peraltro la presenza della corrente forzata, nelle fasi che vanno dal livello medio al livello minimo, comporterà un incremento delle velocità nelle zone più interne a valori accettabili superiori a quelli individuati nelle simulazioni effettuate.

Questo valore minimo della velocità può essere fissato considerando un tempo massimo necessario per "evacuare" la particella posta nella zona della darsena più interna. A tal riguardo gli esperti di ecologia marina consigliano una rigenerazione teorica del 95% dei volumi invasati in un ciclo massimo di 5 giorni al fine di evitare l'insorgere di processi biologici indesiderati all'interno dello specchio liquido.

Nella seconda serie di simulazioni condotte è stata considerata l'immissione di una portata minima di vivificazione pari a 100 l/s ( $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ) in corrispondenza della radice del molo di sopraflutto in modo da favorire la circolazione nelle aree più interne dello specchio portuale, in quanto nell'avamposto tali condizioni possono ritenersi soddisfacenti.

L'immissione si realizza nelle fasi di marea calante dal massimo livello fino ad arrivare al valore minimo (nella simulazione si ha immissione dalle ore 0 alle ore 6 e dalle ore 12 alle ore 18).

In ogni caso non si è considerata né la presenza di correnti litoranee né l'azione benefica dovuta al vento.

I risultati grafici delle simulazioni 2.3.11÷2.3.19 mostrano che nelle fasi in cui il livello coincide con quello medio marino la distribuzione delle velocità sarebbe del tutto analoga a quanto riscontrato nelle prime simulazioni. Peraltro la presenza della corrente forzata, nelle fasi che vanno dal livello medio al livello minimo, determina un incremento minimo delle velocità nelle zone più interne attestandosi su valori prossimi a 0.001 m/s. L'immissione delle portate di vivificazione risulta avere comunque una fondamentale importanza per la qualità delle acque interne in quanto le portate addotte incrementano la concentrazione di ossigeno all'interno del sistema, secondo quanto esposto nel par. 3.

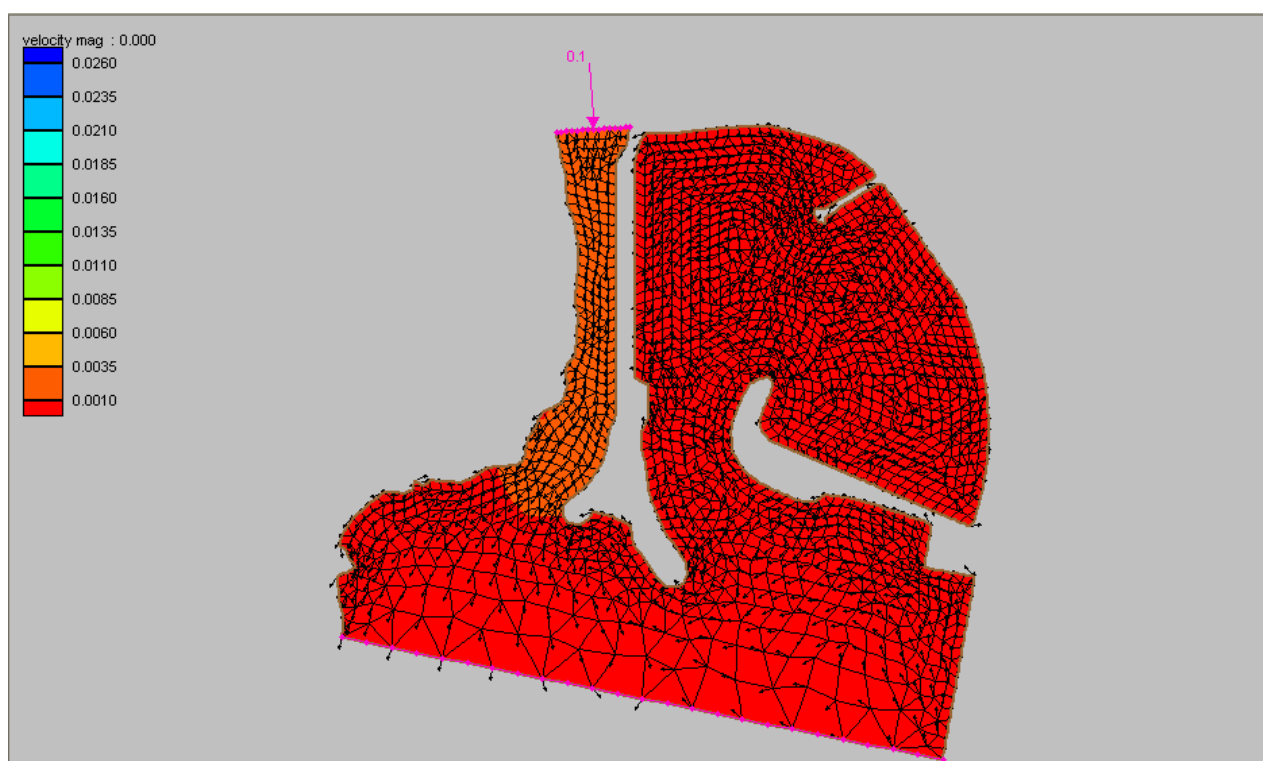


Fig. 2.3.2 - Simulazione del campo idrodinamico t=0 ore

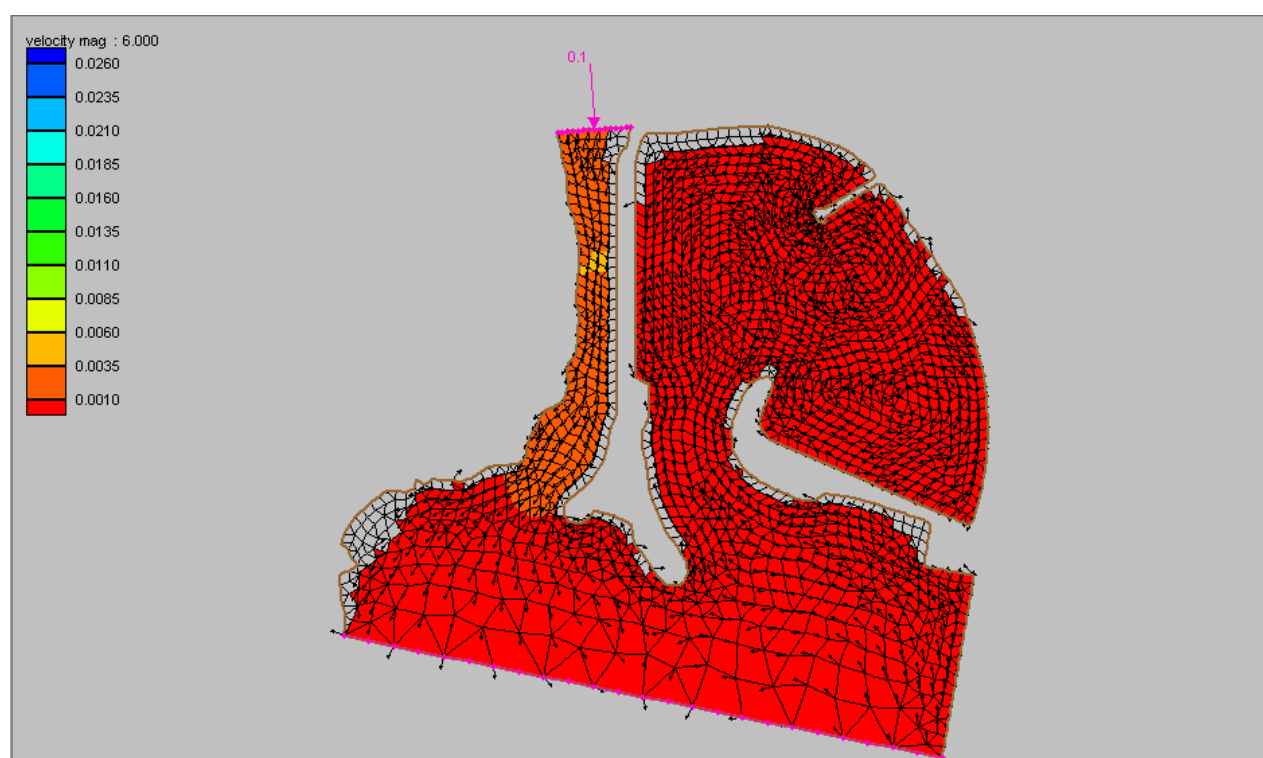


Fig. 2.3.3 - Simulazione del campo idrodinamico t=6 ore

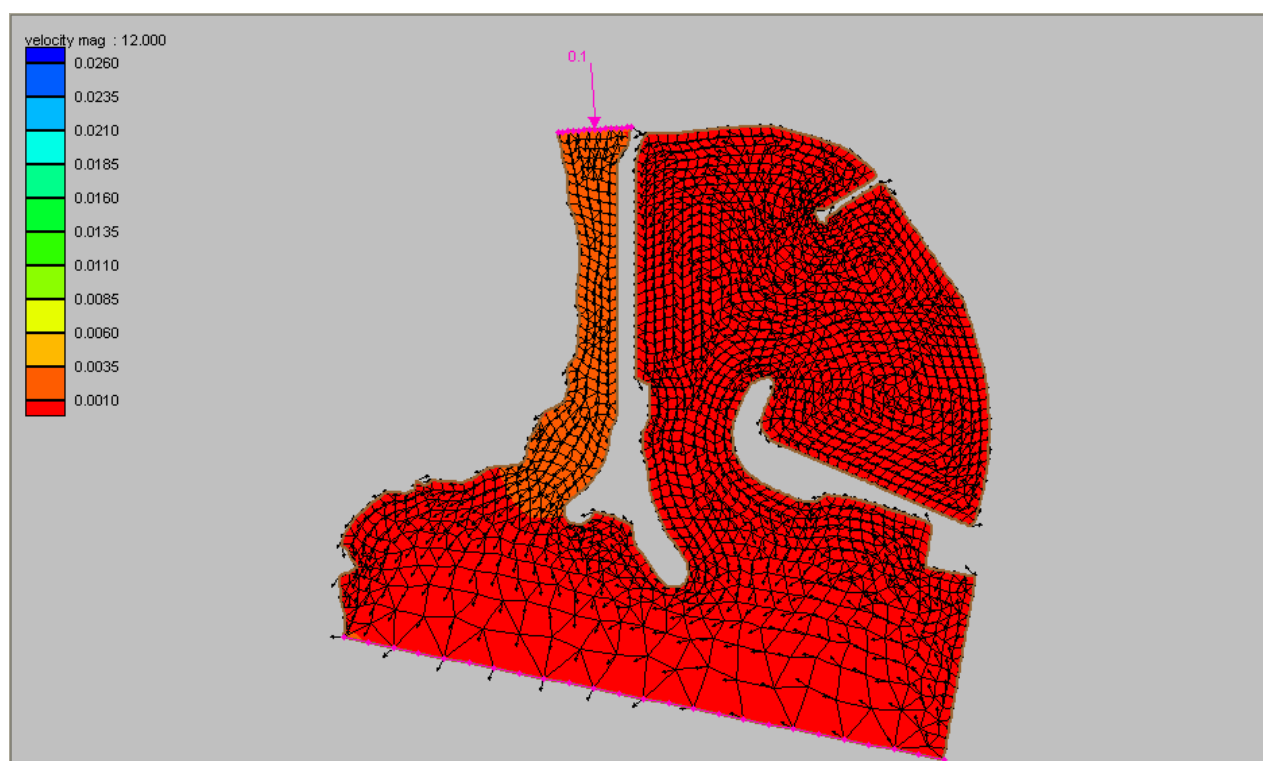


Fig. 2.3.4 - Simulazione del campo idrodinamico t=12 ore

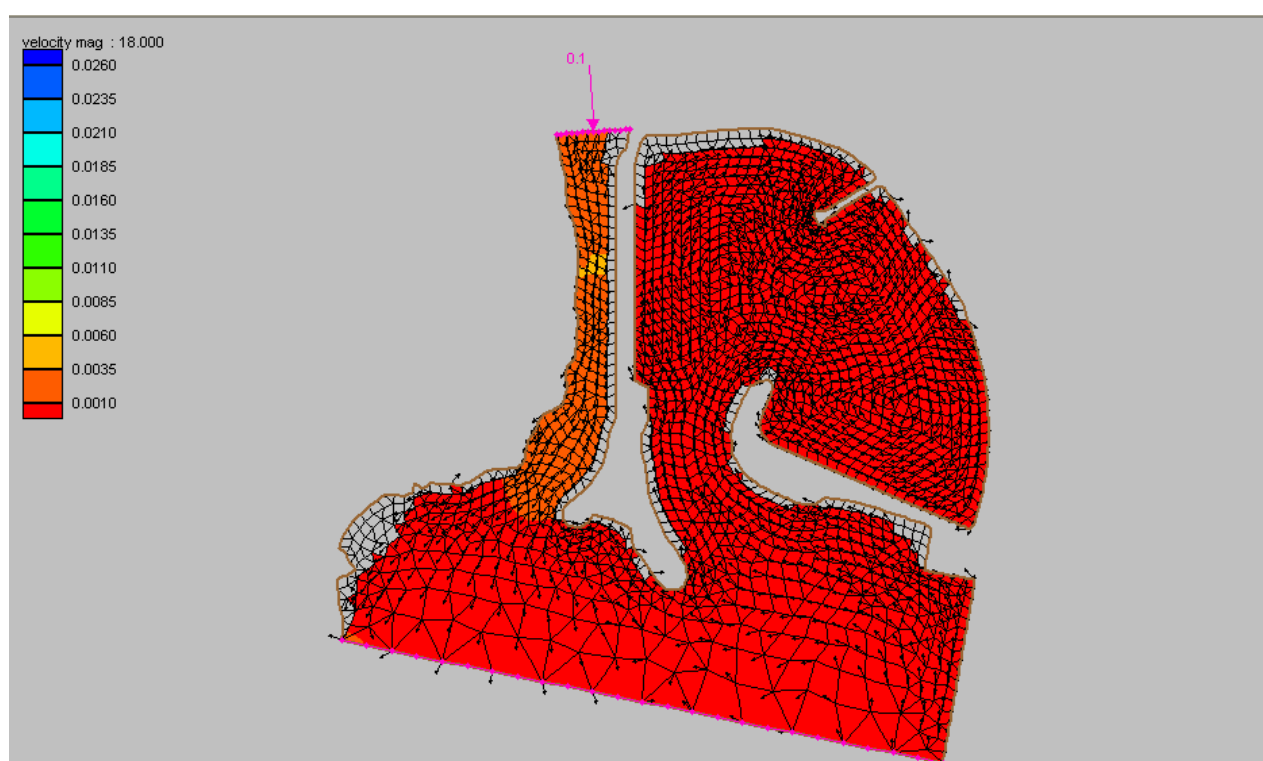


Fig. 2.3.5 - Simulazione del campo idrodinamico t=18 ore

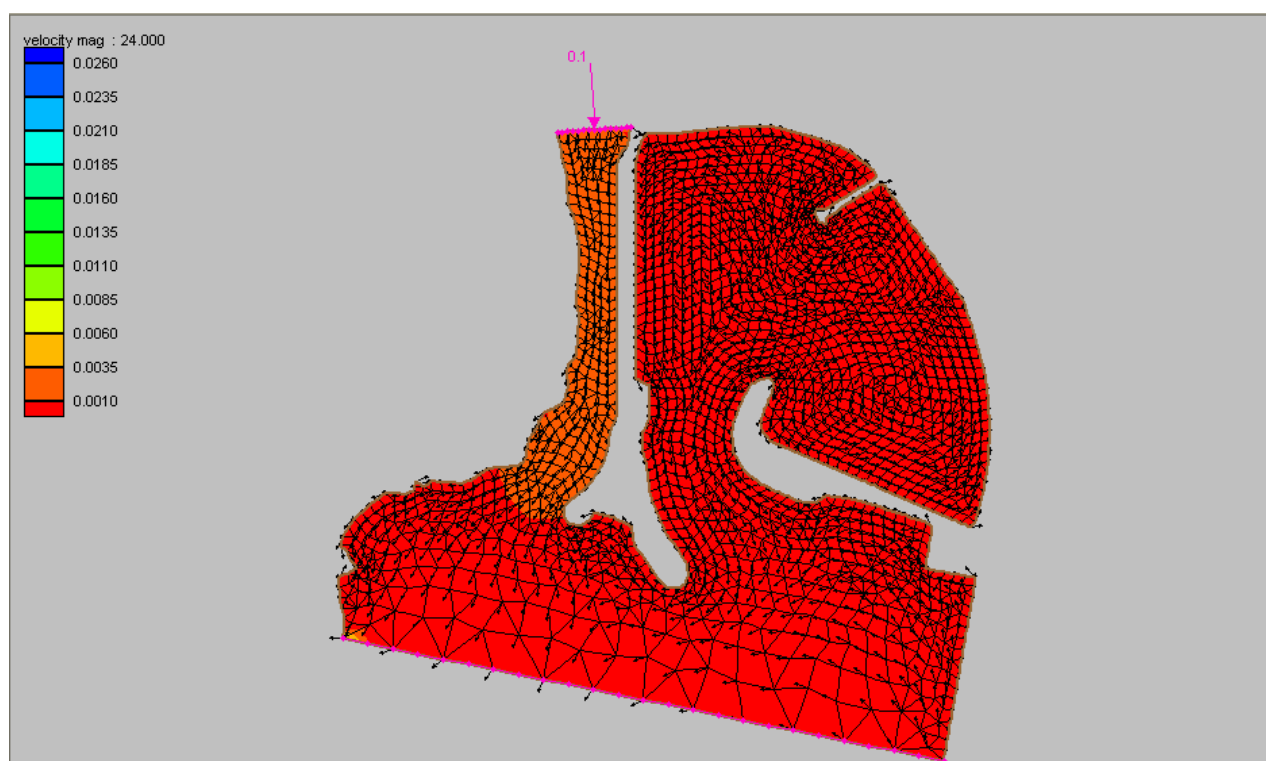


Fig. 2.3.6 - Simulazione del campo idrodinamico t=24 ore

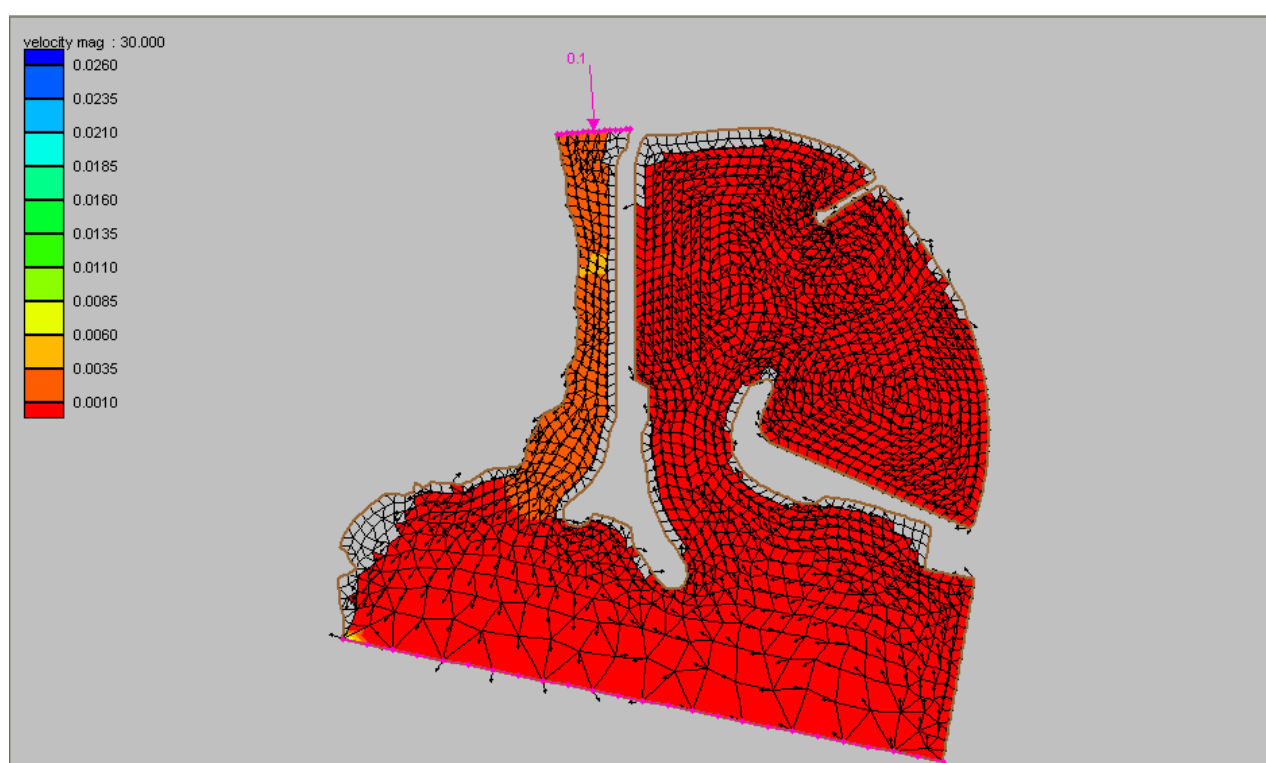


Fig. 2.3.7 - Simulazione del campo idrodinamico t=30 ore

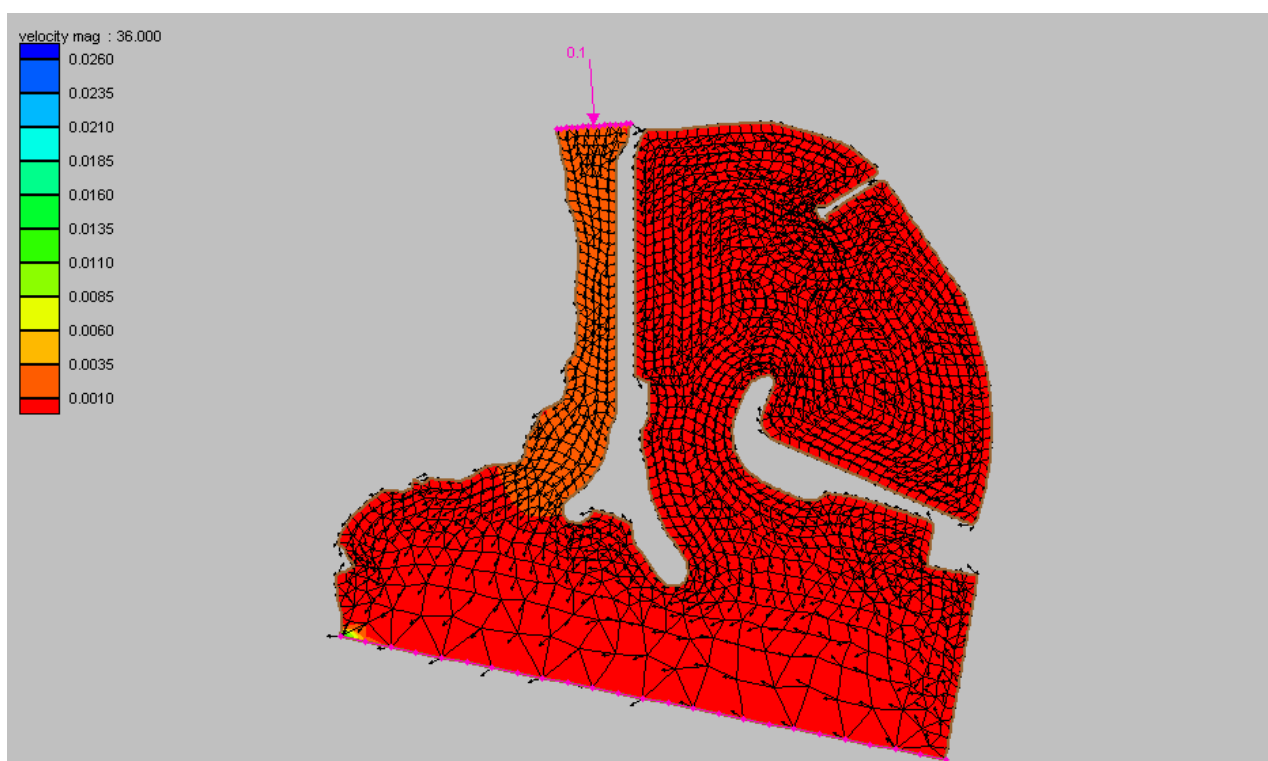


Fig. 2.3.8- Simulazione del campo idrodinamico t=36 ore

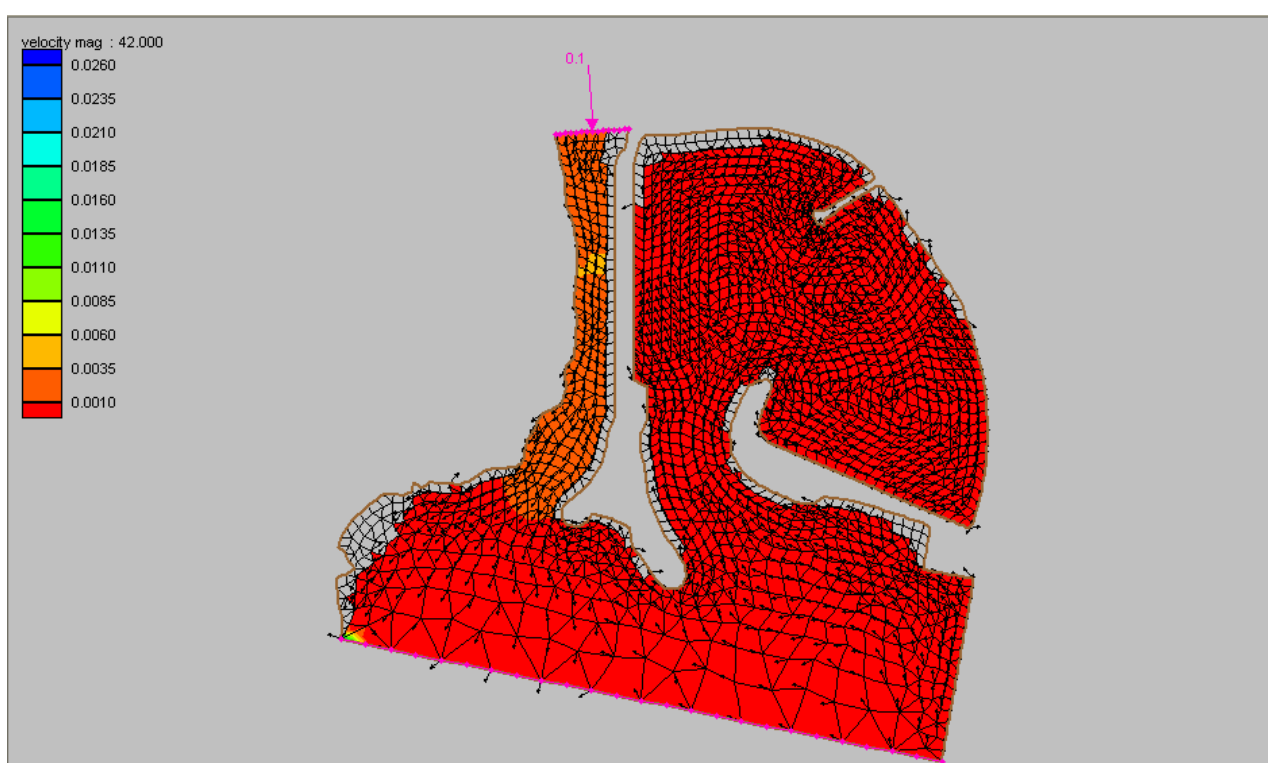
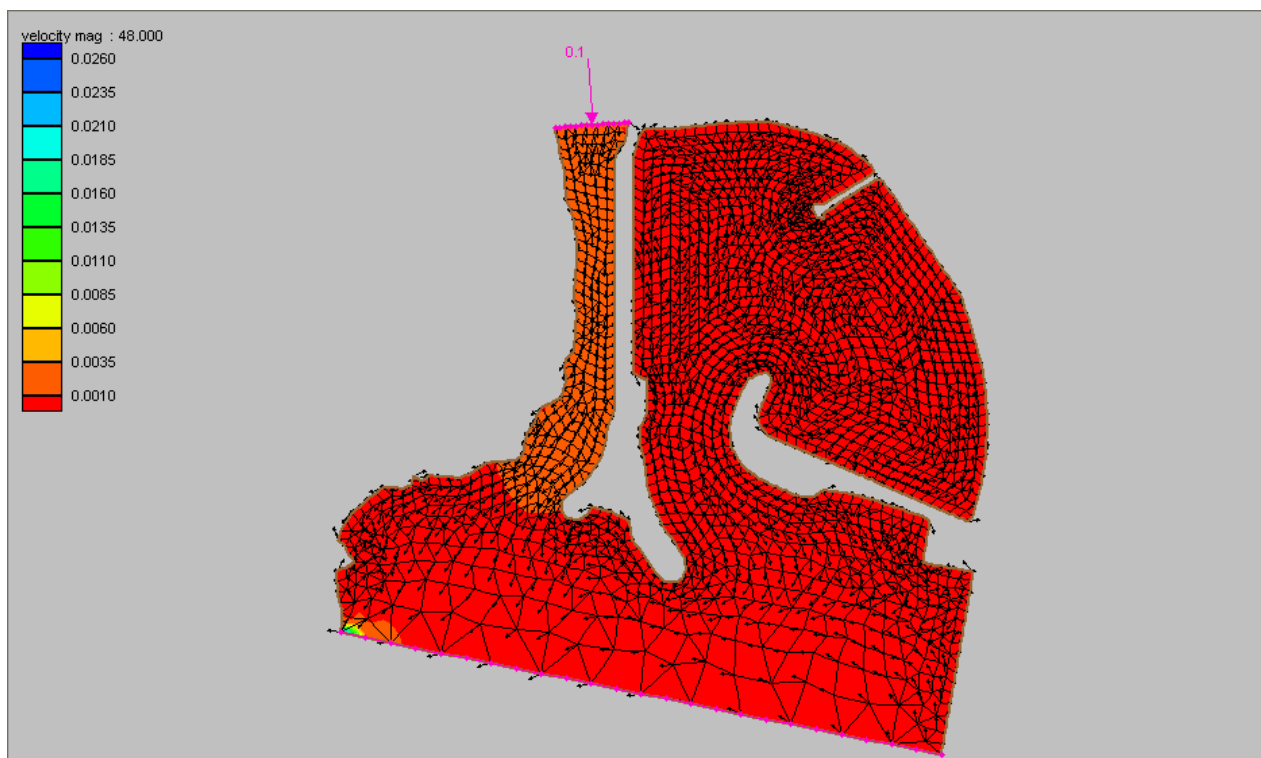
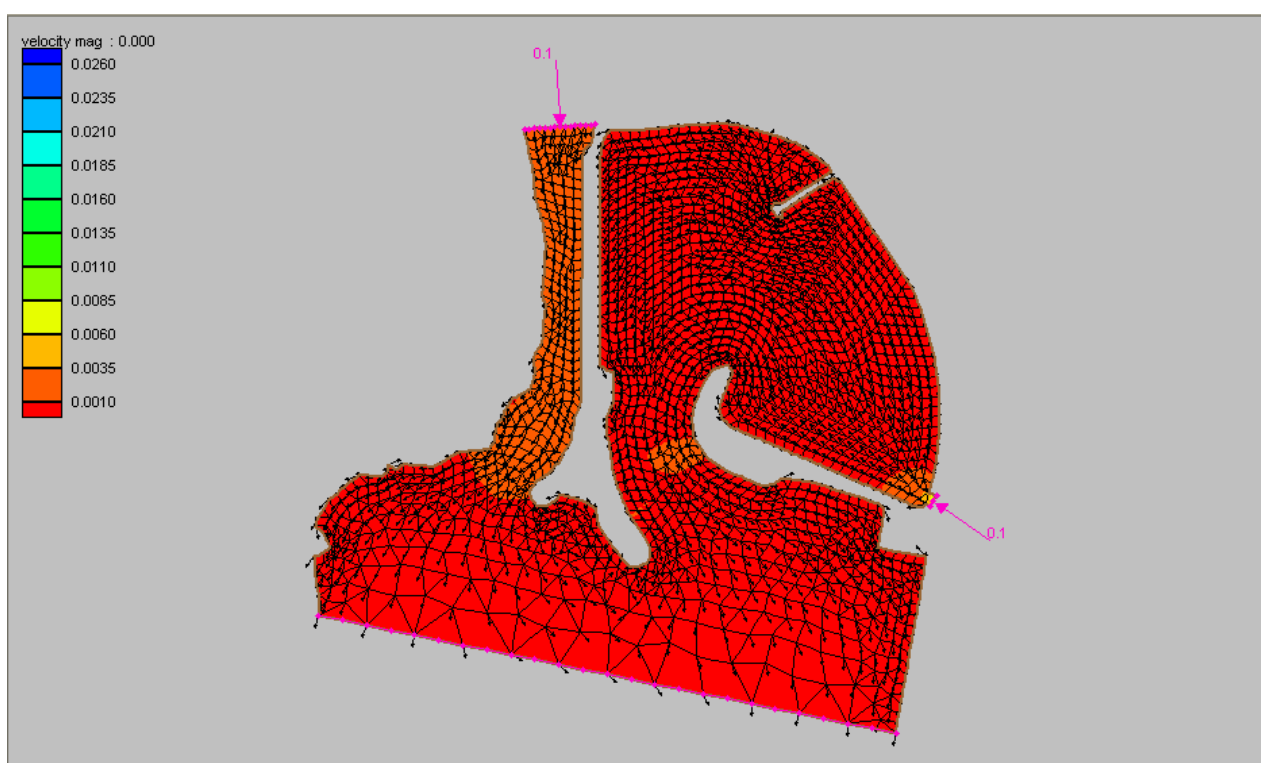
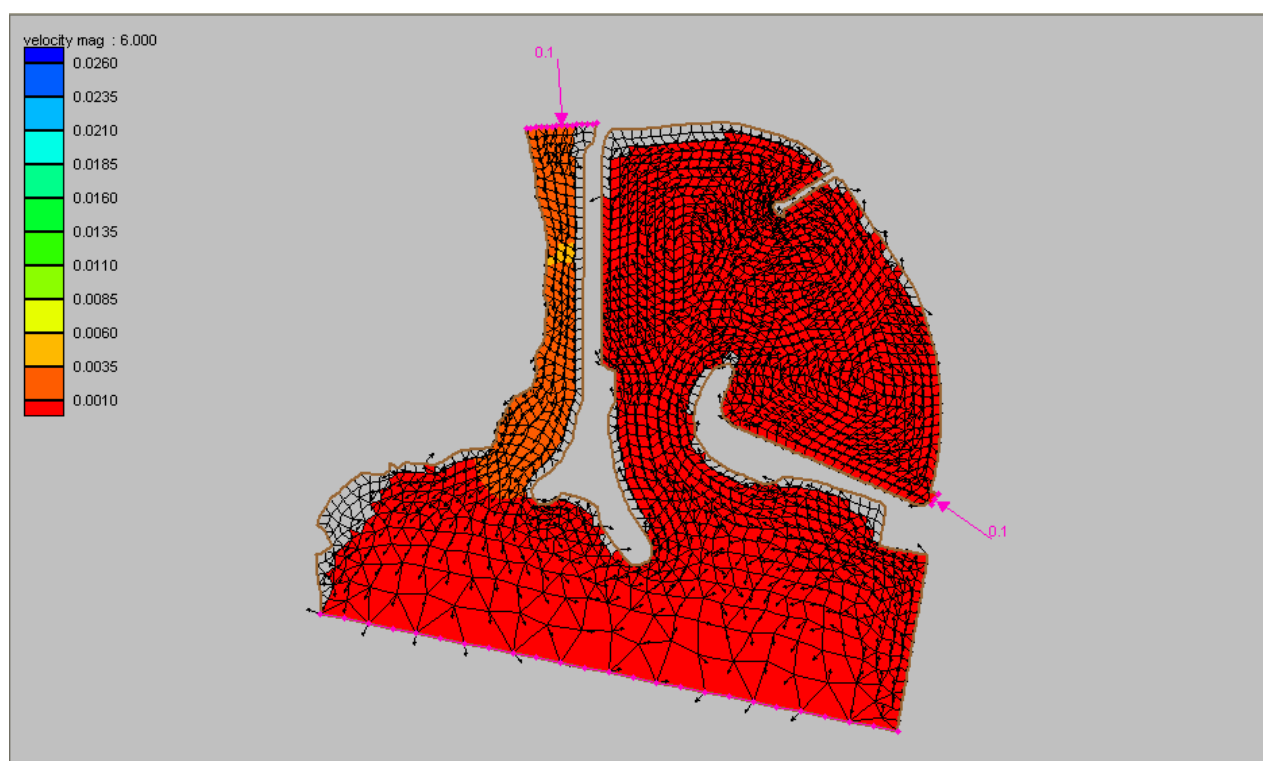
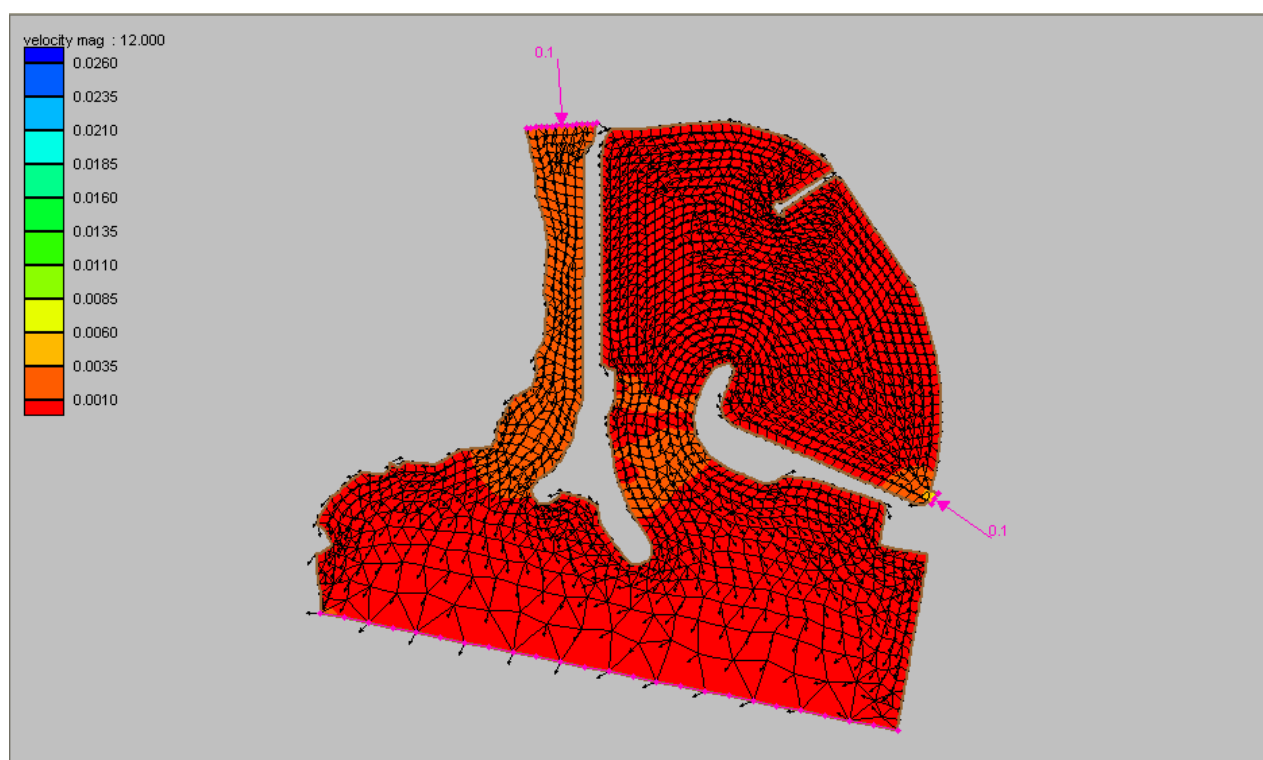


Fig. 2.3.9 - Simulazione del campo idrodinamico t=42 ore

Fig. 2.3.10 - Simulazione del campo idrodinamico  $t=48$  oreFig. 2.3.11 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata  $t=0$  ore



Fig. 2.3.12 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata  $t=6$  oreFig. 2.3.13 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata  $t=12$  ore



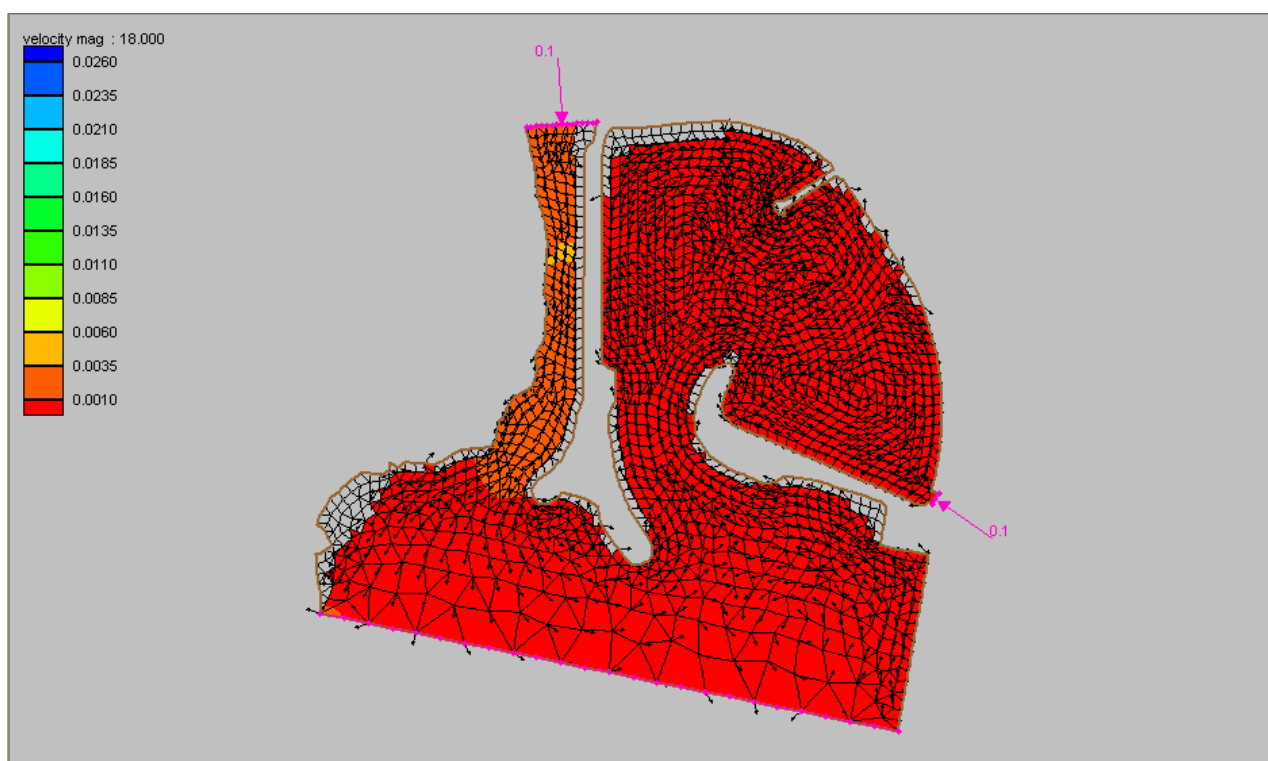


Fig. 2.3.14 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata t=18 ore

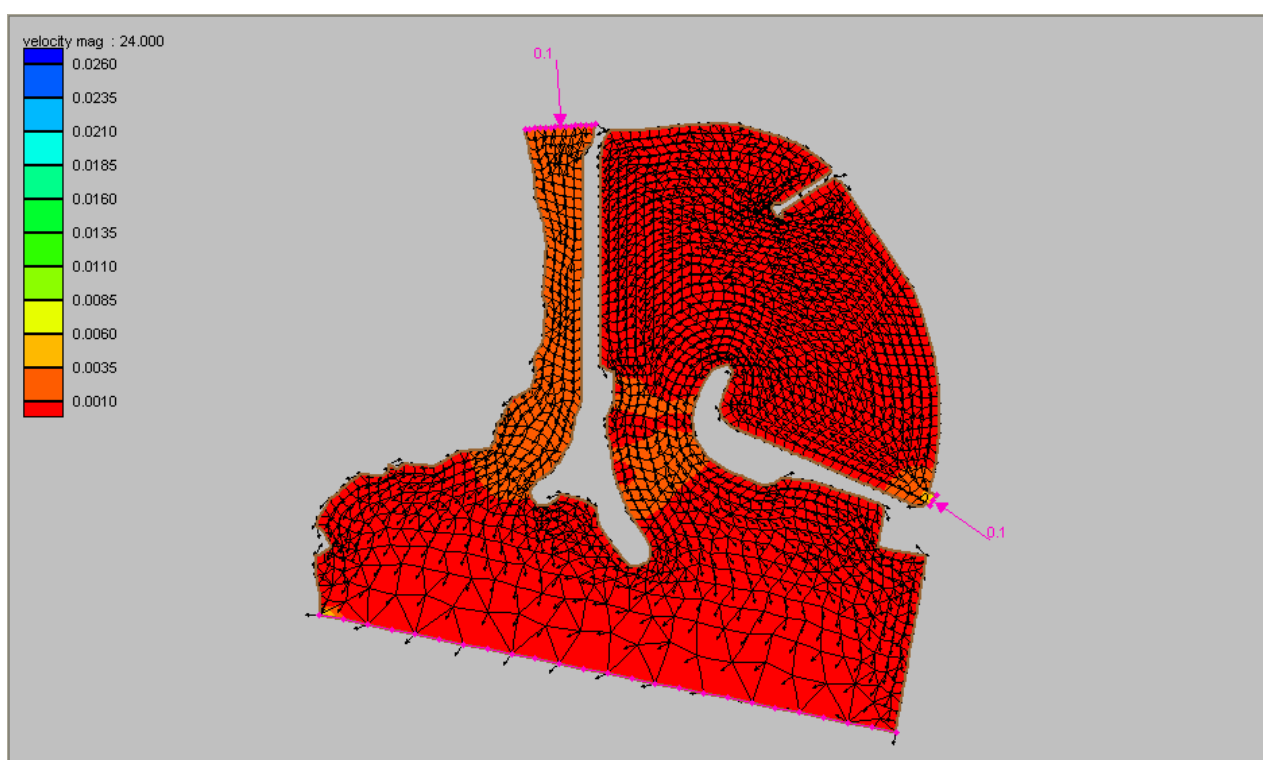


Fig. 2.3.15 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata t=24 ore

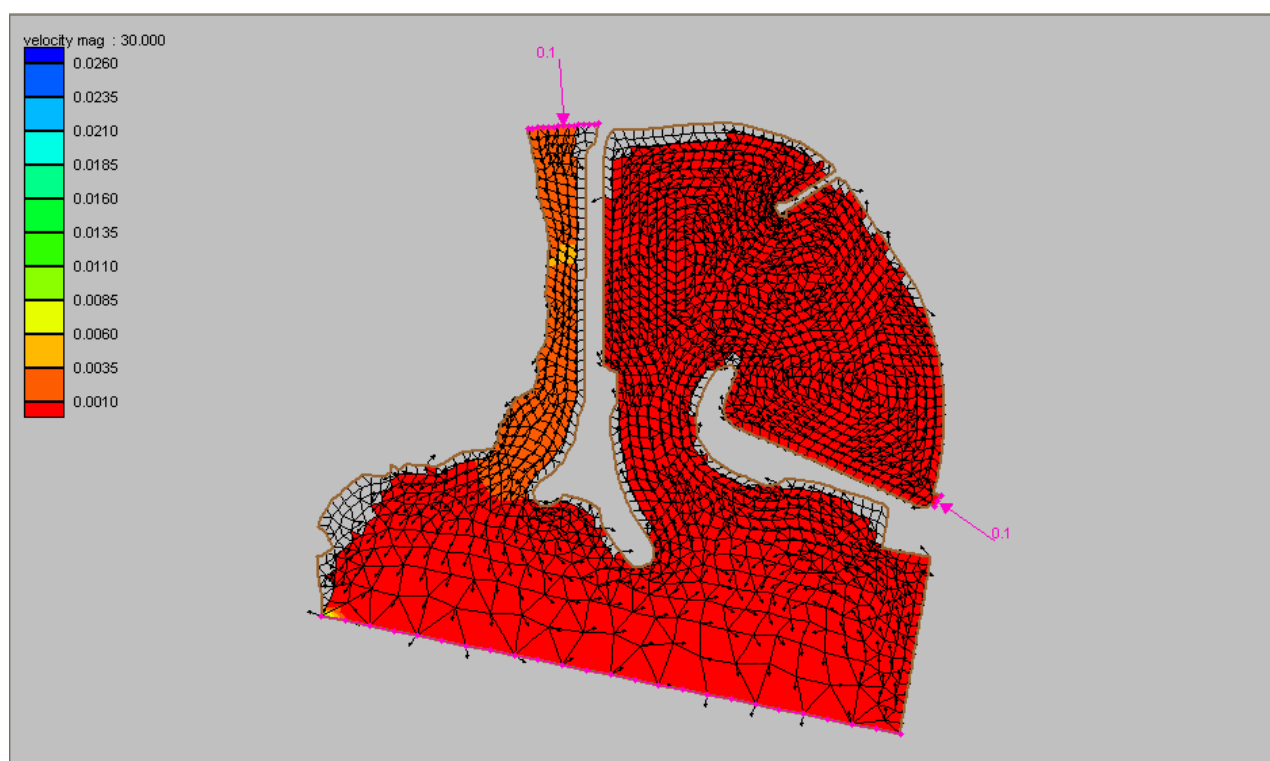


Fig. 2.3.16 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata t=30 ore

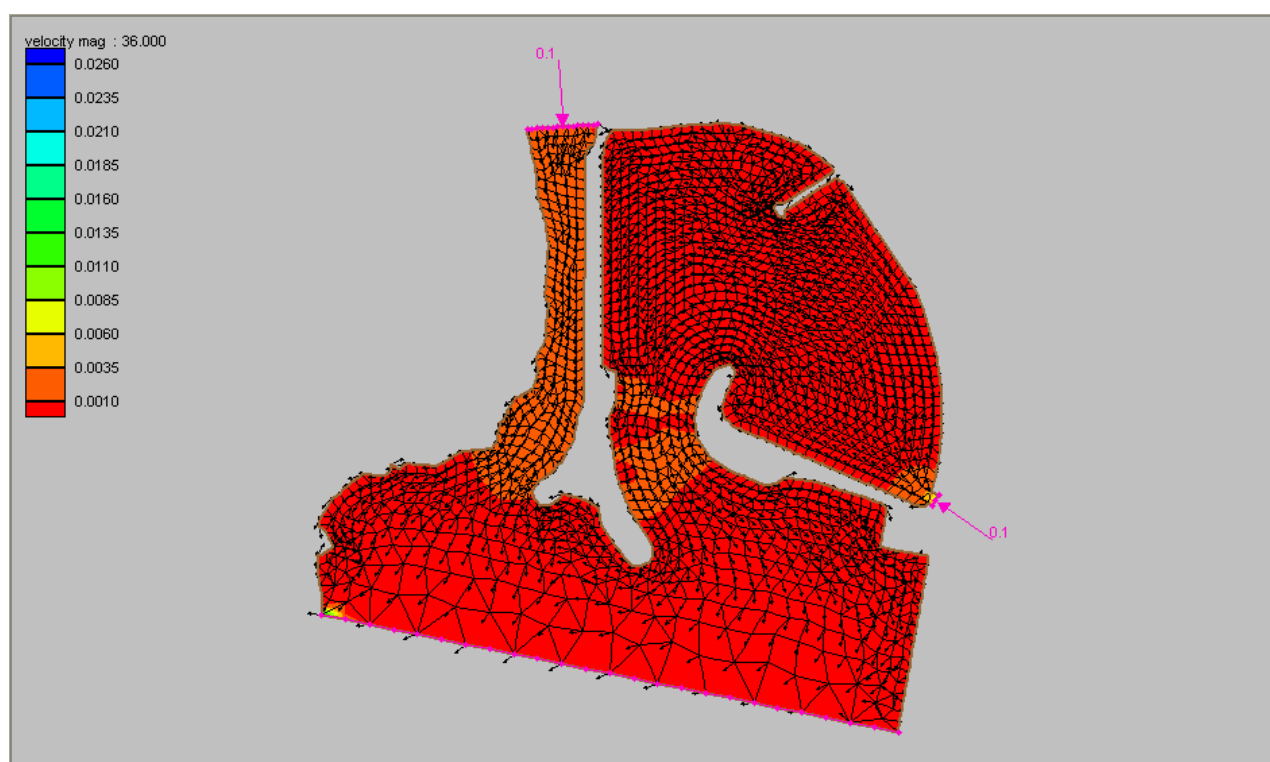


Fig. 2.3.17 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata t=36 ore

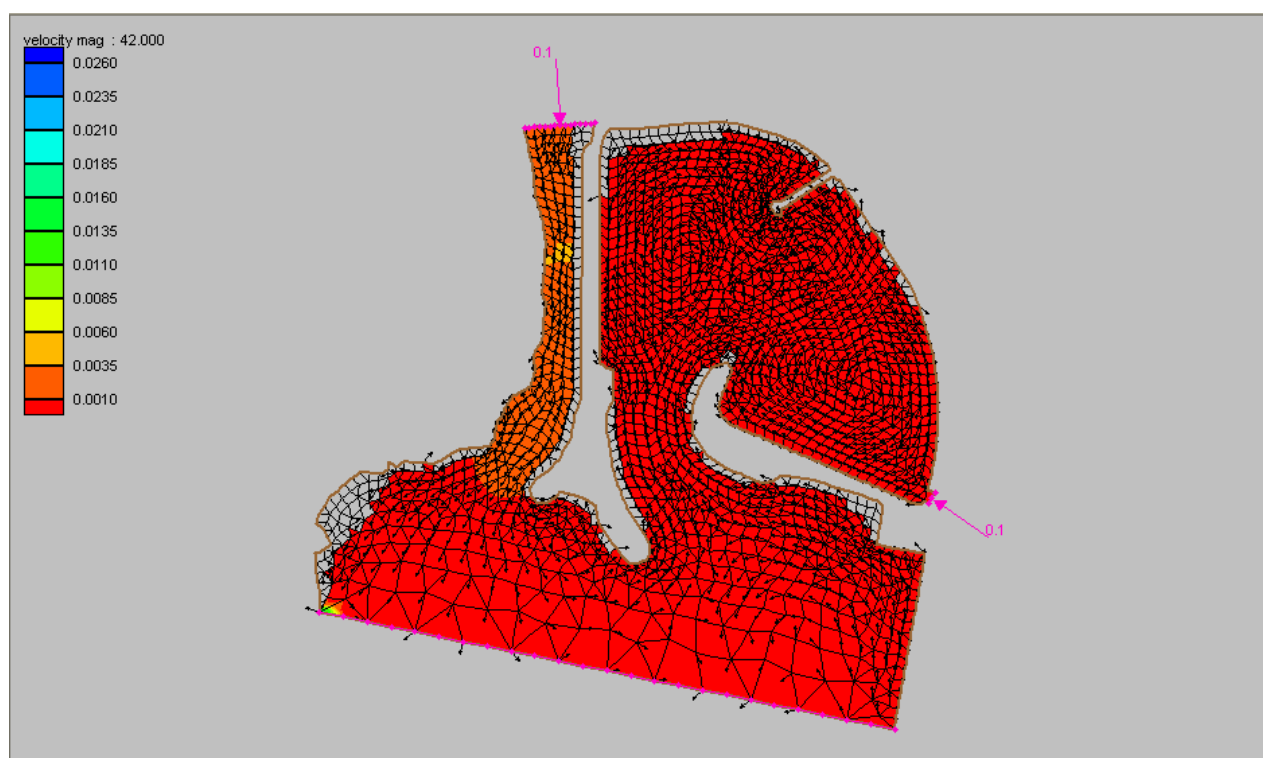


Fig. 2.3.18 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata t=42 ore

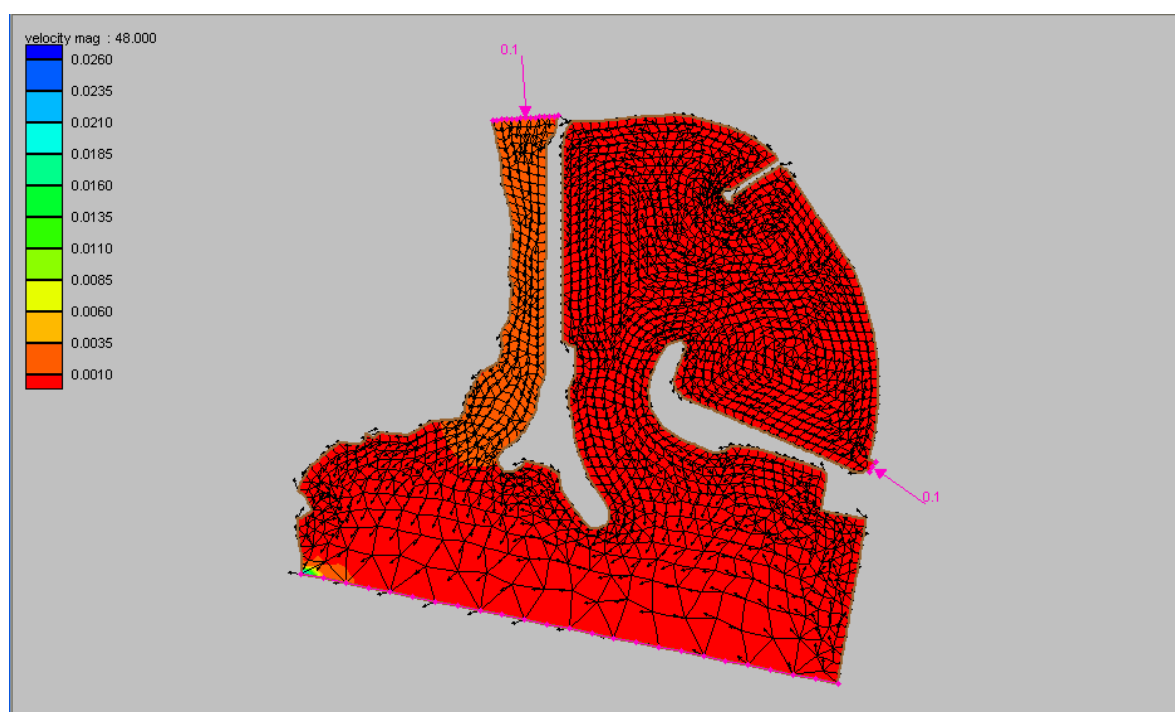


Fig. 2.3.19 - Simulazione del campo idrodinamico con circolazione forzata t=48 ore

### 3. VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE INVASATE

La qualità delle acque invasate nello specchio portuale di un porto turistico può deteriorarsi per molteplici ragioni. In particolare lo stato di relativa quiete in cui si trova l'acqua all'interno di un bacino portuale 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 negative. 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 modo piuttosto semplicistico, il problema della qualità dell'acqua invasata in un bacino portuale si riconduce ad assumere come riferimento progettuale il parametro ossigeno disciolto (mg/l) che deve presentare valori al di sopra di opportune concentrazioni limite<sup>(1)</sup>. 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 <sup>(2)</sup> tale da assicurare la vita e lo sviluppo degli organismi più elevati e più sensibili a carenze di ossigeno (Masotti, 1978).

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 minimi di 2-3 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 del porto turistico preso in esame, in condizioni ordinarie di esercizio, si è simulato il grado di concentrazione dell'ossigeno disciolto a regime in uno scenario

---

<sup>1</sup> Questo parametro consente una valida caratterizzazione qualitativa dello "stato di salute" delle acque invasate: 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.

<sup>2</sup> La concentrazione di ossigeno disciolto a saturazione varia tra 7,6 e 14,1 mg/l con temperatura variabile tra 0°C e 30°C.

di condizioni al contorno (temperature medie del periodo estivo; escursione di marea e portate di marea; escursione di marea, portate di marea con aggiunta di portate di vivificazione).

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 5.0 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  $k = 1.0$ . Inoltre si è imposto che in corrispondenza della frontiera del dominio lato mare si abbia una concentrazione di ossigeno disciolto pari a 5.0 mg/l (a vantaggio della sicurezza) e che le portate addotte dal fosso abbiano una maggiore concentrazione di ossigeno pari a 7 mg/l. Nella realtà lungo l'imboccatura 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.

Anche per la simulazione della circolazione forzata della portata di vivificazione pari a 0.1 m<sup>3</sup>/s, nel punto di immissione previsto si è assunta una concentrazione di ossigeno disciolto pari a 7.0 mg/l. Le simulazioni condotte riferendosi alle due distinte condizioni idrodinamiche (effetto della sola marea e delle portate del fosso; effetto combinato della marea, delle portate del fosso e dell'immissione forzata di acque ossigenate) confermano che:

- nel primo caso, considerate le dimensioni e la conformazione del bacino portuale interno, la concentrazione dell'ossigeno disciolto non è efficacemente alimentata dai volumi di acqua affluenti con le fasi di marea nelle darsene più interne. Fatta eccezione per la zona prossima all'imboccatura, la concentrazione di ossigeno disciolto scende (<sup>3</sup>) al valore di circa 4.00 mg/l (figg. 3.1÷3.8). Pertanto la circolazione idrodinamica associata alla concomitante azione dell'escursione di marea e delle portate del fosso 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'imboccatura.
- nel secondo caso la presenza della portata di vivificazione a favorisce (in parte) la miscelazione della massa d'acqua. La massa d'acqua addotta costituisce una sorgente di ossigeno presentando una concentrazione equivalente a quella presente nella fascia di mare antistante l'imboccatura. Il

---

<sup>3</sup>Si sottolinea che la mancanza di ricambio idrico la concentrazione di ossigeno disciolto sarebbe destinata a decadere secondo la legge esponenziale  $C(t)=C_0e^{-kt}$

beneficio in termini di concentrazione di ossigeno è facilmente verificabile osservando la rappresentazione grafica dei risultati della elaborazione riportati nelle figg. 3.9÷3.16. La circolazione idrodinamica forzata dalle portate immesse nei punti di maggiore ristagno garantisce un buon livello di miscelazione della massa d'acqua. In questo caso l'intero bacino portuale presenta valori di ossigeno disciolto superiori a 5 mg/l.

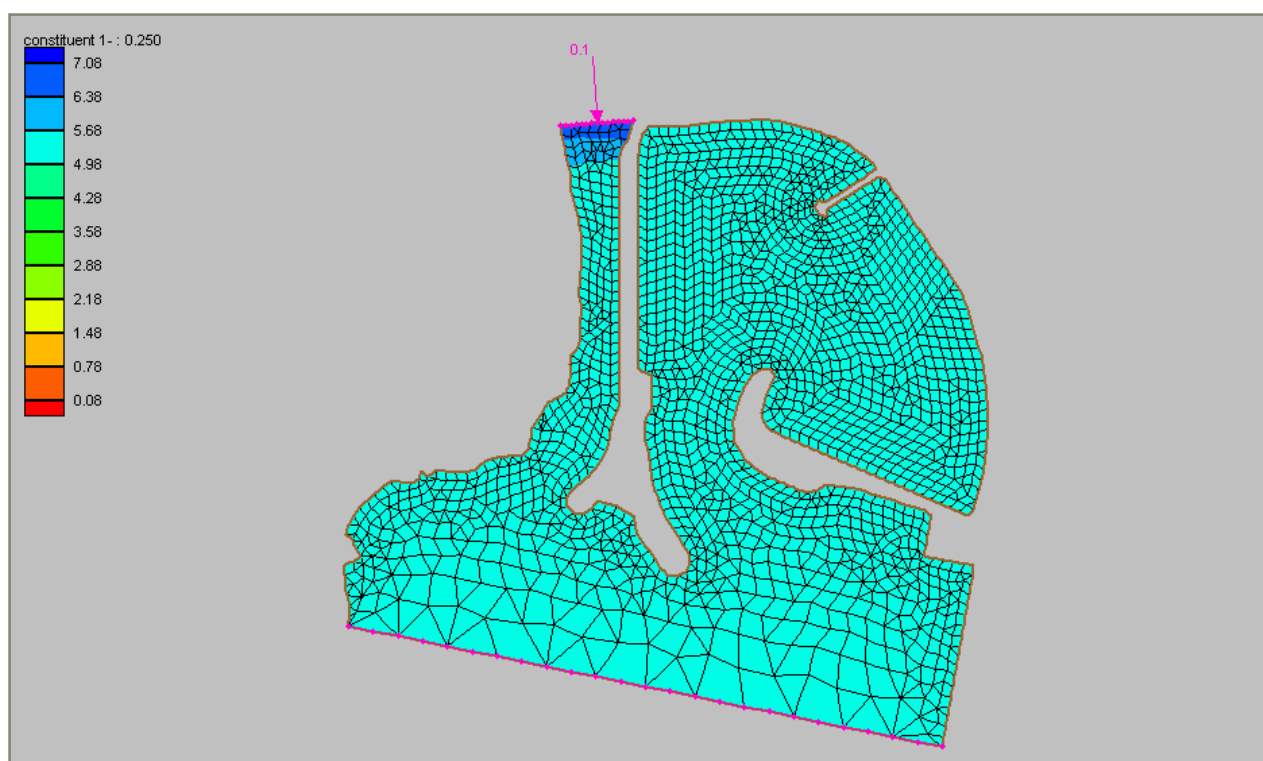


Fig. 3.1 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=0 ore (valori in mg/l)

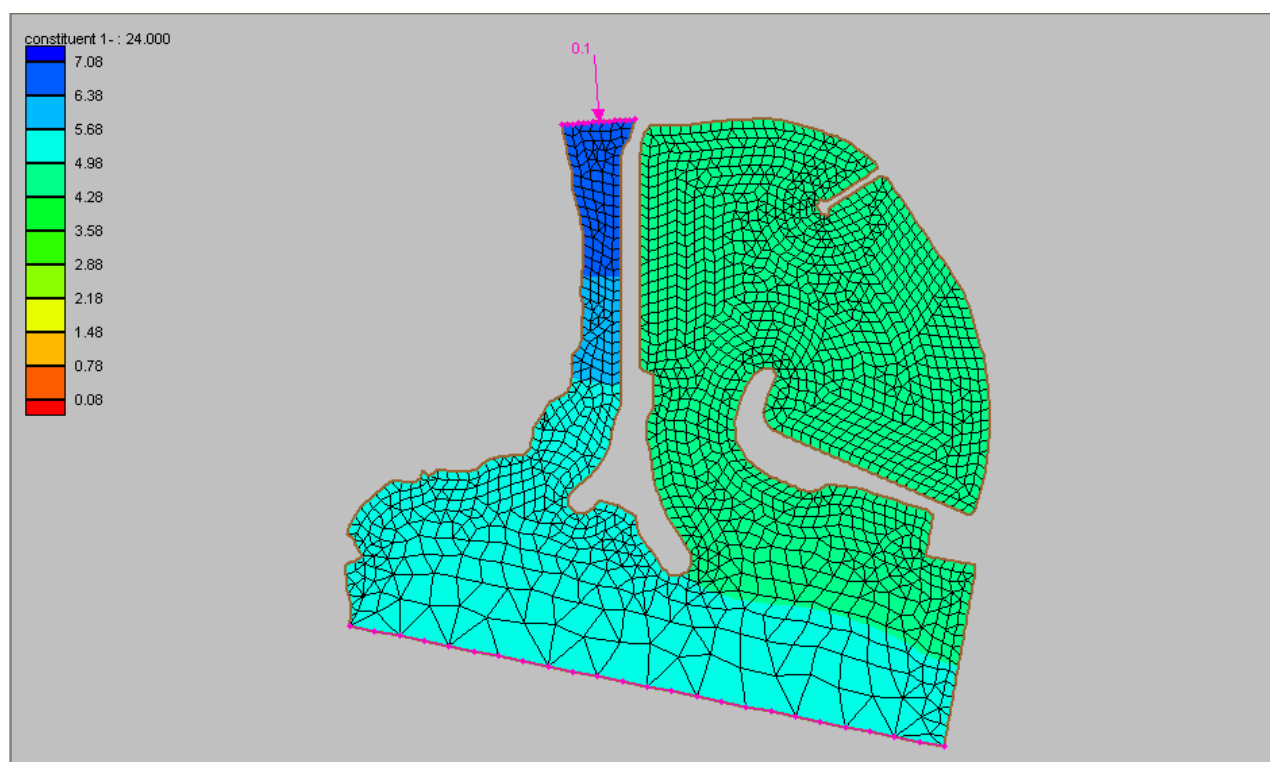


Fig. 3.2 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=24 ore (valori in mg/l)

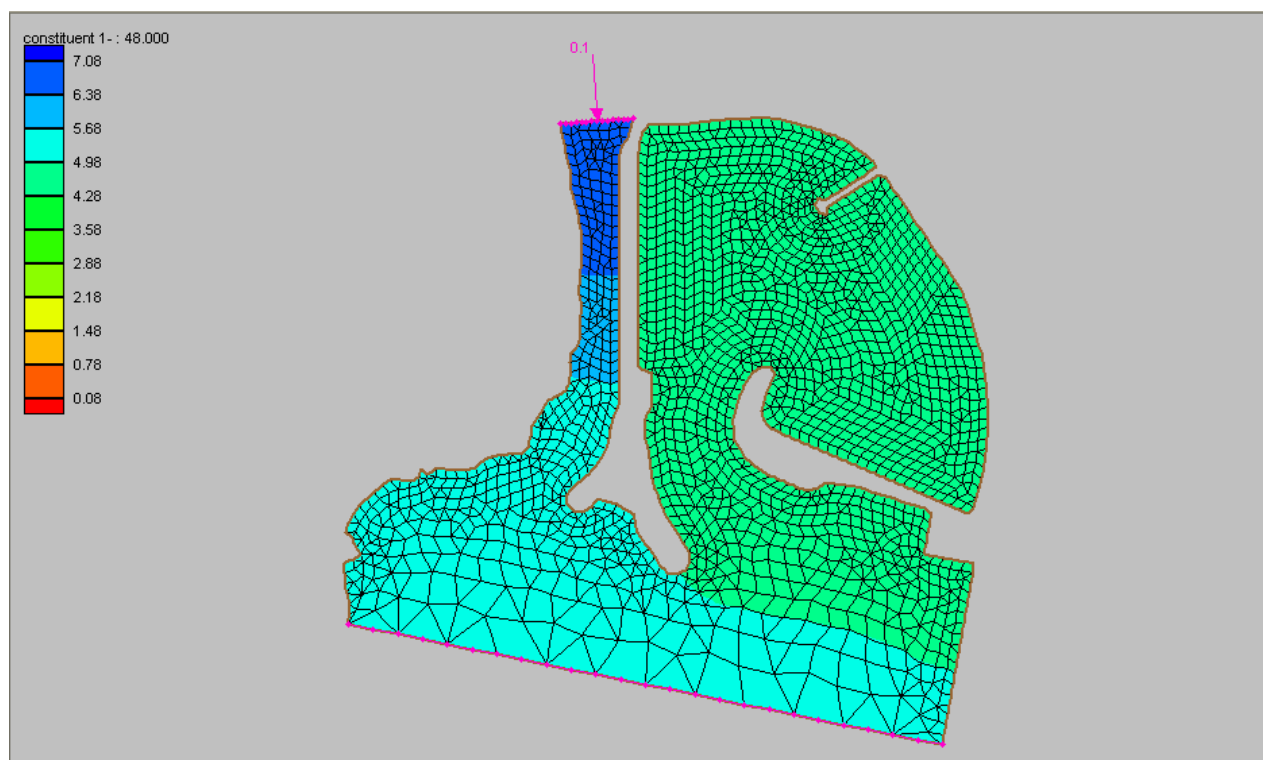


Fig. 3.3 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=48 ore (valori in mg/l)

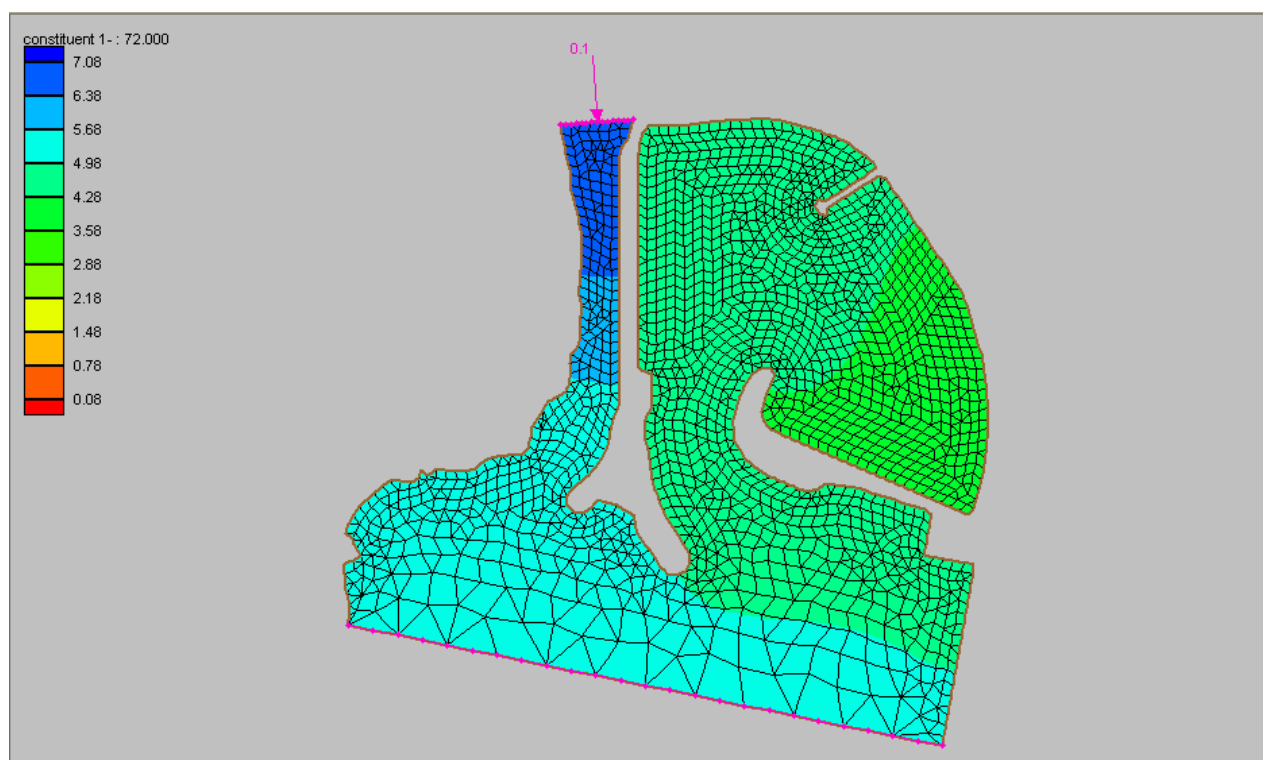


Fig. 3.4 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=72 ore (valori in mg/l)



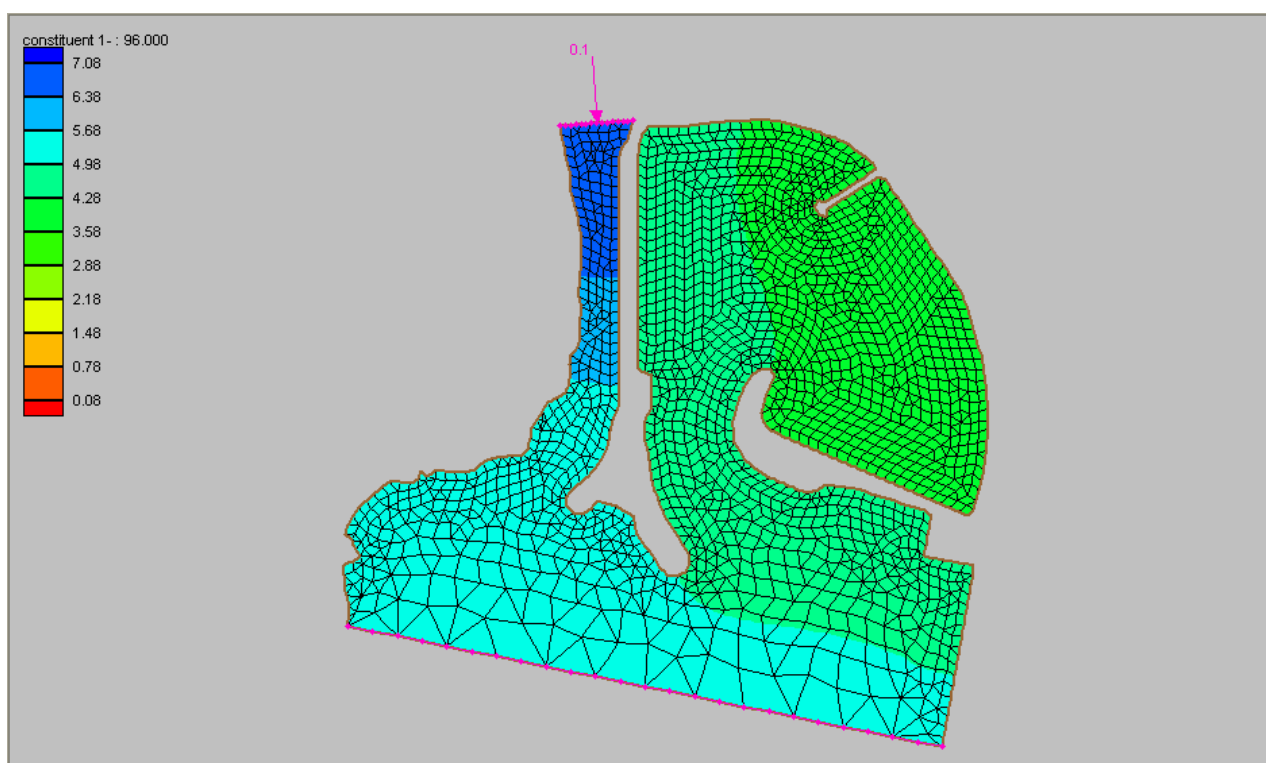


Fig. 3.5 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=96 ore (valori in mg/l)

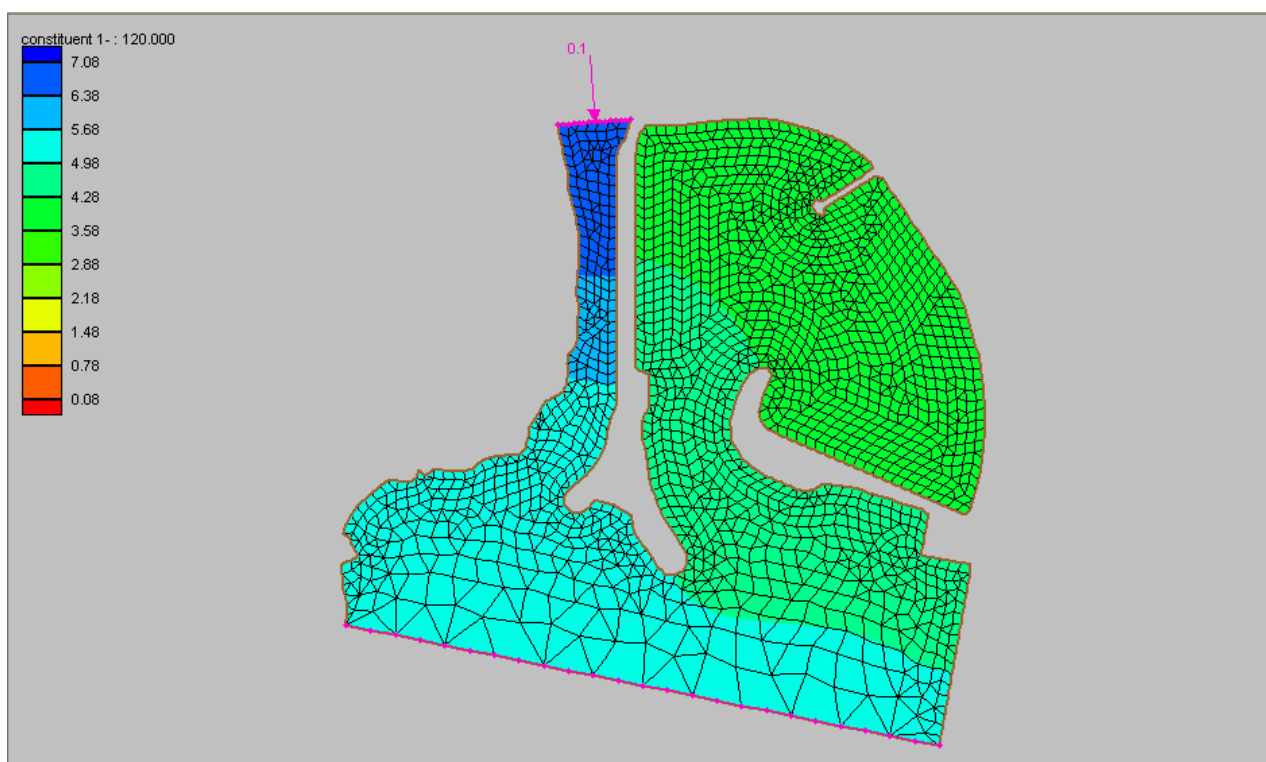


Fig. 3.6 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=120 ore (valori in mg/l)

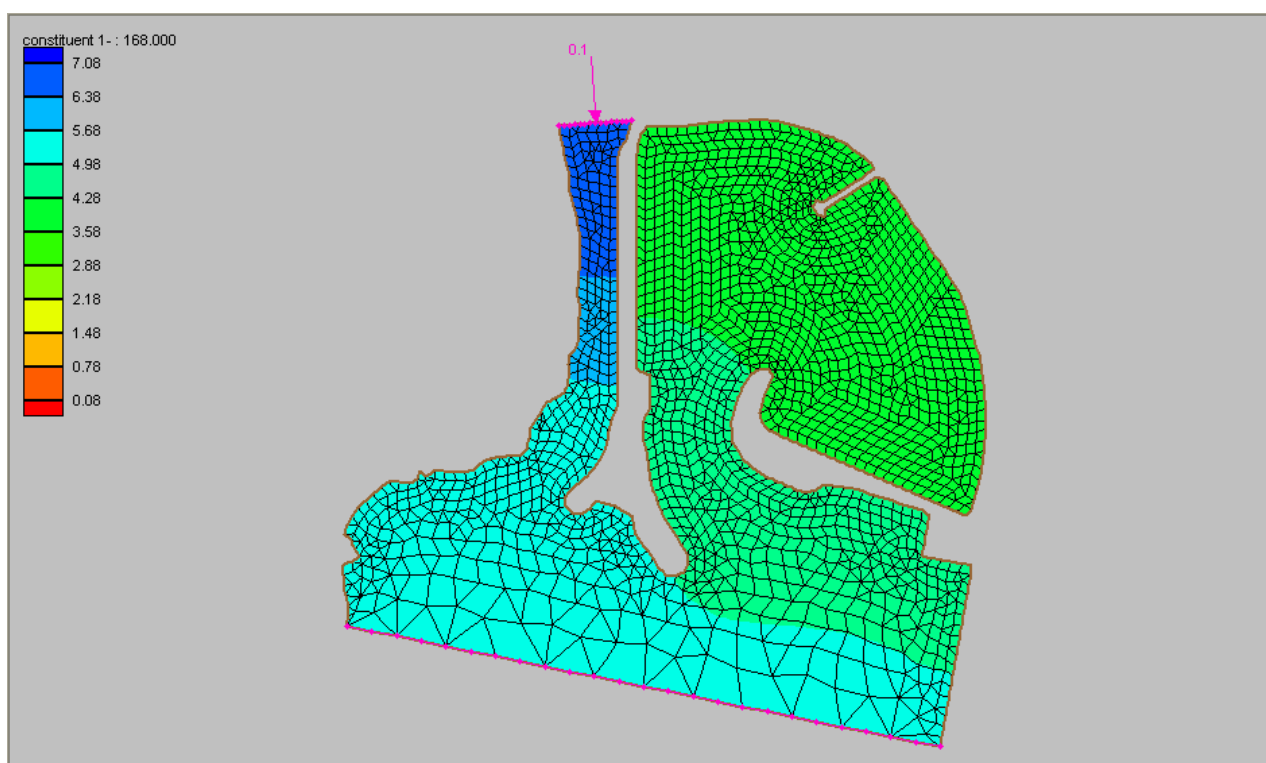


Fig. 3.7 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=168 ore (valori in mg/l)

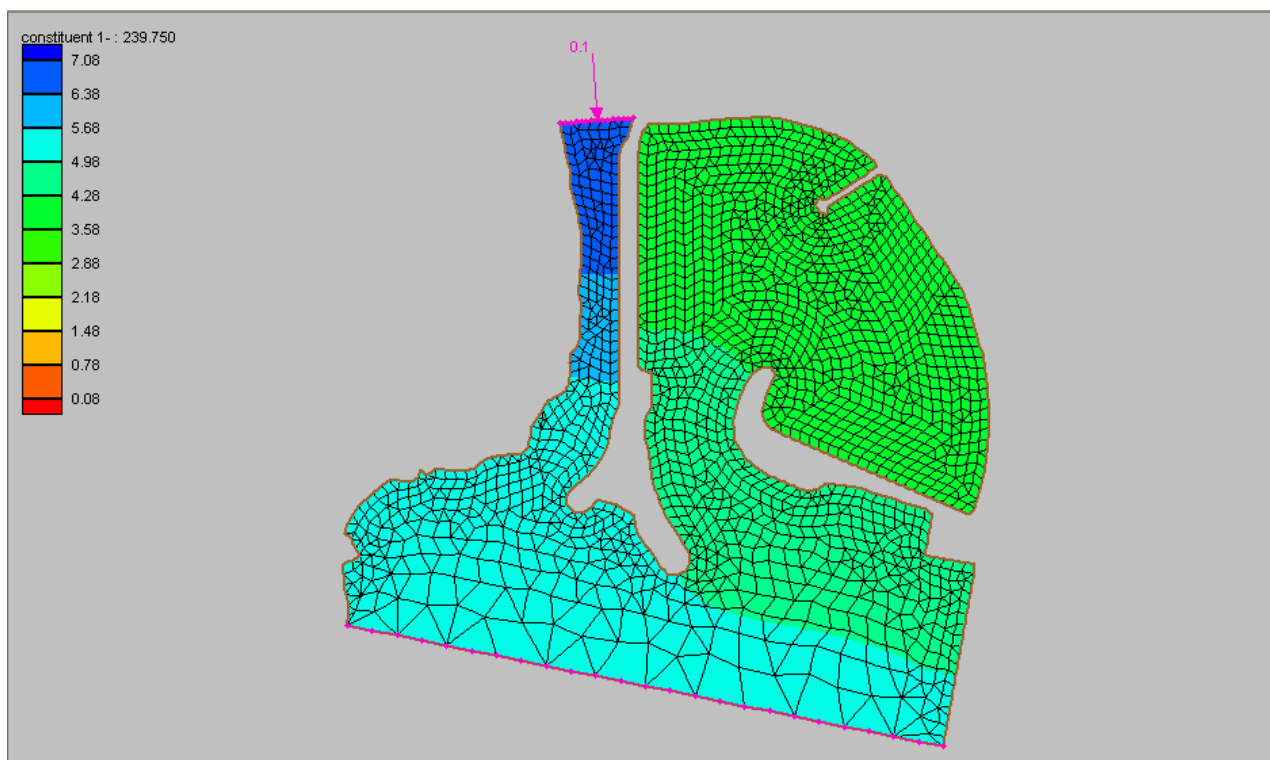


Fig. 3.8 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto t=240 ore (valori in mg/l)

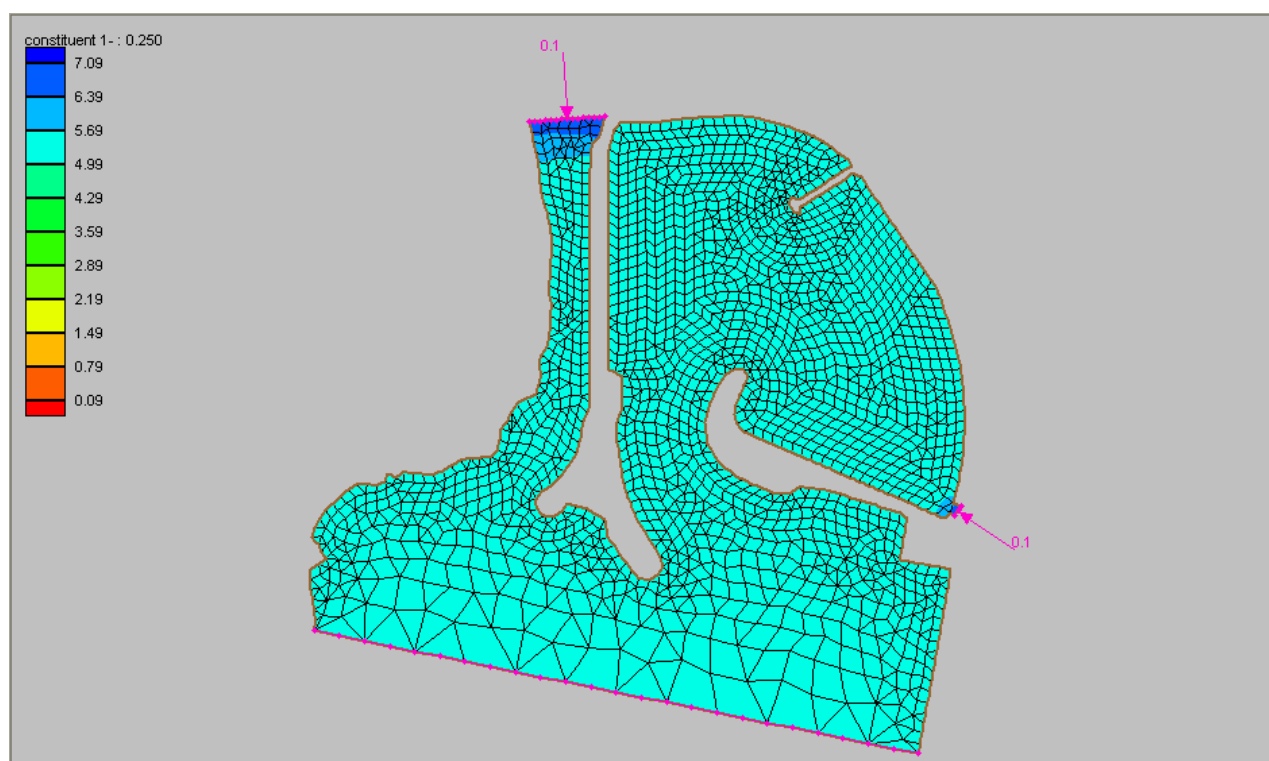


Fig. 3.9 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=0 ore (valori in mg/l)

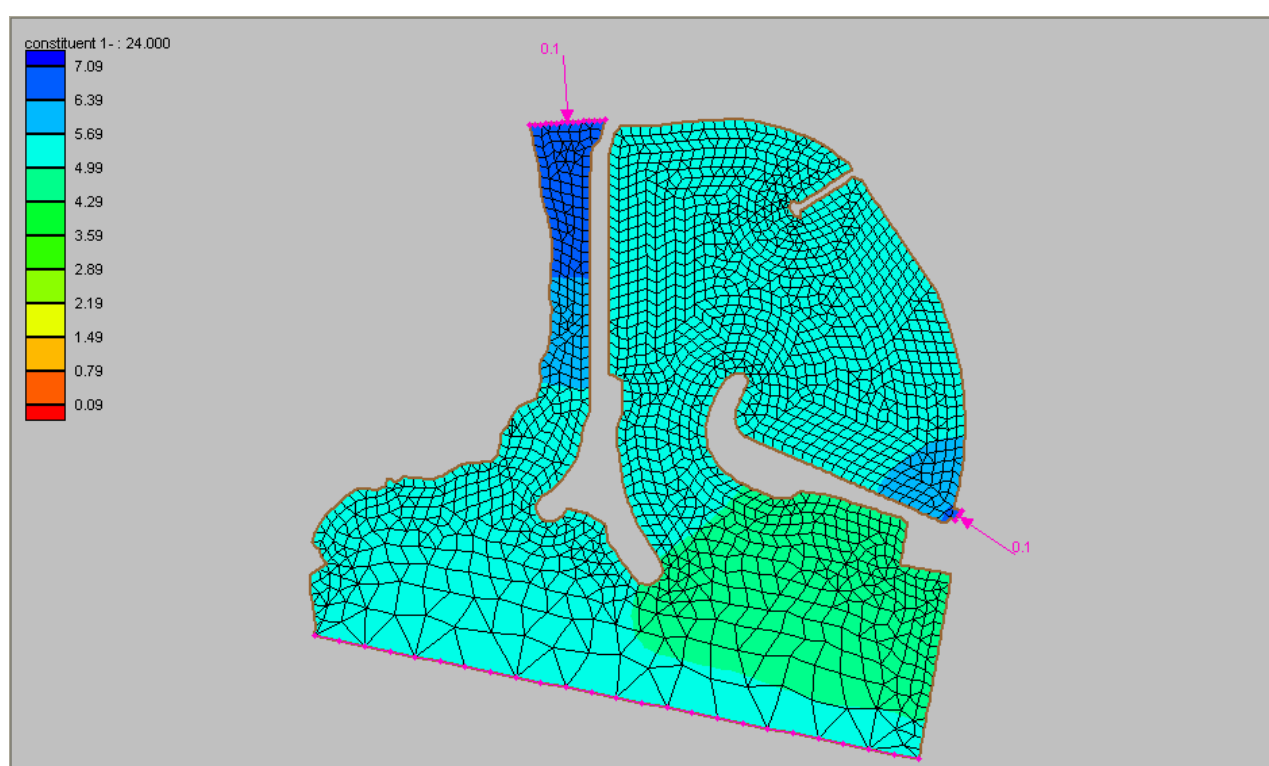


Fig. 3.10 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=24 ore (valori in mg/l)

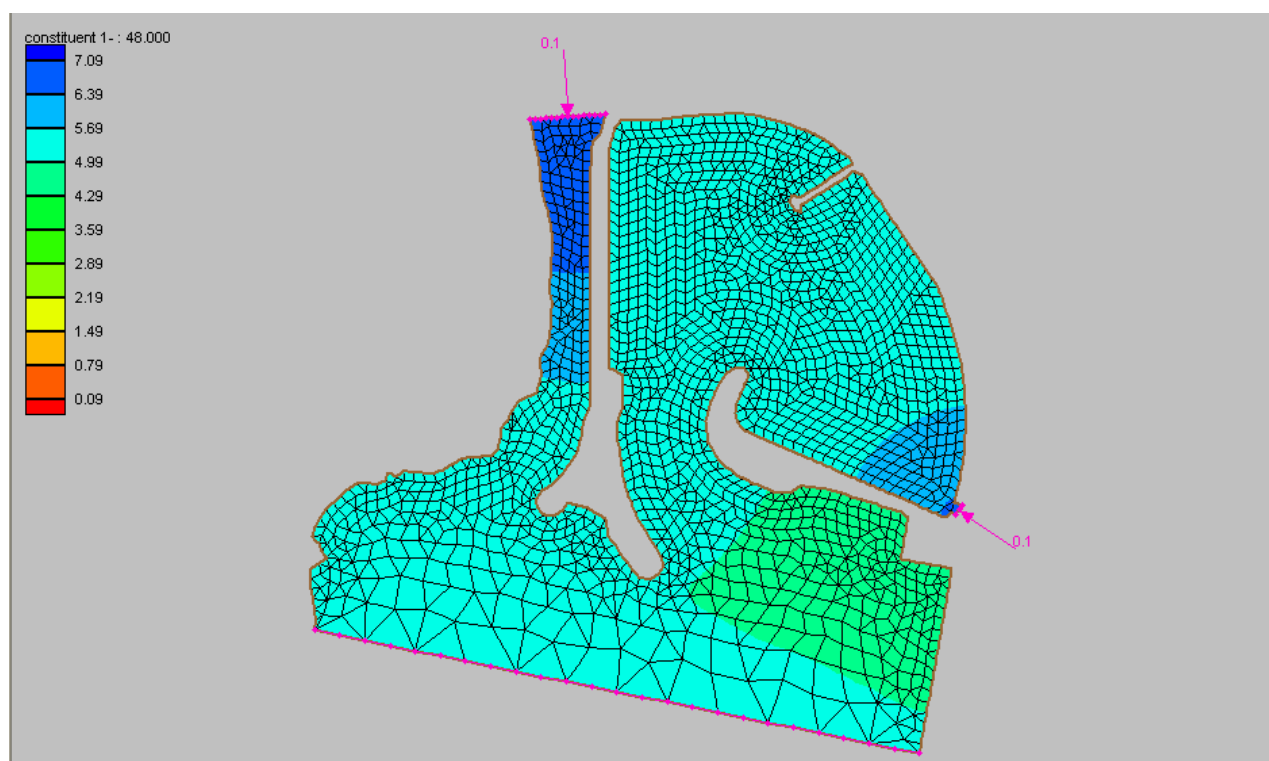


Fig. 3.11 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=48 ore (valori in mg/l)

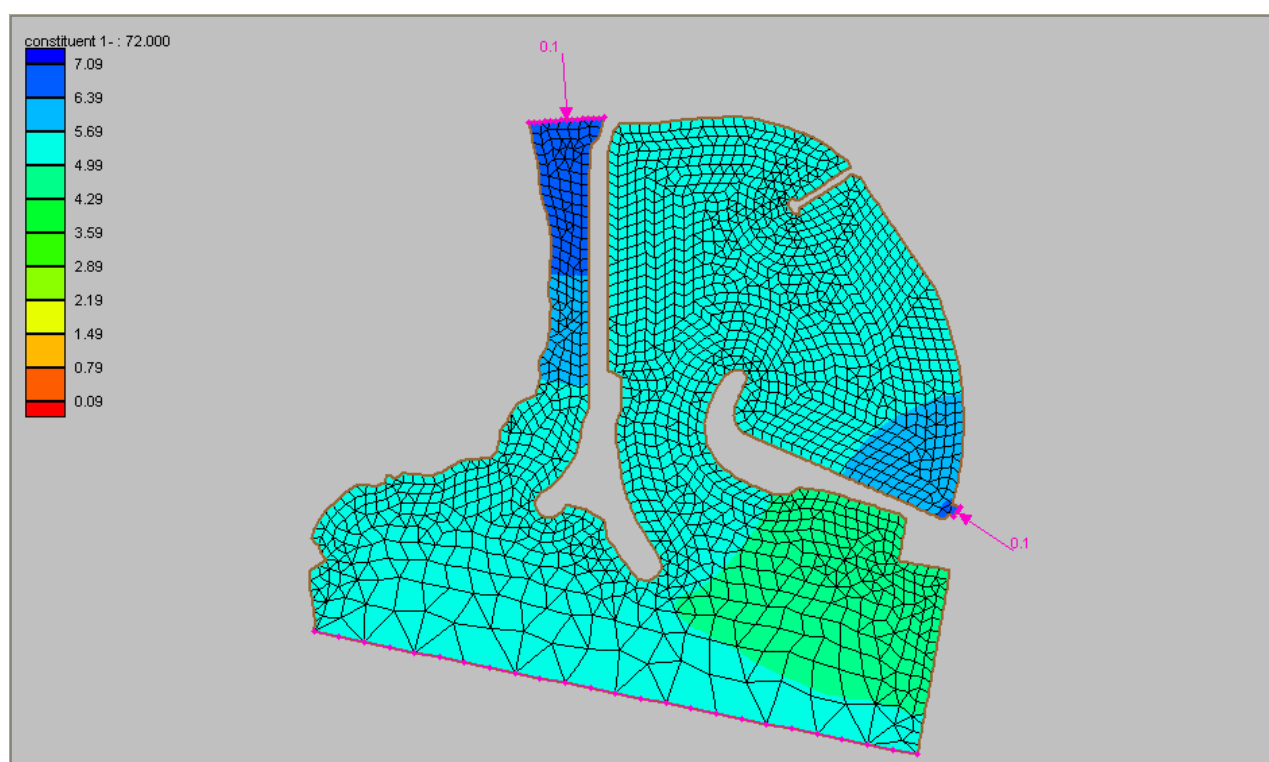


Fig. 3.12 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=72 ore (valori in mg/l)

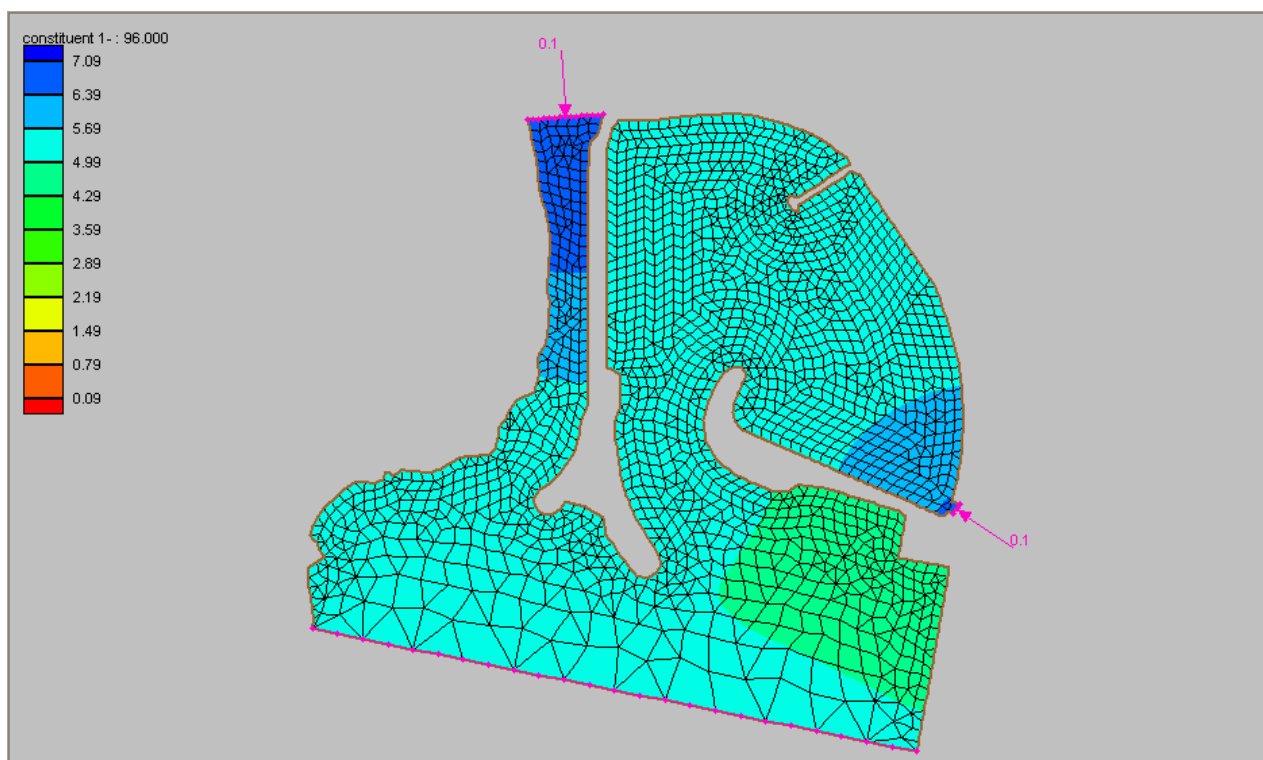


Fig. 3.13 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=96 ore (valori in mg/l)

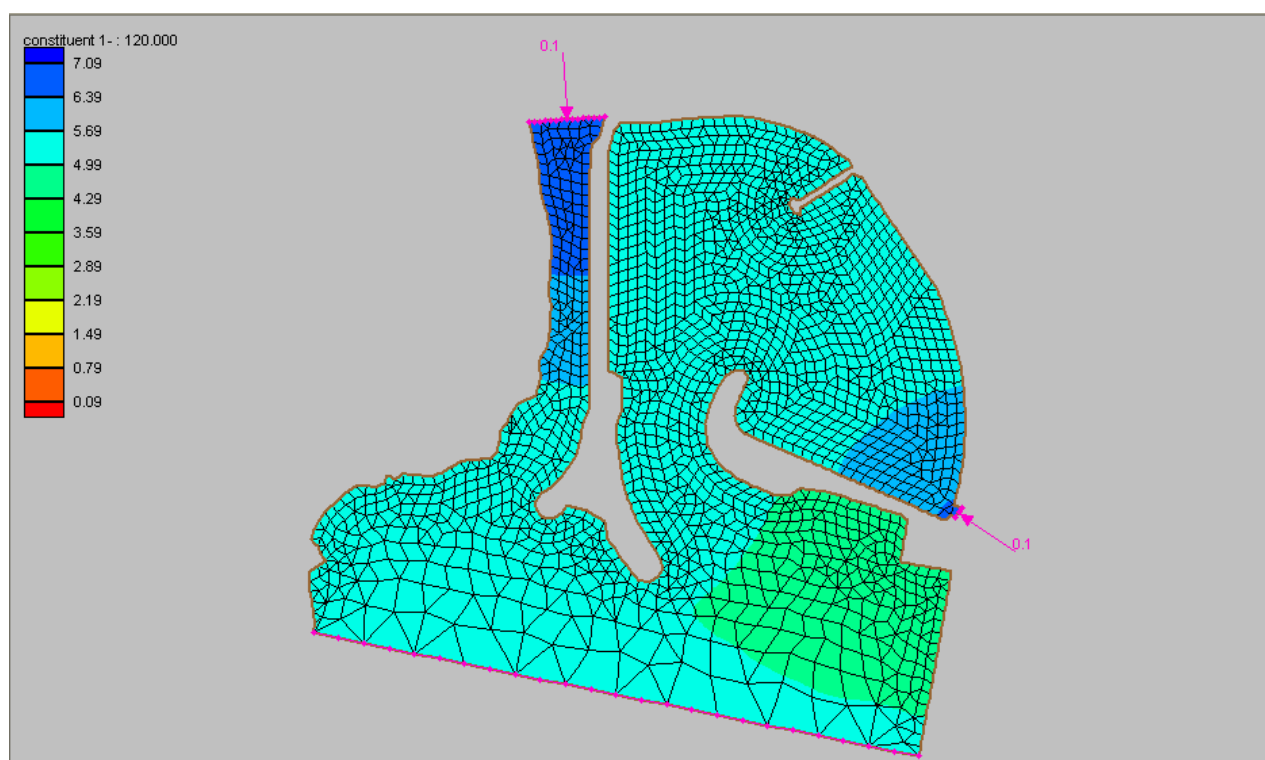


Fig. 3.14 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=120 ore (valori in mg/l)

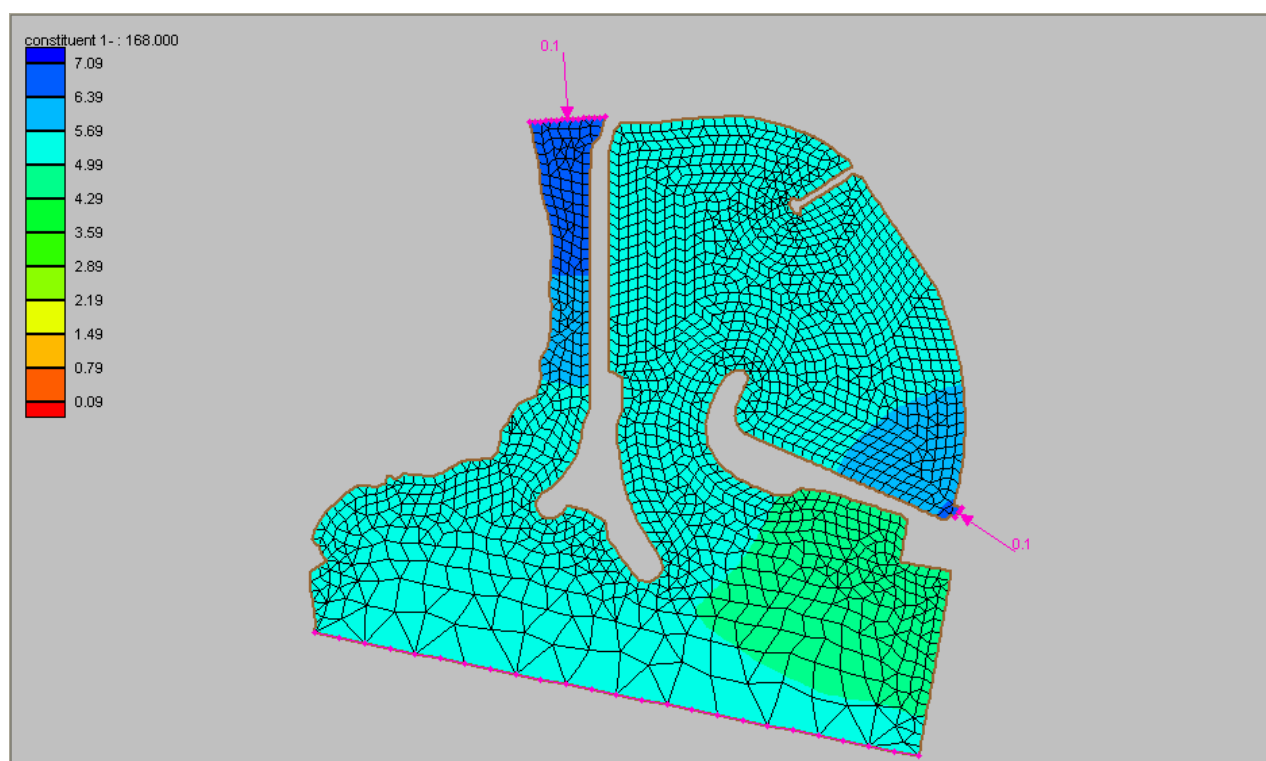


Fig. 3.15 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=168 ore (valori in mg/l)

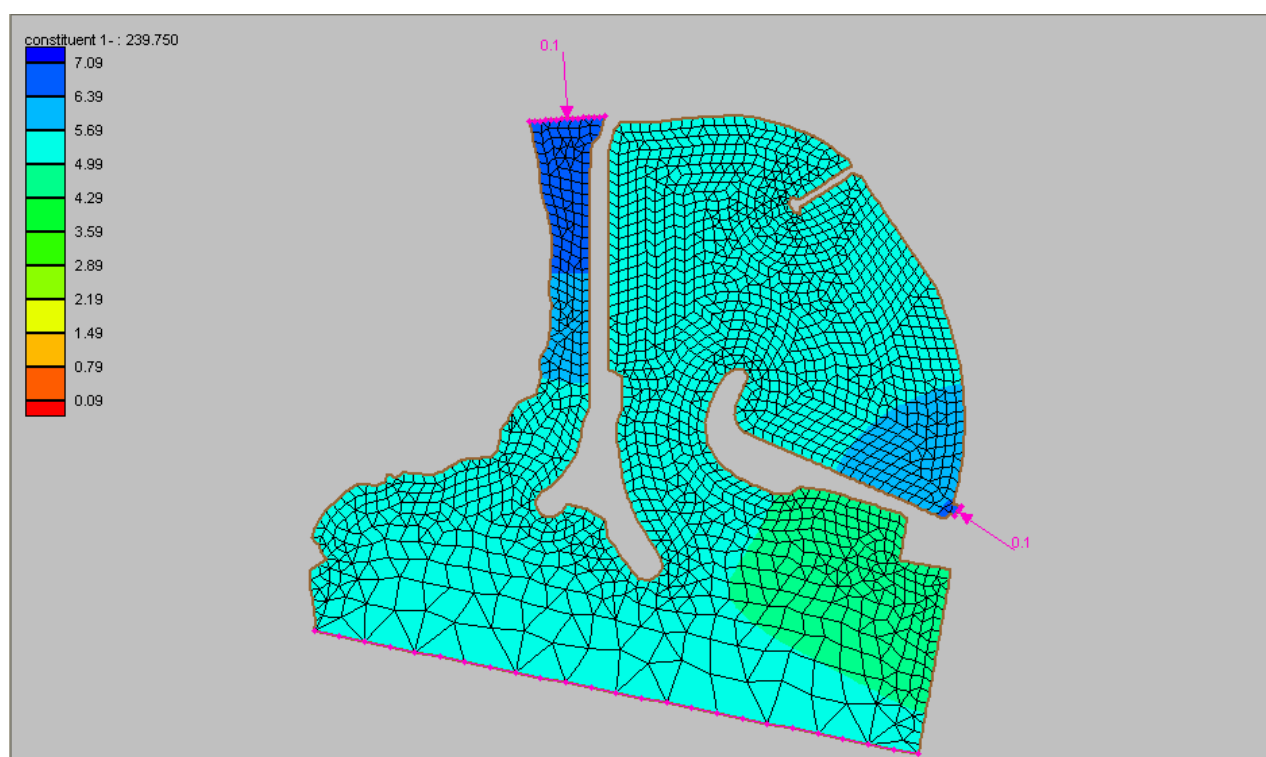


Fig. 3.16 - Concentrazione dell'ossigeno disciolto (in presenza della portata di vivificazione) t=240 ore (valori in mg/l)

APPENDICE: **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:

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

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

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]

$\rho$  = densità del fluido [ $ML^{-3}$ ]

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

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

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

$\varepsilon_{yy}$  = 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 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.

*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  $y$  [ $L^2 T^{-1}$ ]

$\sigma$  = 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 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.

### 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.

### 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.

## 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.

## 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.

## 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.