

COMUNE DI SIRACUSA

TITOLO PROGETTO:

RIELABORAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO DELL'APPRODO TURISTICO "MARINA DI SIRACUSA" SVILUPPATO SULLA BASE DEI CONTENUTI DEL PROGETTO PRESENTATO E DISCUSO IN CONFERENZA DEI SERVIZI IN DATA 15.02.2021

COMMITTENTE:

S.P.E.R.O. s.r.l.
Via Elorina 29 - 96100 Siracusa - Italy

PROGETTISTA GENERALE

TEAMNETWORK s.r.l. - Engineering & Management
Via Luigi Spagna 50/L-M, 96100 Siracusa - Italy



TITOLO ELABORATO:

STUDIO SULLA QUALITA' DELLE ACQUE

Scala

Formato

FILE

PROGETTISTA

Progettista architettonico:
Arch. Mario Rizza

Progettista strutture ed impianti:
Ing. Paolo Calafiore

Geologia e Ambiente:

Dott. G. Bellomo

Dott. G. Anselmo

NUMERO DOCUMENTO

IMM12-08

MdS

PD

REL

SQA

07

R0

JOB N.

COD. 1

COD. 2

COD. 3

COD. 4

COD. 5

REV. n.

N. REV

DATA

DESCRIZIONE

DRW.

CHK.

APP.

INDICE

1. PREMESSA	1
2. LO STUDIO DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE	2
2.1 CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE SULLA QUALITÀ DELLE ACQUE	2
2.2 STANDARDS PER LA QUALITÀ DELLE ACQUE	3
3. REGIME CORRENTOMETRICO ALL'INTERNO DEL PORTO GRANDE	8
4. GLI APPORTI IDRICI ALL'INTERNO DEL PORTO GRANDE.....	11
5. METODI SINTETICI PER DETERMINARE LA QUALITÀ DELLE ACQUE DI UN BACINO.....	12
5.1 DESCRIZIONE DEGLI INDICI SINTETICI	12
5.1.1 TEMPO DI RICAMBIO	12
5.1.2 RAPPORTI DI FORMA DEL BACINO	13
5.1.3 IL COEFFICIENTE DI RICAMBIO	16
5.1.4 RAGGIO DI CURVATURA DEL BACINO	17
5.1.5 INFLUENZA DELLA SUPERFICIE DELLA SEZIONE DELL'IMBOCCATURA	18
5.1.6 RAPPORTO DI ESCURSIONE DI MAREA	19
5.1.7 UBICAZIONE DELL'IMBOCCATURA DEL MARINA	20
5.1.8 EFFETTI DOVUTI AD IMBOCCATURE MULTIPLE	21
5.2 L'APPLICAZIONE AL CASO SPECIFICO.....	22
5.2.1 DESCRIZIONE DELLE CONFIGURAZIONI PORTUALI.....	22
5.2.2 DEFINIZIONE DEI LAYOUTS DI STUDIO	24
5.2.3 VALUTAZIONE DEGLI INDICI SINTETICI	25
6. MODELLISTICA IDRODINAMICA.....	32
6.1 MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO.....	32
6.2 DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO E DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO.....	33
6.3 ANALISI DEI RISULTATI	37
6.3.1 LAYOUT B1	37
6.3.2 LAYOUT B2	46
6.3.3 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI	54
7. OTTIMIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI PER MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLE ACQUE	56
7.1 POSIZIONAMENTO OTTIMALE DEL PENNELLO ANTISEDIMENTAZIONE E DEFLETTORE IN FUNZIONE DEL REGIME CORRENTOMETRICO	57
7.1.1 SIMULAZIONI NUMERICHE IDRODINAMICHE	57
7.1.2 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 1	59
7.1.3 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 2	66
7.1.4 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 3	73
7.1.5 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 4	79
7.1.6 CONCLUSIONI	86
7.2 OTTIMIZZAZIONE DEL PENNELLO ANTISEDIMENTAZIONE DEFLETTORE IN FUNZIONE DEI FENOMENI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI	86

7.2.1	MODELLO DI CALCOLO	87
7.2.2	APPLICAZIONI EFFETTUATE PER LA VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RICAMBIO IDRICO E DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI	87
7.2.3	RISULTATI RELATIVI ALLA CONFIGURAZIONE 2	89
7.2.4	RISULTATI RELATIVI ALLA CONFIGURAZIONE 4	99
7.2.5	CONCLUSIONI	110
7.3	DEFINIZIONE OTTIMALE DELLE OPERE DI BORDO DEL CANALE DI VIVIFICAZIONE	111
7.3.1	ANALISI DEI RISULTATI: CONFIGURAZIONE 2	112
7.3.2	ANALISI DEI RISULTATI: CONFIGURAZIONE 2A	117
7.3.3	CONCLUSIONI.	122
8.	VERIFICA DELL'OSSIGENO DISCIOLTO (DO)	123
8.1	GENERALITA'	123
8.2	SIMULAZIONI NUMERICHE EFFETTUATE E SCELTA DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO.....	123
8.3	RISULTATI OTTENUTI	124
9.	POSSIBILI INTERVENTI PER MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLE ACQUE	131
10.	CONCLUSIONI	134

1. PREMESSA

Questo elaborato fa parte degli studi specialistici redatti a supporto del progetto definitivo "Approdo e facilities collegate per la qualificazione funzionale dell'affaccio a mare dell'area industriale ex S.P.E.R.O, Siracusa".

Il concetto che sta alla base di questo corpo documentale, è quello che la realizzazione di qualsiasi tipologia di infrastruttura ovvero qualsiasi attività antropica legata alla presenza della stessa, interagisce inevitabilmente con i processi climatici, idrodinamici e sedimentologici del sistema costiero in cui sono inserite, caratterizzato da un complesso equilibrio "dinamico".

Tali interazioni possono provocare fenomeni spesso complessi da prevedere, e i cui effetti sicuramente ricadono sia sull'ambiente, sia sull'intero sistema, compromettendo talvolta anche le stesse strutture antropiche.

Un approccio moderno che consenta la comprensione dei possibili scenari futuri connessi alla costruzione delle opere in progetto è rappresentato da uno studio "omnicomprensivo" di tutte le caratteristiche in gioco, che, anche tramite l'uso di modelli matematici, descrive i fenomeni reali e può proporre la previsione degli scenari futuri.

Il corpo documentale degli studi tecnici è quindi da intendersi come un unico testo organico, in cui ogni singolo elaborato rappresenta solo un capitolo dedicato ad un determinato aspetto.

In particolare lo studio climatologico, lo studio idraulico marittimo, lo studio idrodinamico, lo studio della dinamica della costa, lo studio della qualità delle acque e lo studio idrologico-idraulico costituiscono le tessere di un puzzle che insieme descrivono il "quadro ambientale" in cui viene inserito il progetto proposto e di cui si vogliono individuare gli impatti indotti.

2. LO STUDIO DELLA QUALITA' DELLE ACQUE

Lo studio presente è finalizzato alla verifica della qualità delle acque all'interno del bacino individuato dalle opere in progetto.

Dapprima saranno richiamati i principali risultati ottenuti durante la redazione dell'elaborato B.4-SQA-“Studio Idrodinamico” e dell'elaborato B.5-SIDR-“Studio Idrologico e Idraulico”.

In seguito saranno descritti i metodi sintetici per la determinazione della qualità delle acque; quindi saranno esposti gli aspetti fisici legati alla circolazione.

Con l'applicazione di modellistica matematica verranno individuati i possibili pattern di circolazione idrica e di dispersione di eventuali fonti inquinanti che in eventi accidentali ed eccezionali potrebbero sversarsi all'interno del specchio idrico; saranno descritti i risultati ottenuti, tramite l'estrazione in fase di postprocessione di mappe tematiche e diagrammi per la visualizzazione delle grandezze variabili nel tempo, con il fine ultimo di rilevare le probabili criticità e i verosimili impatti e di suggerire gli interventi di mitigazione atti alla loro riduzione.

Le fonti inquinanti indagate saranno di tipo puntuale, in modo tale da rappresentare sia emissari puntuali di reflui, sia sversamenti accidentali provenienti dal naviglio in transito o all'ormeggio.

Inoltre verrà valutato quale sia la configurazione ottimale delle opere in progetto ed in particolare delle opere di mitigazione (già individuate durante la redazione del progetto preliminare) che sono costituite dal pennello deflettore, radicato presso la foce del canale Regina e dal canale di vivificazione, tra la colmata e la linea di riva.

Sarà valutata anche la risposta del bacino per quanto riguarda i gradienti di concentrazione dell'ossigeno disciolto (DO).

2.1 CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE SULLA QUALITA' DELLE ACQUE

I porticcioli a basso pescaggio e i marina sono le porte di accesso principali tra terra e mare per una grande parte di appassionati.

La crescita del fenomeno della nautica da diporto, come lo sviluppo dello sfruttamento delle coste in generale, ha anche innescato una maggiore attenzione e sensibilità verso questi delicati ambienti, che hanno fatto scaturire, tra l'altro, la necessità di una protezione maggiore della qualità delle acque delle cosiddette acque navigabili.

Giacché questi porticcioli sono bacini situati in questa delicatissima interfaccia, sono potenzialmente soggetti a fenomeni di inquinamento delle loro acque generato sia dalle attività che si svolgono all'interno del bacino, sia, con importanza maggiore, dagli eventi e dalle attività che succedono esternamente.

Impatti ambientali negativi possono così essere generati dalle seguenti cause associate alla navigazione da diporto (USEPA, 1993):

- Specchi acquei con scarso ricambio, dove accadono fenomeni di deficienza dell'ossigeno disciolto;
- Scarichi dalle imbarcazioni;

- Inquinanti trasportati dalle piogge che sciolgono da piazzali, parcheggi, tetti ed altre superfici impegnate da depositi e/o attività più o meno sporche;
- L'alterazione e/o distruzione meccanica delle zone umide e delle loro comunità bentoniche durante la costruzione delle opere costiere;
- Inquinanti generati dalle attività di manutenzione e pulizia delle barche, sia che avvengano in acqua che a terra.

Gli effetti e gli inquinanti associati a tali cause possono includere:

- Incrementi nel BOD (Biological Oxygen Demand) e SOD (Sediment Oxygen Demand) causati dai rifiuti organici contenuti nelle acque reflue, e dagli scarti e rifiuti delle imbarcazioni e del lavaggio delle attrezzature da pesca;
- Nutrienti;
- Patogeni;
- Metalli, provenienti da diverse fonti;
- Torbidità;
- Idrocarburi.

2.2 STANDARDS PER LA QUALITÀ DELLE ACQUE.

La maggior parte di standards per la definizione di accettabilità delle acque esistenti in vari Paesi sono in genere mutuati dai limiti imposti per le acque che si sversano nel corpo recettore.

Inoltre molti di essi non sono esattamente orientati verso la limitazione degli impatti sul biota marino.

I due parametri comunemente ritenuti critici in tutti gli standard come identificatori della qualità delle acque sono l'ossigeno disciolto ed il livello di carica batterica.

Entrambi sono parametri pesantemente influenzati da un ricambio idrico del bacino più o meno efficiente.

In Italia era stato emanato il D.M. Ambiente 367/2003 sugli standard di qualità in attuazione delle direttive europee 76/464/CEE e 2000/60/CE in materia.

I nuovi criteri qualitativi stabiliti dal Ministero dell'Ambiente con il DM 6 novembre 2003, n. 367 dovevano essere rispettati in tutte le acque interne superficiali, marino-costiere, ed a specifica destinazione funzionale (dolci superficiali destinate alla produzione di acqua potabile; destinate alla balneazione; dolci che richiedono protezione e miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci, acque destinate alla vita dei molluschi).

Per garantire il raggiungimento della più elevata protezione delle acque, il DM Ambiente 367/2003 (emanato anche per dare esecuzione alla sentenza UE del 1° ottobre 1998 con la quale l'Italia era stata condannata per la mancata trasposizione della direttiva 76/464/Cee sulla protezione dell'ecosistema dalle sostanze pericolose) incideva direttamente sul Dlgs 152/1999, precedente provvedimento in materia di acque, riformulandone alcune parti tecniche.

Successivamente, con l'entrata in vigore del D.Lgs. 3 aprile 2006 n.152 e l'abrogazione del D.Lgs. 152/99, il controllo quali-quantitativo delle sostanze

pericolose viene fatto alla luce di quanto riportato dalla nuova normativa. Gli standard di qualità fissati nella tabella 1 dell'Allegato A dell'ex D.M.367/03 sono quindi sostituiti dalla tabella 1/A del D.Lgs 152/06 (cfr. Tabelle 2-3).

I parametri per la protezione delle acque, contenuti nell'allegato A/1 del Decreto dovranno essere rispettati secondo un preciso calendario. Entro il 2008 doveva essere raggiunto un obiettivo intermedio di buono stato chimico delle acque, per giungere entro il 2015 ad un livello più alto di protezione dell'ecosistema.

Tipologia acque	Parametri da rispettare
Acque interne superficiali e marino-costiere, acque a specifica destinazione funzionale (dolci superficiali destinate alla produzione di acqua potabile; destinate alla balneazione; dolci che richiedono protezione e miglioramento per essere idonee alla vita dei pesci, destinate alla vita dei molluschi):	• entro il 31 dicembre 2008, rispetto degli standard di cui alla Tabella 1/A dell'Allegato 1 alla parte terza del D.Lgs. 152/2006.
	• entro il dicembre 2015, rispetto degli standard di cui dell'articolo 16 della direttiva 2000/60/CE.

Il D.Lgs. 152/06 prevede all'art. 77 che le regioni, sulla base dei dati già acquisiti, identifichino per ciascun corpo idrico significativo le classi di qualità ambientali corrispondenti.

Gli obiettivi di qualità ambientale per le acque marino costiere sono analoghi a quelli previsti per le acque superficiali.

Ai sensi del comma 4 dell'art.76 del decreto, con i "Piani di Tutela" previsti dall'art.121 devono essere adottate le misure atte a conseguire specifici obiettivi entro il 22 dicembre 2015; in particolare, obiettivo di qualità ambientale prioritario, per la tutela qualitativa delle acque superficiali, è il raggiungimento dello stato "buono" entro il 2015.

Inoltre, così come previsto dall'art.77 comma 3 del D.Lgs. 152/06, risulta necessario che, per il raggiungimento del suddetto obiettivo, entro il 31 dicembre 2008 ogni corpo idrico superficiale classificato o tratto di esso abbia conseguito almeno i requisiti dello stato di "sufficiente".

Per quei corpi idrici che, secondo la classificazione redatta dalle regioni, risultano avere già uno stato ambientale "buono" o "elevato", viene posto come obiettivo per il 2015 il mantenimento dello stato attuale. In particolare relativamente allo stato chimico, l'applicazione degli standard di qualità non dovrà comportare un peggioramento, anche temporaneo, della qualità dei corpi idrici.

Con Ordinanza n. 333 del 24/12/2008 del Commissario Delegato per l'emergenza bonifiche e la tutela delle acque in Sicilia è stato approvato, come disposto dall'art.121 del D.Lgs. 152/06, il Piano di Tutela delle Acque, il quale costituisce uno specifico piano di settore del distretto idrografico Sicilia.

In tale Piano il sito del Porto Grande di Siracusa è inserito all'interno del tratto di costa compreso tra capo S.Panagia e Capo Murro di Porco. Lo stato ambientale

indicato per tale piano viene classificato come "elevato" e pertanto gli obiettivi per il 2008 ed il 2015 corrispondono al mantenimento dello stato attuale.

European guidelines (cf. guidelines RL 76/464)

	Permitted concentration		Permitted concentration		Permitted concentration		Permitted concentration
	Basis quality		Fish water Cypriniformes		Drinkwater producer		Swim water
Aldrin	Gem	≤ 10 ng/l					
Dieldrin	Gem	≤ 10 ng/l					
Endrin	Gem	≤ 5 ng/l					
Isodrin	Gem	≤ 5 ng/l					
hexachlorobenzene (HCB)	Gem	≤ 0,03 µg/l					
hexachlorobutadiene (HCBD)	Gem	≤ 0,1 µg/l					
chloroform (HCCl3)	Gem	≤ 12 µg/l					
1,2 dichloorethane (EDC)	Gem	≤ 10 µg/l					
trichloroethylene (TRI)	Gem	≤ 10 µg/l					
perchloroethylene (PER)	Gem	≤ 10 µg/l					
trichlorobenzene (TCB)	Gem	≤ 0,4 µg/l					
tetrachlorocarbon (CCl4)	Gem	≤ 12 µg/l					
DDT (totaal)	Gem	≤ 25 µg/l					
para-para-DDT-isomer	Gem	≤ 10 µg/l					
pentachlorophenols (PCP)	Gem	≤ 2 µg/l					
hexachlorocyclohexane	Gem	≤ 100 ng/l					

* Besl.VI.Reg. dd 1/06/95 = VLAREM II

Tabella 1 – Standards europei per l'accettabilità delle acque

Standards italiani (D.Lgs. 152/06)**1. Inquinanti inorganici**

Numero CAS	Elemento	Concentrazione µg/L	Metodo APAT-IRSA per la determinazione degli analiti
7440-38-2	Arsenico (***)	10	3080
7440-43-9	Cadmio e suoi composti PP (*)	1	3120
7440-47-3	Cromo totale (***)	50	3150
7439-97-6	Mercurio e suoi composti PP (*)	1	3200
7440-02-0	Nichel e suoi composti P (***)	20	3220
7439-92-1	Piombo e suoi composti (PP) (***)	10	3230

2. Idrocarburi Policiclici Aromatici

Numero CAS	Composto	Concentrazione µg/L	Metodo APAT-IRSA per la determinazione degli analiti
Non applicabile	Idrocarburi Policiclici Aromatici PP (**)	0,2	5080

3. Idrocarburi Aromatici

Numero CAS	Composto	Concentrazione µg/L	Metodo APAT-IRSA per la determinazione degli analiti
71-43-2	Benzene P (***)	1	5140

3.1 Idrocarburi Aromatici alogenati

12002-48-1	Triclorobenzeni (PP)	0,4	5150
------------	----------------------	-----	------

4. Idrocarburi alifatici clorurati

Numero CAS	Composto	Concentrazione µg/L	Metodo APAT- IRSA per la determinazione degli analiti
107-06-2	1,2 Dicloroetano P	10	5150
75-01-4	Cloroetene (cloruro di vinile) (***)	0,5	
75-09-2	Diclorometano P	20	5150
87-68-3	Esaclorobutadiene PP (*)	0,1	5150
67-66-3	Triclorometano (cloroformio) P (*)	12	5150
79-01-6	Tricloroetilene (*)	10	5150
127-18-4	Tetracloroetilene (percloroetilene) (*)	10	5150

Tabella 2 – Parametri di base da controllare nelle acque superficiali (D.Lgs. 152/06, Tabella 1/A dell'allegato 1 alla parte terza)

5. Prodotti fitosanitari e biocidi (*)**

Numero CAS	Composto	Concentrazione µg/L	Metodo APAT- IRSA per la determinazione degli analiti
	Prodotti fitosanitari e biocidi (totali)	1	5060
5.1 Ciclodiene derivati			
309-00-2	Aldrin	0,1	5090
60-57-1	Dieldrin	0,1	5090
72-20-8	Endrin	0,1	5090
465-73-6	Isodrin	0,1	5090
5.2 Organo clorurati			
	Diclorodifeniltricloro etano (DDT)	0,1	5090
115-29-7	Endosulfan (PP)	0,1	5090
959-98-8	[Alfa endosulfan]	0,1	5090
608-73-1	Esaclorocicloesano PP	0,1	5090
58-80-0	[Lindano (γ isomero dell'esaclorocicloesano)]	0,1	5090
118-74-1	Esaclorobenzene PP	0,1	5090
5.3 Fenilurea derivati			
330-54-1	Diuron (PP)	0,1	5050
34123-59-6	Isoproturon (PP)	0,1	5050
5.4 Alotriazine			
1912-24-9	Atrazina (PP)	0,1	
122-34-9	Simazina (PP)	0,1	
5.5 Organo fosforici			
470-90-6	Clorfeninfos P	0,1	5100
5.6 Organotiofosforici			
2921-88-2	Clorpirifos (PP)	0,1	5100
5.7 Altri fitosanitari e biocidi			
15972-60-8	Alaclor P	0,1	5090
1582-09-8	Trifluralin (PP)	0,1	
87-86-5	Pentaclorofenolo (PP) (*)	0,4	5150

6. Composti organici semivolatili

Numero CAS	Composto	Concentrazione µg/L	Metodo APAT- IRSA per la determinazione degli analiti
	Tetracloruro di carbonio (tetraclorometano)	12	5150

Tabella 3 – Parametri di base da controllare nelle acque superficiali (D.Lgs. 152/06, Tabella 1/A dell'allegato 1 alla parte terza)

3. REGIME CORRENTOMETRICO ALL'INTERNO DEL PORTO GRANDE

Durante la redazione dello studio idrodinamico (cfr. elaborato B.3.1-SDC) sono stati valutati gli effetti sul regime delle correnti indotti dai seguenti fenomeni:

- marea astronomica,
- vento da Scirocco e marea astronomica,
- vento da Grecale e marea astronomica,
- immissione idrica del F. Anapo e marea astronomica.

Il regime correntometrico nella configurazione di stato di fatto dovuto agli effetti di marea (cfr. elaborato B.3.1-SDC-“Studio Idrodinamico”) è caratterizzato dalla presenza di due celle di circolazione.

La prima è situata a nord ed è caratterizzata da un senso di rotazione orario, essa corre parallela alla costa dalla foce del F. Anapo all' estremità sud di Ortigia.

La seconda invece è situata sud ed è caratterizzata da un senso di rotazione antiorario.

Le velocità della corrente variano all'interno di tutto il dominio del Porto Grande tra 0 e 2,5 m/s.

In prossimità dell'area destinata ad accogliere le opere in progetto sono dell'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s.

I livelli idrici all'interno del dominio variano tra - 25 e +30 cm.

In prossimità dell'area destinata ad accogliere le opere in progetto tale variazione è dell'ordine di qualche cm.

La presenza delle opere in progetto (cfr. elaborato B.3.1-SDC-“Studio Idrodinamico”) causa una deviazione della corrente nord e provoca di fatto una modesta riduzione dell'entità delle velocità delle correnti, mentre i livelli idrici rimangono dello stesso ordine di grandezza.

Il regime correntometrico nella configurazione di stato di fatto dovuto agli effetti della marea e del vento di scirocco (cfr. elaborato B.3.1-SDC-“Studio Idrodinamico”) è caratterizzato dalla formazione di più celle di circolazione all' interno del Porto Grande.

Nella configurazione di stato di fatto si instaura una cella principale del Porto Grande con circolazione di tipo antiorario, in ingresso in prossimità della Punta Maniace di Ortigia, e ruota verso sud in prossimità del tratto di costa tra le foci del fiume Anapo e del canale Pantanelli.

La cella minore è localizzata a nord in prossimità dell' approdo del Marina di Archimede, è di tipo orario ed interessa l'area compresa tra il Marina di Archimede e Ortigia ed ed è caratterizzata da una circolazione di tipo orario.

Infine in prossimità del sito destinato ad ospitare opere in progetto, si osserva la formazione una cella caratterizzata da una circolazione oraria, avente componente longitudinale dall'area delle foci del fiume Anapo e del canale Pantanelli verso il Marina di Archimede.

Rispetto al caso di sola marea, il vento di scirocco provoca un innalzamento dei livelli idrici di circa 2-5 cm in prossimità del sito destinato ad accogliere le opere in progetto.

Le velocità all'interno dell'intero dominio del Porto Grande variano tra 0 e 2,8 m/s.

In prossimità delle opere in progetto esse raggiungono l'ordine di 10^{-1} m/s.

Nel caso di forzanti di scirocco e marea, in presenza delle opere in progetto (cfr. elaborato B.3.1-SDC-"Studio Idrodinamico") la corrente che va dall'Anapo verso Ortigia risulta ancora sussistere, ma le velocità risultano essere minori per via degli effetti di schermatura dovuti alla presenza delle opere in progetto.

In presenza di vento da grecale e di marea all'interno del Porto Grande, nella configurazione di stato di fatto (cfr. elaborato B.3.1-SDC-"Studio Idrodinamico") si forma una cella di circolazione antioraria; essa risulta essere alimentata dalla correnti di grecale entranti nel bacino semichiuso rispettivamente dal canale di collegamento tra Ortigia e la terra ferma nei pressi del Porto Piccolo, e dall'imboccatura del Porto Grande nei pressi del Castello Maniace.

Il range di variazione delle velocità all'interno del dominio indagato è compreso tra 0 e 1,6m/s.

I livelli idrici si attestano sugli stessi valori di quelli che si manifestano in presenza di scirocco.

In presenza delle opere in progetto (cfr. elaborato B.3.1-SDC-"Studio Idrodinamico") si osserva un rallentamento della corrente a causa dell'azione di schermatura.

Infine per effetto delle forzanti di marea e di flusso continuo proveniente dal fiume Anapo, nella configurazione di stato di fatto (cfr. elaborato B.3.1-SDC-"Studio Idrodinamico"), all'interno del Porto Grande, si instaura un regime correntometrico caratterizzato dalla formazione di due celle di circolazione.

Quella principale è di tipo orario e va dalla foce dell'Anapo, verso l'isola di Ortigia.

La cella secondaria è localizza invece più a Sud e la circolazione indotta è di tipo antiorario.

La presenza delle opere in progetto (cfr. elaborato B.3.1-SDC-"Studio Idrodinamico") scherma la zona degli approdi, provocando la deviazione della corrente. La cella principale risulta avere una forma più allungata e schiacciata, si osserva anche un aumento delle velocità.

All'interno dello specchio protetto si instaura un regime correntometrico caratterizzato da velocità ridotte (dell'ordine di qualche cm/s).

All'interno del Porto Grande si è; in tutti i casi analizzati, si è osservata la formazione di una cella di circolazione principale che localizzata tra foce del F. Anapo e Ortigia.

Il verso di rotazione principale è quello orario, che risulta ben delineato in presenza dei fenomeni indotti dalla marea, dal vento da scirocco e dall'apporto idrico del fiume Anapo; in presenza del vento da grecale la cella di circolazione sembra assumere verso antiorario.

La realizzazione delle opere in progetto, destinate alla protezione di uno specchio idrico per il diporto, non causa variazioni dei pattern idrodinamici esistenti all'interno

del Porto Grande di Siracusa, limitandosi ad un'azione di schermatura dello specchio idrico e ad una modesta riduzione del regime delle correnti nella zona interessata.

Per la visualizzazione dei diagrammi e delle figure dei campi di distribuzione delle velocità si rimanda all'elaborato B.3.1-SDC-"Studio Idrodinamico".

4. GLI APPORTI IDRICI ALL'INTERNO DEL PORTO GRANDE

Nel Porto Grande di Siracusa sono presenti le foci dei seguenti corsi d'acqua:

- il sistema fluviale Anapo-Ciane-Mammaiabica,
- il sistema fluviale Pantanelli,
- altri corsi minori come il canale Pisimotta, il canale Regina e di altri canali di scolo con apporti modesti o nulli.

In particolare in prossimità delle area destinata ad ospitare le opere in progetto si trovano la foce del canale Regina e di un canale di Scolo.

Nella figura seguente è possibile individuare in rosso il bacino del sistema fluviale Anapo-Ciane-Mammaiabica; il verde quello del sistema fluviale Pantanelli ed in giallo quello del canale Regina.

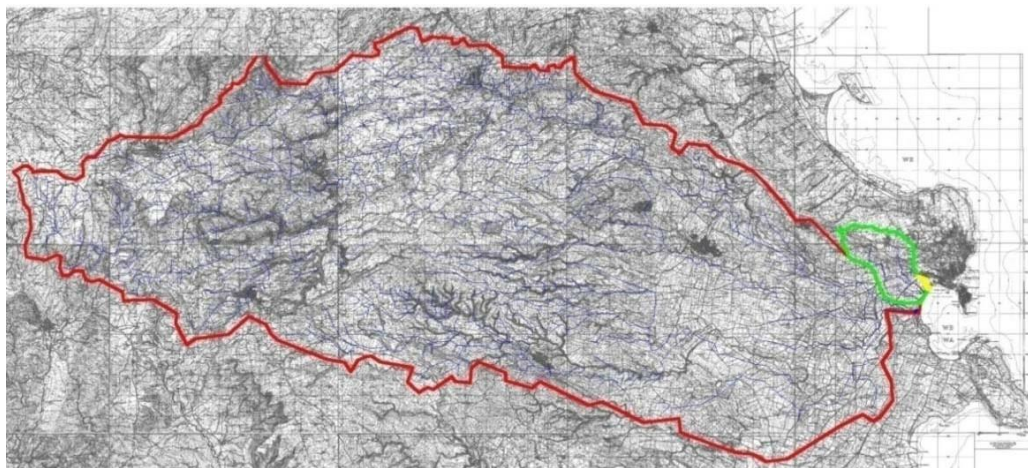


Figura 1 - Quadro di unione dei bacini fluviali dei corsi d'acqua che sfociano all' interno del Porto Grande, in prossimità delle opere in progetto.

Tali corsi d'acqua forniscono apporto idrico ed solido per il Porto Grande, come mostra la tabella seguente.(cfr. elaborato B.5-SIDR " Studio Idrologico-Idraulico").

$Q_{max} (m^3)$			
T (anni)	ANAPO	PANTANELLI	REGINA
50	1100	100	2
100	1320	110	2,5
300	1680	150	3

PRODUZIONE DI SEDIMENTO P	
BACINO	P(t/anno)
ANAPO	3800
PANTANELLI	8,5
REGINA	5×10^{-3}

Tabella 4 – Prospetto riepilogativo degli apporti idrici e solidi provenienti dai principali corsi d'acqua che sfociano all' interno del Porto Grande in prossimità delle aree destinate ad ospitare le opere in progetto.

5. METODI SINTETICI PER DETERMINARE LA QUALITÀ DELLE ACQUE DI UN BACINO

La stima corretta della qualità delle acque in un marina è complicata dalla grande quantità di inquinanti potenzialmente presenti, dalla loro interazione, dalle condizioni meteorologiche locali (per esempio temperatura ed insolazione), dei possibili impatti connessi sull'ambiente e sullo stesso ricambio idrico.

Il ricambio idrico dei bacini è governato poi da una serie di fenomeni fisici di cui il più importante e frequente è senz'altro la marea.

Esistono alcuni metodi disponibili che consentono la previsione dei fenomeni idrodinamici e dei processi biochimici dal semplice calcolo del tempo di ricambio idrico di un bacino fino a complessi modelli previsionali della qualità delle acque.

L'approccio necessario a secondo delle varie situazioni dipende da diversi fattori tra cui la qualità delle acque esternamente al marina, la presenza o meno di scarichi censiti, le caratteristiche generali del ricambio idrico ed i limiti imposti dal sistema normativo che occorre contemperare.

5.1 DESCRIZIONE DEGLI INDICI SINTETICI

5.1.1 TEMPO DI RICAMBIO

Il parametro "tradizionale" per la valutazione della accettabilità della qualità delle acque di un bacino è il tempo necessario al ricambio idrico.

In un bacino semichiuso i tempi di ricambio sono generalmente calcolati come il tempo necessario per ridurre la concentrazione iniziale di inquinante ad un certo valore prescritto.

La relazione per computare tale tempo di ricambio è data da:

$$T_f \text{ (tidal cycles)} = \frac{\ln D}{\ln \left[\frac{V_t - V_m + 2V_m(1-e)}{V_t + V_m} \right]}$$

Dove:

- D , fattore di diluizione
- $V_t - V_m$, volume di bassa marea
- $V_t + V_m$, volume di alta marea
- $2 V_m$, volume del prisma della marea
- V_t , prodotto tra la profondità media, h , e la superficie del bacino, A
- e , frazione di acqua nuova apportata da ogni flusso di marea, così che $1-e$, rappresenta la quantità di portata di ritorno (Di Lorenzo et. al, 1991)

Un metodo alternativo per la misurazione del tempo di ricambio è la computazione dell'*E-folding time* per un bacino chiuso, ovvero il tempo necessario perché un contaminante introdotto in un corpo idrico uniformemente miscelato raggiunga un dato livello di diluizione.

Se identifichiamo con P la concentrazione in un dato istante, si ha che

$$dP/dt \approx -QP/V$$

dove V è il volume del bacino e Q la quantità di acqua di scambio.

La risoluzione della precedente equazione conduce alla seguente espressione

$$P(t) = P(0) \exp(-Qt/V)$$

dove $P(0)$ è la concentrazione iniziale e se si pone il tempo di residenza $t=V/Q$ (per un perfetto ricambio), allora il valore della concentrazione d'inquinante risulta pari a $1/e$ della concentrazione iniziale, ovvero si ha una dispersione del 63% (de Kreeke, 1983).

Per una marea di tipo semidiurno, l'*E-folding* può essere stimato analiticamente (Marine Science Laboratories, 1992) come:

$$t_{e\text{-fold}} = t_{m2} (V_L + v/2)/v$$

dove

- V_L è il volume del bacino con bassa marea
- v è il volume della marea media
- t_{m2} è il periodo della costituente di marea m_2

Generalmente lo scopo è raggiungere il valore di *E-folding* in quattro giorni (otto cicli di marea).

Ciò è per esempio raccomandato dall'US Environmental Protection Agency (EPA, 1985), che classifica come "buono" il ricambio completo delle acque di un bacino in quattro giorni, "discreto" in dieci giorni e "scarso" in un tempo maggiore.

Il metodo discusso assume che ci sia il 100% di miscelazione di acqua nuova, o $e=1$, ad ogni ciclo di marea.

Ciò di solito non si realizza completamente nelle situazioni reali.

Tuttavia è stato notato che fino al 50% di nuova acqua di scambio comporta bassi impatti sul tempo di residenza (Van de Kreeke, 1983).

Come linea guida lo scopo da raggiungere viene interpretato come "non più del 5% del bacino dovrebbe avere coefficienti di scambio (definiti nelle sezioni successive) inferiori a 0.15 quando mediati su un completo ciclo di marea (12 ore)" (Smith et al., 2002).

5.1.2 RAPPORTI DI FORMA DEL BACINO

Nece et al. (1979) hanno condotto diverse prove su modello fisico per determinare le geometrie di bacino e le disposizioni dell'imboccatura maggiormente efficienti ai fini del ricambio idrico.

Nella figura seguente è riportata l'efficienza di ricambio di differenti bacini rettangolari rappresentati dal rapporto L/B tra le dimensioni dei lati.

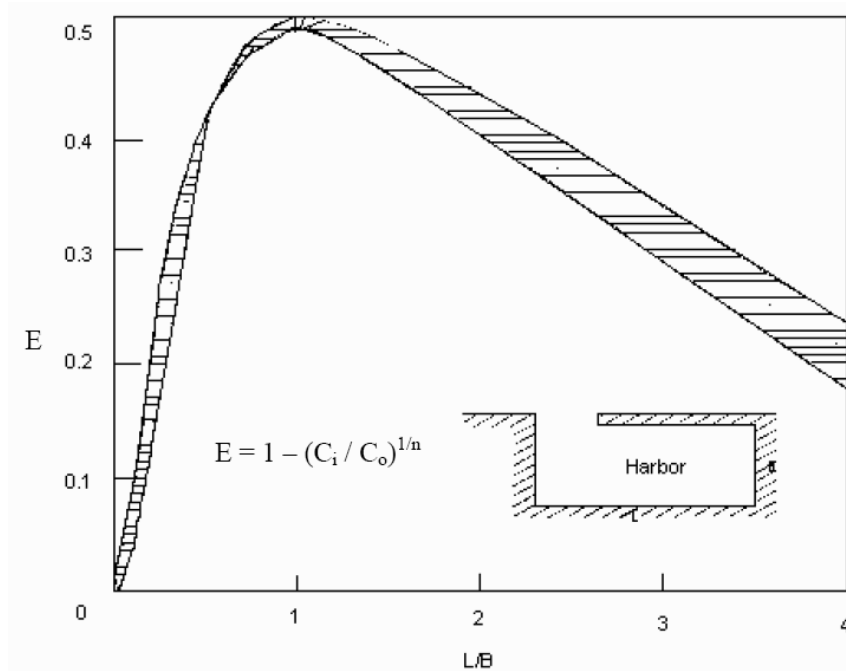


Figura 2 – Coefficiente di scambio idrico in funzione del fattore di forma di un bacino

Gli autori hanno definito il “coefficiente di scambio idrico, E” come:

$$E = 1 - (C_i / C_o)^{1/n}$$

Dove:

- E, coefficiente medio di scambio
- C_o , concentrazione iniziale
- C, concentrazione dopo n cicli di marea
- n, numero dei cicli di marea (usualmente almeno 4)
- C_i , concentrazione del componente in questione alla locazione “i”.

Come si nota il massimo dell'efficienza nel ricambio si ha con rapporto $L/B = 1$.

Inoltre gli autori raccomandano che non più del 5% del bacino debbano avere coefficienti di ricambio inferiori a 0.15, mediati su un intero ciclo di marea.

Tale definizione corrisponde ad un coefficiente di forma massimo pari grossomodo ad $\frac{1}{4}$.

Quando le forme dei bacini divengono più curvilinee o irregolari, il suddetto rapporto di forma perde di significato.

Un metodo generalmente valido per considerare gli effetti della forma geometrica del bacino è quello che tiene considerazione del Fattore di Forma (Planform Factor), simile al raggio idraulico, dato da:

$$PF = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

Dove:

A, superficie del bacino al livello medio di marea

P, perimetro come mostrato nella Fig.2.

Per un cerchio perfetto, PF è pari ad 1. Bacini dotati di molti insenature tipicamente hanno PF bassi dovuti a grandi valori di P relativamente ad A. Lo scopo è avere la maggiore superficie di bacino possibile in funzione del minore perimetro.

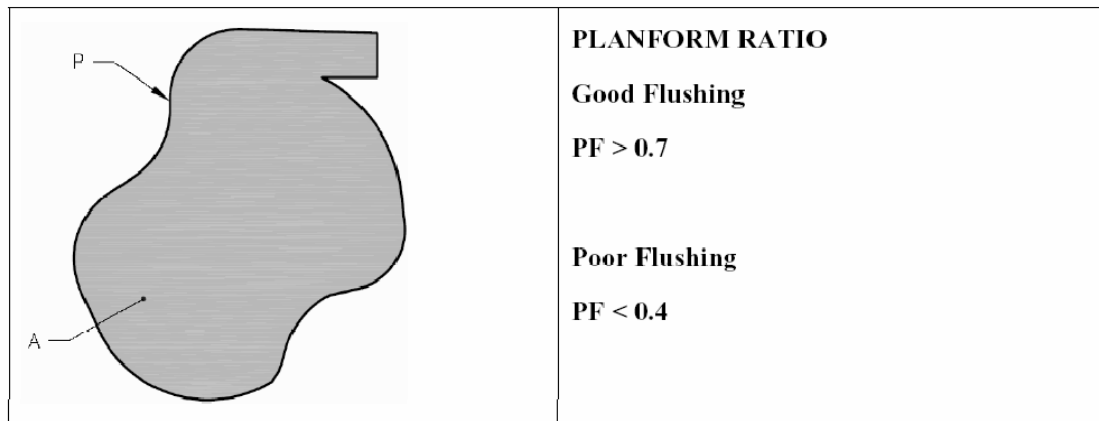


Figura 3 – Fattore di Forma (Planform Factor)

Circa la forma, il minor valore raccomandato di PF è 0.67. Per un rettangolo ciò comporta di limitare il rapporto di forma a 2/1. Ciò è ben rappresentato dalla fig.3 dove si nota l'effettiva penetrazione in un tale bacino.

E' evidente che il flusso di ricambio non penetra completamente nel caso di un rapporto di forma superiore a 2/1.

Ciò implica che nel caso di rapporti di forma che superino tale valore, l'efficienza del ricambio decade velocemente, giacché si formano molteplici vortici di circolazione nel bacino e quello interno non riesce a scambiare acqua attraverso l'imboccatura.

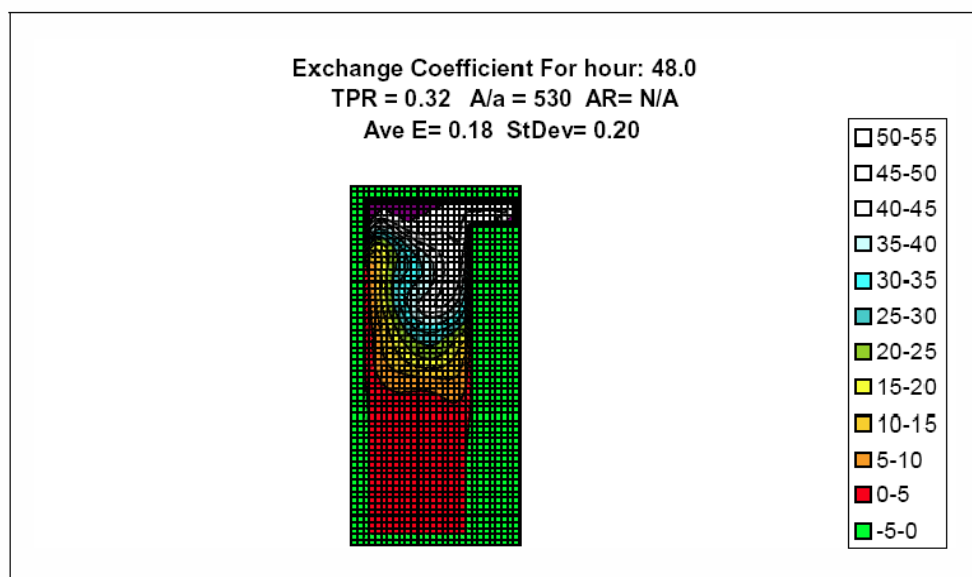


Figura 4 – Limite della penetrazione in un bacino rettangolare

5.1.3 IL COEFFICIENTE DI RICAMBIO

Il coefficiente di scambio medio (E) da solo non è sufficiente ad identificare il ricambio idrico, la circolazione o la miscelazione, dacchè non considera la variabilità spaziale dei processi di miscelazione.

Così per esempio considerando due bacini con pari coefficiente di scambio, uno con metà bacino avente il ricambio idrico prossimo al 100% e l'altra metà prossima a zero, mentre l'altro con un ricambio tra il 40% ed il 60% ovunque. E' evidente che il primo bacino ha uno scarso ricambio idrico ed il secondo, invece, buono.

Se si definisce con S la deviazione standard del coefficiente di scambio, computata in diversi punti del bacino, e definita come:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Dove,

x_i , valore di E in ciascun punto del bacino

\bar{x} , valore medio di E

Ciò comporta che E-S deve essere maggiore di 0.1 per un buon ricambio idrico. Ciò a dispetto del fatto che localmente alcune miscelazioni possono essere più forti nel primo caso dei due sopra ipotizzati.

La Fig. 4 illustra la differenza nei valori di scambio di bacini con un ricambio uniforme e non uniforme.

Come mostrano gli istogramma delle velocità calcolate punto per punto del coefficiente di scambio, mentre la figura a sinistra ha alcuni valori del coefficiente di scambio almeno il 50% maggiori del valore predominante, c'è più uniformità nei valori distribuiti nel bacino alla destra. Ciò comporta valori più bassi di S, che appunto corrispondono ad una migliore qualità dell'acqua.

L'effetto del rapporto di forma nell'assicurare una miscelazione uniforme nel bacino è mostrato nella fig.5. Si nota che il maggiore valore E-S, cioè la minore deviazione standard dal coefficiente medio di scambio, accade per un rapporto di forma pari ad 1.0. Si noti anche che una imboccatura più stretta provoca un miglior valore E-S

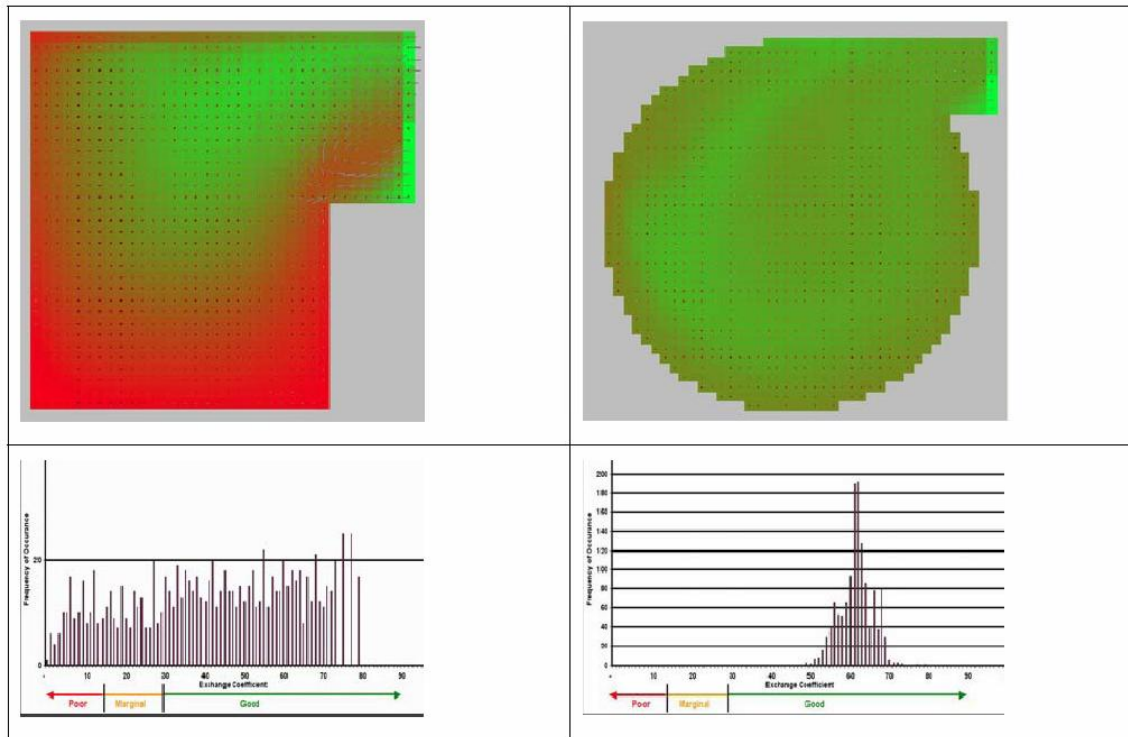


Figura 5 – Differenza di scambio idrico tra un bacino non uniforme (a sinistra) ed uno uniforme (a destra)

Rectangular Basin, TPR = 0.32

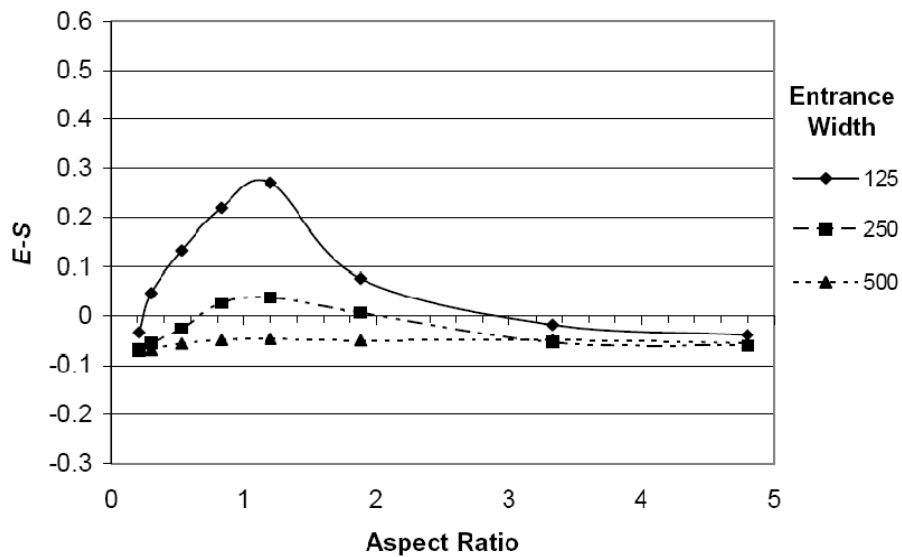


Figura 6 – Uniformità di scambio idrico in funzione del rapporto di forma

5.1.4 RAGGIO DI CURVATURA DEL BACINO

Arrotondare gli angoli del bacino aumenta pure il valore di PF. Per una buona circolazione il raggio minimo dovrebbe essere più grande di un quarto della minore dimensione caratteristica del bacino, e mai meno di un ottavo della minore dimensione.

Come mostrato dai valori di esempio della fig. 6 il valore E-S è maggiore per un bacino ad angoli arrotondati così che risulta anche maggiormente uniforme la miscelazione (Smith and al., 2002).

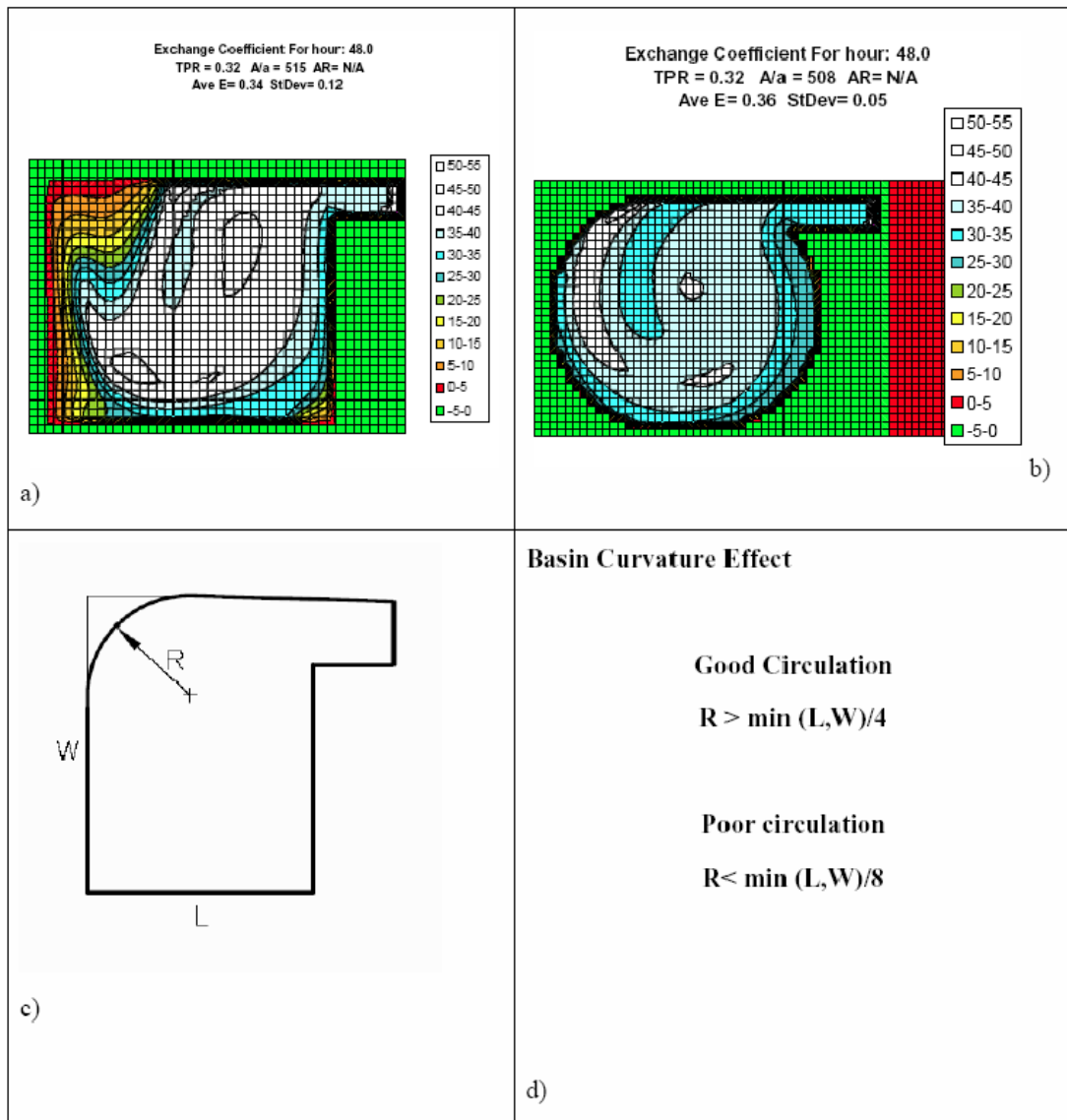


Figura 7 - Definizione della Curvatura di bacino

5.1.5 INFLUENZA DELLA SUPERFICIE DELLA SEZIONE DELL'IMBOCCATURA

Esiste una relazione d'influenza tra la superficie della sezione dell'imboccatura (a) e l'area (A) del bacino soggetto al ricambio idrico.

Con lo scopo di mantenere un valore E-S maggiore di 0.1, il rapporto A/a tipicamente deve essere maggiore di 200, e idealmente deve essere almeno pari a 400 (fig. 8).

Come mostra la Fig. 7, lo scambio di marea in bacini con imboccature ampie, non penetra profondamente ed uniformemente come invece accade per imboccature strette.

A parità di altre condizioni, una imboccatura di ampiezza quadruplicata, comporta un flusso di scambio solo nella metà esterna del bacino.

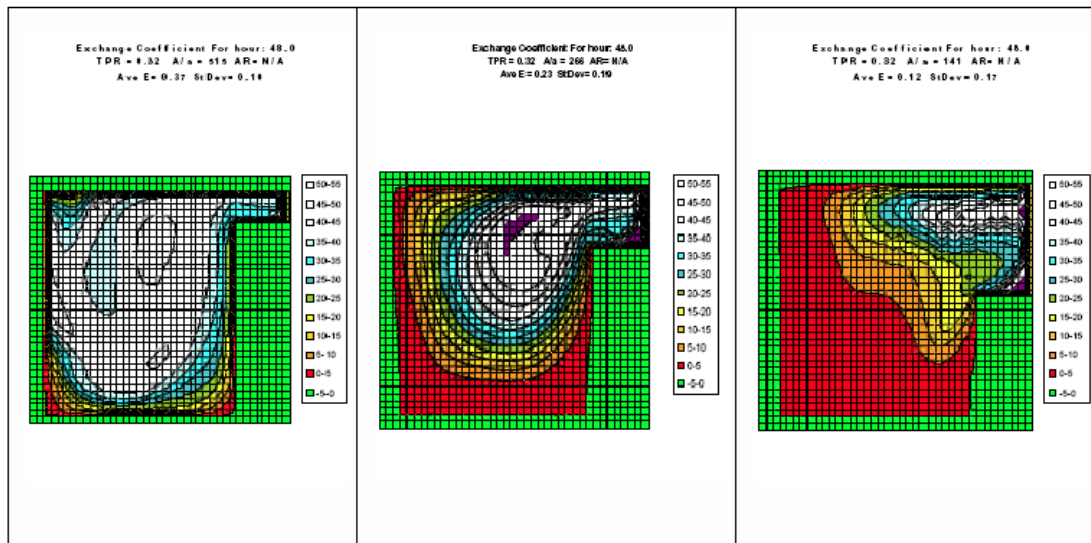


Figura 8 – Relazione tra l'area del bacino e la sezione dell'imboccatura

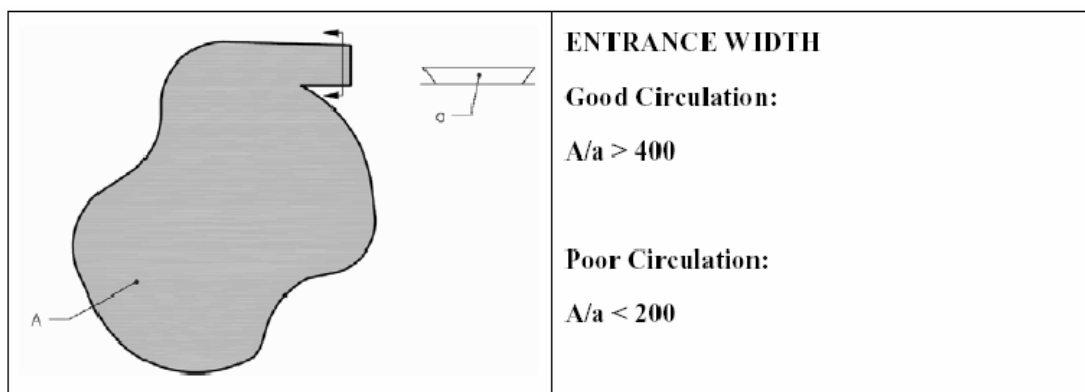


Figura 9 – Importanza dell'imboccatura ai fini del ricambio idrico

Quindi il valore E-S è generalmente minore di 0,1 per marina con imboccature larghe, persino nel caso che il valore medio di E sia grande.

Nel caso di bacini molto influenzati dall'escursione di marea i porti ad ampia imboccatura tendono a soffrire di zone "morte" nelle parti più interne dello stesso.

D'altro canto in aree a bassa escursione di marea, specialmente in fiumi e laghi, dove dominano le correnti, anche provocate dal vento, una imboccatura larga può risultare benefica (EPA, 1985).

Se ne deduce tuttavia che dove la circolazione è dovuta primariamente all'escursione di marea un imboccatura più stretta è preferibile.

5.1.6 RAPPORTO DI ESCURSIONE DI MAREA

Per un buon ricambio idrico, il rapporto di escursione di marea (Tidal Prism Ratio, TPR), cioè il volume di acqua entrante nel bacino durante il flusso di marea, rapportato al volume complessivo del bacino durante il livello di alta marea, occorre che sia pari almeno a 0,25, e preferibilmente 0,35.

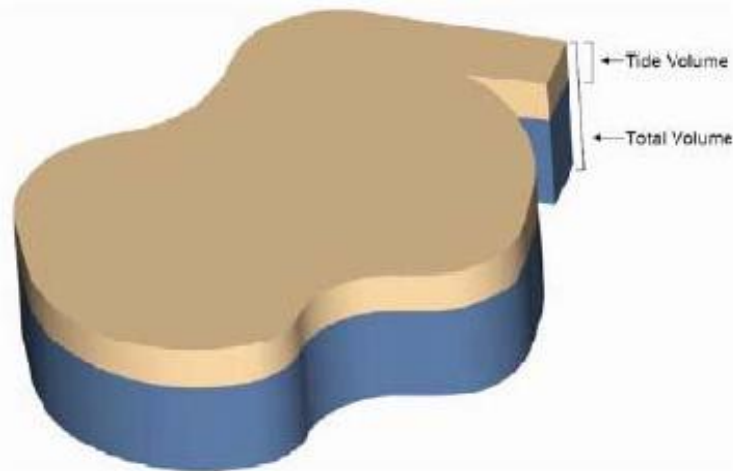


Figura 10 – Diagramma esemplificativo dei volumi per il calcolo dell' indice TPR.

5.1.7 UBICAZIONE DELL'IMBOCCATURA DEL MARINA

Le osservazioni condotte da Nece et al. negli studi citati furono basate largamente su marina con imboccature ubicate lateralmente. Per definire se una imboccatura centrale o una laterale risponda meglio allo scopo, è possibile vedere il lay-out del bacino con imboccatura centrale come due bacini ad imboccatura laterale specchiati. In tal caso sia l'area del bacino (A) che la sezione dell'imboccatura (a) risultano raddoppiati, così che il loro rapporto non varia.

Rimane invariato anche il rapporto di escursione di marea (TPR). L'unico elemento a variare è il rapporto di forma, che si incrementa con un fattore 2. Teoricamente per una imboccatura centrale il migliore scambio si ottiene quando si hanno due sottobacini a rapporto di forma 1/1. Quindi l'ottimo rapporto di forma complessivo per un bacino ad ingresso centrale dovrebbe essere prossimo a 2:1. Dacchè è improbabile il raddoppio della larghezza dell'imboccatura ai fini dell'onda, una imboccatura centrale è ulteriormente migliorata stringendo la sua larghezza.

Si noti quindi che lo scopo in generale dovrebbe essere quello di creare un bacino con forma ed ubicazione dell'imboccatura in modo tale che possa considerarsi come l'affiancamento di bacini ad imboccatura laterale e rapporti di forma prossimi a 1/1.

I porti che si sviluppano in direzione parallela alla spiaggia beneficiano di una imboccatura centrale o di due imboccature contrapposte agli estremi.

I porti che si sviluppano in direzione perpendicolare alla spiaggia beneficiano di una imboccatura laterale perché l'ubicazione dell'ingresso della portata di ricambio definisce il computo del rapporto di forma.

5.1.8 EFFETTI DOVUTI AD IMBOCCATURE MULTIPLE

L'effetto dovuto ad imboccature multiple può essere considerato comparando i valori di E-S con rapporto di forma incrementato per un bacino rettangolare con una o due imboccature.

La figura seguente mostra due esempi di bacini ad imboccatura multipla.

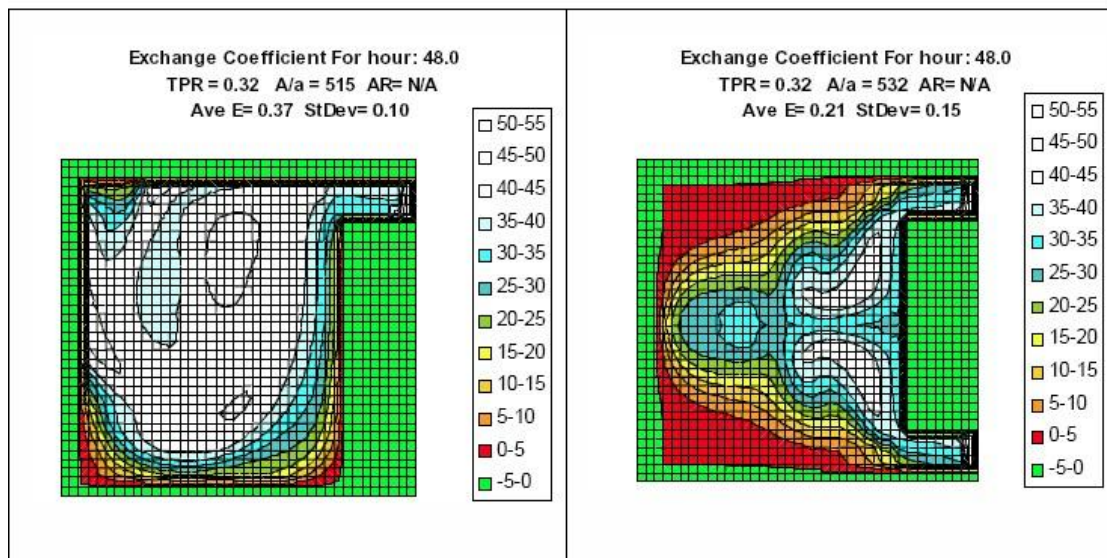


Figura 11 – Confronto fra un bacino con una sola imboccatura ed uno con imboccature multiple

L'area lorda della superficie del bacino e l'area dell'imboccatura rimangono sostanzialmente le stesse (valori A/a simili) il che significa che la larghezza delle imboccature nell'esempio dove queste sono due è la metà dell'altro esempio.

Tuttavia computando e comparando i valori E-S, si evidenzia un netto degrado dell'efficienza del ricambio idrico nel caso di imboccature multiple.

Graficamente ciò è mostrato dalla figura precedente, che mostra come effettivamente le due portate di scambio lavorino con circolazione contraria, inibendo la formazione di una forte circolazione complessiva e diminuendo il volume del bacino che può essere ricambiato rispetto all'esempio con singola imboccatura.

Questi risultati potrebbero suggerire che imboccature multiple o aperture potrebbero comportare una dannosa riduzione nella qualità dell'acqua.

Tale soluzione dovrebbe essere attuata con cautela nei casi di bacini che hanno un buon rapporto di forma e sono fortemente condizionati per il ricambio dall'escursione di marea.

Come evidenziato nella figura seguente, se il rapporto di forma del bacino è maggiore di 1:4, allora imboccature multiple possono essere tenute in considerazione dacchè una singola portata di ricambio certamente non può interessare l'intero bacino, sebbene il contributo di ogni imboccatura sia minore.

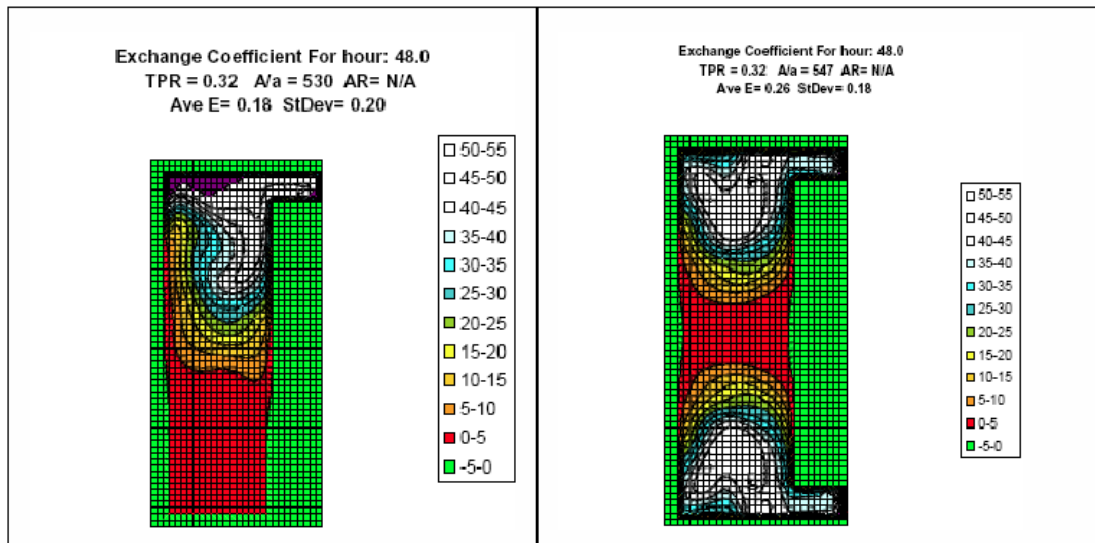


Figura 12 – Effetti sulla circolazione idrica in bacini allungati con imboccature multiple

5.2 L'APPLICAZIONE AL CASO SPECIFICO

Questo capitolo ha come oggetto le elaborazioni di tipo sintetico effettuate per lo specchio idrico protetto in studio.

Dapprima verranno descritte sia la configurazione attuale, sia quella futura relativa alla realizzazione delle opere in progetto.

In seguito verranno esaminati i risultati dell'analisi sintetica effettuata secondo i principi espressi nel capitolo precedente.

Infine verranno esaminati i risultati ottenuti in seno alle simulazioni numeriche effettuate.

5.2.1 DESCRIZIONE DELLE CONFIGURAZIONI PORTUALI.

5.2.1.1 DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI STATO DI FATTO

L'area oggetto di studio è situato all' interno del bacino del Porto Grande nella zona più settentrionale, tra la foce del canale Regina e l'area sede della base dell' Aeronautica militare.

Attualmente tra l'area destinata ad accogliere le opere in progetto ed il molo S. Antonio è in fase di realizzazione il " Marina di Archimede".

Le opere previste del Marina di Archimede prevedono la costruzione di due moli foranei su pali.

5.2.1.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

L'intervento prevede la realizzazione, a sud-ovest del costruendo Marina di Archimede, di uno specchio acqueo protetto da un molo foraneo che si radica da un'isola dove sorgono gli edifici destinati alla fruizione pubblica ed al diporto.

Quest'area è separata da un canale da un'ulteriore zona destinata alla cantieristica e da un'arenile riqualificato per servizi urbani.

Al sito portuale si accede attraverso una nuova viabilità che si dirama dalla via Elorina e adiacente al torrente Regina, o dalla viabilità esistente nei pressi del cantiere Di Benedetto.

Le opere marittime previste in progetto sono:

- Molo foraneo di ponente;
- Colmate e banchine di riva;
- Pennello antisedimentazione;
- Opere di dragaggio per la regolarizzazione dei fondali.

Il molo foraneo è lungo circa 520 m, ed è costituito da una bilatera.

Il piano di calpestio è a quota +1,60 m rispetto al l.m.m, mentre la larghezza del molo foraneo è di 8m nel primo tratto e 10 m nel secondo.

Il molo è realizzato su pali trivellati in cls.a. rivestiti, per la parte non infissa, da lamierino in acciaio corten e aventi diametro:

- D=1,00 m fino alla batimetrica dei -5m rispetto al l.m.m.
- D=1,20 m dalla batimetrica dei -5 m fino a quella di -9 m rispetto al l.m.m.

I pali sono disposti secondo una maglia 6 x 6 m.

La lunghezza di infissione sotto la quota del fondale è di circa 35 m.

Ai fini di garantire gli standard dell'agitazione residua, per il molo foraneo è stata ritenuta ottimale una tipologia strutturale così costituita:

- uno schermo totalmente immerso costituito da setti in cls, lungo la fila esterna lato mare;
- uno schermo parzialmente immerso lungo la fila interna lato specchio acqueo protetto, sempre costituito da setti in cls;

Sopra ogni fila trasversale di pali è realizzata la trave pulvino su cui poggiano i tegoli in cls precompresso e quindi la soletta collaborante. Sopra è disposta la pavimentazione in elementi autobloccanti.

Le colmate saranno delimitate da barriere di pali secanti. Lungo i lati che delimitano lo specchio acqueo per il diporto, sui pali saranno solidarizzati dei cassoncini antiriflettenti sfinestrati sul lato esterno.

I cassoncini hanno dimensioni planimetriche di 3.00 x 3.00 m ed altezza 3.00 m, posti sulla paratia di pali accostati e sul terreno consolidato a quota - 2.40 m s.l.m;

l'apertura frontale del cassone è alta 1,20 m; la pendenza dello strato di scogli interno è 3/2.

Ai piedi della palificata saranno posizionati dei massi guardiani per la protezione al piede della stessa.

Dal lato del canale di vivificazione, la palificata sarà coronata con un cavidotto impiantistico.

La quota di calpestio delle banchine di riva è posta pari a +1,20 m rispetto al l.m.m. Le pavimentazioni sono realizzate in elementi autobloccanti.

A nord ovest dell'opera portuale verrà realizzato un pennello antisedimentazione che si radica sulla battigia. Questo sarà lungo circa 210 m e orientato secondo l'asse N/S. Esso sarà realizzato con massi di 2° categoria. La quota della berma sarà di 0,50 m rispetto al l.m.m.

Il pennello sarà radicato presso la foce del Canale Regina, la testata dello stesso raggiungerà fondali sulla batimetrica dei -2,0 m rispetto al l.m.m.

Le opere di dragaggio saranno effettuate per ottenere un fondale a quota -5,00 m s.l.m. nello specchio acqueo per il diporto e dello specchio acqueo cantieristico, a quota -3,00 m s.l.m. nella darsena polifunzionale, ed a quota -2,00 m s.l.m. nel canale di vivificazione.

visualizzazione delle sezioni tipologiche si rimanda gli elaborati grafici di progetto.

Lo specchio acqueo di protetto può essere suddiviso ai fini computazionali in 3 sottobacini:

- Bacino per il diporto
- Bacino per la cantieristica
- Darsena polifunzionale e canale di vivificazione

5.2.2 DEFINIZIONE DEI LAYOUTS DI STUDIO

Per le elaborazioni di tipo sintetico si è scelto di considerare le seguenti 2 configurazioni:

LAYOUT	DESCRIZIONE
A	CONFIGURAZIONE DI STATO DI FATTO -- REALIZZAZIONE DEL MARINA DI ARCHIMEDE
B	REALIZZAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO e MARINA DI ARCHIMEDE

Tabella 5 – Prospetto riassuntivo dei layouts indagati

Inoltre ai fini computazionali è stata ipotizzata la suddivisione dello specchio idrico complessivo in bacini secondo la seguente numerazione:

BACINI	DESCRIZIONE
1	MARINA DI ARCHIMEDE
2	APPRODO SPERO
3	DARSENA POLIFUNZIONALE e CANALE DI VIVIFICAZIONE
4	BACINO CANTIERISTICA

Tabella 6 – Bacini individuati

Di seguito si riporta uno schema relativo alla localizzazione dei bacini suddetti.

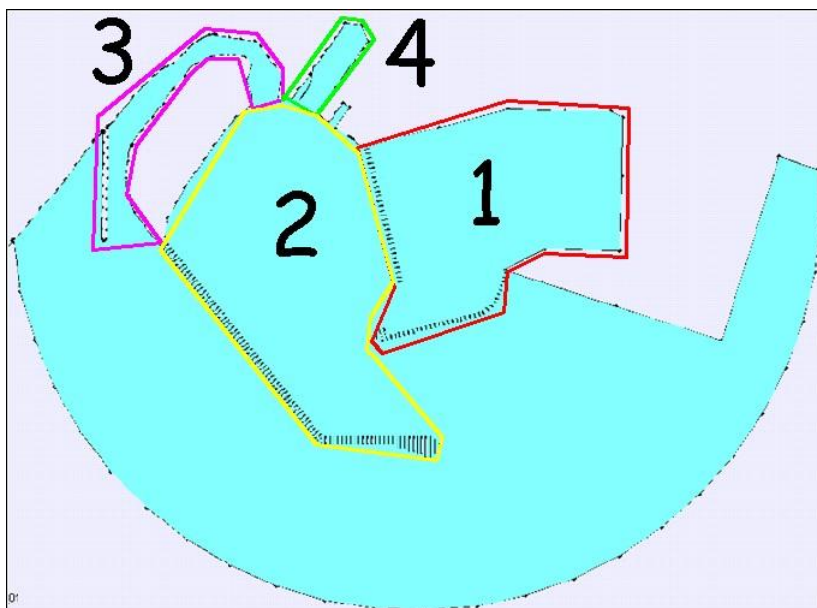


Figura 13 –Schema di riferimento per la localizzazione dei bacini individuati.

5.2.3 VALUTAZIONE DEGLI INDICI SINTETICI

Il tempo necessario al ricambio idrico è stato stimato utilizzando la relazione riportata al paragrafo 5.1 e ponendo la quantità di acqua nuova apportata ad ogni flusso di marea coincidente con quella della portata di ritorno.

Si osserva che il metodo è stato applicato facendo una semplificazione dei layout proposti; infatti a vantaggio di sicurezza, le opere sono state modellate sinteticamente come opere "continue", trascurando la presenza delle numerose pile e dei canali tra le stesse, simulando di fatto un grado di circolazione idrica più basso.

Nei grafici seguenti è visualizzato l'andamento del tempo di ricambio in funzione del valore del fattore di diluizione D , sia per ognuno dei bacini investigati sia per ogni layouts.

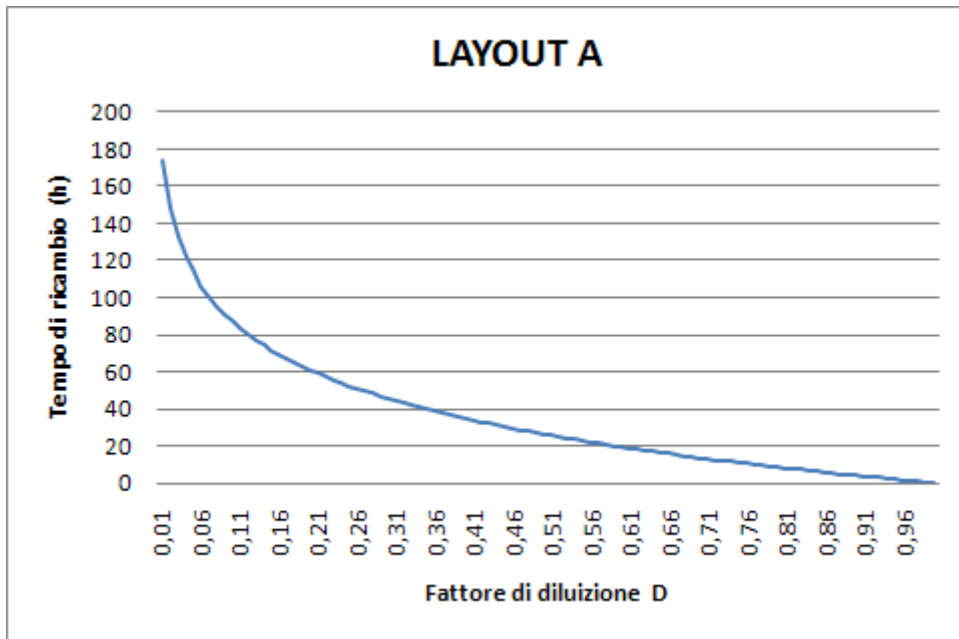


Figura 14 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il layout A che prevede la presenza del del Marina di Archimede

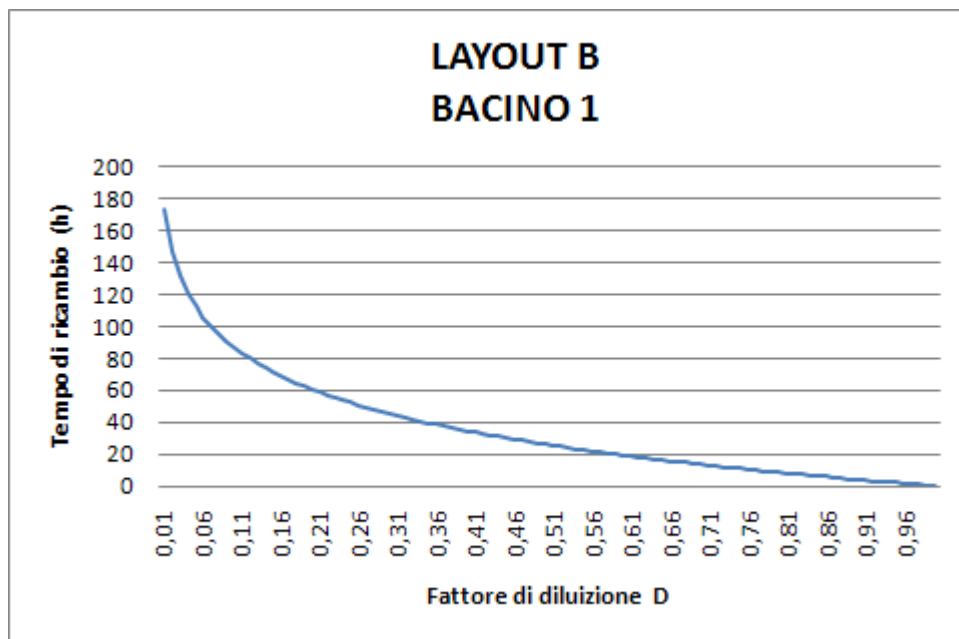


Figura 15 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il bacino 1, lo specchio acqueo protetto del Marina di Archimede (coincidente con il layout A).

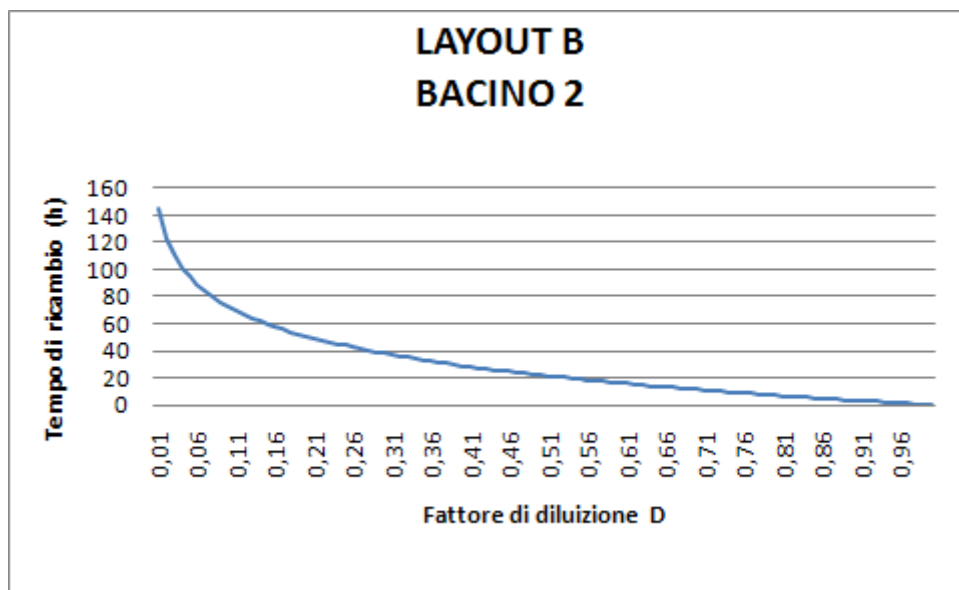


Figura 16 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il bacino 2, lo specchio idrico delimitato dal Molo foraneo.

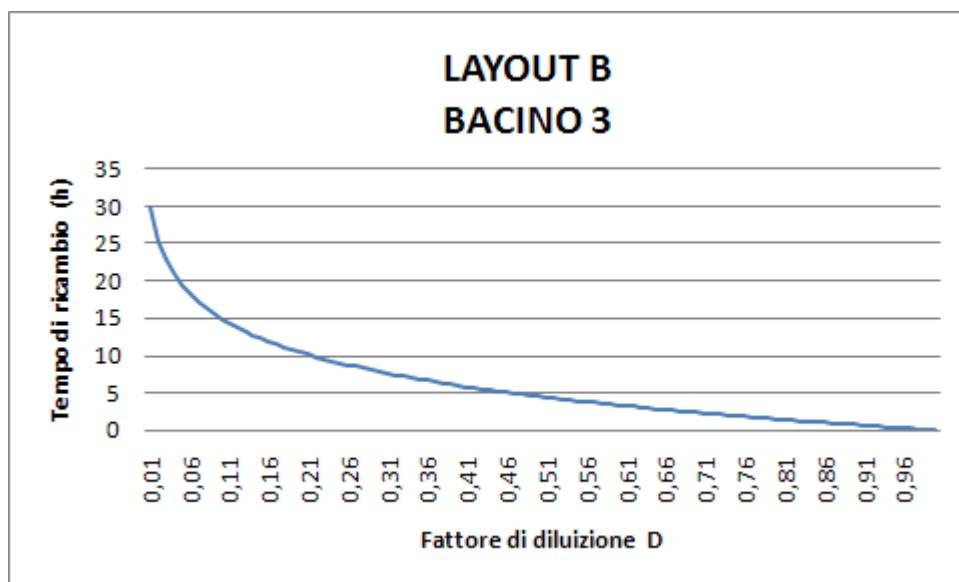


Figura 17 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il bacino 3, lo specchio idrico delimitato dalla darsena Polifunzionale e dal canale di Vivificazione.

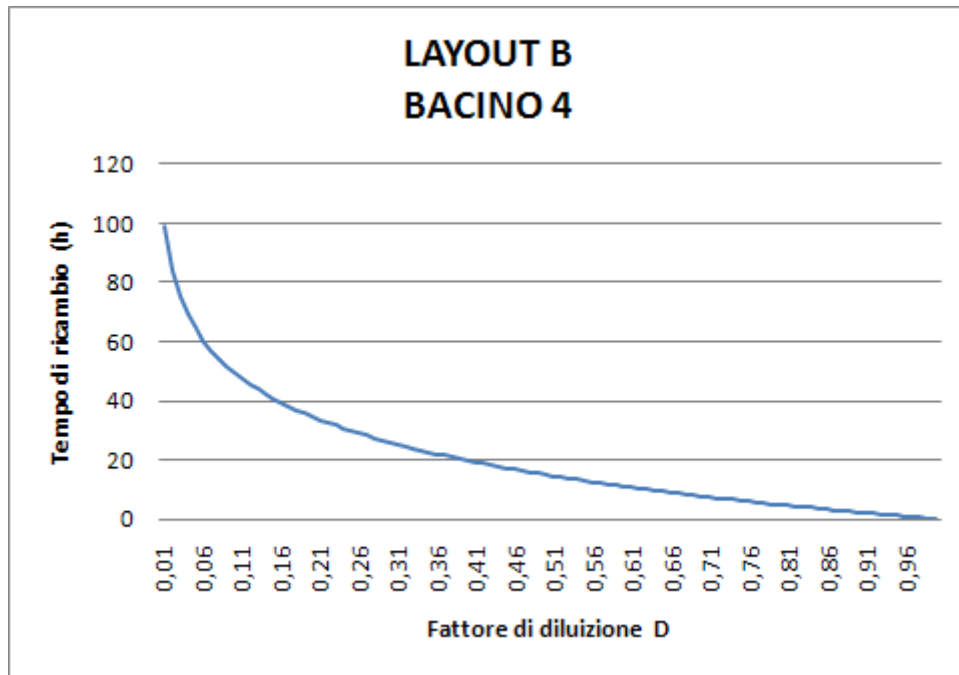


Figura 18 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il bacino 4, lo specchio idrico presso l'area Cantieristica.

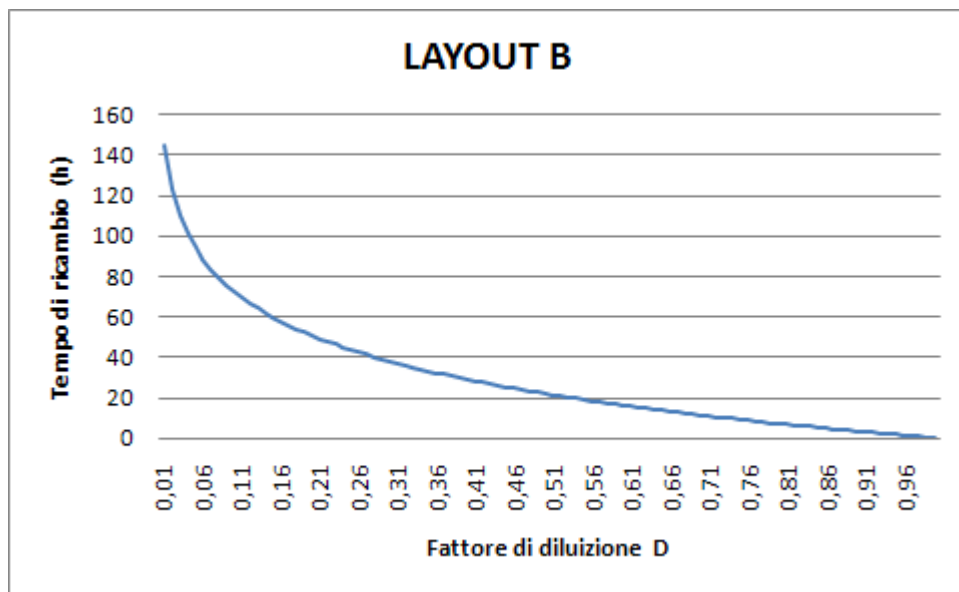


Figura 19 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il layout B (BACINI 1,2,3,4).

Di seguito si riporta anche il prospetto relativo ai tempi di ricambio caratteristici per ogni bacino e per ogni layout per raggiungere in rapporto di diluizione D pari a 0.5 (cfr. paragrafo 5.1.1).

tempo di ricambio T_f (h)	
LAYOUT A	
D	0,5
V_m (m ³)	16740
V_t (m ³)	623580
ε	0,5
T_f (h)	26,2

Tabella 7 – Layout A. Valutazione del tempo di ricambio idrico T_f (ore) necessario per il raggiungimento del valore del fattore di diluizione $D=0.5$.

	tempo di ricambio T_f (h)				
	BACINO 1	BACINO 2	BACINO 3	BACINO 4	LAYOUT B
D	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
V_m (m ³)	16740	24093	1550	1220	53428
V_t (m ³)	623580	746883	9300	25620	1656268
ε	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
T_f (h)	26,2	21,8	4,5	14,9	21,8

Tabella 8 – Layout B. Valutazione del tempo di ricambio idrico T_f (ore) necessario per il raggiungimento del valore del fattore di diluizione $D=0.5$.

Dalle tabelle ed i diagrammi appena riportati si evince come ognuno dei bacini dei layouts analizzati sia caratterizzato da tempi di ricambio accettabili; in particolare per ognuno dei singoli bacini individuati è associabile un da tempo di ricambio per il raggiungimento di $D=0.5$ sempre minore di circa 26 ore.

In particolare il bacino 1 (darsena del Marina di Archimede) ed il bacino 2 (specchio acqueo protetto per il diporto dell'Approdo Spero) sono caratterizzati da $T_f(D=0,5)$ rispettivamente pari ad 26,2 h ed di 21,8 h.

Il valore di T_f ($D=0,5$) associabile al layout A (solo bacino 1) è pari a 26,2 h.

Si osserva che la modellazione delle opere in progetto (LAYOUT B), è contraddistinta da una tempo di ricambio T_f associato ad un fattore di diluizione $D=0,5$ pari a 41,9 h < 48 h.

Di seguito si riporta la tabella di confronto tra i layouts relativo alla determinazione del valore dell'e-folding time (cfr. paragrafo 5.1.1).

e-folding time T_{e-fold} (h)	
LAYOUT A	
V_L (m ³)	598469
v (m ³)	16740
t_{m2}	12,42
t_{e-fold} (h)	35,75
t_{e-fold} (gg)	1,49

Tabella 9 –Layout A. Valutazione dell'e-folding time T_{e-fold} ,

	e-folding time T_{e-fold} (h)				
	BACINO 1	BACINO 2	BACINO 3	BACINO 4	LAYOUT B
V_L (m ³)	598469	710744	6975	23790	1576126
v (m ³)	16740	24093	1550	1220	53428
t_{m2}	12,42	12,42	12,42	12,42	12,42
t_{e-fold} (h)	35,75	29,5	4,5	19,5	29,5
t_{e-fold} (gg)	1,5	1,2	0,2	0,8	1,2

Tabella 10 – Tabella per il confronto tra i layout in funzione dell'e-folding time T_{e-fold} ,

Si osserva che ognuno degli specchi idrici e dei layouts investigati è caratterizzato da valori dell'e-folding time inferiore al valore ottimale di quattro giorni raccomandato dall'US Environmental Protection Agency (EPA, 1985) e quindi migliore rispetto a quest'ultimo; in particolare si evidenzia che il layout A (Bacino 1-Marina di Archimede) è caratterizzato da T_{e-fold} pari a 1,5 gg, mentre il layout B (Configurazione di Progetto), caratterizzato da un volume alquanto maggiore, è caratterizzato da un T_{e-fold} pari a 2,4 gg.

Inoltre si osserva che il bacino 2 (specchio protetto approdo Spero) è caratterizzato da T_{e-fold} pari a 1,2 gg, il bacino 3 (darsena polifunzionale e canale di vivificazione) da $T_{e-fold} = 0,2$ gg ed il bacino 4 (specchio area cantieristica) da $T_{e-fold} = 0,8$ gg.

Nelle tabelle seguenti si riportano il valore degli altri indici sintetici ottenuti. (PF, A/a, TPR, cfr. paragrafo 5.1.1) che è stato possibile calcolare per ognuno dei due layout investigati.

LAYOUT A - STATO DI FATTO (REALIZZAZIONE MARINA DI ARCHIMEDE)							
INDICE		BACINO 1	BACINO 2	BACINO 3	BACINO 4	TUTTI I BACINI	valori consigliati*
FATTORE DI FORMA	PF	0,63	-	-	-	0,63	>0.4 - ottimale >0,67
RAPPORTO AREA IMB./VOLUME	A/a	266	-	-	-	266	>200 - ottimale 400
RAPPORTO DI ESCURSIONE DI MAREA	TPR	0,026	-	-	-	0,027	>0.25 - ottimale 0.35

LAYOUT B - MARINA DI ARCHIMEDE + APPRODO SPERO							
INDICE		BACINO 1	BACINO 2	BACINO 3	BACINO 4	TUTTI I BACINI	valori consigliati*
FATTORE DI FORMA	PF	0,63	0,64	0,19	0,56	0,41	>0.4 - ottimale >0,67
RAPPORTO AREA IMB./VOLUME	A/a	266	178	124	54	396	>200 - ottimale 400
RAPPORTO DI ESCURSIONE DI MAREA	TPR	0,026	0,032	0,170	0,047	0,032	>0.25 - ottimale 0.35

Tabella 11 – Tabelle per il confronto tra i layouts in funzione degli indici sintetici.

I risultati mostrano che per il layout A sia l'indice A/a che l'indice PF sono caratterizzati da valori che rientrano nel range di variabilità individuato dai minimi raccomandati e dai i valori ottimali; ciò implica che la geometria è adatta a favorire il ricambio idrico.

Il rapporto di escursione di marea per il layout A risulta inferiore al valore ideale per un buon ricambio; ciò implica che in presenza di una limitata escursione di marea in prossimità del sito, il processo di ricambio idrico potrebbe risultare più lento di quello ottimale.

Le tabelle mostrano che anche per il layout B sia l'indice A/a che l'indice PF sono caratterizzati da valori che rientrano entro nel range di variabilità individuato dai minimi raccomandati e dai valori ottimali; ciò implica che la geometria del layout B è adatta a favorire il ricambio idrico.

Il rapporto di escursione di marea anche per il layout B risulta abbastanza basso ed inferiore al valore ideale per un buon ricambio; ciò implica che a causa della bassa escursione di marea in prossimità del sito destinato ad ospitare le opere in progetto, il processo di ricambio idrico potrebbe risultare più lento di quello ottimale.

Si conclude quindi che ognuna delle configurazioni studiate, per le suddette considerazioni sintetiche, risulta essere caratterizzata da geometrie tali da garantire teoricamente un adeguato livello di ricambio idrico.

6. MODELLISTICA IDRODINAMICA

A seguito delle risultanze dell'analisi sintetiche riportate nel precedente capitolo, si è effettuato anche un approfondimento analitico con l'ausilio di idonea modellistica matematica per analizzare con maggiore dettaglio le caratteristiche dinamiche del vettore di circolazione idraulico all'interno dello specchio idrico protetto di progetto.

6.1 MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO

Il modello idrodinamico è stato costruito con il codice di calcolo RMA2 sviluppato da US Army Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Station Coastal and Hydraulics Laboratory a partire dal 1973. Nell'attuale studio è stato utilizzato il codice RMA-2 V4.35.

RMA2 è un modello agli elementi finiti che si basa sulla soluzione delle equazioni di governo bidimensionali e per profondità medie delle acque basse, utilizzando la forma di Reynolds delle equazioni non lineari di Navier-Stokes per moti turbolenti. Lo scopo del modello è predire quantitativamente le velocità, la percentuale di flusso e le elevazioni della superficie dell'acqua.

Le ipotesi del modello sono:

- stato stazionario delle correnti e dei venti;
- moto bidirezionale su di un piano orizzontale;
- corrente costante per tutta l'altezza della colonna d'acqua.

Le equazioni di governo, come già accennato, sono quelle della conservazione nelle due direzioni orizzontali della massa e del momento del fluido integrate rispetto alla profondità:

$$\begin{aligned}
 & h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\
 & + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\
 & - \zeta v_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\
 & + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gvn^2}{\left(1.486h^{1/6} \right)^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\
 & - \zeta V_a^2 \sin \psi + 2h\omega v \sin \phi = 0
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

(3)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

dove:

- h = profondità
- u, v = velocità nelle direzioni cartesiane
- x, y, t = coordinate cartesiane e tempo
- ρ = densità del fluido
- E = Eddy viscosity coefficient,
- g = accelerazione di gravità
- a = elevazione del fondale
- n = Manning's roughness n-value
- w = velocità della rotazione angolare terrestre
- f = latitudine locale

6.2 DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO E DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

Per condurre le elaborazioni numeriche, sono stati realizzati 2 domini di calcolo centrati sul sito da attenzionare e chiusi da un contorno semicircolare. Ogni dominio è costituito da una mesh ad elementi finiti bidimensionali ed isoparametrici di tipo "quadratico".

Sono stati studiati due layout progettuali, ai fini di determinare quale sia la tipologia ottimale delle opere del molo foraneo.

In funzione delle capacità di discretizzazione geometrica e dei limiti sul numero di elementi e nodi propri del codice ($N_{\max \text{ el}}=10000$ $N_{\max \text{ nod}}=30000$) sono stati indagati i seguenti layouts:

- Layout B1:
questo layout è relativo all'ipotesi progettuale di realizzare il molo foraneo come un pontile su pali a giorno; per ovviare ai problemi legati ai limiti di discretizzazione del codice tali pile sono state simulate come setti trasversali;
- Layout B2:

questo layout è relativo all'ipotesi progettuale, di realizzare il molo foraneo come struttura continua; per ovviare ai limiti di discretizzazione del codice il molo foraneo è stato simulato con un unico contorno opaco.

La mesh utilizzata per valutare la circolazione idrica secondo la configurazione Layout B1 è composta da 2659 elementi e 7942 nodi; il numero di elementi triangolari è 688, il numero di elementi quadratici è 1971.

La mesh utilizzata per valutare la circolazione idrica secondo la configurazione Layout B2 è composta da 2387 elementi e 5211 nodi; il numero di elementi triangolari è 2383, il numero di elementi quadratici è 1786.

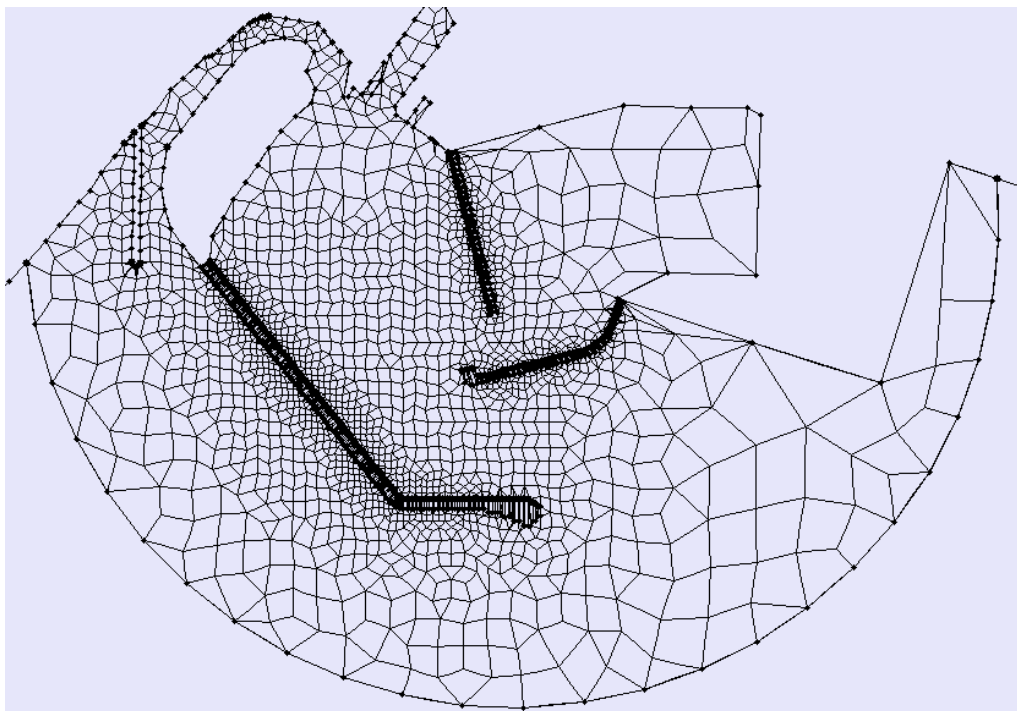


Figura 20 – Esempio di Graficizzazione della Mesh di calcolo per il layout B1.

L'andamento della profondità dei fondali delle zone in esame è stato rappresentato tramite la costruzione di un DTM ottenuto attraverso un opportuno algoritmo di interpolazione applicato alle informazioni ottenute dalle carte nautiche e dal rilievo batimetrico.

Di seguito si riporta la carta tematica che rappresenta le batimetrie all'interno dell'area in esame. La profondità massima in entrambi i layouts è di circa 10 m.

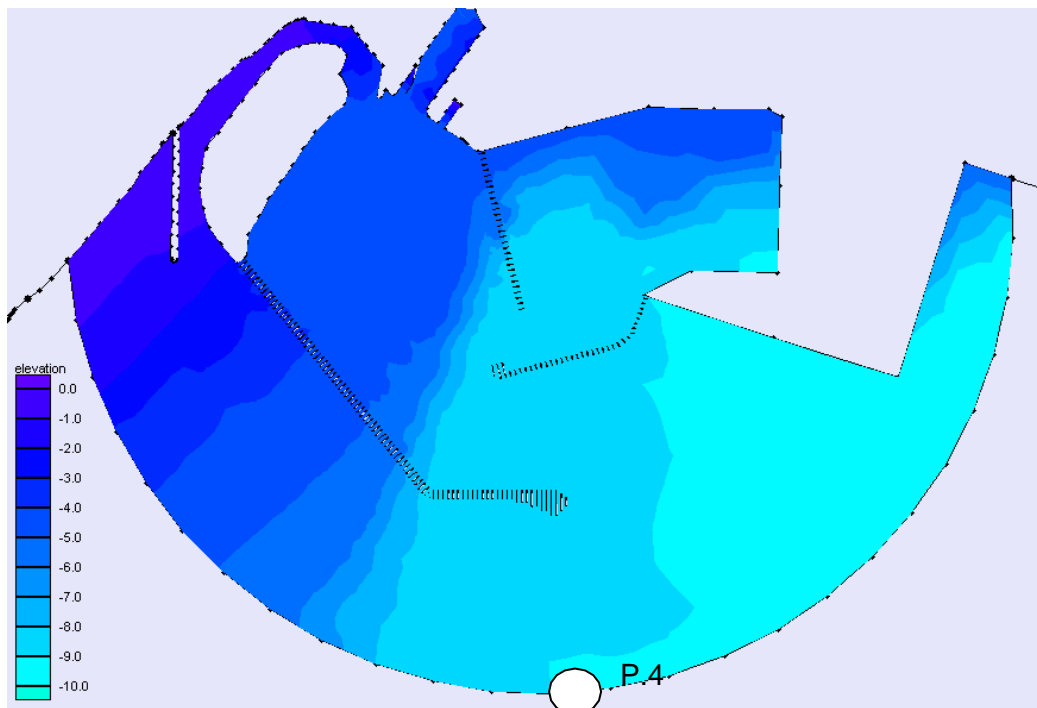


Figura 21 – Modellazione delle batimetrie

Una volta completata la mesh, sono stati assegnati i parametri di controllo e le condizioni al contorno.

La forzante meteomarina è l'oscillazione di marea astronomica.

Tale scelta risulta cautelativa, poiché essa rappresenta la condizioni in cui sicuramente il regime idrodinamico è quello minimo e quindi quello meno favorevole al ricambio idrico.

Ulteriori considerazioni analitiche sull'idrodinamica si ritrovano nell'elaborato B.3.1-SDC "Studio idrodinamico".

Sono stati utilizzati i dati relativi all'escursione di livello idrico causata dalla sola forzante "marea" ottenuta con le simulazione di tipo idrodinamico effettuate con il codice di calcolo ADCIRC, registrata nel punto di controllo P.4, ricadente sul contorno esterno del dominio di RMA2 (cfr. la figura 23 e l'elaborato B.3.1-SQA-"Studio Idrodinamico").

L'andamento risultante è di tipo semidiurno con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (maree di tipo sinodico-declinazionale). Dai risultati dell'analisi emerge dunque che l'escursione complessiva della marea astronomica è compresa in un intervallo pari a circa 12-15 cm.

Di seguito si riporta la curva sinusoidale dell'andamento di marea esteso a 96 ore utilizzata per definire le condizioni al contorno.

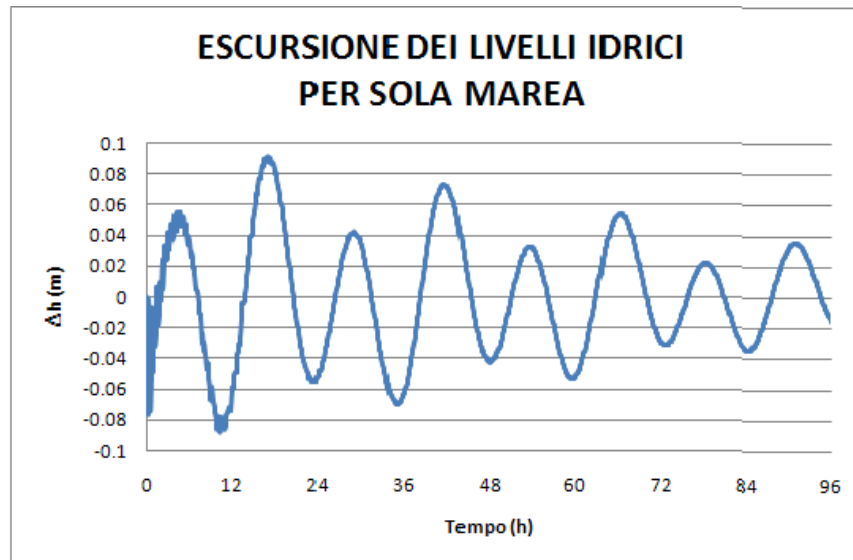


Figura 22 – Ricostruzione dell'andamento della marea astronomica per una durata di 96 ore, utilizzata come forzante per il modello RMA2.

A tutti i nodi lungo il confine semicircolare esterno del dominio sono stati assegnati gli stessi valori di elevazione della superficie dell'acqua per ogni intervallo temporale della simulazione in funzione della curva dell'andamento di marea.

Per tener conto della fase di avvio (*spin up*) ed arrivare ad una situazione non influenzata dalle condizioni iniziali, è stato utilizzato un tempo di simulazione pari a 96 ore (4 giorni).

I modelli sono stati quindi calibrati e verificati in funzione delle velocità risultanti e della variazione del livello superficiale dell'acqua.

L'altra forzante considerata è stata l'immissione idrica all'interno della mesh in prossimità del pennello, dovuta al Canale Regina; in particolare si è ipotizzata una portata di tipo costante.

Gli altri parametri di input sono stati ottenuti in seguito ad una fase di calibrazione in funzione dei valori di elevazione del livello idrico simulato con quello previsto.

Di seguito si riporta il prospetto riepilogativo.

CRITERIO DINAMICO DI CONVERGENZA	0.001 m
TEMPERATURA DELL'ACQUA	15°C
NUMERO DI ITERAZIONI ALGORITMO ASCIUTTO/BAGNATO	4
PROFONDITA' DEL NODO ASCIUTTO	0.084 m
PROFONDITA' DEL NODO ATTIVO	0.183 m
LATITUDINE	37.05°N

Tabella 12 – Prospetto riepilogativo dei dati di input per le simulazioni RMA2

La risoluzione temporale è stata scelta in modo da ottimizzare il livello di stabilità delle simulazioni numeriche, che dipende anche dalla risoluzione spaziale: i migliori risultati sono stati ottenuti per $Dt=1,0h$.

6.3 ANALISI DEI RISULTATI

Dall'analisi dei dati ricavati dalle simulazioni è possibile comprendere le circolazioni all'interno dell'area in esame. Si riportano sia grafici temporali sia alcune immagini che mostrano la distribuzione planimetrica delle velocità della corrente per il sito in questione.

In particolare, per meglio osservare le condizioni idrodinamiche, si sono fissati alcuni punti di controllo all'interno del bacino portuale, al fine di evidenziare il clima correntometrico locale.

Per la localizzazione di tali punti, valevole per entrambi i layout indagati si faccia riferimento alla seguente immagine.

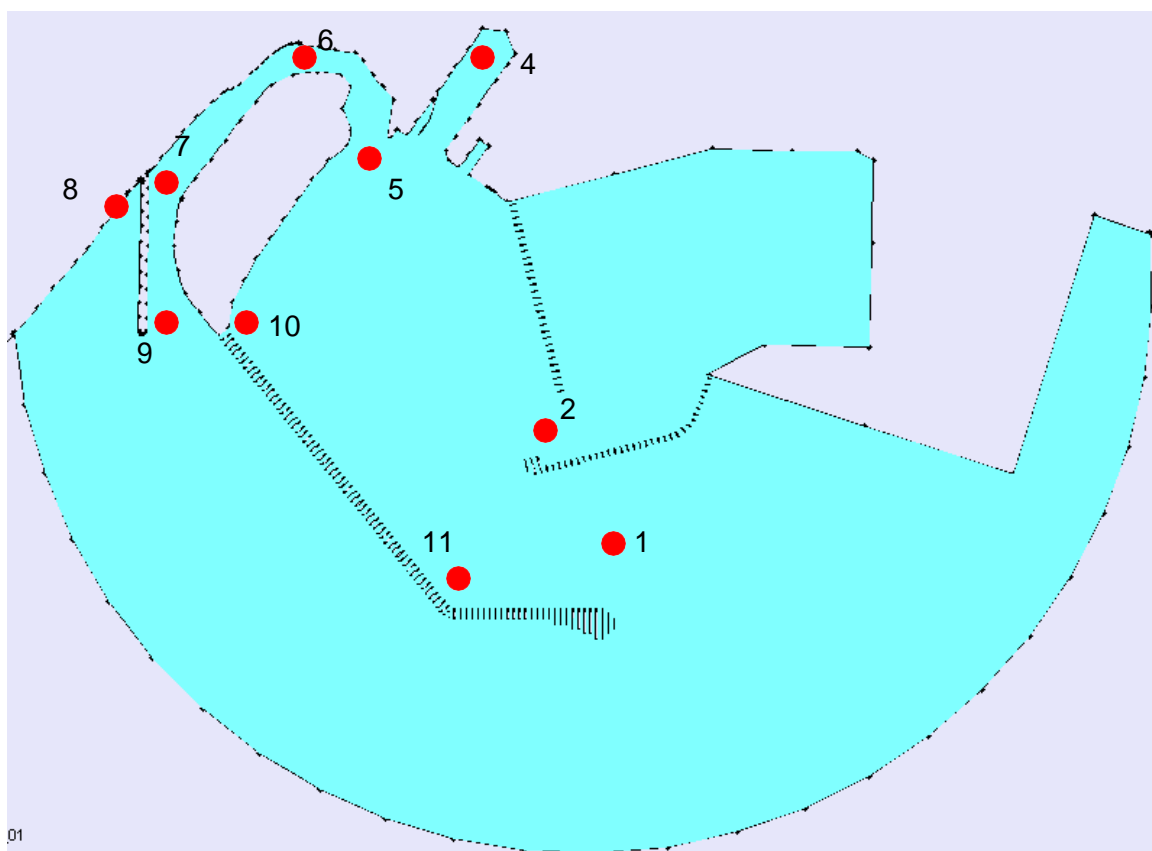


Figura 23 – Distribuzione planimetrica dei punti di controllo all'interno dello specchio idrico di progetto.

Di seguito sono stati estratti i diagrammi temporali delle velocità delle correnti indotte per solo marea in ognuno di punti di controllo per un periodo di circa 96 h, in seno alle simulazioni valevoli per le configurazioni indagate

6.3.1 LAYOUT B1

Di seguito si riportano i diagrammi temporali ottenuti con le simulazioni del layout B' e relativi al monitoraggio della grandezza velocità, in alcuni dei punti di controllo scelti, ritenuti significativi (punti di controllo 1,2,4,5, 10,11 cfr. figura 23).

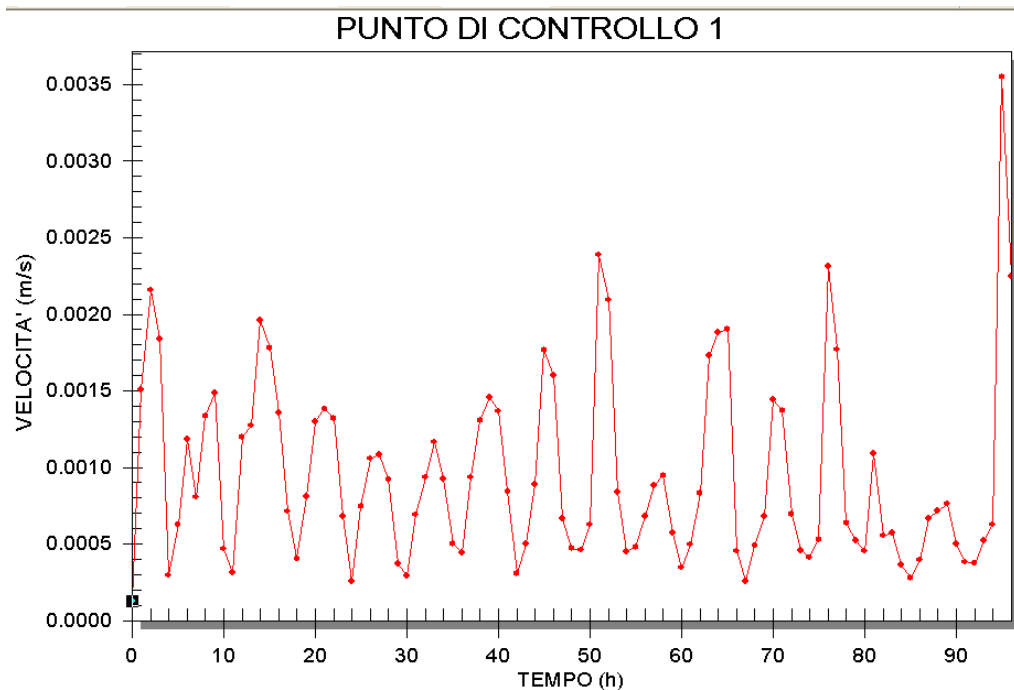


Figura 24 – Layout B1. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 1

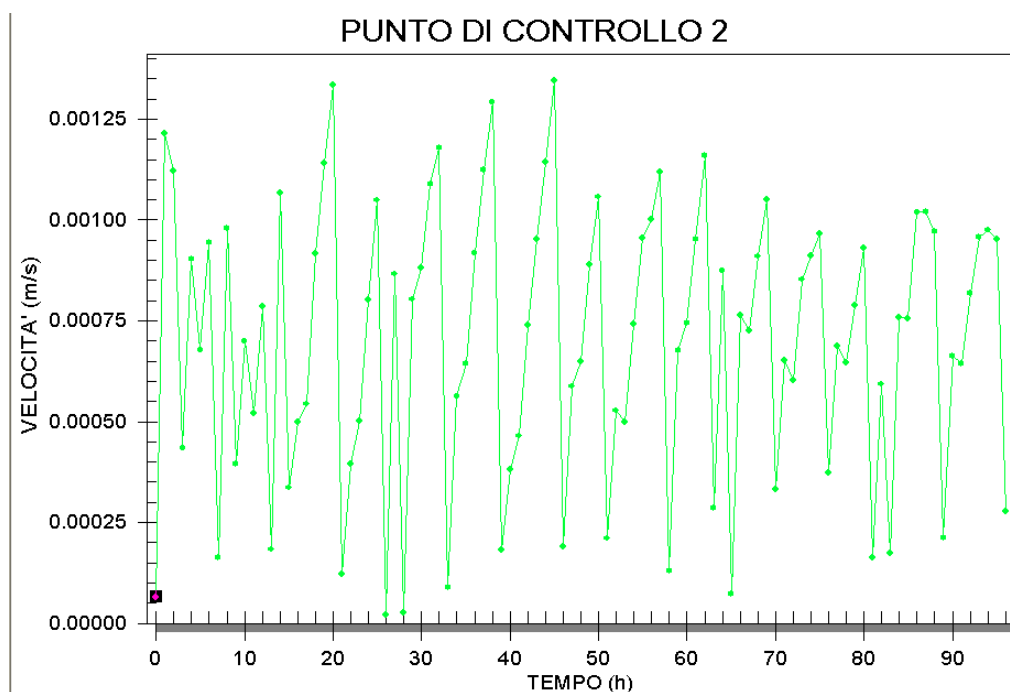


Figura 25 – Layout B1. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 2

PUNTO DI CONTROLLO 4

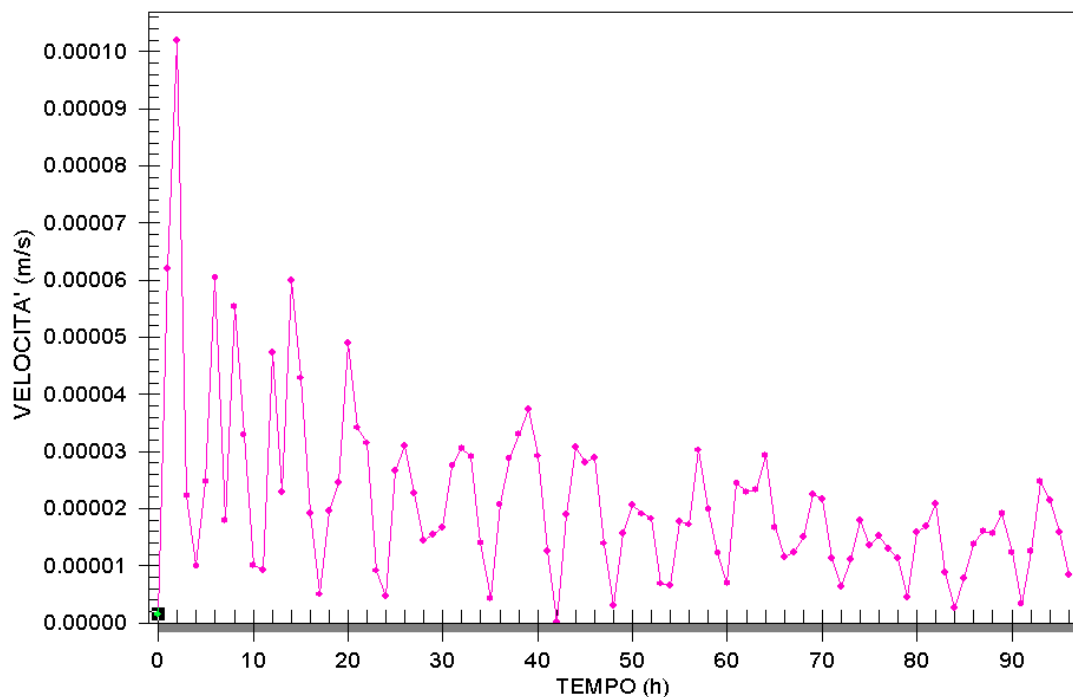


Figura 26 – Layout B1. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 4

PUNTO DI CONTROLLO 5

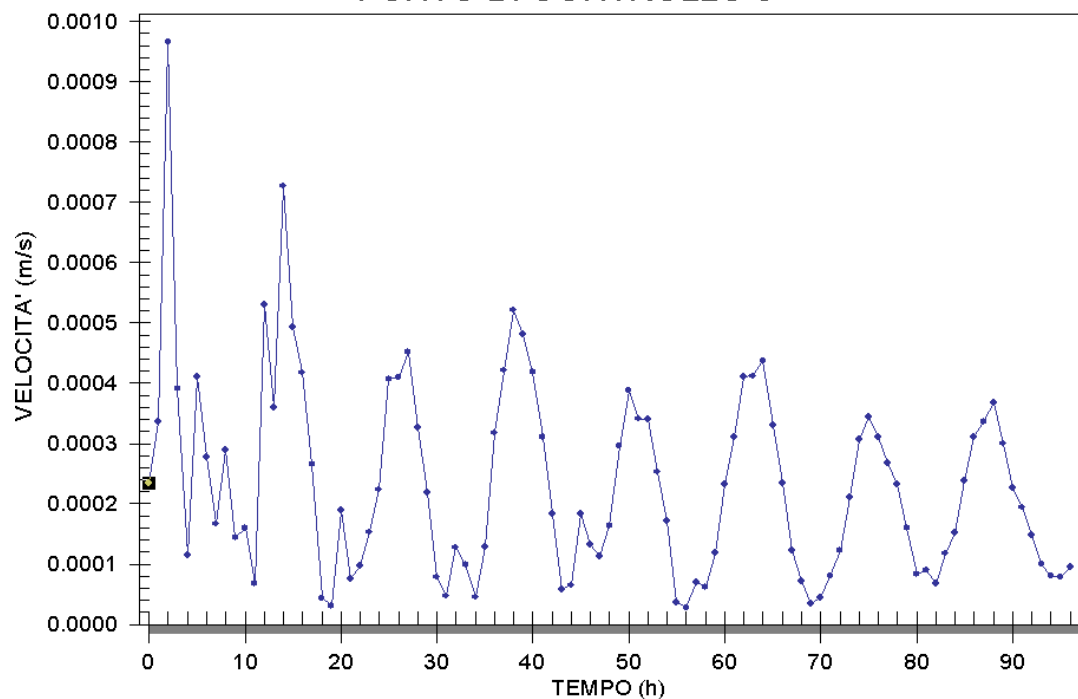


Figura 27 – Layout B1. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 7

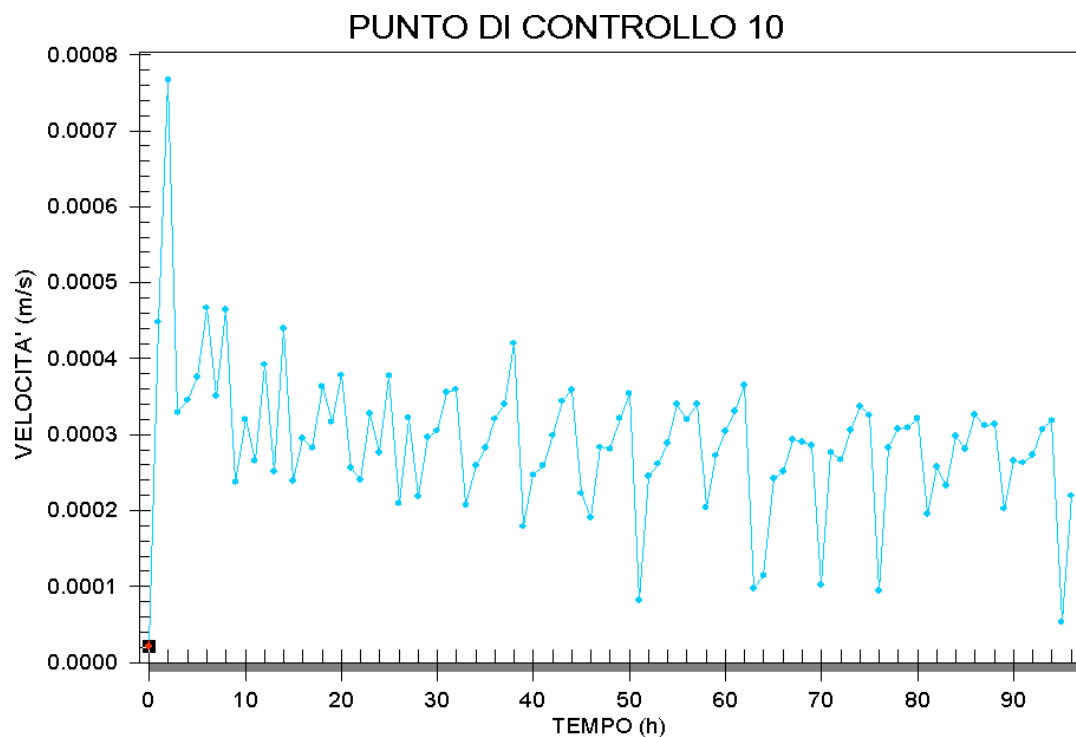


Figura 28 – Layout B1. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 10

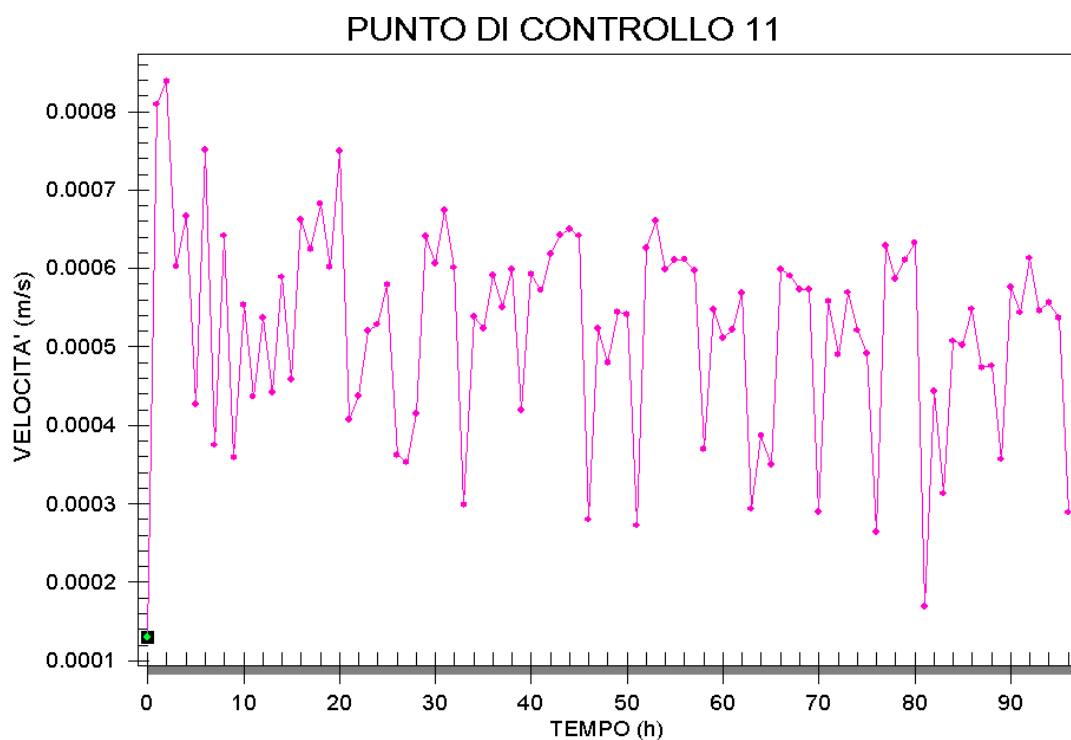


Figura 29 – Layout B1. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 11

Per la configurazione indagata, le velocità di circolazione risultano globalmente basse in quanto l'unica forzante presente è quella di marea.

Nel dettaglio dal modello si evince che nella parte più interna sia dello specchio acqueo protetto del Marina di Archimede che in quello dell'approdo Spero si osservano zone con bassi valori dei vettori di velocità, dell'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s.

In particolare presso l'imboccature dei bacini principali (punti di controllo 1 e 2) si osservano velocità massime dell'ordine di 1,25 - 2,5 mm/s.

All'interno del canale di vivificazione si instaura un regime delle correnti che può raggiungere anche velocità dell'ordine di 10^{-2} m/s.

Le zone più sfavorite risultano essere gli angoli interni, come ad esempio il Bacino 4 (punto di controllo 4 , Area Cantieristica).

Infine, in prossimità delle pile del molo foraneo (punti di controllo 10 e 11) si osservano velocità dell'ordine di 10^{-4} m/s.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall'inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trand circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso, secondo la graduazione scelta, è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 mm/s.

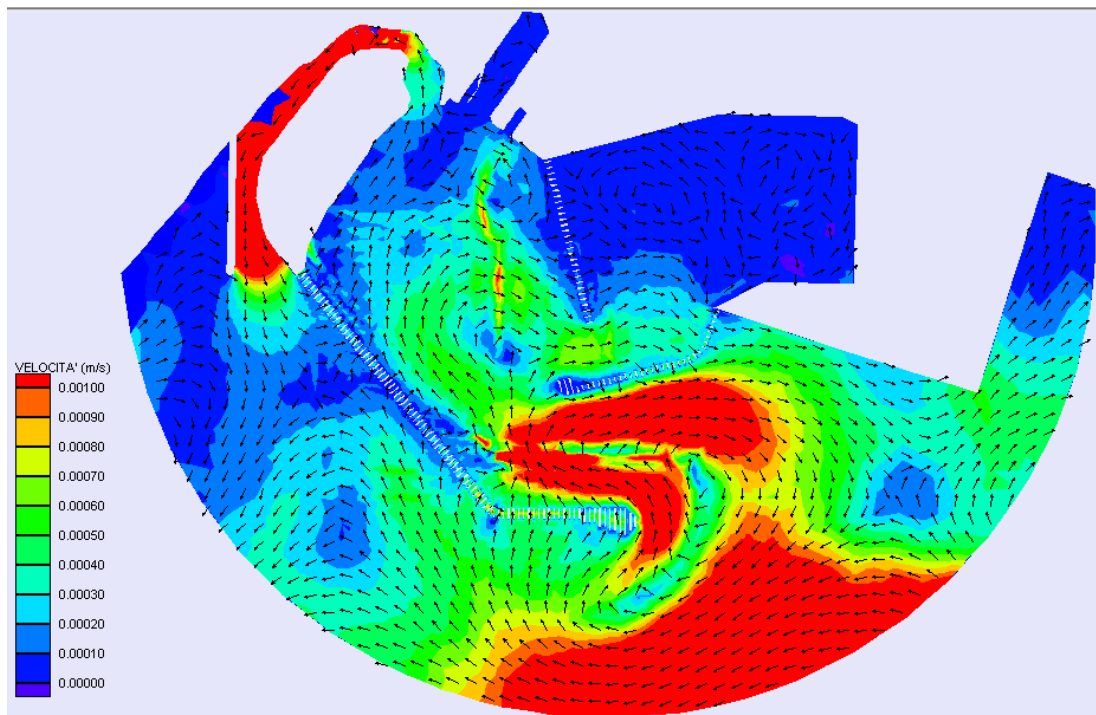


Figura 30 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 48 h

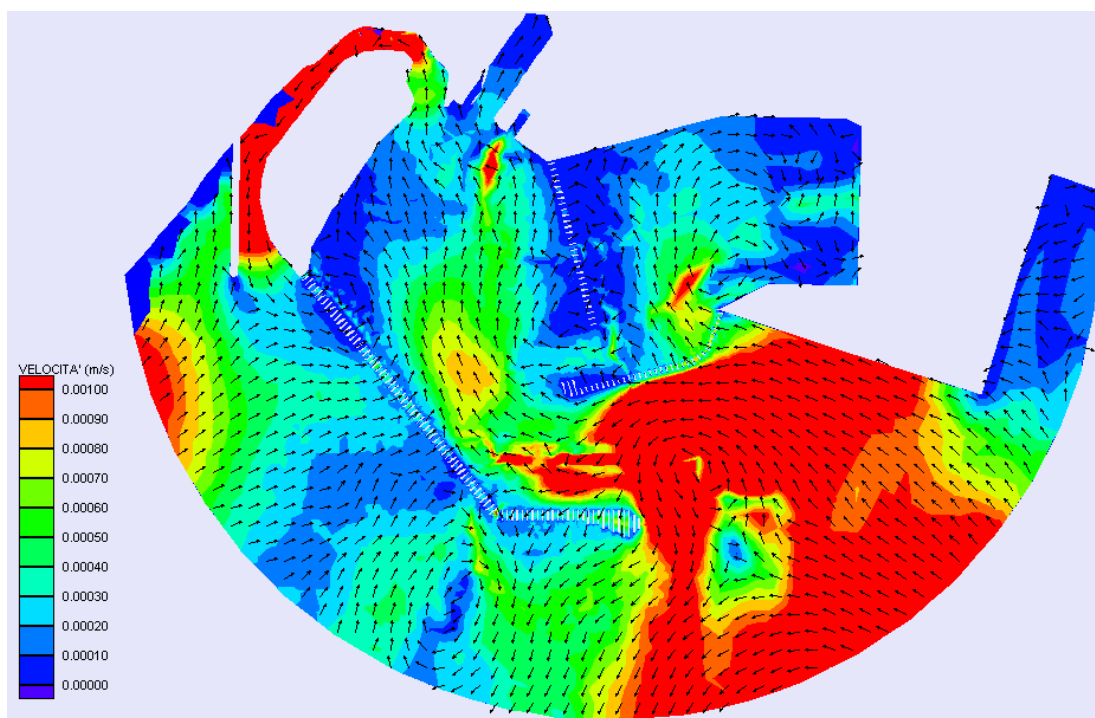


Figura 31 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 51 h

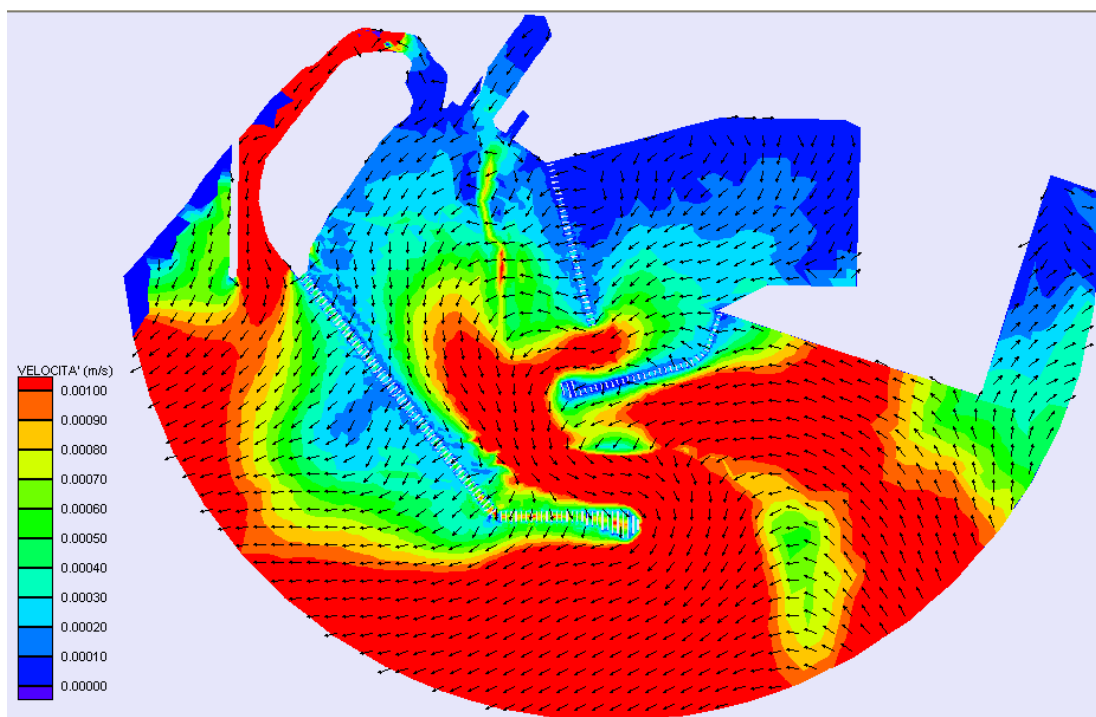


Figura 32 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 54 h

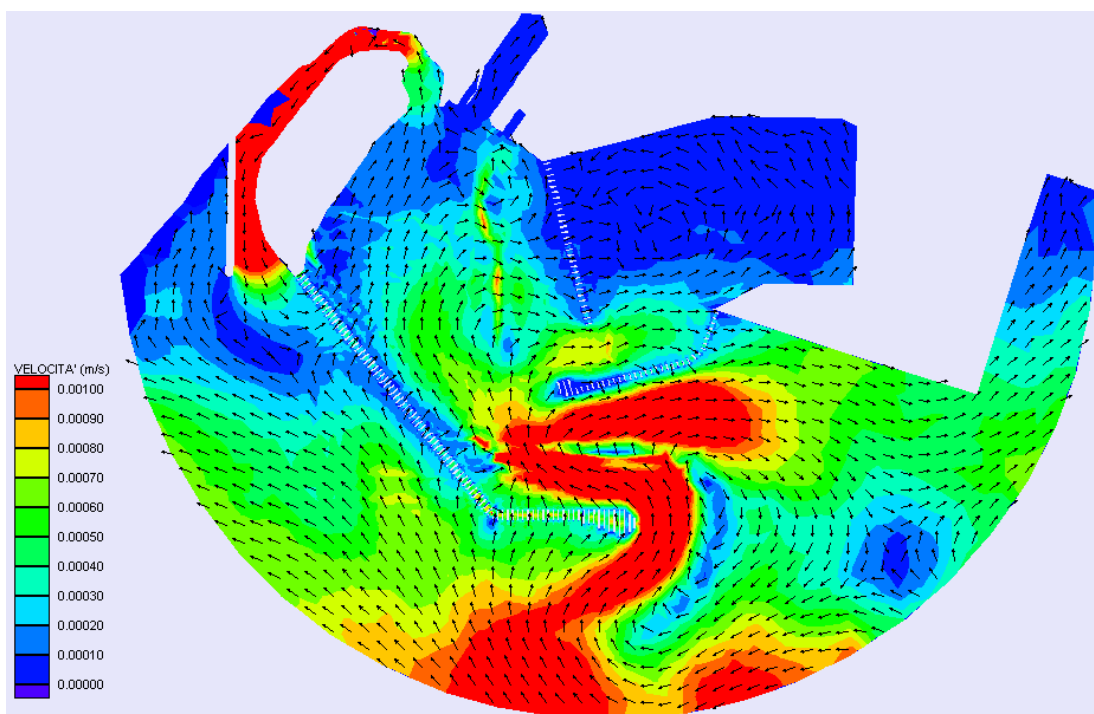


Figura 33 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 57 h

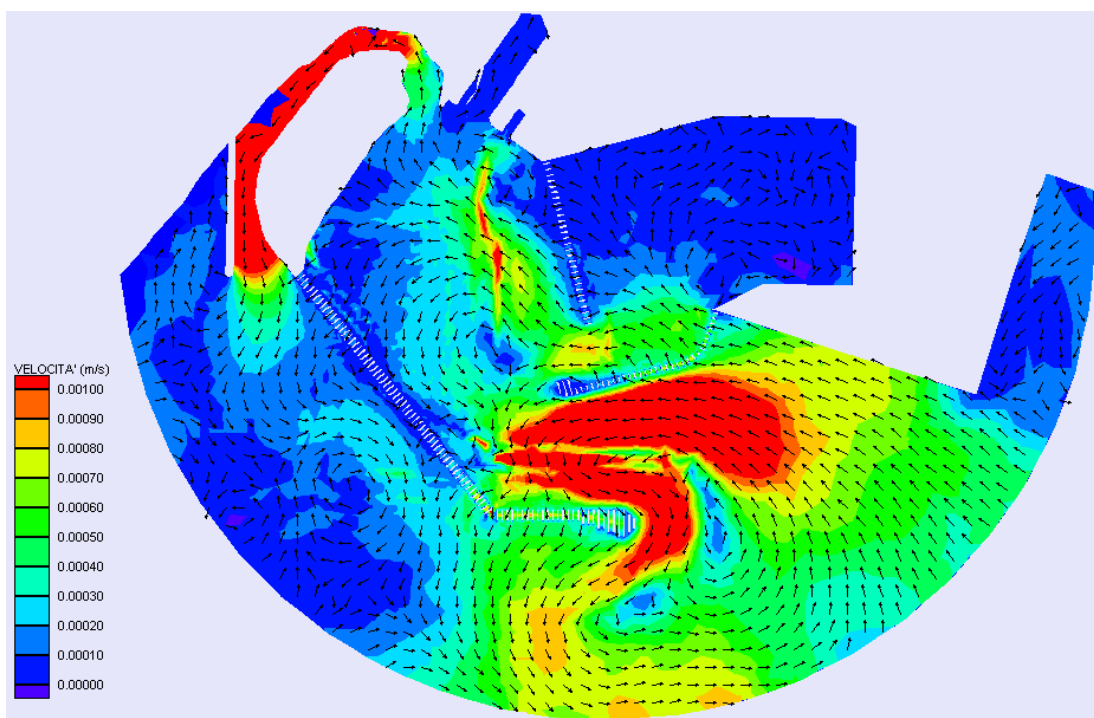


Figura 34 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 60 h

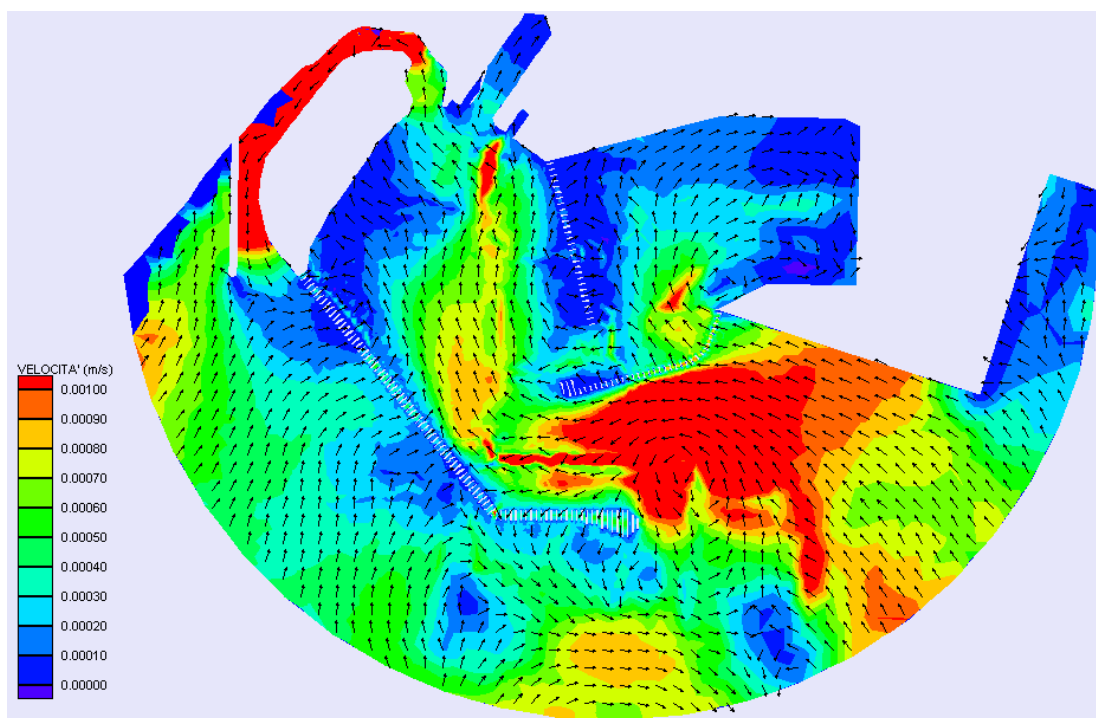


Figura 35 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 63 h

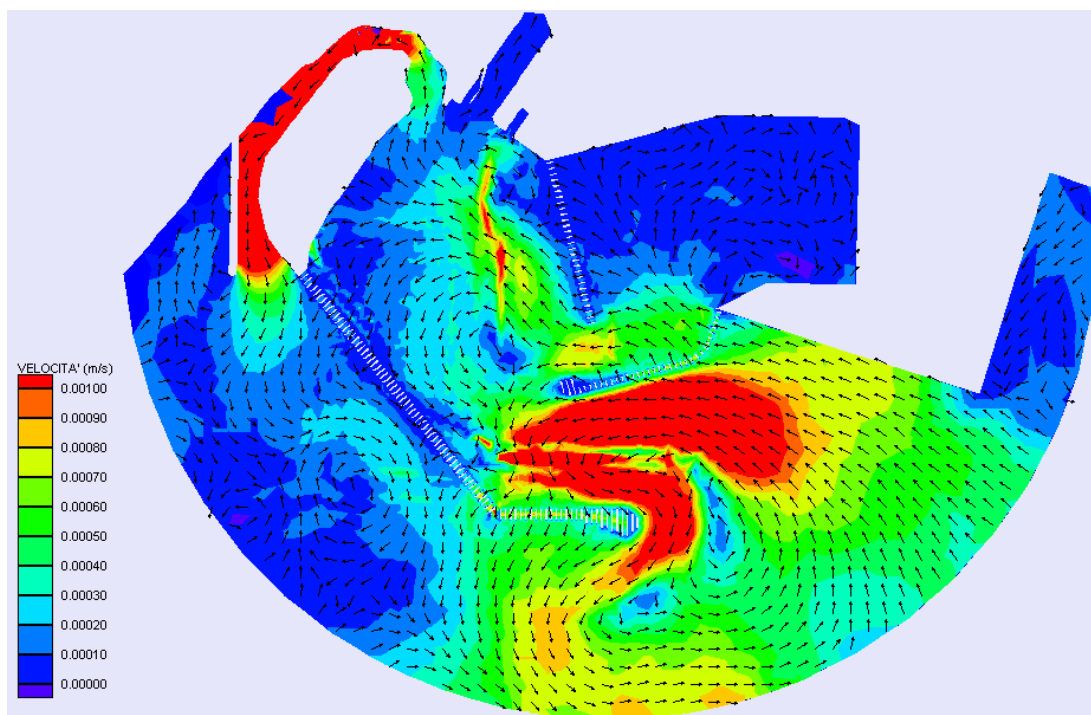


Figura 36 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 66 h

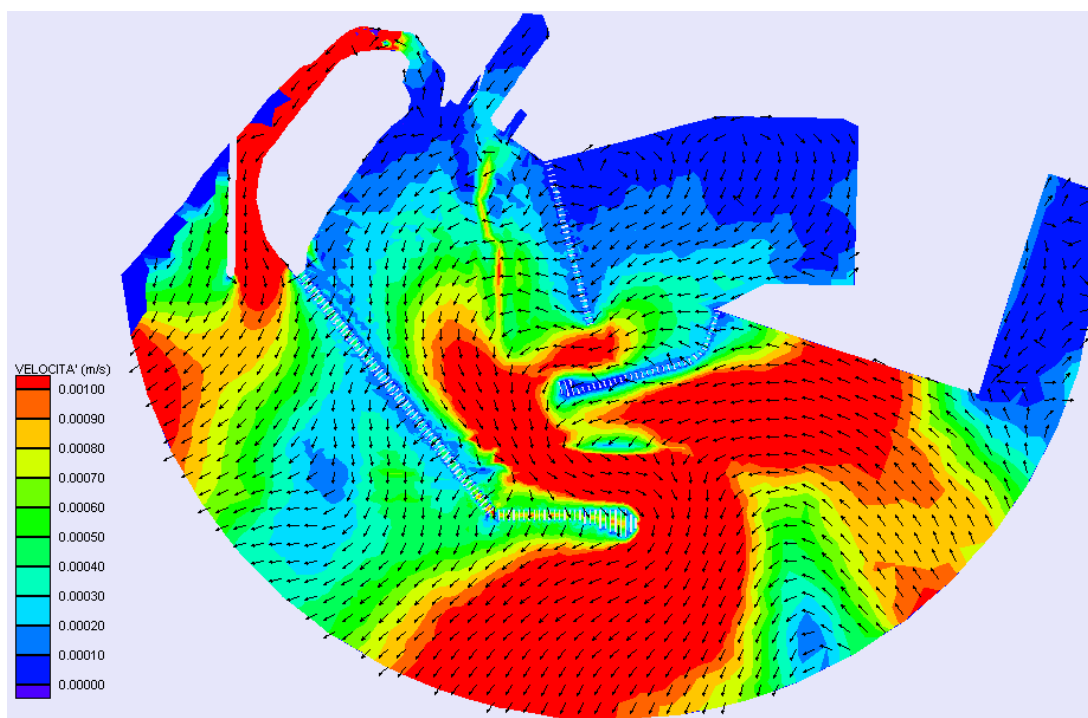


Figura 37 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 69 h

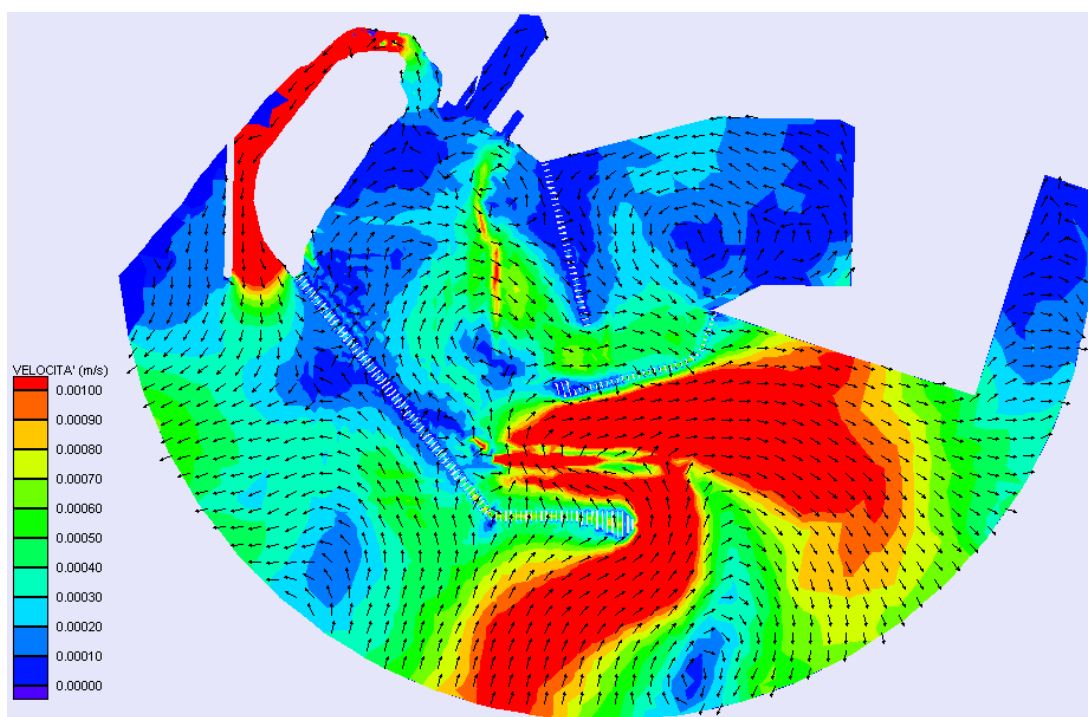


Figura 38 – Layout B1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 72 h

Le immagini riportate confermano i risultati precedenti; infatti è facilmente riscontrabile che lo specchio idrico protetto è caratterizzato dal semplice fenomeno afflusso/deflusso dovuto alle oscillazioni di livello per marea, senza l'instaurarsi di particolari moti turbolenti in prossimità delle imboccature.

Infine si osserva la formazione all'interno del canale di vivificazione di una corrente longitudinale con velocità dell'ordine di $10^{-2} - 10^{-3}$ m/s.

Si osserva inoltre che questi risultati sono compatibili con quelli ottenuti durante le simulazioni numeriche relative agli effetti idrodinamici indotti dal fenomeno di sola marea con il codice ADCIRC, durante la redazione dell'elaborato B.4.2.-SQA "Studio Idrodinamico".

6.3.2 LAYOUT B2

Di seguito si riportano i diagrammi temporali ottenuti in seno alle simulazioni del layout B2 e relativi al monitoraggio delle grandezza velocità, in alcuni dei punti di controllo scelti ritenuti significativi (punti di controllo 1,2,4,5,10,11, cfr. figura 23).

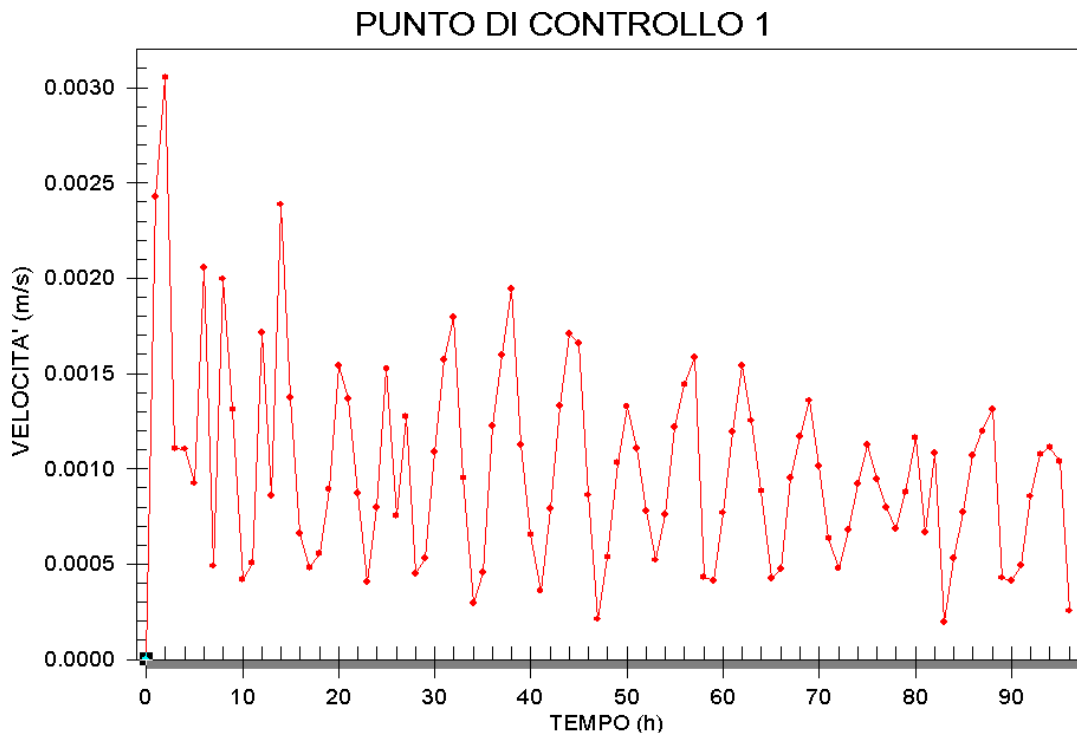


Figura 39 – Layout B2. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 1

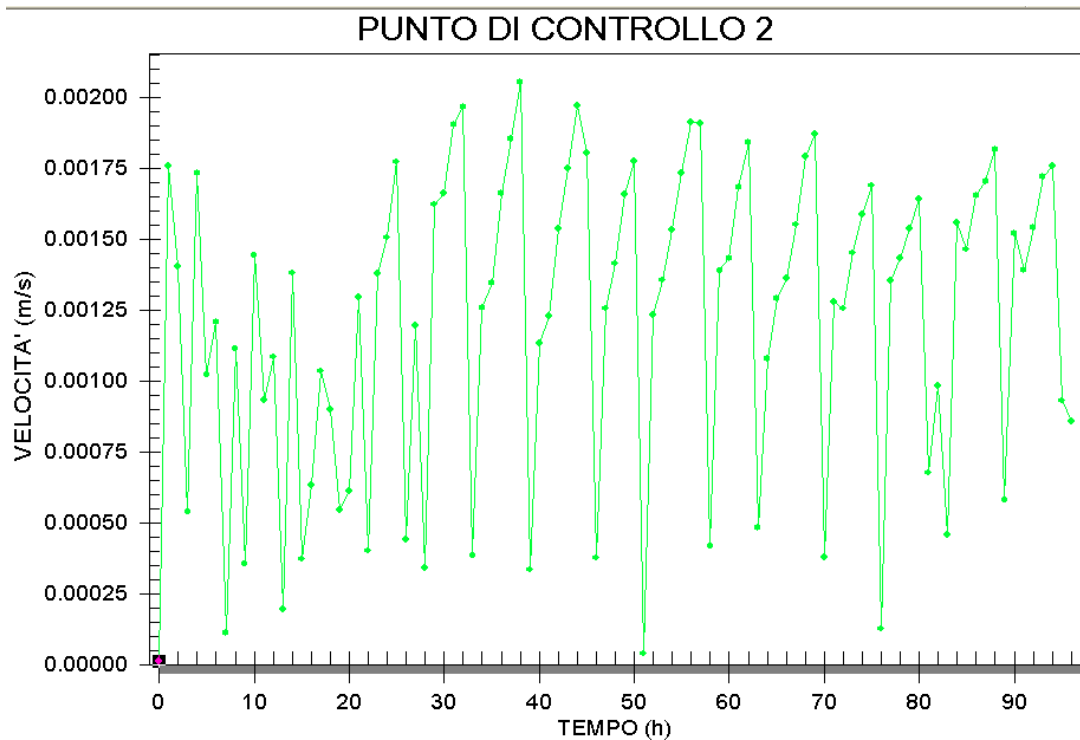


Figura 40 – Layout B2. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 2

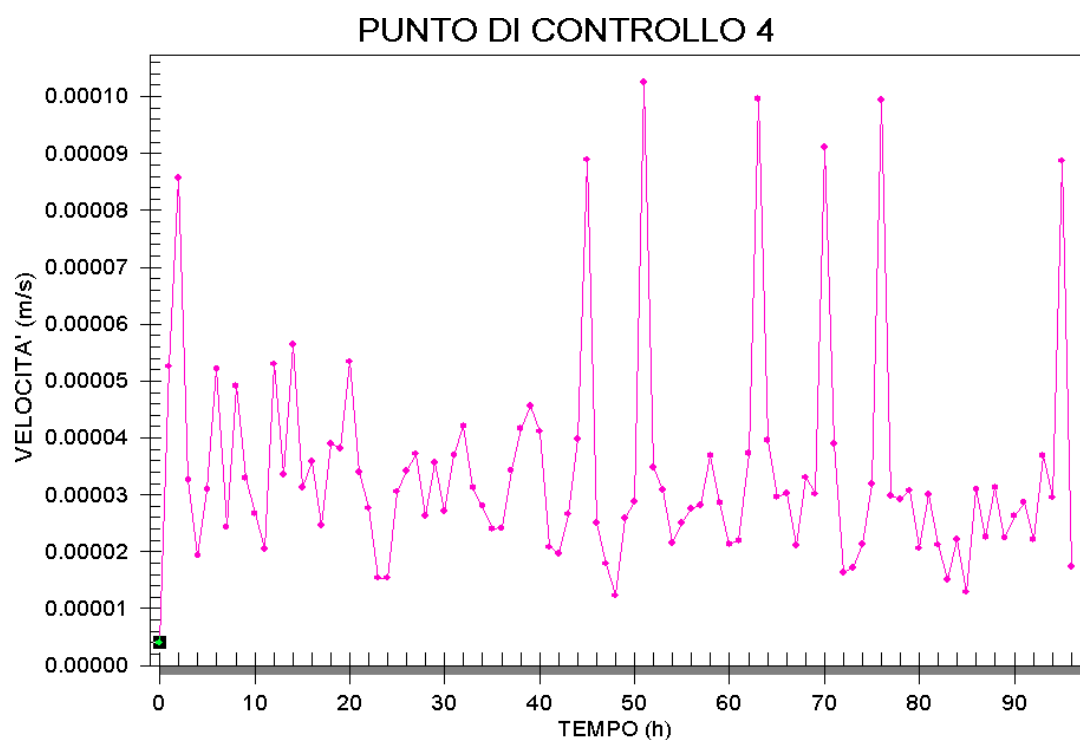


Figura 41 – Layout B''. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 4

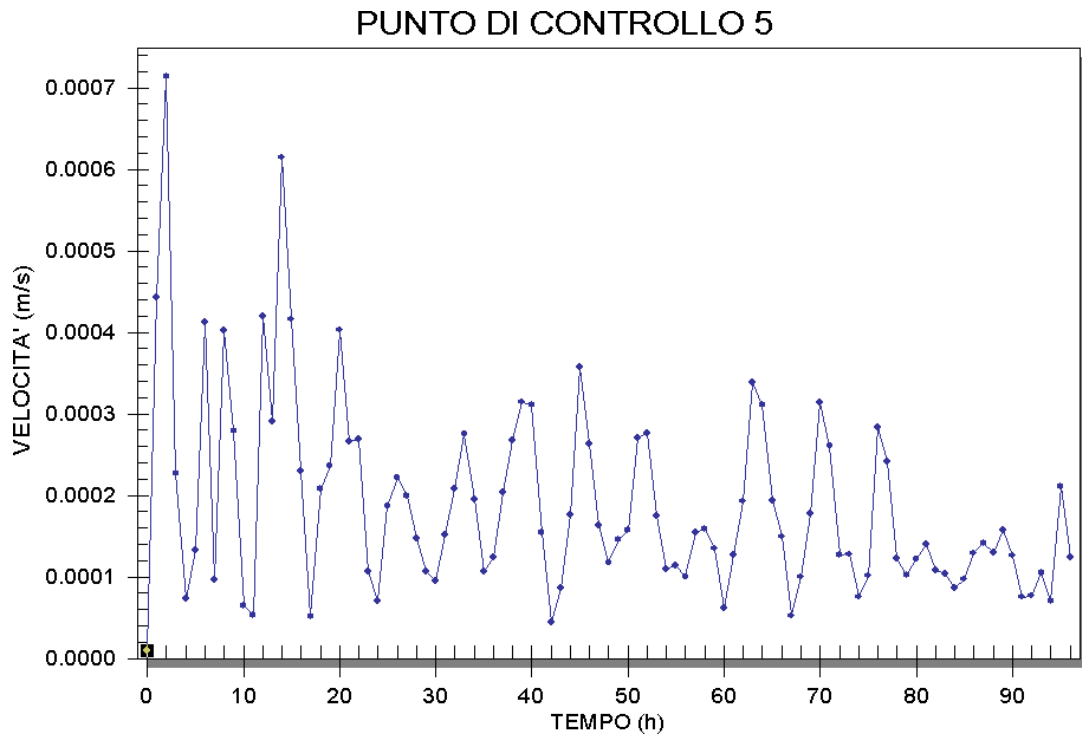


Figura 42 – Layout B2. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 5

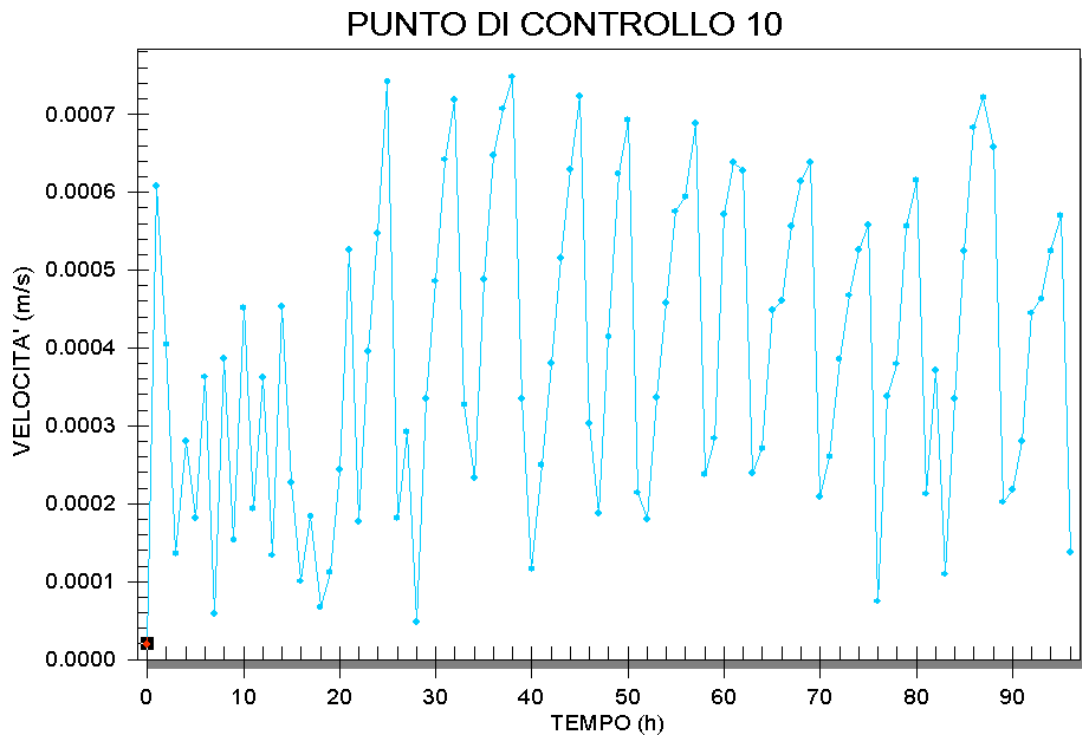


Figura 43 – Layout B2. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 10

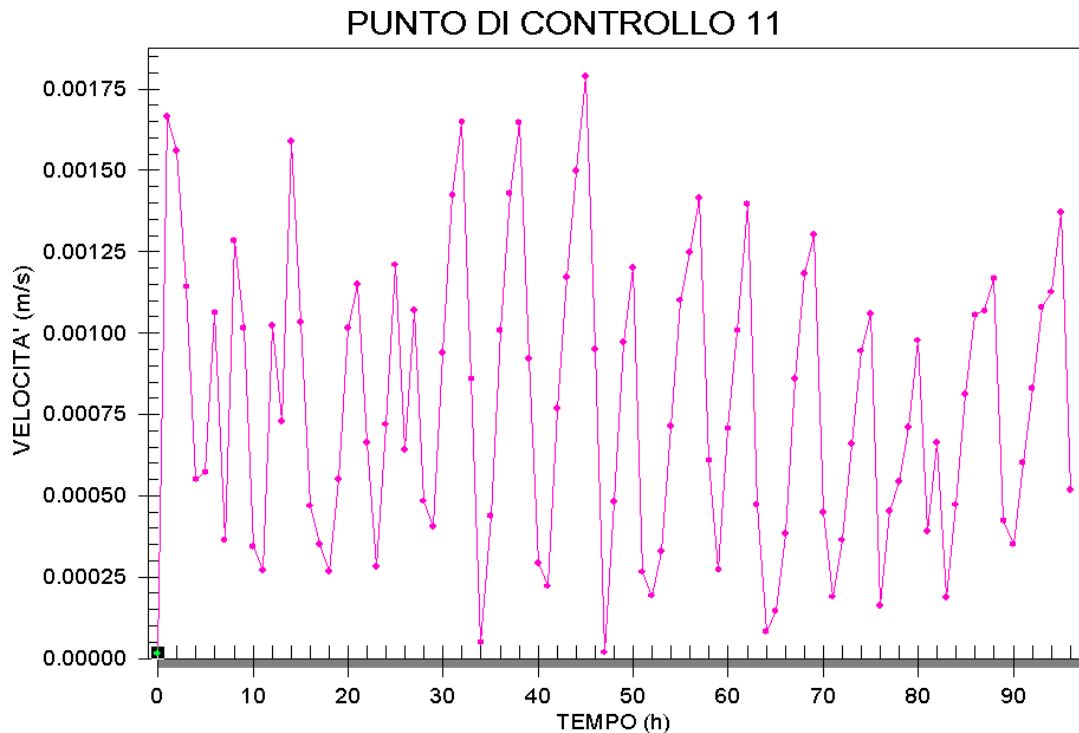


Figura 44 – Layout B2. Distribuzione delle velocità come registrati nel punto di controllo 11

Per la configurazione “layout B2“, le velocità di circolazione risultano globalmente basse, confermando i risultati precedenti.

Nel dettaglio dal modello si evince che nella parte più interna sia dello specchio acqueo protetto del Marina di Archimede che in quello dell’approdo Spero si osservano zone con bassi valori dei vettori di velocità, dell’ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s.

In particolare presso l’imboccature dei bacini principali (punti di controllo 1 e 2) si osservano velocità massima dell’ordine di 2,0-3,0 mm/s.

All’interno del canale di vivificazione si instaura un regime delle correnti caratterizzato da velocità dell’ordine di 10^{-3} m/s.

Le zone più sfavorite risultano essere gli angoli interni, soprattutto nella parte più interna del Bacino 4 (punto di controllo 4 , area cantieristica).

Infine, in prossimità del Pontile Spero (punti di controllo 10 e 11) si osservano velocità dell’ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall’inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trend circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso, secondo la graduazione scelta, è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 mm/s.

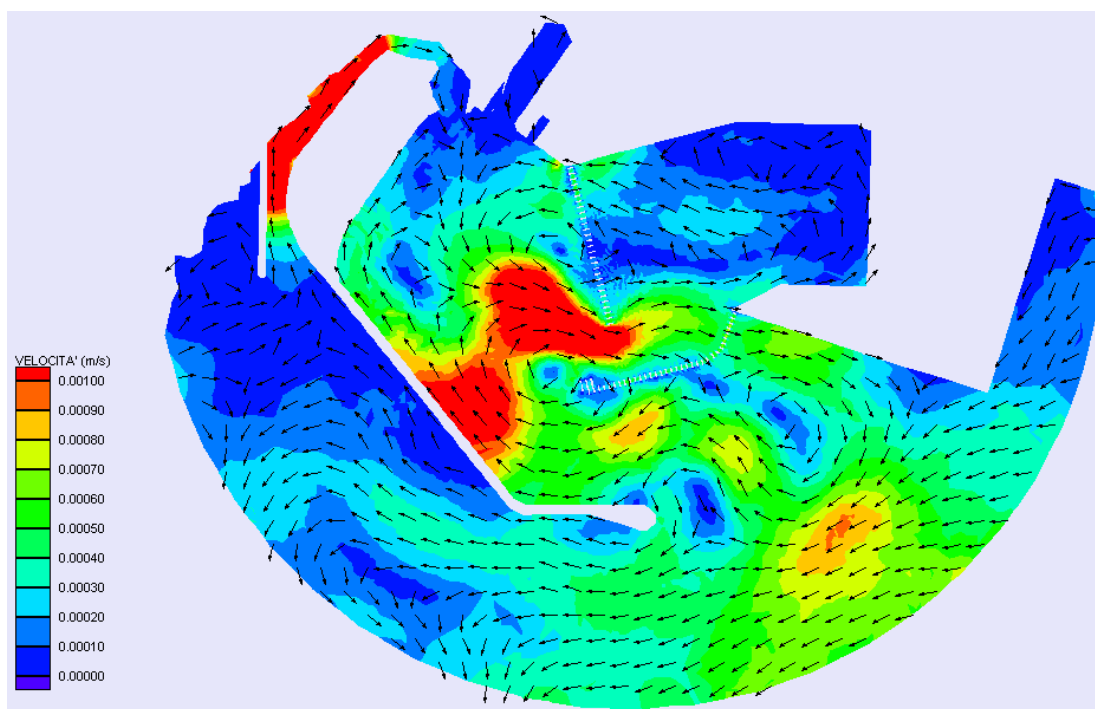


Figura 45 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 48 h

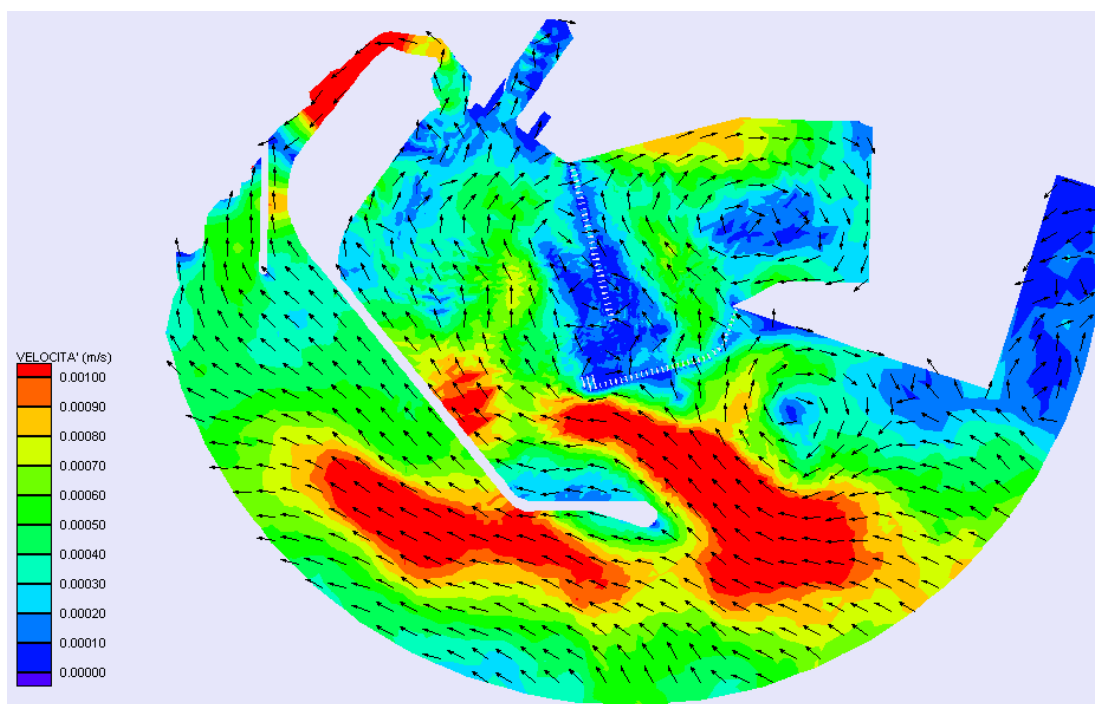


Figura 46 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 51 h

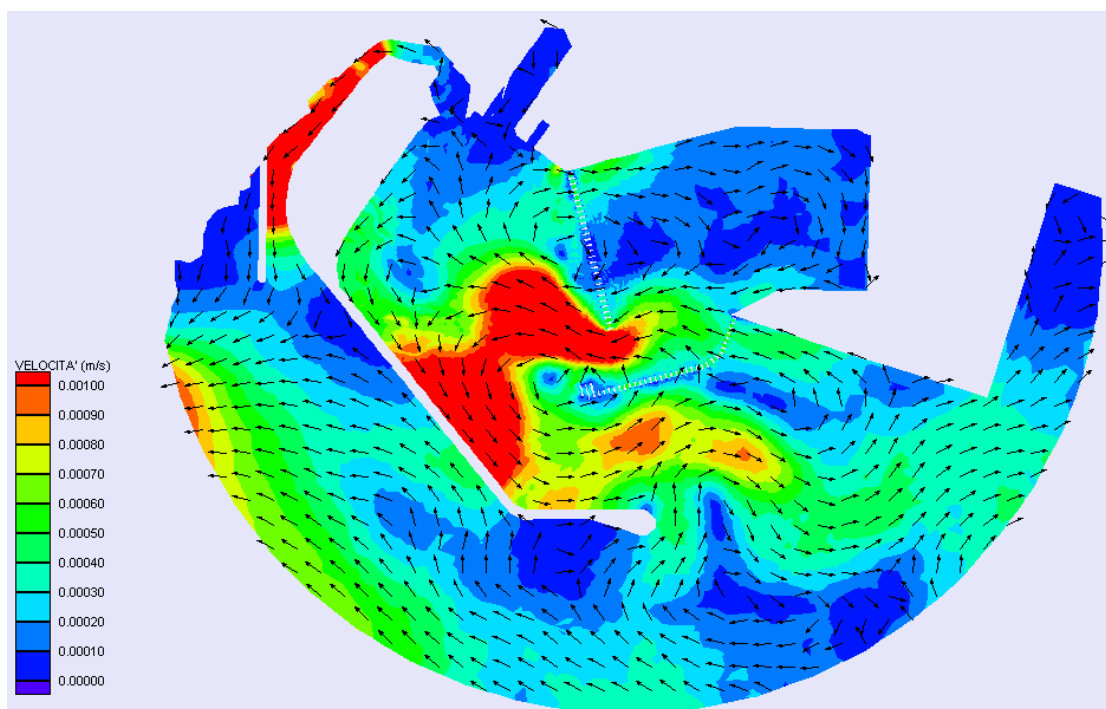


Figura 47 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 54 h

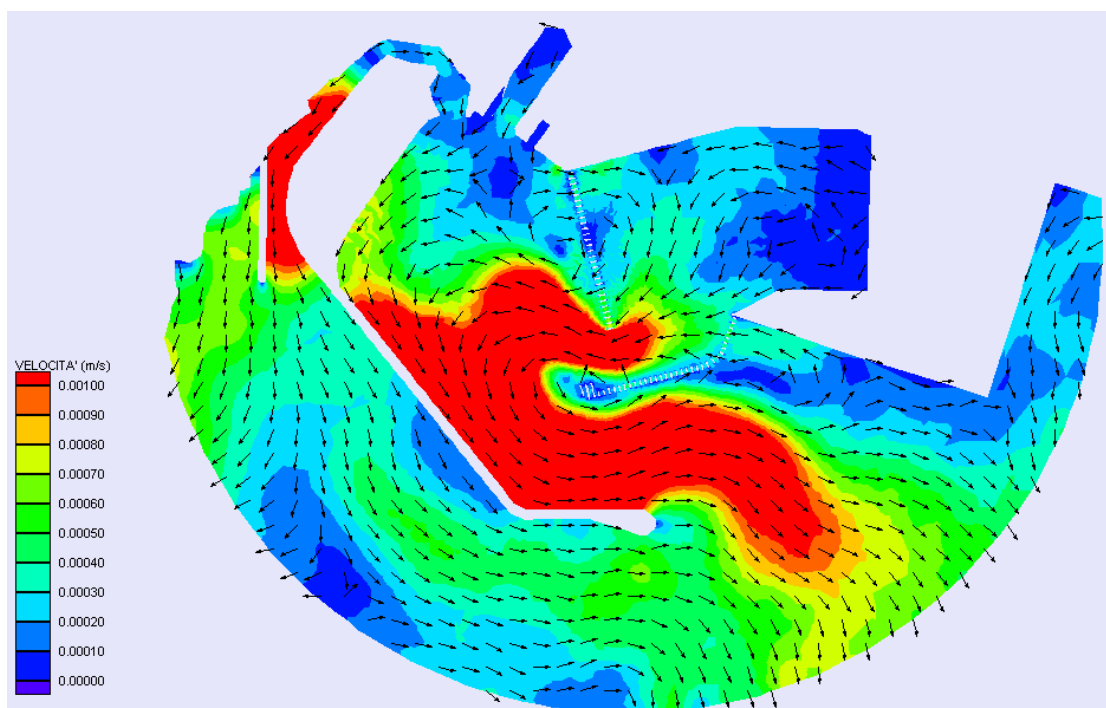


Figura 48 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 57 h

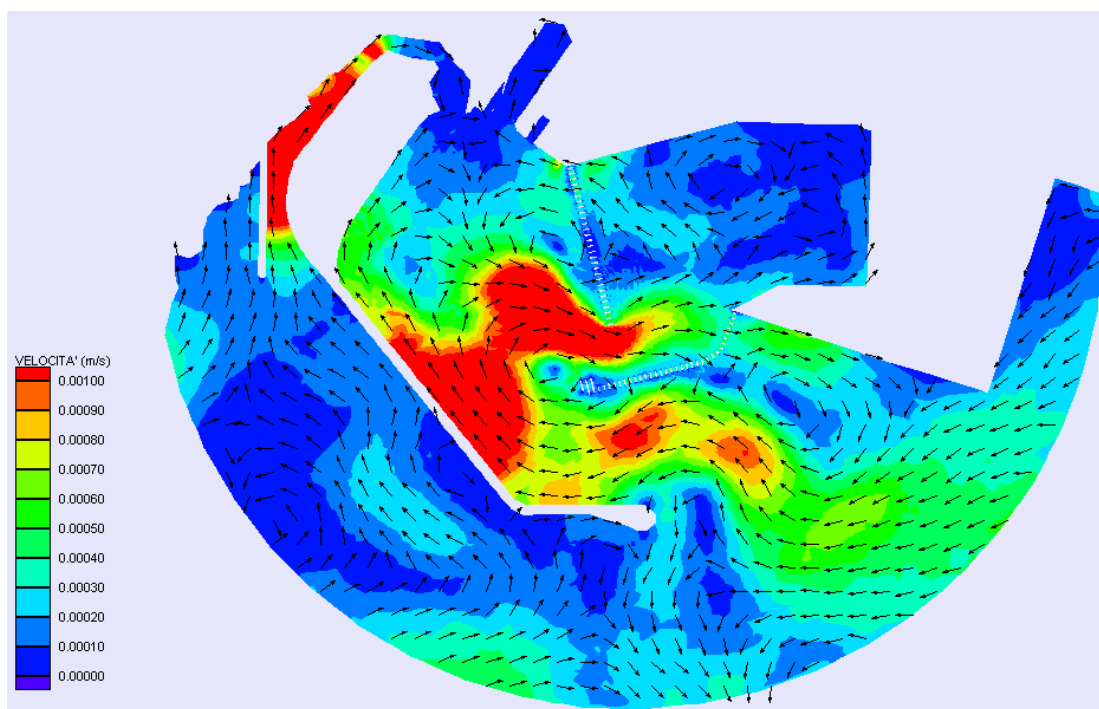


Figura 49 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 60 h

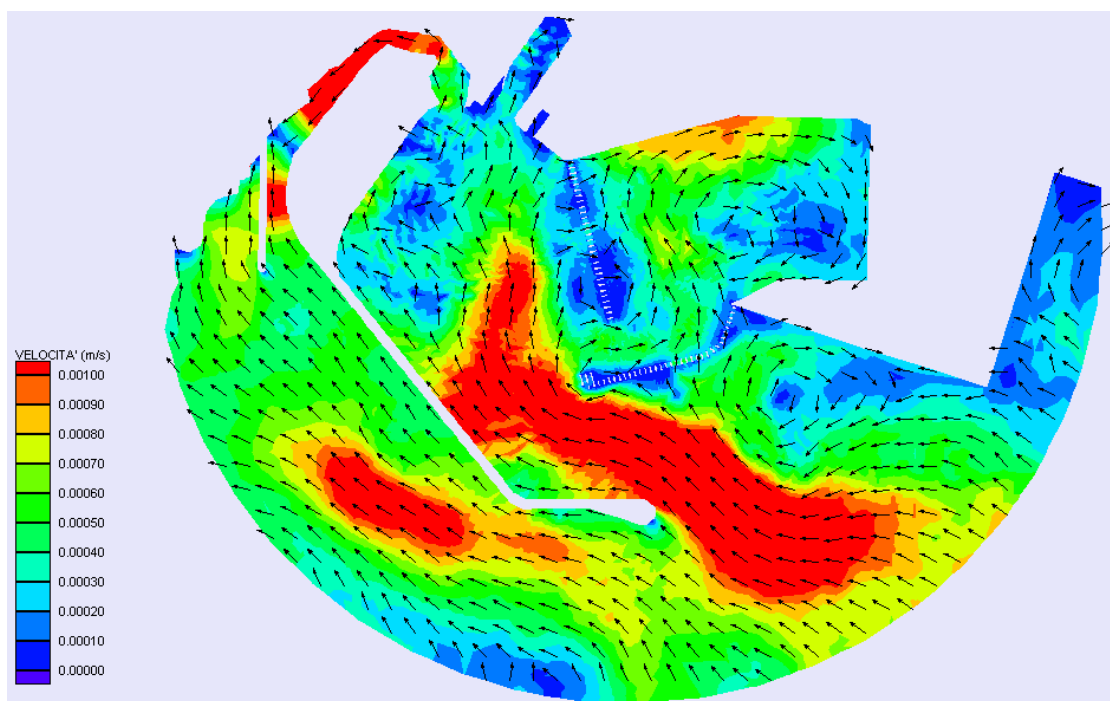


Figura 50 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 63 h

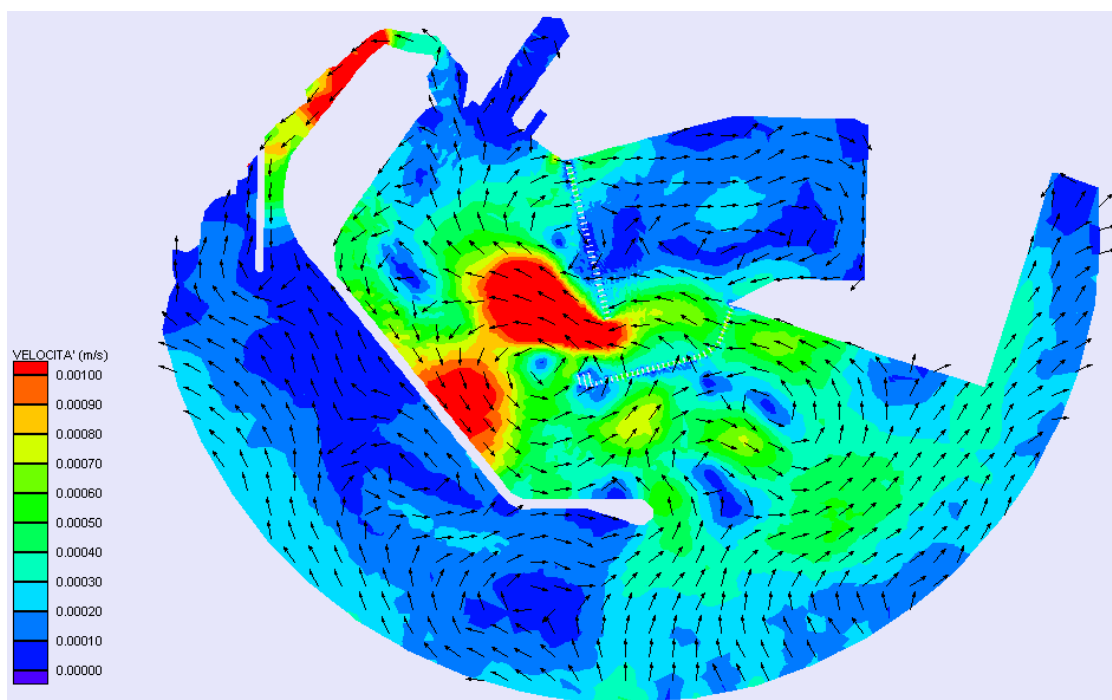


Figura 51 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 66 h

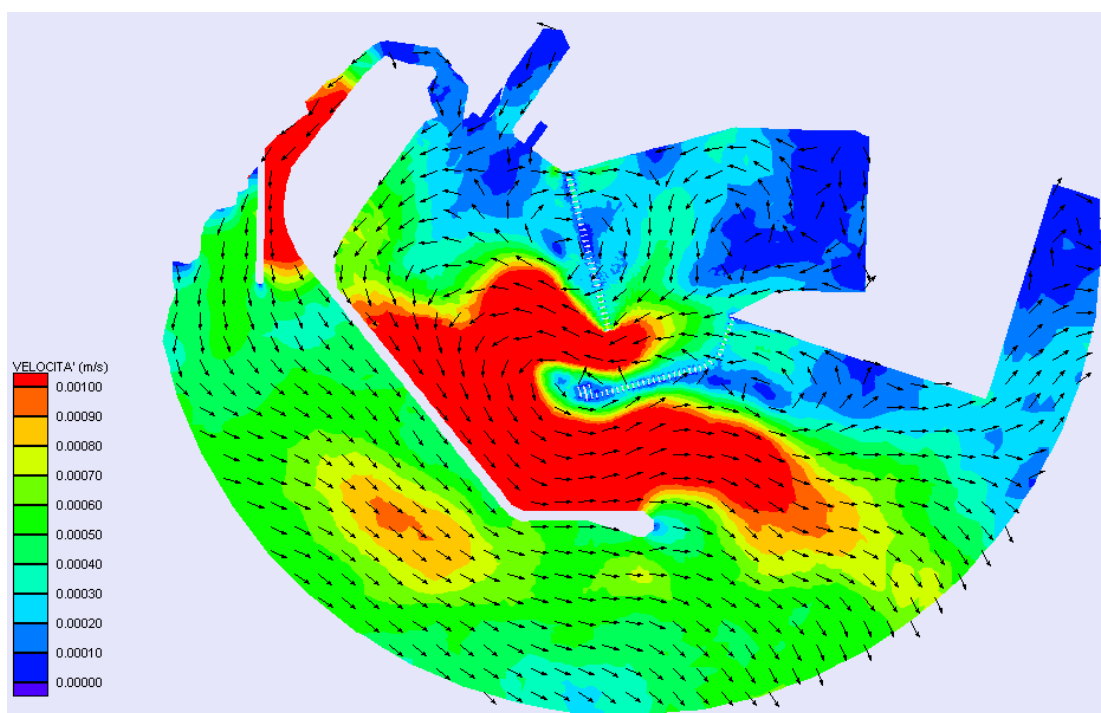


Figura 52 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 69 h

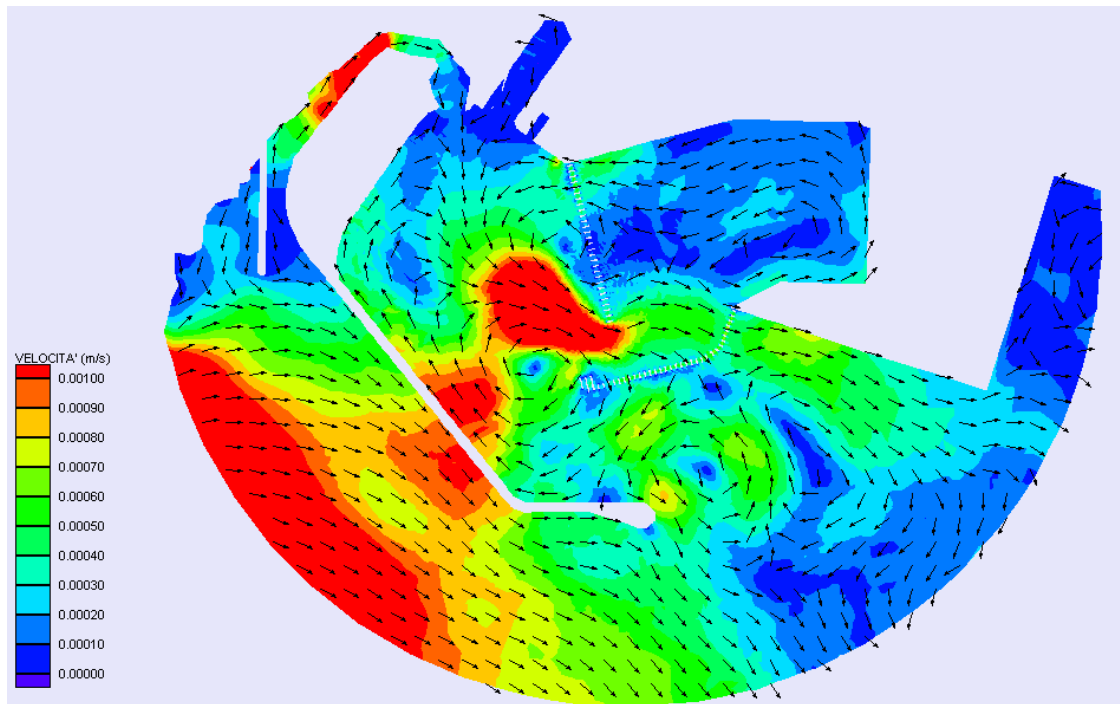


Figura 53 – Layout B2. Distribuzione dei vettori velocità all’interno dello specchio idrico di progetto al time step 72 h

Il trend circolatorio rispetto al layout precedente risulta essere caratterizzato da un diverso gradiente spaziale delle velocità; in prossimità delle strutture dell’approdo Spero a causa dell’effetto di schermatura provocato dall’opacità delle opere stesse; le correnti risultano essere più basse, mentre all’interno dello specchio idrico le velocità risultano di entità maggiore.

Infine si continua ad osservare la formazione all’interno del canale di vivificazione di una corrente longitudinale con velocità dell’ordine di $10^{-2} - 10^{-3}$ m/s.

Si osserva inoltre che anche questi risultati sono compatibili con quelli ottenuti durante la simulazioni numeriche relative agli effetti idrodinamici indotti dal fenomeno di sola marea con il codice ADCIRC, durante la redazione dell’elaborato B.3.1.-SDC“Studio Idrodinamico”.

6.3.3 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI

Dai risultati delle analisi condotte su i due layouts è emerso che:

- in ognuno dei casi analizzati si sono osservati trend circolatori compatibili con quelli rilevati durante le simulazioni con il modello ADCIRC (cfr. l’elaborato .B.3.1.-SDC“Studio Idrodinamico”)
- in ogni caso l’entità delle velocità medie sono dell’ordine del mm/s;
- l’effetto di schermatura che caratterizza le opere opache (layout B2) causa bassi gradienti di velocità in prossimità delle strutture stesse;
- all’interno dello specchio idrico (ad esempio in prossimità della darsena, o nell’area tra i moli del Marina di Archimede e dell’approdo Spero) nel caso del layout B2 l’effetto di schermatura provocato, crea di fatto un elevato gradiente energetico potenziale tra i punti esterni ed interni del dominio

che si esplica tramite un regime circolatorio caratterizzato da velocità leggermente superiori a quelle simulate per il layout B1;

- lungo il canale di vivificazione si osserva la formazione di una corrente longitudinale, che va dalla darsena polifunzionale verso la scogliera antisedimentazione.

Si conclude che il layout B2 (relativo alle opere opache) risulti migliore del layout B1 (opere trasparenti) in termini di trend circolatori e di ricambio idrico in quanto caratterizzato da velocità medie globalmente maggiori.

Le informazioni sul regime correntometrico in prossimità dell'approdo risultano fondamentali per il regime del trasporto solido litoraneo, in quanto ne identificano chiaramente i trend trasposizioni dei sedimenti (cfr. elaborato B.3.2-SDC "Studio della dinamica costiera").

7. OTTIMIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI PER MIGLIORARE LA QUALITA' DELLE ACQUE

I risultati fin qui ottenuti hanno mostrato che il trend circolatorio all'interno ed in prossimità delle opere in progetto presenta un regime delle correnti modesto per effetto della sola forzante di marea astronomica, condizione ritenuta più cautelativa dal progettista ai fini della determinazione dei trend di ricambio idrico dello specchio acqueo protetto.

Già durante la redazione del progetto preliminare, è stata prevista la realizzazione di alcune opere di mitigazione al fine di migliorare la qualità delle acque.

Tali opere sono:

- Il canale di vivificazione a tergo della colmata.
- Il pennello radicato alla foce del canale Regina.

Le figure successive permettono la localizzazione delle opere di mitigazione suddette.

Con un segmento rosso è stato individuato il pennello, mentre con una linea gialla è stato individuato il canale di vivificazione.

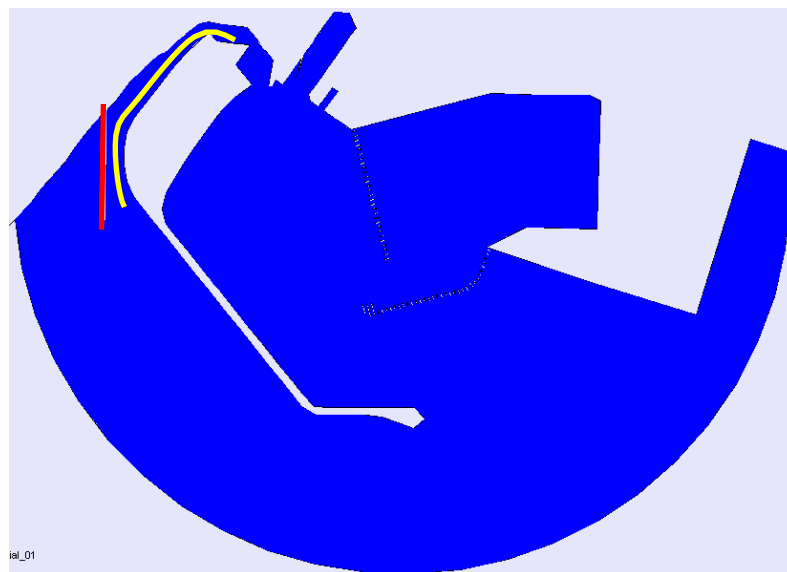


Figura 54 – Localizzazione del pennello antisedimentazione e deflettore (in rosso) e del canale di vivificazione (in giallo).

Il canale di vivificazione ha lo scopo di garantire un regime correntometrico minimo compatibile con un livello di qualità delle acque adeguato.

Il pennello in particolare ha le seguenti funzioni:

- antisedimentazione: in quanto dovrà proteggere il canale di vivificazione dall'interrimento progressivo da parte dei sedimenti secondo i trend circolatori del Porto Grande (cfr. elaborato B.3.2-SDC "Studio della Dinamica delle Coste" ed elaborato B.3.1 -SDC "Studio Idrodinamico").

- deflessione: in quanto proteggerà le acque del canale di vivificazione dalla possibile diffusione di materiale solido o anche di sostanze inquinanti che potrebbero essere presenti nelle acque del canale Regina, avendo tuttavia già valutato che l'entità e la probabilità di tale accadimento è bassa.

Questo capitolo è dedicato alla valutazione della configurazione ottimale di tali opere.

7.1 POSIZIONAMENTO OTTIMALE DEL PENNELLO ANTISEDIMENTAZIONE E DEFLETTORE IN FUNZIONE DEL REGIME CORRENTOMETRICO

Ai fini di determinare quale sia la posizione ottimale del pennello antisedimentazione e deflettore che garantisce il livello migliore di qualità delle acque all'interno del canale di vivificazione e del bacino protetto dell'approdo, sono state effettuate ulteriori simulazioni numeriche.

Dapprima sono state effettuate simulazioni idrodinamiche con il codice RMA2 e in seguito sono state condotte simulazioni di dispersione degli inquinanti con il codice RMA4.

Nei paragrafi successivi saranno descritti i risultati ottenuti.

7.1.1 SIMULAZIONI NUMERICHE IDRODINAMICHE

Scelto come layout definitivo per le opere dell'approdo Spero il layout B2 (opere opache, cfr. capitolo 6), sono state indagate 4 possibili configurazioni con il software di calcolo:

- CONFIGURAZIONE 1: prevede una scogliera lunga circa 160 m secondo la direzione N/S

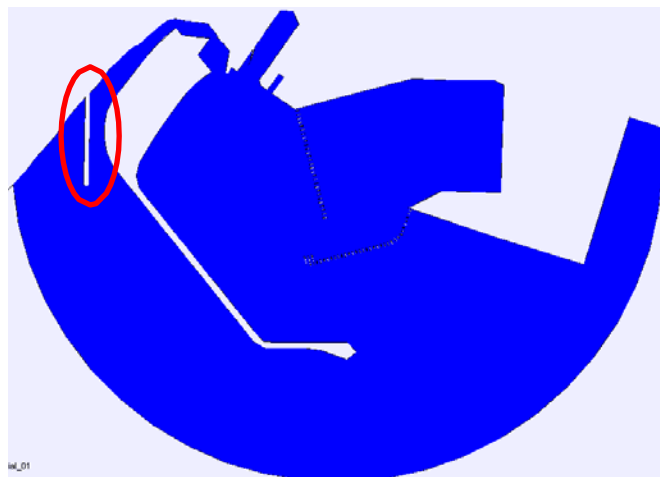


Figura 55 – Posizionamento ottimale del pennello antisedimentazione. Configurazione 1. (Direzione N/S, Lunghezza 160 m).

- CONFIGURAZIONE 2: prevede una scogliera lunga circa 210 m secondo la direzione N/S

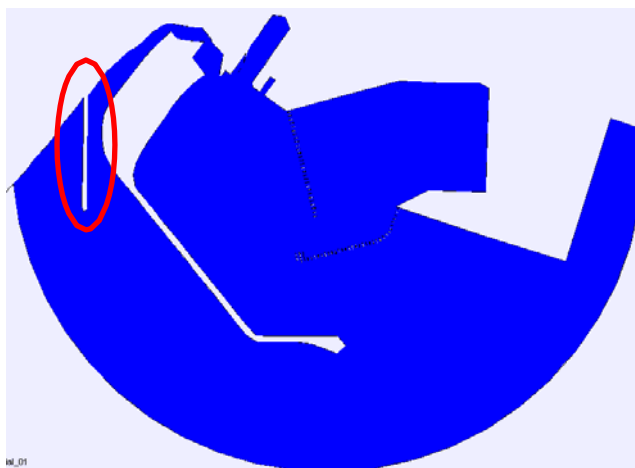


Figura 56 – Posizionamento ottimale del pennello antisedimentazione. Configurazione 2. (Direzione N/S, Lunghezza 210 m).

- CONFIGURAZIONE 3: prevede una scogliera lunga 160 m, secondo la direzione 10°N/190°N

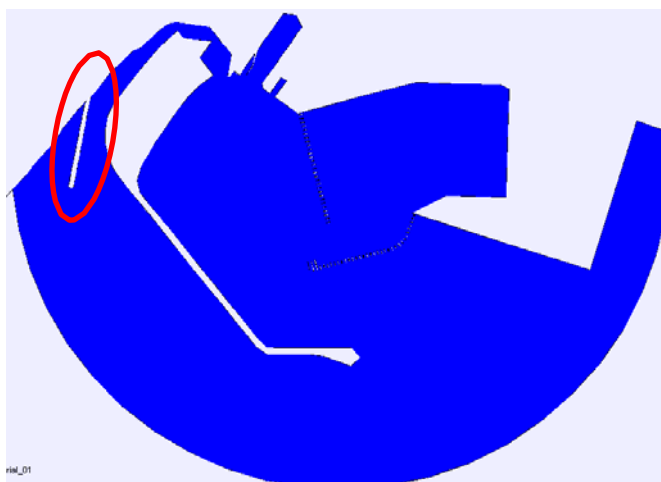


Figura 57 – Posizionamento ottimale del pennello antisedimentazione. Configurazione 3. (Direzione 10°N/190°N, Lunghezza 160 m).

- CONFIGURAZIONE 4: prevede una scogliera lunga 210 m, secondo la direzione 10°N/190°N.

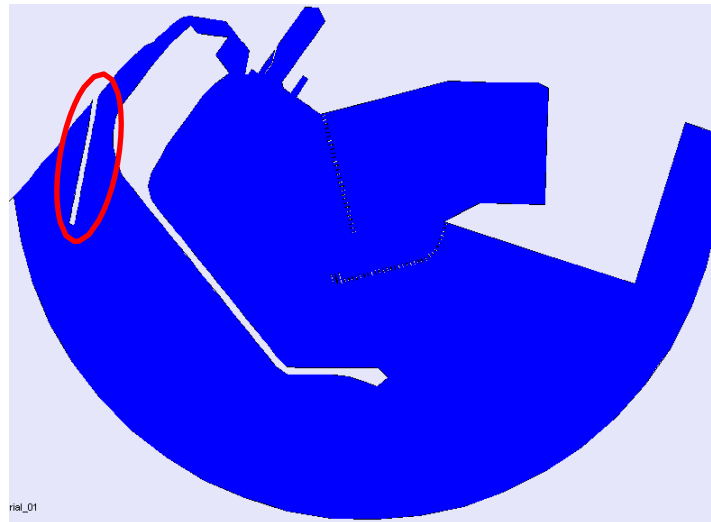


Figura 58 – Posizionamento ottimale del pennello antisedimentazione. Configurazione 3. (Direzione 10°N/190°N, Lunghezza 210 m).

Le simulazioni RMA2 sono state condotte in modo tale da accertare dapprima dal punto di vista idrodinamico con la stessa procedura del capitolo 6, e cioè ipotizzando che l'unica forzante in gioco sia la marea, il range di velocità all'interno del canale di vivificazione e conseguentemente è stata individuata la configurazione e quindi il regime correntometrico che garantisce il livello di ricambio idrico migliore.

In questa fase l'afflusso idrico del canale Regina è stato trascurato a vantaggio di sicurezza poiché la situazione relativa ad un afflusso nullo è più cautelativa in quanto indice di un regime correntometrico ridotto.

7.1.2 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 1

Di seguito si riportano alcuni diagrammi temporali della grandezza velocità nei punti di controllo 6, 7 e 9, (cfr. figura 23) ritenuti significativi per la tipologia di indagine in esame.

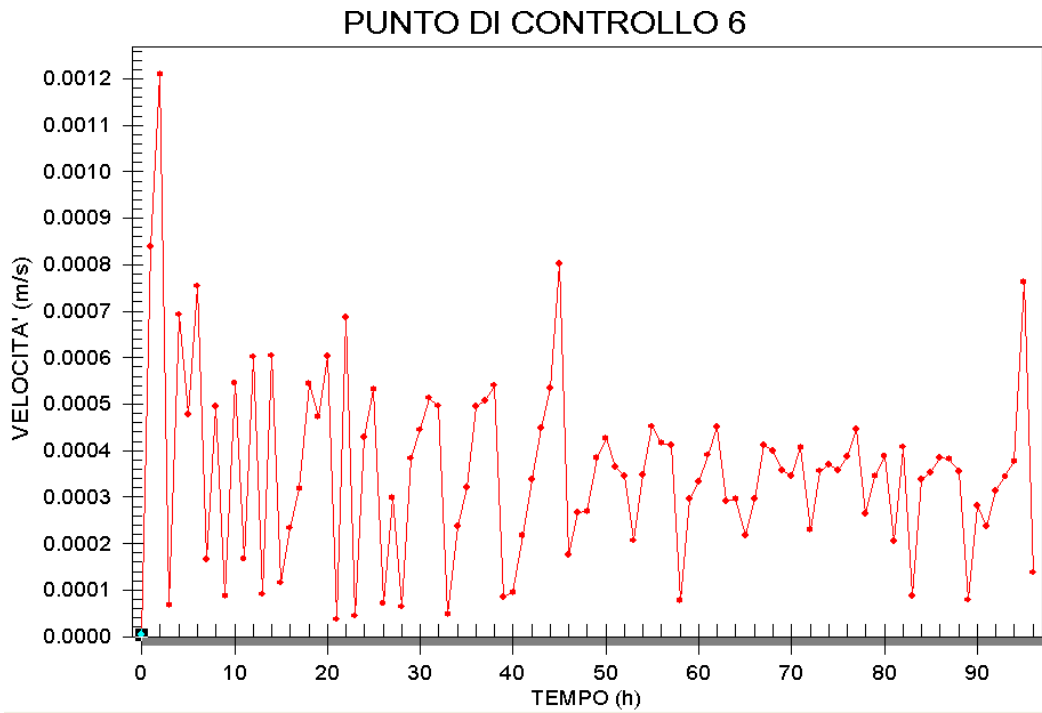


Figura 59 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 6.

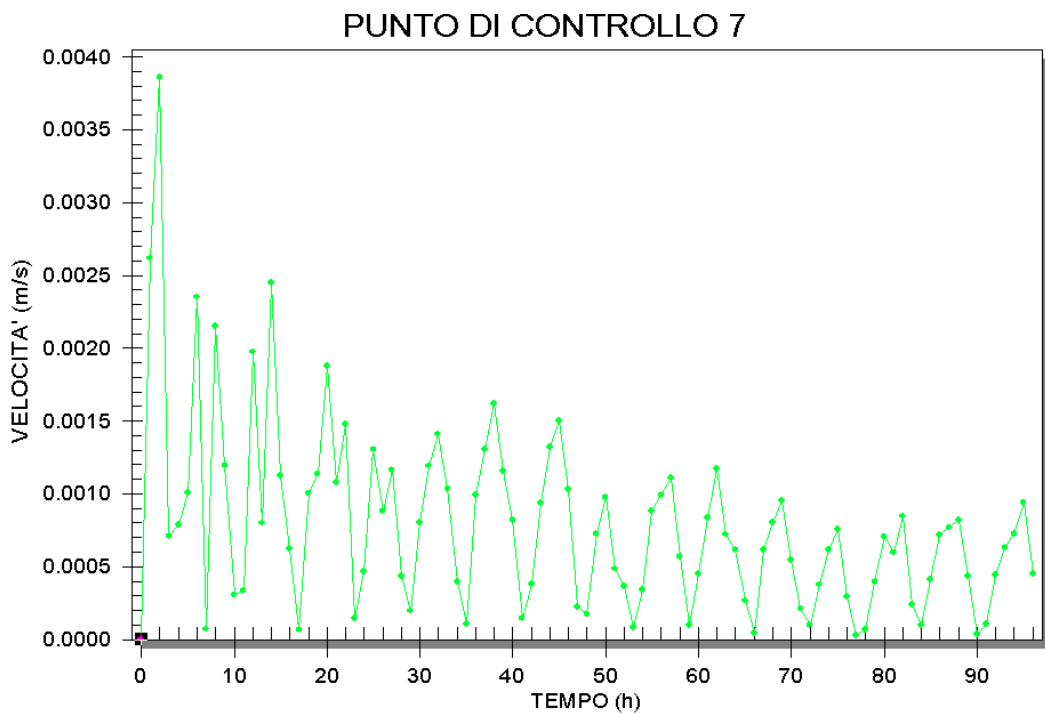


Figura 60 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 7.

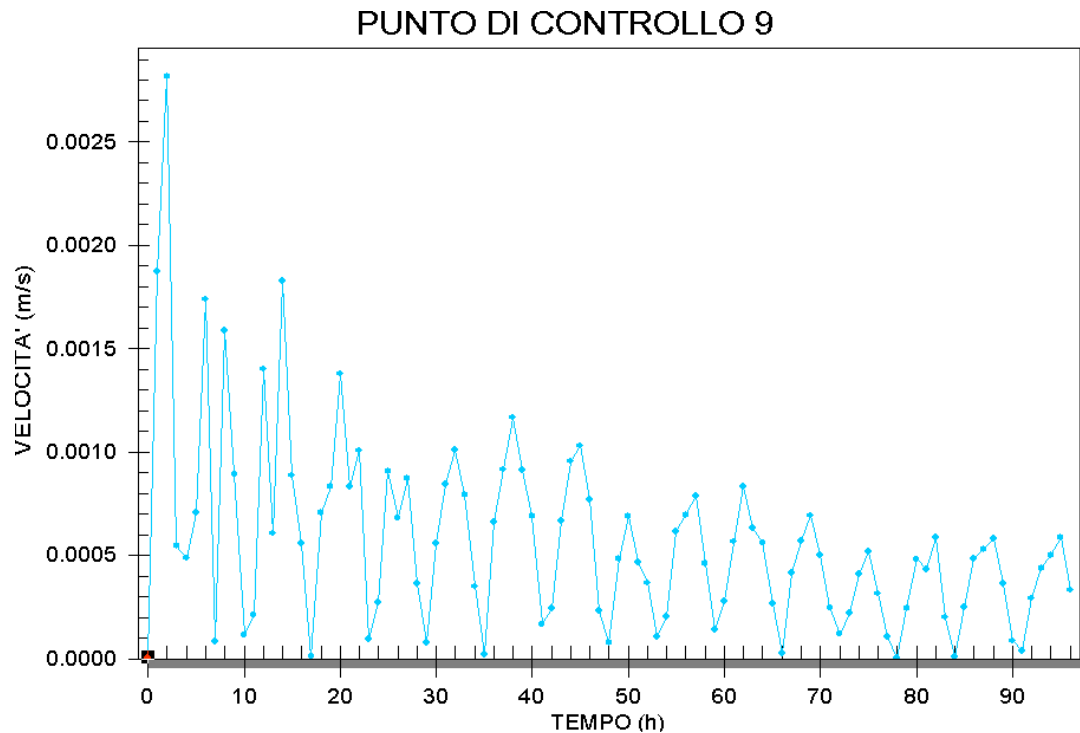


Figura 61 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 9.

Per la configurazione indagata, le velocità delle correnti all'interno del canale risultano dell'ordine di 10^{-3} m/s.

In particolare in prossimità della darsena polifunzionale (punto di controllo 6) le velocità si attestano intorno a valori compresi tra 10^{-3} e 10^{-4} m/s.

All'interno del canale di vivificazione in prossimità della radice del pennello antisedimentazione si instaura un regime delle correnti che può raggiungere valori tra 1,0 e 1,5 mm/s.

Di seguito sono riportate le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall'inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trend circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso, secondo la graduazione scelta, è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 mm/s.

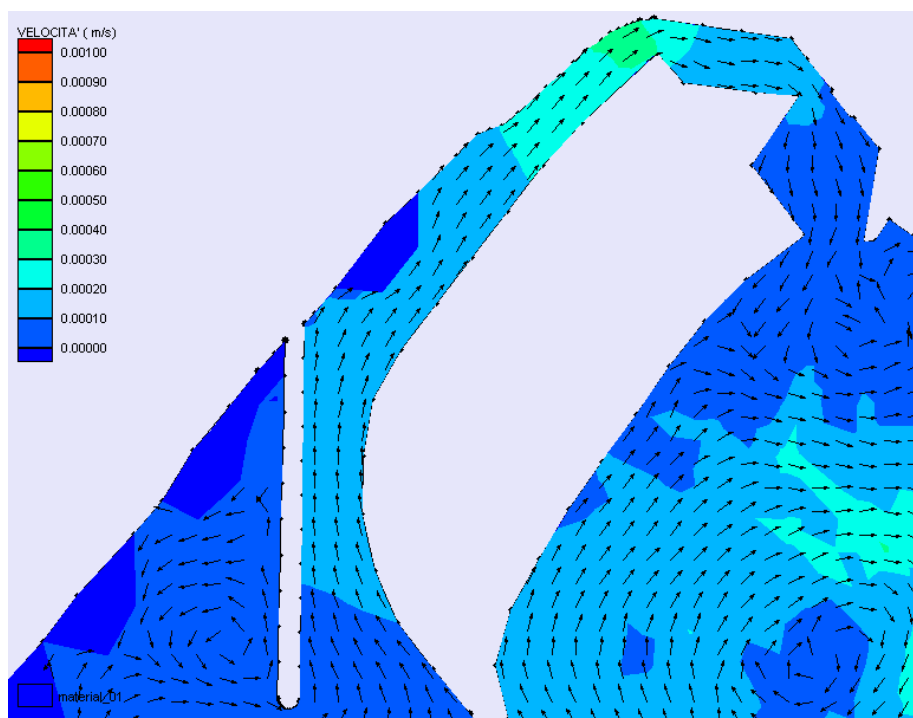


Figura 62 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 48 h

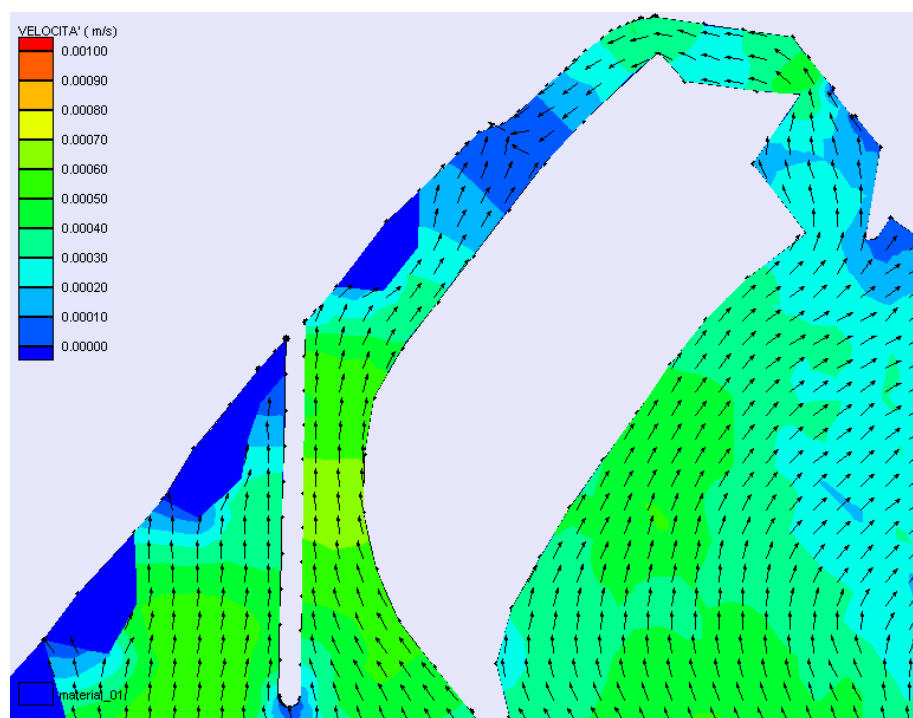


Figura 63 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 51 h

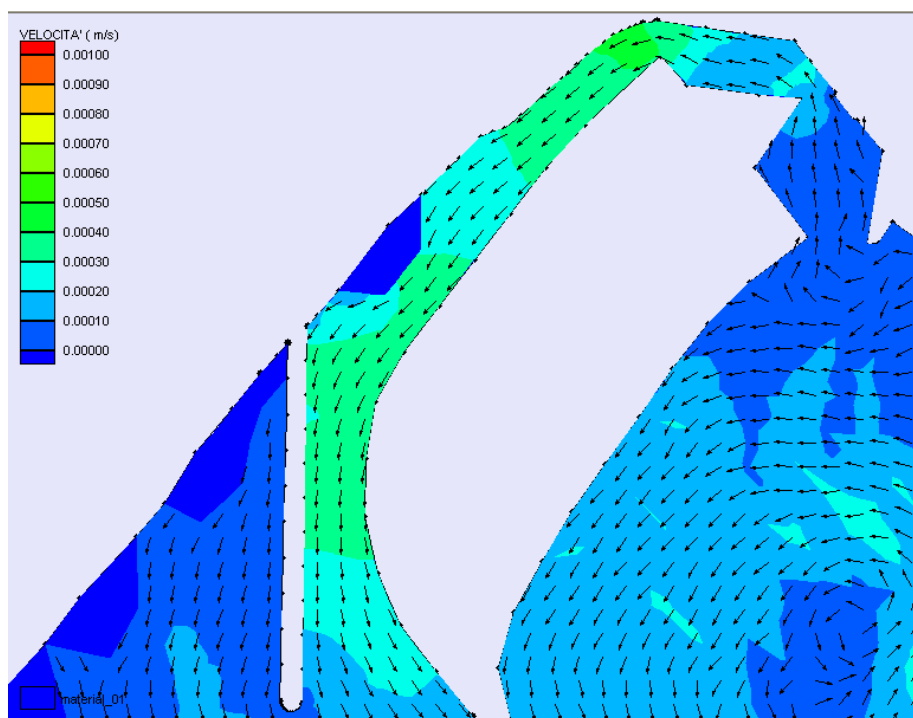


Figura 64 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 54 h

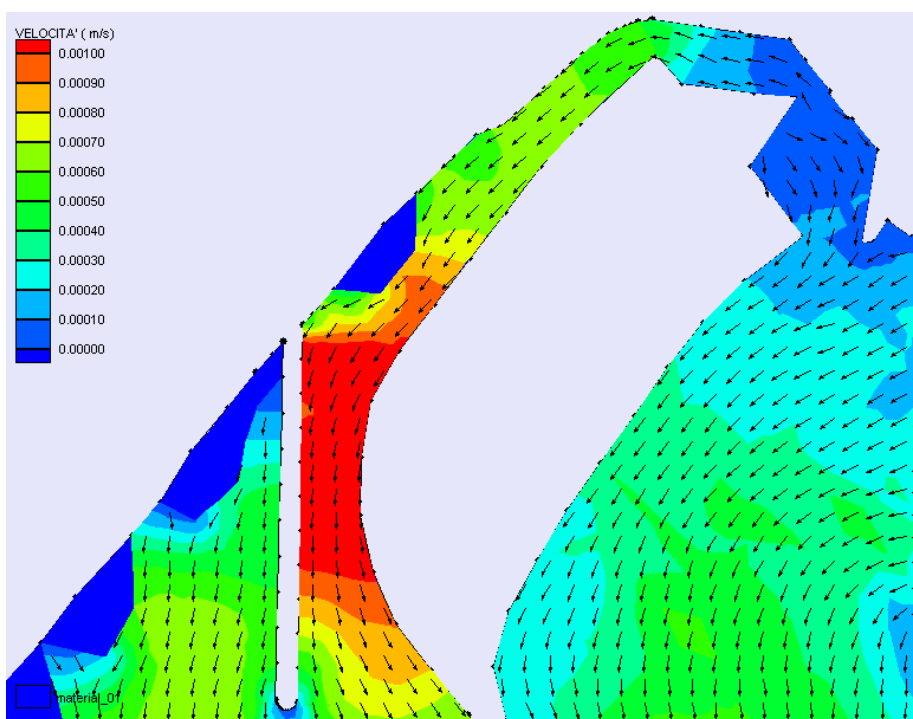


Figura 65 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 57 h

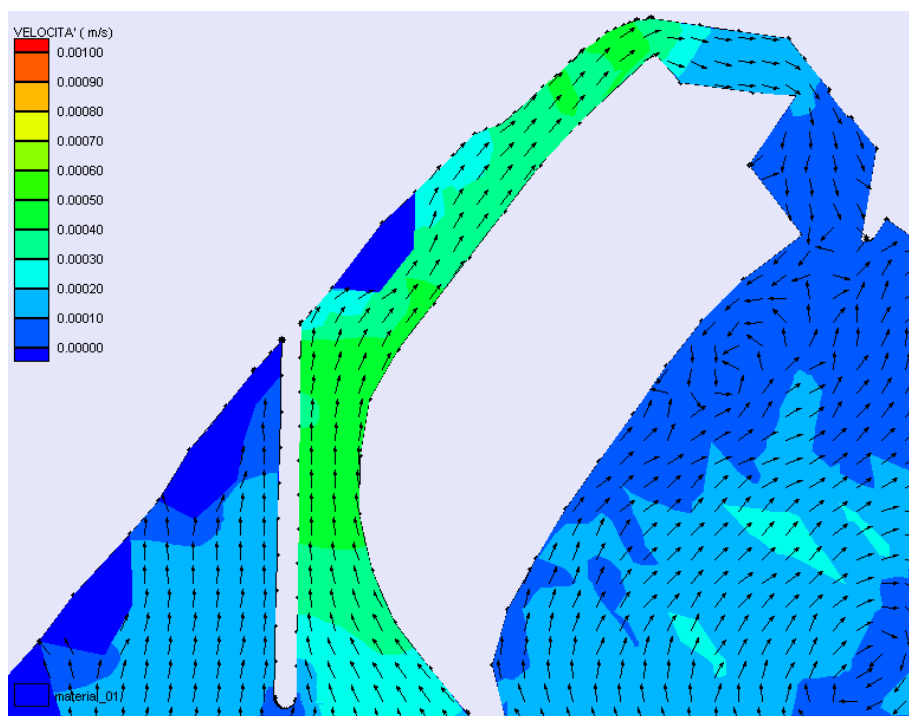


Figura 66 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 60 h

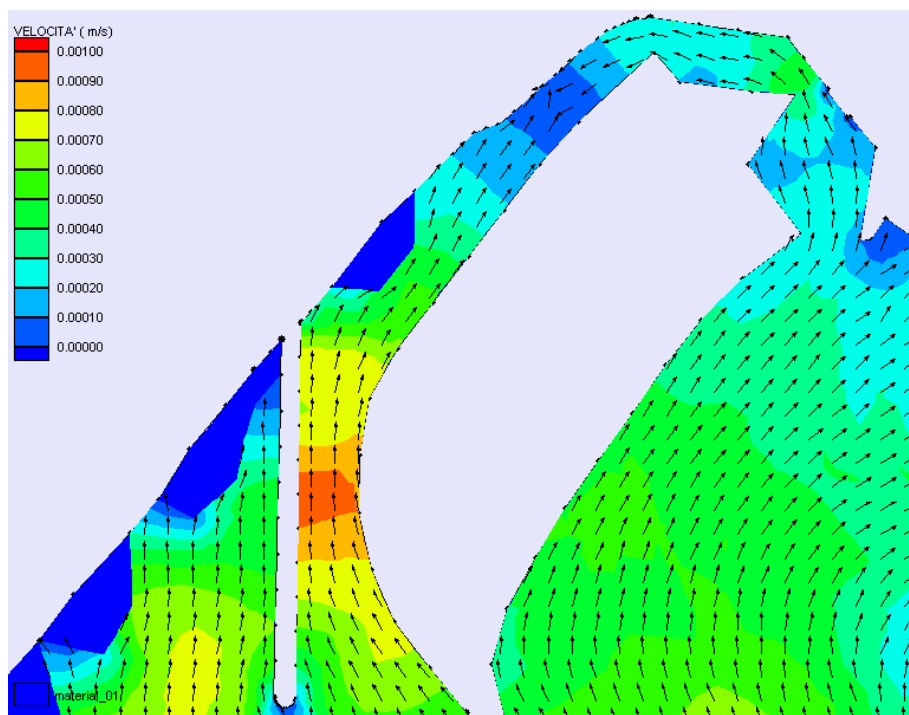


Figura 67 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 63 h

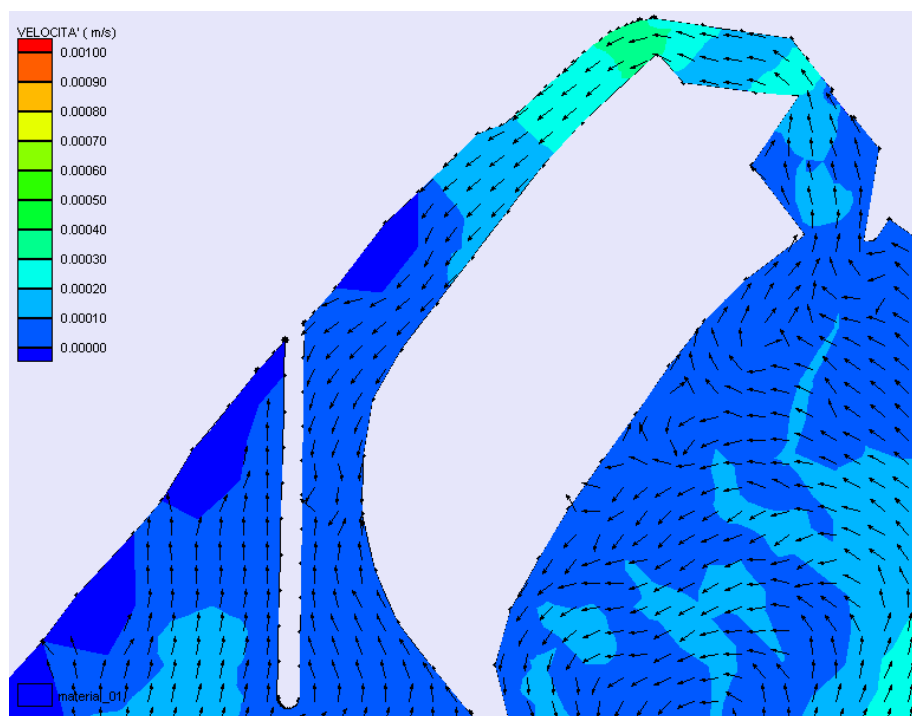


Figura 68 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 66 h

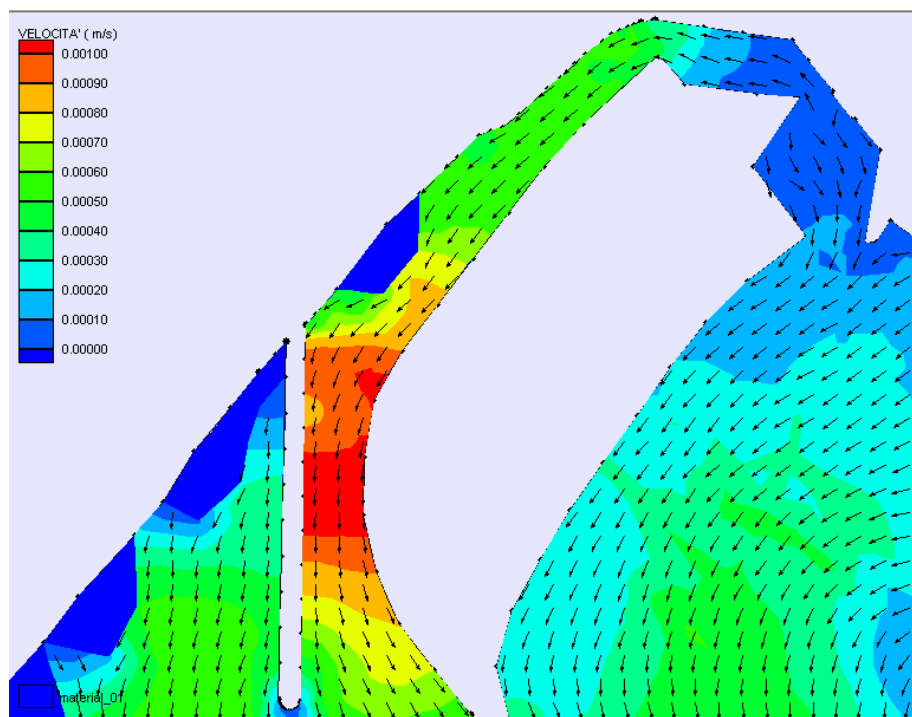


Figura 69 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 69 h

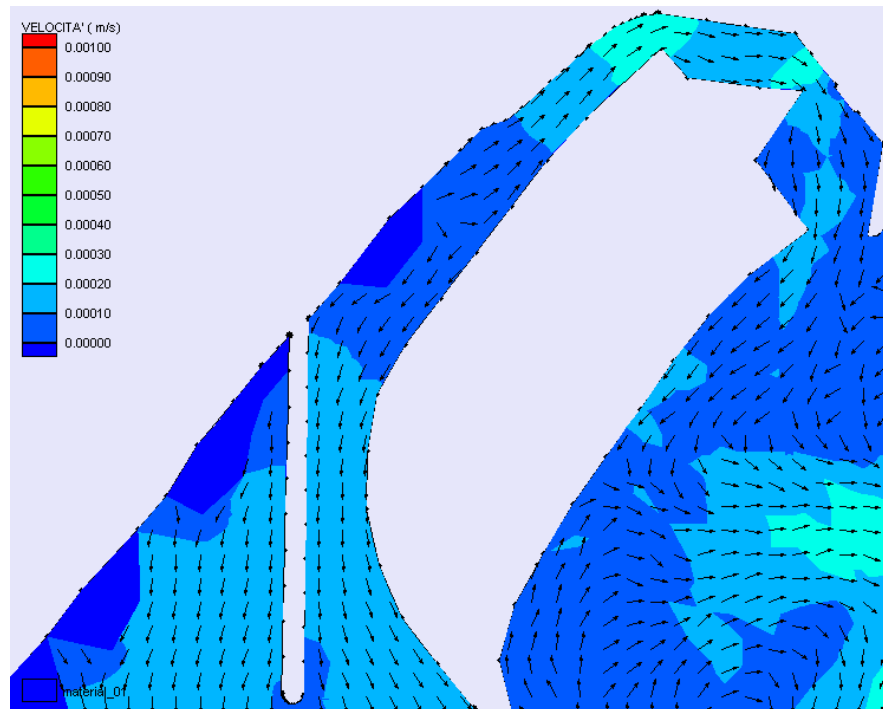


Figura 70 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 1. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 72 h

Le immagini riportate mostrano la formazione di una corrente longitudinale all'interno del canale di vivificazione dovuta al semplice fenomeno afflusso/deflusso dovuto alle oscillazioni di livello per marea, senza l'instaurarsi di particolari moti turbolenti in prossimità delle imboccature.

Le velocità maggiori si riscontrano lungo il tratto del canale compreso tra il pennello e la banchina.

Infine si osserva poi la formazione di una zona soggetto al prosciugamento per via dell'abbassamento del livello del mare, dovuta al fatto che la profondità di questo tratto risulta compatibile con i valori di livello idrico che caratterizza i momenti di bassa marea simulati.

Si ribadisce inoltre che il regime correntometrico individuato è conforme a con quello individuato durante le simulazioni ADCIRC (confronta l'elaborato B.4.1-SDC-“Studio idrodinamico”).

7.1.3 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 2

Di seguito si riportano alcuni diagrammi temporali della grandezza velocità nei punti di controllo 6, 7 e 9 (cfr. figura 23), ritenuti significativi per la tipologia di indagine in esame.

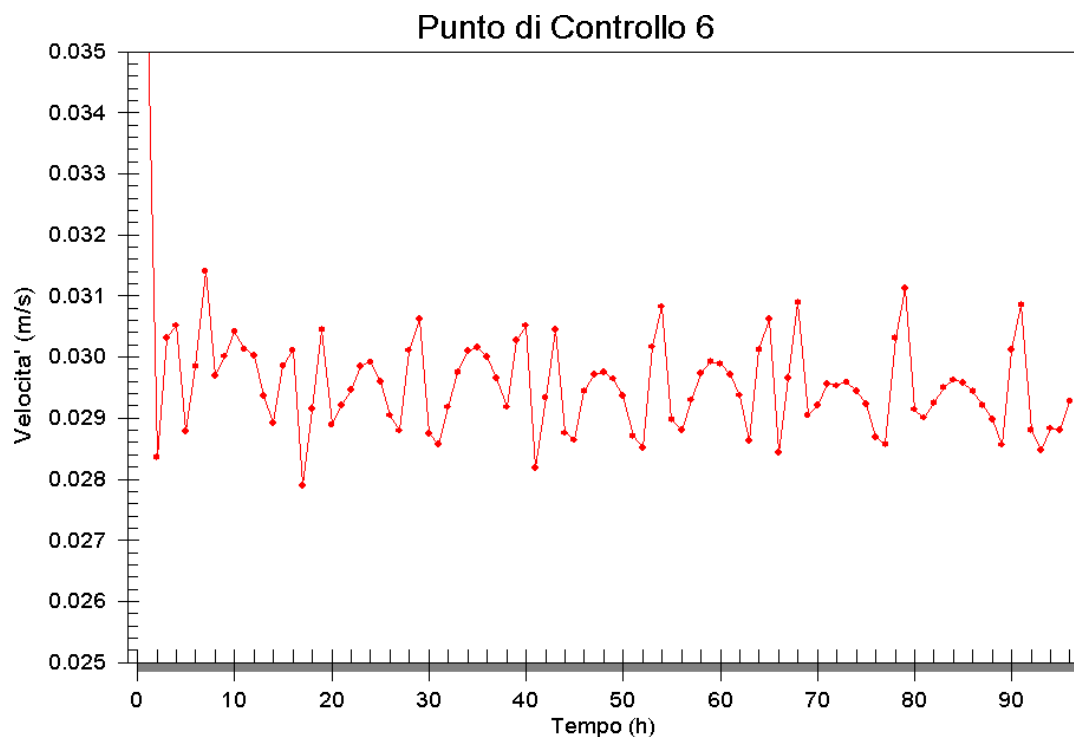


Figura 71 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 6.

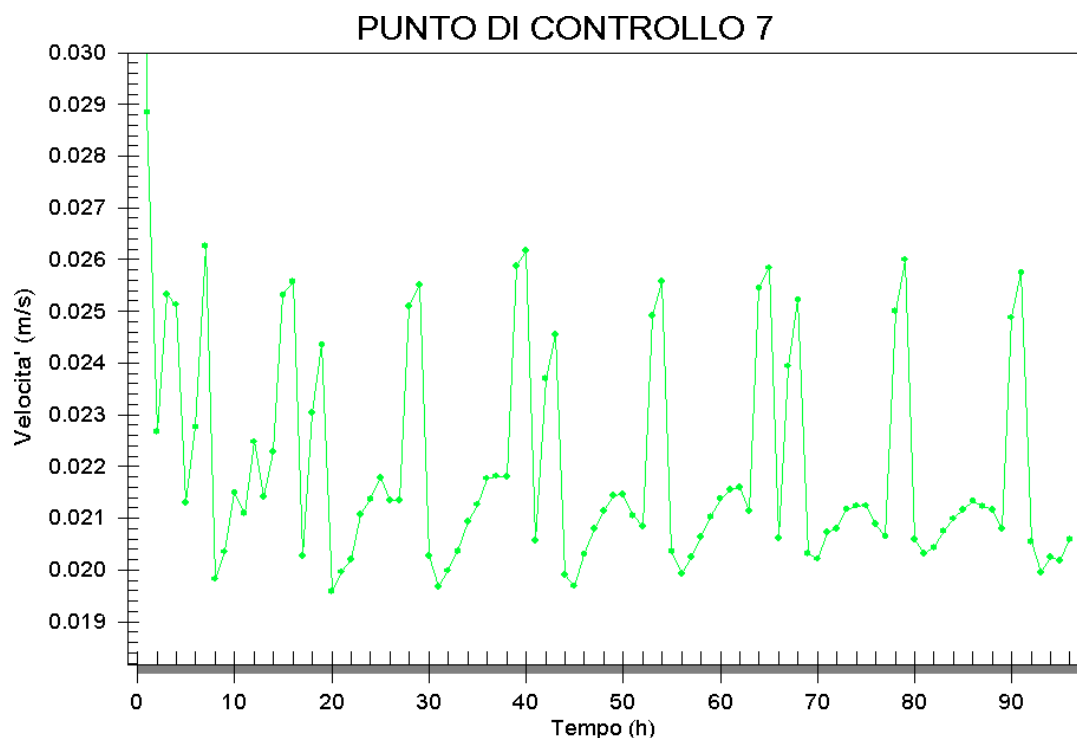


Figura 72 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 7.

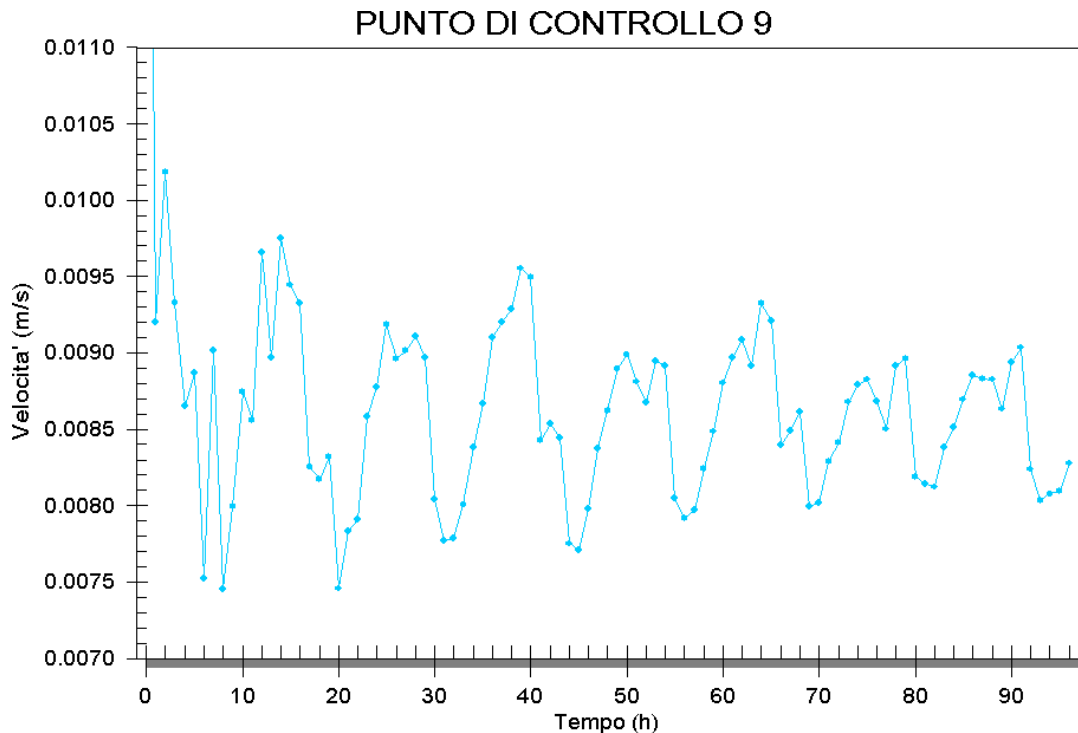


Figura 73 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 9.

Per la configurazione indagata, le velocità delle correnti all'interno del canale risultano superiori rispetto al caso precedente, con valori dell'ordine di 10^{-2} - 10^{-3} m/s.

In prossimità della darsena polifunzionale (punto di controllo 6) le velocità si attestano tra 2,75 e 3,25 cm/s.

All'interno del canale di vivificazione in prossimità della radice del pennello antisedimentazione si instaura un regime delle correnti che può raggiungere valori tra 2,0 e 2,5 mm/s.

In prossimità della testata del pennello, si registrano velocità comprese tra 0,5 e 1,0 mm/s.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall'inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trend circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso secondo la graduazione scelta è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 mm/s.

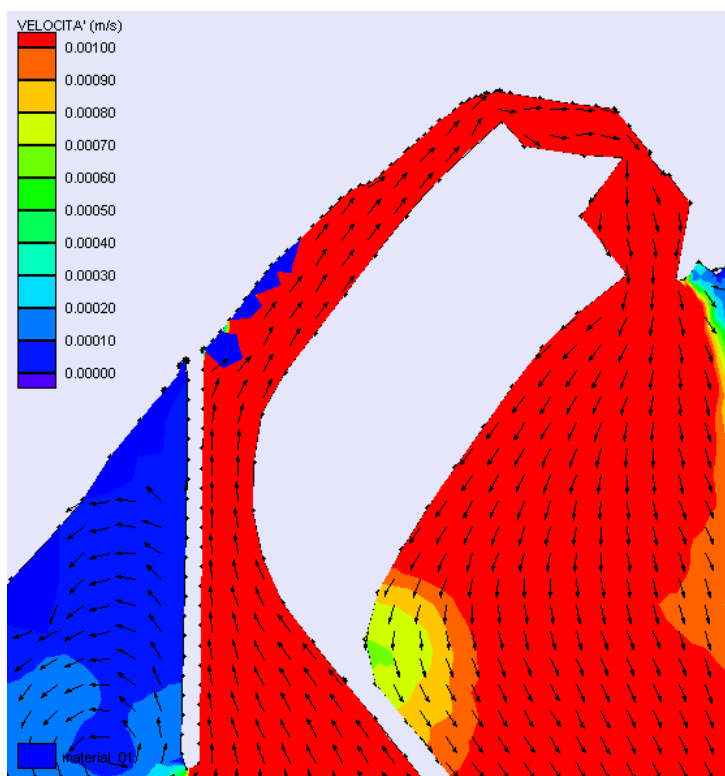


Figura 74 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 48 h

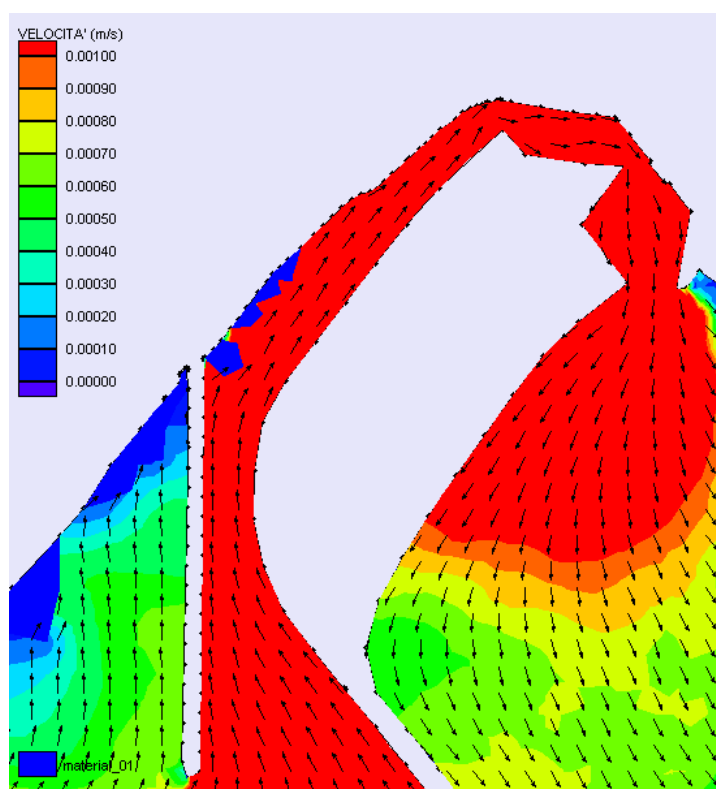


Figura 75 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 51 h

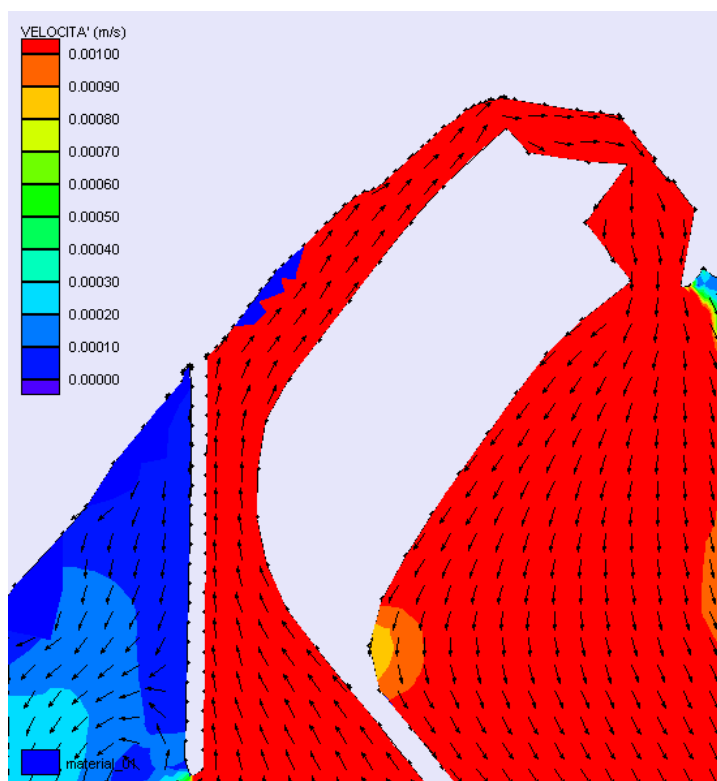


Figura 76 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 54 h

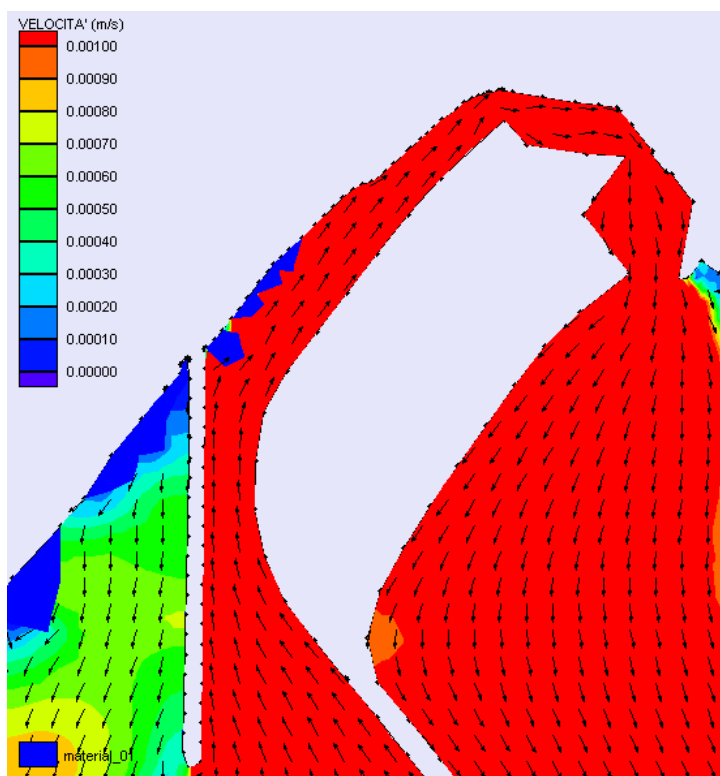


Figura 77 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 57 h

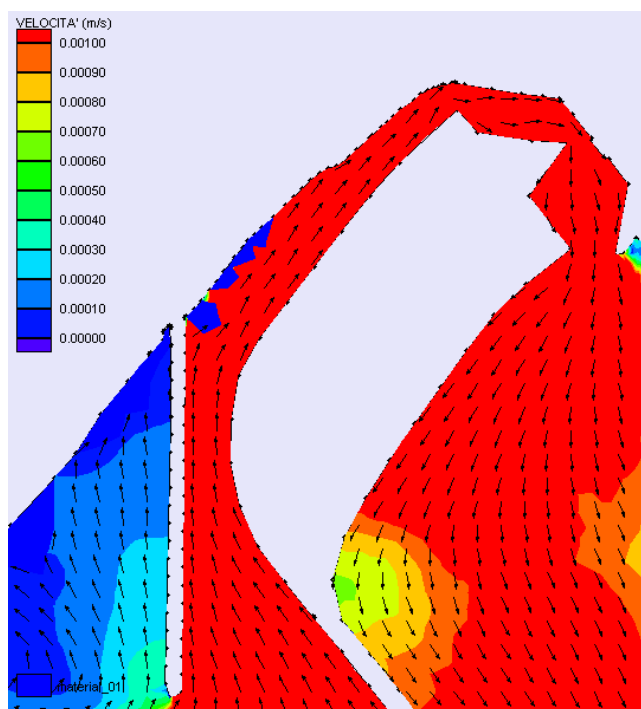


Figura 78 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 60 h

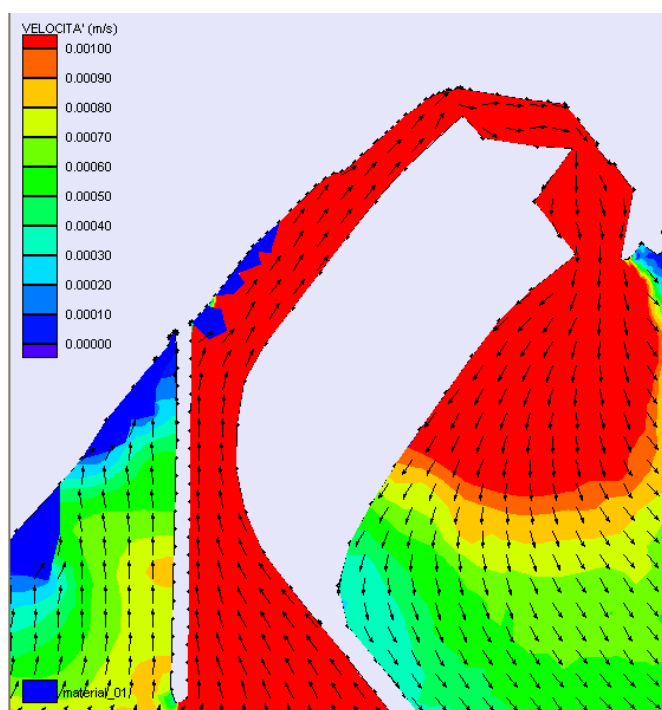


Figura 79 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 63 h

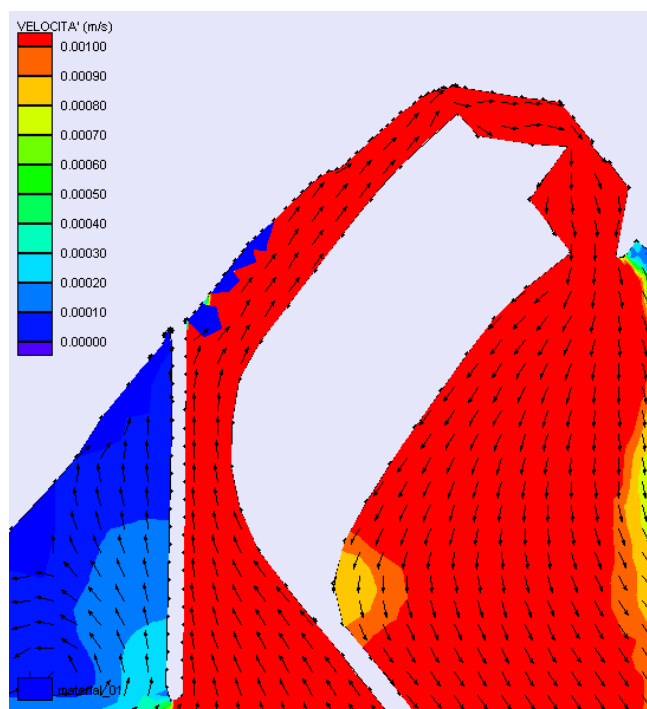


Figura 80 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 66 h

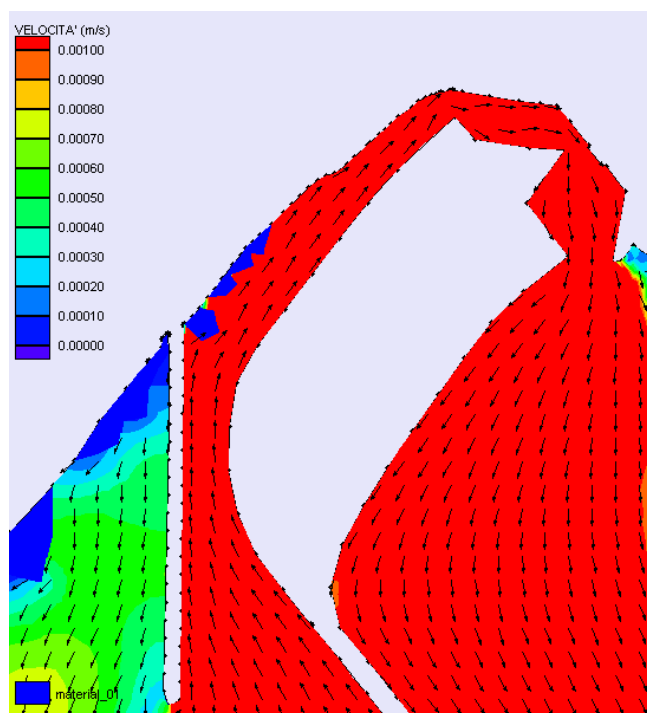


Figura 81 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 69 h

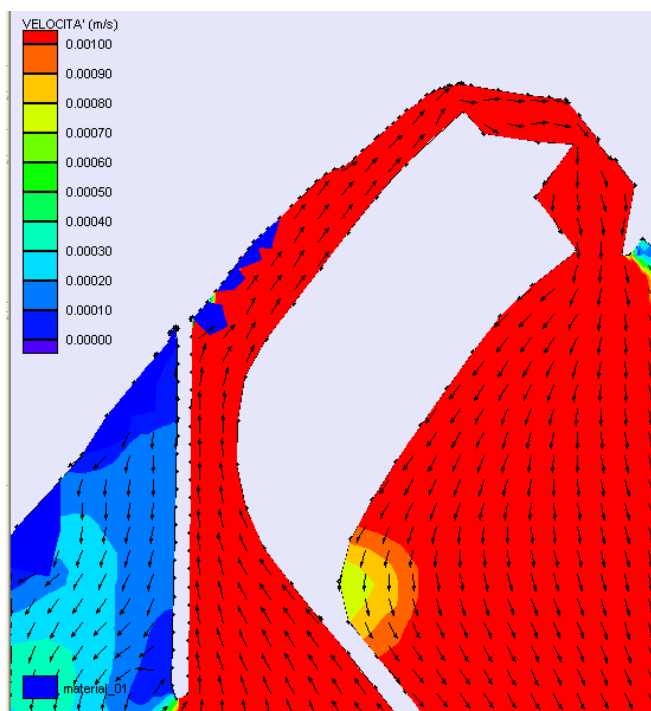


Figura 82 – Posizionamento del Penello. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 72 h

Le immagini riportate mostrano sempre la formazione di una corrente longitudinale all'interno del canale di vivificazione dovuta al semplice fenomeno afflusso/deflusso dovuto alle oscillazioni di livello per marea.

Il regime correntometrico individuato è conforme a con quello individuato durante le simulazioni ADCIRC (confronta l'elaborato B.4.1-SDC"Studio idrodinamico").

Le velocità sono globalmente maggiori rispetto al caso precedente.

Infine si conferma anche per la configurazione in esame la formazione di una zona soggetta al prosciugamento per via dell'abbassamento del livello idrico per marea.

7.1.4 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 3

Di seguito si riportano alcuni diagrammi temporali della grandezza velocità nei punti di controllo 6, 7 e 9 (cfr. figura 23), ritenuti al quanto significativi per la tipologia di indagine in esame.

Per la configurazione indagata, le velocità delle correnti all' interno del canale risultano intorno all' ordine di 10^{-3} m/s.

In prossimità d in prossimità della darsena polifunzionale (punto di controllo 6) le velocità si attestano tra 1,0 e 2,0 mm/s.

All'interno del canale di vivificazione in prossimità della radice del pennello antisedimentazione si instaura un regime delle correnti che può raggiungere tra 1,0 e 2,0 mm/s.

In prossimità della testata del pennello, si registrano velocità comprese tra 0,5 e 1,0 mm/s.

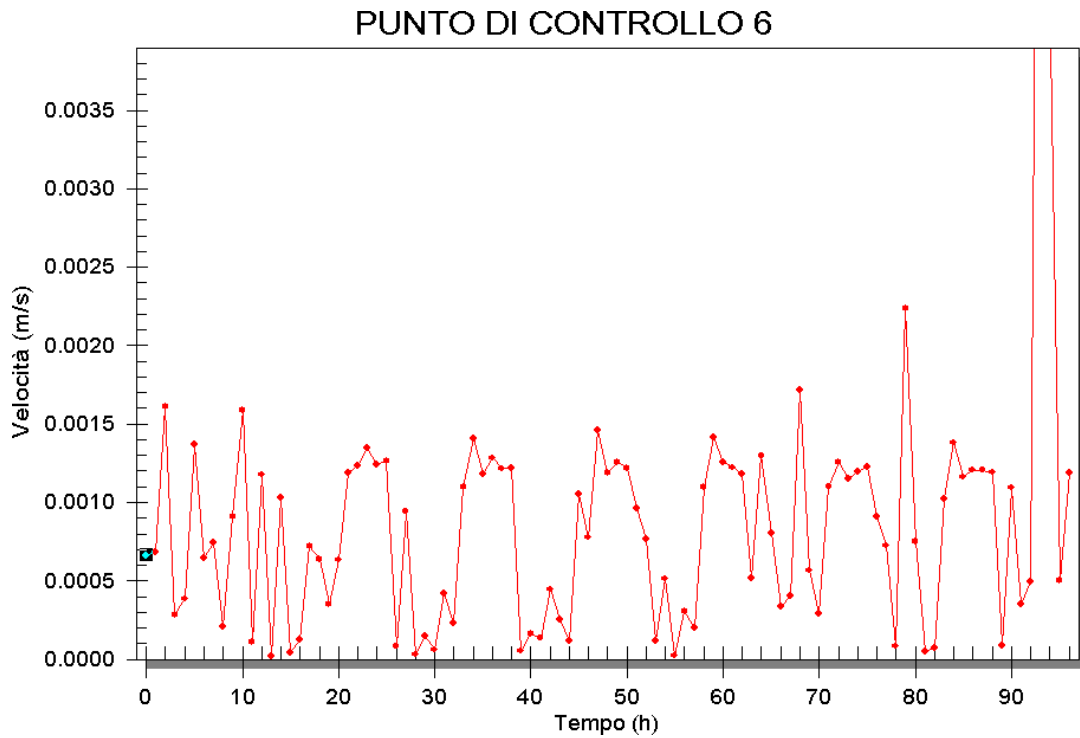


Figura 83 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 6.

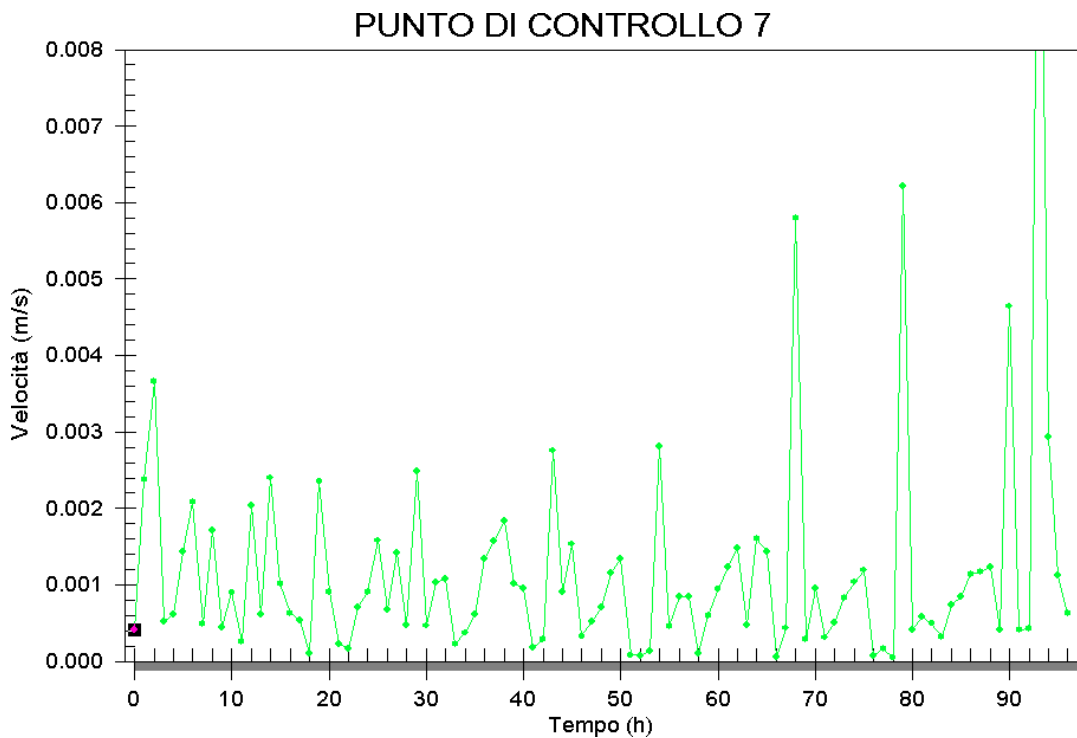


Figura 84 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 7.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall'inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trend circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso secondo la graduazione scelta è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 mm/s.

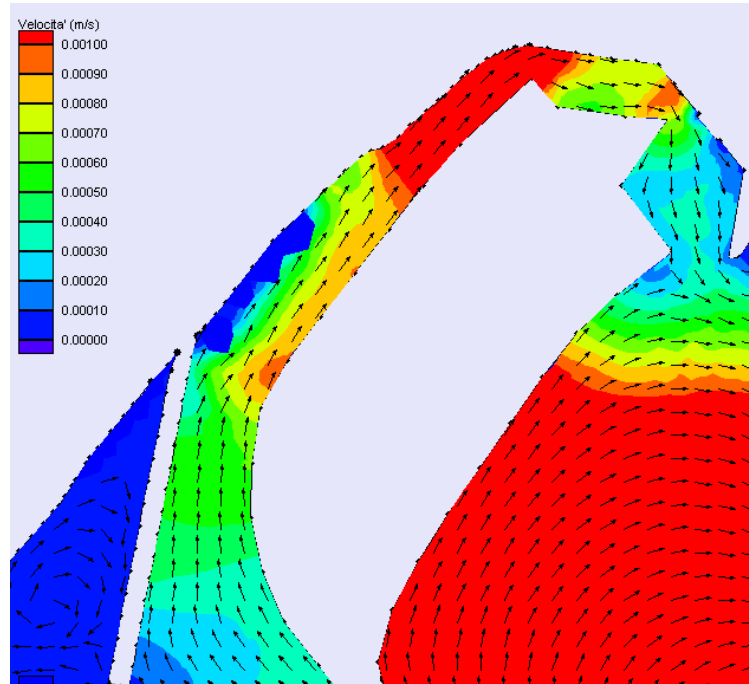


Figura 85 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 48 h

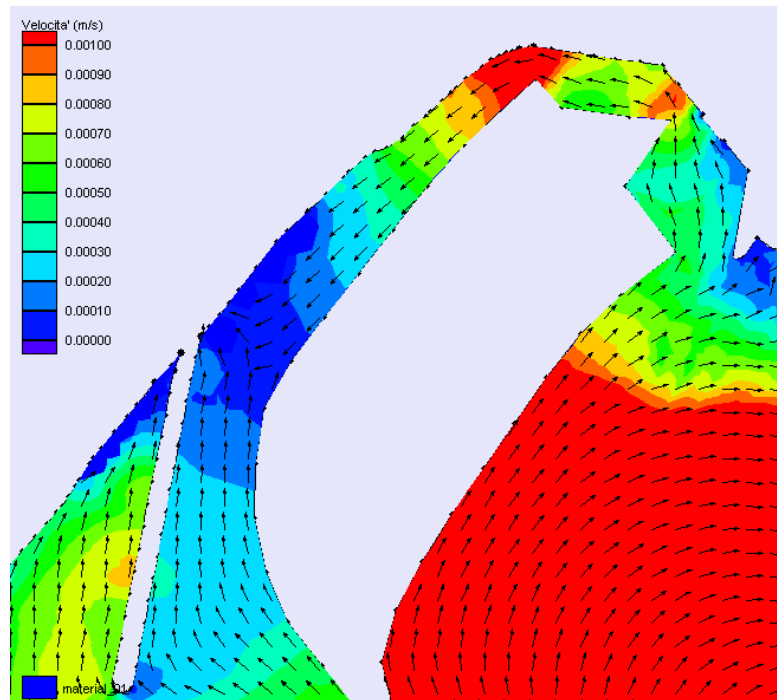


Figura 86 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 51h

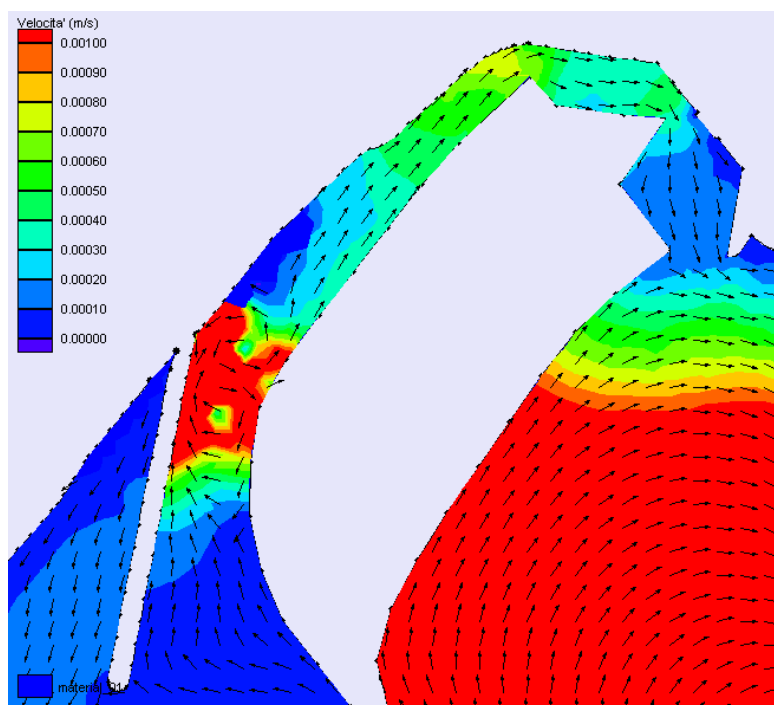


Figura 87 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 54 h

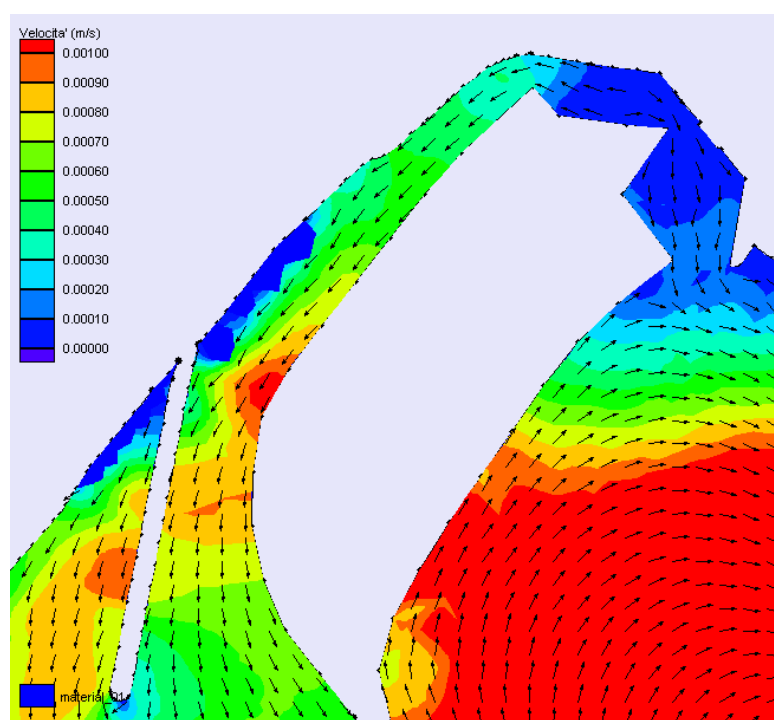


Figura 88 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 57 h

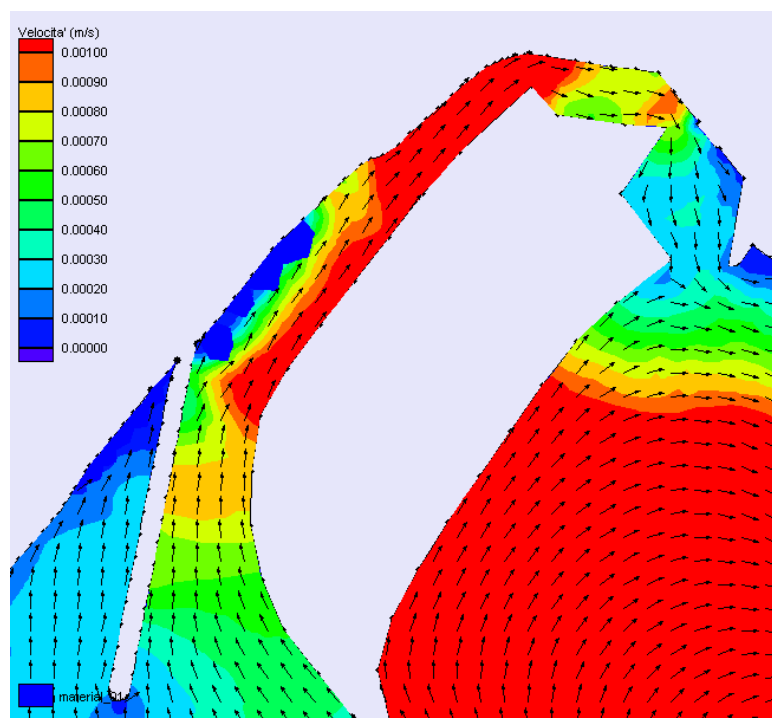


Figura 89 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 60 h

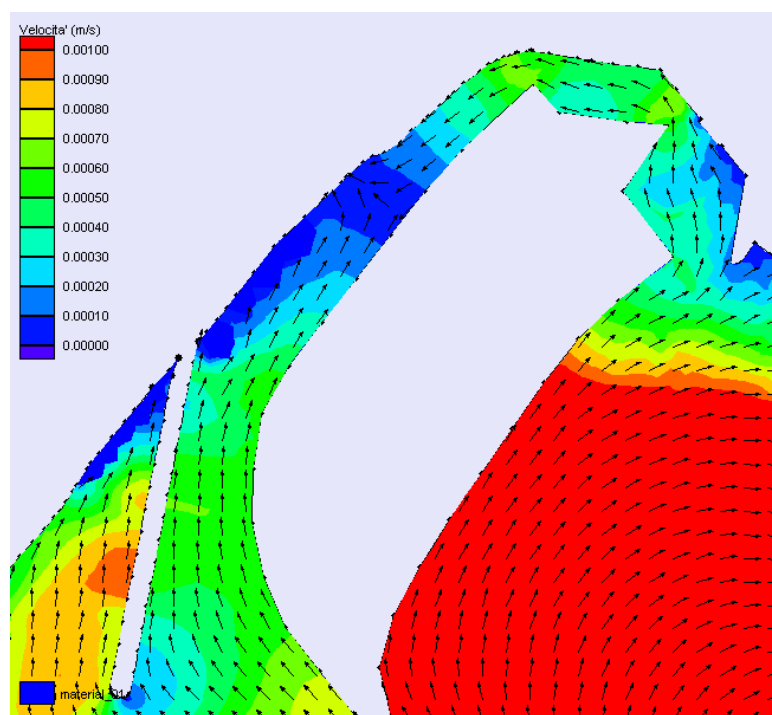


Figura 90 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 63 h

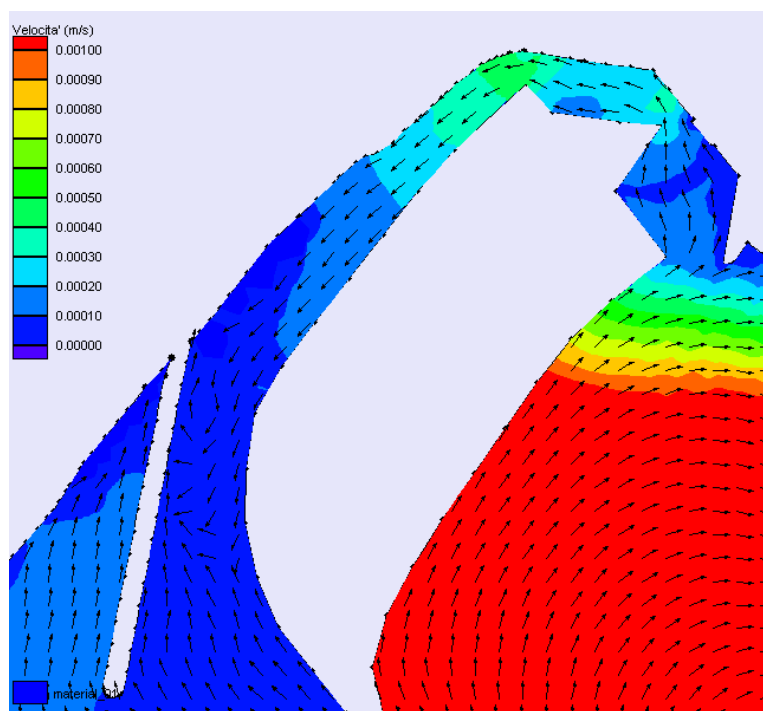


Figura 91 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 66 h

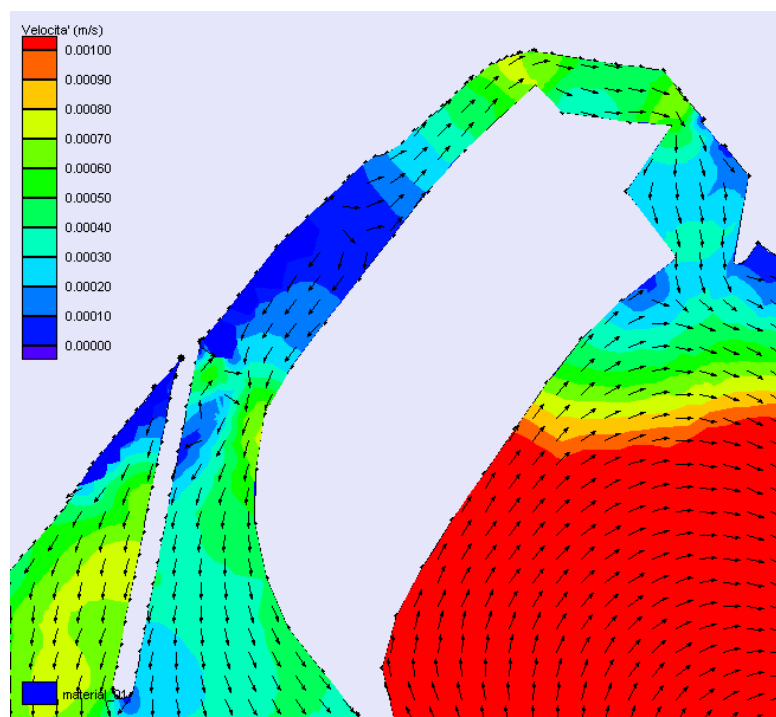


Figura 92 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 69 h

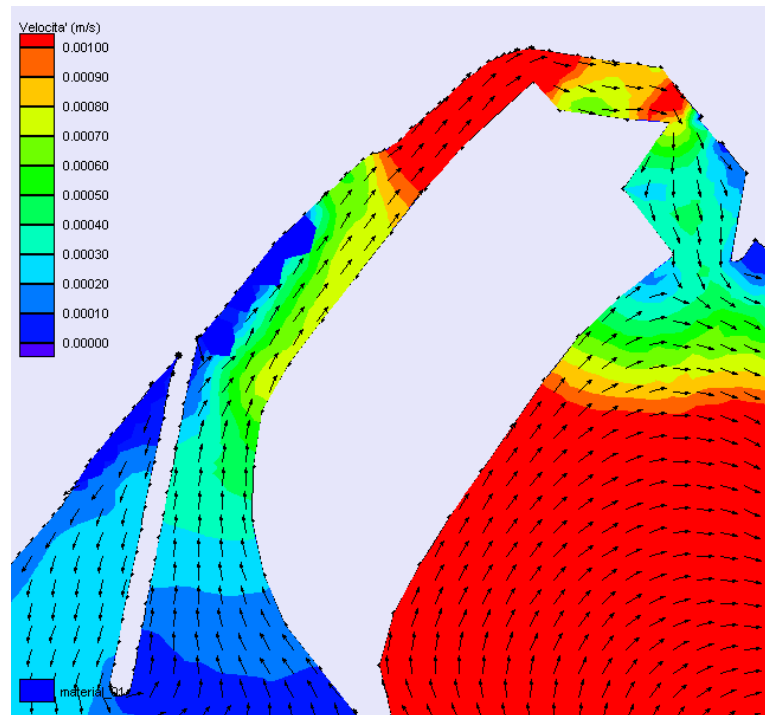


Figura 93 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 3. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 72 h

Le immagini riportate mostrano sempre la formazione della corrente longitudinale all'interno del canale di vivificazione, che segue il fenomeno di afflusso/deflusso per via della variazione del livello idrico per marea.

Le velocità globali registrate mostrano un regime correntometrico intermedio tra quelli che caratterizzano le configurazioni precedentemente analizzate.

Tali velocità confermano che il regime correntometrico individuato è conforme a con quello individuato durante le simulazioni ADCIRC (confronta l'elaborato B.3.1-SDC"Studio idrodinamico").

La formazione di una zona soggetta al prosciugamento per via dell'abbassamento del livello idrico per marea è confermata anche in questa analisi.

7.1.5 ANALISI DEI RISULTATI : CONFIGURAZIONE 4

Di seguito si riportano alcuni diagrammi temporali della grandezza velocità nei punti di controllo 6, 7 e 9 (cfr. figura 23), ritenuti significativi per la tipologia di indagine in esame.

Per la configurazione indagata, le velocità delle correnti all'interno del canale risultano intorno all'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s.

In prossimità della darsena polifunzionale (punto di controllo 6) le velocità si attestano su valori del 10^{-4} m/s.

All'interno del canale di vivificazione in prossimità della radice del pennello antisedimentazione si instaura un regime delle correnti che può raggiungere valori intorno ad 1,0 e 2,0 mm/s.

In prossimità della testata del pennello, si registrano velocità più basse, intorno ai valori dell'ordine di 10^{-4} m/s.

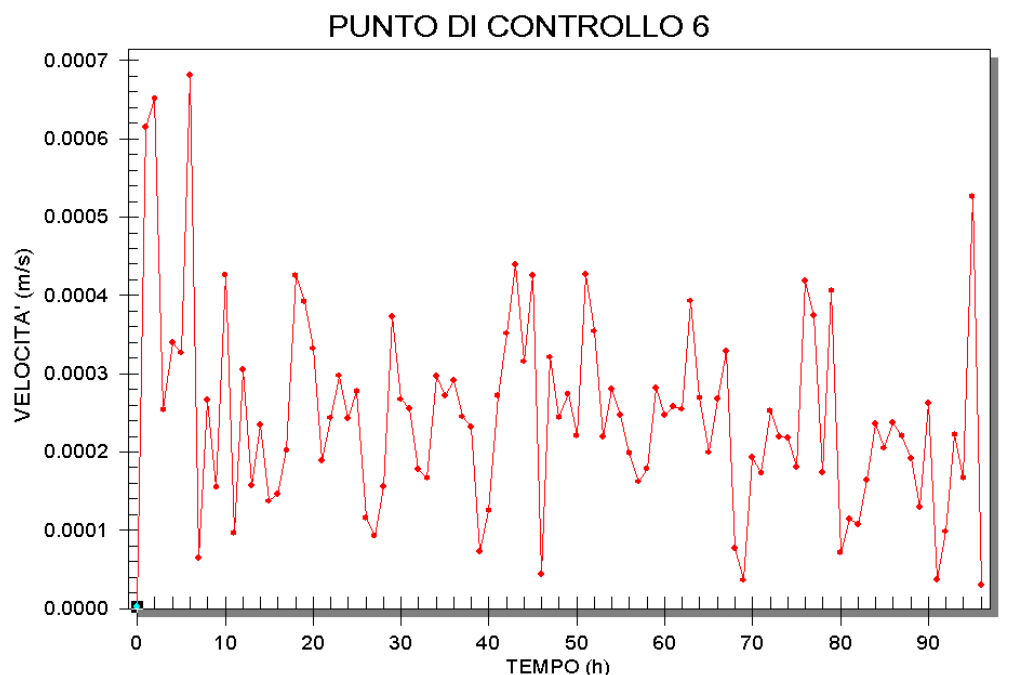


Figura 94 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 6.

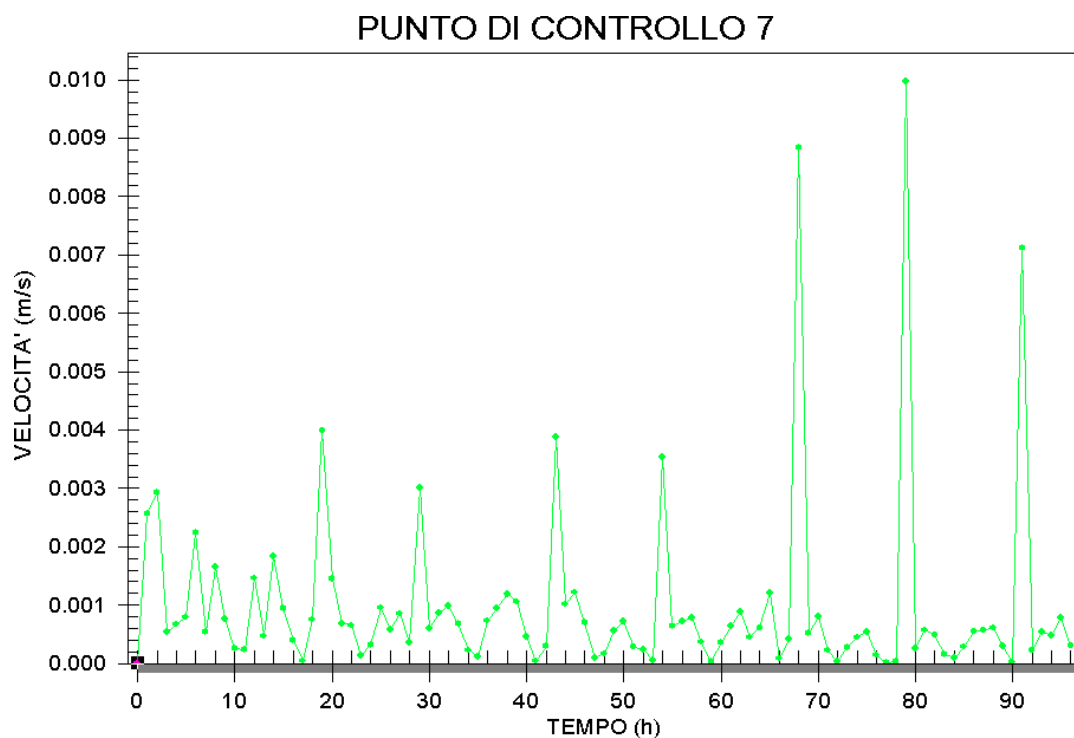


Figura 95 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 7.

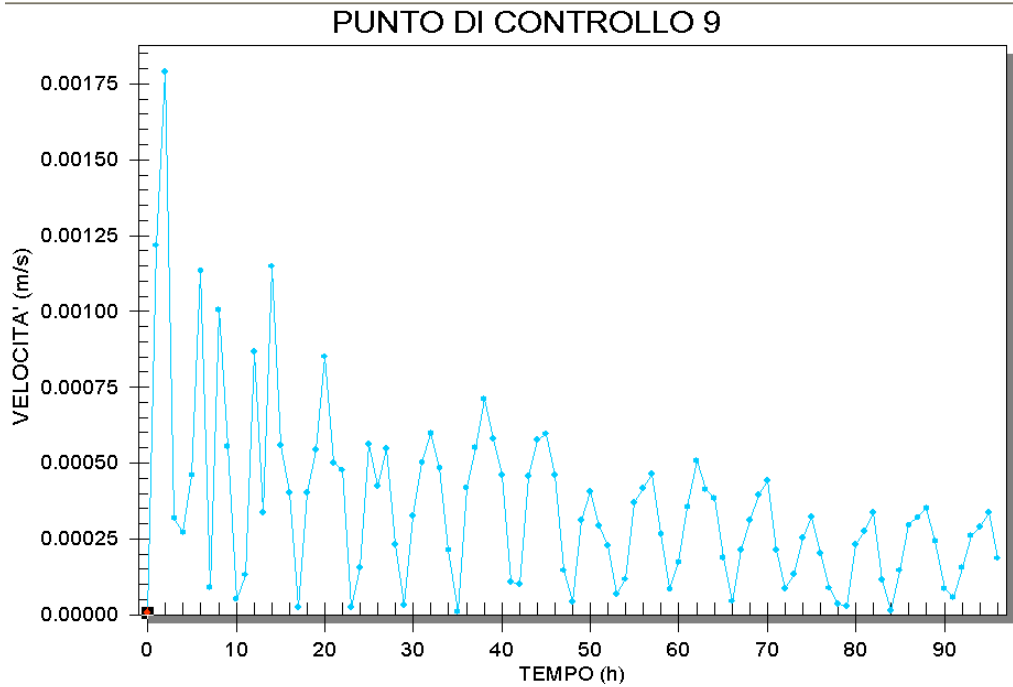


Figura 96 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 9.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall'inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trend circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso secondo la graduazione scelta è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 mm/s.

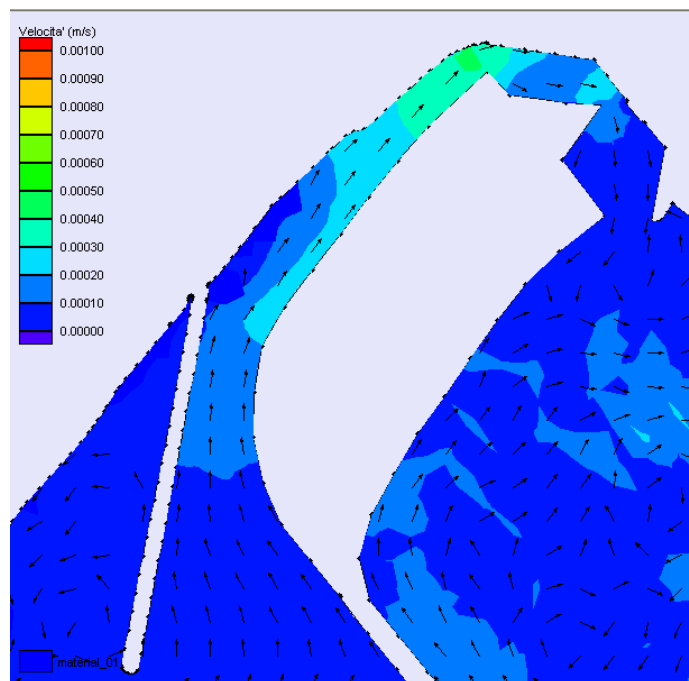


Figura 97 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 48 h

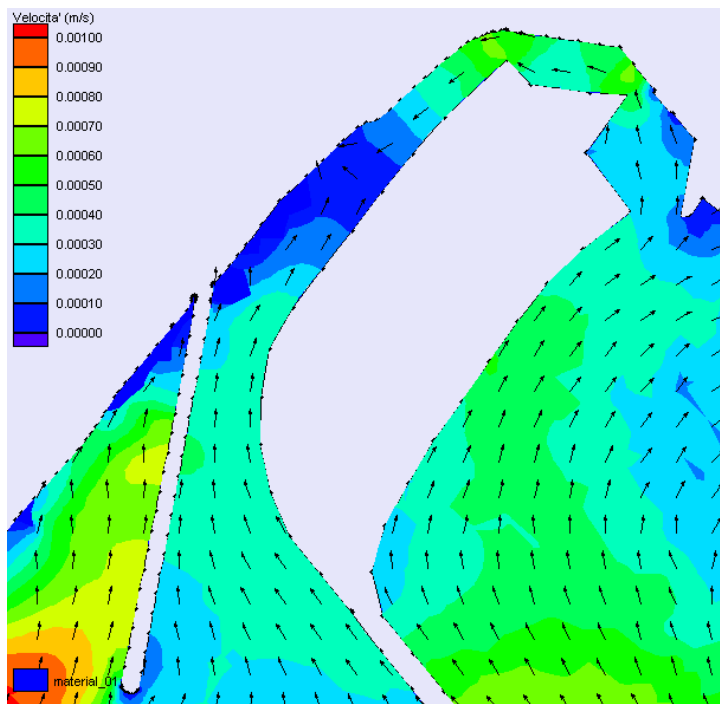


Figura 98 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 51 h

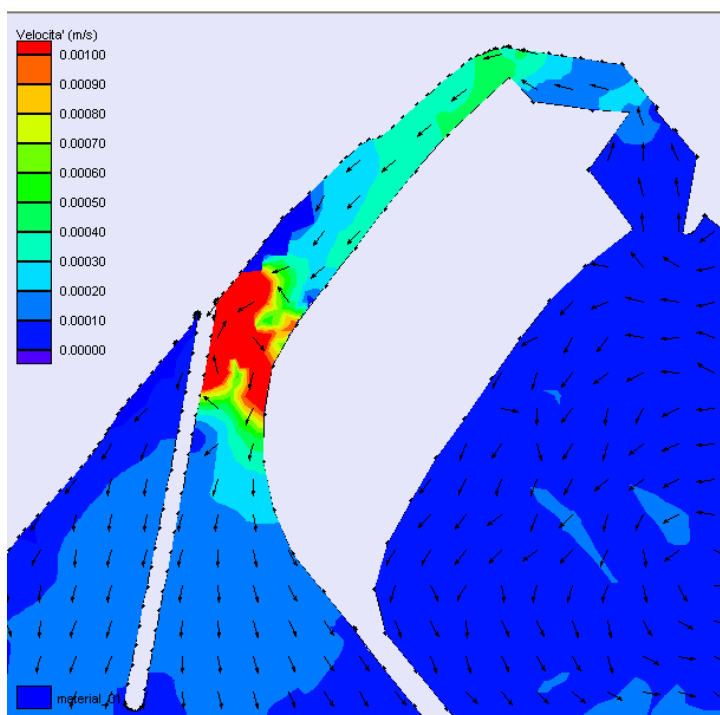


Figura 99 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 54 h

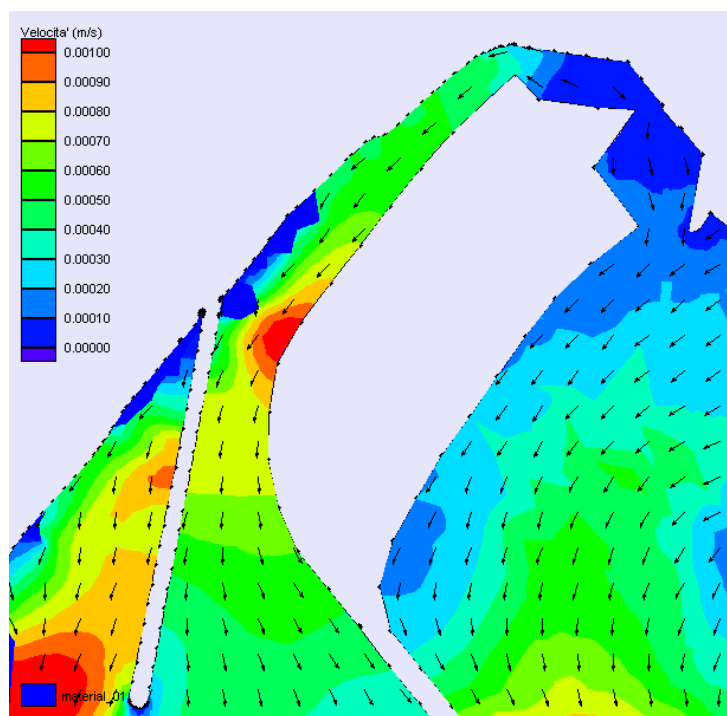


Figura 100 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 57 h

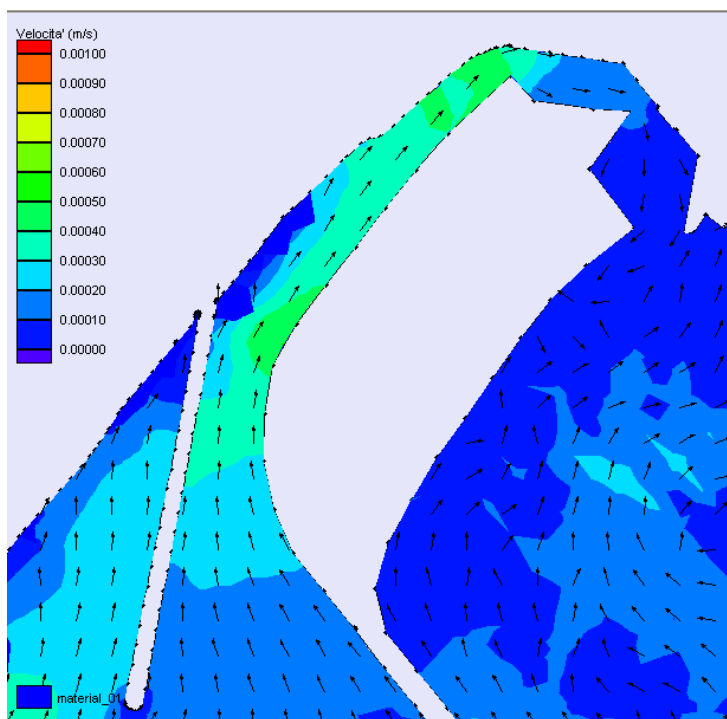


Figura 101 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 60 h

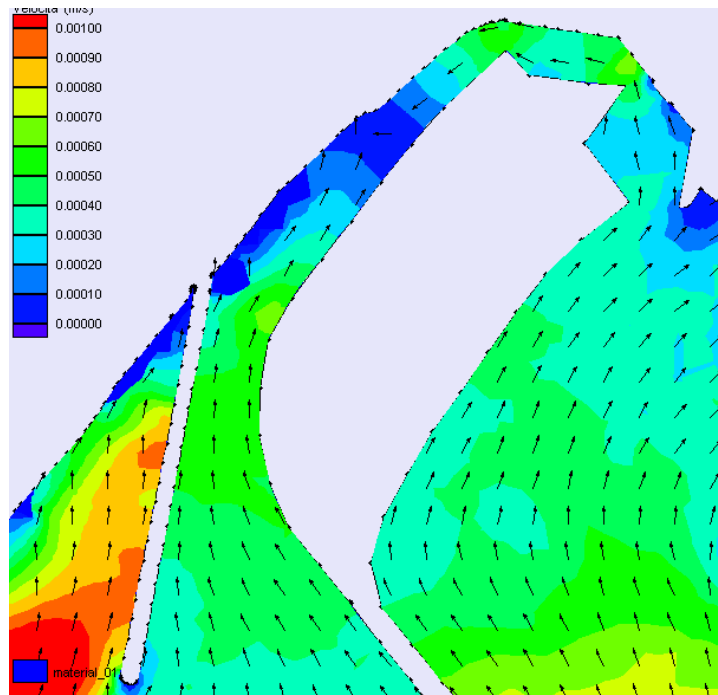


Figura 102 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 63 h

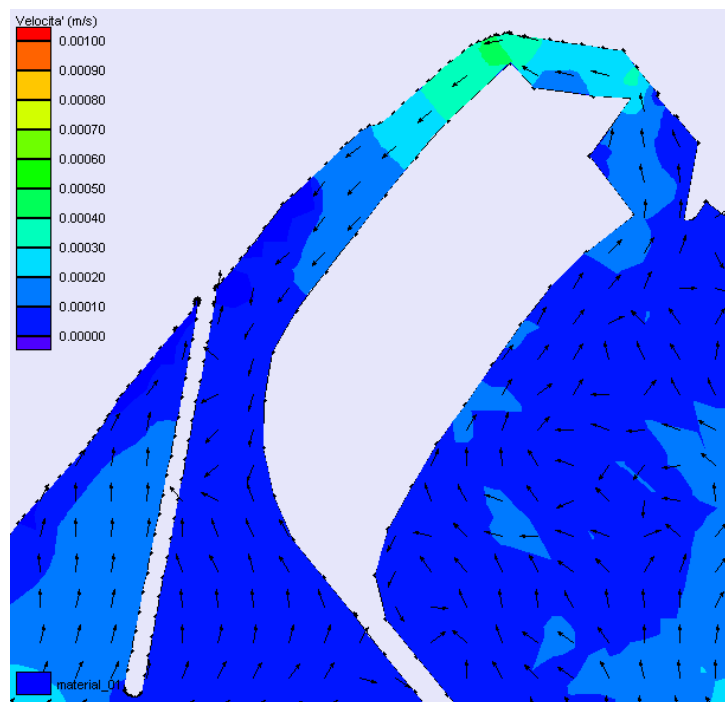


Figura 103 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 66 h

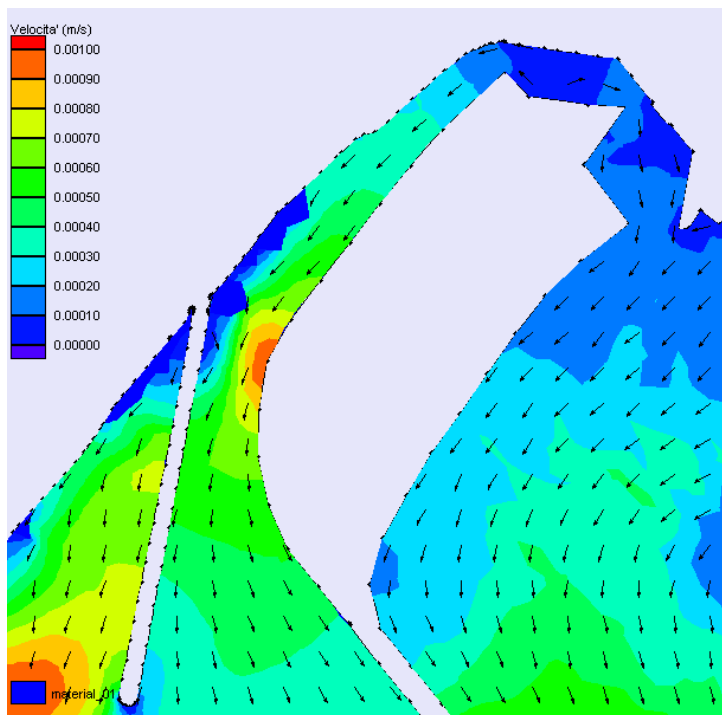


Figura 104 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 69 h

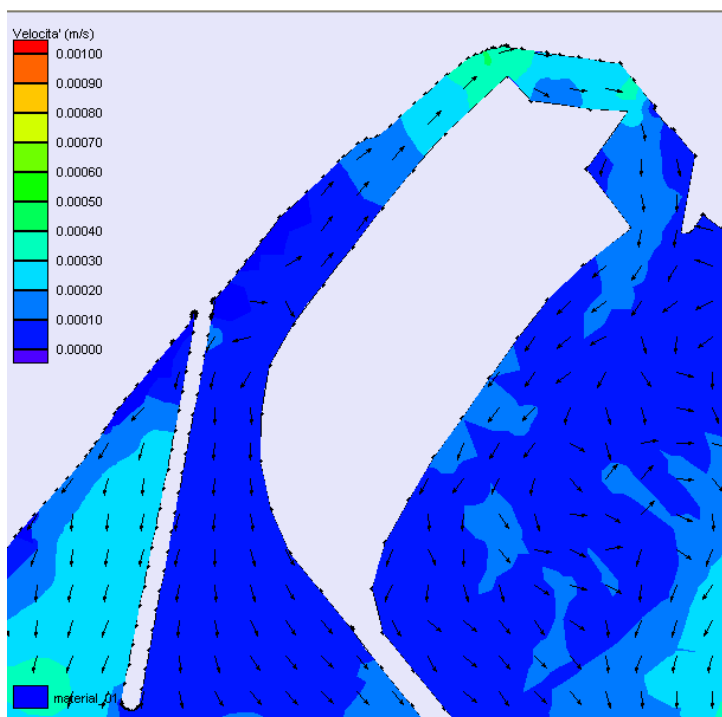


Figura 105 – Posizionamento del Pennello. Configurazione 4. Distribuzione dei vettori velocità all'interno dello specchio idrico di progetto al time step 72 h

Le immagini mostrano sempre la formazione della corrente longitudinale all'interno del canale di vivificazione, che segue il fenomeno di afflusso/deflusso per via della variazione del livello idrico per marea.

Le velocità globali registrate mostrano un regime correntometrico ridotto rispetto ai casi precedentemente analizzati.

Tali risultati confermano che il regime correntometrico individuato è conforme a con quello individuato durante le simulazioni ADCIRC (confronta l'elaborato B.4.1-SDC "Studio idrodinamico").

7.1.6 CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti a seguito delle analisi condotte sulle configurazioni analizzate è emerso che:

- In ognuno dei casi analizzati il regime correntometrico individuato è conforme a con quello individuato durante le simulazioni ADCIRC (confronta l'elaborato B.3.1-SDC "Studio idrodinamico").
- all'interno del canale di vivificazione, in ognuno dei casi analizzati, l'entità delle velocità medie sono ridotte e variabili tra 10^{-2} e 10^{-4} m/s;
- avviene la formazione di una corrente longitudinale lungo il canale di vivificazione che segue il naturale fenomeno di afflusso/deflusso provocato dalla variazione dei livelli idrici per marea;
- avviene la formazione di un terrazzamento soggetto al fenomeno del prosciugamento, a causa del fenomeno del ritiro delle acque marine per marea; tale fenomeno si localizza lungo la linea di costa in prossimità della radice del pennello antisedimentazione;
- l'allungamento del pennello lungo l'asse N/S (configurazione 2) provoca un aumento globale delle velocità all'interno del canale di vivificazione rispetto al caso base (configurazione 1)
- la rotazione del pennello verso la foce dell'Anapo (configurazione 3) provoca un regime correntometrico intermedio rispetto a quello registrato nei casi precedenti;
- la rotazione del pennello e l'allungamento dello stesso (configurazione 4) causa infine un peggioramento in termini di velocità raggiunte all'interno del canale di vivificazione.

Si conclude che la configurazione che garantisce il miglior regime idrodinamico ai è quella prevista della configurazione 2 (allungamento da 160 a 210 m lungo la direzione N/S), poiché vengono raggiunte le velocità maggiori, indicatori di un gradiente di ricambio idrico migliore.

7.2 OTTIMIZZAZIONE DEL PENNELLO ANTISEDIMENTAZIONE DEFLETTORE IN FUNZIONE DEI FENOMENI DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

A completamento delle indagini effettuate al fine di determinare la configurazione ottimale delle opere di mitigazione che garantisca il miglior livello delle qualità delle acque, è stato ritenuto idoneo condurre una valutazione della dispersione di inquinanti che dovessero accidentalmente ed eccezionalmente sversarsi in prossimità della foce del canale Regina effettuando l'osservazione nei punti di controllo di cui ai capitoli precedenti.

In particolare si è ipotizzato di verificare la capacità di protezione del pennello deflettore assunta sia nella configurazione 2 (lunghezza 210 m, direzione N/S; cfr.

figura 113) sia nella configurazione 4 (lunghezza 210 m, direzione 10°N/190°N; cfr. figura 114)

Per la valutazione dei processi di avvezione e diffusione all'interno dei bacini idrici è stato utilizzato il modello di calcolo RMA4, sviluppato a partire dal 1973 dall'US ERDC WES Coastal and Hydraulics Laboratory.

7.2.1 MODELLO DI CALCOLO

RMA4 è un modello matematico bidimensionale agli elementi finiti nel quale la distribuzione della concentrazione viene assunta costante col variare della profondità.

La forma dell'equazione di governo per il trasporto nelle profondità medie è la seguente:

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

dove:

- h = profondità dell'acqua
- c = concentrazione d'inquinante per un dato costituente
- t = tempo
- u, v = velocità nelle direzioni x e y
- D_x, D_y = coefficiente di dispersione
- k = decadimento del primo ordine dell'inquinante
- σ = sorgente del costituente
- R(c) = indice di pioggia/evaporazione.

Il modello utilizza gli stessi domini di calcolo di RMA2. Anche in questo caso è stata utilizzata in via cautelativa come forzante l'oscillazione di marea astronomica.

Per le applicazioni di studio che seguono sono stati realizzati outputs grafici dinamici che evidenziano macroscopicamente l'andamento dei parametri di seguito sintetizzati.

7.2.2 APPLICAZIONI EFFETTUATE PER LA VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI RICAMBIO IDRICO E DI DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

In ogni simulazione è stato simulato lo sversamento di una concentrazione di un inquinante costante di 100 ppm per un periodo di tempo di circa 6 ore dalla foce del canale Regina; di seguito si riporta lo schema per l'individuazione della localizzazione dei punti di controllo (in rosso) sia del punto di sversamento (in verde).

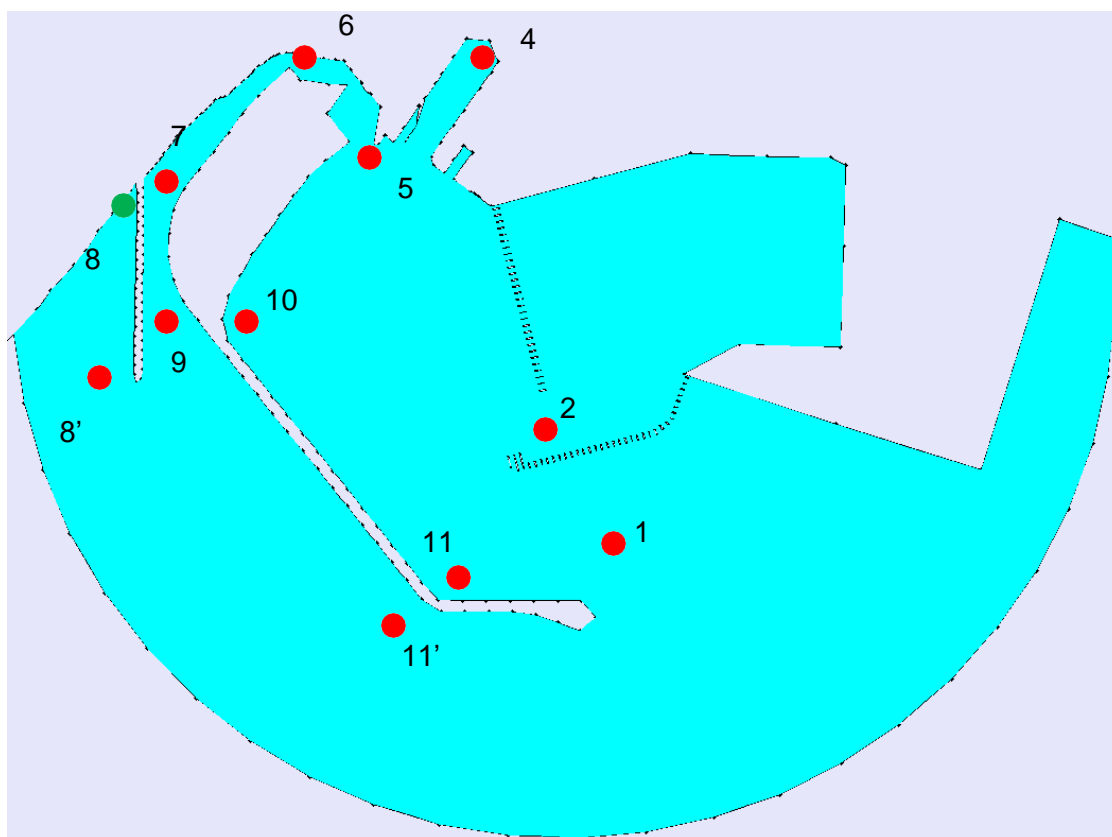


Figura 106 – Distribuzione planimetrica del punto di sversamento (in verde) e dei punti di controllo (in rosso) all'interno dello specchio idrico di progetto.

Si osserva che rispetto allo schema adottato nelle precedenti simulazioni, sono stati introdotti altri due punti di controllo:

- il punto di controllo 8', presso la testata del pennello
- il punto 11', all'esterno del molo foraneo.

Di seguito si riporta sia il diagramma temporale della fonte inquinante.

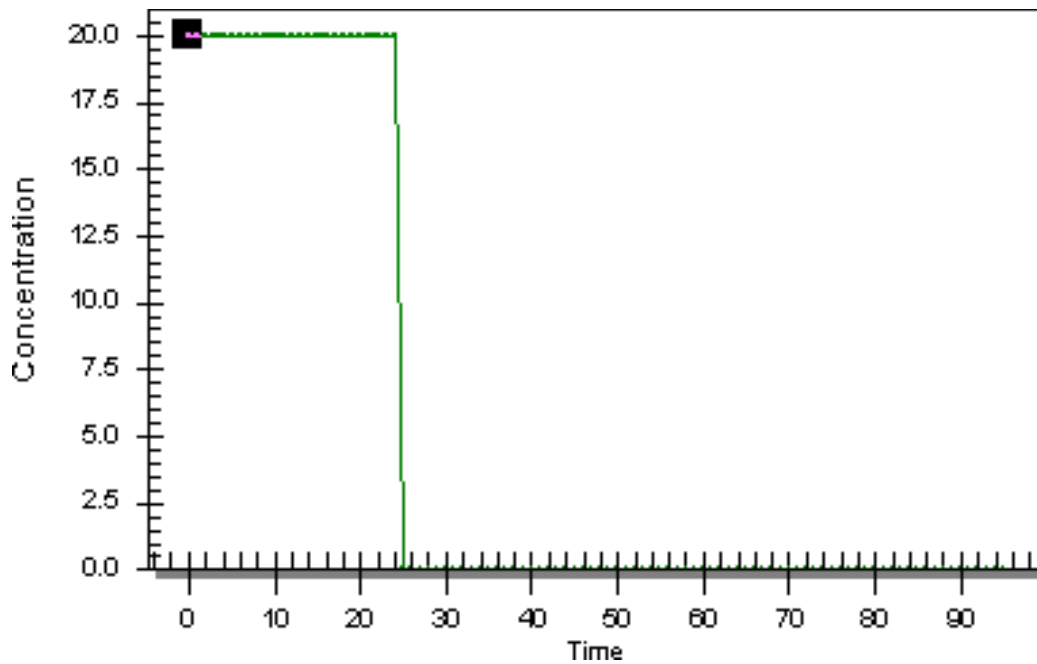


Figura 107 – Diagramma temporale della fonte inquinante.

Le simulazioni sono relative ad un periodo di 96 ore, caratterizzate da un time step pari a quello utilizzato nelle simulazioni RMA2.

Infine si è posta la temperatura dell'acqua pari a 15 °C.

Per ognuna delle due configurazioni indagate, sono stati estratti dai risultati numerici sia l'andamento temporale dei livelli di concentrazione in ognuno dei punti di controllo già utilizzati nelle simulazioni di tipo idrodinamico, sia le mappe tematiche relativi agli step temporali significativi.

7.2.3 RISULTATI RELATIVI ALLA CONFIGURAZIONE 2

Di seguito si riportano i diagrammi temporali in alcuni dei punti di controllo (punti di controllo 1,2,4,5,6,7,9,10,11,8',11') ritenuti significativi in seno alle simulazioni relative allo sversamento di inquinante dalla foce del canale Regina (punto di controllo 8), secondo la configurazione 2.

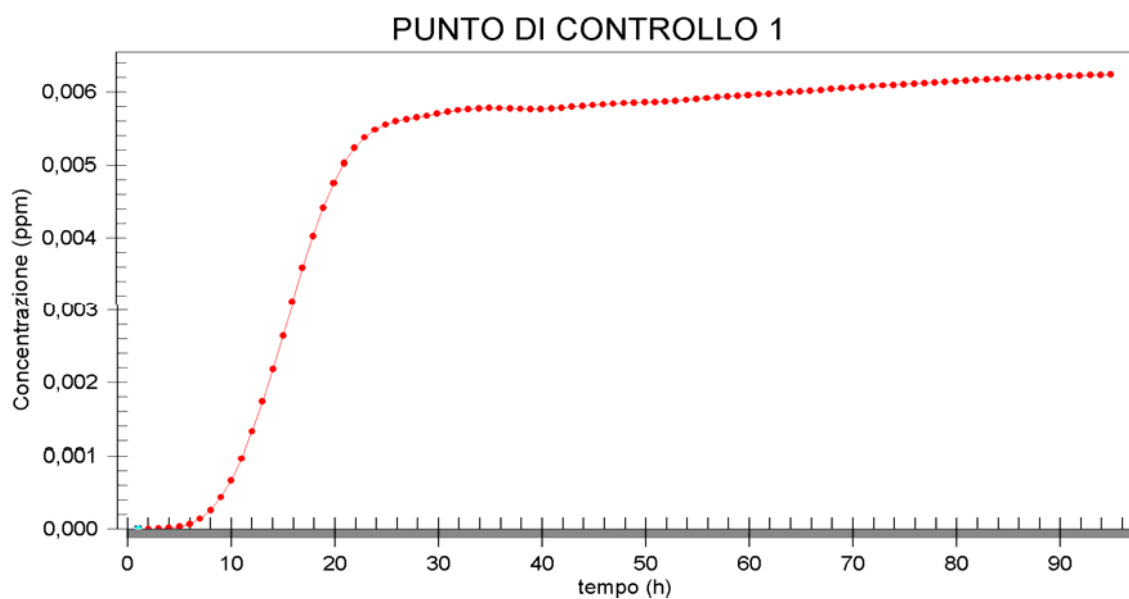


Figura 108 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 1

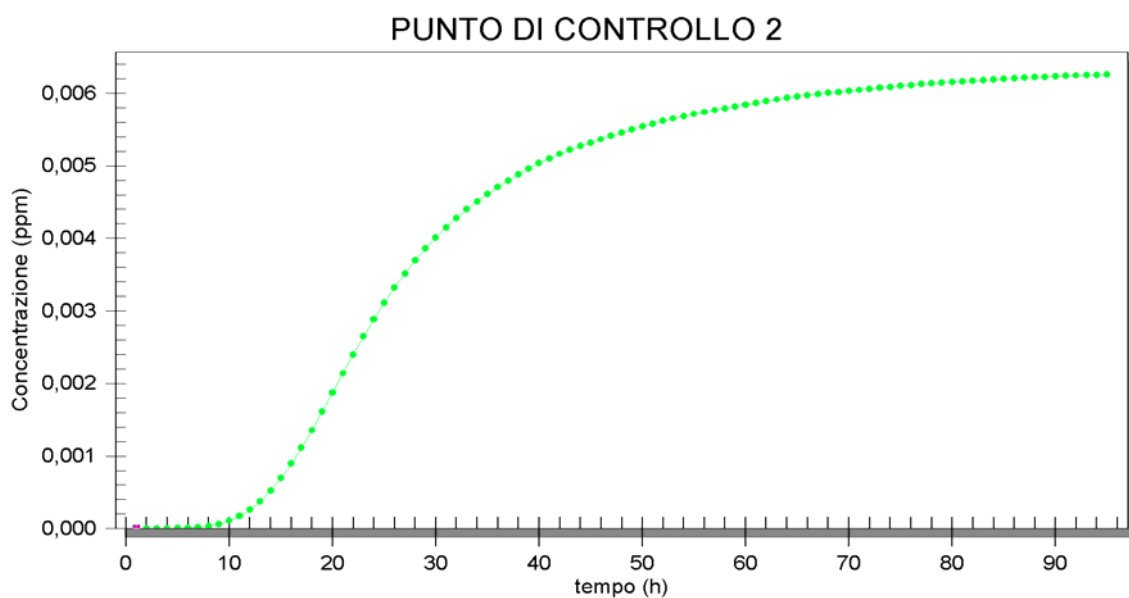


Figura 109 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 2

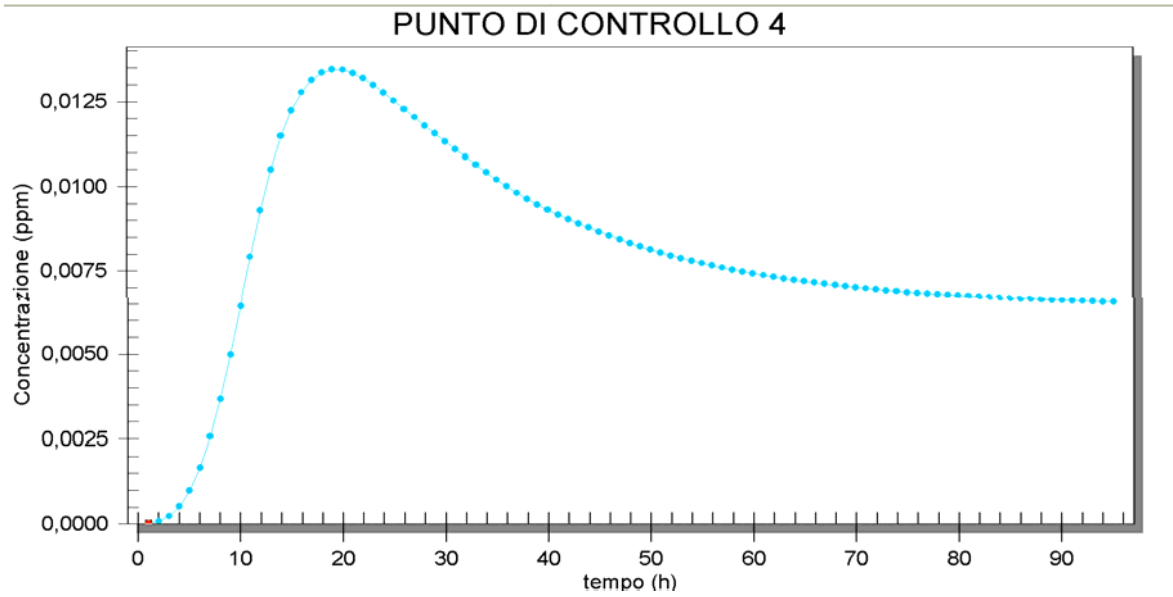


Figura 110 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 4

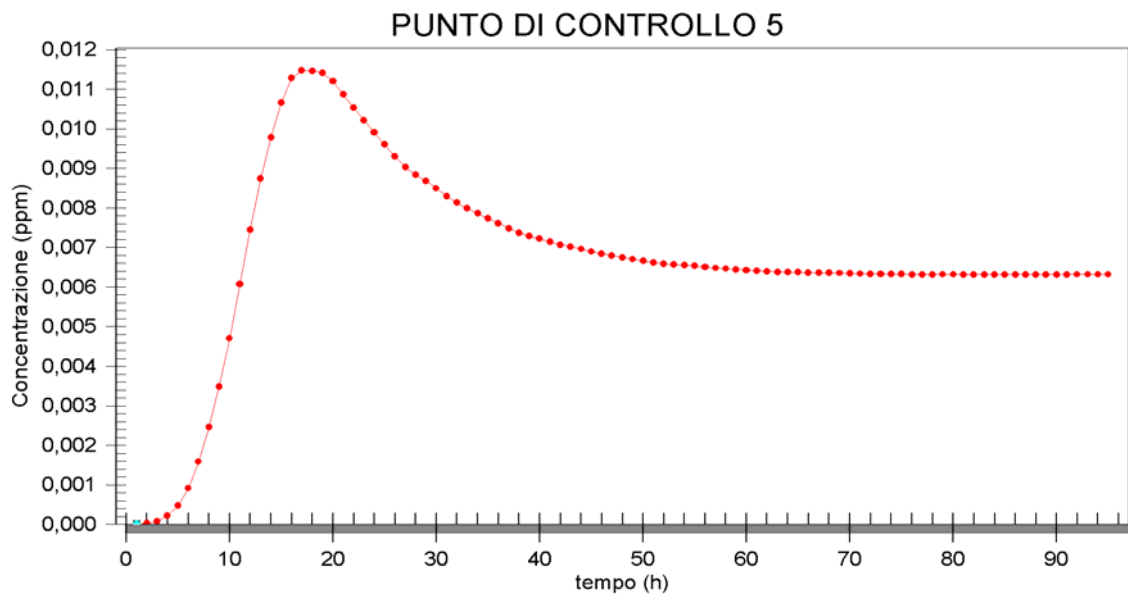


Figura 111 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 5

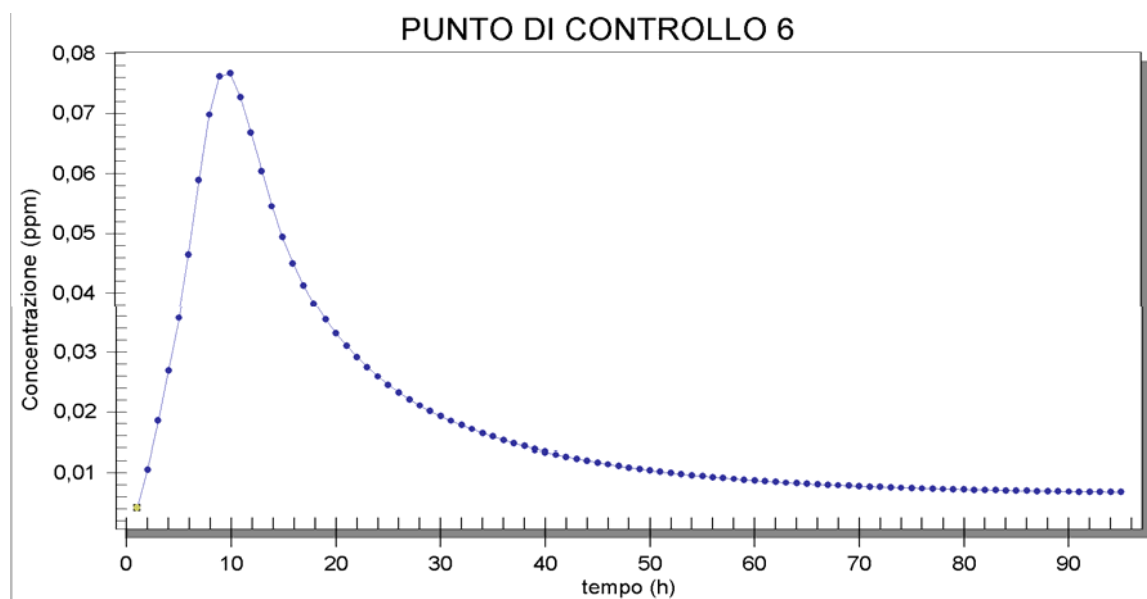


Figura 112 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 6

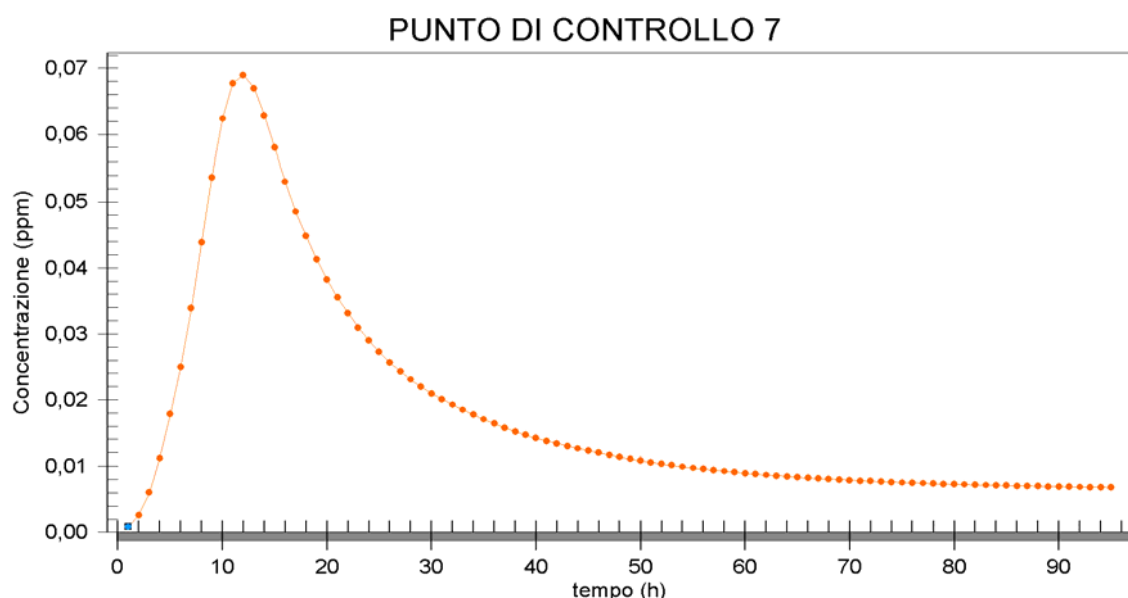


Figura 113 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 7

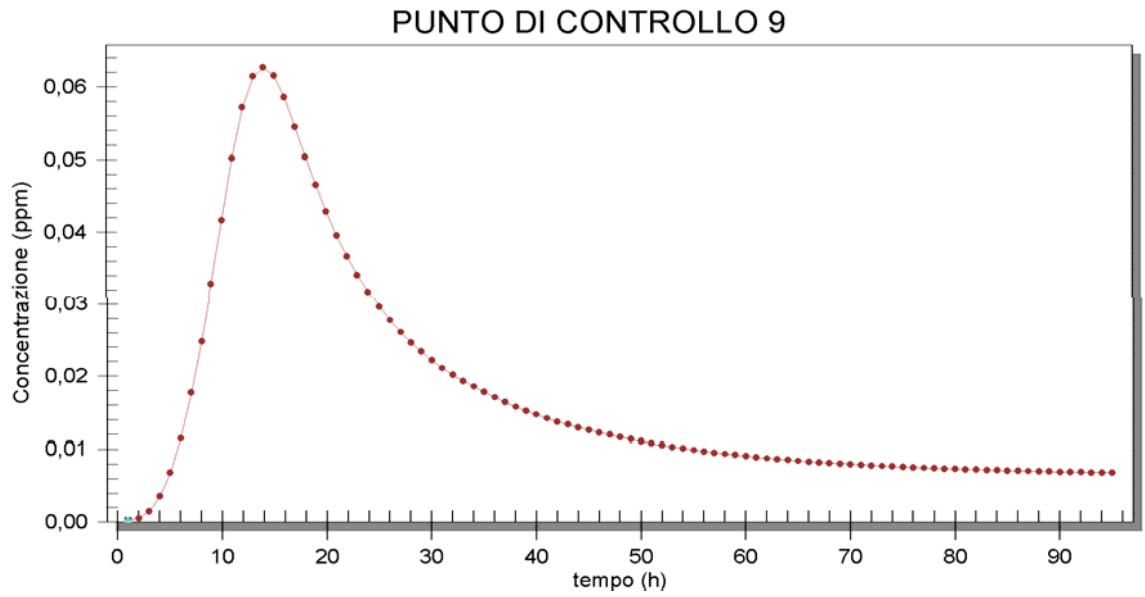


Figura 114 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 9

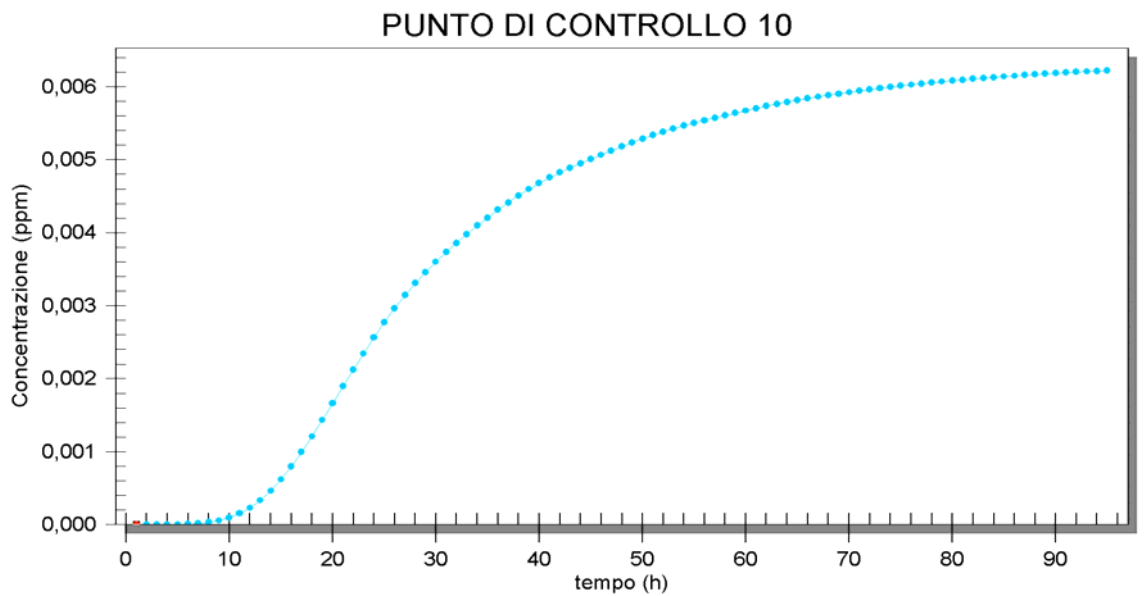


Figura 115 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 10

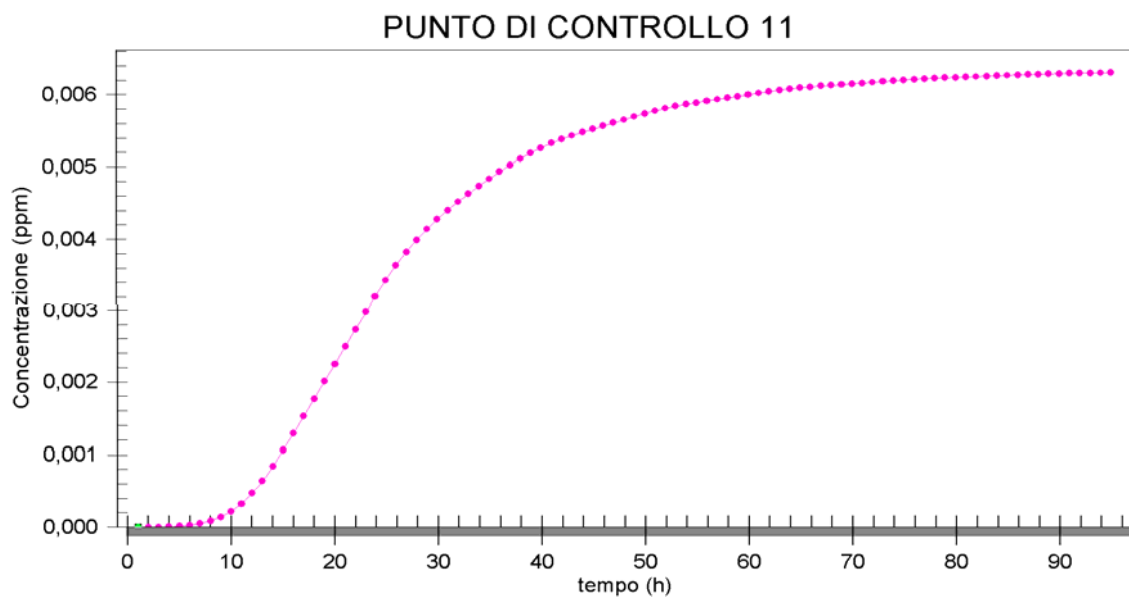


Figura 116 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 11

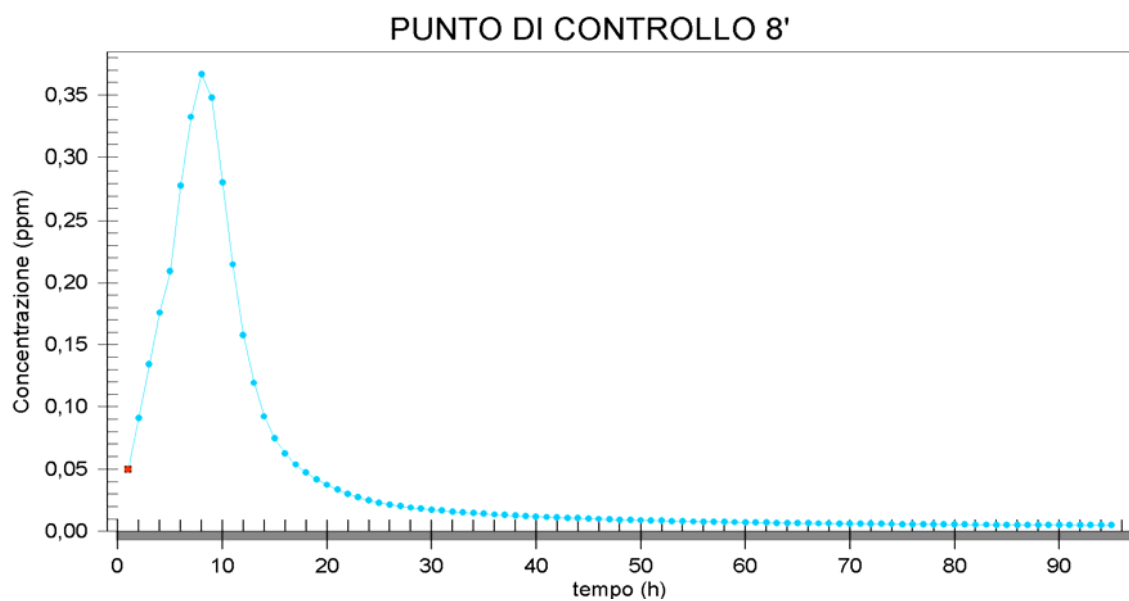


Figura 117 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 8'

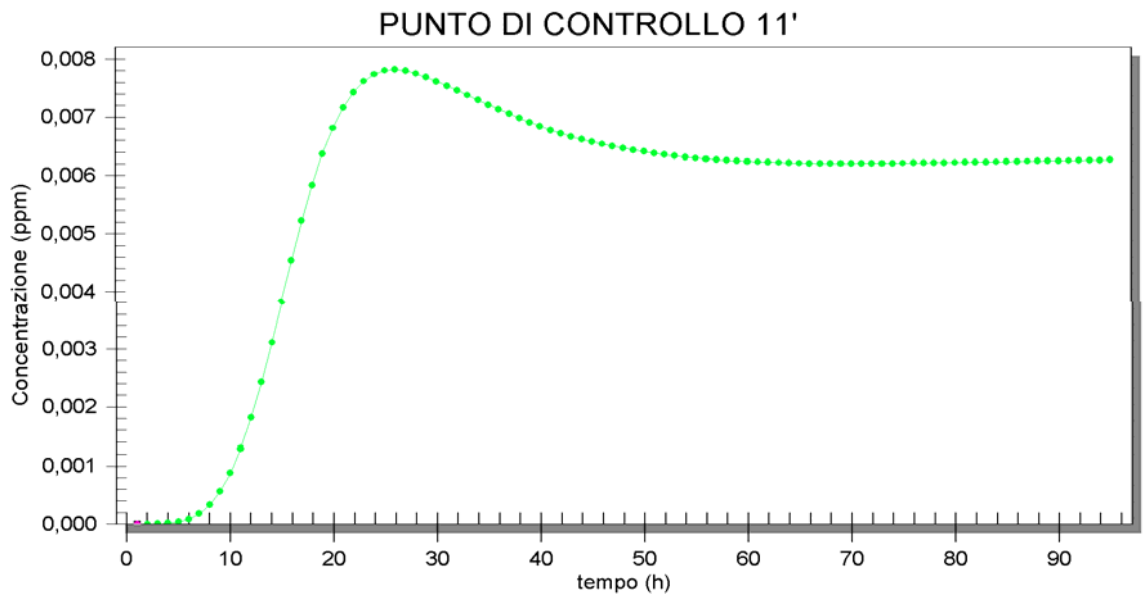


Figura 118 – Configurazione 2. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 11'

Dai diagrammi sopra riportati si evincono due diversi trend di diffusione.

Il primo trend è caratterizzato da una legge avente un ramo ascendente fino al valore di concentrazione di picco seguito da un ramo di esaurimento fino al valore di concentrazione residua; il picco di massimo viene raggiunto in circa 15-20 ore; tale legge caratterizza i punti di controllo più prossimi alla sorgente inquinante.

Il secondo trend è caratterizzato invece da un ramo asintotico di accrescimento, con il raggiungimento di valore di concentrazione residua; tale legge caratterizza i punti di controllo più distanti dalla sorgente inquinante.

Per i punti più prossimi alla sorgente, i picchi massimi di concentrazione risultano compresi tra 0,35 e 0,01 ppm, che corrispondono rispettivamente 0,35% e allo 0,01 % alla concentrazione iniziale dell'inquinante alla sorgente

Per gli stessi punti, i valori di concentrazione residua si attestano intorno a 0,008 ppm, pari a circa allo 0,008% della concentrazione iniziale dell'inquinante alla sorgente.

Tale valore residuo viene raggiunto già dopo circa 70 ore dall'inizio dell'evento.

Per i punti più distanti alla sorgente, il valore asintotico di concentrazione residua viene raggiunto in circa 70 ore.

Tale valore si attesta intorno al valore 0,006 ppm, che corrisponde a circa 0,006% della concentrazione di inquinante alla sorgente.

Si osserva che i valori di concentrazioni di picco e residui osservati sono alquanto ridotti e non preoccupanti.

Infatti, oltre a bassi valori di concentrazione, si registrano tempi sufficientemente alti che consentono la realizzazione di interventi di conterminazione tramite l'uso di idonei dispositivi antinquinamento.

Di seguito si riportano le mappe tematiche relative ai livelli di concentrazione simulati per i time steps significativi, che confermano i trend appena descritti.

Si osserva che la scala cromatica associa al colore blu scuro i valori di concentrazione uguali a 100 ppm e al celeste valori di concentrazione nulli.

In particolare da queste mappe è possibile osservare sia i gradienti di diffusione sia i gradienti di dispersione.

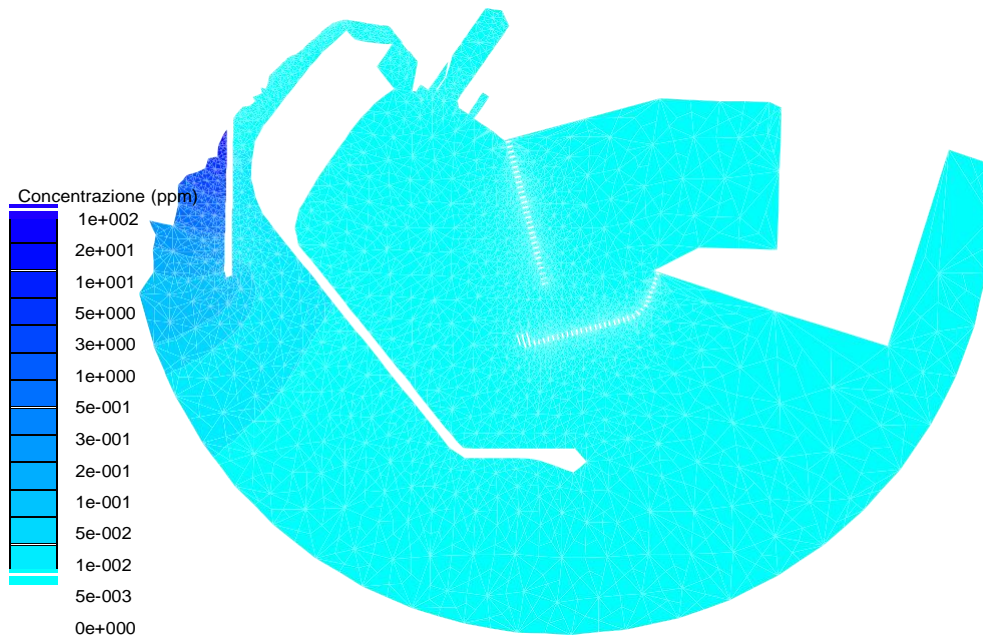


Figura 119 – Configurazione 2. Distribuzione dei livelli di concentrazione all'interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 1h

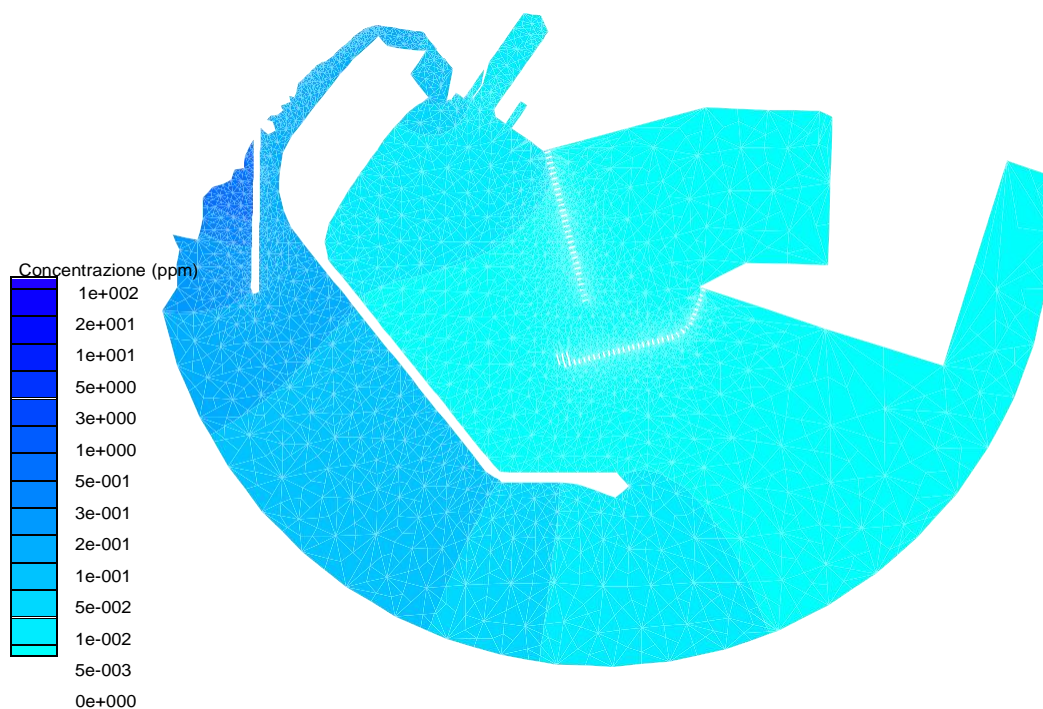


Figura 120 – Configurazione 2. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 12h

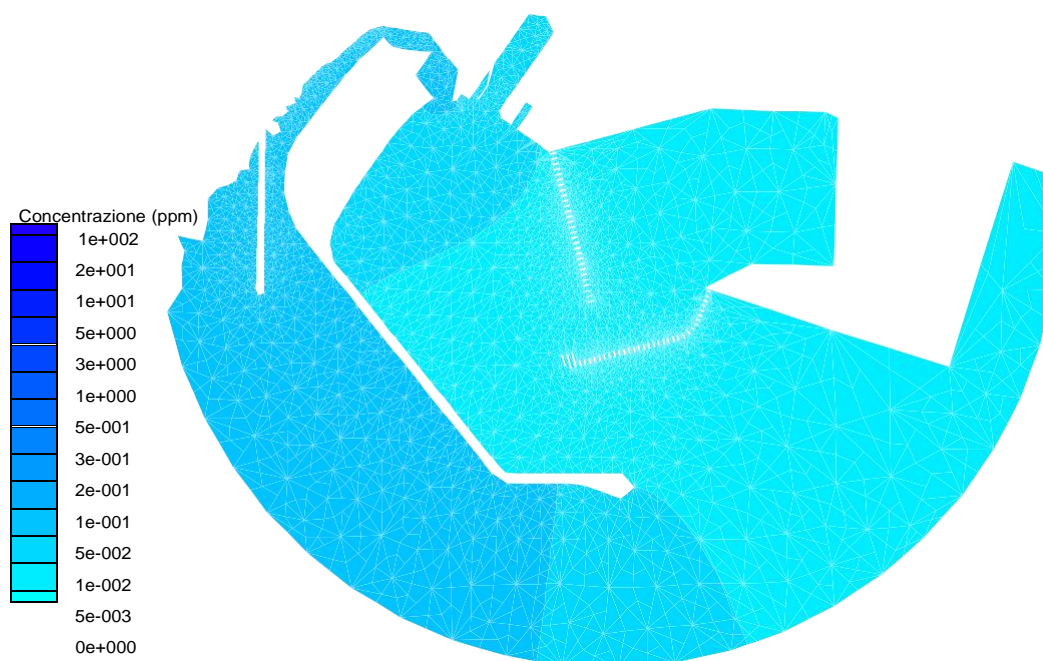


Figura 121 – Configurazione 2. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 24h.



Figura 122 – Configurazione 2. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 36h

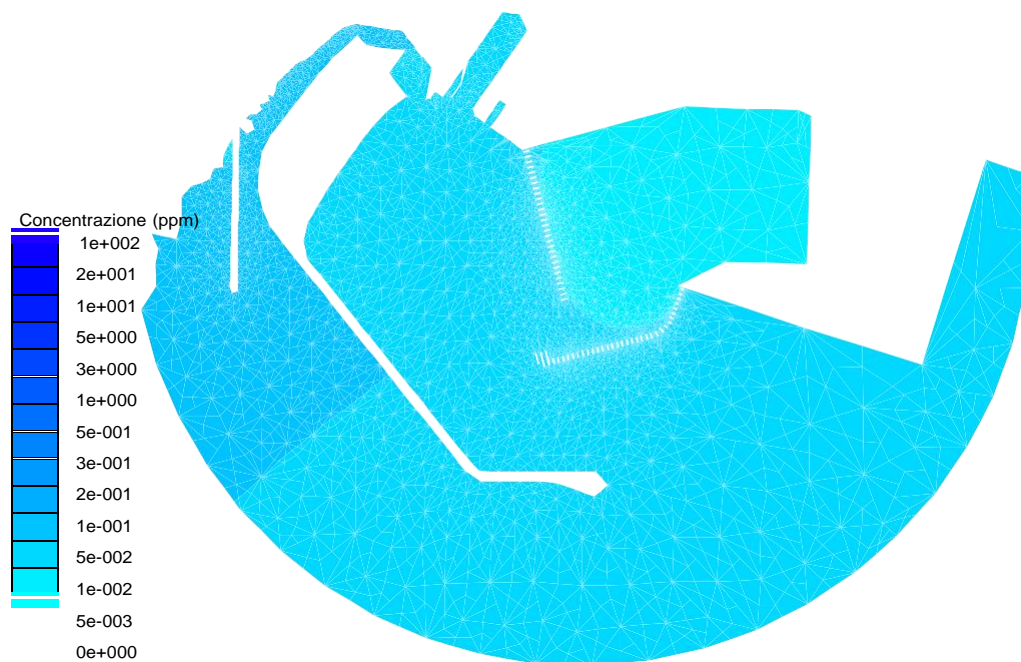


Figura 123 – Configurazione 2 . Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 48h

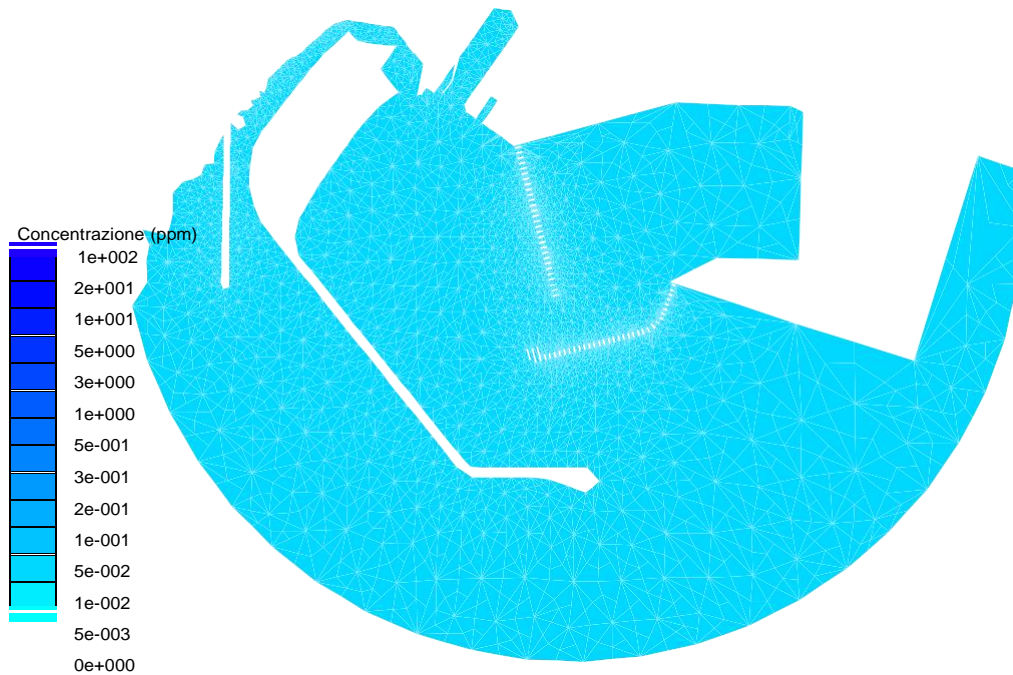


Figura 124 – Configurazione 2 . Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 60h

Le immagini riportate mostrano i gradienti di diffusione e di decadimento dell'inquinante.

Come già osservato i picchi di concentrazione che raggiungono la testata del pennello hanno subito un abbattimento percentuale notevole rispetto il valore alla sorgente per via del regime correntometrico che caratterizza la configurazione indagata.

Si osserva come il valore residuo di concentrazione viene raggiunto in tutti i punti dello specchio acqueo indagato in circa 60 ore.

Si conviene quindi che il pennello deflettore così come previsto secondo la configurazione 2 esplica un livello di protezione abbastanza elevato.

7.2.4 RISULTATI RELATIVI ALLA CONFIGURAZIONE 4

Di seguito si riportano i diagrammi temporali in alcuni dei punti di controllo (punti di controllo 1,2,4,5,6,7,9,10,11,8',11') ritenuti significati in seno alle simulazioni relative allo sversamento di una sostanza inquinante dalla foce del canale Regina (punto di controllo 8), secondo la configurazione 4.

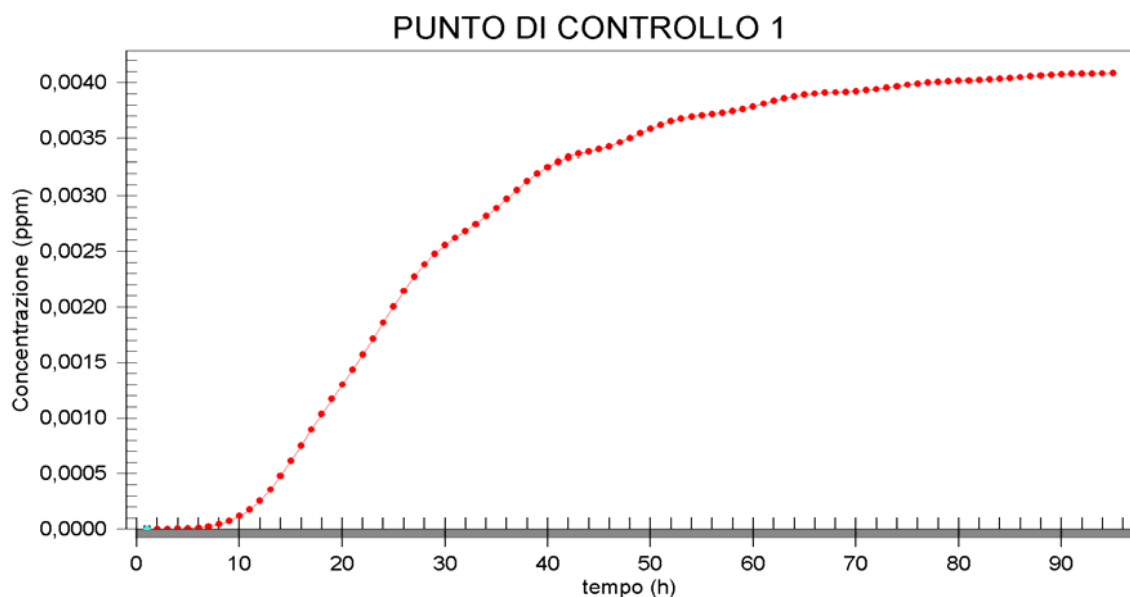


Figura 125 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 1

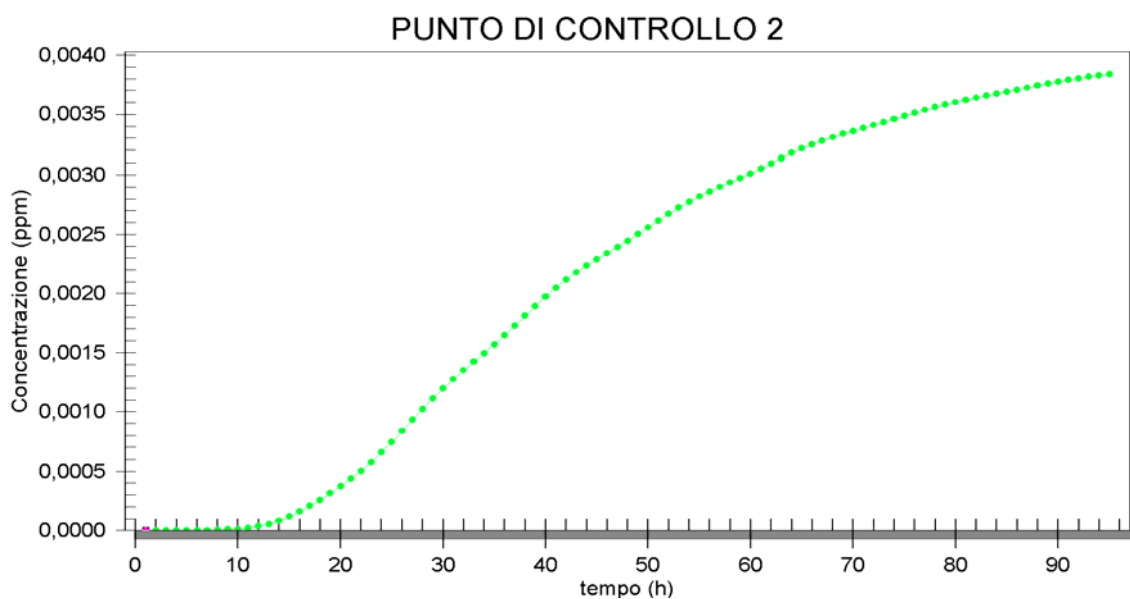


Figura 126 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 2

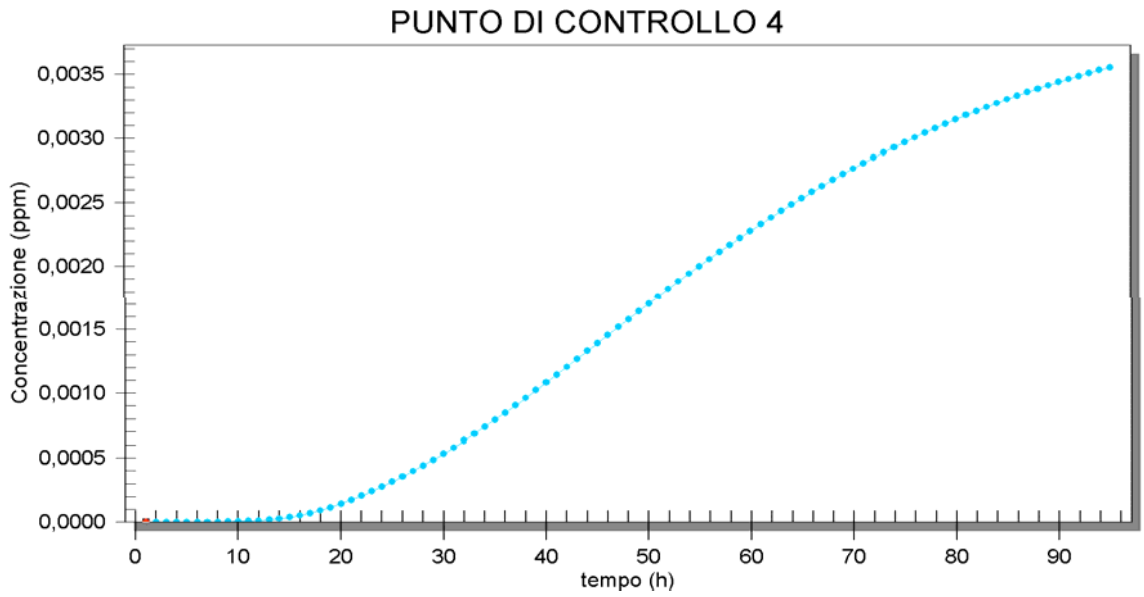


Figura 127 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 4

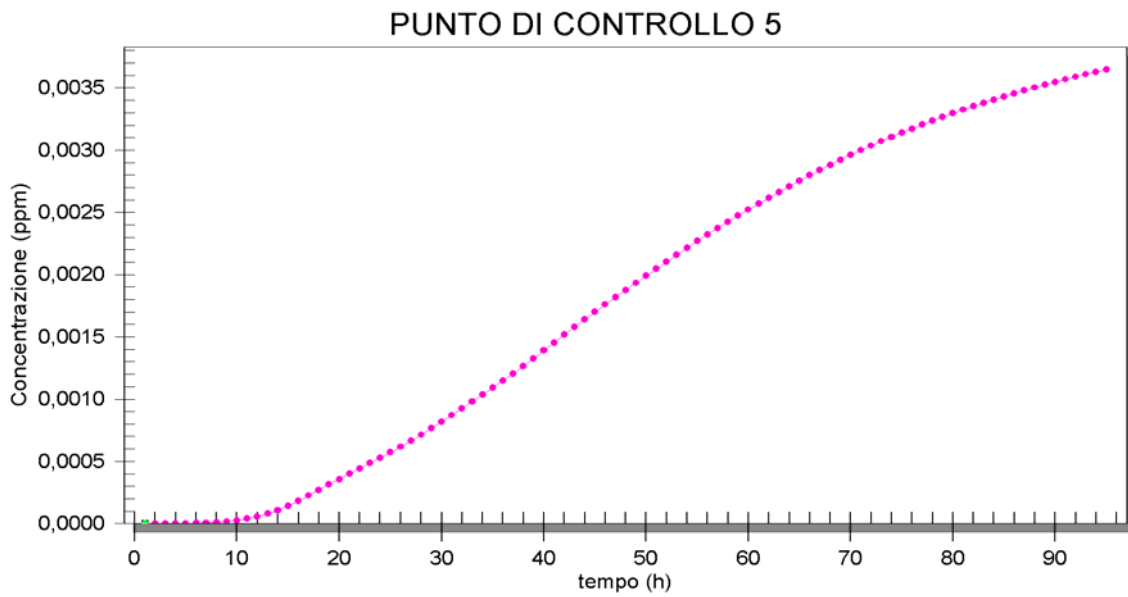


Figura 128 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 5

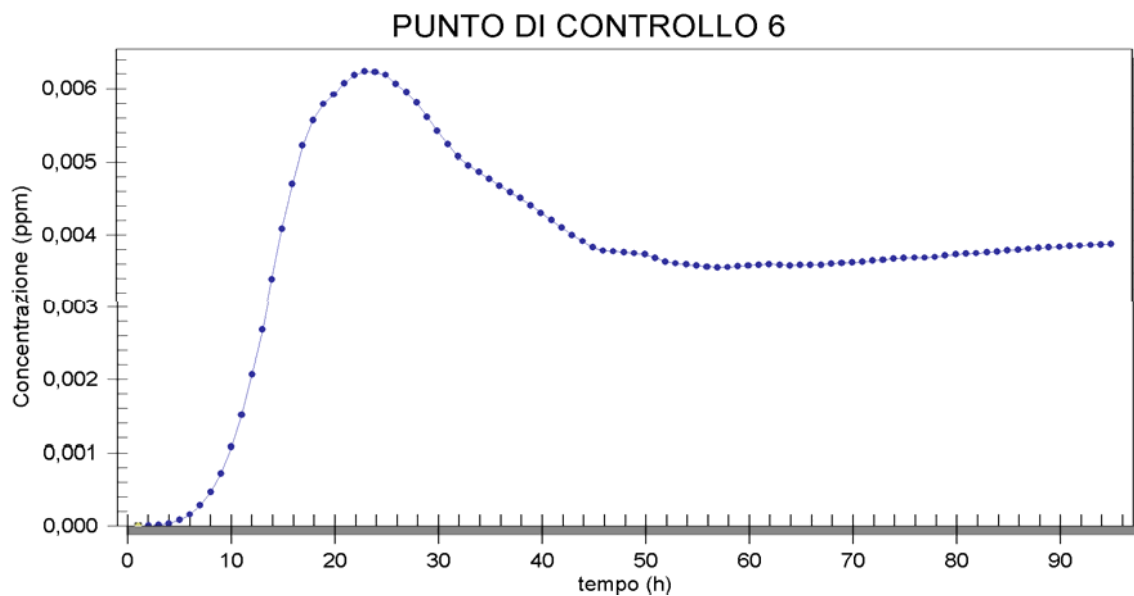


Figura 129 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 6

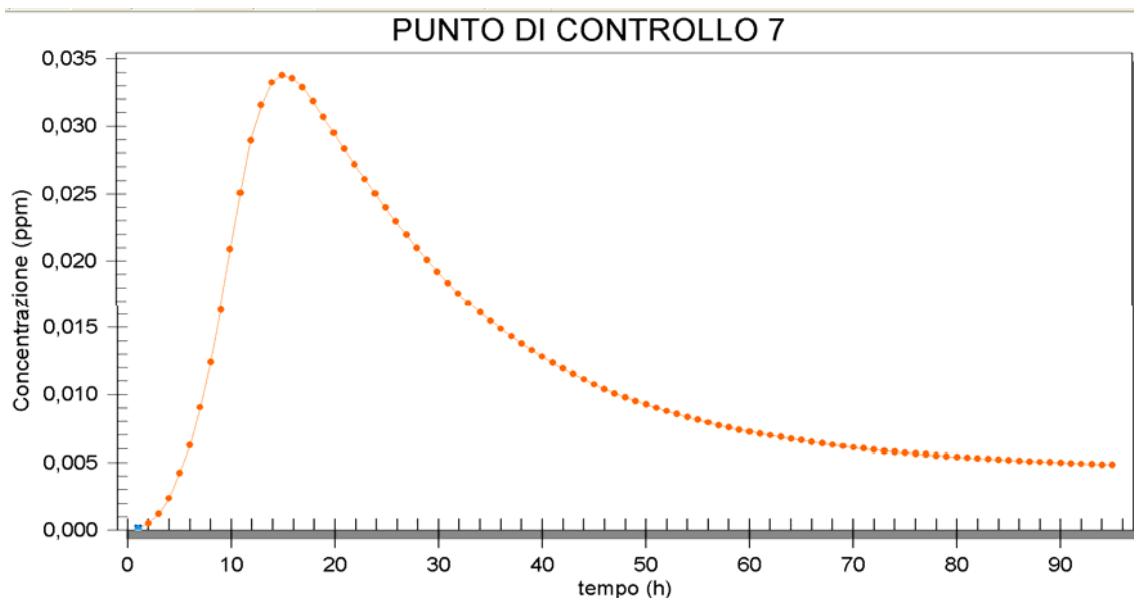


Figura 130 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 7

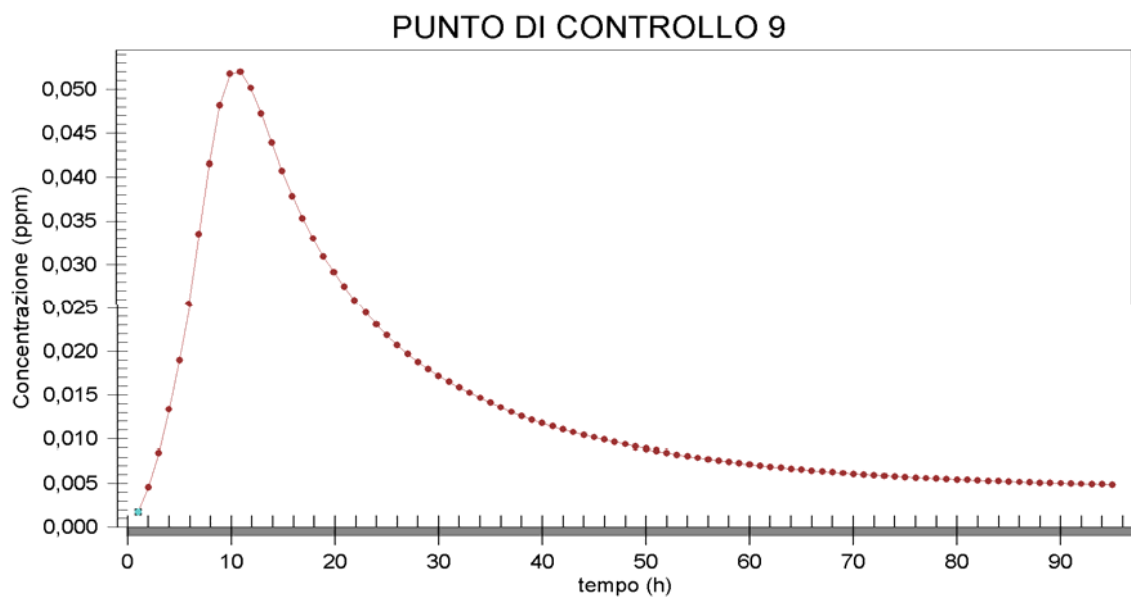


Figura 131 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 9

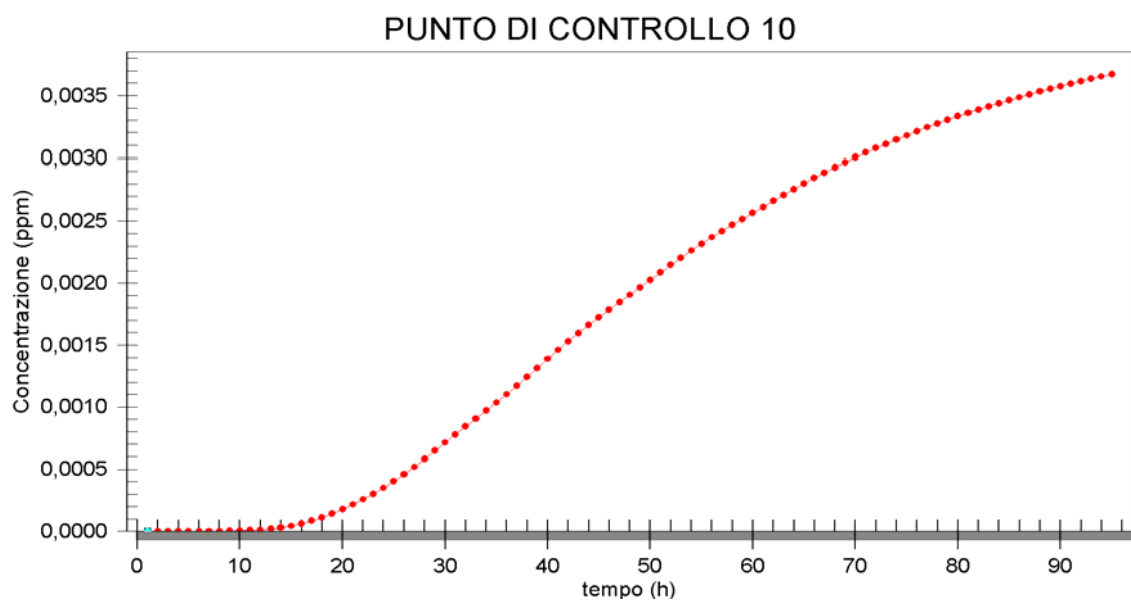


Figura 132 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 10

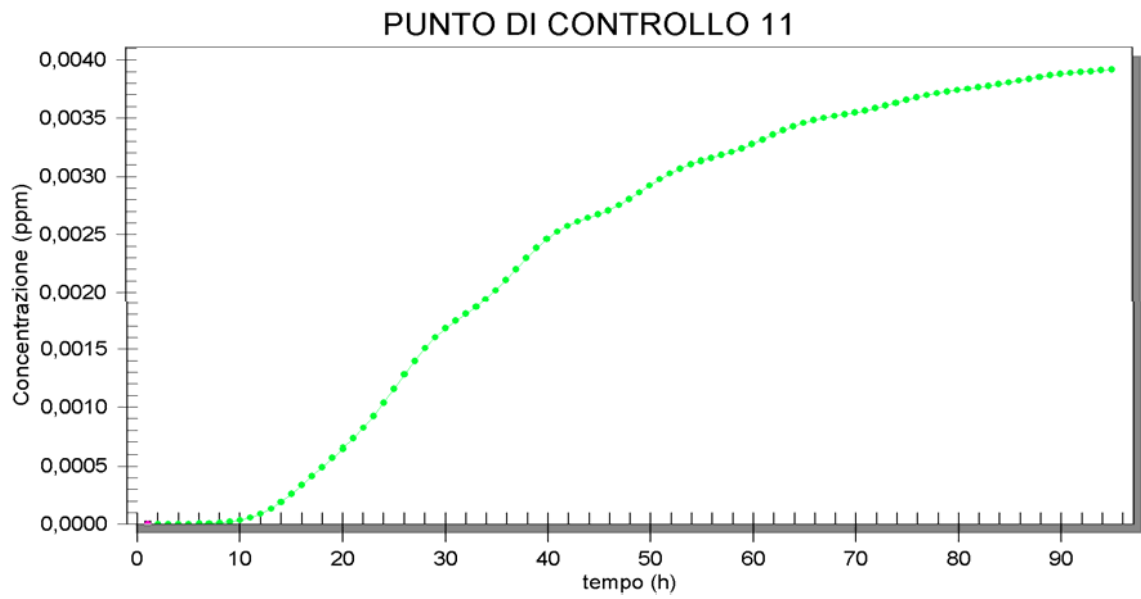


Figura 133 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 11

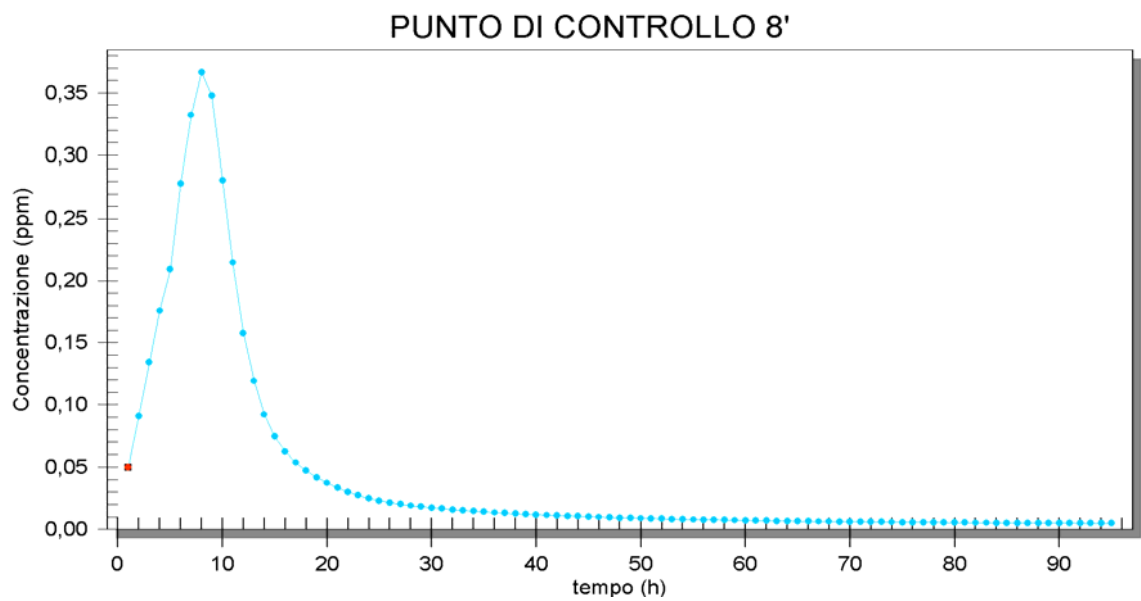


Figura 134 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 8'

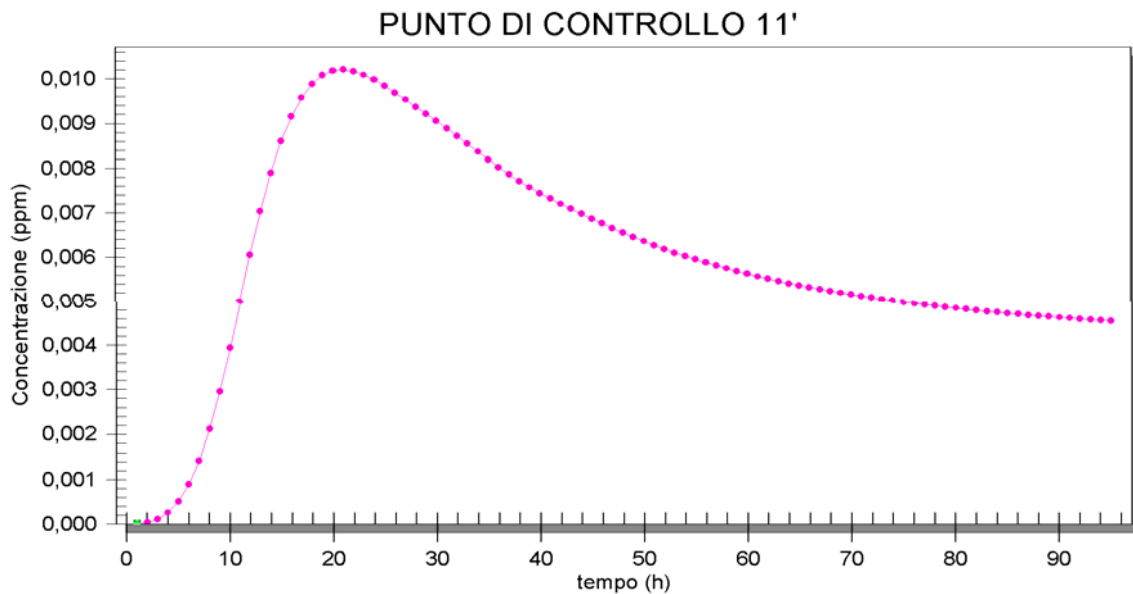


Figura 135 – Configurazione 4. Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 11'

Dai diagrammi sopra riportati si evincono ancora i due diversi trend di diffusione già descritti nel paragrafo precedente.

Per i punti più prossimi alla sorgente, i picchi massimi di concentrazione risultano compresi tra 0,08 e 0,01 ppm, che corrispondono rispettivamente 0,008% e allo 0,001 % alla concentrazione iniziale dell'inquinante alla sorgente

Per i punti più prossimi alla sorgente, i valori di concentrazione residua si attestano intorno a 0,005 ppm, pari a circa 0,005% della concentrazione iniziale dell'inquinante alla sorgente.

Tale valore residuo viene raggiunto già dopo circa 80 ore dall'inizio dell'evento.

Per gli stessi punti, il valore asintotico di concentrazione residua viene raggiunto in circa valore 80 ore.

Tale valore si attesta intorno al valore 0,006 ppm, che corrisponde a circa al 0,006% della concentrazione di inquinante alla sorgente.

Si osserva che i valori di concentrazioni di picco e residui osservati sono alquanto ridotti e non preoccupanti.

Di seguito si riportano le mappe tematiche relative ai livelli di concentrazione simulati per i time steps significativi, che confermano i trend appena descritti.

Si osserva che la scala cromatica associa al colore blu scuro i valori di concentrazione uguali a 100 ppm e al celeste valori di concentrazione nulli.

In particolare da queste mappe è possibile osservare sia i gradienti di diffusione sia i gradienti di dispersione.

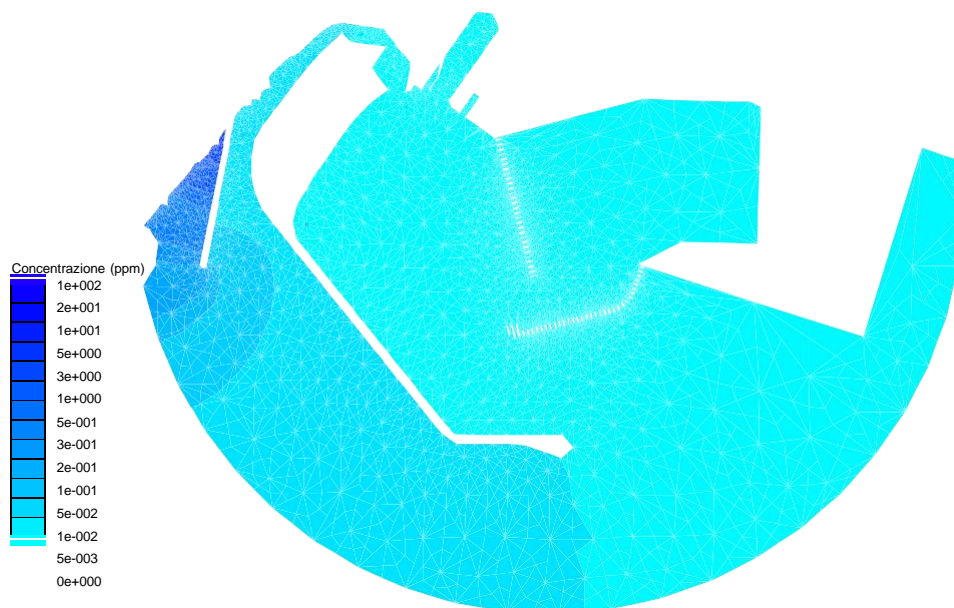


Figura 136 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 1h



Figura 137 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 12h

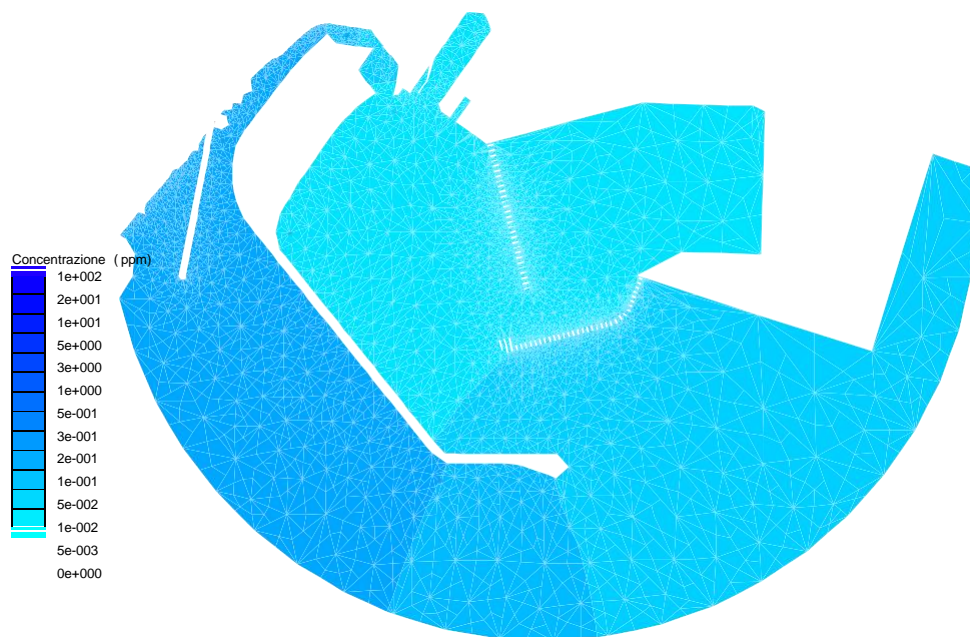


Figura 138 – Configurazione 4 . Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 24h

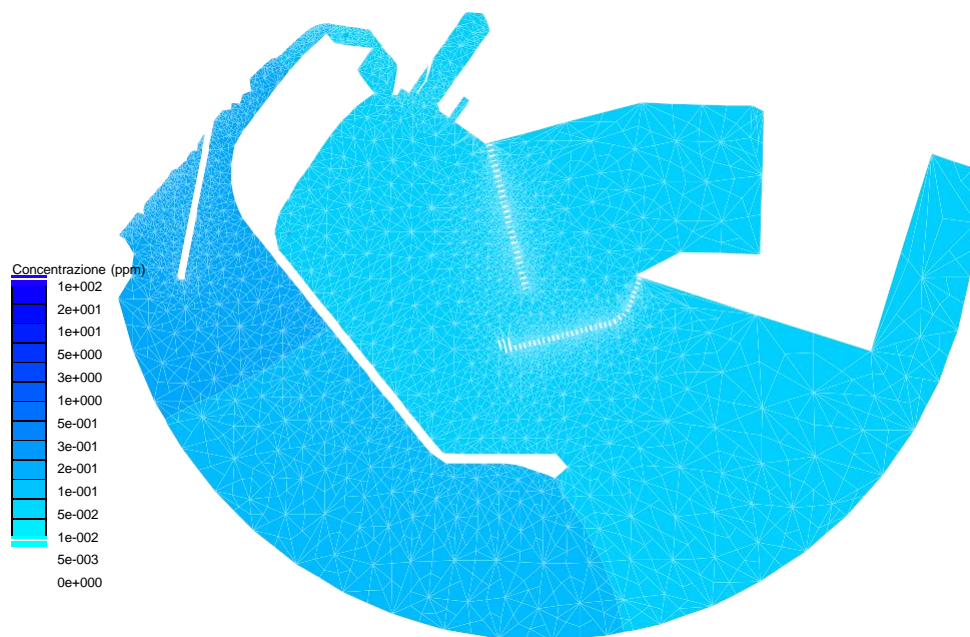


Figura 139 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 36h



Figura 140 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 48h

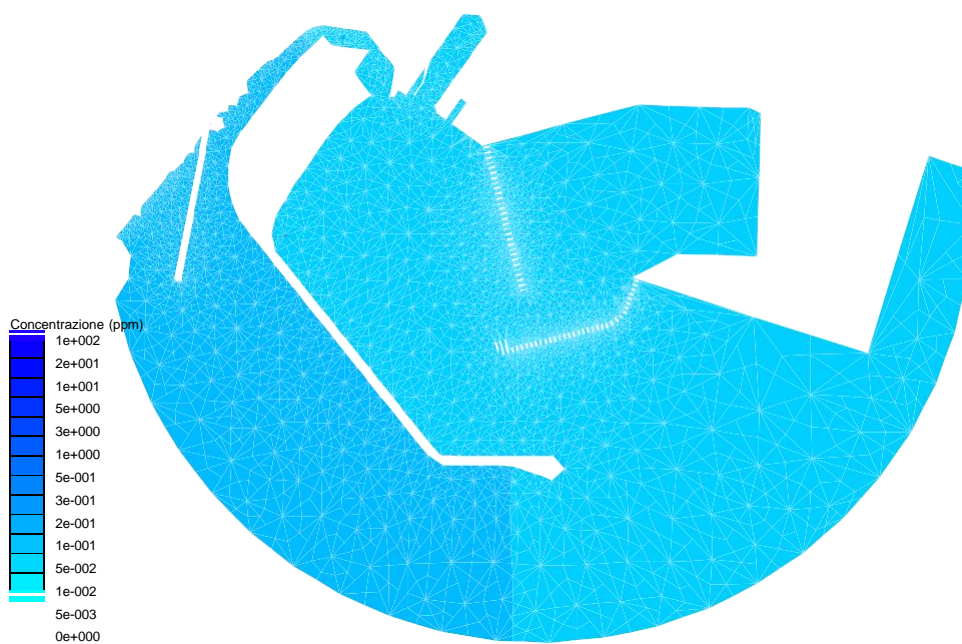


Figura 141 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 60h

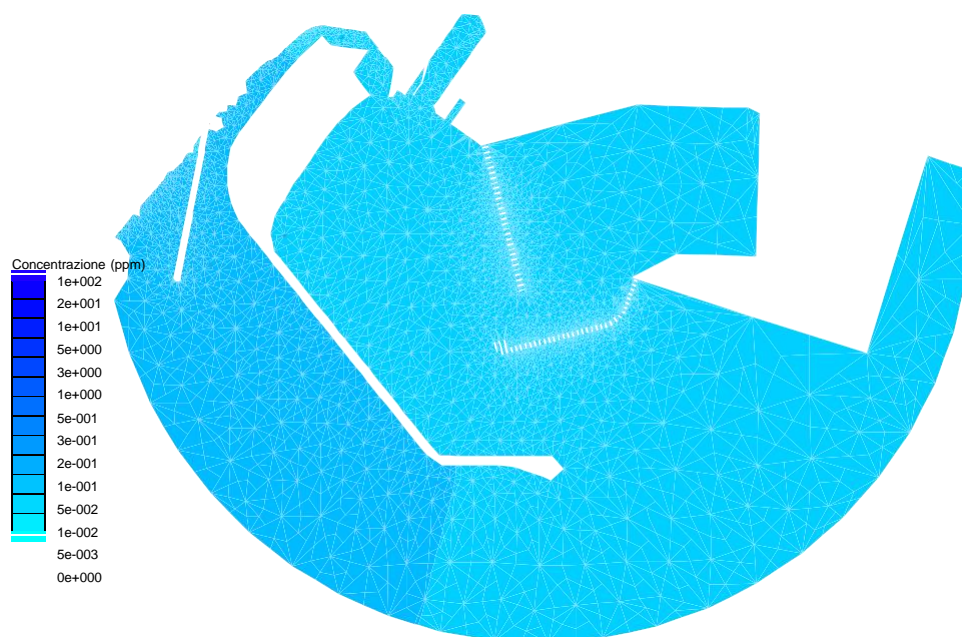


Figura 142 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 72h

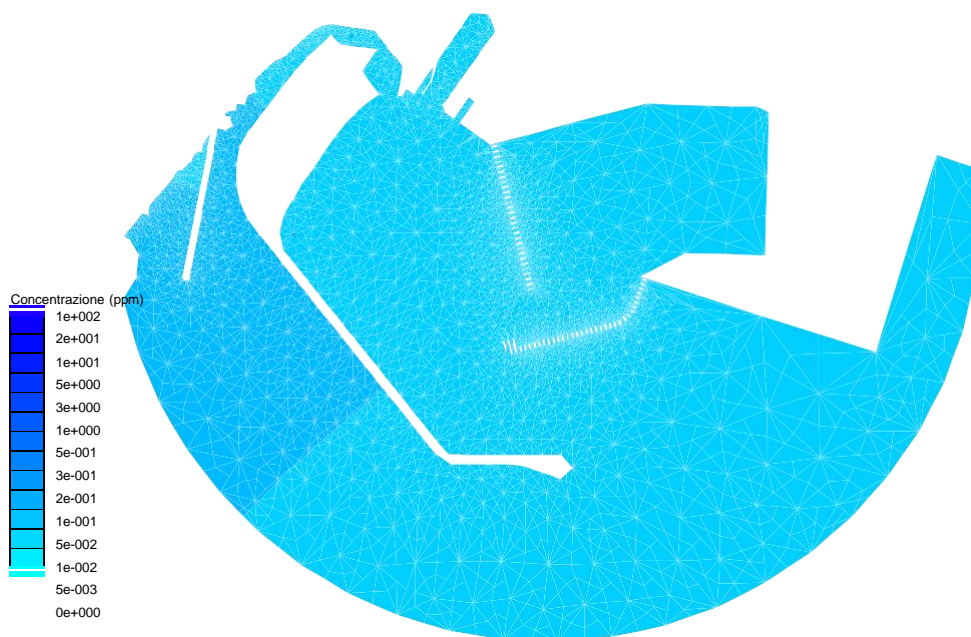


Figura 143 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 84h

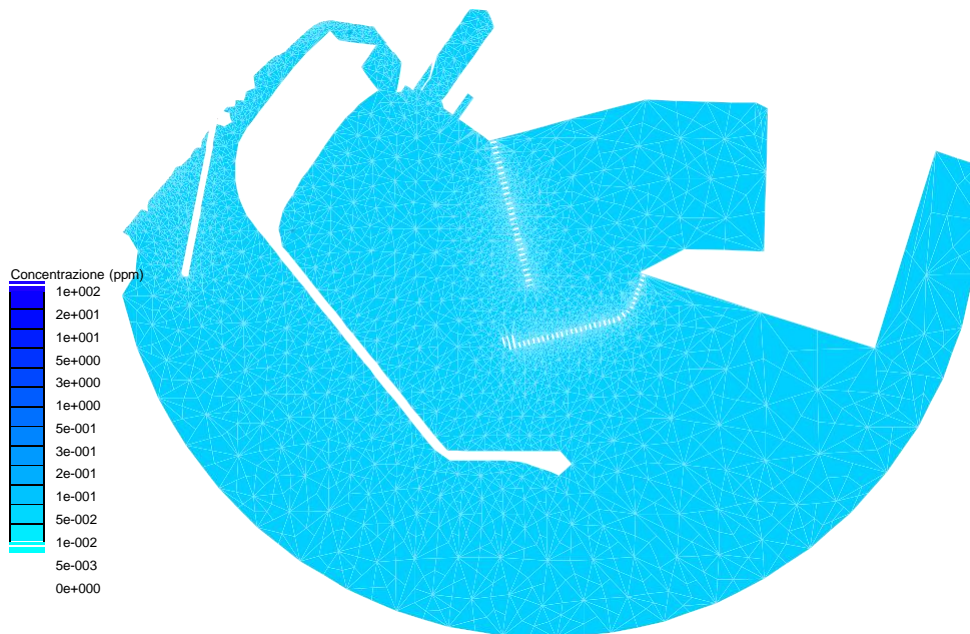


Figura 144 – Configurazione 4. Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno dello specchio idrico protetto, a seguito di uno sversamento alla foce del canale Regina al time step 96h

Le immagini riportate mostrano che i gradienti di diffusione e di decadimento dell'inquinante.

Come già osservato i picchi di concentrazione che raggiungono la testata del pennello hanno subito un abbattimento percentuale notevole rispetto il valore alla sorgente per via del regime correntometrico che caratterizza la configurazione indagata.

Si osserva come il valore residuo di concentrazione viene raggiunto in tutti i punti dello specchio acqueo indagato in circa in 84 ore.

Si conviene quindi che il pennello deflettore così come previsto secondo la configurazione 4 esplica un livello di protezione buono, ma con performance meno efficace rispetto a quella ottenuta con la configurazione 2.

7.2.5 CONCLUSIONI

Dai risultati ottenuti a seguito delle simulazioni di dispersione degli inquinanti è emerso che:

- In ognuno dei due casi analizzati, i fenomeni di diffusione e dispersione degli inquinanti sono caratterizzati da gradienti tali che presso i punti di controllo più lontani alla sorgente inquinante è possibile osservare una legge di diffusione di tipo asintotico, con valori residui molto ridotti;
- in ogni caso sia valori di concentrazione di picco sia quelli residui risultano essere notevolmente abbattuti rispetto al valore di concentrazione all'origine;
- la configurazione caratterizzata dalle migliori performance in termini di abbattimento delle concentrazioni di picco e residue e delle velocità di

dispersione e diffusione è la configurazione 2, per via del regime correntometrico più favorevole.

Si conclude che la configurazione ottimale per il pennello antisedimentazione e deflettore che garantisce le migliori performance in termini di protezione dai fenomeni di dispersione degli inquinanti è quella prevista della configurazione 2 (lunghezza del pennello a 210 m secondo la direzione N/S), per via dei gradienti di dispersione e diffusione più favorevoli.

7.3 DEFINIZIONE OTTIMALE DELLE OPERE DI BORDO DEL CANALE DI VIVIFICAZIONE

Sono state effettuate ulteriori indagini per determinare quale sia la tipologia delle opere di bordo del canale di vivificazione tale da garantire il livello di ricambio idrico migliore

In particolare sono state indagate 2 possibili configurazioni delle opere di bordo del canale di vivificazione presso la darsena polifunzionale:

- CONFIGURAZIONE 2: prevede la realizzazione di opere continue ed opache;



Figura 145 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Opere Opache .

- CONFIGURAZIONE 2B: prevede che gli sporgenti che restringono la sezione del canale vengano realizzati su pali;

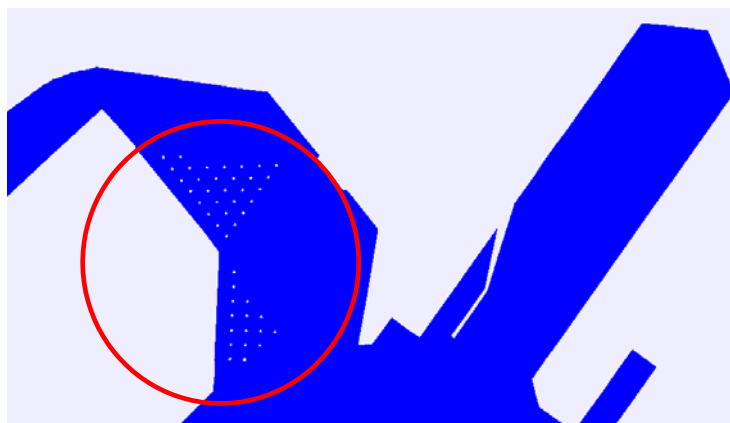


Figura 146 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Sporgenti come Opere su Pali

In particolare per ogni configurazione analizzata sono riportati i risultati delle simulazioni idrodinamiche (con il modello RMA2).

Le simulazioni sono state condotte in modo analogo alle applicazioni precedenti, ipotizzando che l'unica forzante in gioco sia la marea e valutando il range di velocità all'interno della darsena ed individuando la configurazione e quindi il regime correntometrico che garantisce il livello di ricambio idrico migliore.

L'arco temporale di simulazione è pari a 96 h, con un time step di 1,0 h.

I punti di controllo monitorati sono riportati nel seguente schema:

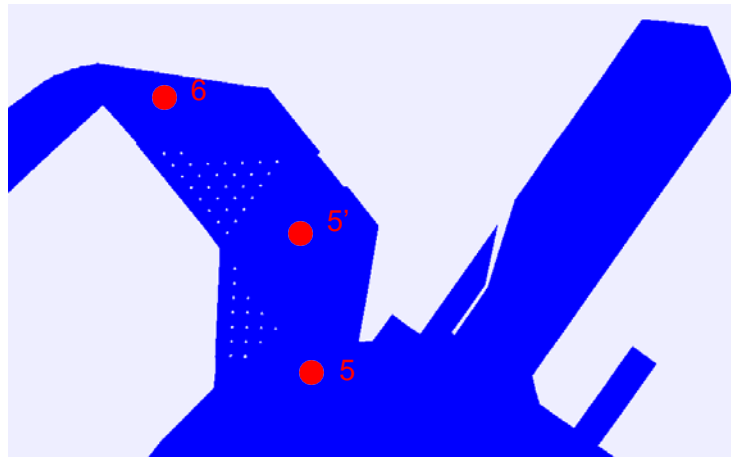


Figura 147 – Configurazione delle opere di bordo. Punti di Controllo.

7.3.1 ANALISI DEI RISULTATI: CONFIGURAZIONE 2

Di seguito si riportano i diagrammi temporali della grandezza velocità nei punti di controllo 5 e 6, (già utilizzati nelle precedenti applicazioni) e nel punto 5' che corrisponde al centro della darsena, nella configurazione indagata.

Tali punti sono stati ritenuti al quanto significativi per la tipologia di indagine in esame.

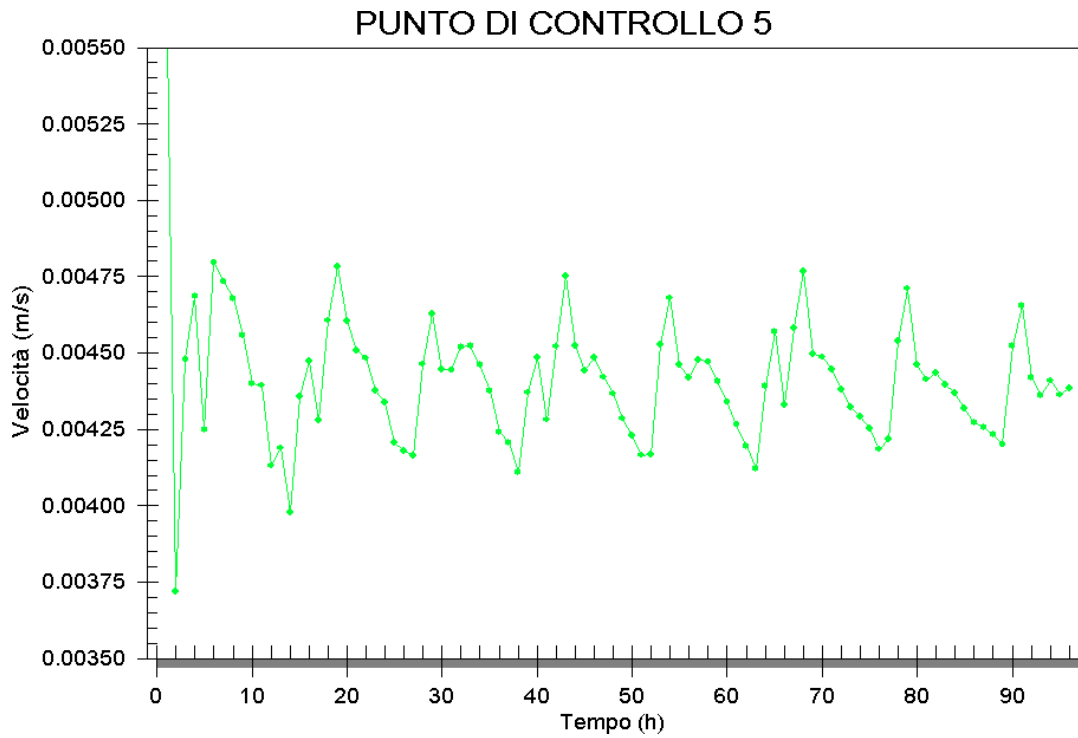


Figura 148 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 5.

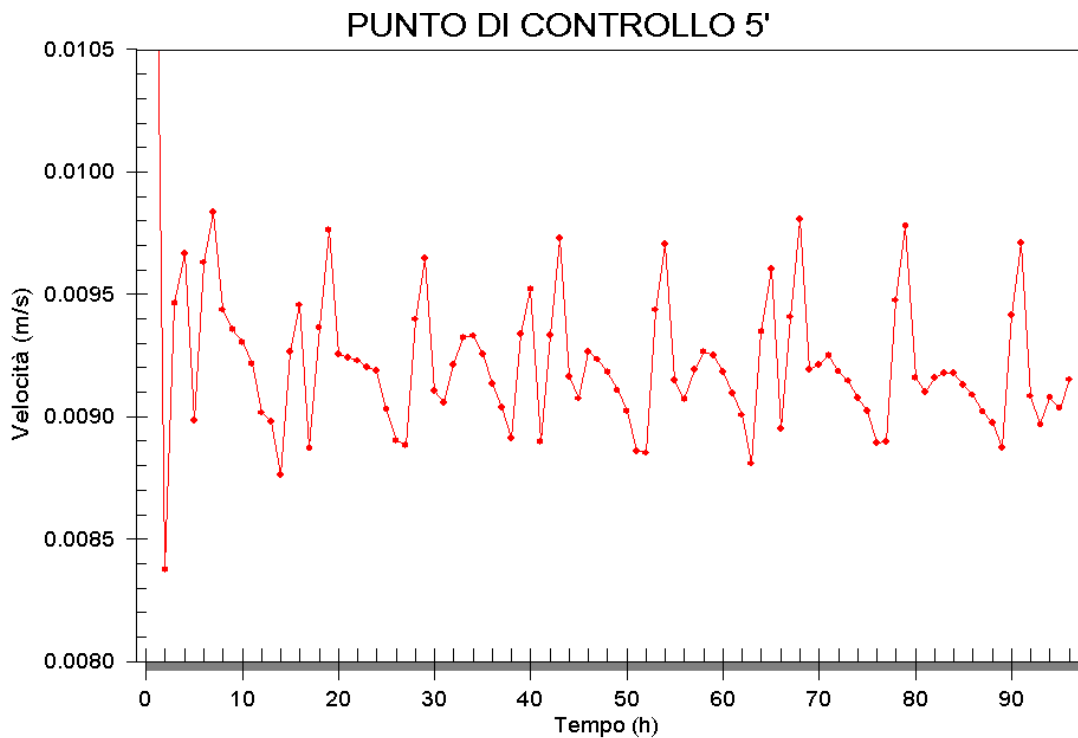


Figura 149 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 5'.

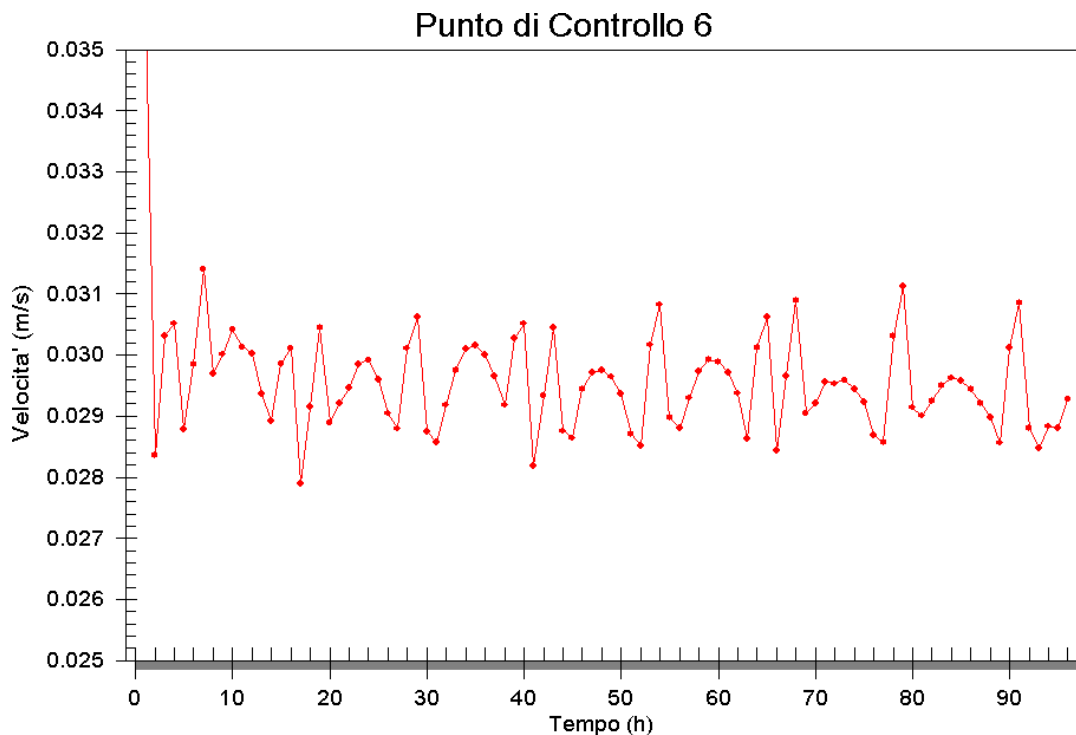


Figura 150 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 6.

Per la configurazione indagata, le velocità delle correnti risultano variabili con valori dell'ordine di 10^{-2} - 10^{-3} m/s.

All'interno del bacino protetto, in prossimità della darsena polifunzionale (punti di controllo P.5) le velocità si attestano su valori compresi tra 3,75 mm/s e 4,75 mm/s.

All'interno della darsena polifunzionale (punto di controllo 5') le velocità si attestano su valori tra 8,00 mm/s e 10,00 mm/s.

All'interno del canale di vivificazione in prossimità della darsena polifunzionale (Punti di controllo 6) si instaura un regime delle correnti che può raggiungere valori tra 28,0 e 30,0 mm/s.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall'inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trend circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso secondo la graduazione scelta è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 cm/s.

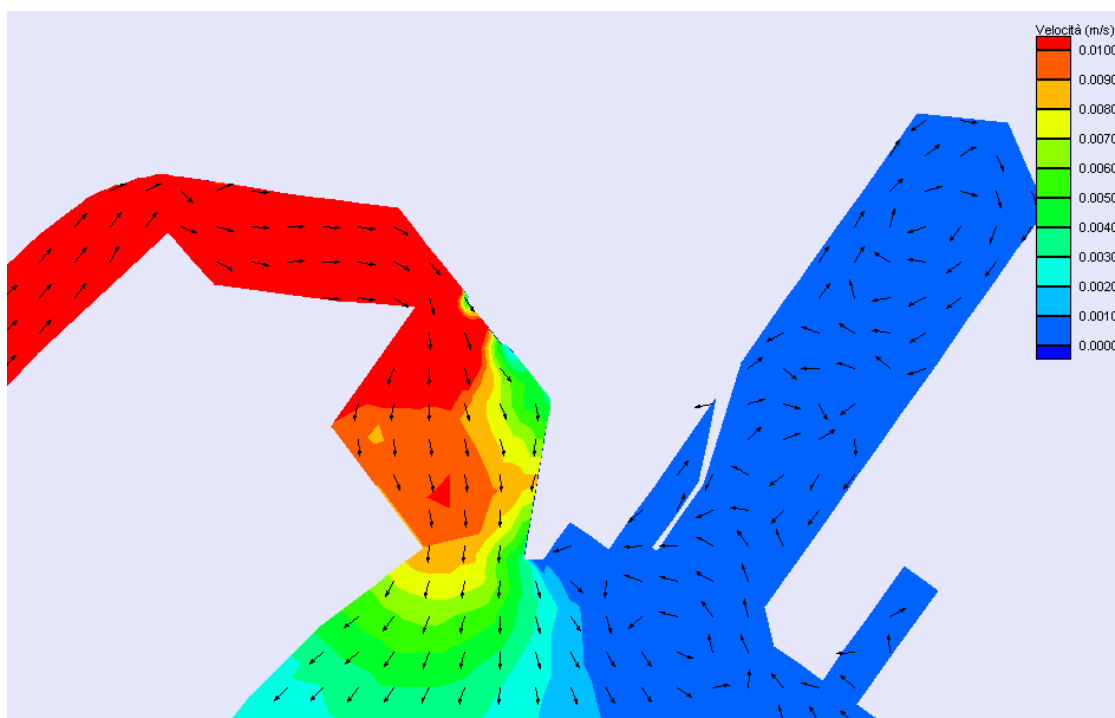


Figura 151 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità al time step 48 h

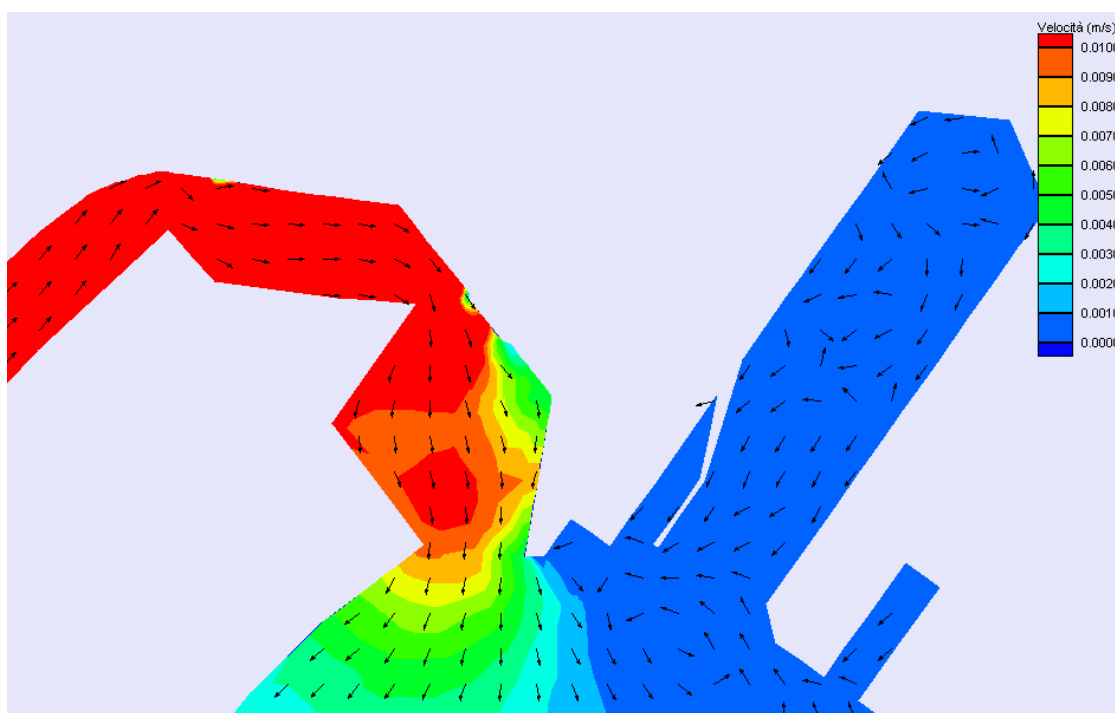


Figura 152 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità al time step 54 h

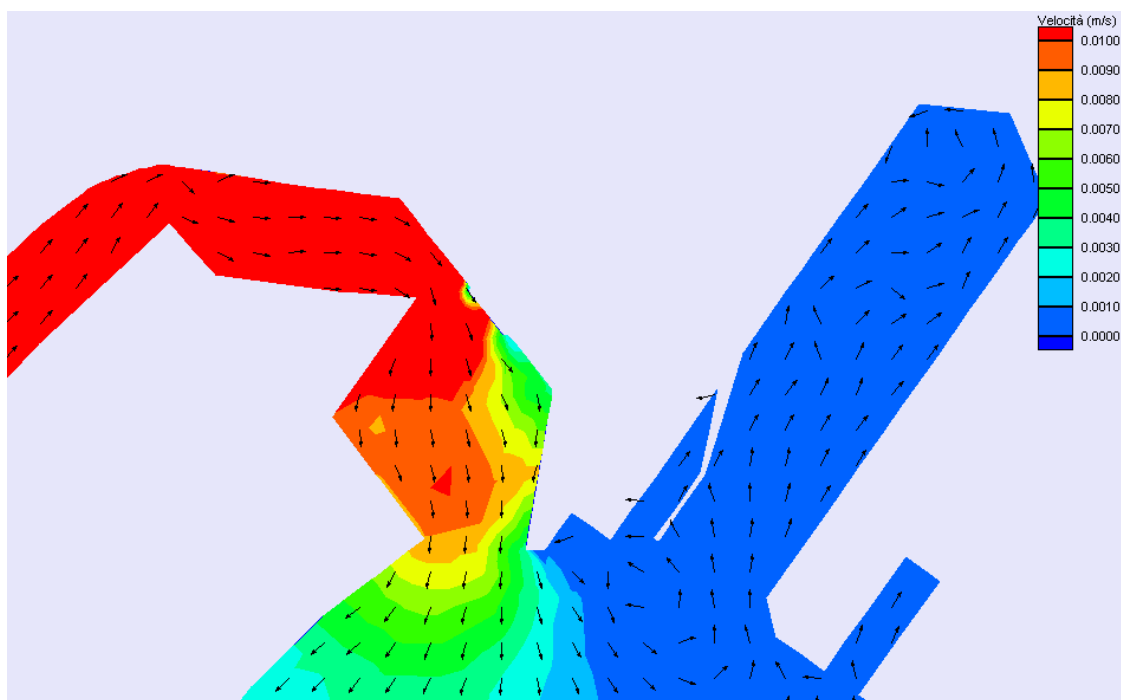


Figura 153 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità al time step 60 h

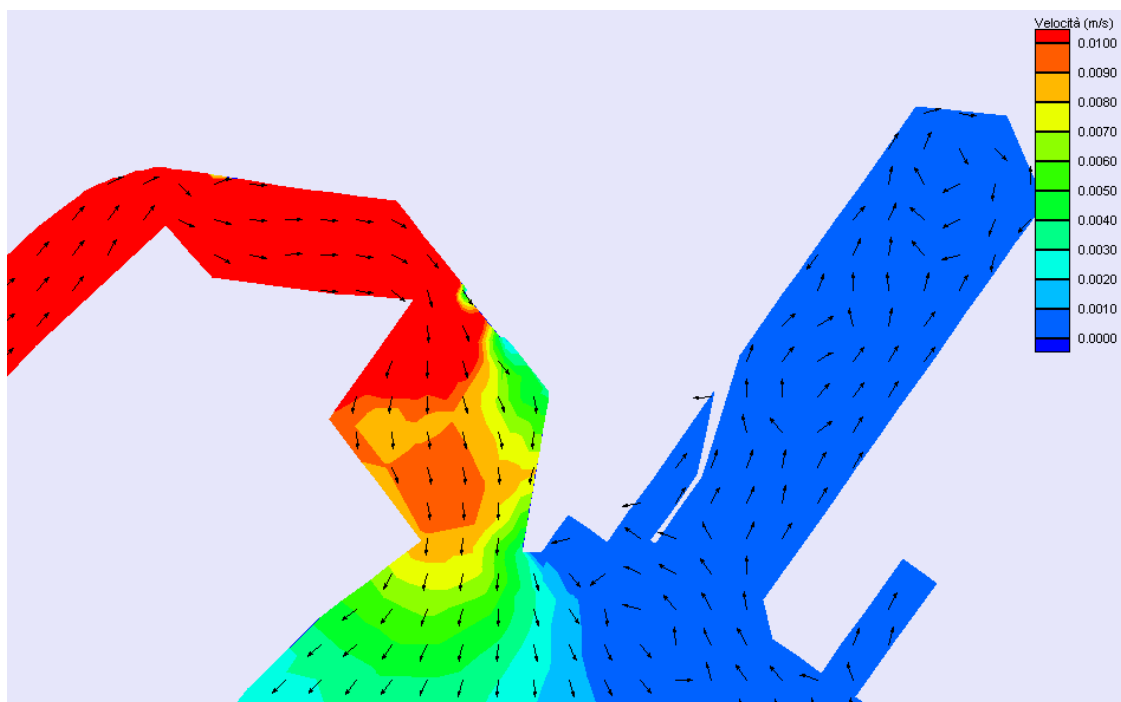


Figura 154 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità al time step 66 h

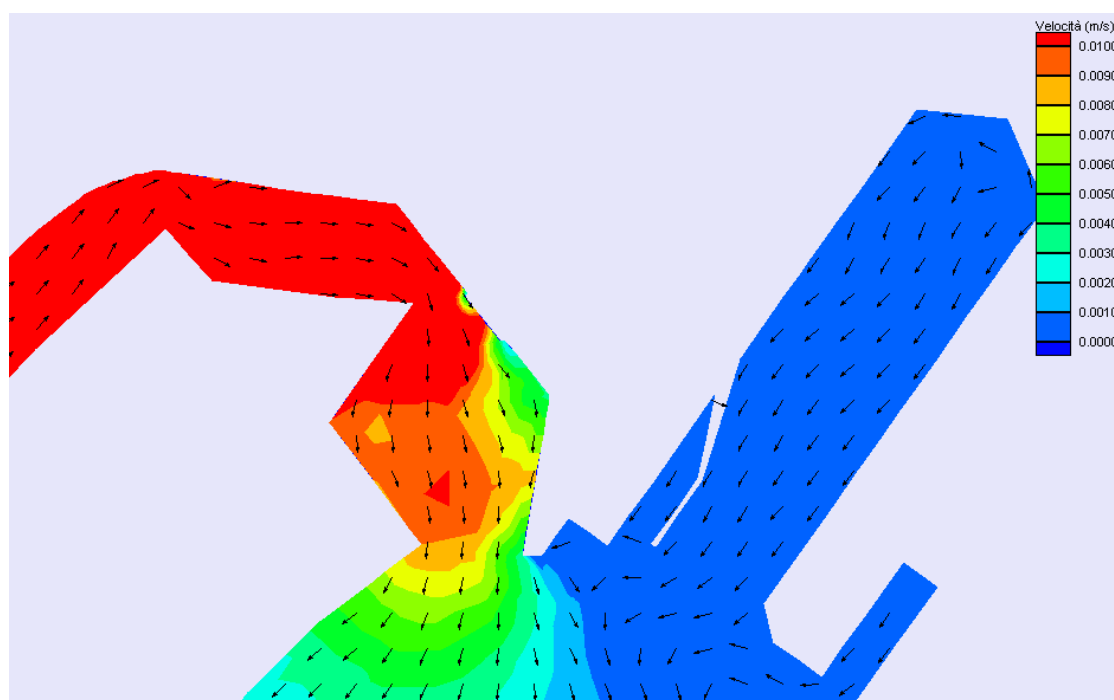


Figura 155 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2. Distribuzione dei vettori velocità al time step 72 h

Le immagini mostrano la formazione della corrente longitudinale all'interno del canale di vivificazione, per via della variazione del livello idrico per marea, con velocità dell'ordine di 10^{-2} m/s.

7.3.2 ANALISI DEI RISULTATI: CONFIGURAZIONE 2A

Di seguito si riportano i diagrammi temporali della grandezza velocità nei punti di controllo 5 e 6, (già utilizzati nelle precedenti applicazioni) e nel punto 5' che corrisponde al centro della darsena, nella configurazione indagata.

Tali punti sono stati ritenuti al quanto significativi per la tipologia di indagine in esame.

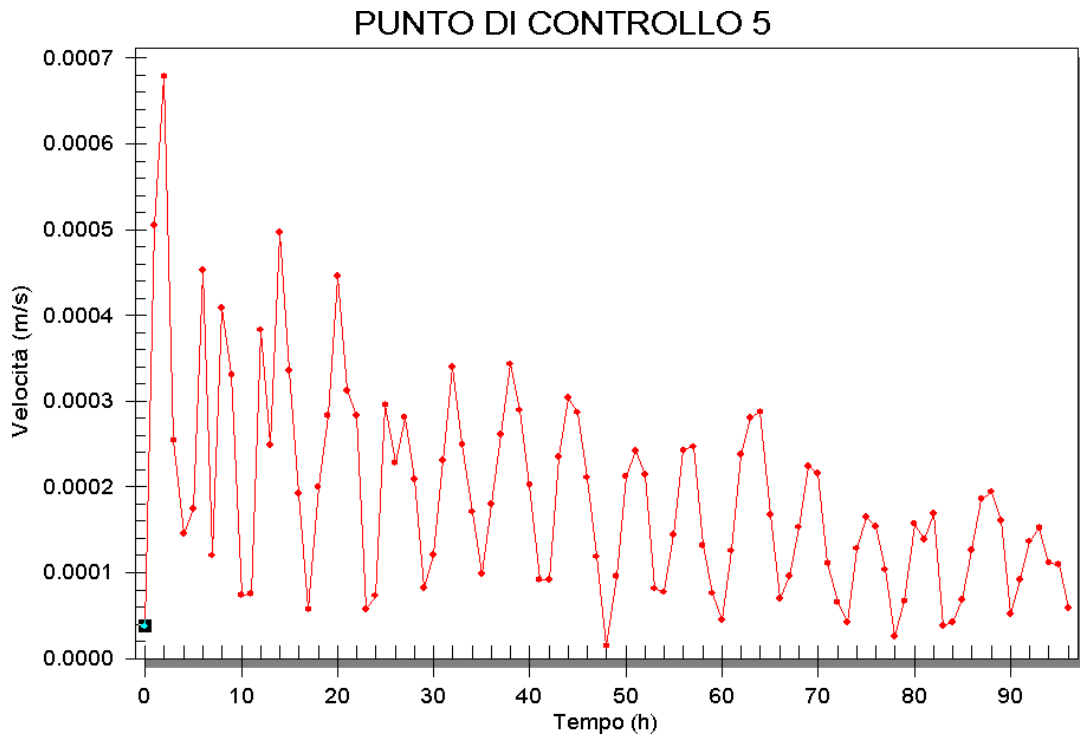


Figura 156 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 5'.

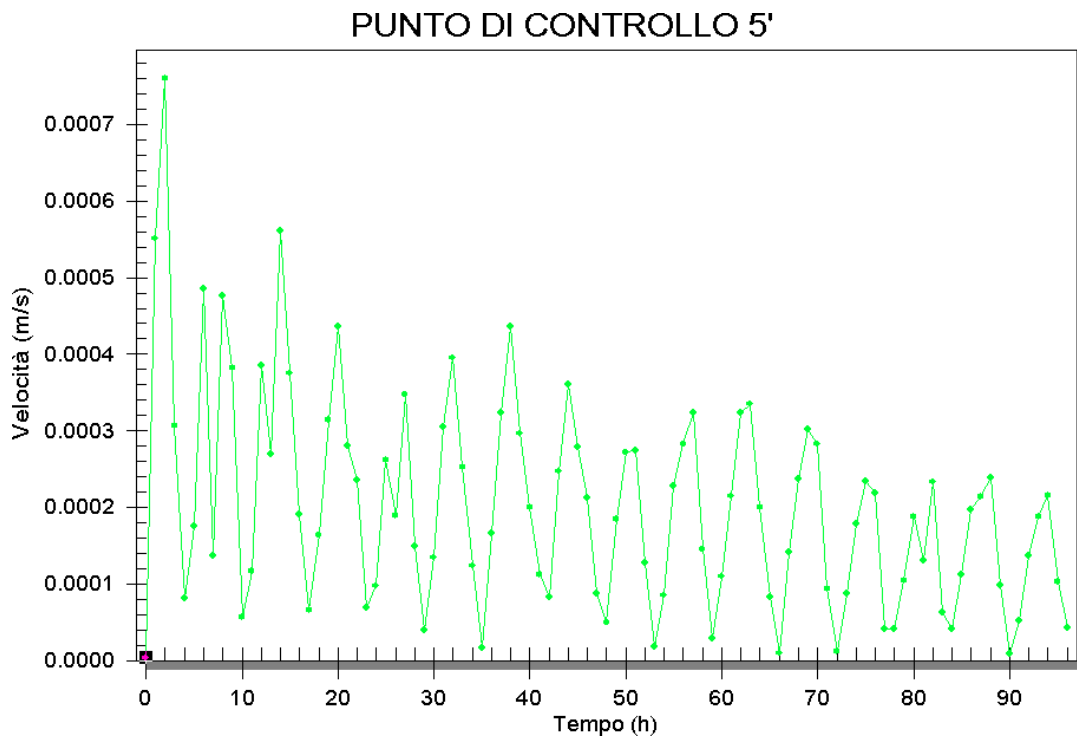


Figura 157 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 5'.

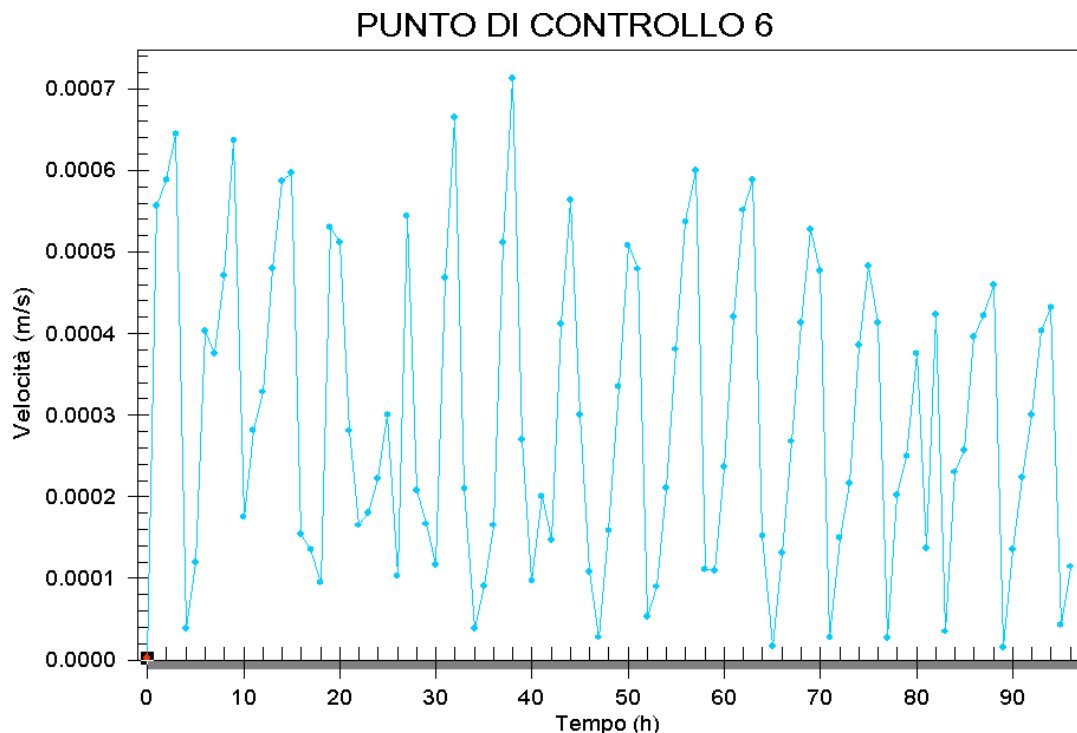


Figura 158 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Diagramma temporale delle velocità simulate presso il punto di controllo 6.

Per la configurazione indagata, le velocità delle correnti risultano variabili con valori dell'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s in ognuno dei punti di controllo.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 24 ore, scelto tra il time step 48 h e il time step 72 h dall'inizio della simulazione, in modo tale da individuare correttamente i trend circolatori senza subire gli effetti dovuti alla fase di avvio.

Si osserva che il colore rosso secondo la graduazione scelta è associato ai valori di velocità maggiori o uguali ad 1 mm/s, per meglio enfatizzare i ridotti trend correntometrici.

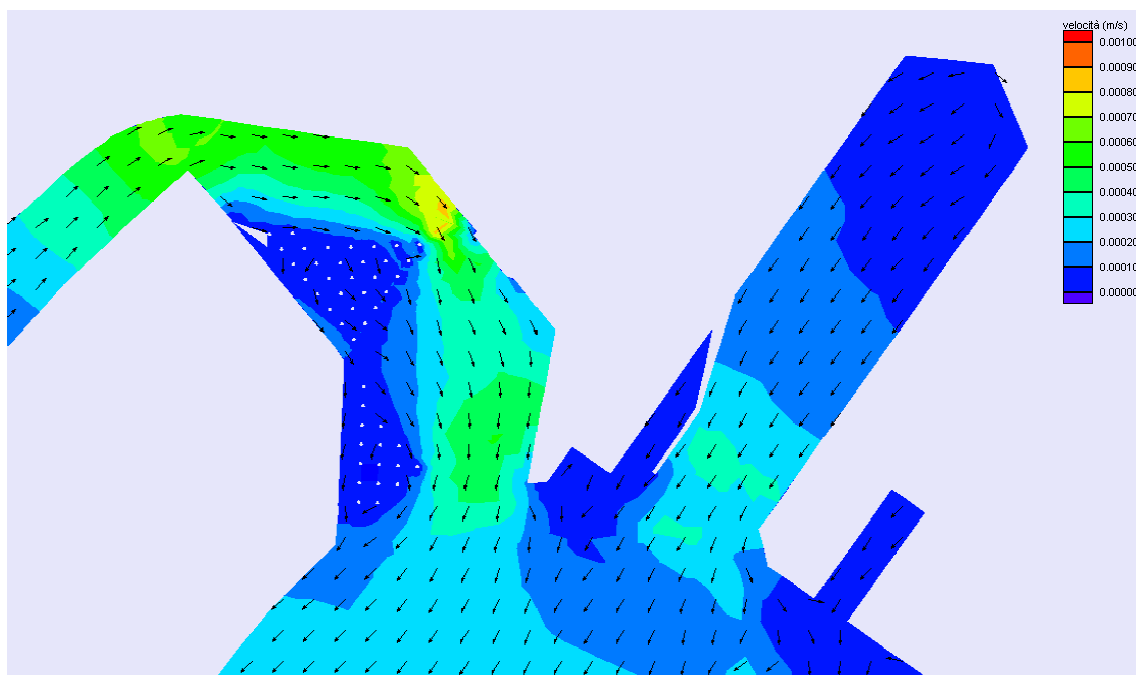


Figura 159 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Distribuzione dei vettori velocità al time step 48h

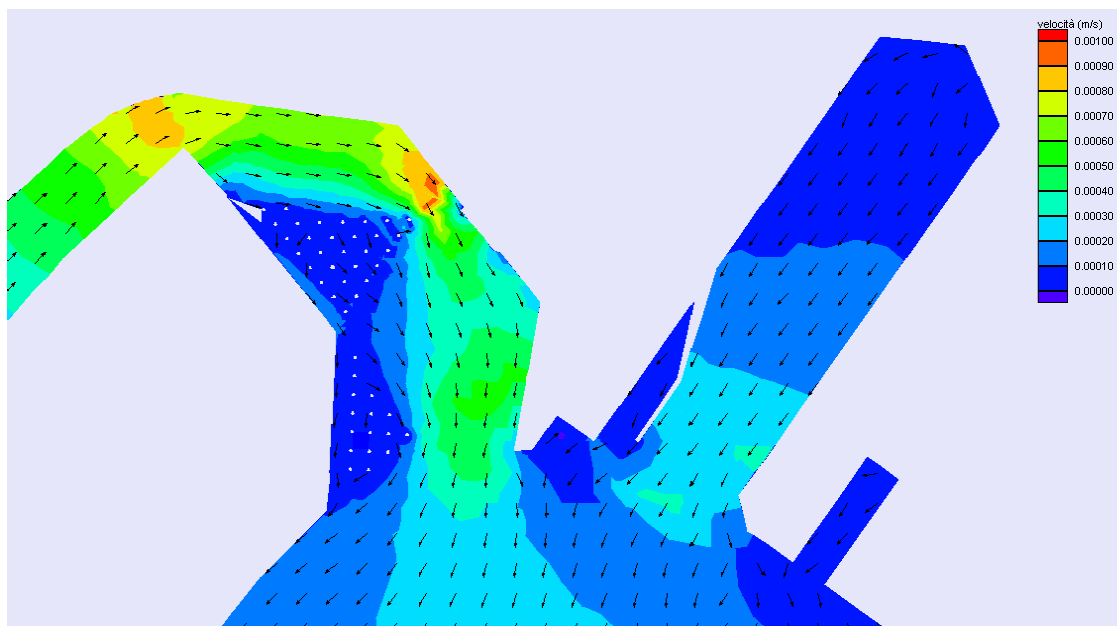


Figura 160 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Distribuzione dei vettori velocità al time step 54h

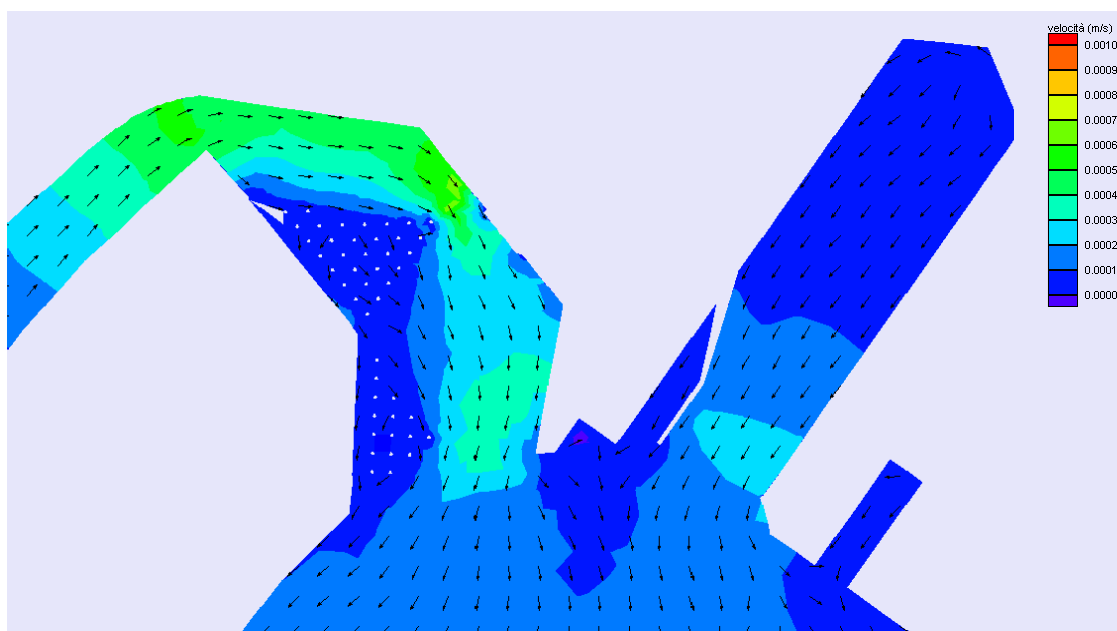


Figura 161 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Distribuzione dei vettori velocità al time step 60h

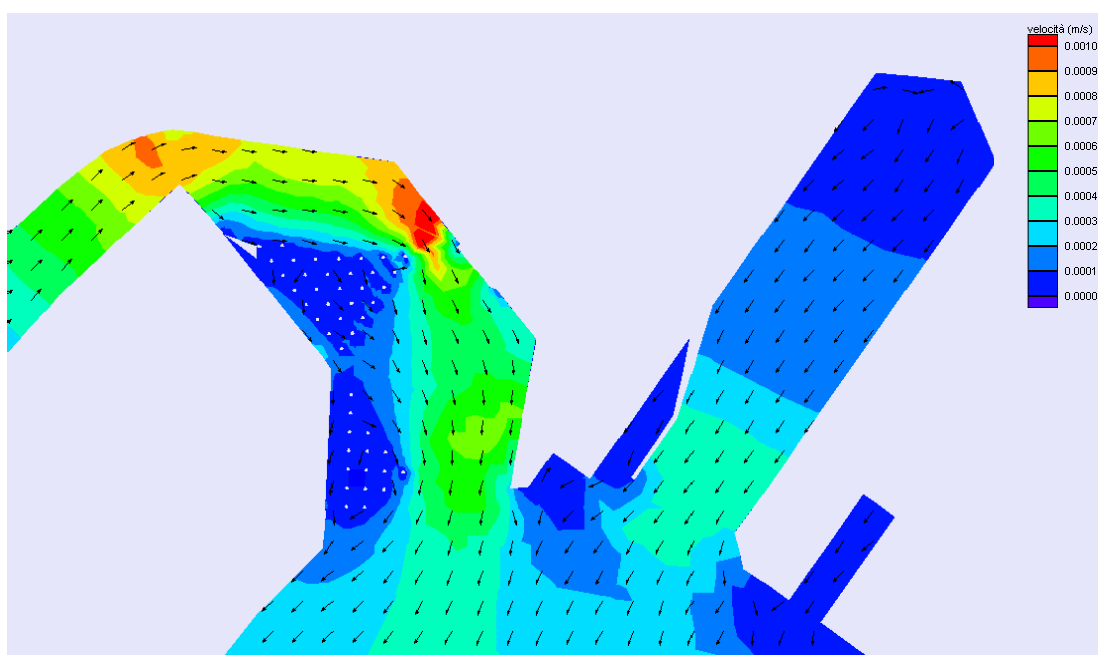


Figura 162 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Distribuzione dei vettori velocità al time step 66h

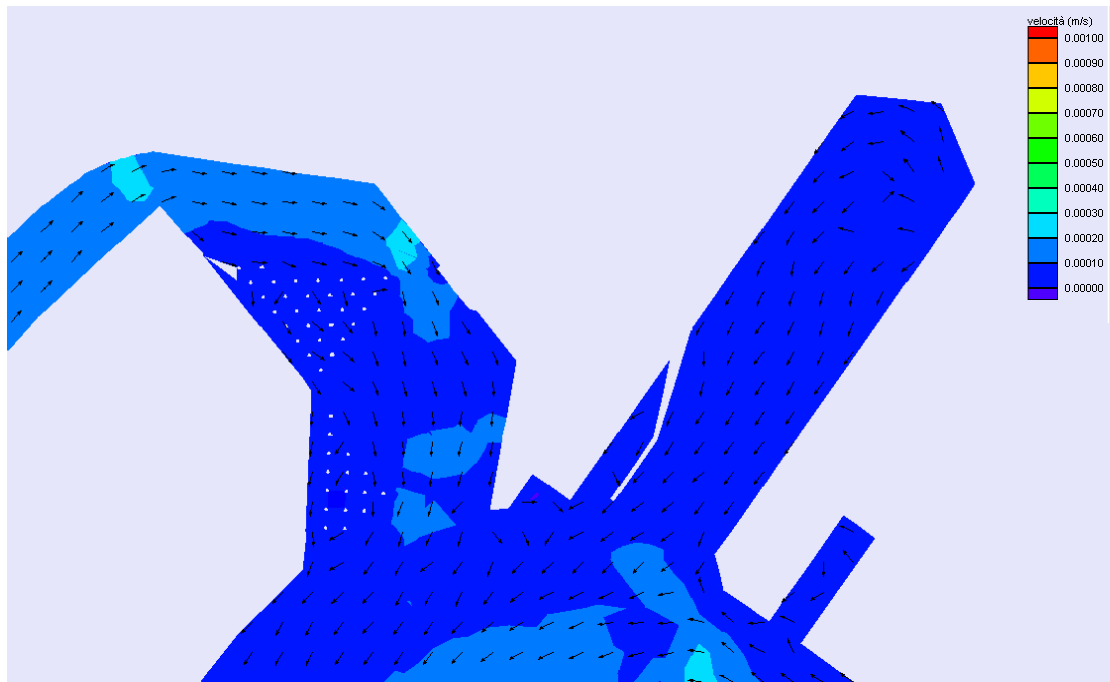


Figura 163 – Configurazione delle opere di bordo. Configurazione 2A. Distribuzione dei vettori velocità al time step 72 h

Le immagini mostrano la formazione di una corrente longitudinale all'interno della darsena per via della variazione del livello idrico per marea, con velocità dell'ordine di 10^{-3} m/s e la formazione di una zona di calma tra i pali.

7.3.3 CONCLUSIONI.

Dai risultati ottenuti è emerso che:

- l'opzione che prevede la realizzazione delle strutture della darsena come opere completamente opache (configurazione 2) è caratterizzata dalla formazione di una corrente longitudinale con velocità dell'ordine di 10^{-2} - 10^{-3} m/s
- l'opzione che prevede la realizzazione di alcune delle strutture della Darsena come opere su pali (configurazione 2A), è caratterizzata dalla formazione di una corrente longitudinale con velocità dell'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s e da una zona di calma tra i pali.

Si conclude che la configurazione che garantisce il miglior regime idrodinamico all'interno della darsena stessa è quella prevista dalla configurazione 2 (strutture completamente opache), poiché vengono raggiunte le velocità maggiori, indicatori di un gradiente di ricambio idrico migliore.

8. VERIFICA DELL'OSSIGENO DISCIOLTO (DO)

A completamento delle indagini numeriche eseguite per la determinazione delle qualità delle acque all'interno dello specchio acqueo protetto, è stata effettuata a verifica dell'ossigeno disciolto (DO), tramite l'applicazione in serie dei codici RMA2-RMA4, modelli già descritti in precedenza.

8.1 GENERALITA'

L'ossigeno disciolto (DO) consente una valida caratterizzazione qualitativa dello "stato di salute" delle acque invasate, 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", fin tanto 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.

E' stato provato che una riduzione della concentrazione di ossigeno sotto valori di 3mg/l provocherebbe la morte ed il decadimento delle specie di macro invertebrati e fitoplancton più sensibili, incrementando la massa dei fanghi organici ed innescando ulteriori fenomeni di deterioramento della qualità della massa idrica invasata.

8.2 SIMULAZIONI NUMERICHE EFFETTUATE E SCELTA DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

Le simulazioni numeriche sono state effettuate con l'ausilio dei codici RMA2 e RMA4, modelli già descritti in precedenza.

Queste hanno avuto lo scopo di verificare il grado di concentrazione dell'ossigeno disciolto a regime in uno scenario di simulazione cautelativo (temperature medie del periodo estivo e sola escursione di marea).

E' stata posta una concentrazione iniziale minima su tutto il dominio pari a 3.0 mg/l, corrispondente al valore che corrisponde alla morte e al decadimento delle specie acquatiche.

Si osserva che è stata considerata 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 del “contorno aperto” del bacino si abbia una concentrazione di ossigeno disciolto non eccessivamente elevata e pari a 5.0 mg/l operando, in tal modo, a vantaggio di sicurezza.

Nella realtà lungo tali contorni 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 effettuate sono state riferite ad un arco temporale di 96 ore, con uno step temporale pari ad 1 ora.

Per poter applicare le condizioni al contorno sopradescritte il modello numerico è stato modificato leggermente, introducendo due “open boundary” di forma semicircolare, presso l’imboccatura principale dell’approdo e all’imboccatura del canale di vivificazione tra la scogliera e la banchina di riva, alle quali sono state attribuite:

- la condizione idrodinamica (per RMA2) relativa alla variazione temporale dei livelli idrici dovuti agli effetti della marea astronomica, già utilizzata nelle applicazioni precedenti,
- la condizione sulla concentrazione in ingresso di DO pari a 5 mg/l (per RMA4).

Inoltre durante le simulazioni RMA4, su tutto il dominio è stata applicata una concentrazione iniziale minima su tutto il dominio pari a 3.0 mg/l.

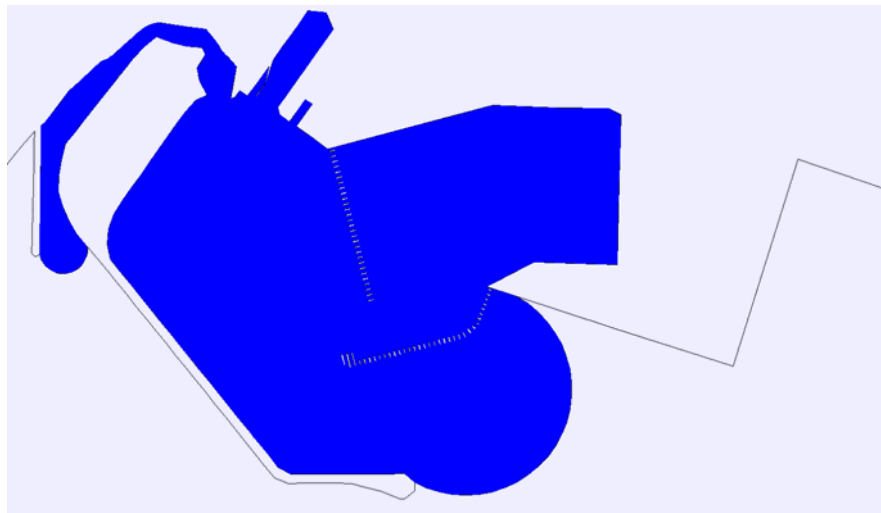


Figura 164 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Modello numerico utilizzato.

8.3 RISULTATI OTTENUTI

Di seguito si riportano i risultati ottenuti durante simulazioni numeriche eseguite al fine di verificare l'andamento della concentrazione di ossigeno disciolto (DO) all'interno dello specchio acqueo protetto di progetto.

Le simulazioni numeriche di tipo RMA2 hanno fornito lo stesso trend di circolazione già individuato durante le altre simulazioni idrodinamiche.

Le velocità della corrente all'interno del dominio sono dell'ordine del 10^{-3} - 10^{-4} m/s, con picchi dell'ordine del 10^{-2} m/s lungo il canale di vivificazione.

Di seguito si riporta un'immagine identifica dei campi di velocità che si instaurano all'interno dello specchio acqueo protetto.

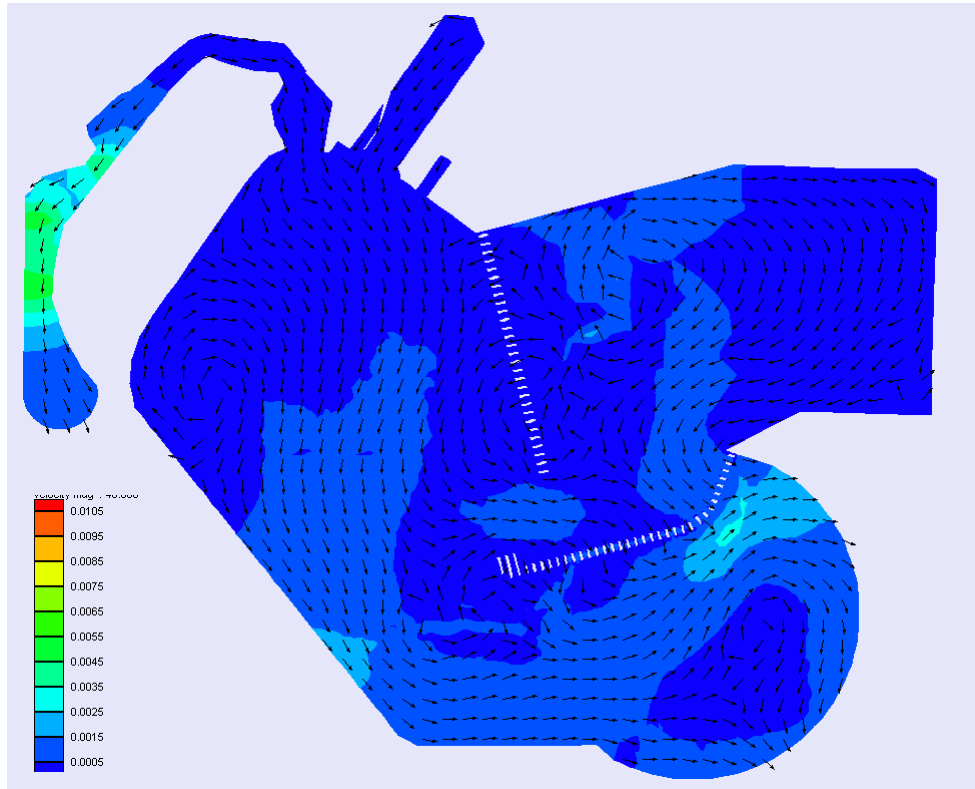


Figura 165 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Campi di velocità osservati (m/s).

Di seguito si riporta la serie delle immagini relative alla variazione temporale della concentrazione dell'ossigeno disciolto (DO) all'interno del dominio indagato.

Si osserva che la scala cromatica associata ai campi di concentrazione è tale che il colore rosso è associato al valore di 3 mg/l, indicato in letteratura come valore limite vitale per le specie acquatiche.

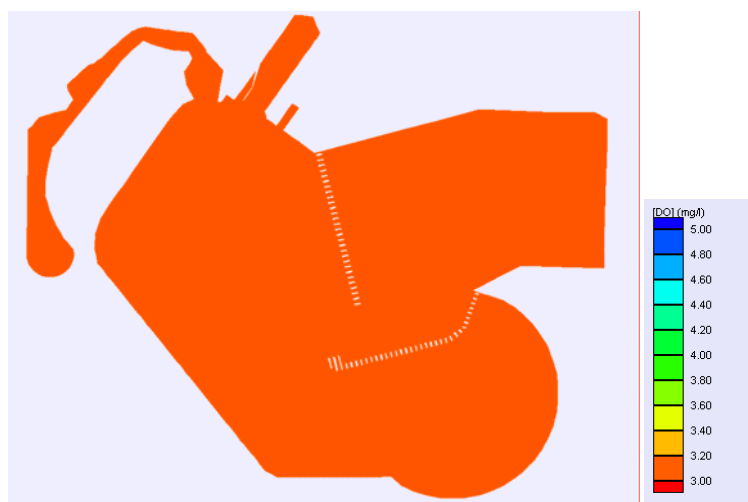


Figura 166 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 1h

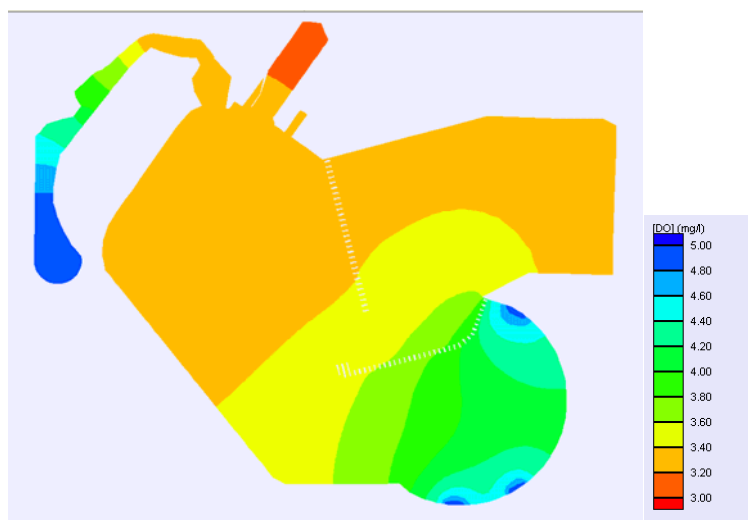


Figura 167 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 12h

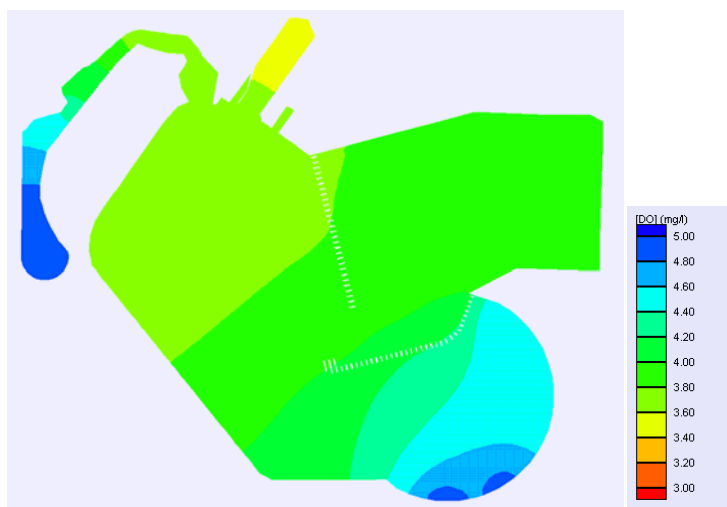


Figura 168 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 24h

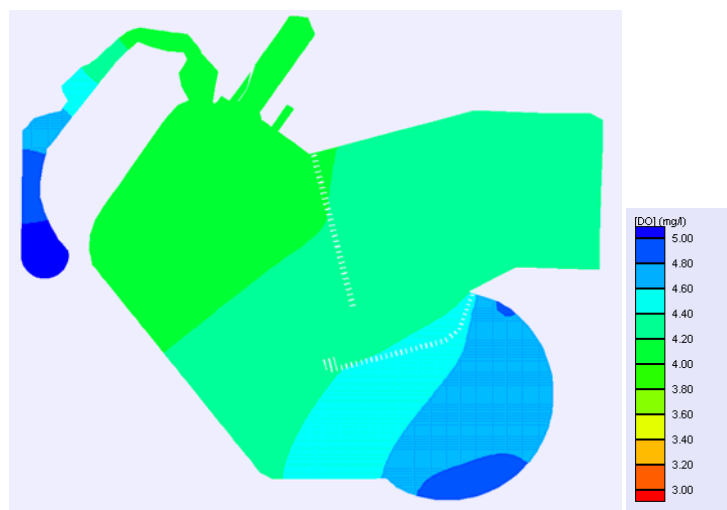


Figura 169 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 36h

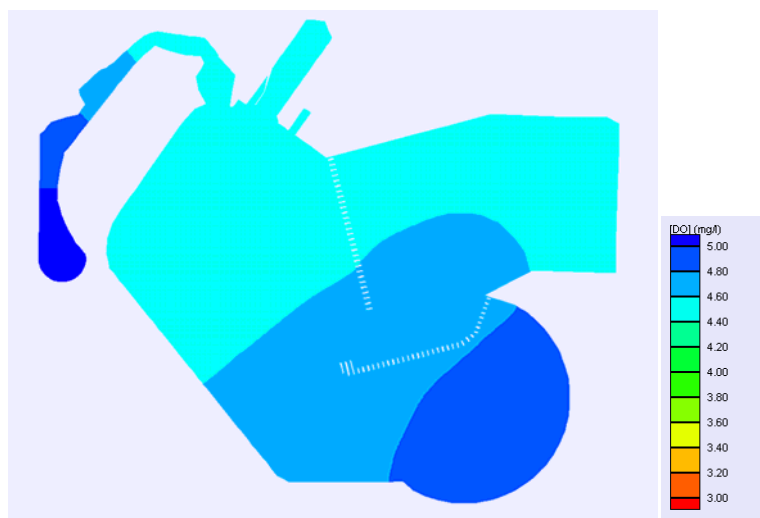


Figura 170 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 48h

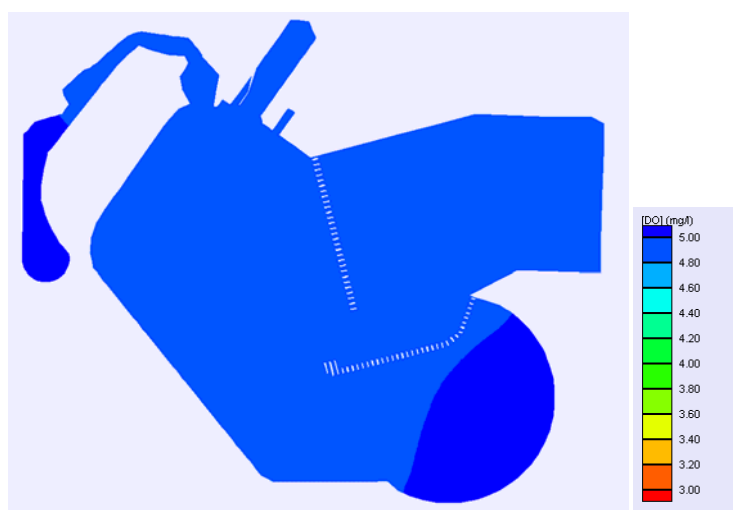


Figura 171 – Valutazione dell'ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 60h

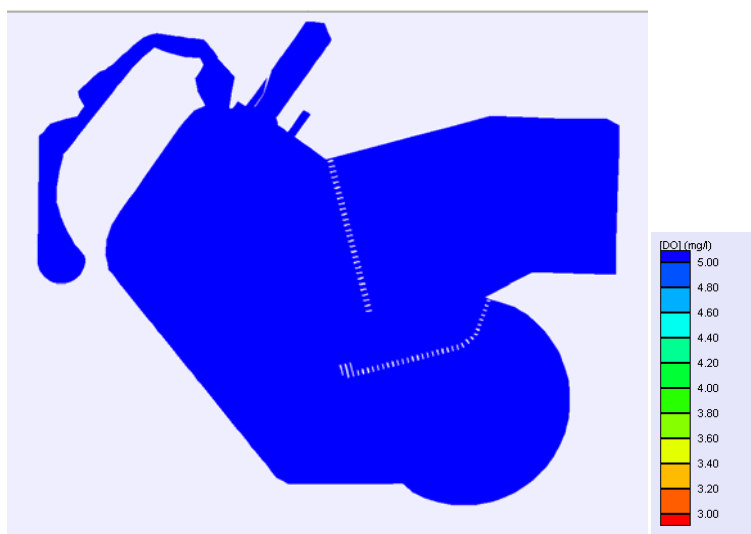


Figura 172 – Valutazione dell’ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 72h

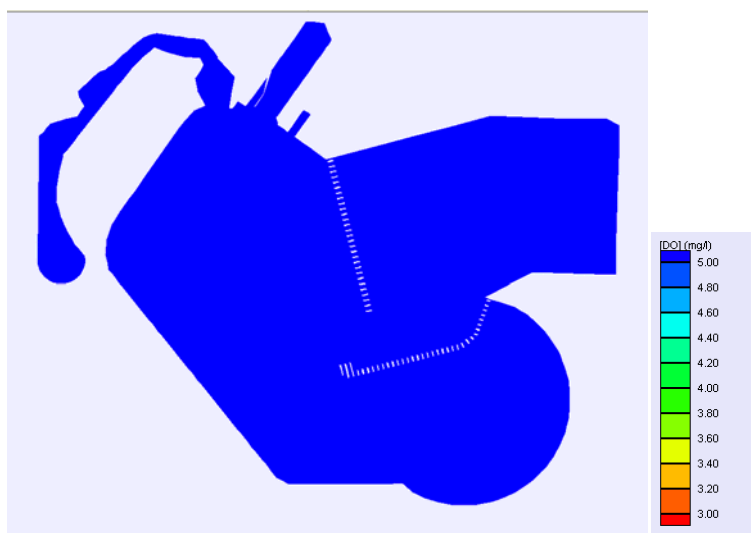


Figura 173 – Valutazione dell’ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 84h

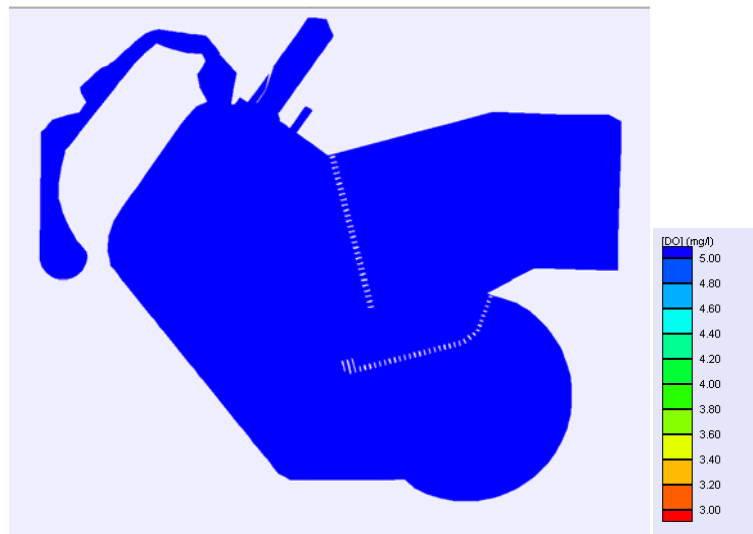


Figura 174 – Valutazione dell’ossigeno disciolto. Distribuzione dei campi di concentrazione osservati al time step 96h

Dopo 6 ore all’interno del canale di vivificazione e della darsena sono stati raggiunti valori di concentrazione di DO superiori al valore limite vitale, pari a 3 mg/l.

Dopo 24 ore il valore di concentrazione di DO limite non è più riscontrabile in nessun punto del dominio indagato.

Valori di concentrazione di DO maggiori o uguali a 4mg/l sono raggiunti in tutti i punti del dominio già dopo 48 ore dall’inizio della simulazione.

Dopo circa 60 ore dall’inizio della simulazione il valori di concentrazione prossimi a 5 mg/l sono raggiunti in ogni punto del dominio indagato.

I risultati ottenuti mostrano chiaramente che la presenza del canale di vivificazione apporta palesi benefici in termini di concentrazione di ossigeno.

Si conclude che il regime correntometrico all’interno dello specchio acqueo protetto è tale da garantire dei buoni gradienti di distribuzione dell’ossigeno, indice di un buon livello delle qualità delle acque interne.

9. POSSIBILI INTERVENTI PER MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLE ACQUE

Una proposta frequente per migliorare la qualità delle acque in un bacino consiste nella previsione di condotte che attraversino le opere foranee nel tentativo di introdurre una maggiore portata di ricambio.

Sebbene ciò sia contro l'intuizione comune, esistono motivi per ritenere che piccole condotte non aiutino:

1. La condotta viene aggiunta ulteriormente rispetto al canale di navigazione; quindi l'area totale dell'imboccatura effettiva (a) cresce e quindi la portata all'imboccatura decresce. Ciò effettivamente riduce il ricambio del marina e non lo migliora.
2. La quota piezometrica lungo la condotta è simile a quella all'imboccatura: molto piccola. Considerando i raggi idraulici relativi, la portata effettiva attraverso una piccola condotta sarà trascurabile.

Concordemente alla discussione circa il contributo delle imboccature multiple, la figura seguente mostra il contributo limitato che comporta l'introduzione di una condotta. Nell'esempio illustrato la sezione della condotta non è insignificante, ovvero 2.5 x 6 m circa. E' evidente come il contributo sia minimo e localizzato e senz'altro di scarso interesse per l'interesse del bacino del marina.

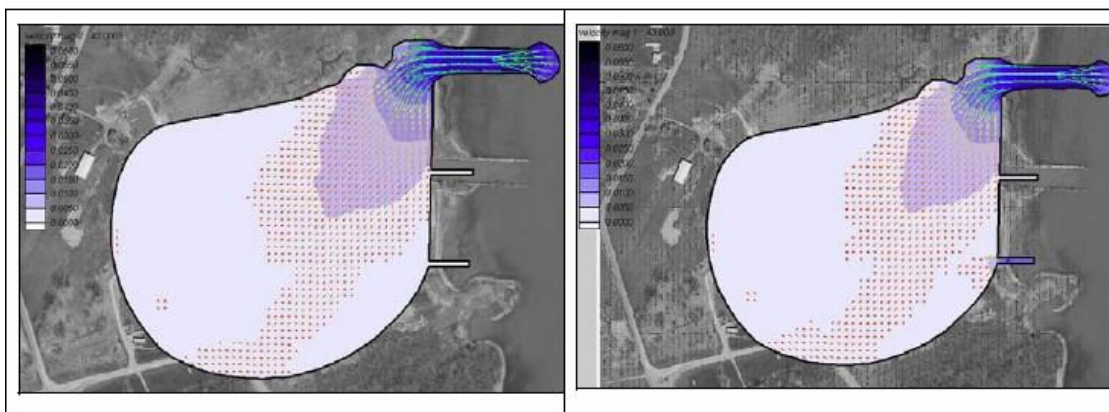


Figura – Esempio di contributo minimo dovuto a condotte

Sono frequentemente suggeriti anche sistemi meccanici come mezzi per incrementare il ricambio idrico (installazione di diffusori a pale inseriti nelle predette tubazioni o di altro dispositivo di pompaggio). Se il bacino è pressoché chiuso e lo scopo è quello di incrementare l'ossigeno disciolto, questo metodo può essere accettabile vista la limitatezza del volume d'acqua da trattare, per quanto ampio sia.

Se lo scopo è l'introduzione di acqua fresca per la ricambio o la diluizione dei contaminanti, un approccio meccanico per migliorare la circolazione tramite il pompaggio di acqua può risultare molto costoso in termini di costo energetico e di impianto visti i grandi volumi d'acqua in gioco.

Un ulteriore soluzione è l'installazione di ossigenatori in zone particolarmente ridossate. Detti dispositivi pompano, dalla superficie libera sul fondale, aria in bolle di piccolo diametro, rimescolando con moti verticali ed orizzontali l'acqua circostante e producendo così un aumento della percentuale di ossigeno disciolto nell'acqua. Gli

ossigenatori sono alimentati con motori elettrici subacquei, costruiti per resistere all'ambiente aggressivo marino.

Infine, le esigenze di navigazione sono spesso il fattore determinante circa l'ampiezza di una imboccatura o per come deve essere conformata la geometria del bacino per la sistemazione degli ormeggi. Ne deriva che la progettazione pratica dei bacini può non comportare il raggiungimento dei migliori obiettivi in termini di rispetto dei parametri per il ricambio idrico, ma certamente tenendo conto di tali fattori nel progetto si possono ottenere migliori efficienze. Ad un certo punto la riduzione dell'imboccatura potrebbe ridurre la circolazione, ma ciò può non capitare finché questa non sia tale da ridurre il volume del prisma di marea; a qual punto le velocità nel canale potrebbero renderlo non più sicuro per la navigazione.

Se il progettista non può influire sull'escursione di marea, occorre però dire che esistono modi per aumentare il rapporto di escursione di marea e migliorare quindi lo scambio.

Una possibilità è creare un'area all'interno del bacino che abbia il fondo ad una quota prossima a quella del livello minimo di marea. Incrementalmente quest'area avrebbe un TPR prossimo a uno. Tale area può fornire un particolare habitat, ma non può essere utilizzabile come bacino d'ormeggio. Inoltre le acque basse assorbono una quota maggiore di radiazioni termiche che conducono ad un incremento della temperatura. In climi caldi ciò può ridurre il beneficio connesso all'incremento del TPR.

Un'alternativa è mantenere il bacino a basso fondale. Rendere la profondità sufficiente per gli ormeggi, ottimizzandoli ponendo le imbarcazioni ad alto pescaggio verso l'imboccatura e quelle a basso pescaggio altrove. Inclinare i fondali può ridurre l'esigenza di dragaggi, riducendo quindi gli impatti ambientali e riducendo i costi, migliorando nel contempo il TPR.

Migliorare il TPR può comportare ulteriori benefici se il canale è soggetto a shoaling: maggiori TPR incrementeranno le velocità all'imboccatura e la quantità di sedimentazione nel canale sarà ridotta.

Considerati i modesti valori delle correnti riscontrati nel presente studio, successivamente alla realizzazione dell'opera ed in funzione dei dati ottenuti in seguito ad una campagna di monitoraggio all'interno del bacino, sarà valutata l'installazione di circolatori opportunamente dimensionati e posizionati all'interno del canale di vivificazione al fine di aumentare artificialmente il flusso ed ottenere una circolazione ben distribuita ed omogenea, compatibile con quella prodotta naturalmente dalla marea, contribuendo al completo ricambio delle acque .

Si riporta di seguito la planimetria del bacino portuale, nella configurazione prevista dalle opere in progetto con l'indicazione qualitativa degli interventi proposti.

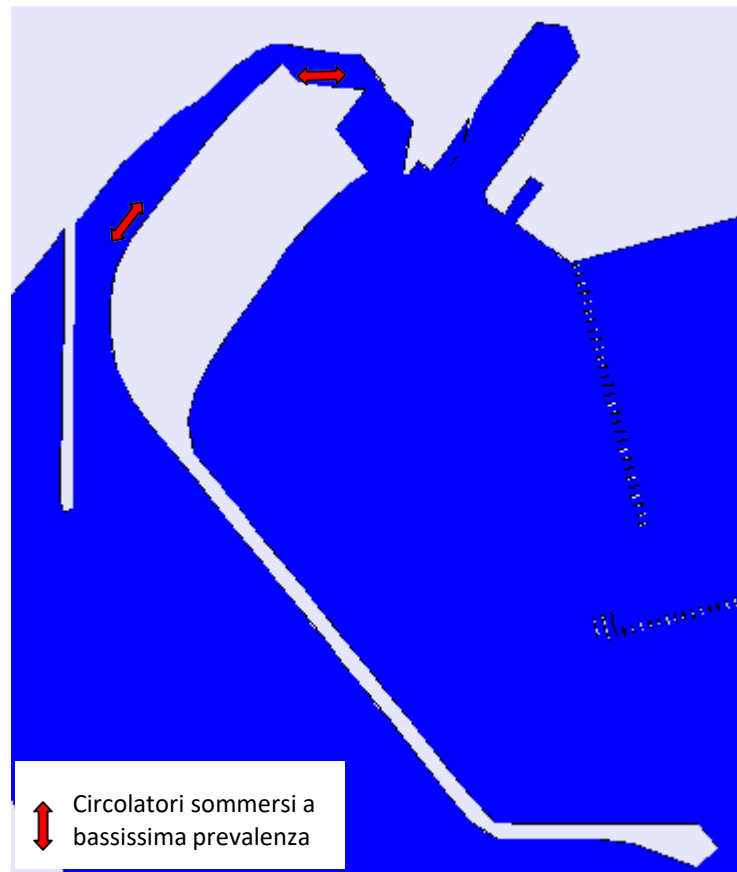


Figura 175 – Ipotesi di intervento per il miglioramento delle condizioni di ricambio per il layout progettuale.

Lo sversamento dai natanti di sostanze come le acque di sentina, potrebbe causare un peggioramento delle condizioni di qualità delle acque del bacino protetto.

A tal fine è stata prevista l'installazione sul molo foraneo e sulla banchina di riva di più punti di scarico delle acque di sentina con sistema di prelievo sotto vuoto (pump-out) e successivo avviamento alla rete di drenaggio.

Tale sistema è soprattutto valido per le imbarcazioni che hanno serbatoi di ritenuta dei liquami imposti per legge negli USA ma ancora poco frequenti in Europa.

Per maggiori chiarimenti ed informazioni si rimanda agli elaborati di progetto relativi agli impianti di drenaggio.

Infine per il monitoraggio continuo della qualità delle acque del bacino portuale, si prevede la predisposizione per un impianto, che a mezzo di apposita sensoristica comunichi su apposito pannello sinottico lo stato di torbidità delle acque e di presenza di altre sostanze inquinanti.

10. CONCLUSIONI

In questo studio è stata sottoposta ad analisi la configurazione delle opere da realizzare per quanto concerne il regime idrodinamico e le condizioni della qualità delle acque in termini di ricambio idrico e di diffusione degli inquinanti.

Inoltre è stata effettuata anche una analisi qualitativa sui fenomeni legati alla dinamiche di erosione/sedimentazione all'interno del bacino protetto.

Nel campo del ricambio idrico e della qualità delle acque sono state effettuate sia elaborazioni di tipo sintetico sia elaborazioni di tipo numerico, nelle condizioni più sfavorevoli (e quindi più cautelative) secondo i fini dichiarati, che sono quelle che prevedono come unica forzante meteorologica la marea astronomica.

In seno all'analisi di tipo sintetico, sono stati valutati alcuni indici descrittivi, in funzione delle caratteristiche dimensionali e geometriche del bacino in esame, per il confronto con gli standards indicati dalla letteratura tecnica e dagli organismi internazionali competenti in materia.

E' stato effettuato il confronto tra diverse configurazioni portuali in funzione degli indici determinati. In particolare sono state confrontate le seguenti situazioni:

- configurazione di stato di fatto, con la realizzazione del Molo di Archimede (Layout A);
- realizzazione delle opere in progetto (Layout B);

Si osserva che in prossimità del sito destinato ad ospitare le opere in progetto, non esistono opere di tipo portuali, pertanto la realizzazione delle opere stesse necessarie alla realizzazione dello specchio idrico protetto determineranno la conterminazione degli specchi acquei e di conseguenza una modifica del ricambio idrico dei bacini stessi, rispetto alle condizioni attuali.

Si osserva che tutti gli specchi idrici individuati sono caratterizzati da valori dell'e-folding time inferiore al valore ottimale di quattro giorni raccomandato dall'US Environmental Protection Agency.

Da tale analisi è emerso che il livello di qualità delle acque per il sito di interesse è condizionato da un livello di ricambio idrico geometricamente ottimale secondo gli standard internazionali ma limitato dal range medio di escursione di marea.

Per un maggior approfondimento sono state effettuate anche analisi di tipo numerico, attraverso l'applicazione di modelli matematici specifici per la determinazione del regime idrodinamico e della diffusione di possibili sostanze inquinanti.

In particolare sono stati effettuate analisi di tipo globale, ai fini di determinare quale sia la tipologia di opere che permetta il raggiungimento del livello idrico migliore.

In particolare sono state indagate due tipologie strutturali:

- Opere trasparenti (Layout B1), relativo all'ipotesi progettuale di realizzare il molo foraneo su pali a giorno;
- Opere opache (Layout B2), relativo all'ipotesi progettuale di realizzare il molo forano come una struttura continua ed opaca.

Si osserva che tali tipologie di strutture sono state semplificate per riuscire ad implementare tali soluzioni secondo le modalità previste dal codice numerico usato.

I risultati ottenuti in seno all'analisi di tipo numerico, hanno mostrato come il regime correntometrico che si instaura all'interno dell'area indagata, in entrambi i layouts simulati, sia caratterizzato da velocità relativamente basse (10^{-2} - 10^{-4} m/s), il che implica un gradiente di ricambio idrico limitato.

Tali risultati sono in accordo con quelli ottenuti con il codice di calcolo ADCIRC durante la redazione dello "Studio Idrodinamico" (cfr. elaborato B.3.1-SDC-Studio idrodinamico).

I punti più sfavoriti risultano essere angoli e spigoli dei punti più interni dei bacini.

Tra le configurazioni indagate, il layout B2 risulta essere caratterizzato da un regime idrodinamico migliore, per via delle velocità globalmente più elevate.

Per migliorare il regime correntometrico nei pressi dell'approdo e quindi la qualità delle acque del bacino portuale, già in fase di progettazione preliminare erano state previste delle opere di mitigazione che sono:

- il canale di vivificazione,
- il pennello deflettore e antisedimentazione.

Per tali opere è stata effettuata la valutazione della configurazione ottimale effettuando ulteriori simulazioni aggiuntive di tipo idrodinamico.

In particolare per il pennello antisedimentazione sono stati analizzati alcuni casi al variare della lunghezza e dell'orientamento del pennello, con lo scopo di individuare quale configurazione possa essere associata a velocità più elevate.

Da tali simulazioni è stato riscontrato:

- la formazione all'interno del canale di vivificazione di un regime correntometrico ridotto, con velocità dell'ordine del 10^{-2} - 10^{-3} m/s, compatibile con quello osservato nelle simulazioni precedenti;
- la formazione di una corrente longitudinale all'interno del canale di vivificazione, dovuta al semplice fenomeno afflusso/deflusso e collegata alle oscillazioni di livello per marea;
- la formazione di un'area soggetta a prosciugamento, lungo il tratto della linea di riva in prossimità della radice del pennello durante la fase di bassa marea dove i fondali sono a pelo d'acqua.

Tali risultati sono in accordo con quelli ottenuti con il codice di calcolo ADCIRC durante la redazione dello "Studio Idrodinamico" (cfr. elaborato B.3.1-SDC-Studio idrodinamico).

Dai risultati ottenuti è emerso che la configurazione migliore è quella che prevede il pennello orientato secondo un asse N/S ed una lunghezza circa 210 m; le simulazioni infatti hanno permesso di osservare che per tale configurazione le velocità in ogni punto del canale di vivificazione sono le maggiori tra quelle rilevate.

Per quanto riguarda il fenomeno di dispersione degli inquinanti, è stato indagato il caso relativo allo sversamento di una sostanza inquinante dalla foce del canale Regina.

Anche per l'aspetto della diffusione degli inquinanti, la configurazione ottimale del pennello deflettore è la quella che prevede l'orientamento N/S e lunghezza pari a 210 m, in quanto tale configurazione risulta essere caratterizzata dai gradienti di dispersione e diffusione migliori, confermano i risultati delle simulazioni idrodinamiche.

Altre indagini modellistiche hanno permesso di valutare la configurazione ottimale delle opere di bordo del canale di vivificazione, in prossimità degli sporgenti della darsena polifunzionale.

In particolare è stato effettuato il confronto, in termini di regime delle velocità, tra un primo layout relativo al caso con le opere di bordo della darsena completamente opache (configurazione 2) ed un secondo layout relativo al caso con parte delle opere di bordo su pali (configurazione 2A).

Le analisi effettuate hanno mostrato che la configurazione ottimale è quella che prevede tutte le opere completamente opache, in quanto le velocità globali all'interno del bacino della darsena sono le maggiori tra quelle rilevate.

A completamento delle indagini numeriche eseguite per la determinazione delle qualità delle acque all'interno dello specchio acqueo protetto, è stata effettuata a verifica dell'ossigeno disciolto (DO), sotto la forzante di marea.

I risultati ottenuti mostrano chiaramente la presenza del canale di vivificazione apporta palesi benefici in termini di concentrazione di ossigeno e che il regime correntometrico all'interno dello specchio acqueo protetto e tale da garantire dei gradienti di distribuzione dell'ossigeno al di sopra dei valori limiti vitali per le specie acquatiche, indice di un buon livello delle qualità delle acque interne.

Si osserva che, per garantire la continuità di un livello delle acque elevato, è stata prevista l'installazione sul molo foraneo e sulla banchina di riva di più punti di scarico delle acque di sentina con sistema di prelievo sotto vuoto (pump-out) e successivo avviamento alla rete di drenaggio.

Per maggiori chiarimenti ed informazioni si rimanda agli elaborati di progetto relativi agli impianti di drenaggio.

Nelle fasi successive di progettazione si valuterà anche l'installazione di un sistema di monitoraggio delle acque del bacino portuale e di un sistema di

miglioramento della circolazione nelle zone maggiormente critiche, che preveda l'installazione di circolatori opportunamente dimensionati e posizionati al fine di aumentare artificialmente il regime correntometrico.