



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale

**PORTO DI PALERMO
COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO DEL
PORTO DELL'ARENELLA**

CUP: I71J19000040005 (OPERA PNRR) - CIG: 9073719DC8



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
(ART. 22, D. Lgs. 152/06 E SS.MM.II.)

ALL.SIA.11 – Studio di Qualità delle Acque

versione:	descrizione:	redazione:	controllo:	approvazione:	data:
01	EMISSIONE A SEGUITO NOTA MASE	EC			LUG 2023

1 PREMESSA

L'Autorità del Sistema Portuale del Mar di Sicilia Occidentale (proponente ex art. 5, c. 1, lett. r del D.Lgs. 152/2006 e ssmmii) ha incaricato lo scrivente Studio Professionale dell'Ing. Giancarlo Inserra (O.d.I di Palermo, n. 7152) di redigere lo Studio di Impatto Ambientale necessario all'iter di legge per eseguire la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale nazionale.

Fanno parte del corpo documentale del progetto e del relativo Studio di Impatto Ambientale gli elaborati elencati nella Tabella 1-1 e nella Tabella 1-2 (si faccia sempre riferimento alla versione più aggiornata degli elaborati a disposizione dell'Autorità Competente).

1.1 Contenuti dello Studio di Impatto Ambientale

Il presente Studio è stato redatto secondo le indicazioni e i contenuti di cui all'allegato VII alla parte seconda del D. Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii., sulla base del parere espresso dall'autorità competente a seguito della eventuale fase di *scoping*. Pertanto:

Lo studio di impatto ambientale contiene almeno le seguenti informazioni:

- a) una descrizione del progetto, comprendente informazioni relative alla sua ubicazione e concezione, alle sue dimensioni e ad altre sue caratteristiche pertinenti;
- b) una descrizione dei probabili effetti significativi del progetto sull'ambiente, sia in fase di realizzazione che in fase di esercizio e di dismissione;
- c) una descrizione delle misure previste per evitare, prevenire o ridurre e, possibilmente, compensare i probabili impatti ambientali significativi e negativi;
- d) una descrizione delle alternative ragionevoli prese in esame dal proponente, adeguate al progetto ed alle sue caratteristiche specifiche, compresa l'alternativa zero, con indicazione delle ragioni principali alla base dell'opzione scelta, prendendo in considerazione gli impatti ambientali;
- e) il progetto di monitoraggio dei potenziali impatti ambientali significativi e negativi derivanti dalla realizzazione e dall'esercizio del progetto, che include le responsabilità e le risorse necessarie per la realizzazione e la gestione del monitoraggio;
- f) qualsiasi informazione supplementare di cui all'allegato VII relativa alle caratteristiche peculiari di un progetto specifico o di una tipologia di progetto e dei fattori ambientali che possono subire un pregiudizio.

Al presente studio di impatto ambientale si allega una sintesi non tecnica, predisposta al fine di consentirne un'agevole comprensione da parte del pubblico ed un'agevole riproduzione.

Per garantire la completezza e la qualità dello studio di impatto ambientale e degli altri elaborati necessari per l'espletamento della fase di valutazione, il proponente di questo studio:

- a) ha tenuto conto delle conoscenze e dei metodi di valutazione disponibili derivanti da altre valutazioni pertinenti effettuate in conformità della legislazione europea, nazionale o regionale, anche al fine di evitare duplicazioni di valutazioni;
- b) ha richiesto l'accesso ai dati e alle pertinenti informazioni disponibili presso le pubbliche amministrazioni, secondo quanto disposto dalle normative vigenti in materia, con le modalità ed i risultati che verranno di volta in volta esplicitati nella parte pertinente di questo documento;

- c) ha curato che la documentazione sia elaborata da esperti con competenze e professionalità specifiche nelle materie afferenti alla valutazione ambientale, e che l'esattezza complessiva della stessa sia attestata da professionisti iscritti agli albi professionali.

1.2 Approccio metodologico: le linee guida SNPA

Il presente documento si articola con una precisa struttura logica che consente la migliore facilità di lettura e la più efficace ricerca e ottenimento delle informazioni su argomenti specifici.

Con tale scopo è stato tenuto in debita considerazione il documento "Valutazione di impatto ambientale. Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale" Linee Guida SNPA, 28/2020.

Il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della Legge 28 giugno 2016, n.132 "Istituzione del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale".

Esso costituisce un vero e proprio Sistema a rete che fonde in una nuova identità quelle che erano le singole componenti del preesistente Sistema delle Agenzie Ambientali, che coinvolgeva le 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA), oltre a ISPRA.

Le modifiche normative introdotte con il D.Lgs. 104/2017 alla parte seconda del Testo unico dell'ambiente prevedevano che venissero adottate, su proposta del SNPA, linee guida nazionali e norme tecniche per l'elaborazione della documentazione finalizzata allo svolgimento della valutazione di impatto ambientale.

Le linee guida vengono considerate uno strumento per la redazione e la valutazione degli studi di impatto ambientale per le opere riportate negli allegati II e III della parte seconda del D.Lgs. 152/06 s.m.i.

Le indicazioni della Linea Guida integrano i contenuti minimi previsti dall'art. 22 e le indicazioni dell'Allegato VII del D.Lgs. 152/06 s.m.i, sono riferite ai diversi contesti ambientali e sono valide per le diverse categorie di opere, con l'obiettivo di fornire indicazioni pratiche chiare e possibilmente esaustive.

1.3 Il corpo documentale a corredo dell'istanza di VIA

In aderenza ai dettami del D.Lgs. 152/06 e ss.mm.ii. il proponente, quindi, presenta l'istanza di VIA trasmettendo all'autorità competente in formato elettronico:

- a) gli elaborati progettuali;
- b) lo studio di impatto ambientale e i suoi allegati;
- c) la sintesi non tecnica;
- d) l'avviso al pubblico, con i contenuti indicati all'articolo 24, comma 2;
- e) copia della ricevuta di avvenuto pagamento del contributo di cui all'articolo 33.

Le tabelle seguenti elencano il corpo documentale allegato all'istanza.



COMMITTENTE

Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

INCARICATO DELLO STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE



Ing. Giancarlo Insera
Ingegneria Ambientale e Civile

ELENCO ELABORATI			
codice elaborato	titolo elaborato	Vers.	Data
SIA.01	Studio di Impatto Ambientale	01	01/03/2023
ALL.SIA.02	Campagna indagini fonometriche e valutazione previsionale di impatto acustico (a cura di Projects Lab - Ing. Ruggero Taragnolini)	01	01/03/2023
ALL.SIA.03	Caratterizzazione e qualificazione della prateria di Posidonia oceanica interferita dalle azioni di progetto relative al completamento del Molo Foraneo del Porto dell'Arenella (a cura di Biosurvey srl - Resp. Scientifico Prof. S. Calvo)	01	feb-23
ALL.SIA.04	Progetto di trapianto di Posidonia oceanica come misura di compensazione dell'impatto relativo al completamento del Molo Foraneo del Porto dell'Arenella (a cura di Biosurvey srl - Resp. Scientifico Prof. S. Calvo)	01	feb-23
ALL.SIA.05	Area di sito: analisi e prove sui sedimenti ai sensi del DM 173/2016 (Biosurvey srl - Resp. scientifico Prof. S. Calvo, Lab. Uff. SO.GEST Ambiente srl)	01	28/02/2023
ALL.SIA.06.01	Attività di campionamento ed analisi sedimentologiche dell'area marina costiera del golfo di Palermo (ARPA Sicilia)	01	2011
ALL.SIA.06.02	Relazione integrativa sulle attività di caratterizzazione sedimentologica dell'area (ARPA Sicilia)	01	2011
ALL.SIA.07.01	Caratterizzazione della qualità delle acque marine del Golfo di Palermo – FASE I (ARPA Sicilia)	01	2011
ALL.SIA.07.02	Caratterizzazione della qualità delle acque marine del Golfo di Palermo – FASE II (ARPA Sicilia)	01	2011
ALL.SIA.08	Monitoraggio della qualità dell'aria nel porto di Palermo (A.R.P.A. Sicilia)	01	2011
ALL.SIA.09	Monitoraggio del rumore, delle vibrazioni e dei campi elettromagnetici nell' area portuale di Palermo anno 2009-2010 (A.R.P.A. Sicilia)	01	2011
ALL.SIA.10	Monitoraggio in banda larga dei livelli di campo elettromagnetico nel Porto di Palermo e di Termini Imerese (A.R.P.A. Sicilia)	01	2011
VINCA.01	Relazione generale di Screening di V.Inc.A. (a cura di Biosurvey srl - Resp. Scientifico Prof. S. Calvo)	01	28/02/2023
VINCA.02	Screening di Incidenza - Livello 1 della V.Inc.a (a cura di Biosurvey srl - Resp. Scientifico Prof. S. Calvo)	01	28/02/2023
PMA.01	Piano di Monitoraggio Ambientale	01	01/03/2023
PMA.02	Integrazione del Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) per gli aspetti di biodiversità marina (a cura di Biosurvey srl - Resp. Scientifico Prof. S. Calvo)	01	dic-22
SNT	Sintesi Non Tecnica	01	01/02/2023

Tabella 1-1: Elaborati dello Studio di Impatto Ambientale

1.4 Finalità del documento

Il presente documento riporta lo “Studio di qualità delle acque” del bacino portuale dell’Arenella, già redatto per il progetto definitivo del completamento del molo foraneo, i cui contenuti si ritengono vevoli anche per la configurazione proposta dal progetto esecutivo a cui il presente SIA si riferisce.

ELENCO DEGLI ELABORATI DI PROGETTO	
codice	titolo elaborato
EE.00	Elenco elaborati
	A - ELABORATI GENERALI
A .01	Relazione generale
	B - RELAZIONI SPECIALISTICHE
B.01	Relazione idraulica marittima
B.01.01	Relazione idraulica marittima: allegati
B.02	Relazione dell'agitazione residua e dell'agibilità portuale
B.02.01	Relazione dell'agitazione residua e dell'agibilità portuale: allegati
B.03	Relazione sulla dinamica della costa
B.04	Relazione sismica
B.05	Relazione geotecnica
B.06	Relazione sul dimensionamento e la stabilità idraulica
B.07.01	Relazione di calcolo delle strutture
B.07.01	Relazione di calcolo delle strutture: allegati
B.08	Relazione paesaggistica
	Studio Geologico (a cura del dott. Paolo Nania)
B.09 - 1	Relazione geologica
B.09 - 1.1	Geolocalizzazione indagini geognosiche e sismiche
B.09 - 2	Indagini sismiche MASW
B.09 - 3	Indagini sismiche HVSR
B.09 - 4	Elaborazione geotecnica dei test penetrometrici (Spt) eseguiti in foro
B.09 - 5	Raccolta dati stratigrafici e laboratorio geotecnico
B.09 - 5.1	Analisi e prove di laboratorio geotecnico (a cura di CON.GEO Srl)
B.09 - 6	Tavole cartografiche
	RILIEVI TOPOGRAFICI, BATIMETRICI E BIOCENOTICI (A CURA DI ARENA SUB SRL)
R.01	Relazione illustrativa dei rilievi batimetrici e biocenotici
R.01.01	Allegato: Processing Report
R.01.02	Allegato: Video subacquei dei transetti (da trasmettere su richiesta)
T.1	Ortofoto e profili di sezioni
T.2	Ortofoto e Piano Quotato
T.3a	Carta morfologico-batimetrica (isobate)
T.3b	Carta morfologico-batimetrica (rilievo ombreggiato color coded)
T.3c	Carta morfologico-batimetrica (rilievo ombreggiato grey-scale)
T.4a	Carta morfologico-batimetrica (Isobate) - Spiaggia Vergine Maria
T.4b	Carta morfologico-batimetrica (shaded relief) - Spiaggia Vergine Maria
T.5	Carta dei tipi di fondo (color coded seabed fetures)
T.6	Carta del mosaico acustico Side Scan Sonar
	RELAZIONE ARCHEOLOGICA PREVENTIVA (A CURA DOTT. ARCHEOL. F. FAZIO - ARENA SUB SRL)
VIARCH.01	Relazione archeologica preventiva a seguito dei rilievi
VIARCH.01.01	Relazione archeologica preventiva: Carta del potenziale archeologico
	C - ELABORATI GRAFICI
	C.SF - STATO DI FATTO
C.SF.01.01	Carta nautica - Cartografia IGM - Carta Tecnica Regionale - Ortofoto
C.SF.01.02	Stralcio PRG - Stralci PRP - Stato di completamento
C.SF.01.03	Carta dei vincoli paesaggistici e territoriali
C.SF.02.01	Planimetria e sezioni dello stato di fatto
C.SF.02.02	Inventario visuale
	C.OP - STATO DI PROGETTO
C.OP.01	Planimetria sinottica delle opere in progetto
C.OP.02	Planimetria di dettaglio
C.OP.03	Raffronto SDF - PRP vigente - Opere in progetto
C.OP.04	Piano di tracciamento delle opere
C.OP.05	Sezioni tipo di progetto
C.OP.06	Quaderno delle sezioni di computo
C.OP.07	Particolari costruttivi e arredo portuale
C.OP.08.01	Cassoni cellulari: piante e sezioni
C.OP.08.02	Cassoni cellulari: carpenterie
C.OP.09	Modalità esecutive e fasi costruttive
C.OP.10	Siti di cava e deposito
	D - ELABORATI DEGLI IMPIANTI
D.IE.01	Impianti Elettrici e Illuminotecnici: Relazione descrittiva e di calcolo
D.IE.02	Impianti Elettrici e Illuminotecnici: Schema di Installazione
D.IS.01	Impianti Idrici: Relazione descrittiva e di calcolo
D.IS.02	Impianti Idrici: Schema di Installazione
	E - PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA E DELLE SUE PARTI
E.01	Manuale d'uso
E.02	Manuale di manutenzione
E.03	Programma di manutenzione
	F - PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO E INCIDENZA DELLA MANODOPERA
F.01	Piano di sicurezza e coordinamento
F.02	Planimetria delle aree di cantiere
	G - ELABORATI ECONOMICI ED AMMINISTRATIVI
G.01	Elenco dei prezzi unitari
G.02	Analisi dei prezzi
G.03	Quadro incidenza della manodopera
G.04	Computo metrico estimativo
G.05	Quadro economico
G.06	Cronoprogramma
G.07	Capitolato speciale d'appalto
G.08	Schema di contratto di appalto

Tabella 1-2: Corpo documentale del progetto

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1 CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE SULLA QUALITA' DELLE ACQUE.....	1
1.2 STANDARDS PER LA QUALITÀ DELLE ACQUE.....	2
2. GLI APPORTI IDRICI NEL GOLFO DI PALERMO	7
3. METODI SINTETICI PER DETERMINARE LA QUALITÀ DELLE ACQUE DI UN BACINO	9
3.1 DESCRIZIONE DEGLI INDICI SINTETICI.....	9
3.1.1 TEMPO DI RICAMBIO	9
3.1.2 RAPPORTI DI FORMA DEL BACINO	11
3.1.3 IL COEFFICIENTE DI RICAMBIO	13
3.1.4 RAGGIO DI CURVATURA DEL BACINO	15
3.1.5 INFLUENZA DELLA SUPERFICIE DELLA SEZIONE DELL'IMBOCCATURA	16
3.1.6 RAPPORTO DI ESCURSIONE DI MAREA	18
3.1.7 UBICAZIONE DELL'IMBOCCATURA DEL MARINA	18
3.1.8 EFFETTI DOVUTI AD IMBOCCATURE MULTIPLE	19
3.2 L'APPLICAZIONE AL BACINO DELL'ARENELLA	20
3.2.1 DESCRIZIONE DELLE CONFIGURAZIONI PORTUALI.	20
3.2.2 DEFINIZIONE DEI LAYOUTS DI STUDIO	23
3.2.3 VALUTAZIONE DEGLI INDICI SINTETICI	23
4. ANALISI MODELLISTICA IDRODINAMICA	28
4.1 MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO	28
4.2 DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO E DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO	29
4.3 ANALISI DEI RISULTATI	34
4.3.1 Simulazione valida per il layout A	35
4.3.2 Simulazione valida per il layout B	42
4.4 CONCLUSIONI.....	48
5. ANALISI DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI	49
5.1 MODELLO DI CALCOLO	49
5.2 APPLICAZIONI EFFETTUATE	49
5.2.1 Simulazione relativa al layout A	51
5.2.2 Simulazione relativa al layout B	60
5.3 CONCLUSIONI.....	69
6. POSSIBILI INTERVENTI PER MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLE ACQUE.....	70
7. CONCLUSIONI E INDICAZIONI PER LE FASI SUCCESSIVE DI PROGETTAZIONE	73
8. RIFERIMENTI.....	75

1. INTRODUZIONE

Questo elaborato è stato redatto nell'ambito del progetto di completamento dell'opera di sopraflutto del Porto dell'Arenella in conformità a quanto previsto nel vigente Piano Regolatore del Porto.

Lo studio è finalizzato alla verifica della qualità delle acque nel bacino del porto.

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

In seguito all'applicazione di modellistica matematica atta ad individuare quali siano i possibili pattern di circolazione idrica e di dispersione di eventuali fonti inquinanti che in eventi accidentali ed eccezionali potrebbero sversarsi all'interno del bacino portuale, 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.

1.1 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 sciolano 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.

1.2 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):	<ul style="list-style-type: none"> • 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.
	<ul style="list-style-type: none"> • 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 prevede 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 per il tratto di costa compreso tra Capo Gallo e Capo Zafferano, coincidente con il golfo di Palermo, lo stato ambientale 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	Triclorobenzene (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 (clorofornio) 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
58-89-9	[Lindano (□ isomero	0,1	5090
	dell'esaclorocicloesano]]		
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	Clorfenvinfos P	0,1	5100
5.6 Organotiofosforici			
2921-88-2	Clorpyrifos (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)

2. GLI APPORTI IDRICI NEL GOLFO DI PALERMO

Nel golfo di Palermo sversano, oltre ai Fiumi Oreto ed Eleuterio, numerosi emissari di collettori fognari che convogliano le acque reflue dell'area urbana.

La città di Palermo ha infatti vissuto in maniera conflittuale il suo rapporto col mare non riuscendo ad utilizzare e valorizzare appieno questa straordinaria risorsa, sia per il degrado ambientale in cui versano da lungo tempo numerosi spazi urbani lungo la fascia costiera, sia per il cronico inquinamento delle acque marine, che da decenni vengono impoverite dagli scarichi fognari provenienti dal centro abitato. Basti pensare che, attualmente, confluiscono in mare i liquami non depurati prodotti da quasi 500 mila abitanti (fonte: Comune di Palermo).

L'Amministrazione comunale, nell'intento di restituire il mare alla città e ai suoi abitanti e di farne una leva di sviluppo che attragga investimenti e crei nuove occasioni di lavoro, si è dotata di un piano organico, presentato il 6 luglio 2002, con progetti e interventi il cui primo obiettivo è il disinquinamento delle acque, oltre alla razionalizzazione degli insediamenti sul litorale e al rilancio dei porti turistici e delle borgate marinare.

Nell'ambito di tale piano risultano ad oggi completati gli interventi per il disinquinamento della Cala, ovvero l'intercettazione dei collettori che sversavano in tale bacino ed il convogliamento di questi reflui, tramite una nuova stazione di pompaggio realizzata al Foro Italico davanti Porta Felice, all'impianto di depurazione di Acqua dei Corsari.

Pertanto la situazione degli emissari ancora attivi, in base ai dati forniti dall'A.M.A.P. di Palermo, è quella illustrata nella figura successiva. Nella successiva tabella invece è riportato l'elenco dei manufatti fognari della rete urbana di Palermo con l'indicazione del sito, della tipologia ed i dati identificativi. In evidenza l'emissario più prossimo all'area di interesse.

ID	SITO	TIPOLOGIA	ID.AMAP.	NOTE
A	Vergine Maria - N.S. dei Rotoli	Fognolo acque miste	3	ex.n° 5 convenzione 41/2002
B	Vergine Maria -Tonnara Bordonaro	Fognolo acque miste	4	ex.n° 6 convenzione 41/2002
C	Vergine Maria - vicolo Gomena	Fognolo acque miste	5	ex.n° 7 convenzione 41/2002
D	Vergine Maria - Cimitero dei Rotoli	Fognolo acque meteoriche	6	ex.n° 8 convenzione 41/2002
E	Acquasanta -Tonnara - Porticciolo	Fognolo acque miste	7	ex.n° 9 convenzione 41/2002
F	Cantieri Navali - Bacino 5	Collettori acque miste Sampolo, Notarbartolo, Molo e Canale Passo di Rigano	Bacino 5	ex. n° 14-15-16-17 convenzione 41/2002
G	Piazza Gasmetro	Fognolo acque miste	8	ex.n° 40 convenzione 41/2002
H	S.Erasmo	Collettore acque miste	9	ex.n° 41 convenzione 41/2002
I	Via Messina Marine - Via Diaz	Collettore acque miste	10	ex.n° 44 convenzione 41/2002
L	Via Messina Marine -Sperone	Collettore acque miste	11	ex.n° 45 convenzione 41/2002
M	Via Messina Marine -Li Vorsi	Collettore acque meteoriche	12	ex.n° 48 convenzione 41/2002
N	Bandita	Collettore acque miste	13	ex.n° 49 convenzione 41/2002
O	Giunchi	Canale Smaltimento acque miste	14	ex.n° 50 convenzione 41/2002
P	Galletti	Fognolo acque miste	15	ex.n° 53 convenzione 41/2002

Tabella 4 – Elenco scarichi fognari della rete urbana di Palermo



Figura 1 – Ortofoto del Golfo di Palermo con indicazione delle attuali immissioni di scarico a mare

Ulteriori interventi previsti finalizzati all'eliminazione dei suddetti scarichi e convogliamento ai depuratori sono in corso o prossimi ad iniziare. Fra i primi vi è la nuova rete fognaria di Arenella – Vergine Maria; mentre fra i secondi è compresa la normalizzazione degli scarichi nel porto industriale (costruzione di uno "sgrossatore", cioè una vasca di modulazione per inviare all'impianto di depurazione le acque nere diluite), intervento curato dall'Autorità Portuale di Palermo.

3. 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.

3.1 DESCRIZIONE DEGLI INDICI SINTETICI

3.1.1 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:

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

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

- ε , frazione di acqua nuova apportata da ogni flusso di marea, così che $1-\varepsilon$, 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:

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

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 $\varepsilon=1$, ad ogni ciclo di marea.

Ciò tuttavia 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).

3.1.2 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.

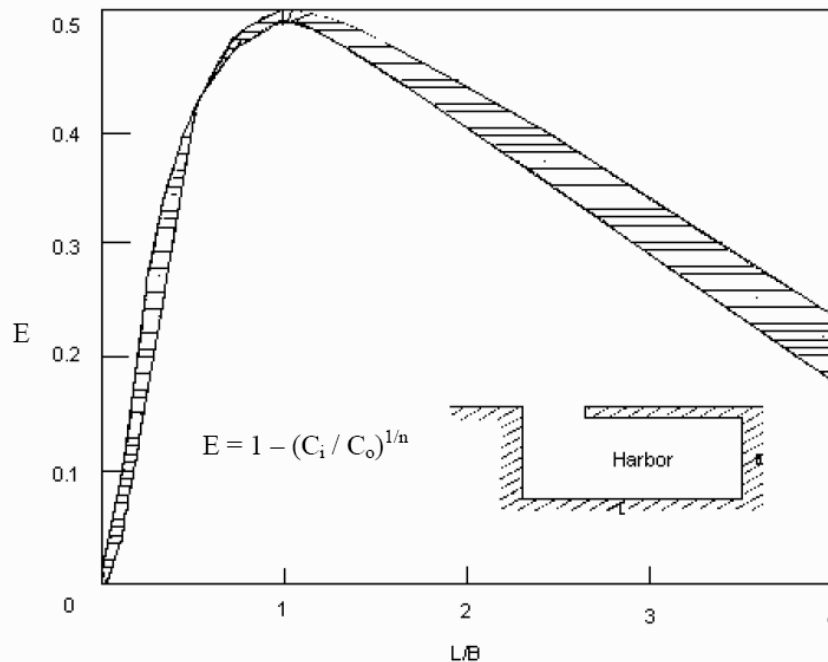


Figura 2 – Coefficiente di scambio idrico in funzione del fattore di forma di un bacino

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.

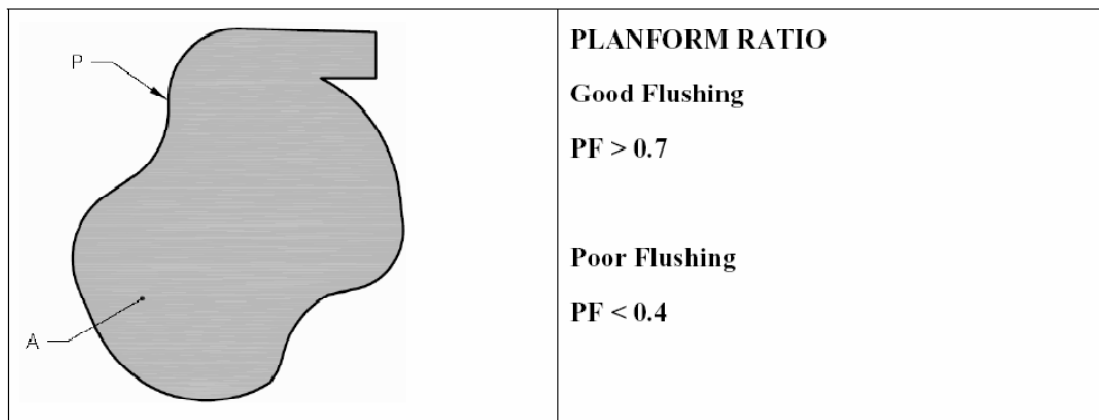


Figura 3 – Fattore di Forma (Planform Factor)

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.

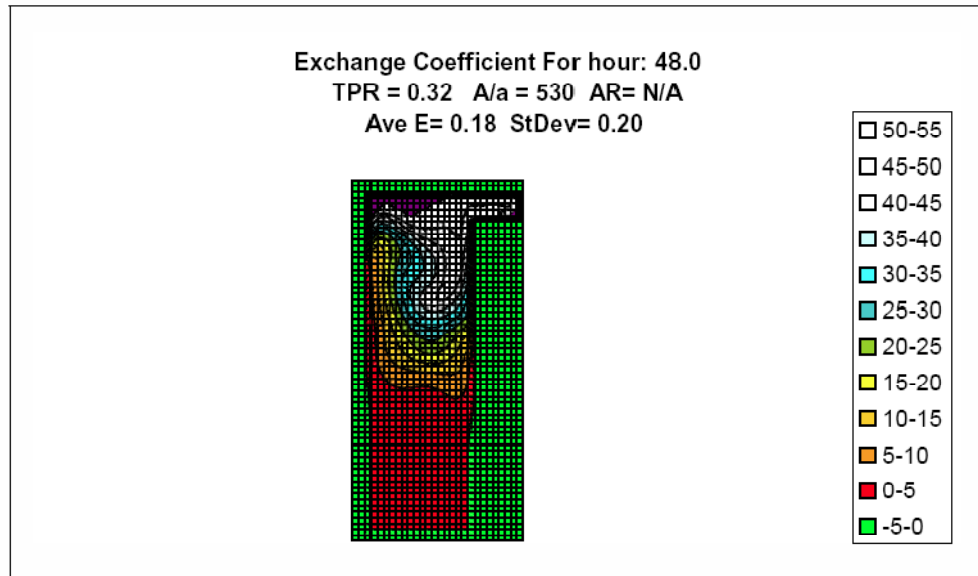


Figura 4 – Limite della penetrazione in un bacino rettangolare

3.1.3 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 miscele 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

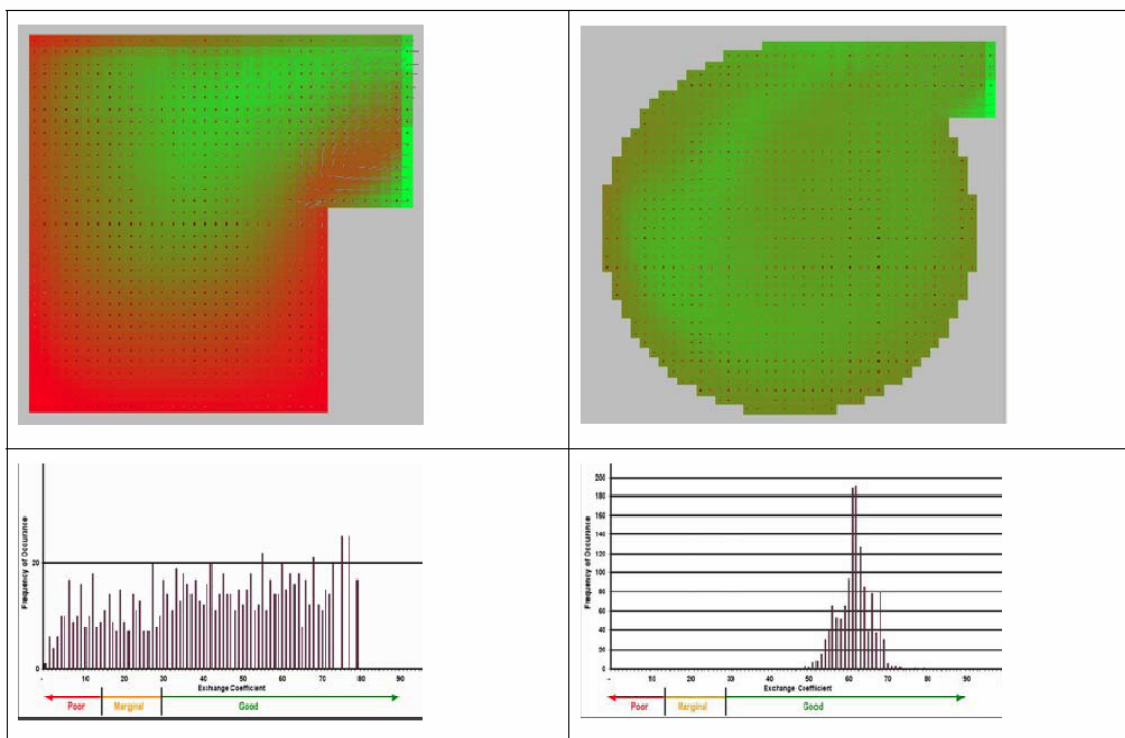


Figura 5 – Differenza di scambio idrico tra un bacino non uniforme (a sinistra) ed uno uniforme (a destra)

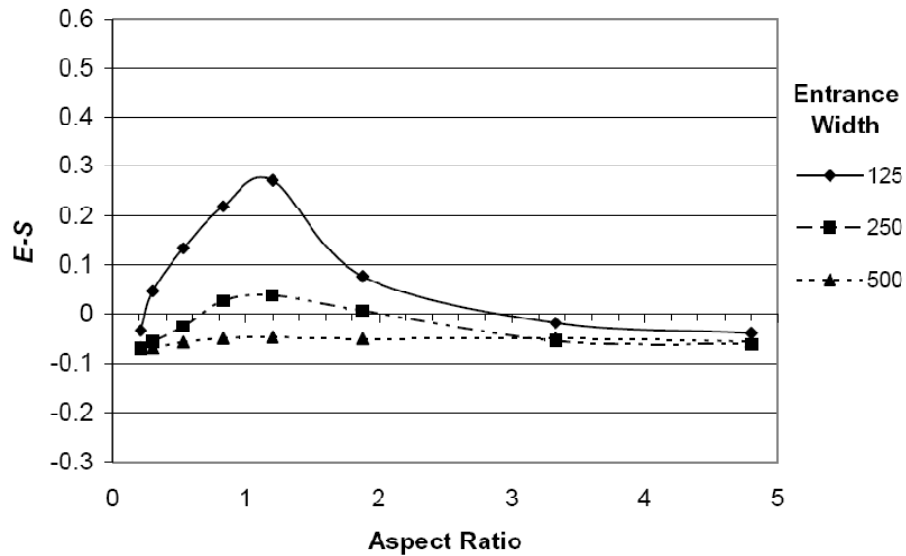
Rectangular Basin, TPR = 0.32

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

3.1.4 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).

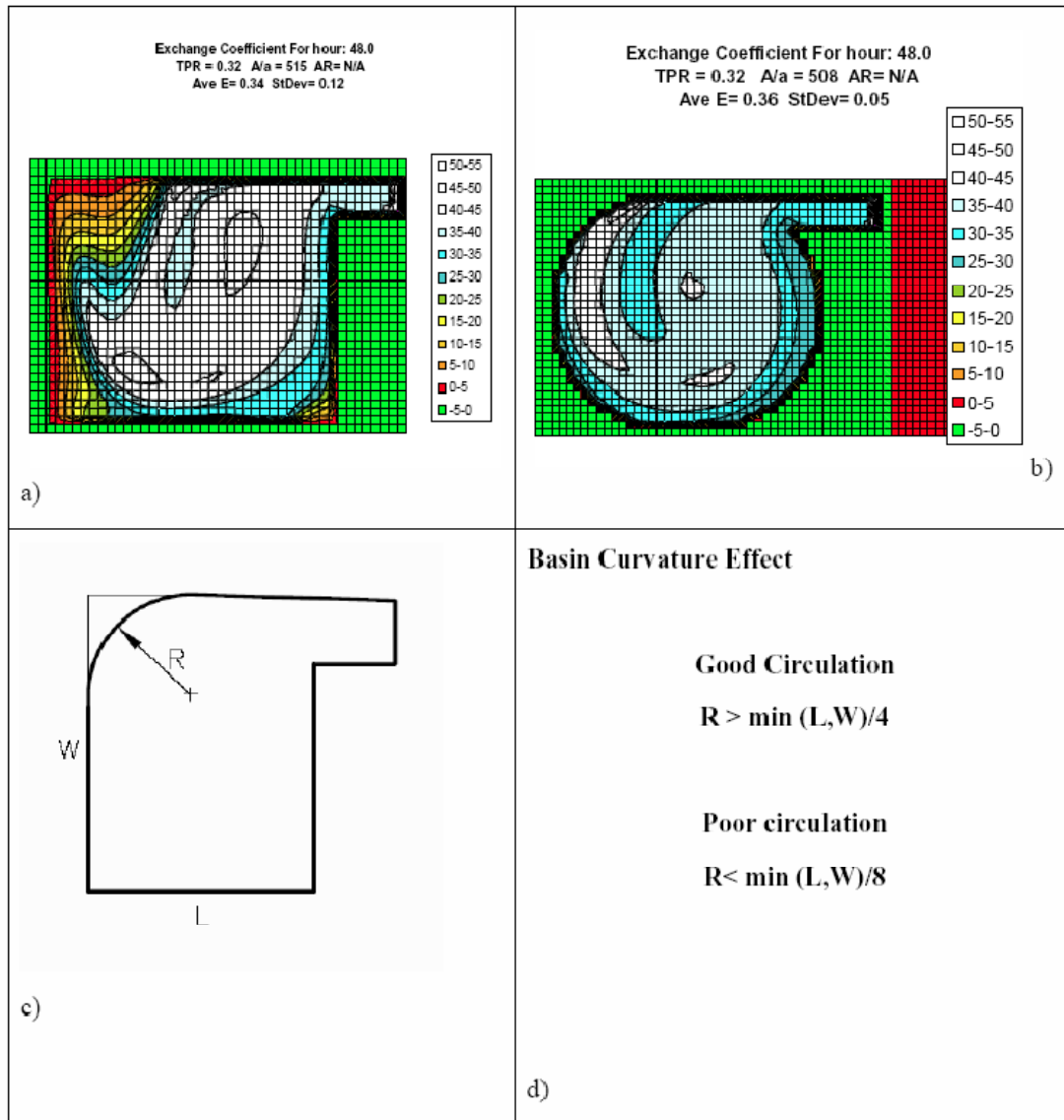


Figura 7 - Definizione della Curvatura di bacino

3.1.5 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.

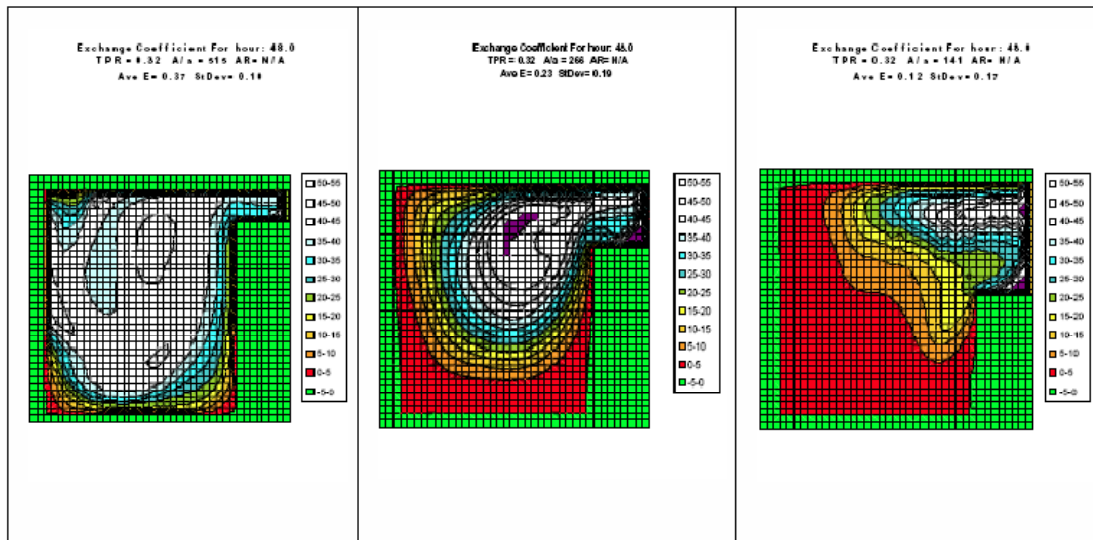


Figura 8 – Relazione tra l'area del bacino e la sezione dell'imboccatura

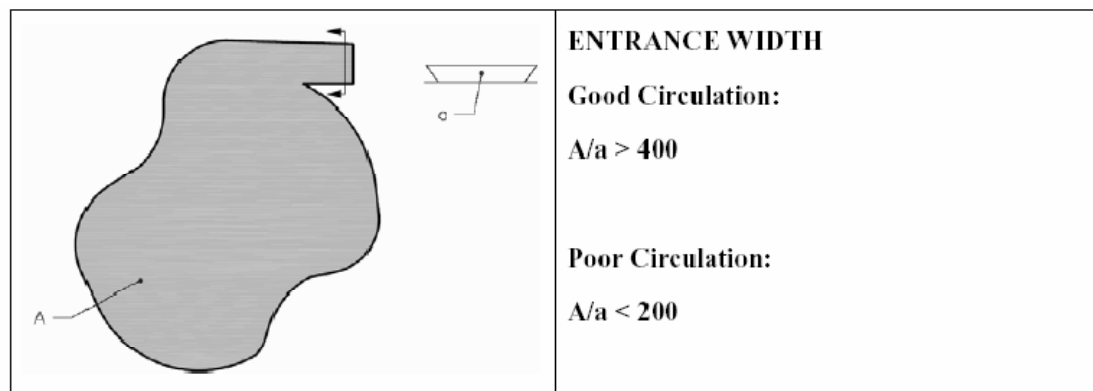


Figura 9 – Importanza dell'imboccatura ai fini del ricambio idrico

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.

3.1.6 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.

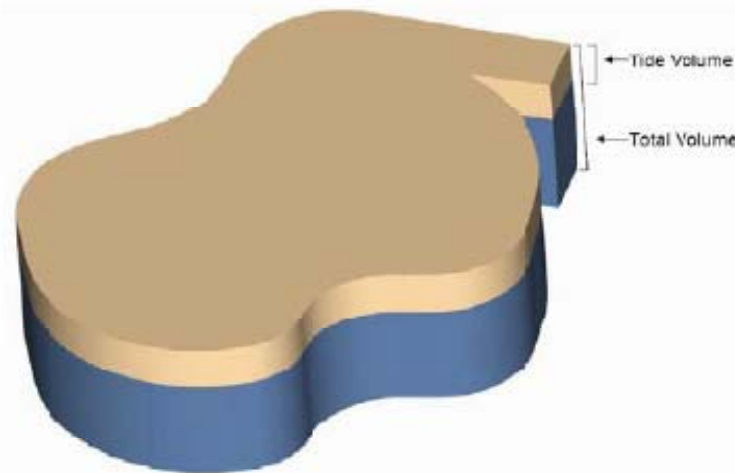


Figura 10 – Diagramma esemplificativo dei volumi per il calcolo dell' indice TPR.

3.1.7 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.

3.1.8 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.

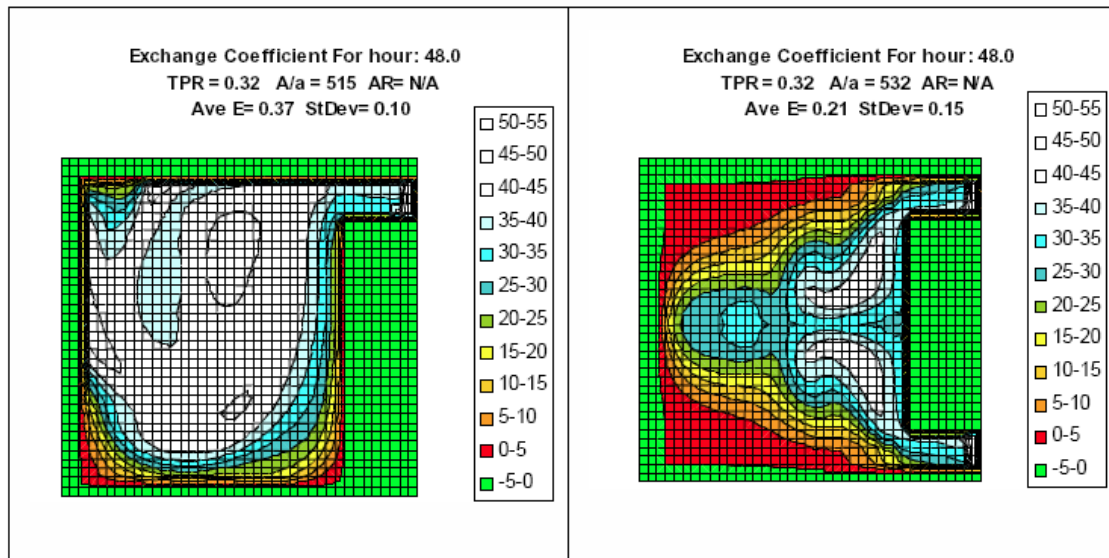


Figura 11 – Confronto fra un bacino con una sola imboccatura ed uno con imboccature multiple

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.

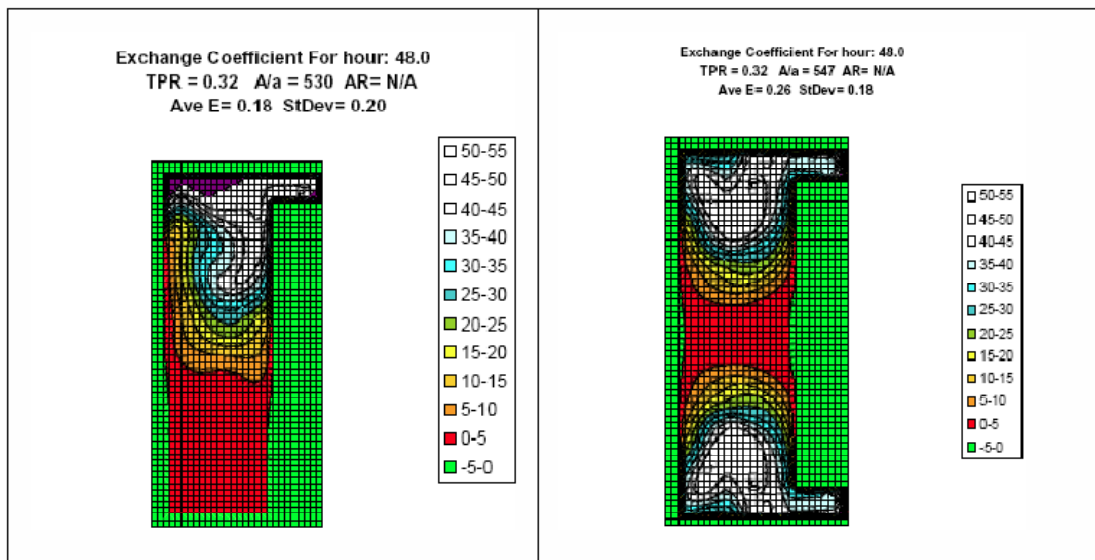


Figura 12 – Effetti sulla circolazione idrica in bacini allungati con imboccature multiple

3.2 L'APPLICAZIONE AL BACINO DELL'ARENELLA

Questo capitolo ha come oggetto le elaborazioni di tipo sintetico effettuate per il bacino portuale dell'Arenella.

Dapprima verranno descritte sia la configurazione attuale dell'approdo, 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.

3.2.1 DESCRIZIONE DELLE CONFIGURAZIONI PORTUALI.

3.2.1.1 DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI STATO DI FATTO

Il porto dell'Arenella è situato nella zona più settentrionale dell'area di competenza dell'autorità portuale di Palermo.

Esso è costituito da due bacini: il primo è situato a levante e indicato come "B", è il più vecchio e di estensioni più limitate; il secondo, situato a ponente e indicato come "A", è più recente, risulta caratterizzato da dimensioni maggiori ed è protetto dal molo di sopraflutto.

Le opere foranee esistenti configurano così una struttura portuale di tipo radente con uno specchio acqueo, parzialmente protetto, di circa 47.000 m².

Il molo di sopraflutto è costituito da una trilatera che si sviluppa complessivamente per 459 m. Il primo tronco ha direzione ESE e lunghezza di 79,75 m; il secondo piega verso Sud ed ha una lunghezza di 288,40 m mentre il terzo ed ultimo tratto è lungo 90,8 m ed ha direzione SSW. Costruttivamente è realizzato da un'opera a gettata con massiccio di coronamento a quota +2,80 m circa, mantellata in cubi di calcestruzzo di dimensione variabile (mediamente 2,5x2,5x2m) con berma a quota +6m circa. Internamente è presente un banchinamento parziale con quota di calpestio a +1,40 m circa. E' stato realizzato un muro paraonde solo per i primi 200 m mentre la mantellata è stata recentemente rifiorita ma solo fino al termine del secondo tratto (prog. 288,40 m). Inoltre gli elementi del massiccio alla testata della diga presentano cedimenti fino a circa 1 m, presumibilmente dovuti alla agli assestamenti del nucleo.

La batimetria del sito si presenta abbastanza regolare con le isobate che seguono l'andamento della costa fino alla profondità dei 15 m.

Si osserva infine che è in corso di iter procedurale l'approvazione delle opere di completamento del molo di sottoflutto, in conformità al vigente P.R.P.

3.2.1.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE IN PROGETTO

Il progetto prevede il completamento dell'opera di sopraflutto mediante la realizzazione di una diga a gettata con massiccio e banchinamento a cassoni cellulari, in esatta continuità dimensionale planimetrica al terzo tronco esistente (direzione S-SW) per una lunghezza di 77,5 m oltre il riccio di testata (Cfr. OP.01).

La sezione tipica (cfr. Tav. OP.04) sarà mutuata dalla sezione della diga preesistente, imbasata mediamente ad una profondità di circa -13 m rispetto al livello medio mare, e sarà realizzata da un nucleo in scogli di 1^a categoria e pietrame fino a quota +2,15 m sul livello medio mare, e pendenza scarpata lato mare 4/3. Il nucleo sarà protetto da uno stato filtro di scogli di seconda categoria per uno spessore di 2,45 m e da una mantellata di tipo "single layer" in massi artificiali tipo Ecopode™ (per le parti emerse) e tipo Accropode™ (per le parti sommerse) che formerà lato mare una berma emersa di larghezza 10 m e quota + 6,0 m rispetto il l.m.m. I massi tipo Ecopode sono elementi in calcestruzzo non armato con caratteristiche ecocompatibili per avere una superficie simile alla pietra locale.

Al di sopra del nucleo, ad una quota di +3,00 m, è prevista una sovrastruttura in calcestruzzo di larghezza 8,15 m con muro paraonde a quota +6,0 sul l.m.m

Il banchinamento interno sarà realizzato con cassoni cellulari in cemento armato larghi 19,9 m posizionati su di un letto di pietrame. Si prevede l'utilizzo di cassoni che abbiano le pareti esterne che costituiscono il filo banchina forate per l'abbattimento della riflessione delle onde. Le celle interne del cassone saranno riempite con sabbia.

LAVORI DI COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO DEL PORTO DELL'ARENELLA, SECONDO LA CONFIGURAZIONE DI PIANO REGOLATORE APPROVATO DAL CONSIGLIO SUPERIORE LL.PP. CON VOTO DEL N.529 DEL 11/09/1974

STUDIO DELLA QUALITA' DELLE ACQUE

Sul cassone dalla quota +0,5 sarà realizzata una sovrastruttura in cemento armato fino alla quota di calpestio prevista di +1,4 sul l.m.m.

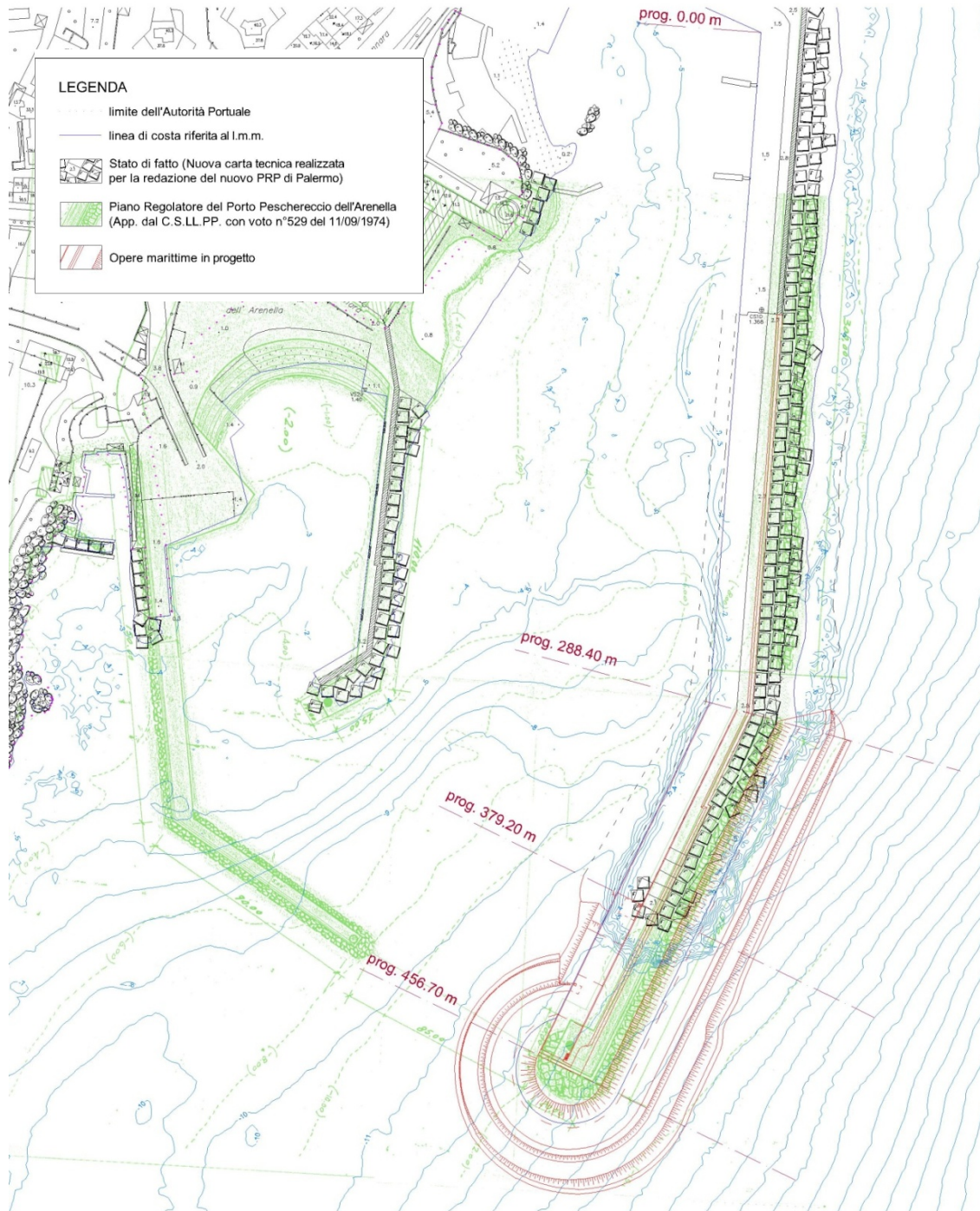


Figura 13 – planimetria relativa al raffronto Opere in Progetto – Stato di Fatto, con le indicazioni relative alle specifiche del piano regolatore portuale vigente.

3.2.1.3 II PORTO DELL'ARENELLA SECONDO IL NUOVO P.R.P

Il nuovo piano regolatore portuale di Palermo, in corso di approvazione, prevede di una destinazione prettamente turistica per il porto dell' Arenella

In particolare vengono indicati i seguenti interventi:

- prolungamento e banchinamento interno del molo di sopraflutto;
- realizzazione del molo di sottoflutto;
- modifica del dispositivo di protezione del vecchio bacino per la realizzazione di uno sporgente interno banchinato;
- banchinamento interno al bacino maggiore.

3.2.2 DEFINIZIONE DEI LAYOUTS DI STUDIO

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

LAYOUT	DESCRIZIONE
A	REALIZZAZIONE DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO E DEL MOLO DI SOTTOFLUTTO SECONDO P.R.P.VIGENTE
B	REALIZZAZIONE DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO SECONDO P.R.P.VIGENTE
C	CONFIGURAZIONE DI STATO DI FATTO
D	CONFIGURAZIONE PREVISTA DAL NUOVO P.R.P. in CORSO DI APPROVAZIONE

Figura 14 – Prospetto riassuntivo dei layouts indagati

3.2.3 VALUTAZIONE DEGLI INDICI SINTETICI

Il tempo necessario al ricambio idrico è stato stimato utilizzando la relazione riportata al capitolo 2 e ponendo la quantità di acqua nuova apportata ad ogni flusso di marea coincidente con quella della portata di ritorno. Nei grafici seguenti è visualizzato l'andamento del tempo di ricambio in funzione del valore del fattore di diluizione D, per ognuno dei layout investigati.

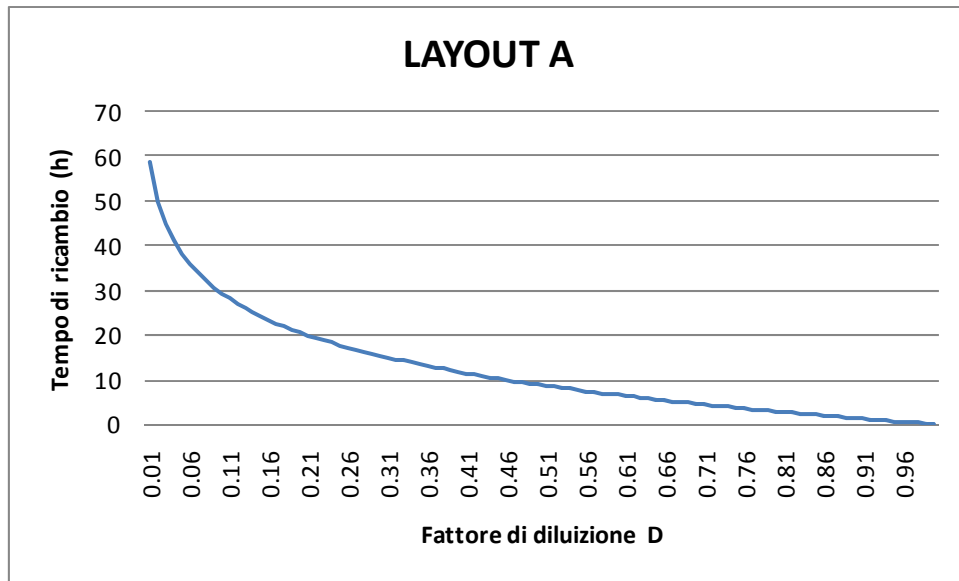


Figura 15 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il Layout A, che prevede la realizzazione dei moli di sopraflutto e di sottoflutto, in conformità al P.R.P. vigente.

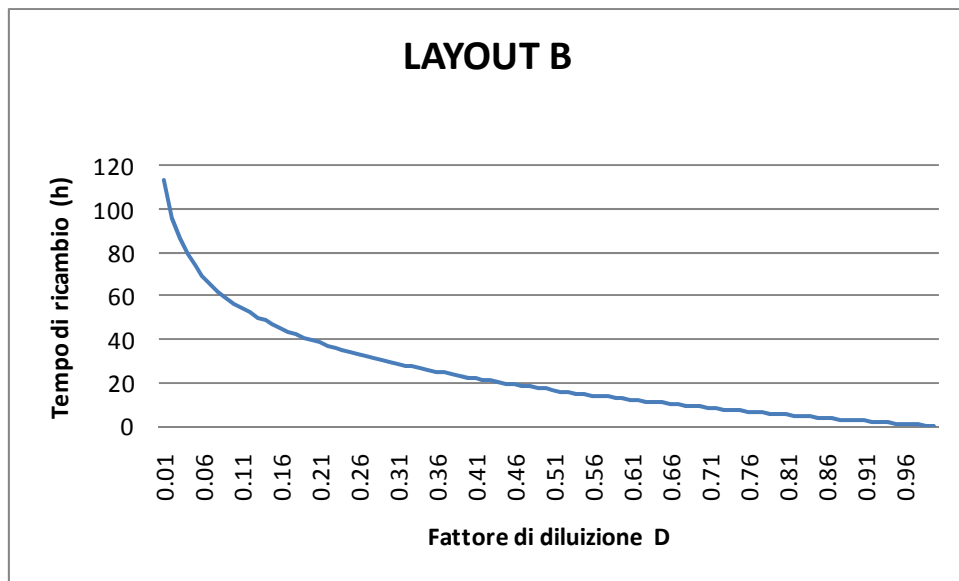


Figura 16 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il Layout B, che prevede la realizzazione del molo di sopraflutto, in conformità al P.R.P. vigente.

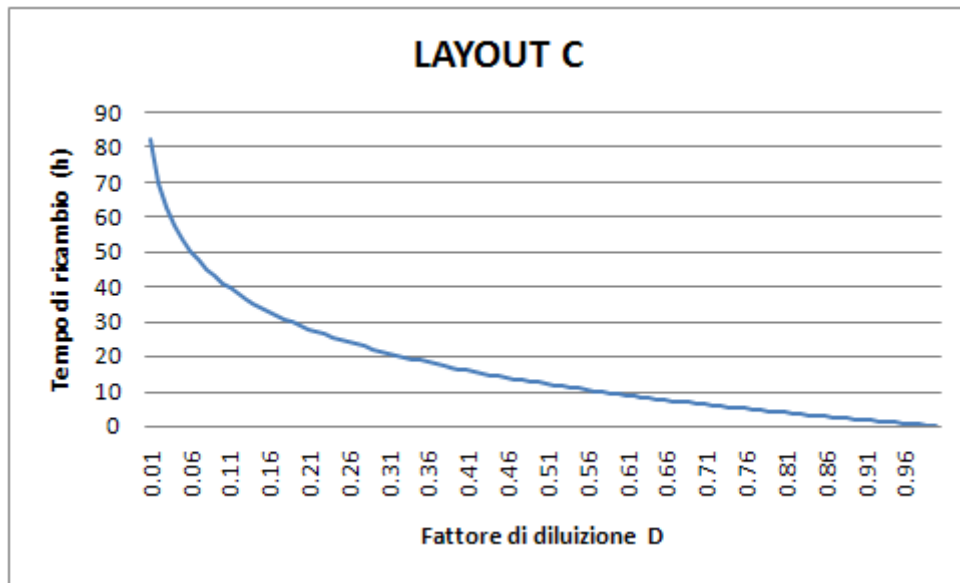


Figura 17 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il Layout C, relativo alle condizioni di Stato di Fatto.

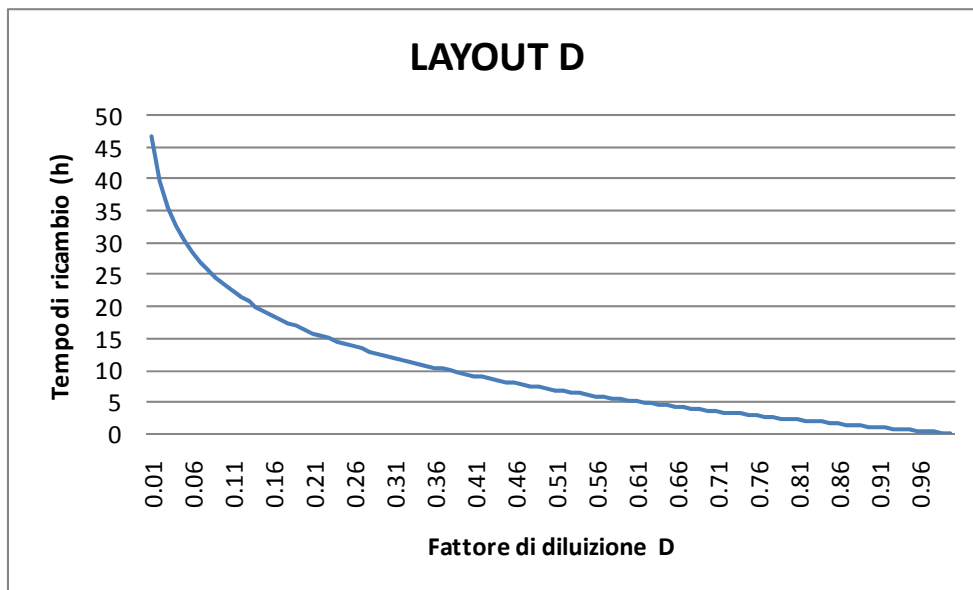


Figura 18 – Andamento temporale del tempo di ricambio in funzione del fattore di diluizione D, ricavato per il Layout D, relativo alle previsioni del nuovo P.R.P. attualmente in fase di approvazione.

Si osserva che il layout A e il layout D forniscono i valori migliori in termini di rapporto di diluizione; dalla tabella successiva si evince il tempo caratteristico per raggiungere il valore $D=0,5$ in ognuna delle configurazioni indagate.

	valutazione del tempo di ricambio T_f (h)			
	LAYOUT A	LAYOUT B	LAYOUT C	LAYOUT D
D	0.5	0.5	0.5	0.5
V_m (m ³)	26299	11439	8800	24264
V_t (m ³)	321457	276744	153242	234640
ε	0.5	0.5	0.5	0.5
T_f (h)	8.8	17.1	12.4	7.0

Tabella 5 – Tabella per il confronto tra i layout in funzione del tempo di ricambio idrico T_f (ore) necessario per il raggiungimento del valore del fattore di diluizione $D=0.5$.

Di seguito si riporta la tabella di confronto tra i layouts relativo alla determinazione del valore dell'e-folding time

	valutazione del e-folding time T_{e-fold} (h)			
	LAYOUT A	LAYOUT B	LAYOUT C	LAYOUT D
V_L (m ³)	295158	253866	135643	210376
v (m ³)	26299	22879	17600	24264
t_{m2}	12.42	12.42	12.42	12.42
t_{e-fold} (h)	145.56	143.98	101.91	113.86
t_{e-fold} (gg)	6.1	6.0	4.2	4.7

Tabella 6 – Tabella per il confronto tra i layout in funzione del l' e-folding time T_{e-fold} ,

Si osserva che tutte le configurazioni investigate sono caratterizzate da valori dell'e-folding time superiore al valore ottimale di quattro giorni raccomandato dall'US Environmental Protection Agency (EPA, 1985); in particolare si evidenzia che per la classificazione EPA, ogni layout viene caratterizzato da livello di ricambio idrico "discreto" in quanto l'e-folding time è inferiore a dieci giorni.

Nelle tabelle seguenti si riportano il valore degli altri indici sintetici ottenuti.

LAYOUT A - MOLI DI SOPRAFLUTTO E SOTTOFLUTTO SECONDO PRP VIGENTE				
	<i>BACINO A</i>	<i>BACINO B</i>	<i>INTERO PORTO</i>	<i>valori consigliati</i>
L/B	2.28	2.59	0.48	>0,25 - ottimale 1
PF	0.51	0.48	0.27	>0,4 - ottimale >0,7
A/a	123	43	159	>200 - ottimale 400
TPR	0.08	0.14	0.08	>0,25 - ottimale 0,35

LAYOUT B- MOLO DI SOPRAFLUTTO SECONDO PRP VIGENTE				
	<i>BACINO A</i>	<i>BACINO B</i>	<i>INTERO PORTO</i>	<i>valori consigliati</i>
L/B	2.27	0.73	0.54	>0,25 - ottimale 1
PF	0.49	0.60	0.30	>0,4 - ottimale >0,7
A/a	197	112.95	32	>200 - ottimale 400
TPR	0.07	0.21	0.08	>0,25 - ottimale 0,35

LAYOUT C - CONDIZIONI DI STATO DI FATTO				
	<i>BACINO A</i>	<i>BACINO B</i>	<i>INTERO PORTO</i>	<i>valori consigliati</i>
L/B	0.50	0.73		>0,25 - ottimale 1
PF	0.52	0.60	0.30	>0,4 - ottimale >0,7
A/a	36	112.95	42	>200 - ottimale 400
TPR	0.10	0.21	0.11	>0,25 - ottimale 0,35

LAYOUT D- PREVISIONI DEL NUOVO PRP IN FASE DI APPROVAZIONE				
	<i>BACINO A</i>	<i>BACINO B</i>	<i>INTERO PORTO</i>	<i>valori consigliati</i>
L/B	3.2	2.5		>0,25 - ottimale 1
PF	0.51	0.54	0.35	>0,4 - ottimale >0,7
A/a	99	42	135	>200 - ottimale 400
TPR	0.12	0.11	0.10	>0,25 - ottimale 0,35

Tabella 7 – Tabelle per il confronto tra i layouts in funzione degli altri indici sintetici.

I risultati mostrano che per ogni layout sia il rapporto L/B sia l'indice PF sono caratterizzati da valori inferiori ai minimi raccomandati e a quelli ottimali; ciò implica che la geometria non è adatta a favorire il ricambio idrico.

I rapporti A/a riferiti all'intero porto non raggiungono mai, per ogni configurazione investigata, la soglia minima pari a 200.

Il rapporto di escursione di marea risulta abbastanza basso per ogni layout ($0.08 < TPR < 0,1$) ed inferiore al valore ideale per un buon ricambio (0,35).

Si conclude quindi che il bacino, per qualsiasi delle configurazioni analizzate, soffre di un povero ricambio dovuto a circolazione per sola marea.

4. ANALISI MODELLISTICA IDRODINAMICA

A seguito delle risultanze dell'analisi sintetiche riportate nel precedente capitolo e viste le non soddisfacenti risposte dei parametri calcolati per ognuno dei layouts investigati, si è effettuato un approfondimento modellistico matematico per analizzare con maggiore dettaglio le caratteristiche dinamiche del vettore di circolazione idraulico nel campo di bacino.

4.1 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
- ω = velocità della rotazione angolare terrestre
- ϕ = latitudine locale

4.2 DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO E DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO

Per condurre le elaborazioni numeriche, sono stati realizzati 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 forma triangolare di tipo quadratico.

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 batimetriche ottenute dalle carte Nautiche.

Di seguito si riporta la carta tematica che rappresenta le batimetrie all'interno all'interno del dominio.

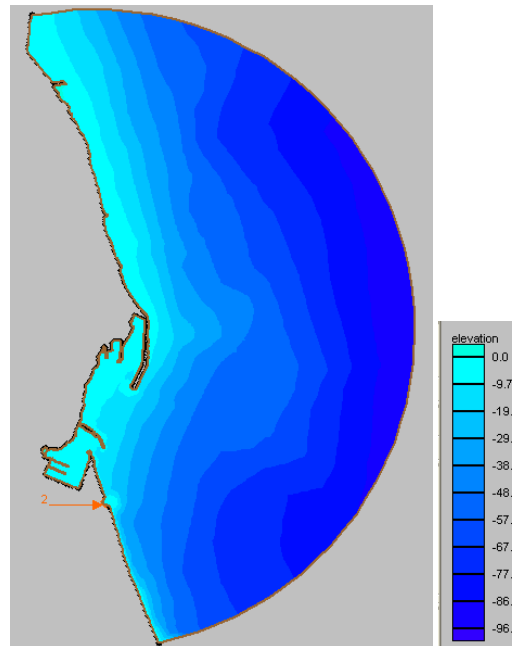


Figura 19 – Modellazione delle batimetrie all' interno del dominio di Calcolo

La prima mesh è stata utilizzata per valutare la circolazione idrica nella configurazione "A", che prevede il completamento sia del molo di sopraflutto che quello di sottoflutto; essa è composta ed è composta da 9928 elementi, 17499 nodi. La profondità massima è pari a 96,5m.

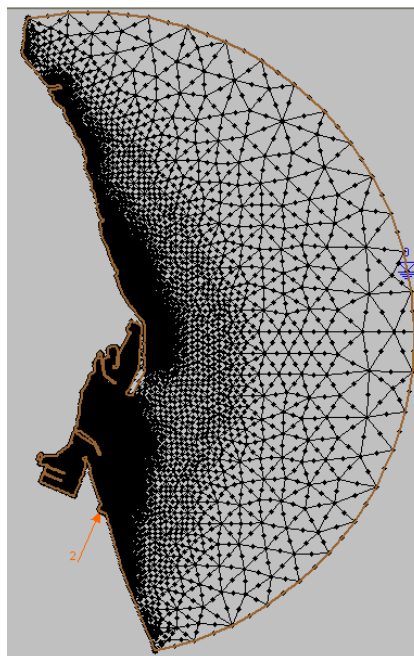


Figura 20 – Mesh per il layout A

La seconda mesh è stata utilizzata per le valutazioni sulla circolazione idrica relative alla configurazione "B", che prevede solo al realizzazione del molo di

sottoflutto; essa è composta da 9928 elementi, 17499 nodi. La profondità massima è pari a 96,5m.

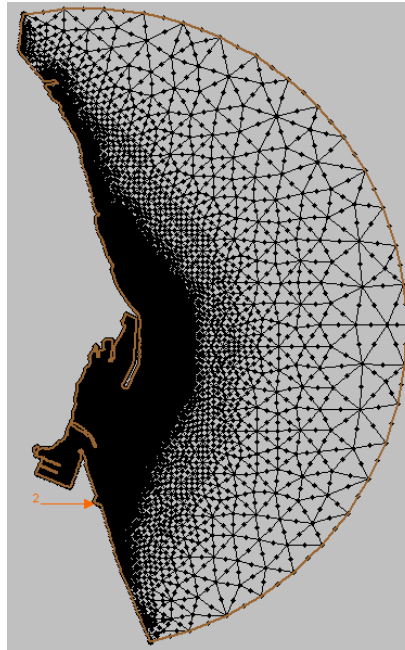


Figura 21 – Mesh per il layout B

Per entrambi i domini è stata utilizzata una risoluzione maggiore degli elementi in prossimità delle strutture portuali.

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

La forzante meteo marina è l'oscillazione di marea che si propaga dal mare.

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.

Si sono utilizzate le componenti di marea astronomica ricavate dai dati registrati dalla stazione mareografica sita nel porto di Palermo. Per questo sito le componenti significative sono quelle riportate nella figura seguente.

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). Le escursioni di marea astronomica sono caratterizzate da una periodicità bimensile distinta nelle fasi sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Dai risultati dell'analisi emerge dunque che l'ampiezza complessiva della marea astronomica è compresa in un intervallo pari 20-23 cm.

Nome	Periodo [ore min]	Ampiezza [cm]	Fase [°]
M2	12 25'	11.25	207.39
S2	12 00'	4.23	229.84
K1	23 56'	2.83	180.91
N2	12 39'	2.33	192.31
K2	12 39'	1.18	223.21
O1	25 49'	1.07	100.85
P1	24 04'	0.83	169.54
M4	6 12'	0.52	76.42

Figura 22 – Componenti principali di marea per il sito di Palermo

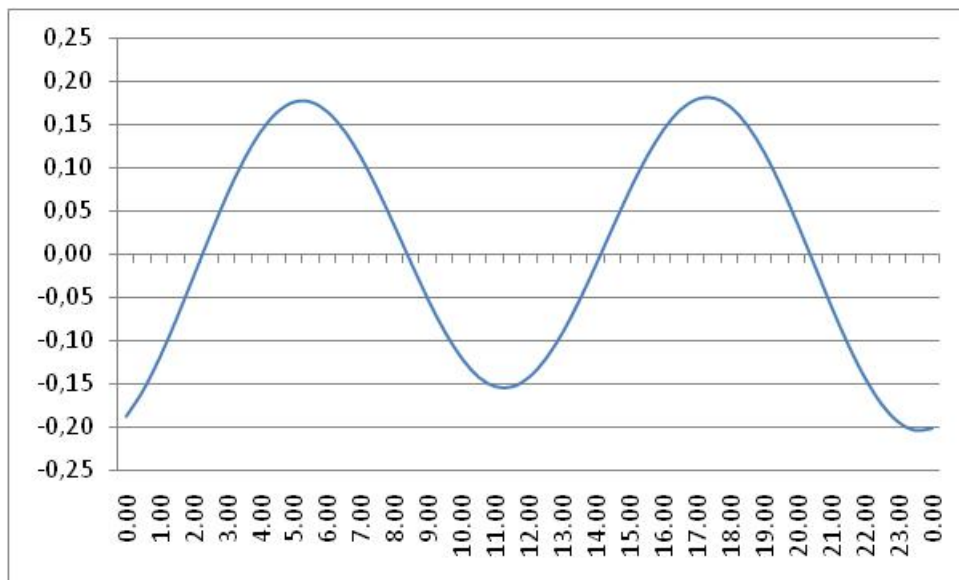


Figura 23 – Ricostruzione dell'andamento della marea astronomica per una durata di 24 ore

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).

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

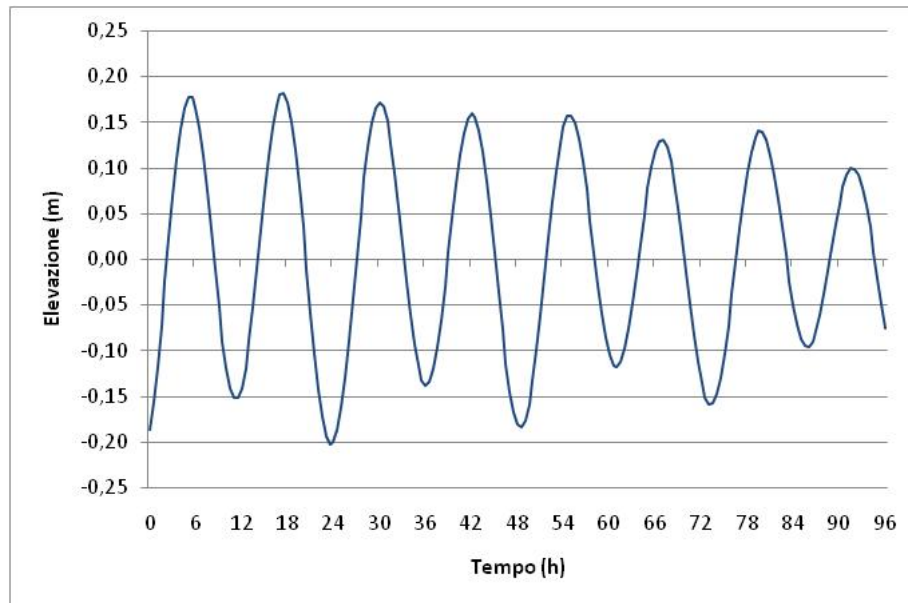


Figura 24 – Ricostruzione dell'andamento della marea astronomica per una durata di 96 ore

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 a Sud della mesh al in prossimità dell'approdo dell'Acquasanta, dovuta allo scarico del Canale Passo di Rigano; 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 PER LA PROFONDITA'	0.001 m
TEMPERATURA DELL'ACQUA	15°C
NUMERO DI ITERAZIONI ALGORITMO ASCIUTTO/BAGNATO	4
PROFONDITA' DEL NODO ASCIUTTO	0.084
POFONDITA' DEL NODO ATTIVO	0.183
LATITUDINE	38.1492
LIVELLO IDRICO INIZIALE (L.M.M.)	0.1132 m

Tabella 8 – 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 il layout A per $t=1,1$ sec e per il Layout B per $t=1,0$ sec.

4.3 ANALISI DEI RISULTATI

Dall'analisi dei dati ricavati dalle simulazioni è possibile comprendere le circolazioni all'interno dell'area portuale. 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 figura estratta per il layout A.

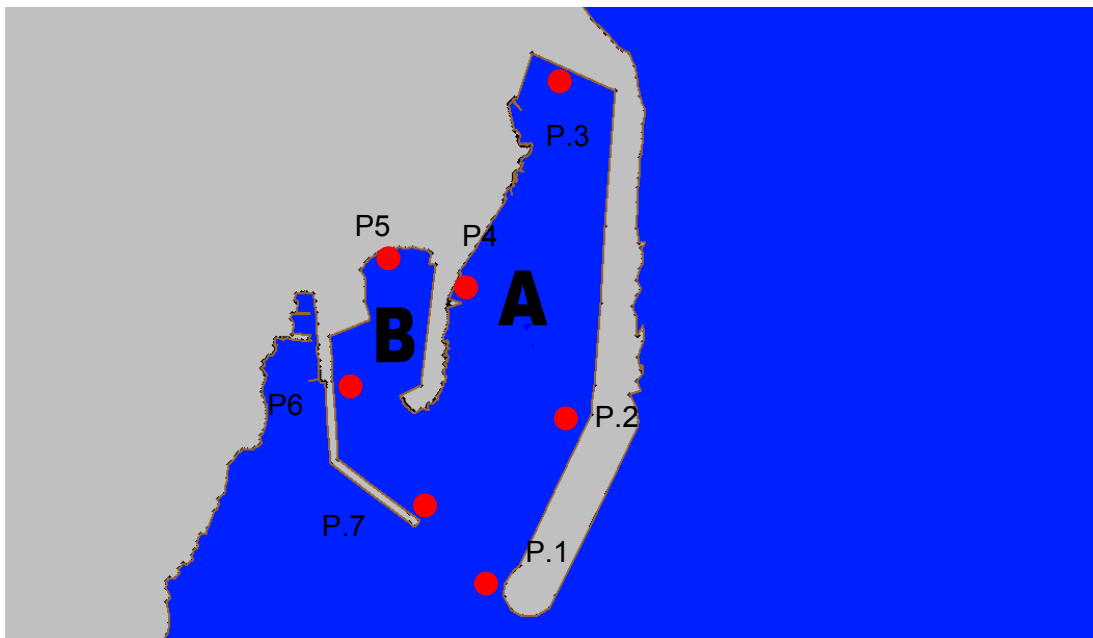


Figura 25 – distribuzione planimetrica dei punti di controllo all'interno del porto dell'Arenella (Layout A), all'interno del bacino A e del bacino B.

4.3.1 Simulazione valida per il layout A

Di seguito si state estratti i diagrammi temporali delle velocità delle correnti indotte per solo marea in ognuno di punti di controllo per un periodo di circa 86 h, in seno alle simulazioni per il layout A, che prevede la realizzazione sia del molo di sottoflutto che di sopraflutto secondo il vigente P.R.P.

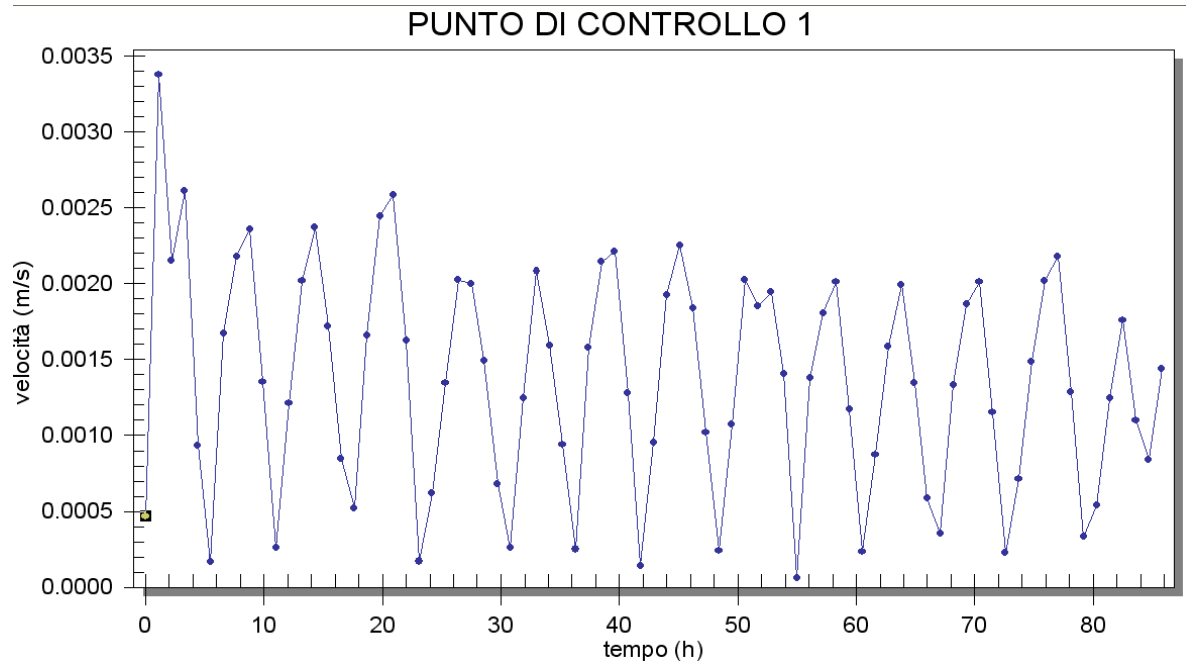


Figura 26 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 1

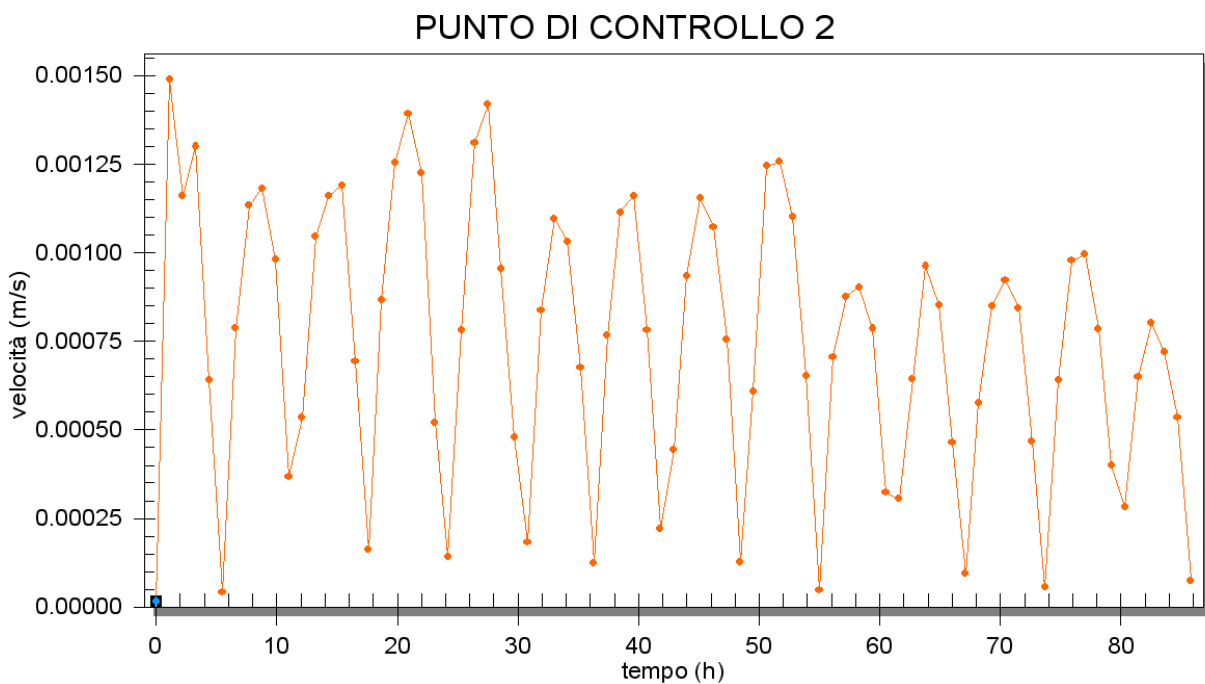


Figura 27 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 2

PUNTO DI CONTROLLO 3

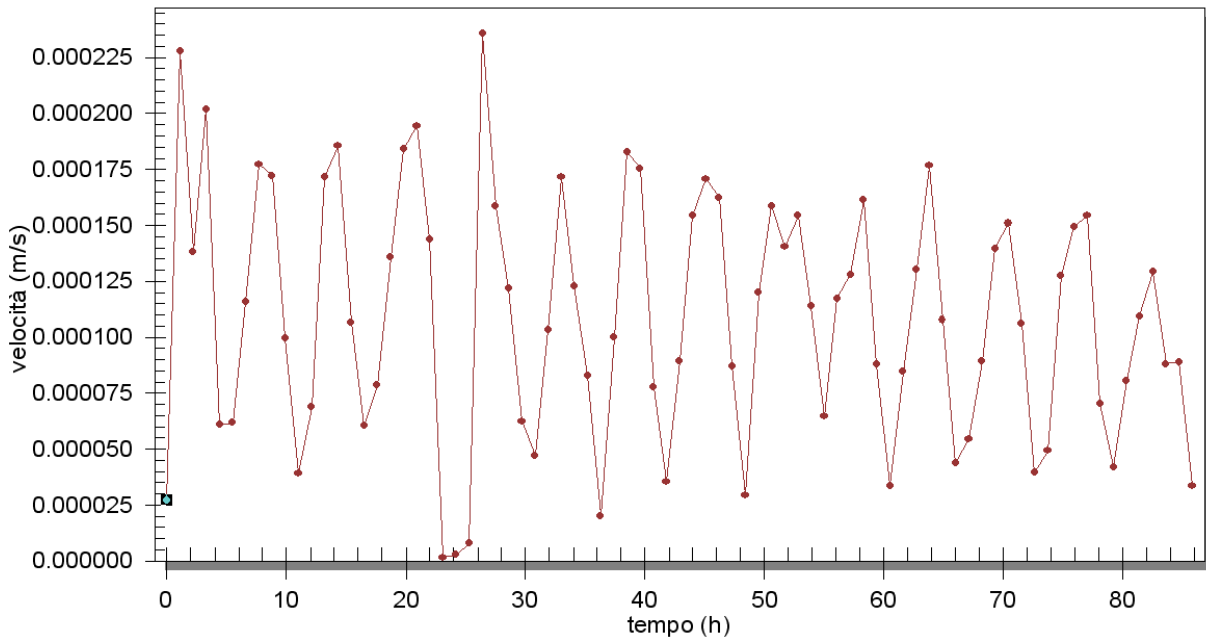


Figura 28 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 3

PUNTO DI CONTROLLO 4

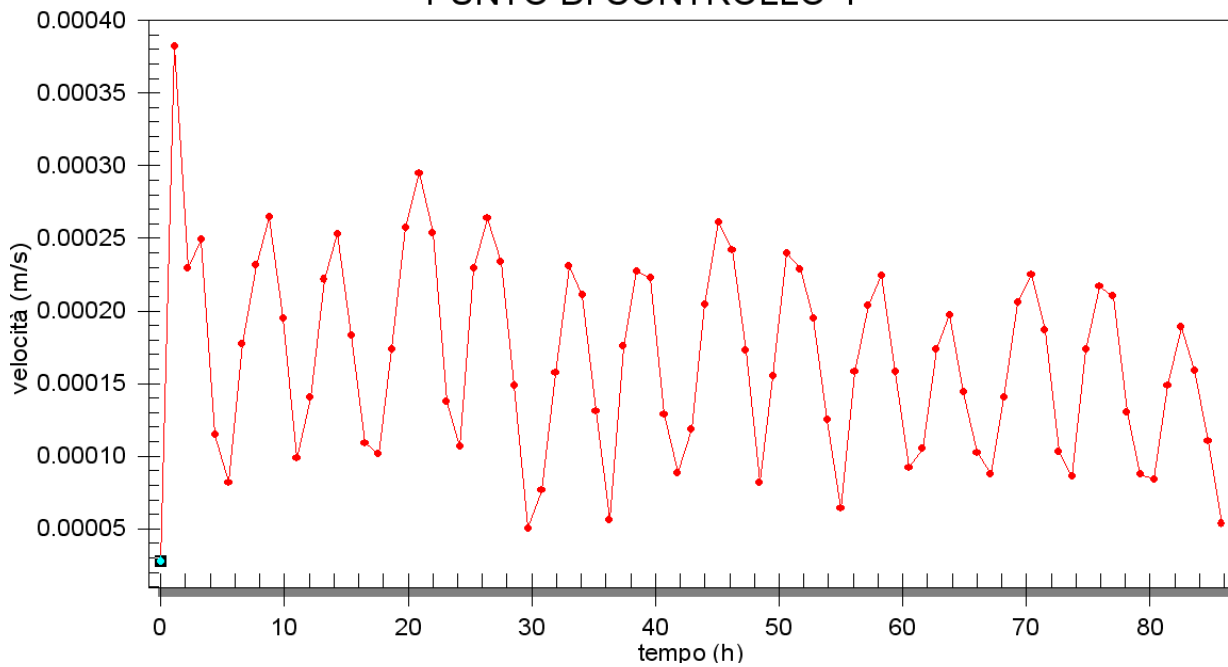


Figura 29 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 4

PUNTO DI CONTROLLO 5

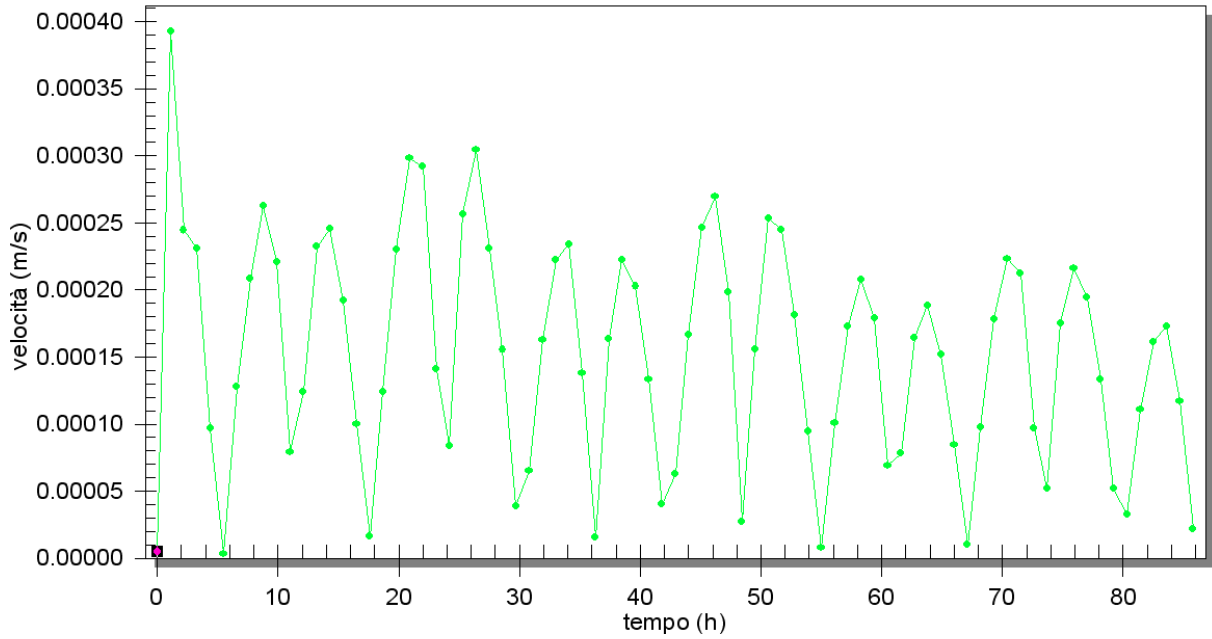


Figura 30 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 5

PUNTO DI CONTROLLO 6

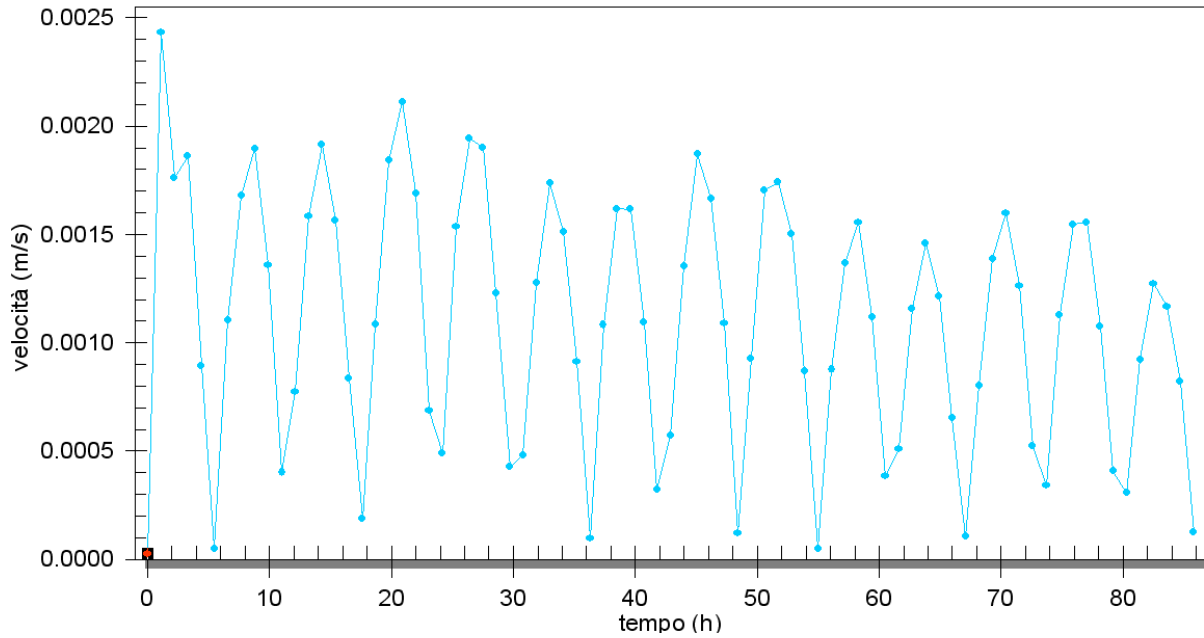


Figura 31 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 6

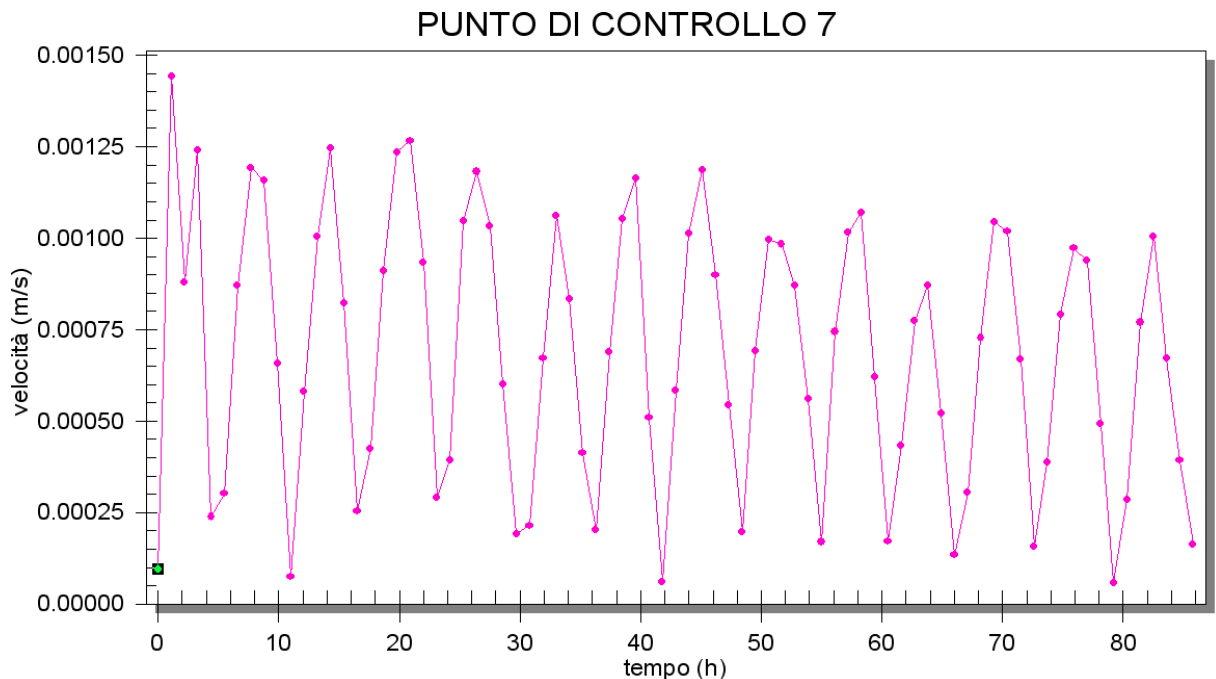


Figura 32 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 7

Per il layout A, le velocità di circolazione risultano globalmente basse, confermando un non ottimale livello di efficienza di ricambio idrico, come quanto già emerso in sede di considerazioni sintetiche.

Nel dettaglio dal modello si evince che nella parte più interna sia del bacino A sia del bacino B si visualizzano zone con bassi valori dei vettori di velocità, dell'ordine di 10^{-3} - 10^{-5} m/s.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 12 ore a cui corrisponde l'escursione di marea massima (tra il time step 12 h e il time step 24 h dall'inizio della simulazione).

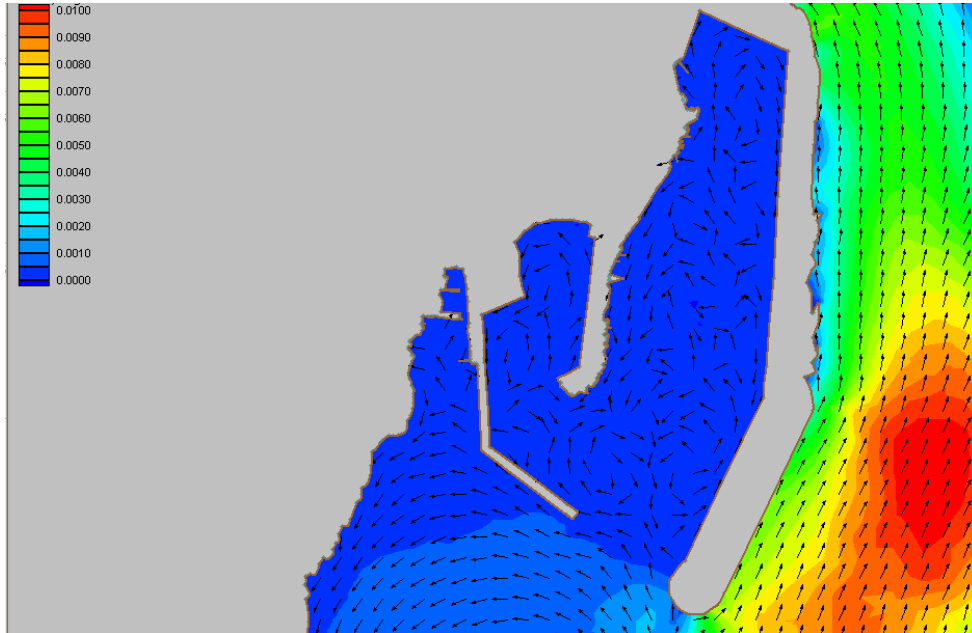


Figura 33 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell' Arenella, secondo la configurazione del layout A al time step 12 h

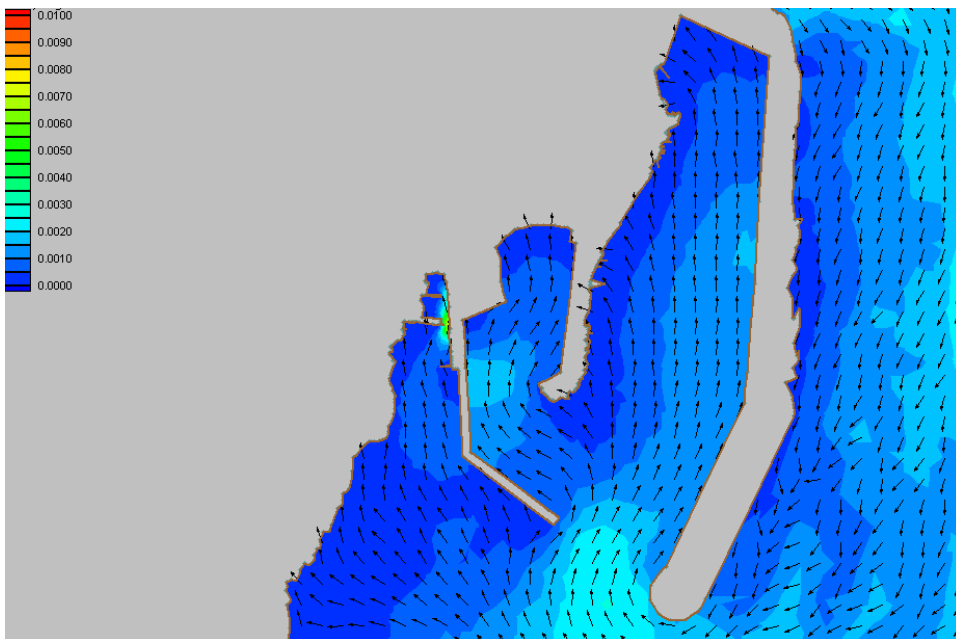


Figura 34 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout A al time step 15 h

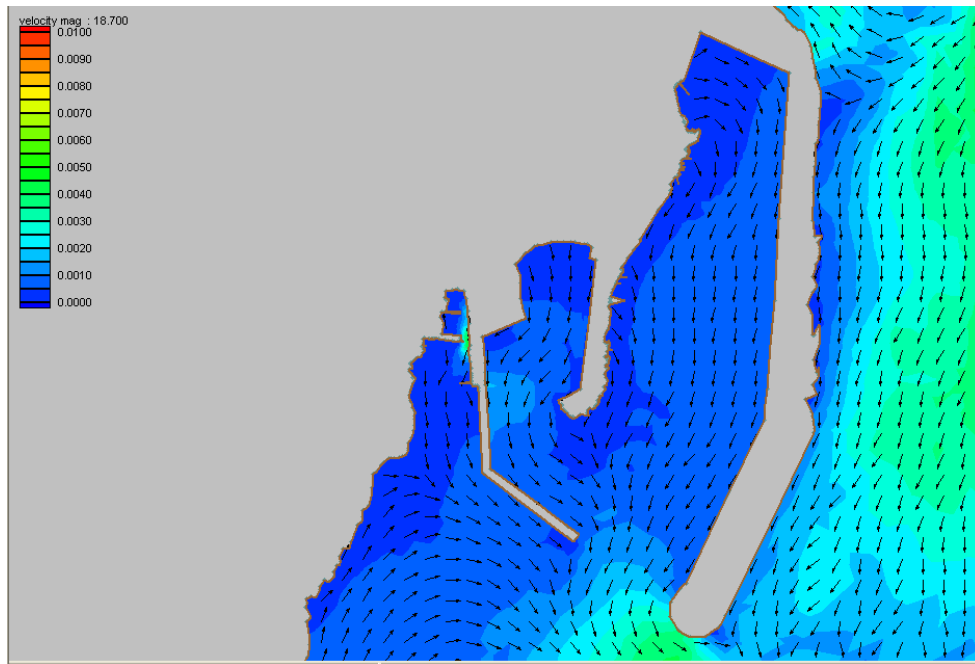


Figura 35 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell'Arenella ,secondo la configurazione del layout A al time step 18 h

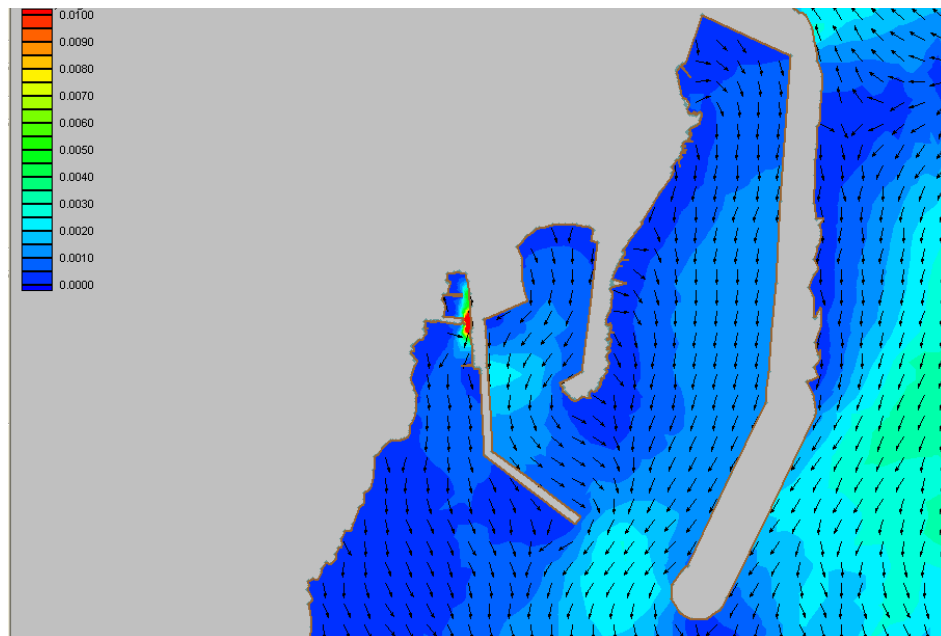


Figura 36 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout A al time step 21 h

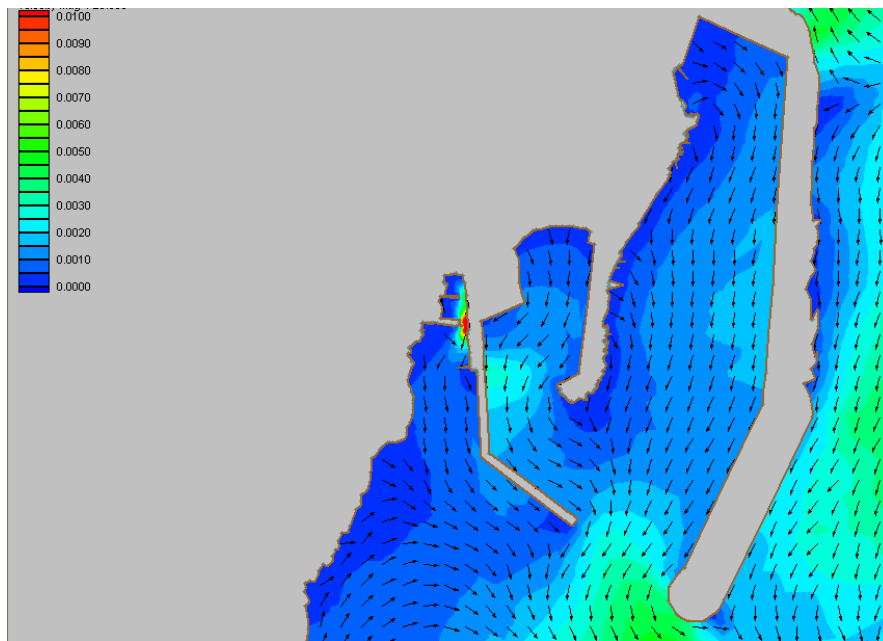


Figura 37 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout A al time step 24 h

E' facilmente riscontrabile che il bacino portuale è caratterizzato da un semplice afflusso o deflusso senza l'instaurarsi di particolari moti turbolenti in prossimità delle imboccature.

In particolare si osservano velocità massime all'imboccatura principale dell'ordine di 1-2 mm/s.

4.3.2 Simulazione valida per il layout B

Di seguito si riportano i diagrammi temporali delle velocità delle correnti indotte per solo marea in ognuno di punti di controllo per un periodo di circa 65 h.

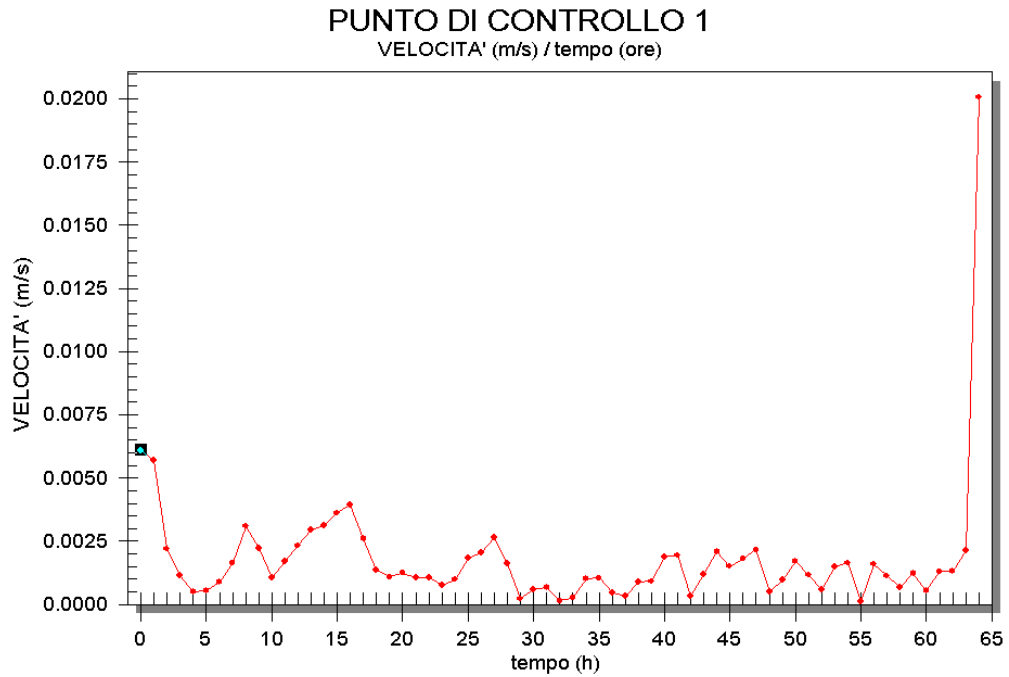


Figura 38 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 1

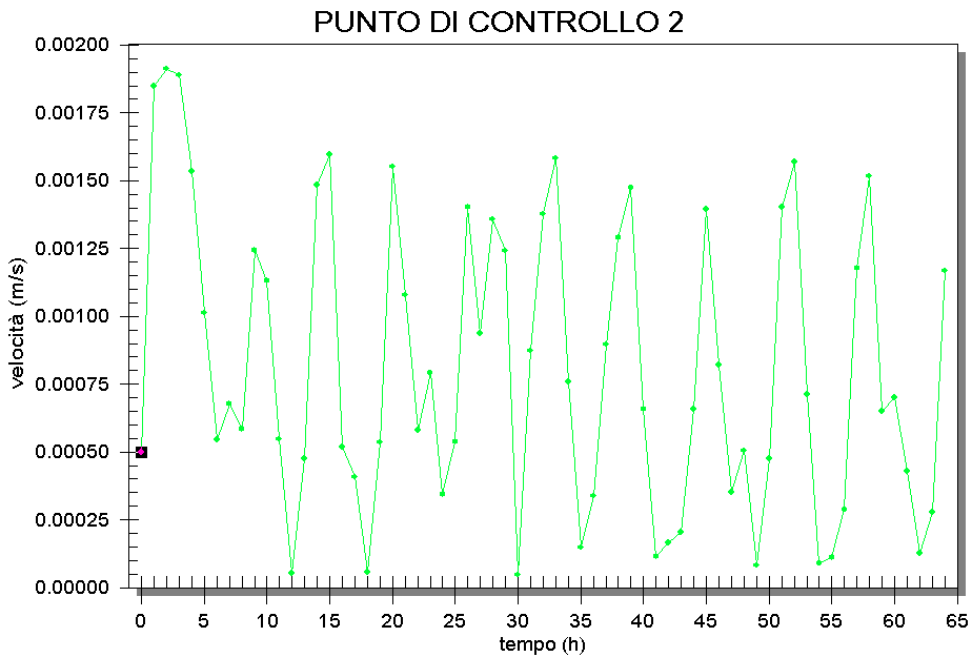


Figura 39 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 2

PUNTO DI CONTROLLO 3

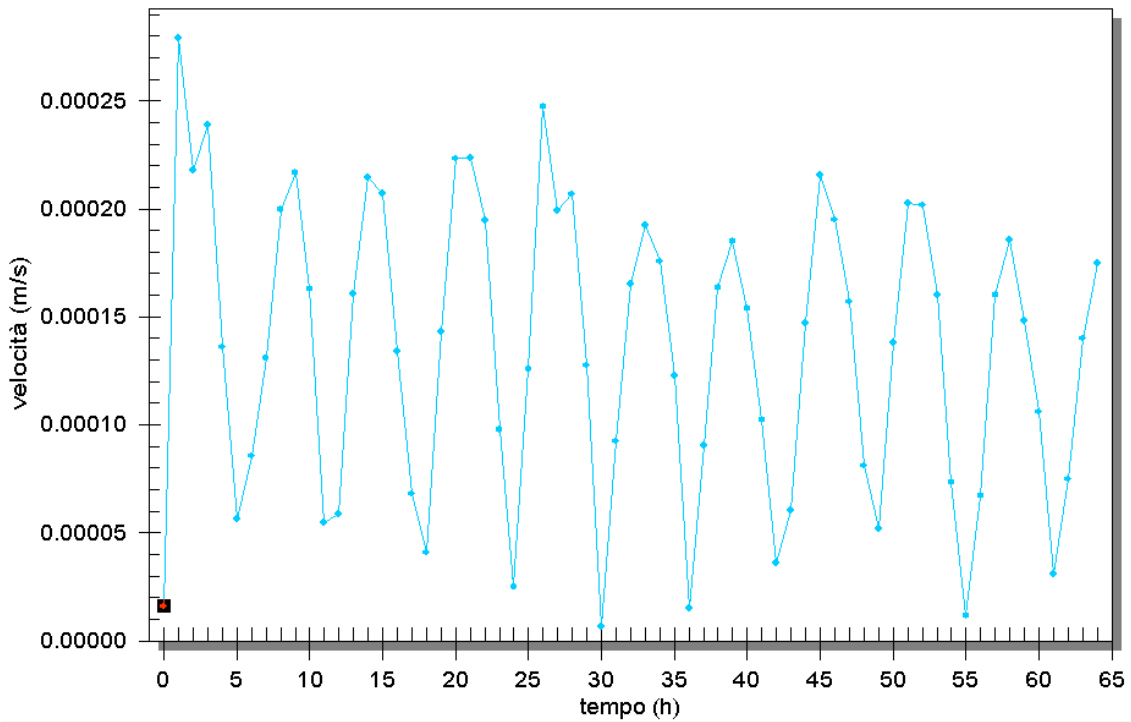


Figura 40 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 3

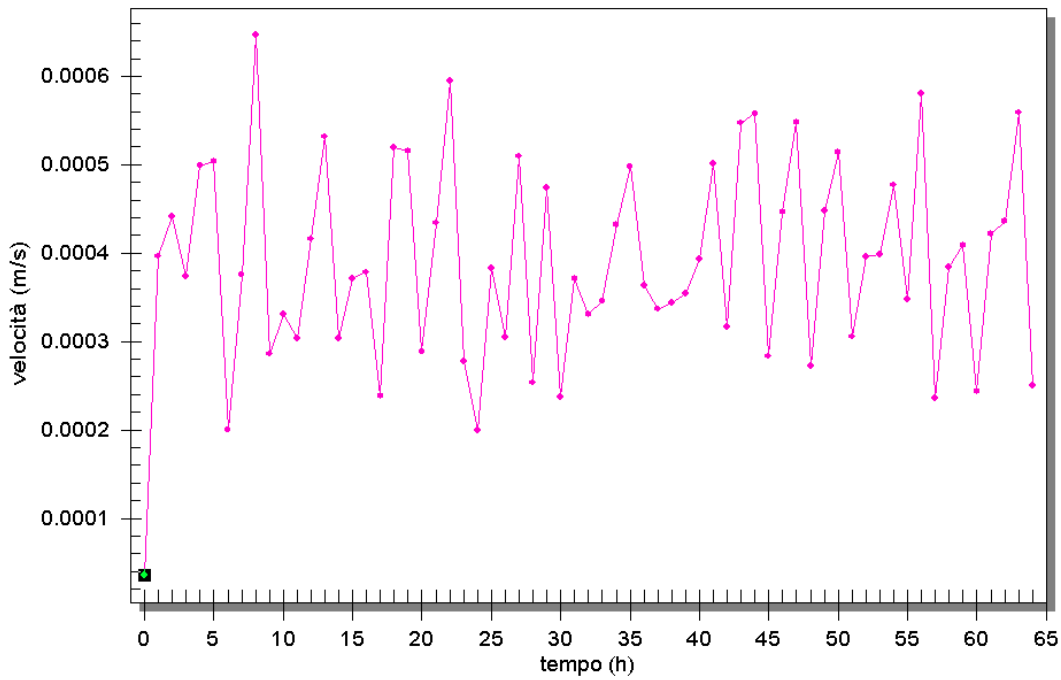


Figura 41 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 4

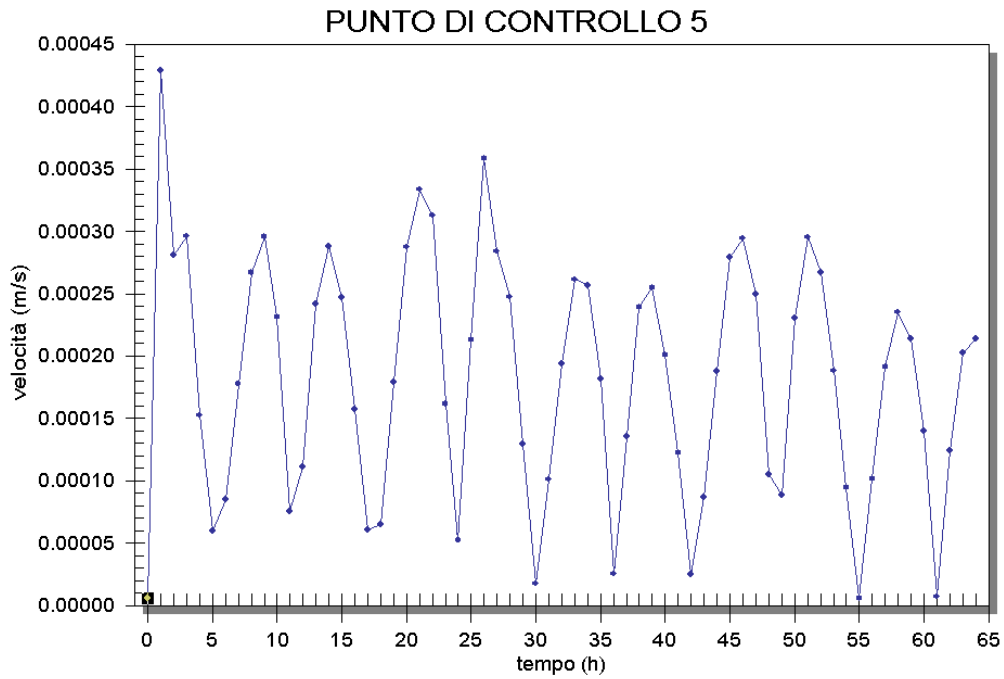


Figura 42 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 5

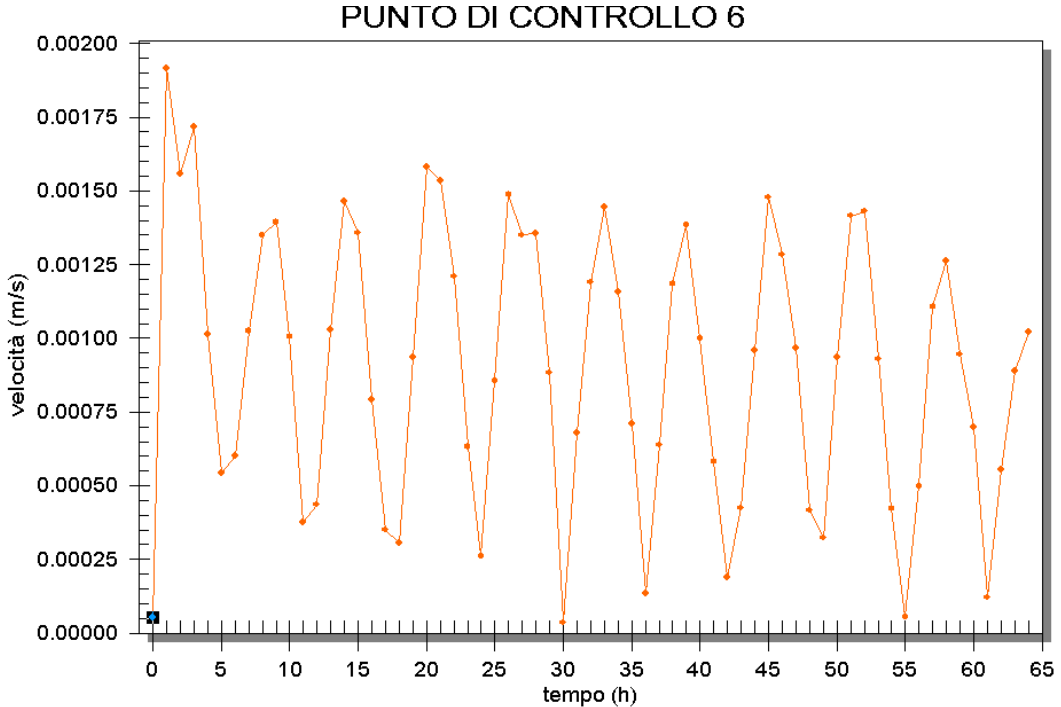


Figura 43 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 6

PUNTO DI CONTROLLO 7

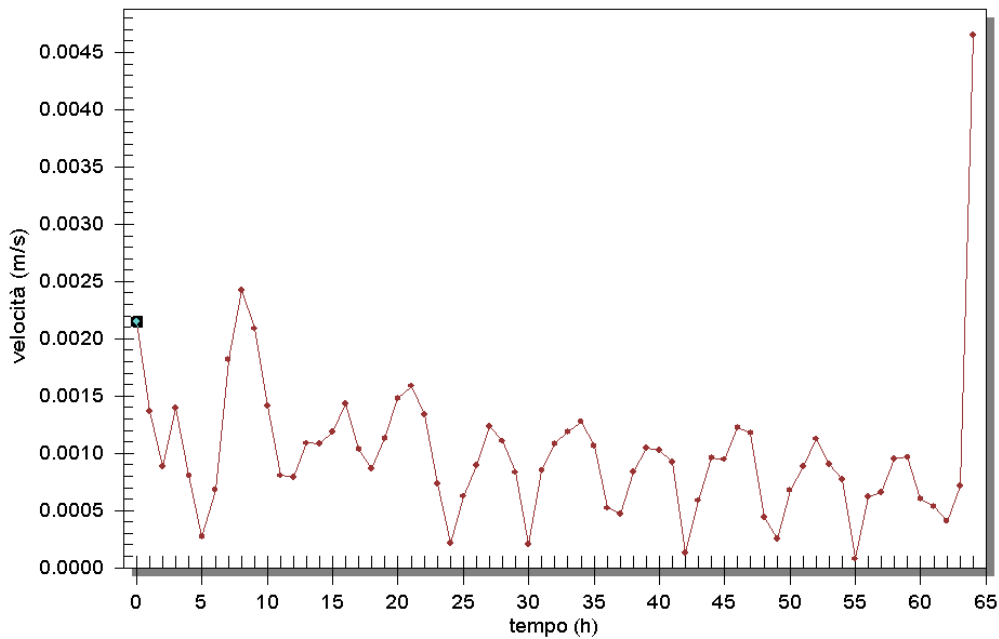


Figura 44 – Diagramma temporale delle correnti simulate presso il punto di controllo 6

Anche per il layout B, le velocità di circolazione risultano globalmente basse, con lo stesso ordine di grandezza di quelle simulate per il layout A, confermando un livello di efficienza di ricambio idrico basso.

Di seguito sono riportate anche le immagini relative alla distribuzione dei vettori velocità nel periodo di durata 12 ore a cui corrisponde l'escursione di marea massima.

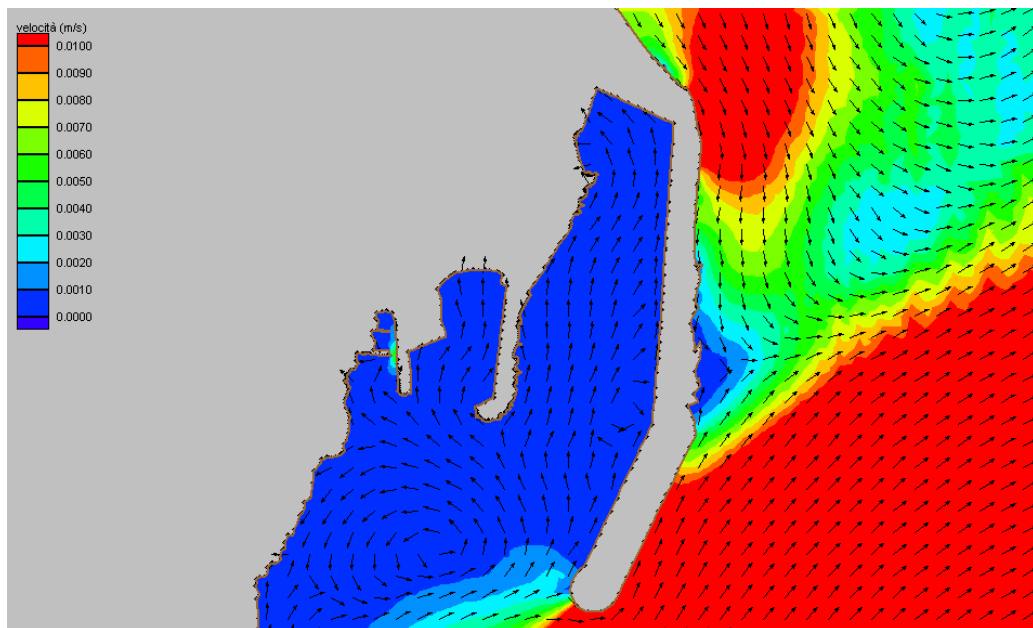


Figura 45 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout B al time step 12 h

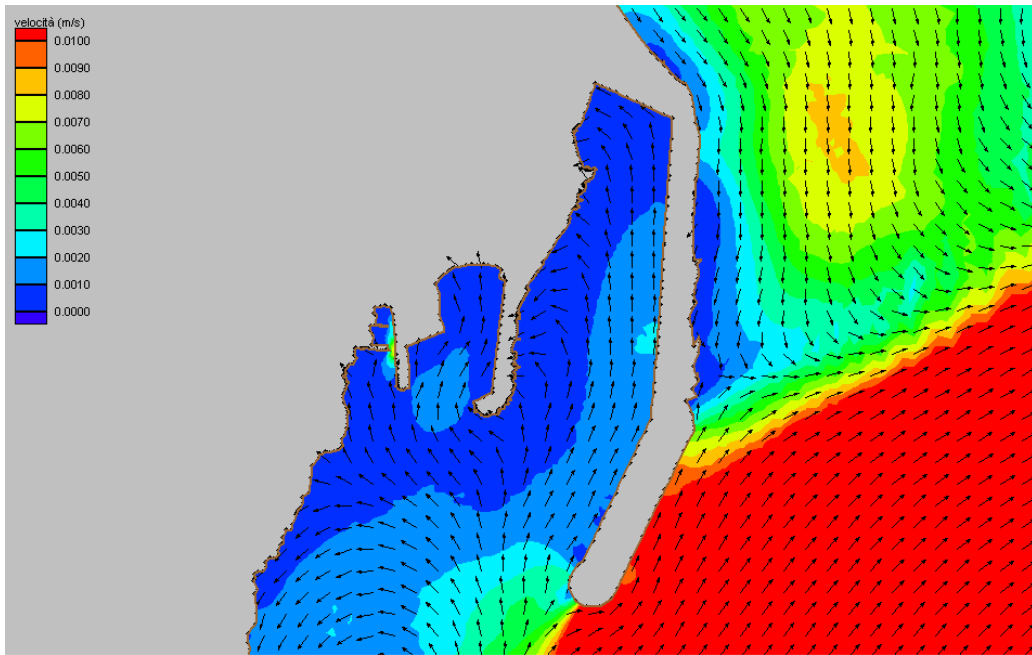


Figura 46 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout B al time step 15 h

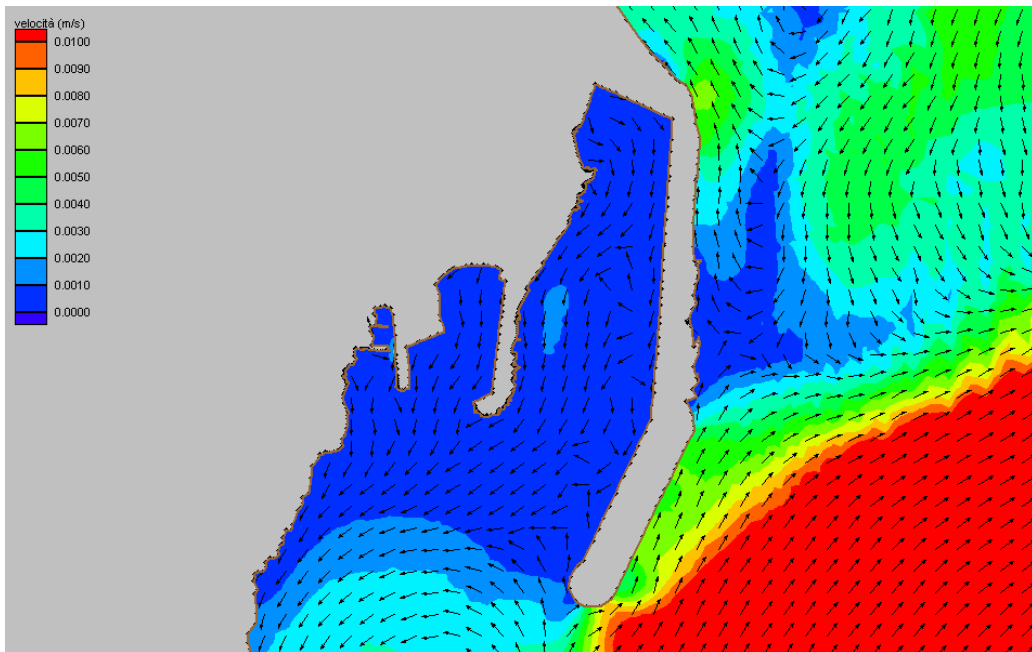


Figura 47 – Distribuzione dei vettori velocità all'interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout B al time step 18 h

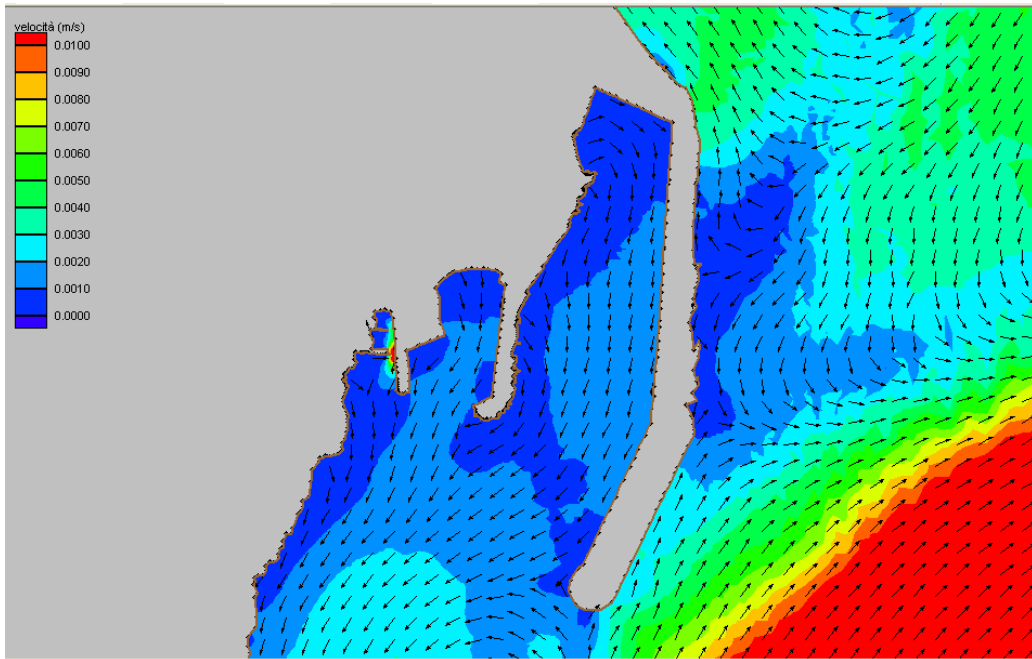


Figura 48 – Distribuzione dei vettori velocità all' interno del porto dell' Arenella, secondo la configurazione del layout B al time step 21 h

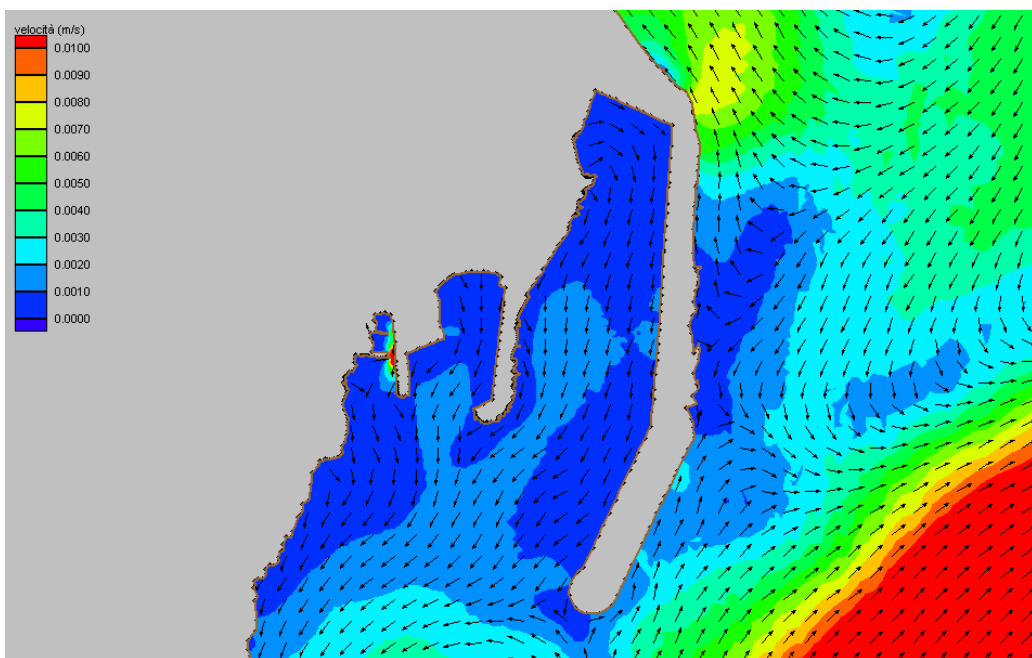


Figura 49 – Distribuzione dei vettori velocità all' interno del porto dell' Arenella, secondo la configurazione del layout B al time step 24 h

E' facilmente riscontrabile che per il layout B i livelli di velocità sono minori in prossimità dell' imboccatura principale rispetto al caso del layout A.

Infatti per il layout B, che non prevede la realizzazione del molo di sottoflutto (e quindi la geometria dell'imboccatura risulta essere di maggiori dimensioni); la

mancanza delle opere di sottoflutto comporta il non l'instaurarsi di un regime di turbolenza rilevante.

Come per il layout A, anche per il layout B si evince che le zone più sfavorite risultano essere gli spigoli e gli angoli interni che creano un'interruzione del flusso naturale dell'acqua, soprattutto nella parte più interna del bacino A che ha un'estensione longitudinale maggiore.

4.4 CONCLUSIONI

Per entrambe le configurazioni indagate, le velocità di circolazione dovute alla sola marea astronomica risultano globalmente basse, soprattutto presso gli spigoli e gli angoli interni dei due bacini, confermando il livello di efficienza di ricambio idrico rilevato durante l'analisi sintetica.

Il layout B risulta essere solo leggermente più efficiente, in quanto l'assenza delle opere di sottoflutto, garantisce l'instaurarsi di volumi idrici di scambio maggiori.

5. ANALISI DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

5.1 MODELLO DI CALCOLO

Si è inoltre condotta una valutazione della dispersione di inquinanti che dovessero accidentalmente ed eccezionalmente sversarsi all'interno del bacino portuale in posizioni puntuali effettuando l'osservazione nei punti di controllo di cui ai capitoli precedenti.

Per la valutazione dei processi di avvezione e diffusione all'interno dei bacini è stato utilizzato il modello di calcolo RMA4. Questo 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

Dx, Dy, = 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.

5.2 APPLICAZIONI EFFETTUATE

Sia per il layout A, sia per il layout B è stato simulato lo sversamento puntuale di un inquinante costante di 20 ppm per un periodo di tempo di circa 10 ore in prossimità dell'angolo che si forma tra il nuovo e il vecchio banchinamento del molo di sottoflutto.

Di seguito si riporta sia il diagramma temporale della fonte inquinante, sia la localizzazione dei punti di controllo (in verde) e del punto di sversamento (in rosso), coincidente con il punto di controllo 2, all'interno della configurazione portuale.

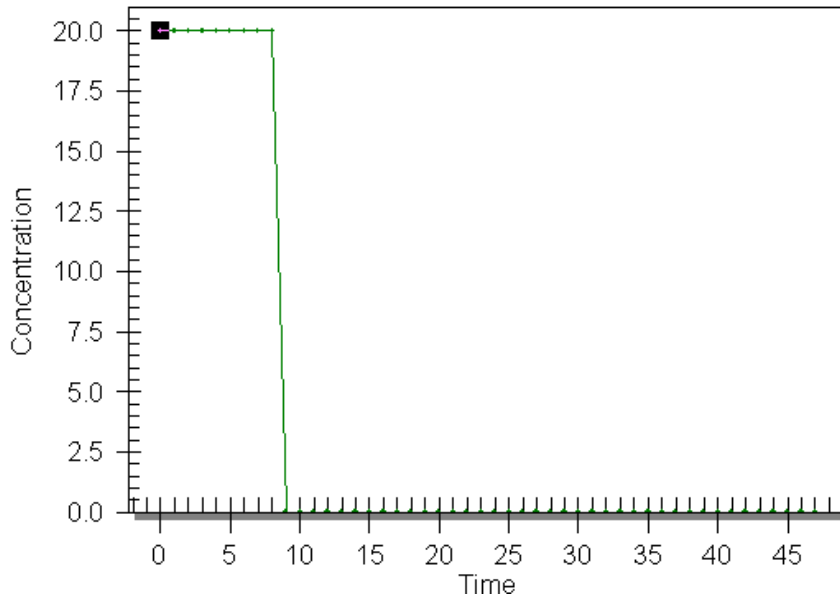


Figura 50 – Diagramma temporale della fonte inquinante localizzata presso il punto di controllo 2.

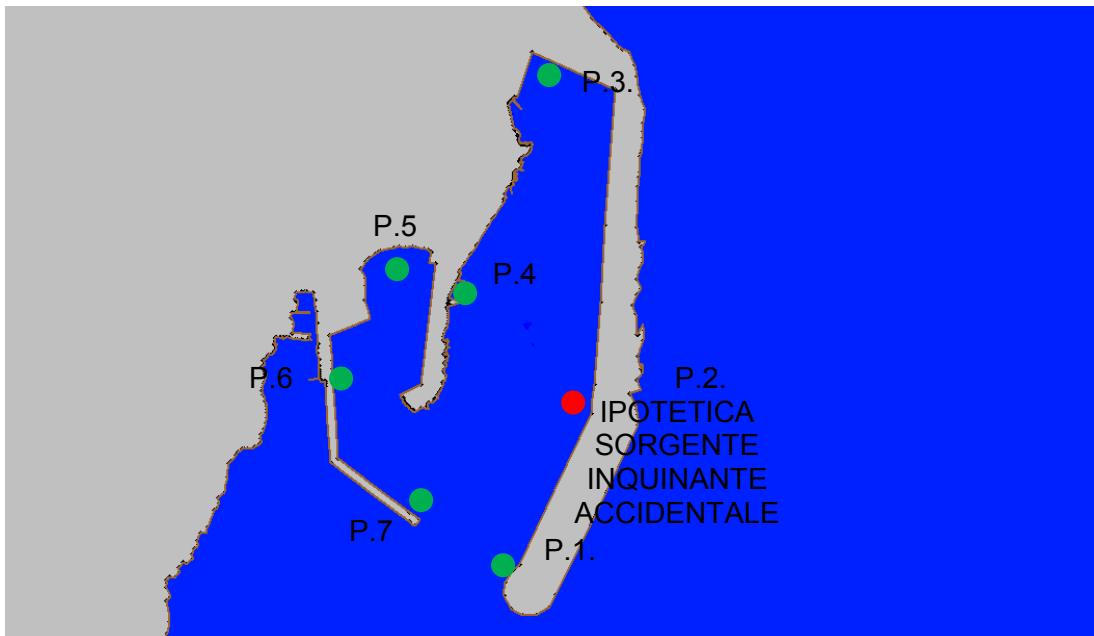


Figura 51 – Localizzazione della ipotetica sorgente inquinante accidentale all'interno del bacino.

Le simulazioni sono relative ad un periodo di 48 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 ognuno dei due layouts indagati 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.

5.2.1 Simulazione relativa al layout A

Di seguito si riportano i diagrammi temporali in ognuno dei punti di controllo in seno alle simulazioni per il layout A, che prevede la realizzazione sia del molo di sopraflutto che di sottoflutto, in accordo al vigente P.R.P.

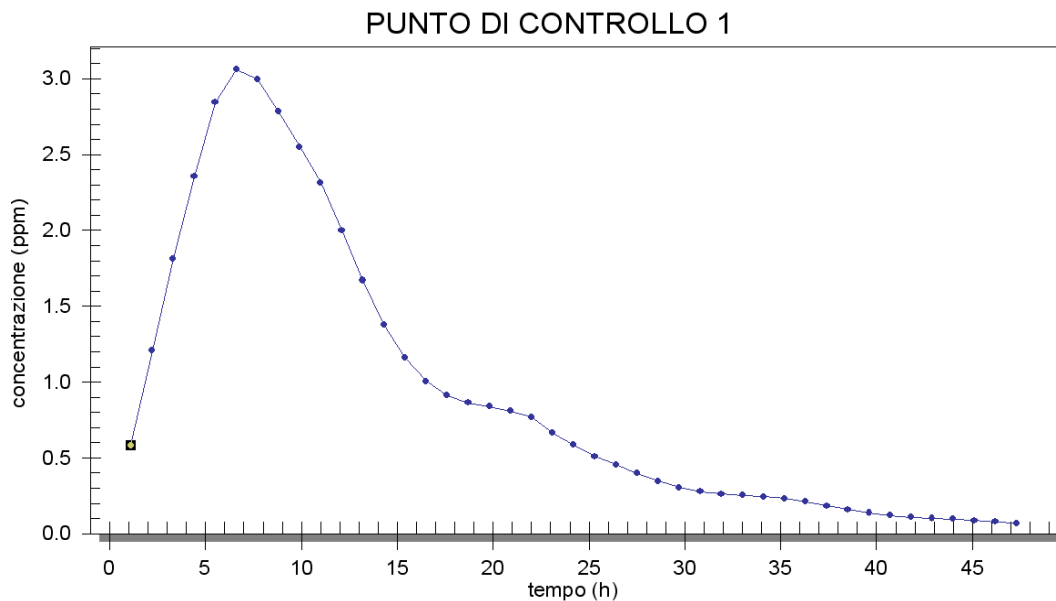


Figura 52 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 1

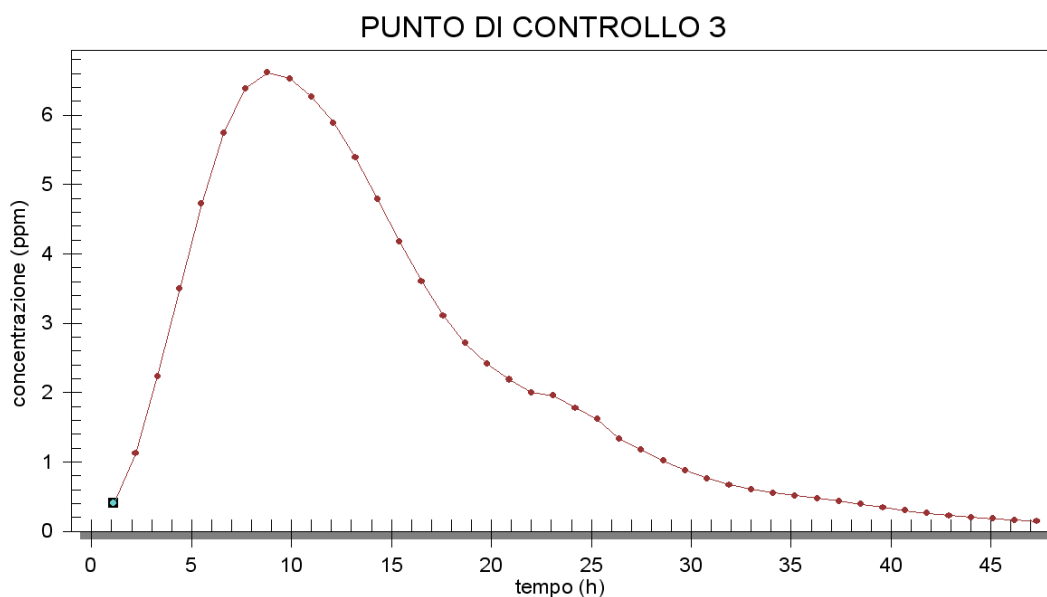


Figura 53 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 3

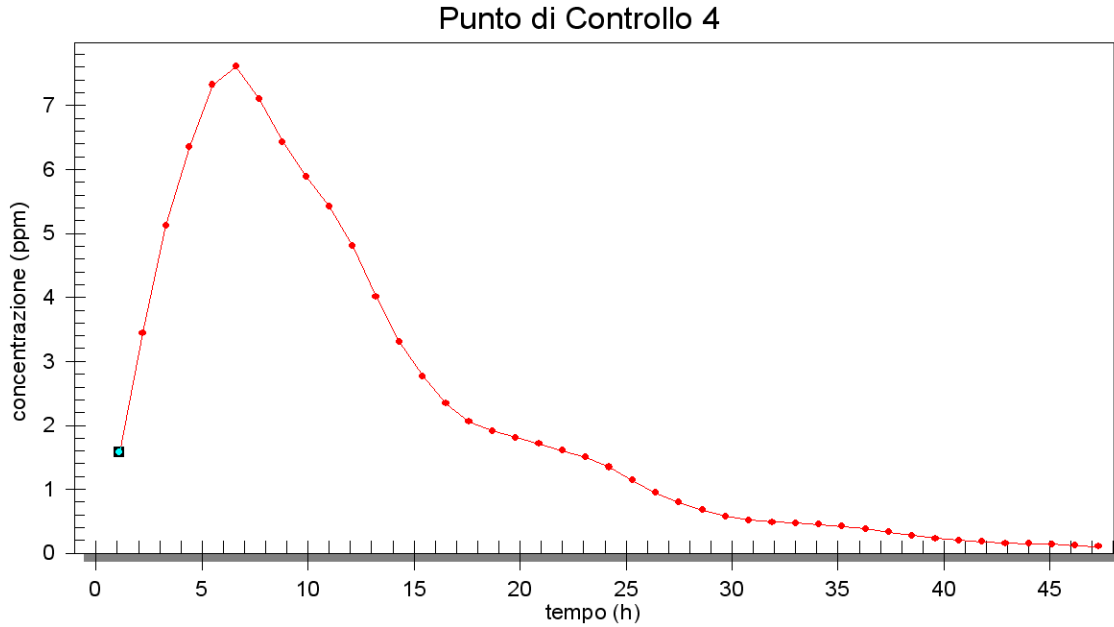


Figura 54 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 4

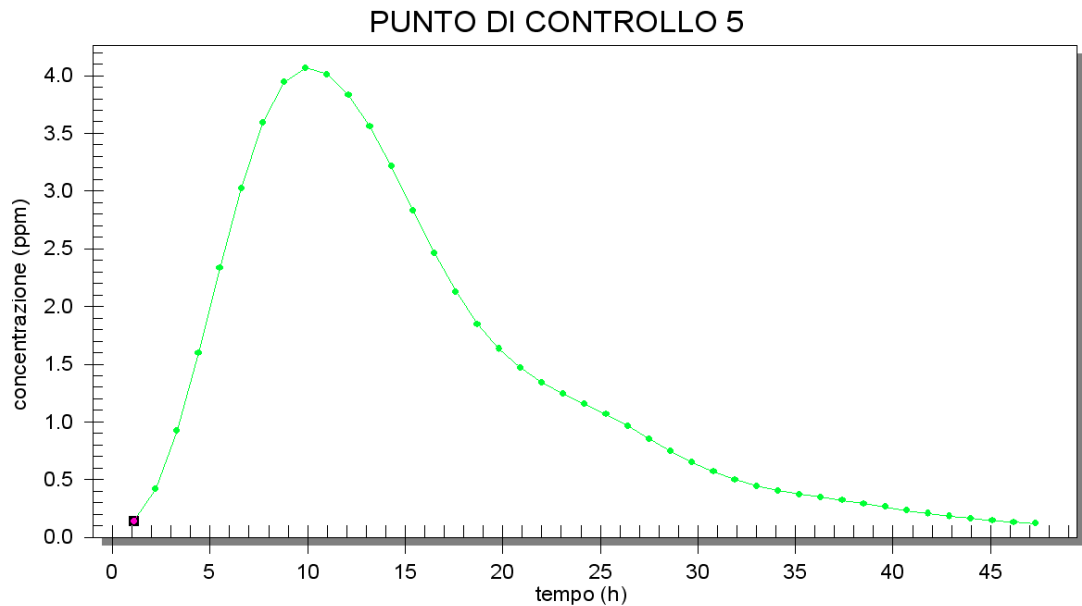


Figura 55 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 5

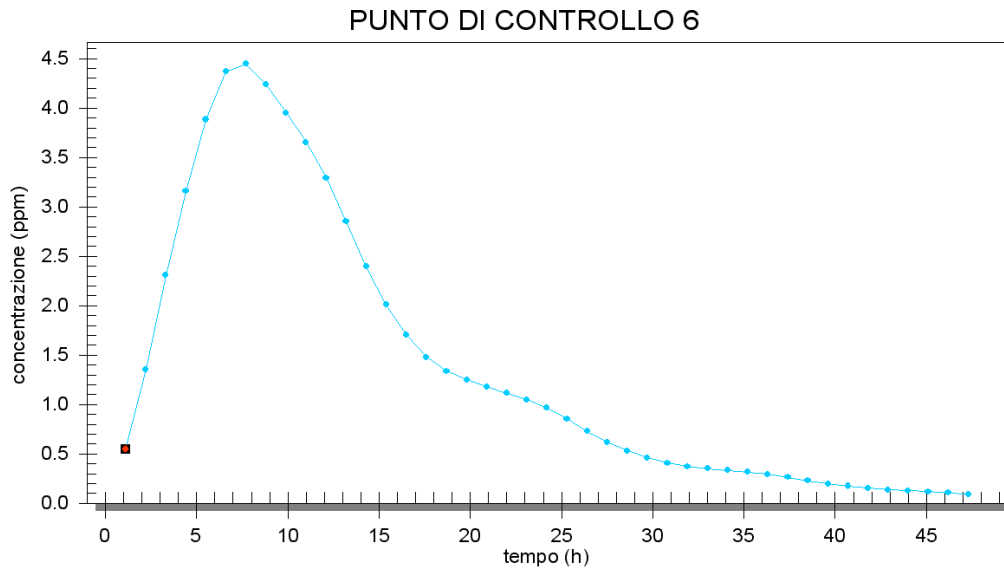


Figura 56 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 6

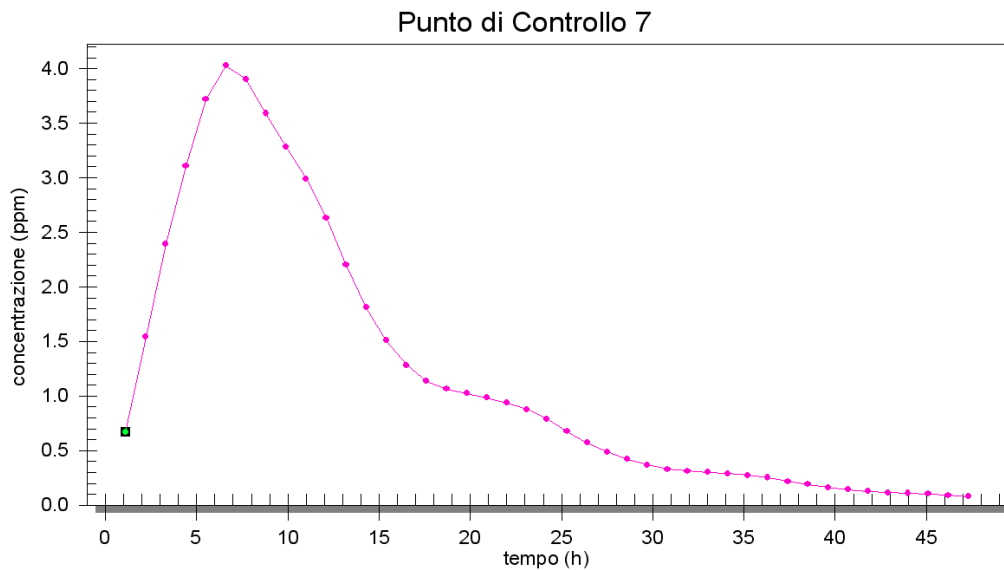


Figura 57 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 7

Dai diagrammi sopra riportati si evince che il picco massimo di concentrazione in ogni punto di controllo si raggiunge tra le 8 e le 15 ore dall'inizio dello sversamento; in particolare i siti più distanti dalla sorgente di inquinamento raggiungono il picco in tempi maggiori.

Il picco di concentrazione nei siti di controllo varia nel range 3,10 -7,90 ppm, che corrisponde all' intervallo percentuale 13,0 – 39,9%, rispetto alla concentrazione iniziale dell' inquinante alla sorgente.

In particolare il valore 7,9 viene raggiunto nel punto P.4.

I valori di concentrazione residua variano nel range 0.50 – 0.10 ppm, con tempi caratteristici che variano anche questa volta in funzione della distanza.

Il valore di concentrazione residua pari a 0.5 ppm viene raggiunto in tutti i punti di controllo, in un tempo compreso tra le 25 e le 35 ore.

Si evidenzia che tale livello di concentrazione corrisponde al 2,5 % della concentrazione di inquinante alla sorgente.

Il livello di concentrazione residua al time step 48 ore in tutti i punti di controllo è pari a circa a 0,10 ppm che corrispondono al 0,5% della concentrazione dell'inquinante alla sorgente.

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

Si osserva che la scala cromatica associa al colore rosso i valori di concentrazione maggiori o uguali a 5 ppm.

In particolare da queste mappe è possibile osservare sia gli elevati gradienti di diffusione sia i bassi gradienti di dispersione, in quanto l'inquinante si diffonde velocemente in tutto il bacino, con livelli di concentrazione massima e residua abbastanza elevati.

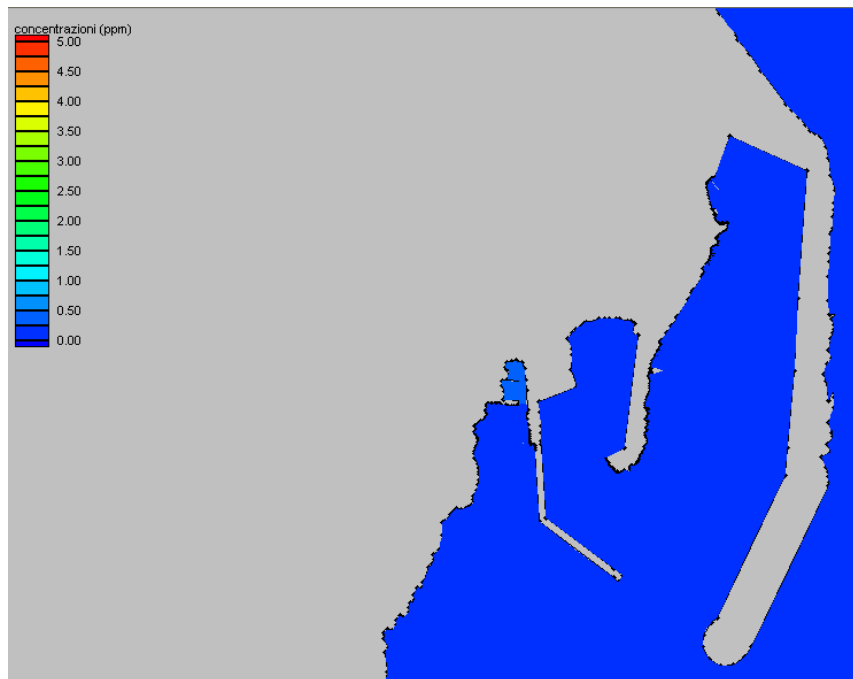


Figura 58 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout A al time step 1h

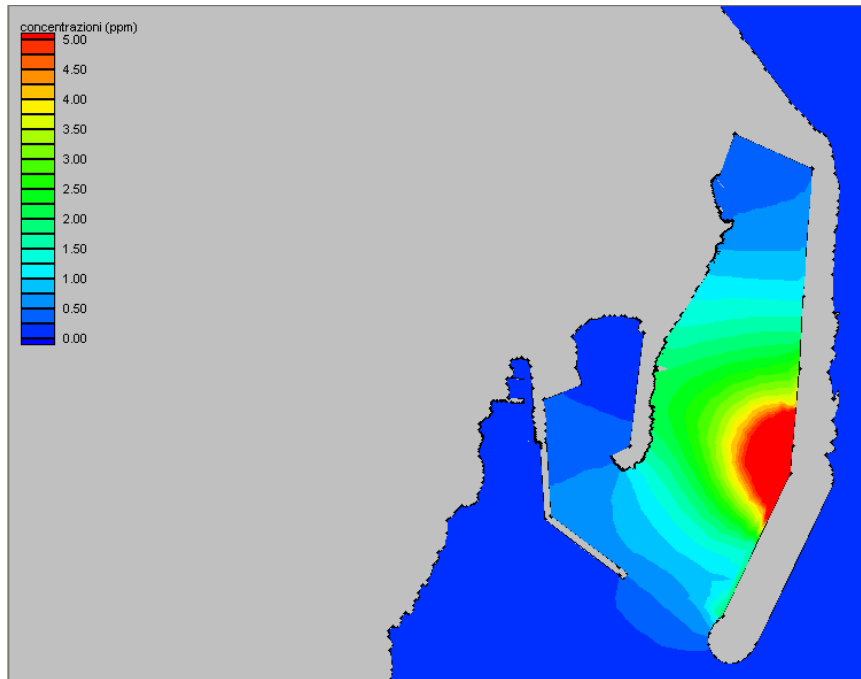


Figura 59 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 2h

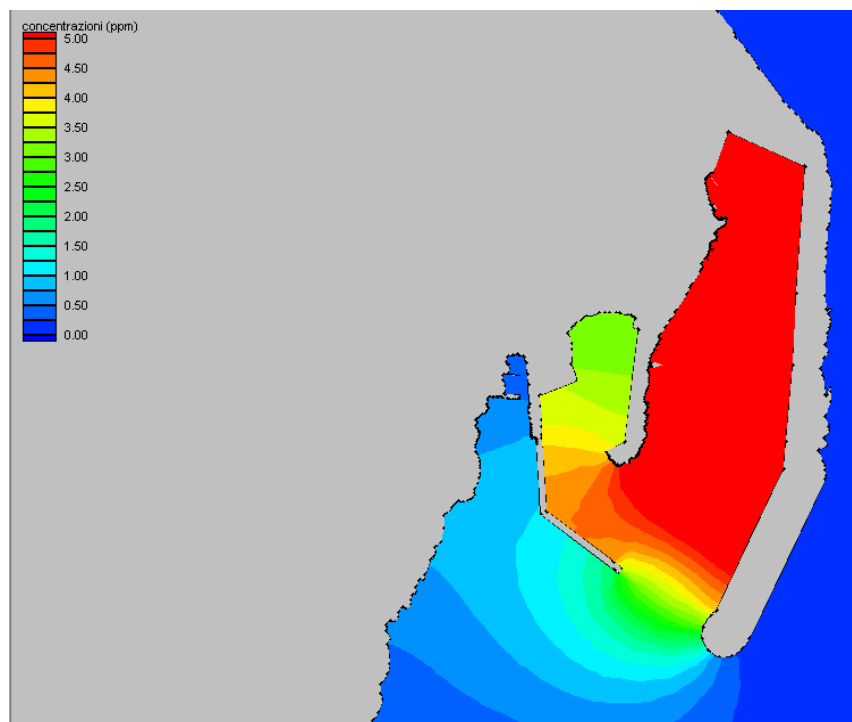


Figura 60 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 6h

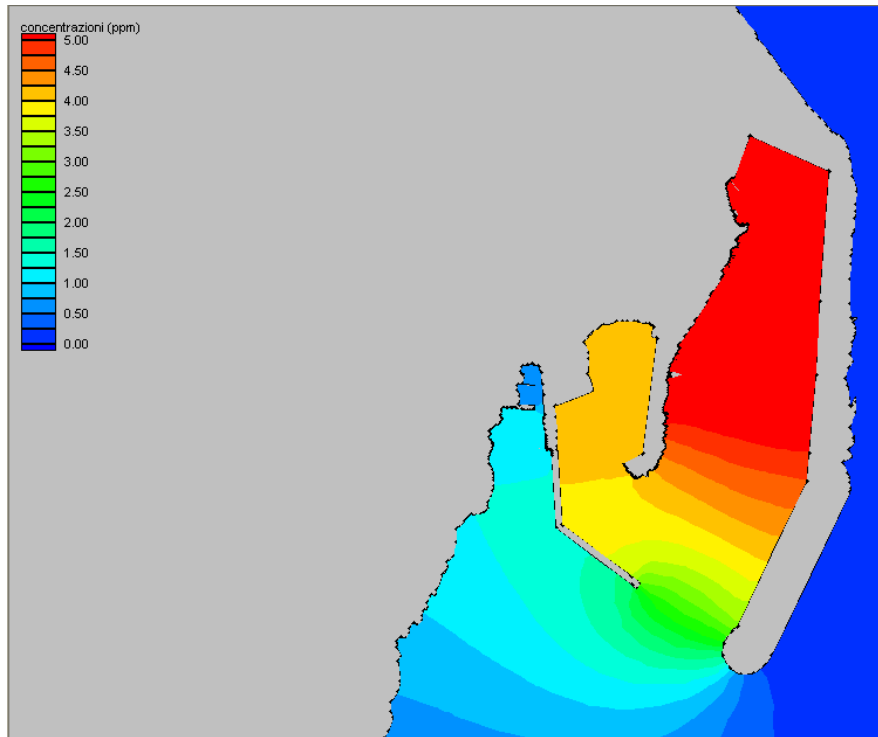


Figura 61 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 10h

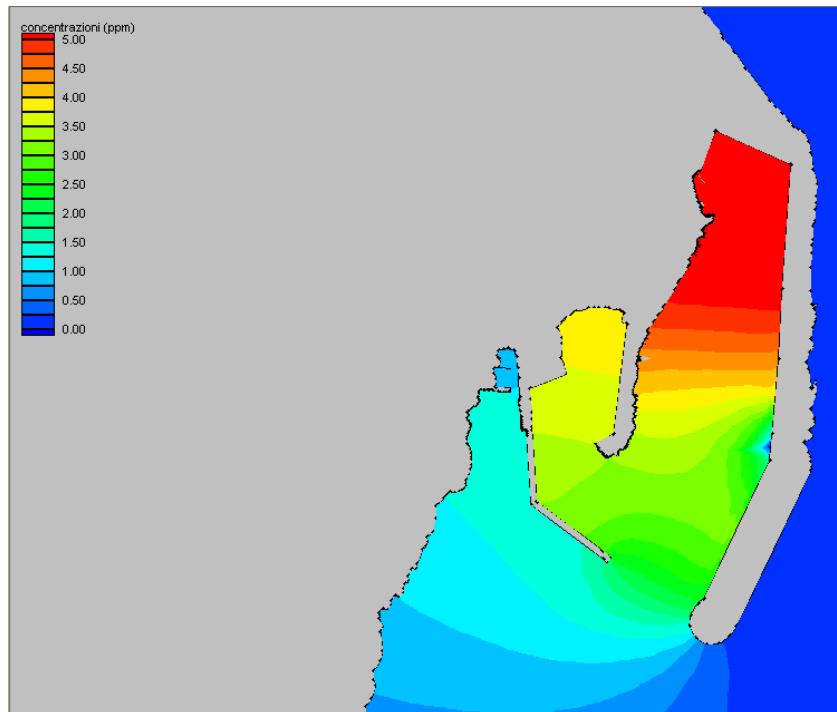


Figura 62 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 12h

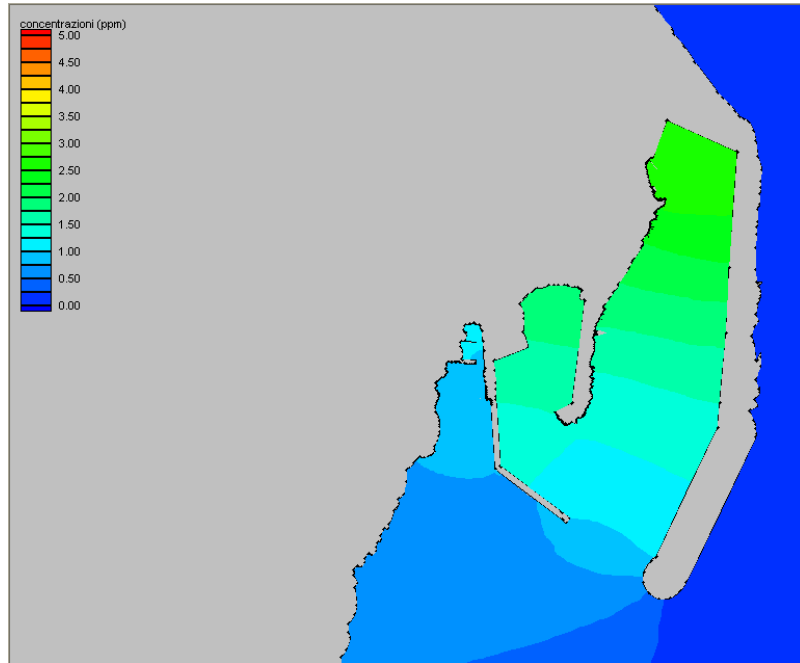


Figura 63 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 18h

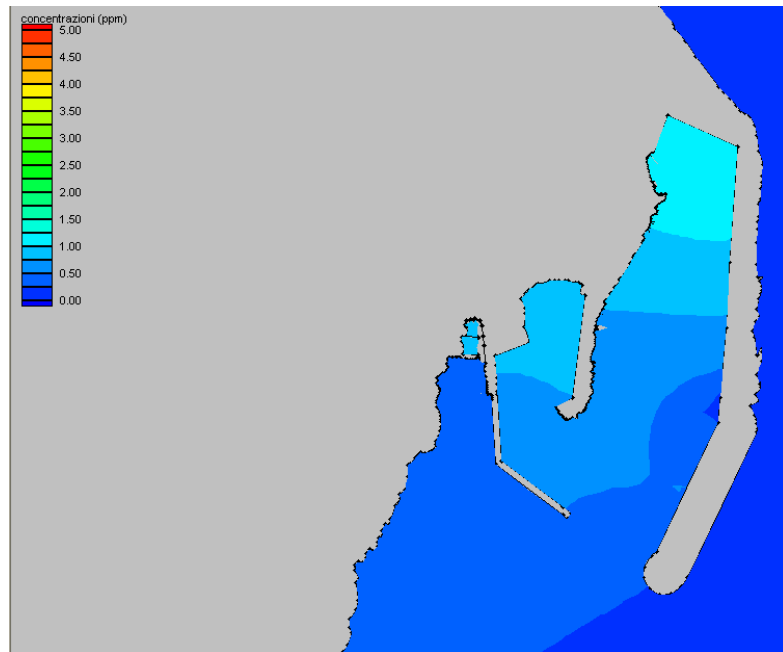


Figura 64 – distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 24h

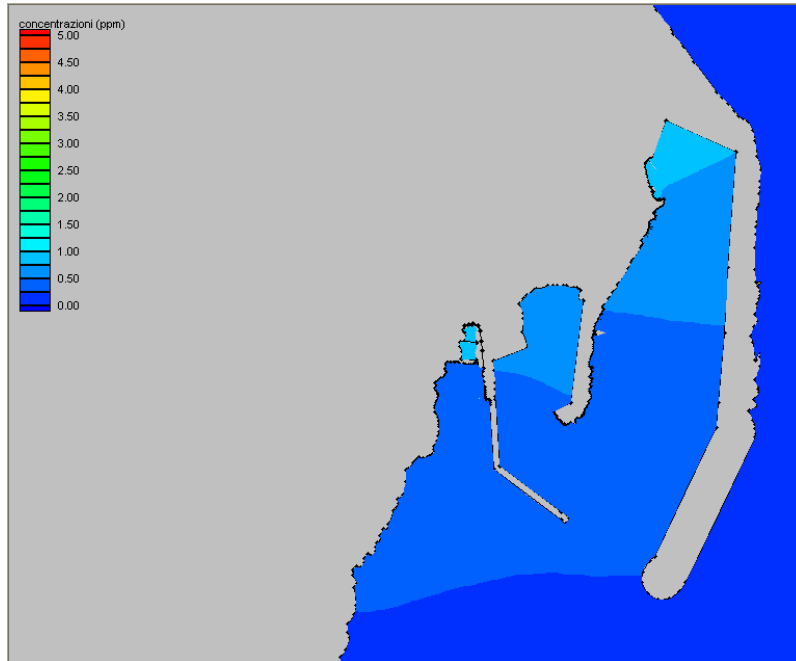


Figura 65 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 30 h

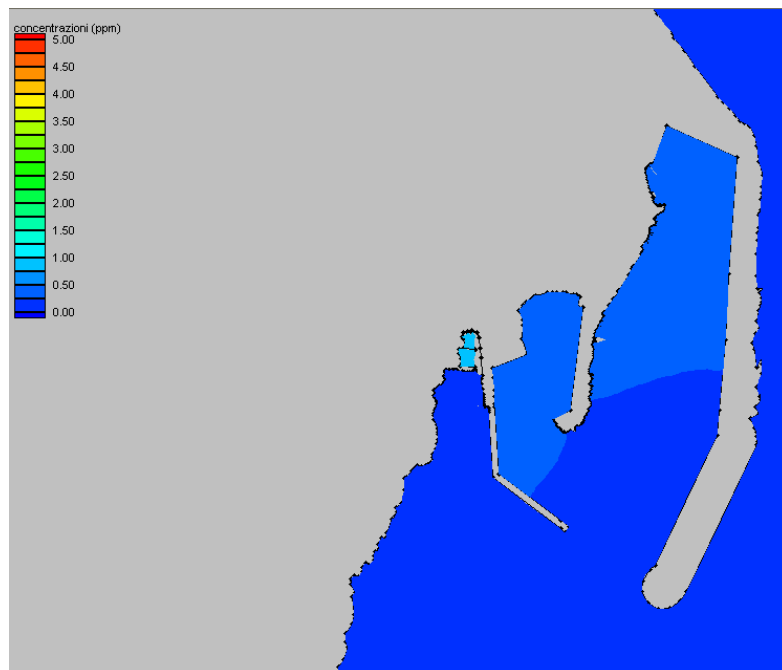


Figura 66 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 36h

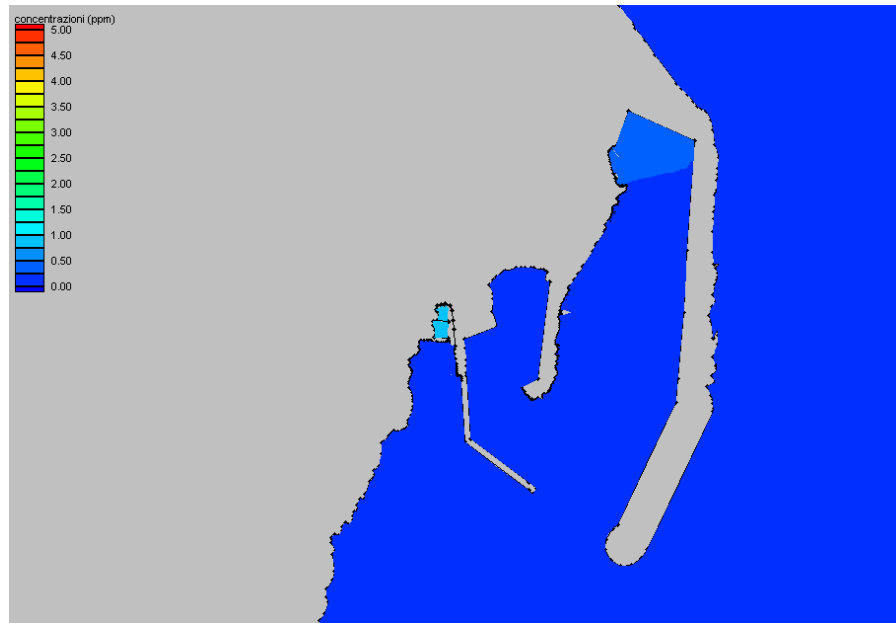


Figura 67 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 42h

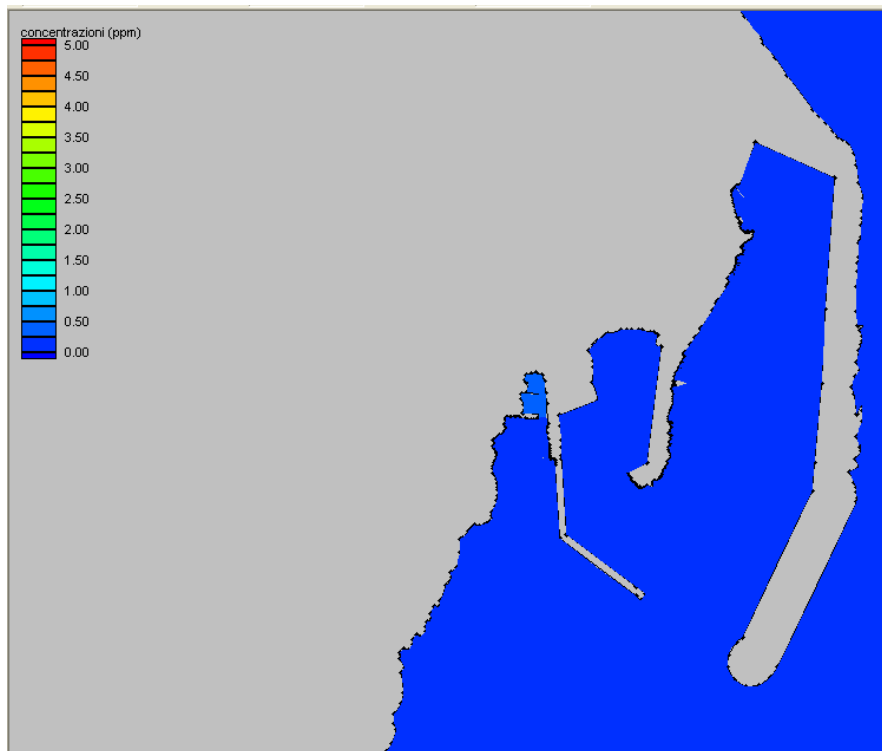


Figura 68 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout A al time step 48h

5.2.2 Simulazione relativa al layout B

Di seguito si riportano i diagrammi temporali in ognuno dei punti di controllo in seno alle simulazioni per il layout B, che prevede la realizzazione solo del molo di sopraflutto, in accordo al P.R.P. vigente.

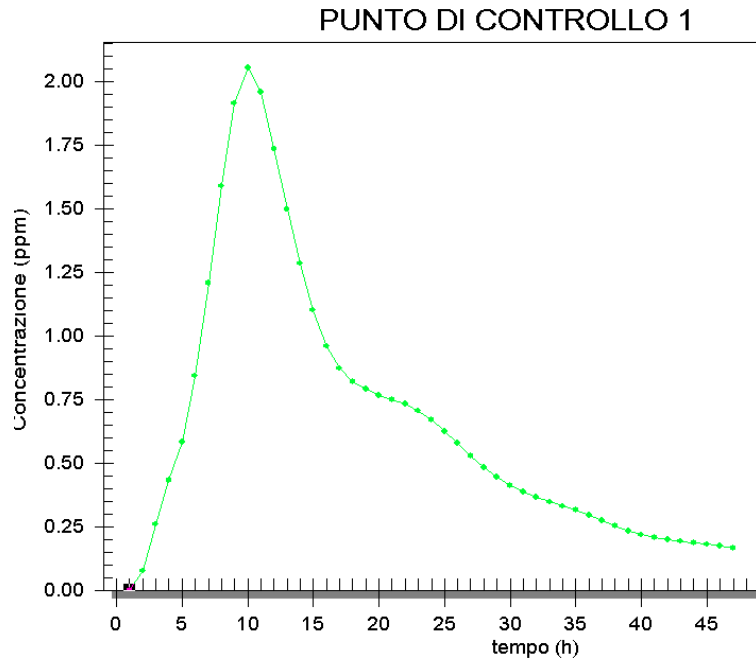


Figura 69 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 1

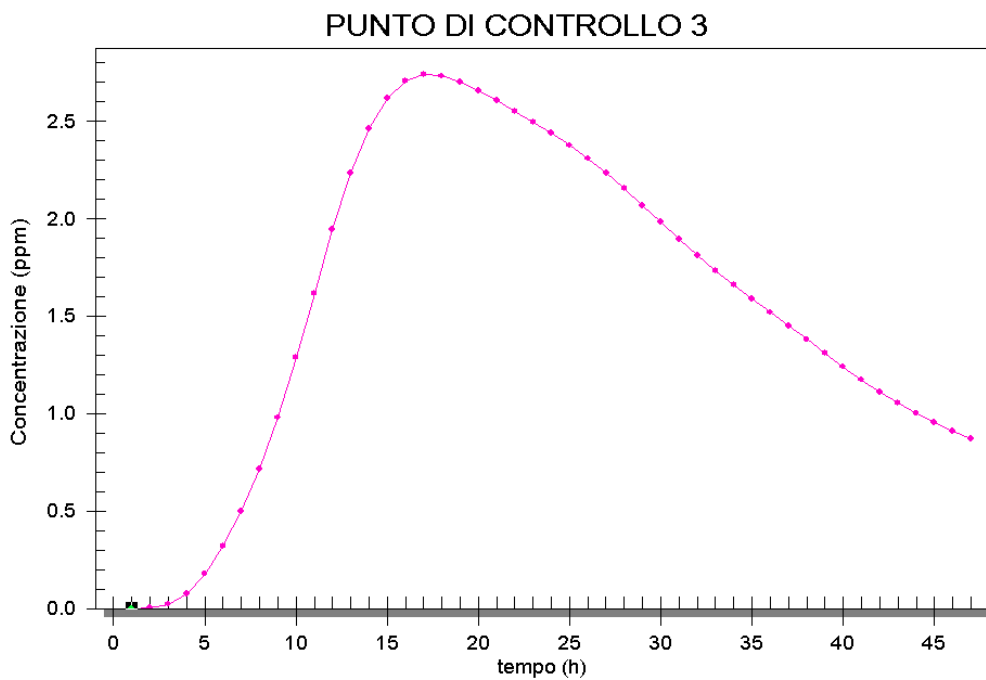


Figura 70 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 3

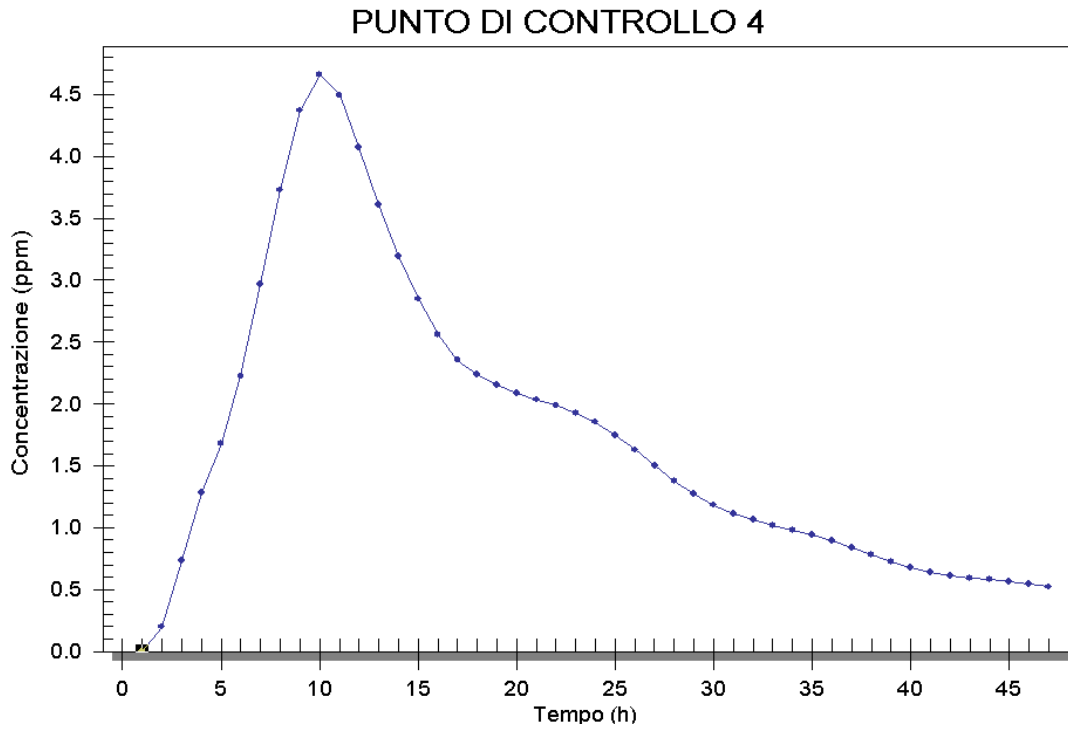


Figura 71 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 4

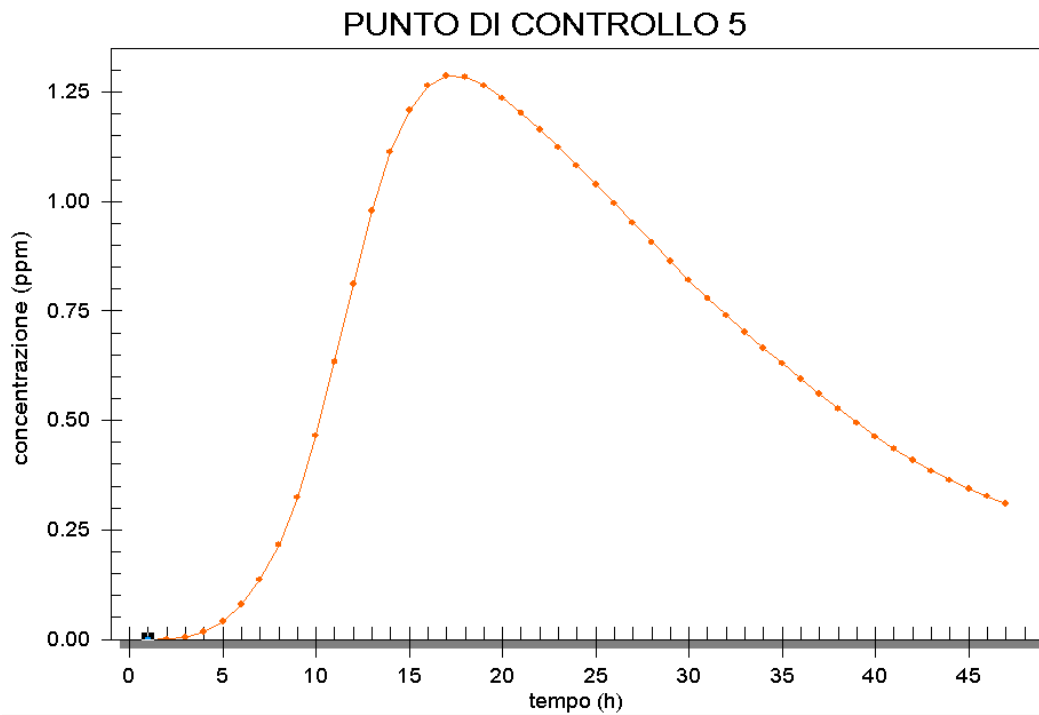


Figura 72 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 5

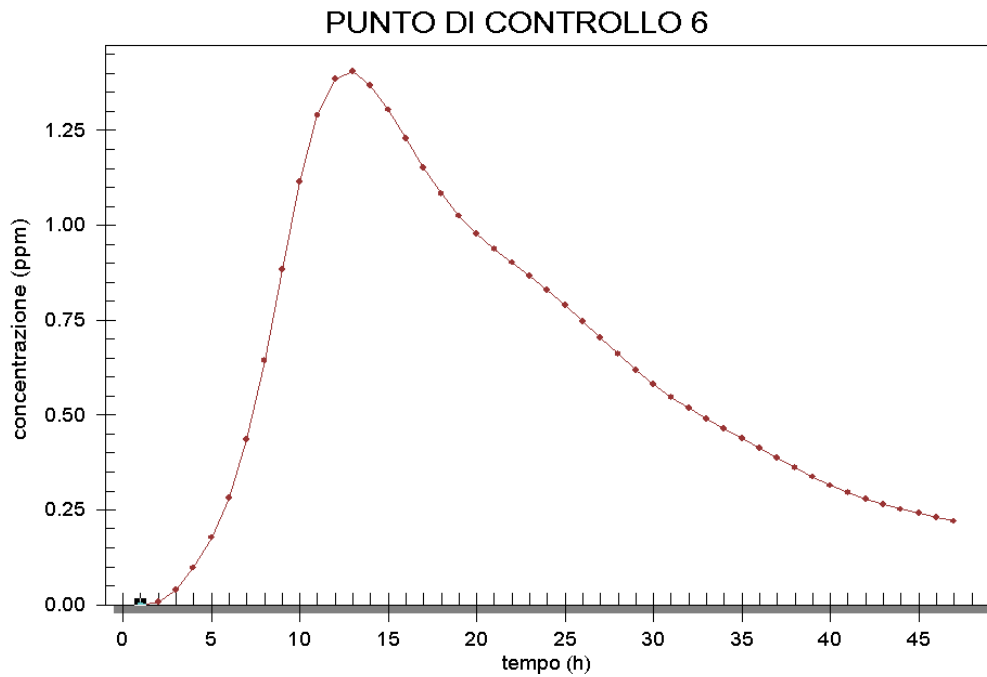


Figura 73 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 6

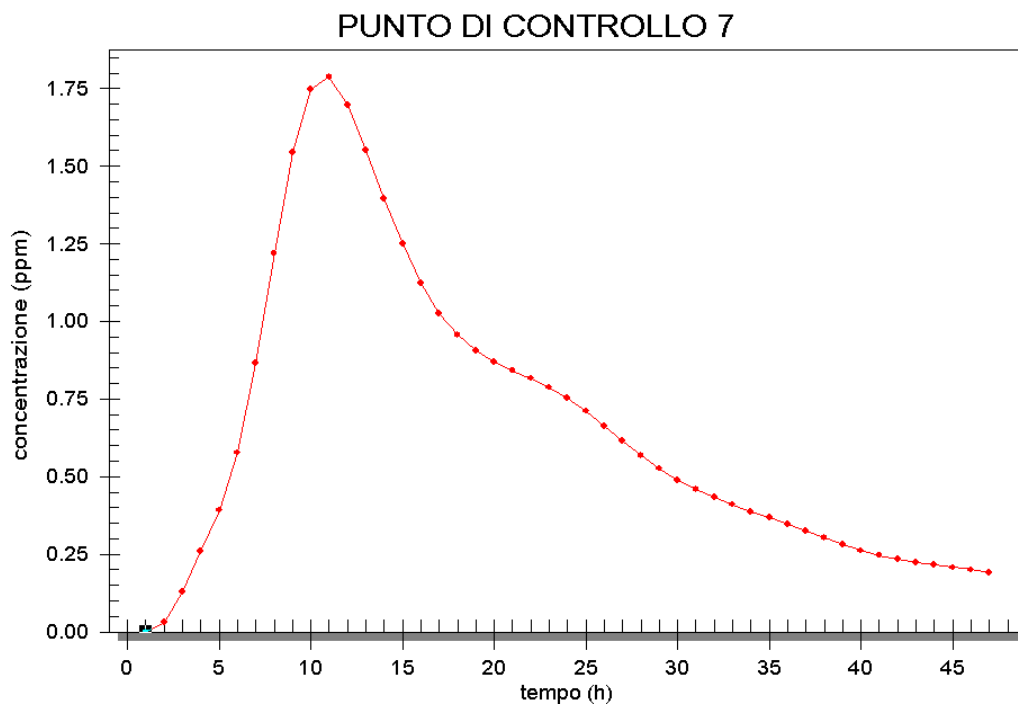


Figura 74 – Diagramma temporale delle concentrazioni simulate presso il punto di controllo 7

Dai diagrammi sopra riportati si evince che il picco massimo di concentrazione in ogni punto di controllo si raggiunge tra le 10 e le 20 ore dall' inizio dello sversamento;

in particolare i siti più distanti dalla sorgente di inquinamento raggiungono il picco in tempi maggiori.

Il picco di concentrazione nei siti di controllo varia nel range 1,50 -4,75 ppm, che corrisponde all' intervallo percentuale 7,5 – 23,75%, rispetto alla concentrazione iniziale dell' inquinante alla sorgente.

In particolare il valore 4,75 ppm viene raggiunto nel punto P.4.

Si osserva che i picchi ottenuti in seno alla simulazione del layout B sono minori a quelle ottenute per quella del layout A.

Ciò è giustificato dal fatto che il layout B non è caratterizzato dalla presenza del molo sottoflutto, che crea un effetto di schermatura al fenomeno della diffusione di inquinanti.

I valori di concentrazioni residua variano nel range 0.5 – 0.25 ppm, con tempi caratteristici che variano anche questa volta in funzione della distanza.

In particolare si osserva che il valore di concentrazione residua pari a 0.5 ppm viene raggiunto in tutti i punti di controllo, a meno del punto P.3., in un tempo compreso tra le 25 e le 44 ore.

Il punto di controllo P.3 risulta il più sfavorito, in quanto il livello di concentrazione residua al time step 48 ore è di circa 0,75 ppm che corrispondono al 3,75% della concentrazione dell' inquinante alla sorgente.

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

Si osserva che la scala cromatica associa al colore rosso i valori di concentrazione maggiori o uguali a 5 ppm.

In particolare da queste mappe è possibile osservare sia gli elevati gradienti di diffusione sia i bassi gradienti di dispersione, in quanto l'inquinante si diffonde velocemente in tutto il bacino, con livelli di concentrazione massima e residua abbastanza elevati.

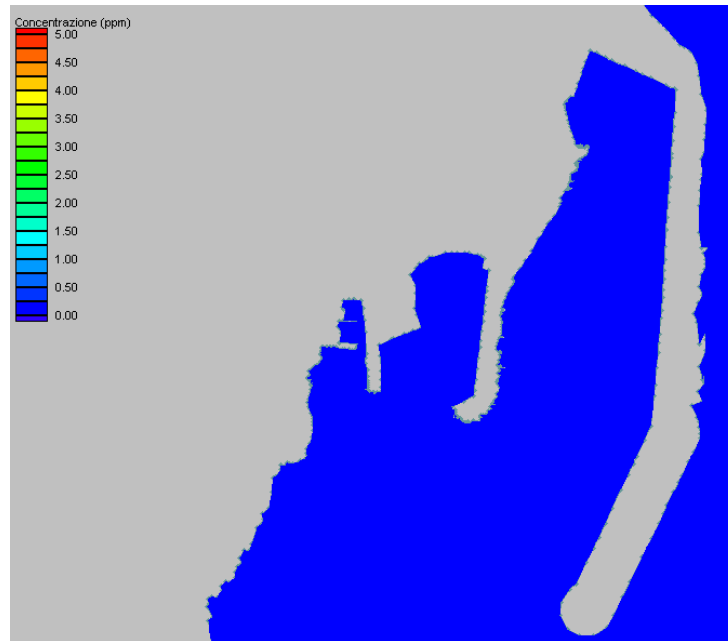


Figura 75 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 1 h

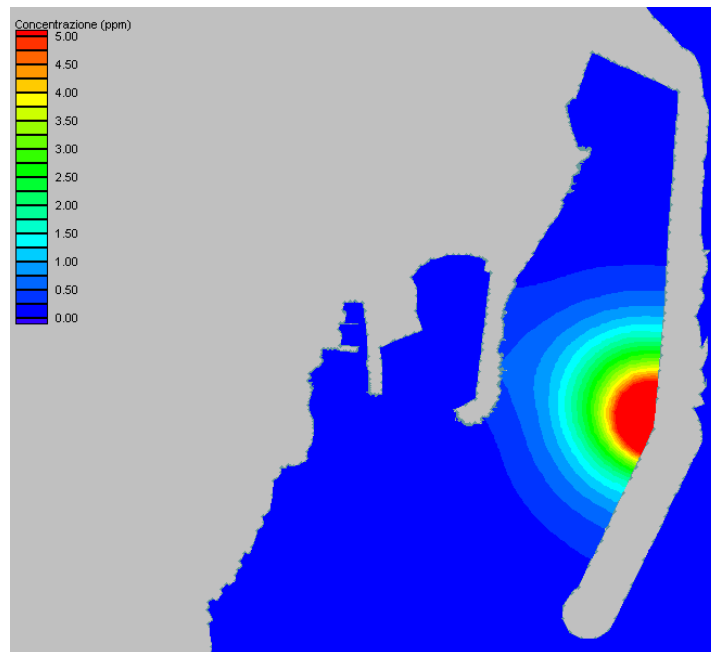


Figura 76 – distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 2h

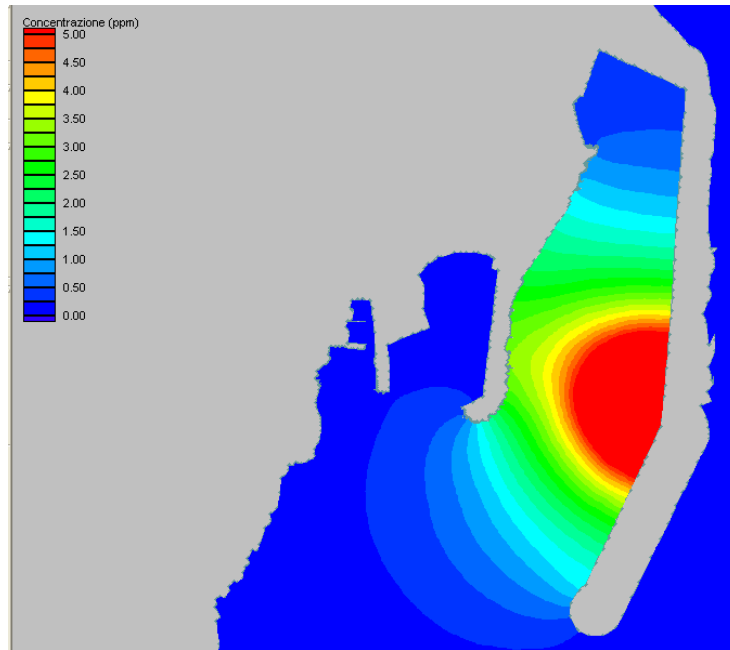


Figura 77 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 6h

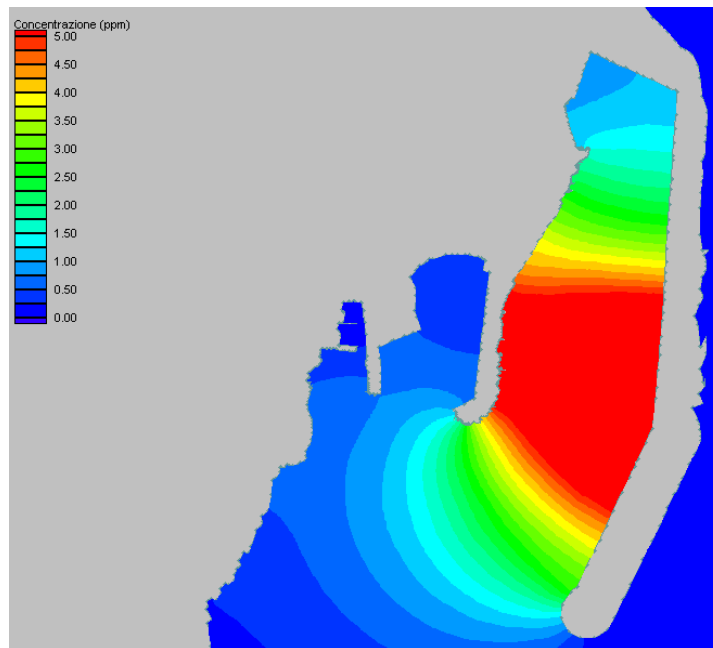


Figura 78 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 10h

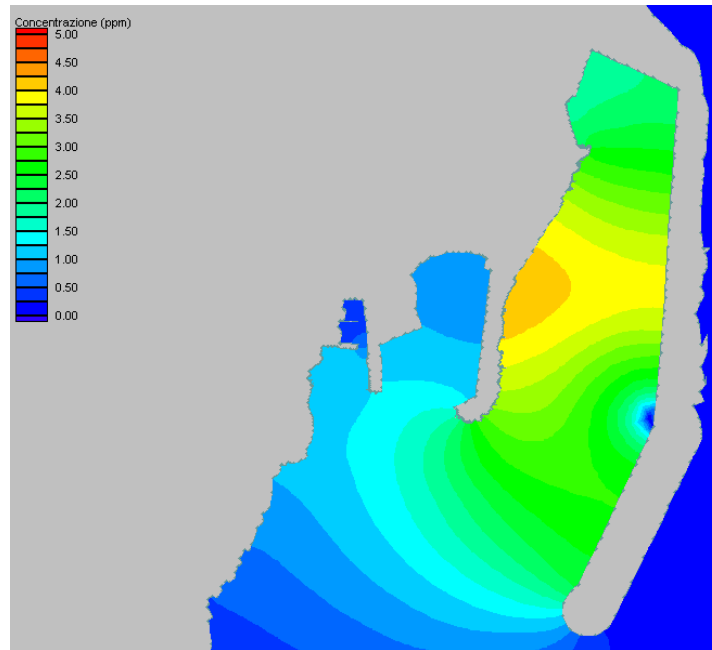


Figura 79 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 12h

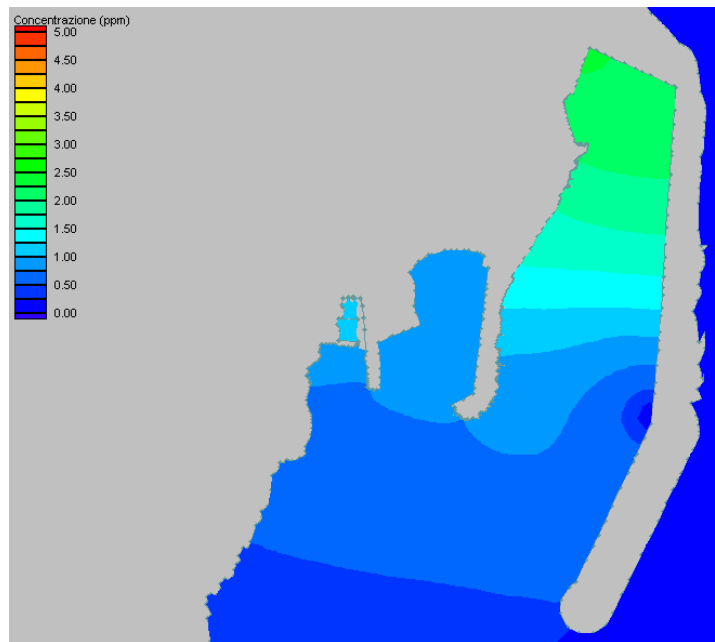


Figura 80 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 18h

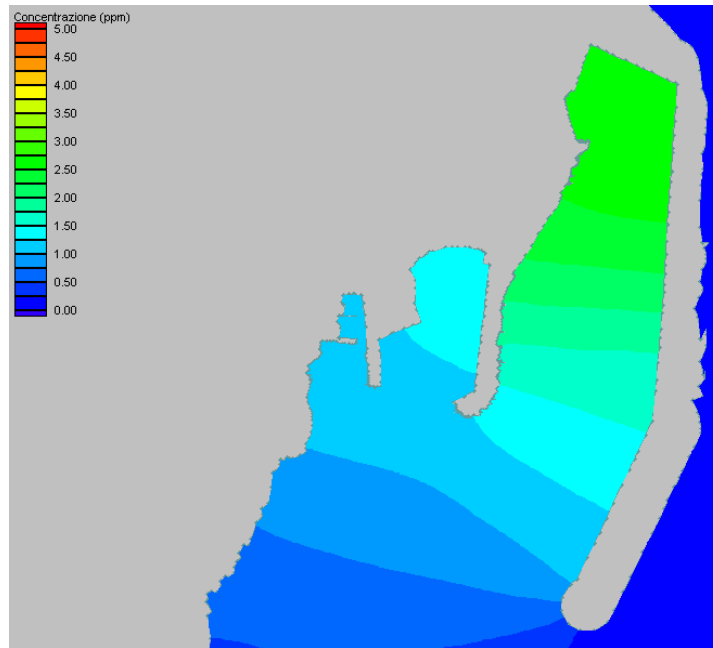


Figura 81 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 24h

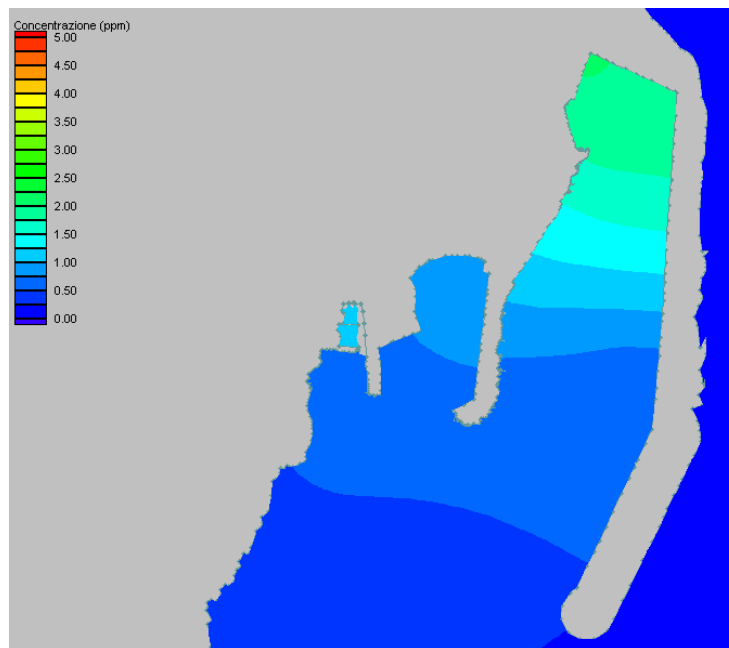


Figura 82 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 30h

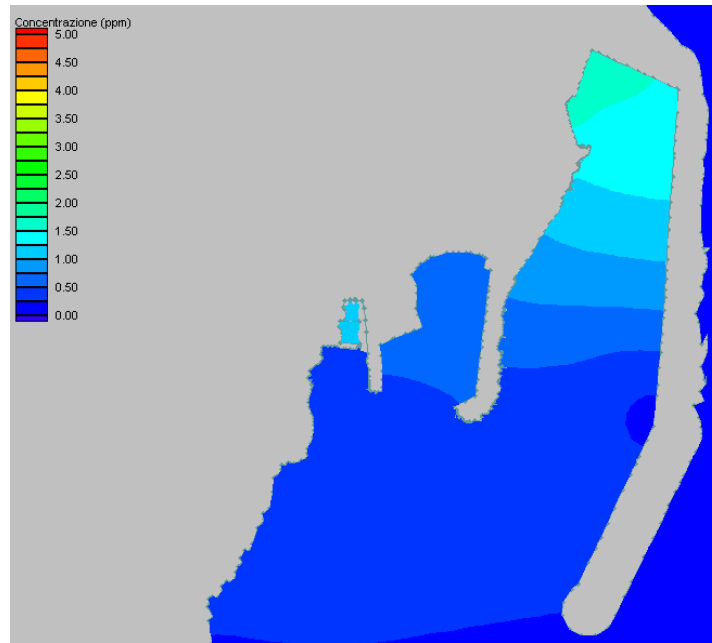


Figura 83 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 36h

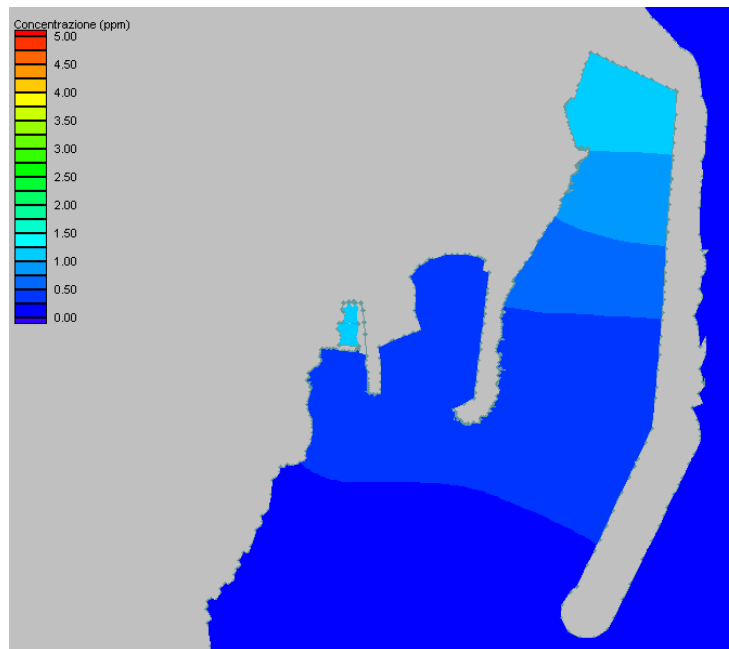


Figura 84 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella,secondo la configurazione del layout B al time step 42h

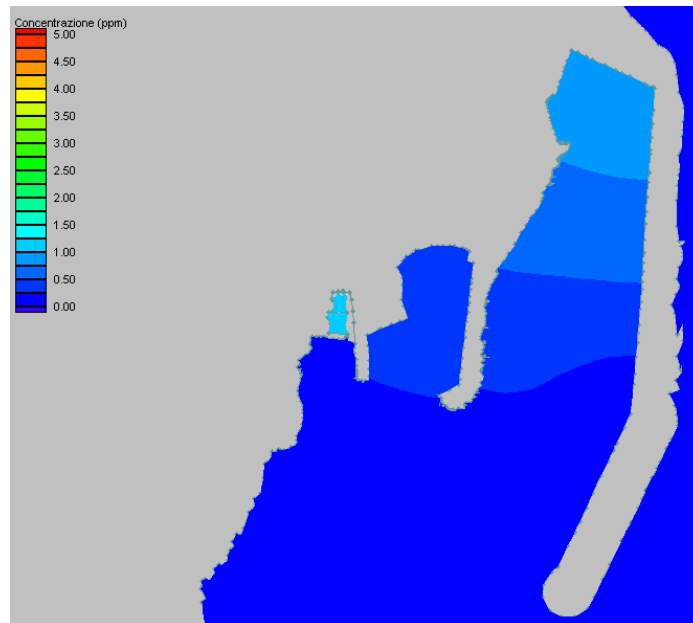


Figura 85 – Distribuzione dei livelli di concentrazione all' interno del porto dell'Arenella, secondo la configurazione del layout B al time step 48h

5.3 CONCLUSIONI

Le simulazioni condotte hanno evidenziato che le velocità di diffusione dell'inquinante, per entrambi i layouts, risultano essere alquanto elevate.

Le velocità invece di abbattimento dei valori di concentrazione risultano essere viceversa molto lente.

Il layout B evidenzia una situazione lievemente migliore rispetto al layout A, sia in termini dei fenomeni diffusivi sia in termini di quelli dispersivi; infatti confrontando i valori di concentrazione massima e di concentrazione residua nei punti di controllo scelti, si osserva che il layout A è caratterizzato dai valori più alti; questo fenomeno è dovuto agli effetti di schermatura prodotti dalla presenza del molo di sottoflutto.

L'area più sfavorita è costituito dall'area più interna del bacino A, (punto di controllo 3) caratterizzata in entrambi i layout dai valori di concentrazione residua a 48 ore maggiore.

Tali valori variano tra 0,1 e 2,5 ppm che corrisponde al range percentuale di 0.5 – 0,13 % rispetto alla concentrazione iniziale di inquinante alla sorgente.

6. 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 il 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 differenza di quota piezometrica lungo la condotta è simile a quella attraverso l'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'interezza del bacino del marina.

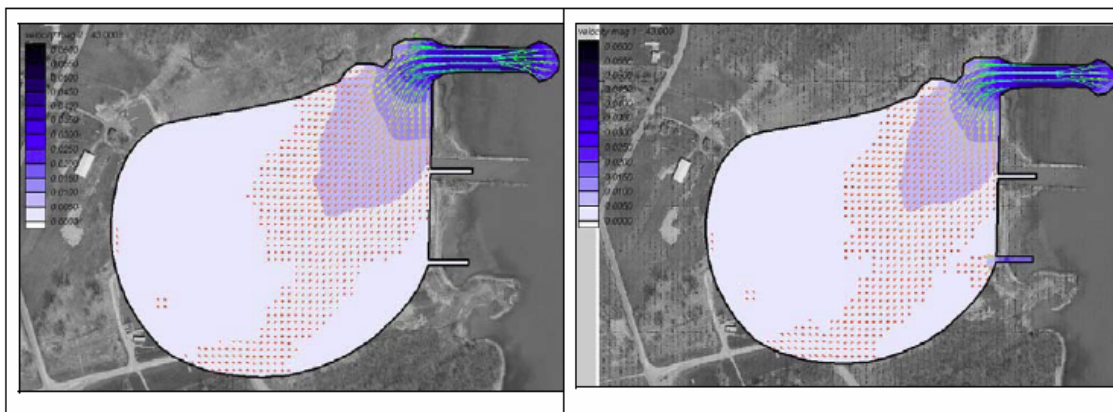


Figura 86 – Esempio di contributo minimo dovuto a condotte

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 il 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.

Nelle fasi successive di progettazione, occorrerà porre massima attenzione a tali problematiche, per la definizione di interventi di miglioramento della circolazione e di mitigazione degli effetti negativi.

Occorrerà quindi progettare ed attuare gli opportuni interventi di miglioramento della circolazione nelle zone maggiormente critiche.

Data l'invariabilità delle configurazioni portuali, sottoposto ai vincoli del P.R.P vigente, e a seguito di alcune analisi di carattere tecnico-economico sulle alternative

di intervento (ad esempio la regolarizzazione dei fondali, e l'installazione di stazioni di pompaggio e di condotte) sono state considerate quali ottimali le seguenti soluzioni.

In primo luogo si può prevedere l'installazione di ossigenatori che insufflino aria sul fondo posizionati nelle zone stagnanti ovvero nelle parti più interne dei bacini.

Inoltre si potranno installare dei circolatori opportunamente dimensionati e posizionati 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 in tempi ragionevolmente contenuti (48-72 ore).

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

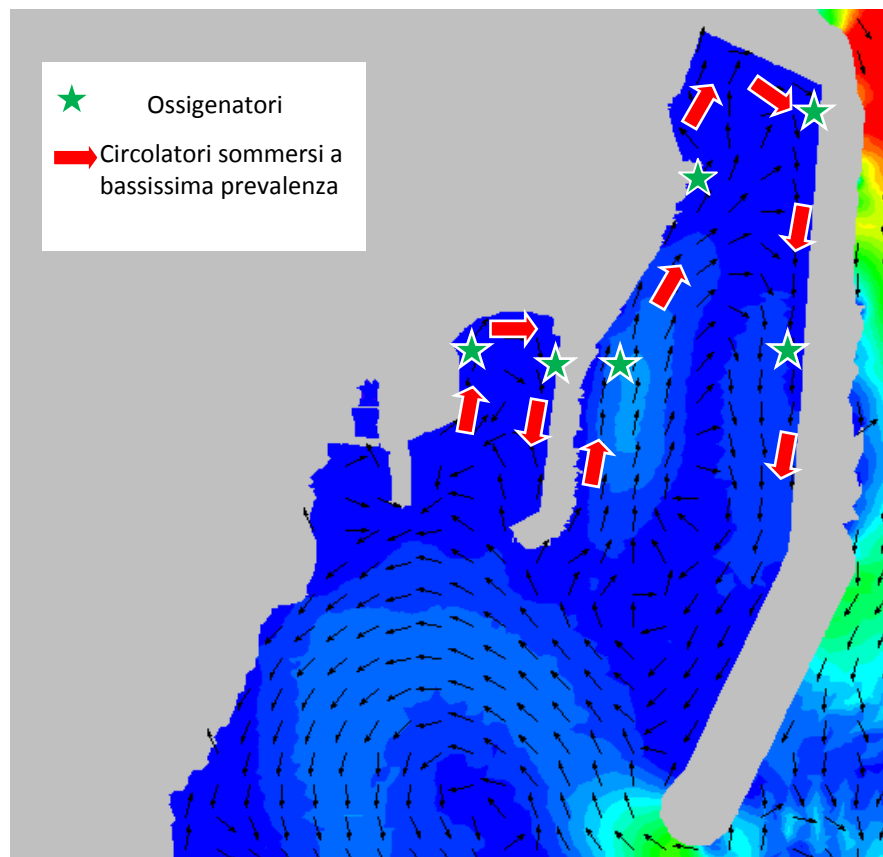


Figura 87 – Ipotesi di intervento per il miglioramento delle condizioni di ricambio per il layout B, coincidente con al realizzazione del molo di sopraflutto in accordo con il P.R.P. vigente.

7. CONCLUSIONI E INDICAZIONI PER LE FASI SUCCESSIVE DI PROGETTAZIONE

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.

In particolare 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.

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 "discreto" anche se inferiore a quello ritenuto ottimale.

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

- stato di fatto,
- realizzazione del solo completamento del molo di sopraflutto (opera di cui al progetto in esame),
- realizzazione del completamento del sopraflutto e del sottoflutto,
- tutte le opere previste nel nuovo PRP in corso di approvazione.

Da tale confronto è comunque emerso che, per volumi idrici e dimensioni geometriche simili, la configurazione che fornisce i risultati migliori è quella prevista dalle opere in progetto.

Non bisogna però trascurare di considerare che tutte le opere sono volte alla messa in sicurezza dello scalo portuale, oggi praticamente esposto ai marosi del I e II quadrante. Pertanto la realizzazione di tali opere senz'altro necessarie determineranno una maggiore conterminazione degli specchi acquei e di conseguenza una riduzione del ricambio idrico dei bacini stessi.

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.

I risultati ottenuti in seno all'analisi di tipo numerico, hanno mostrato come il regime correntometrico che si instaura all'interno del bacino dell'Arenella, in entrambi

i layouts simulati, sia caratterizzato da velocità relativamente basse (10^{-3} - 10^{-5} m/s), il che implica un gradiente di ricambio idrico limitato.

Per quanto riguarda il fenomeno di dispersione degli inquinanti, vengono confermati gli stessi risultati.

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

Tra i due layouts investigati, l'ottimale dal punto di vista del ricambio idrico, risulta essere il layout che prevede la realizzazione del solo molo di sopraflutto, in accordo ai principi prescritti dal P.R.P. vigente, e che non soffre degli effetti di schermatura prodotti dalla presenza del molo di sottoflutto.

Per migliorare la qualità delle acque, nelle fasi successive di progettazione previste dal nuovo PRP, occorrerà valutare l'installazione di ossigenatori e circolatori a bassa prevalenza ai fini di garantire i gradienti di ricambio ottimali.

8. Riferimenti

- DiLorenzo, J.L., Ram R, Huang P., and Najarian, T.O., *Simplified Tidal Flushing Model for Small Marinas*, World Marinas 91, ASCE, 1991.
- DiLorenzo, J.L., Filadelfo, R.J., Surak, C.R., Litwack, H.S., Gunawardana, V.K., and Najarian, T.O., 2004, *Tidal variability in the water quality of an urbanized estuary*, *Estuaries*, 27 (5), 851-860.
- Nece, C. W., Richey, E. P., Rhee, J., and Smith, H. N., *Effects of Planform Geometry on Tidal Flushing and Mixing in Marinas*, Technical Report No. 62, Department of Civil Engineering, College of Engineering, University of Washington, Seattle, WA, 1979.
- Smith, H., R Carter, and D. Jones, *Achieving and Maintaining Water Quality in Small Boat Harbors*, Prepared for Alaska Department of Environmental Conservation, July 2002.
- USEPA. 1985a. *Coastal Marinas Assessment Handbook*. U.S. Environmental Protection Agency, Region 4, Atlanta, GA. April.
- Van de Kreeke, J, *Residence Time: Application to Small Boat Basins*, Journal of Waterways, Port, coastal, and Ocean Engineering, American Society of Civil Engineers, vol. 109, No. 4, November, 1983.
- PIANC, Report n.98 – 2008, Ricreational Navigation Commission, *Protecting water quality in marinas*