

Comune di Ameglia (SP)

Strumento Urbanistico Attuativo
(ex L.r. 24/1987 e s.m.i.)

**Progetto Definitivo
Marina Azzurra Yachting**



Proponente



MARINA AZZURRA YACHTING S.R.L.

Sede Legale: Via Litoranea, 14
19031 Ameglia (SP)

Iscrizione Registro Imp. di La Spezia

Partita Iva: 01425770110

Rea: Sp - 128169

Tel +39.0187.64169 - Fax. +39 0187.64960

Gruppo di lavoro

Progettista

Ing. Andrea Benvenuti



HydroGeo
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



Studio tecnico - Hydrogeo

Arch. Elisabetta Berti

Aspetti idraulici

Ing. Andrea Benvenuti

Studio tecnico - Hydrogeo

Aspetti impiantistici

Ing. Andrea Benvenuti

Studio tecnico - Hydrogeo

Aspetti geologici

Geol. Pietro Curcio



Aspetti urbanistici e paesaggistici

Arch. Elisabetta Berti

Aspetti ambientali

Valutazione Impatto Ambientale (VIA)

Ing. Carlo Grassi



10 febbraio 2017

SP01 - Studio agitazione interna

Indice generale

1	APPROCCIO METODOLOGICO.....	3
2	AMBITO FISICO DELL'INTERVENTO.....	4
3	MODELLISTICA IDRAULICA.....	5
3.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO.....	5
3.2	SCENARI SIMULATI	7
3.3	RISULTATI.....	8
3.3.1	<i>Configurazione a circolazione naturale (CN)</i>	<i>8</i>
3.3.1.1	Campo di moto in assenza di pompe	8
3.3.1.2	Livelli in assenza di pompe.....	10
3.3.2	<i>Configurazione a circolazione forzata (CF).....</i>	<i>10</i>
3.3.2.1	Campo di moto in presenza di pompe	10
3.3.2.2	Livelli in presenza di pompe	11
4	VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE ALL'INTERNO DELLA DARSENA.....	12
4.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO.....	12
4.2	RISULTATI.....	12
5	CONCLUSIONI	14

Indice delle figure

Figura 2-1: Vista dell'area interessata dalla darsena.	4
Figura 3-1: a) Esempio di "sotto-griglia". b) Area bagnata associata ad una faccia della cella di calcolo k. c) Curva di invaso associata ad una cella di calcolo k.	6
Figura 3-2: a) Vista globale del dominio di calcolo impiegato per la relazione. b) Particolare dell'area simulata in corrispondenza della darsena.	7
Figura 3-3: Idrogramma delle portate impiegato come condizione di monte per la simulazione "Evento di piena".	8
Figura 3-4: Idrogramma dei livelli impiegato come condizione di valle nelle simulazioni "Evento di mareggiata" e "Evento a portata nulla".	8
Figura 3-5: a) Involuppo dei massimi del modulo della velocità per lo scenario "Evento di piena". b) Traiettorie istantanee delle particelle fluide al picco dell'evento di piena.	9
Figura 3-6: a) Involuppo del modulo dei massimi della velocità per lo scenario "Evento di mareggiata". b) Traiettorie istantanee delle particelle fluide durante un istante della fase discendente della mareggiata.	9
Figura 3-7: a) Involuppo dei massimi del modulo della velocità per lo scenario "Evento a portata nulla". b) Traiettorie istantanee delle particelle fluide durante un istante della fase discendente della mareggiata.	10
Figura 3-8: Campo di moto indotto dalla presenza delle pompe e traiettoria istantanea delle particelle fluide. Vista globale della darsena per portate a) 0.9 m ³ /s, c) 3.0 m ³ /s; particolare del campo di moto all'ingresso della darsena per portate b) 0.9 m ³ /s, d) 3.0 m ³ /s.	11
Figura 4-1: a) Andamento temporale della concentrazione di ossigeno disciolto in darsena. b) Andamento temporale delle accensioni e degli spegnimenti del sistema di pompaggio.	13

Indice delle tabelle

Tabella 3-1: Valori suggeriti da assegnare alla costante <i>D</i>	6
--	---

1 Approccio Metodologico

Il presente studio a corredo del progetto definitivo riguarda lo studio idrodinamico eseguito ai fini dell'analisi del ricambio idrico per la nuova configurazione della darsena proposta dal presente progetto definitivo.

Lo studio è stato condotto applicando il modello matematico HEC-RAS 5.0, che risolve le equazioni bidimensionali di moto.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando in un caso, come unica forzante idrodinamica, le oscillazioni di livello dovute al mare e, nell'altro, idrogrammi di portate in alveo associati ad un evento di piena del F. Magra.

In tali condizioni a contorno è stato modellato il campo idrodinamico all'interno del bacino che costituisce la Marina nella configurazione di progetto per valutare la capacità di ricambio idrico.

I risultati hanno mostrato che in corrispondenza delle aree poste nelle parti più interne, si creano delle zone di ristagno che potrebbero determinare un sensibile decadimento della concentrazione di ossigeno.

E' quindi stato analizzato, mediante modello matematico, il comportamento della Darsena in presenza di un sistema di ricircolo delle acque interne per garantire l'ossigenazione del bacino interno.

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

- le posizioni ottimali e le relative portate dei miscelatori (mixer) da installare;
- i tempi di attivazione dei mixer.

I risultati ottenuti mostrano che la soluzione ottimale è costituita dall'inserimento di 3 miscelatori con portata minima di 300 l/s).

Tale sistema di miscelazione, durante i periodi di scarso ricambio idrico naturale (assenza di vento) tipici delle situazioni di alta pressione estiva, dovrà essere attivato per almeno 9-12 ore ogni 20-24 ore in modo da consentire il ricambio di tutta la Marina. Ciò consente di ottenere buone condizioni di concentrazione di ossigeno disciolto anche nelle condizioni meteomarine più sfavorevoli ai fini della circolazione idrica (assenza di vento e di moto in alveo).

Il dimensionamento di tale sistema è riportato nella Relazione degli Impianti (ST 04), in modo tale da garantire il ricambio idrico degli specchi acquei interni immettendo acqua prelevata direttamente dal F. Magra per mezzo di elettropompe .

2 Ambito Fisico dell'Intervento

L'area interessata dal progetto della darsena è situata in sinistra idraulica del Fiume Magra a circa 1.5 km dalla foce (Figura 2-1).



Figura 2-1: Vista dell'area interessata dalla darsena.

La area del nuovo impianto nautico è posta in fregio al F. Magra, in loc. Fiumaretta nel Comune di Ameglia.

Il progetto per la Darsena prevede l'escavazione di materiale e rimodellamento dello scavo con opere di sostegno per la realizzazione di un invaso da adibire a marina per imbarcazioni di piccole dimensioni, e la fornitura e messa in opera di tutti i servizi necessari, compreso il trattamento delle acque di scarico e di prima pioggia.

Le sponde del corso d'acqua non vengono sostanzialmente modificate, eccezion fatta per l'imboccatura del canale di accesso alla darsena. L'intervento interessa un'area di 3 ettari che in base agli studi idraulici a supporto del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico, risulta allagabile già per eventi con tempo di ritorno trentennale.

L'analisi bidimensionale è stata condotta su un tratto significativo del F. Magra, simulando condizioni di piena del corso d'acqua e sovralti di livello nel mare per simulare gli effetti di mareggiate sulle condizioni di moto all'interno della darsena.

3 Modellistica idraulica

Una serie di simulazioni idrauliche bidimensionali è stata effettuata al fine di quantificare ed analizzare:

- in che misura le forzanti idrodinamiche esterne alla darsena, quali onde di piena o variazioni di livello dovute a mareggiate, modifichino il campo di moto e la dinamica dei livelli all'interno della darsena stessa;
- il grado di ricircolo delle acque all'interno della darsena in presenza ed assenza di un impianto di pompaggio.

3.1 Descrizione del modello matematico

Il modello utilizzato per le simulazioni è HEC-RAS 5.0.1 il quale permette di modellare dinamiche 1D, modelli accoppiati 1D/2D e 2D puri. In questo caso sono state effettuate simulazioni completamente bidimensionali ed in seguito verrà descritto tale ambito del modello.

Le equazioni "Shallow Water" risultano da una approssimazione delle equazioni di Navier-Stokes. Viene effettuata una media sulle tensioni turbolente di Reynolds ed al loro posto viene introdotto un parametro di viscosità turbolenta. Inoltre si assumono valide le seguenti ipotesi:

- scala spaziale verticale sia \ll scala spaziale orizzontale;
- fluido incomprimibile;
- componente verticale della velocità trascurabile;
- distribuzione della pressione idrostatica lungo la verticale.

L'equazione di continuità risulta:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} + q = 0$$

dove $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ con z la quota del fondo ed h il battente idraulico, u e v rispettivamente I componente lungo x e lungo y della velocità mediata sulla verticale e q il termine che tiene conto di possibili immissioni/rimozioni di portata.

L'equazione della quantità di moto risulta:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + fv$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu$$

dove g è l'accelerazione di gravità, v_t è il coefficiente di viscosità turbolenta orizzontale, c_f è il coefficiente di resistenza ed f è il parametro di Coriolis. Il coefficiente di viscosità turbolenta è a sua volta calcolato come:

$$v_t = Dhu_s$$

in cui D è una costante empirica adimensionale e u_s è la velocità di attrito che può essere calcolata come segue:

$$u_s = \sqrt{gRS} = \frac{\sqrt{g}}{C} |U| = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}} |U|$$

con R il raggio idraulico, S la pendenza della linea dell'energia, n il numero di Manning ed $|U|$ il modulo della velocità. I valori da assegnare alla costante D sono riportati in Tabella 3-1.

Il coefficiente di attrito c_f è ottenuto attraverso la formula di Manning:

$$c_f = \frac{n^2 g}{R^{4/3}} |U|$$

mentre il parametro di Coriolis è:

$$f = 2\omega \sin \varphi$$

con ω la velocità angolare della terra e φ la latitudine.

<i>D</i>	<i>Intensità di mescolamento</i>	<i>Geometria e superficie</i>
0.11 – 0.26	bassa	canali rettilinei, superfici lisce
0.30 – 0.77	moderata	meandri poco accentuati, irregolarità moderate
2.0 – 5.0	alta	meandri molto accentuati, superfici scabre

Tabella 3-1: Valori suggeriti da assegnare alla costante *D*.

Le equazioni “Shallow Water” possono essere ulteriormente semplificate quando, nell’equazione della quantità di moto, i termini associati all’accelerazione di gravità ed all’attrito sono predominanti rispetto a quelli inerziali. Attraverso opportune manipolazioni algebriche e sostituendo la versione semplificata dell’equazione della quantità di moto nell’equazione di continuità, si ottiene la forma approssimata detta “Diffusion Wave Approximation”:

$$\frac{\partial H}{\partial t} - \nabla \cdot \beta \nabla H + q = 0$$

dove:

$$\beta = \frac{R(H)^{5/3}}{n|\nabla H|^{1/2}}$$

Le condizioni al contorno da assegnare sui bordi del dominio di calcolo possono essere di tre differenti tipologie:

- livello della superficie libera;
- gradiente della superficie libera in direzione perpendicolare al dominio di calcolo;
- portata che attraversa il bordo del dominio.

La griglia di calcolo è non strutturata e può essere utilizzato un approccio con “sotto-griglia” (Casulli, 2008) per cui le celle di calcolo hanno passo maggiore rispetto alla batimetria impiegata (Figura 3-1a) e contengono informazioni aggiuntive quali raggio idraulico e area bagnata delle varie facce e curva di vaso dei volumi. Tali grandezze possono essere pre-calcolate prima della simulazione per ridurre il tempo di calcolo. In questo modo si perdono i dettagli ad alta risoluzione, ma l’informazione derivante da essi rimane disponibile (Figura 3-1b, c).

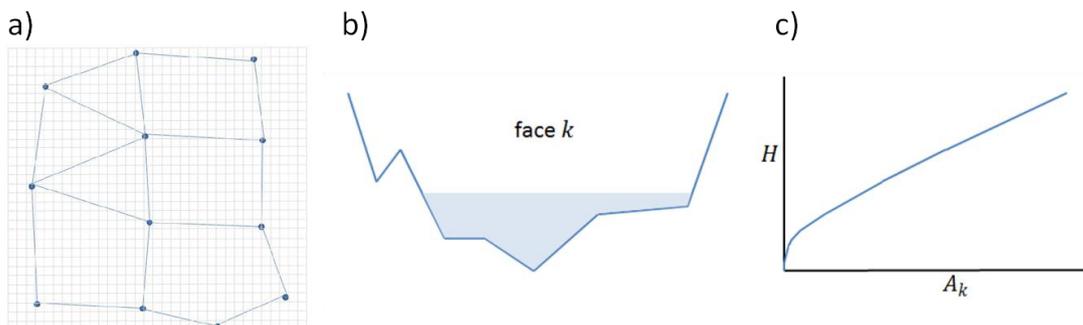


Figura 3-1: a) Esempio di “sotto-griglia”. b) Area bagnata associata ad una faccia della cella di calcolo k. c) Curva di vaso associata ad una cella di calcolo k.

Dal punto di vista della risoluzione numerica, viene impiegata una discretizzazione ibrida che combina differenze finite e volumi finiti. Nello specifico le differenze finite sono utilizzate per le derivate temporali mentre un’approssimazione ibrida viene impiegata per le derivate spaziali.

Dal punto di vista della scelta dei parametri, un valore del coefficiente di Manning pari a $0.0285 \text{ s/m}^{1/3}$ ($K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) è stato assunto per l’intero dominio. Tale valore è lo stesso impiegato per la simulazione bidimensionale in alveo riportata nella Relazione Idrraulica del progetto “Intervento di messa in sicurezza del tratto focivo del Fiume Magra – Affidamento di studi relativi alla perimetrazione delle aree inondabili e agli

scenari di progetto". La scelta di considerare un coefficiente uniforme per tutta l'area studiata è dettata dall'esigenza di non dover simulare eventi che tendono ad inondare significativamente le aree limitrofe al corso d'acqua, ma eventi che interessano prevalentemente il moto in alveo.

La griglia di calcolo utilizza celle 5m x 5m, mentre il DTM di base ha una risoluzione di 1m x 1m (Figura 3-2).

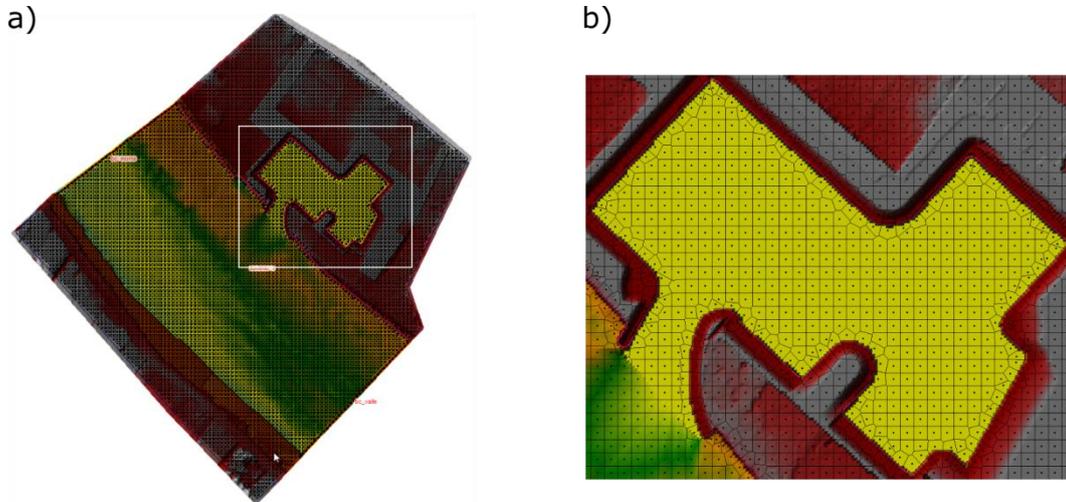


Figura 3-2: a) Vista globale del dominio di calcolo impiegato per la relazione. b) Particolare dell'area simulata in corrispondenza della darsena.

3.2 Scenari simulati

Gli scenari simulati sono stati di due tipologie, in assenza (CN, circolazione naturale) ed in presenza di pompe (CF, circolazione forzata).

Nel primo caso (CN) si vuole determinare in che misura le forzanti idrodinamiche esterne modificano i livelli ed il campo di moto all'interno della darsena, tre differenti scenari sono stati simulati.

- I. Evento di piena: viene imposto un idrogramma delle portate come condizione di monte ed una condizione di moto uniforme a valle con pendenza assegnata pari a 0.0004 (0.4‰), ottenuta dalla Relazione Finale "Studio geomorfologico dei principali alvei fluviali nel bacino del Fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità funzionale", redatta dall'Università degli Studi di Firenze per conto dell'ADB Magra. L'idrogramma delle portate è tale da riprodurre una piena con una portata di picco di circa 1050 m³/s (Figura 3-3).
- II. Evento di mareggiata: si impone una condizione di monte con idrogramma delle portate costante pari a 200 m³/s ed una condizione di valle sui livelli variabile in modo da simulare il sovrizzo indotto dalla forzante di moto ondoso (Figura 3-4). Non vengono direttamente simulate le onde da vento poiché si assume che l'altezza d'onda sia trascurabile ad una distanza di circa 1.5 km verso monte lungo l'asta fluviale.
- III. Evento a portata nulla: la condizione di monte è di zero portata e si considera una condizione di valle come quella imposta per l'evento di mareggiata.

Per la seconda tipologia di simulazioni (CF) è stata considerata la situazione più sfavorevole per la circolazione ed il ricambio di acqua all'interno della darsena, ovvero il caso con acqua ferma e nessuna forzante che agisce sul sistema.

In questo caso sono state poste tre pompe che immettono portata dal fiume verso la darsena così da favorire il ricambio ed un flusso continuo di portata dalla darsena verso il fiume. In particolare, sono state effettuate due simulazioni per i seguenti valori di portata totale immessa nel bacino: 0.9 e 3.0 m³/s, assumendo che ogni pompa immetta singolarmente 0.3 e 1.0 m³/s.

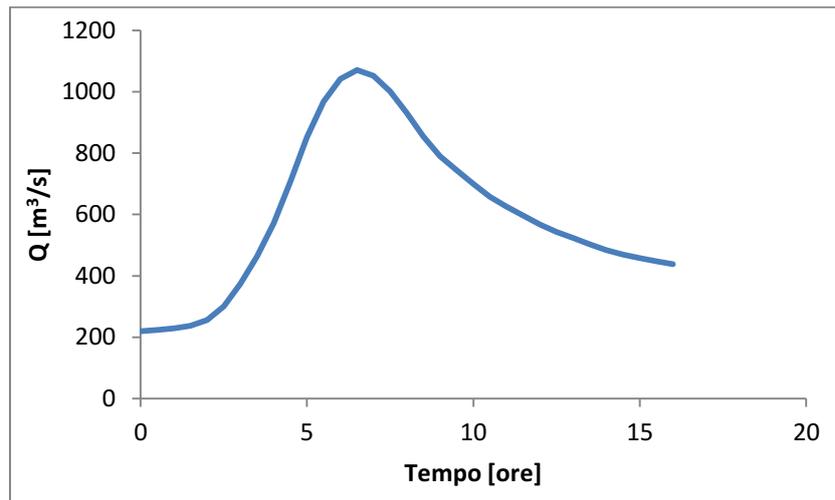


Figura 3-3: Idrogramma delle portate impiegato come condizione di monte per la simulazione “Evento di piena”.

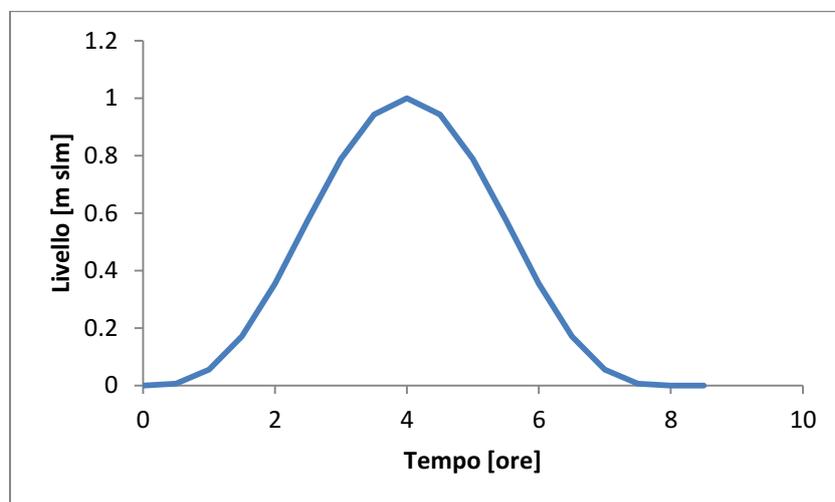


Figura 3-4: Idrogramma dei livelli impiegato come condizione di valle nelle simulazioni “Evento di mareggiata” e “Evento a portata nulla”.

3.3 Risultati

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni effettuate sia per la configurazione in assenza di pompe (CN) che in presenza di quest'ultime (CF).

3.3.1 Configurazione a circolazione naturale (CN)

3.3.1.1 Campo di moto in assenza di pompe

Nella configurazione senza le pompe (CN), il grado ricircolo nella darsena risulta basso in tutti e tre gli scenari simulati, come si può evincere dai valori di magnitudo della velocità (Figura 3-5, Figura 3-6, Figura 3-7). Tuttavia, velocità dell'ordine del centimetro al secondo vengono comunque indotte all'interno della Darsena dalle forzanti esterne attraverso l'imboccatura del canale.

In Figura 3-5a è riportato l'inviluppo del modulo velocità nell'area di interesse per lo scenario “Evento di piena”. I valori massimi di velocità all'interno della darsena sono dell'ordine di diversi cm/s, mentre in alveo si hanno velocità al massimo dell'ordine dei 2 m/s. In Figura 3-5b è riportata la traiettoria istantanea delle particelle al picco dell'evento di piena all'imbocco della darsena. Si nota come si formi una struttura a vortice

all'ingresso, la quale induce una circolazione interna ma non tende a favorire direttamente l'interscambio di volumi di acqua tra la darsena ed il fiume. L'ingresso di acqua nella darsena e la successiva fuoriuscita sono dovuti alle variazioni di livello in alveo indotti dall'onda di piena.

Per un evento di piena come quello simulato (TR<30 anni) entra e fuoriesce dalla darsena un volume di acqua pari a circa il 65% del volume di acqua presente quando il livello idrico è pari al livello medio mare.

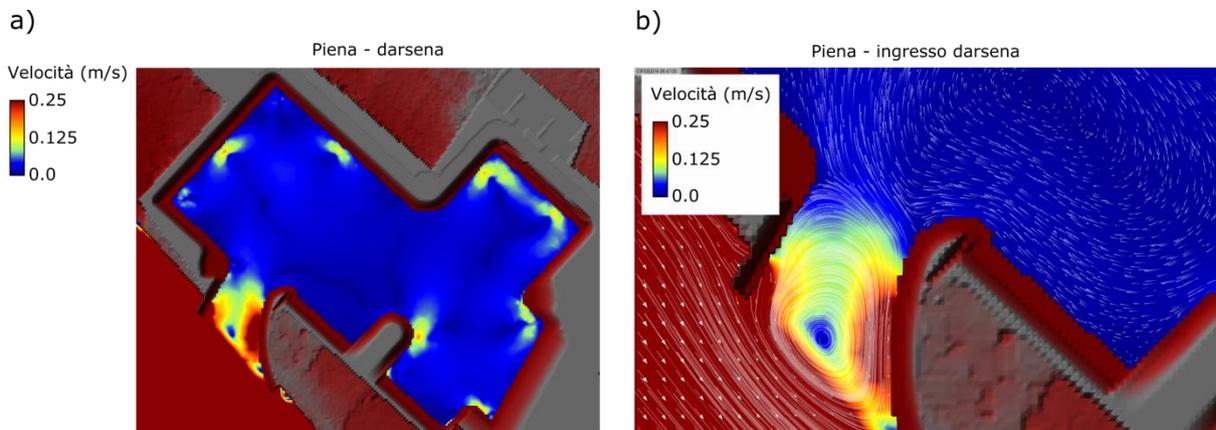


Figura 3-5: a) Involuppo dei massimi del modulo della velocità per lo scenario “Evento di piena”. b) Traiettoria istantanea delle particelle fluide al picco dell’evento di piena.

In Figura 3-6a è riportata la magnitudo della velocità nell’area di interesse per lo scenario “Evento di mareggiata”. Anche in questo caso le velocità interne alla darsena sono di alcuni cm/s. In Figura 3-6b è riportata la traiettoria istantanea delle particelle durante la fase discendente della mareggiata, quando i livelli a valle tendono a decrescere dopo aver raggiunto un massimo. In questa fase si ha un parziale richiamo di acqua dall’interno della darsena, a causa del gradiente idraulico che si instaura lato fiume, anche se il flusso è parzialmente ostacolato dalla presenza di una struttura vorticoso posta all’imbocco.

In tale configurazione il volume di acqua scambiato all’interno della darsena è circa il 30% del volume iniziale.

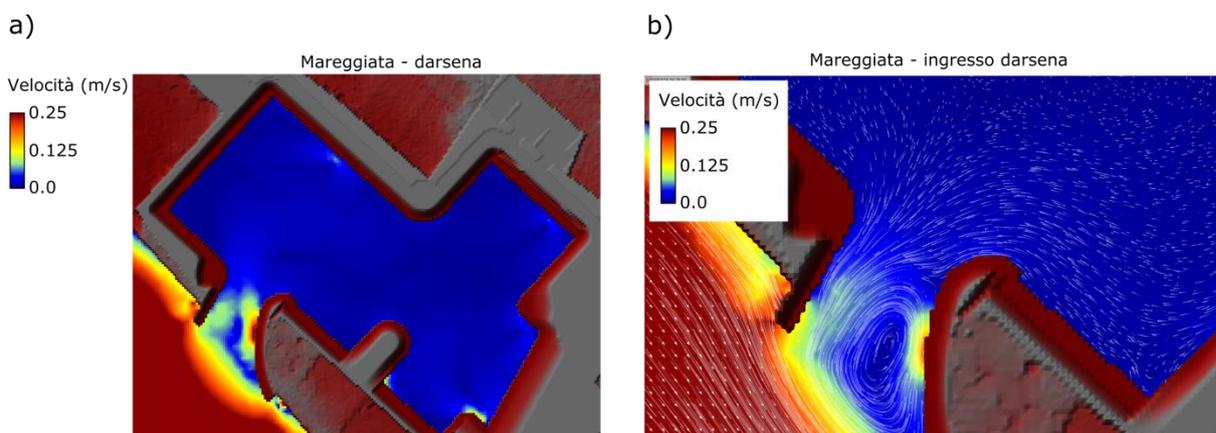


Figura 3-6: a) Involuppo del modulo dei massimi della velocità per lo scenario “Evento di mareggiata”. b) Traiettoria istantanea delle particelle fluide durante un istante della fase discendente della mareggiata.

In Figura 3-7a è riportata la magnitudo della velocità nell'area di interesse per lo scenario "Evento a portata nulla". In Figura 3-7b è riportato l'andamento delle traiettorie delle particelle durante la fase discendente della mareggiata. Anche in questo caso si nota la presenza di una struttura vorticoso che ostacola parzialmente il flusso in uscita dalla darsena. Tale configurazione induce una variazione di volume nella darsena pari al 33% del volume iniziale.

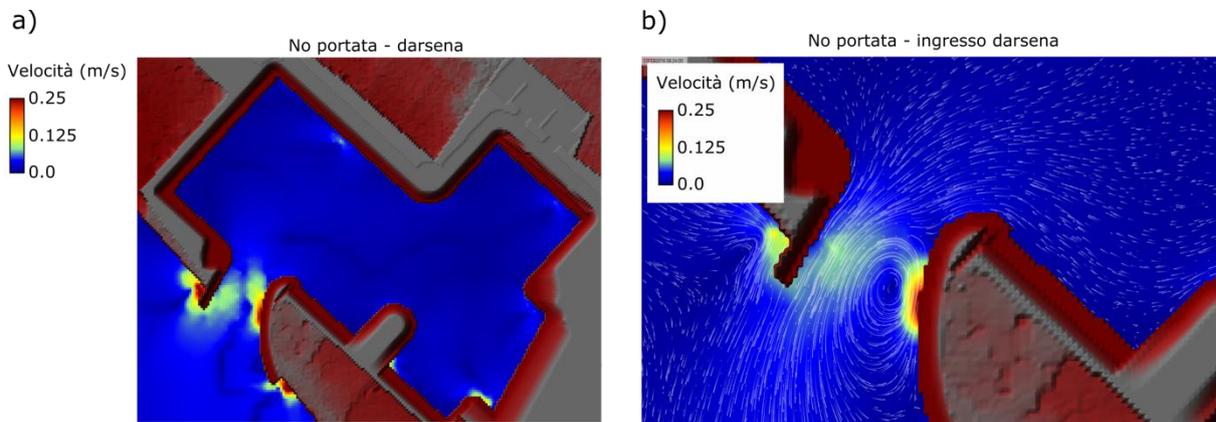


Figura 3-7: a) Involuppo dei massimi del modulo della velocità per lo scenario "Evento a portata nulla". b) Traiettoria istantanea delle particelle fluide durante un istante della fase discendente della mareggiata.

3.3.1.2 Livelli in assenza di pompe

I livelli in alveo ed all'interno della darsena risultano pressoché coincidenti per tutti e tre gli scenari, a parte un trascurabile sfasamento dovuto alla propagazione dell'onda di piena o di mareggiata all'interno della darsena stessa.

Per gli eventi "Evento di mareggiata" ed "Evento a portata nulla" il valore medio di portata in ingresso ed in uscita dalla darsena risulta pari a circa 0.8-0.9 m³/s.

3.3.2 Configurazione a circolazione forzata (CF)

3.3.2.1 Campo di moto in presenza di pompe

La configurazione che prevede l'installazione di 3 elettropompe (CF) tende a favorire la circolazione interna in maniera controllata come si può osservare in Figura 3-8. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** L'entità di tale fenomeno è proporzionale alla portata immessa dalle pompe.

Il principale effetto indotto dalle macchine idrauliche è quello di mantenere un flusso continuo in uscita dalla darsena rispetto allo scenario in cui la circolazione avviene naturalmente (CN). In tal caso infatti il flusso attraverso la bocca è in parte ostacolato dalla presenza di vortici e l'interscambio tra acqua interna ed esterna avviene solo per periodi di tempo limitati, ad esempio durante le fasi crescente e discendente della mareggiata e soltanto in occasione di eventi non ordinari. Se da un lato le forzanti esterne tendono a provocare una modesta agitazione interna, dall'altro consentono il ricambio delle acque solo parziale ed in maniera incontrollata. L'inserimento delle pompe risulta così necessario al fine di promuovere la riossigenazione ed il rinnovo delle acque di darsena. La gestione delle pompe sarà pianificata in modo da non interferire con il transito delle imbarcazioni ed il regolare funzionamento della darsena.

La presenza di una portata continua in uscita riduce anche le possibilità di interrimento del bacino. Tale fenomeno potrà interessare maggiormente l'area di fronte all'ingresso. Il flusso continuo, soprattutto sulla bocca, ostacola la sedimentazione dei solidi trasportati. La successiva decelerazione che avviene oltre l'uscita della darsena induce una riduzione della capacità di trasporto che a sua volta causa un processo di sedimentazione. Tale fenomeno si verifica nel momento in cui lato fiume si ha una situazione di magra con basse portate e ridotte velocità della corrente. Gli eventuali interventi di dragaggio saranno da effettuare anche in alveo e non interesseranno solamente il bacino della darsena.

Nelle due configurazioni simulate, 0.9 e 3.0 m³/s, l'intero volume di acqua della darsena viene completamente ricambiato rispettivamente in circa 12 e 3.6 ore.

3.3.2.2 Livelli in presenza di pompe

I livelli in alveo ed all'interno della darsena non subiscono variazioni e risultano coincidenti nella configurazione in cui la circolazione viene garantita dalle elettropompe.

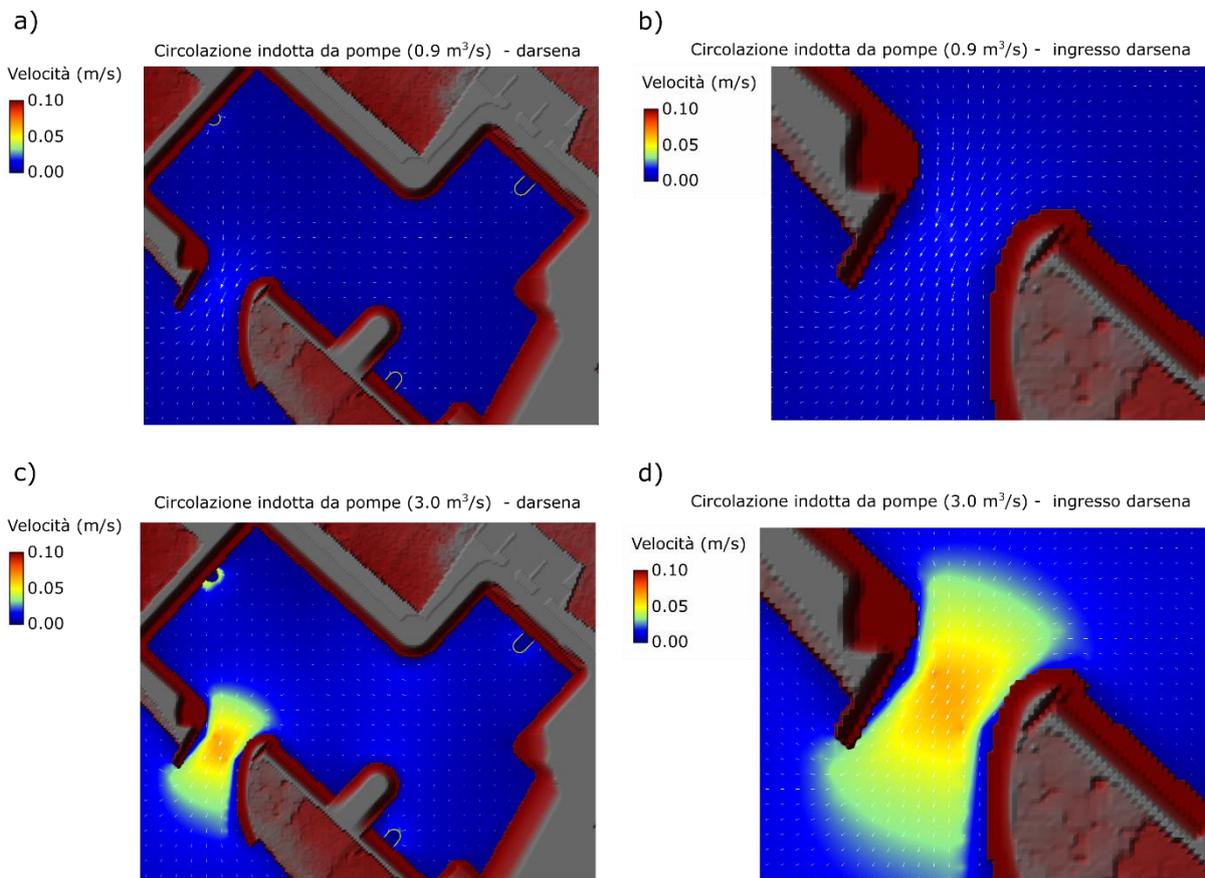


Figura 3-8: Campo di moto indotto dalla presenza delle pompe e traiettoria istantanea delle particelle fluide. Vista globale della darsena per portate a) 0.9 m³/s, c) 3.0 m³/s; particolare del campo di moto all'ingresso della darsena per portate b) 0.9 m³/s, d) 3.0 m³/s.

4 Verifica della Qualità delle Acque all'Interno della Darsena

Al fine di verificare lo stato della qualità delle acque all'interno della darsena, è stata effettuata una simulazione dell'evoluzione temporale della concentrazione di ossigeno disciolto nello specchio d'acqua.

I risultati della simulazione permettono di dare indicazione sulle tempistiche di accensione e spegnimento del sistema di pompaggio per la riossigenazione della darsena.

4.1 Descrizione del modello matematico

Il modello implementato effettua un bilancio di massa sull'ossigeno disciolto considerando la darsena come volume di controllo. La portata di ossigeno in ingresso è dovuta all'immissione del sistema di pompaggio $Q_{in} * C_f$, dove Q_{in} [mc/s] è la portata volumetrica delle pompe e C_f [mg/l] la concentrazione di ossigeno disciolto in ingresso. La portata in uscita $Q_{out} * C$ è associata al flusso in uscita dalla darsena dove Q_{out} [mc/s] rappresenta la portata idrica uscente (uguale a Q_{in} poiché che non si verifica un accumulo di volumi d'acqua in darsena) e C [mg/l] è la concentrazione di ossigeno disciolto in darsena. Il consumo di ossigeno per fenomeni biochimici è descritto da una cinetica del primo ordine dipendente dal parametro k [1/ora].

Viene inoltre fatta l'assunzione per cui l'ossigeno immesso dal sistema di pompaggio si miscela istantaneamente ed in modo uniforme all'interno dello specchio d'acqua.

Il sistema di equazioni che descrive il fenomeno è il seguente:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{in} = Q_{out} \\ V \frac{dC(t)}{dt} = Q_{in} C_f - Q_{out} C(t) - kC(t)V \\ C(0) = C_0 \end{array} \right.$$

dove $V = 39300$ mc è il volume della darsena e $C_0 = 5$ mg/l è la concentrazione di ossigeno disciolto iniziale, Il valore di C_f è assunto pari a 7 mg/l, k è posto pari a 0.01 [ore⁻¹] e $Q_{in} = 0.9$ mc/s.

Le pompe vengono accese quando la concentrazione scende sotto il limite di 4.5 mg/l e vengono spente una volta che la concentrazione abbia raggiunto almeno i 5.5 mg/l. In questo modo è garantita una concentrazione di ossigeno disciolto che si attesta intorno ai 5 mg/l.

4.2 Risultati

In Figura 4-1a si riporta l'andamento della concentrazione di ossigeno disciolto al variare del tempo per una simulazione di circa 5 giorni. Si nota come il valore di concentrazione vari tra 4.5 e 5.5 mg/l. In Figura 4-1b è invece riportato l'andamento temporale delle accensioni (1) e degli spegnimenti (0) del sistema di pompaggio. Le pompe attaccano circa ogni 20 ore e rimangono in funzionamento per circa 9.0 ore.

In media le pompe funzionano quindi per 7.5 ore/giorno.

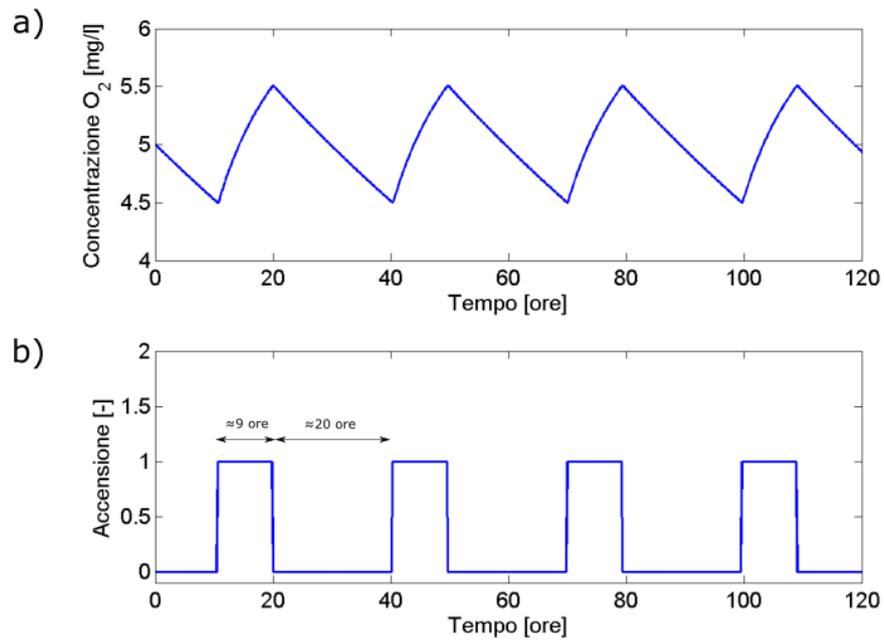


Figura 4-1: a) Andamento temporale della concentrazione di ossigeno disciolto in darsena. b) Andamento temporale delle accensioni e degli spegnimenti del sistema di pompaggio.

5 Conclusioni

La presente relazione riporta l'analisi effettuata al fine di stimare in che misura le forzanti esterne influiscano sul campo di moto e la circolazione interna alla darsena. Due configurazioni sono state analizzate: in assenza di pompe (circolazione naturale – CN) ed in presenza di pompe (circolazione forzata – CF).

Nella prima configurazione il campo di moto interno alla darsena viene parzialmente influenzato dalle forzanti esterne, sia per eventi di piena che per eventi di mareggiata, inducendo velocità massime all'interno del bacino dell'ordine dei 20 cm/s. Inoltre, il ricambio delle acque interne è ridotto ed avviene soltanto per periodi limitati associati ad esempio alla fase discendente dell'onda di piena o di mareggiata, rendendo la darsena pressoché disconnessa idraulicamente dal F. Magra.

La configurazione con circolazione forzata immette portata all'interno della darsena che alimenta un flusso discontinuo all'imboccatura, la cui entità equivale alla portata immessa. Tale configurazione favorisce la riossigenazione ed e tende a prevenire i potenziali fenomeni di interrimento del bacino interno della darsena e del canale di accesso.

Il processo di riossigenazione è garantito dall'impianto di pompaggio, per cui un attacco ogni 20 ore per circa 9 ore di pompaggio continuativo a 0.9 mc/s permette di mantenere in darsena una concentrazione di ossigeno disciolto compresa tra 4.5 e 5.5 mg/l.

Considerando una portata complessiva di esercizio pari a 0.9 m³/s, e poiché la darsena contiene circa 40 000 m³, l'acqua teoricamente potrebbe essere completamente ricambiata ogni 12. ore di funzionamento continuo.

Come già dimostrato la darsena risulta quindi disconnessa del F. Magra, essendo il collegamento tra i due specchi d'acqua permessa soltanto durante eventi quali piene o mareggiate, o dal sistema di pompaggio, il quale immette una portata in darsena pari circa al 1.3% della portata ordinaria del Fiume Magra presente per almeno 91 giorni l'anno, dell'ordine di 70 mc/s (vedi elaborato SP02 - Studio navigabilità ed insabbiamento imboccatura).

Dal punto di vista delle masse scambiate, la percentuale che viene ricircolata in darsena ad opera del sistema di pompaggio è circa pari al 0.6% del volume annuo defluito lungo il Fiume Magra calcolato dalle curve di durata e da dati di letteratura (Ufficio del Genio Civile di Massa Carrara, 2000, Cfr. SP02 - Studio navigabilità ed insabbiamento imboccatura).