

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

**SP02 - Studio navigabilità ed insabbiamento
dell'imboccatura**

Indice generale

1	AMBITO FISICO DELL'INTERVENTO.....	3
2	STUDIO DELLA NAVIGABILITÀ	5
2.1	PROFONDITÀ DEI CANALI DI ACCESSO	5
2.2	LARGHEZZA DEL CANALE DI ACCESSO	5
2.3	IMBOCCATURA DEL CANALE DI ACCESSO	6
3	STUDIO DELL'INSABBIAMENTO DELL'IMBOCCATURA E DEL BACINO DELLA DARSENA.....	7
3.1	CONDIZIONI CRITICHE PER IL TRASPORTO	7
3.2	INTERRIMENTO DOVUTO ALLA CIRCOLAZIONE FORZATA.....	9
4	CONCLUSIONI	11

Indice delle figure

Figura 1-1: Vista aerea della darsena con riportate le curve di livello dell'alveo.	3
Figura 1-2: Composizione dello strato del fondale fino a 50 cm di profondità nel tratto che va dalla foce al ponte della Colombiera.	4
Figura 1-3: Diametro mediano superficiale e volumetrico d_{50} dei sedimenti del letto del Fiume Magra ottenuto da rilievi effettuati nel 2006.	4
Figura 2-1: Schema di riferimento per la determinazione della larghezza del canale di accesso.	5
Figura 3-1: Velocità critica per il moto incipiente dei sedimenti al variare del diametro nelle condizioni idrauliche che si instaurano nel canale di ingresso della darsena.	8
Figura 3-2: Curve di durata per il Fiume Magra a Calamazza ed il Fiume Vara a Naseto.	9
Figura 3-3: Localizzazione delle stazioni di misura (figura riportata nella Relazione Intermedia sopra menzionata).	11

Indice delle tabelle

Tabella 2-1: Dimensioni dell'imbarcazione di progetto.	5
Tabella 2-2: Valori di progetto impiegati per la determinazione della larghezza del canale di ingresso alla darsena.	6

1 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. La zona di fronte al canale di accesso alla darsena è caratterizzata da una batimetria variabile tra -1.5 e -4.0 m s.l.m. (Figura 1-1). La batimetria è stata fornita dalla Provincia di La Spezia che ha effettuato uno studio per valutare l'opportunità di interventi di dragaggio del F. Magra nel tratto compreso fra il Ponte della Colombiera e la foce.

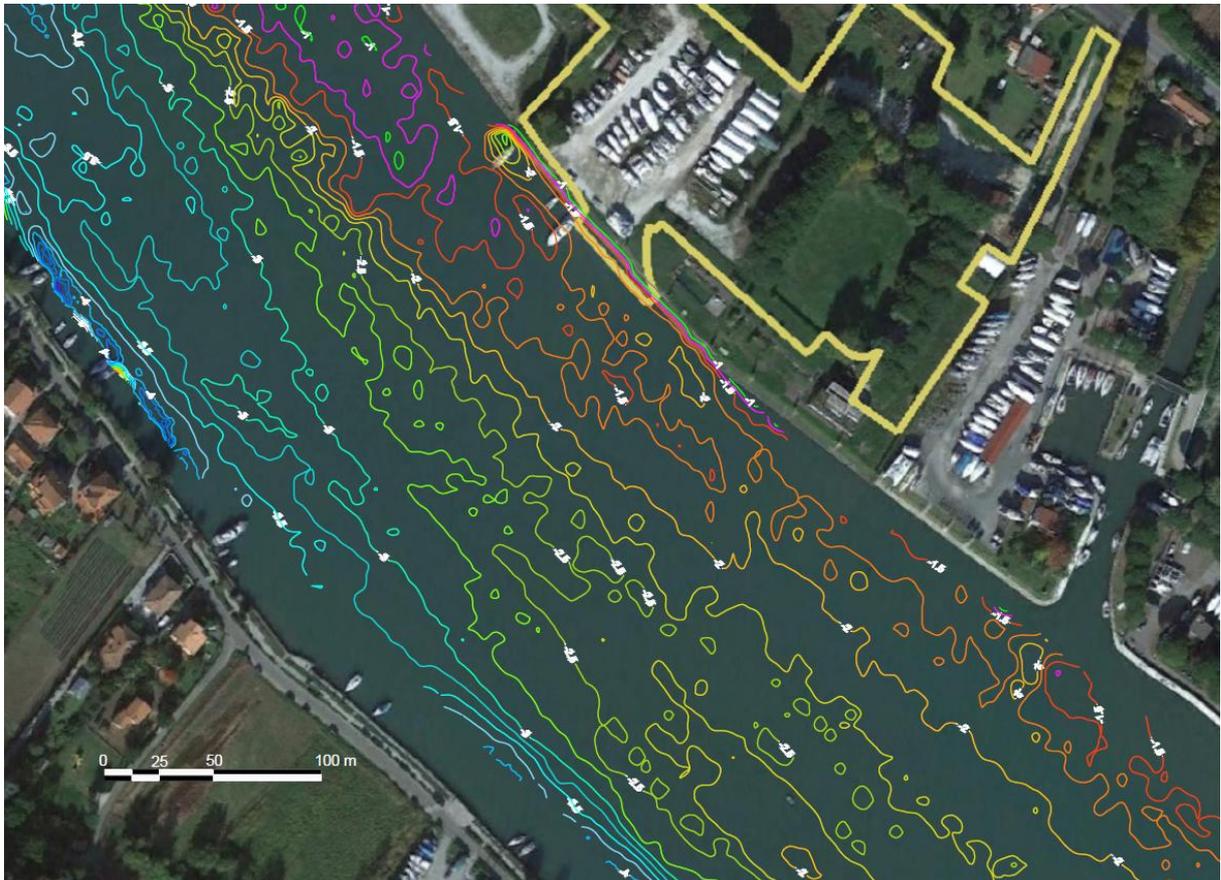


Figura 1-1: Vista aerea della darsena con riportate le curve di livello dell'alveo.

Un'indicazione della granulometria dei sedimenti della zona è stata ricavata dalla Relazione Tecnica "Rilievo batimetrico e caratterizzazione fisica e chimica dei sedimenti del tratto focivo del Fiume Magra" redatta dal CIBM (Centro Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata) per la Provincia di La Spezia.

Non sono state rese disponibili delle curve granulometriche complete, ma soltanto le percentuali di ghiaie ($D > 2.0$ mm), sabbie (0.063 mm $< D < 2.0$ mm) e materiali fini ($D < 0.063$ mm). In Figura 1-2 è riportata la composizione del letto (per i primi 50 cm) nell'area che va dalla foce fino al ponte della Colombiera.

Si può osservare come la percentuale di ghiaia tenda ad aumentare spostandosi verso monte, mentre le sabbie ed i materiali fini diminuiscono, benché quest'ultimi siano quasi trascurabili rispetto alle granulometrie più grossolane.

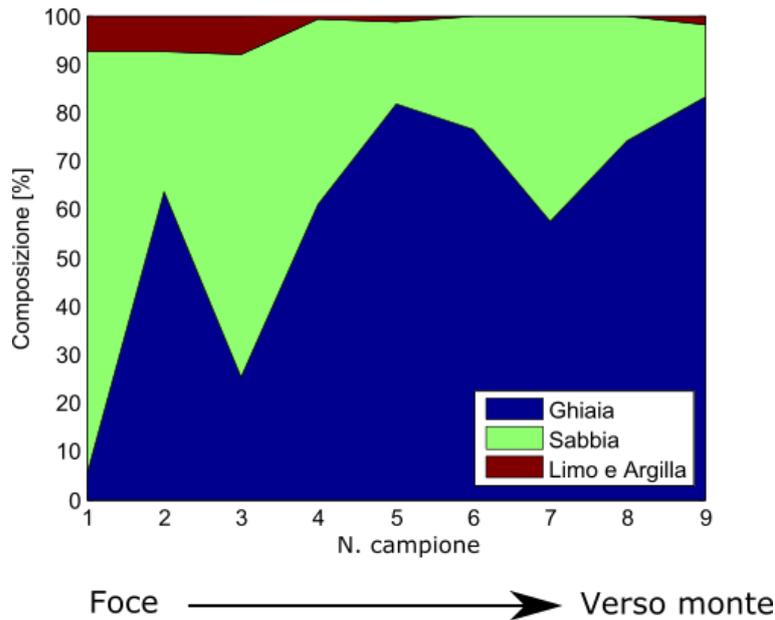


Figura 1-2: Composizione dello strato del fondale fino a 50 cm di profondità nel tratto che va dalla foce al ponte della Colombiera.

Un'ulteriore informazione riguardo le caratteristiche sedimentologiche della zona può essere ricavata dalla Relazione Intermedia "Approfondimenti dello studio geomorfologico dei principali alvei fluviali del bacino del Fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità funzionale", redatto dall'Università degli Studi di Firenze per conto dell'ADB Magra. In Figura 1-3 è riportato l'andamento del diametro medio superficiale e volumetrico dei sedimenti del letto del Fiume Magra da Pontremoli fino a Sarzana.

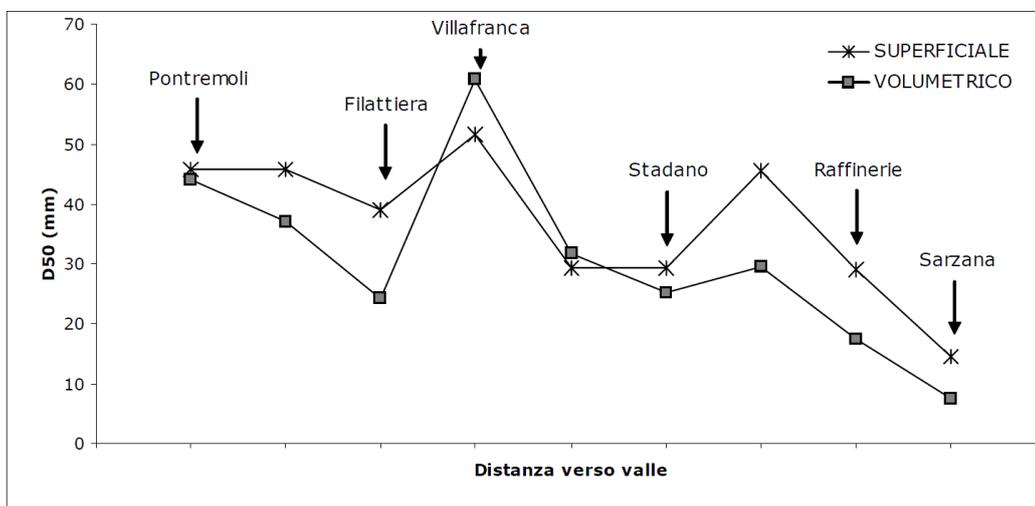


Figura 1-3: Diametro medio superficiale e volumetrico d_{50} dei sedimenti del letto del Fiume Magra ottenuto da rilievi effettuati nel 2006.

Dalla Figura 1-3 si nota come la zona di interesse, nei pressi di Sarzana, sia caratterizzata da un d_{50} compreso tra 10 e 20 mm. Ciò è parzialmente in linea con le informazioni sulla granulometria riportata in Figura 1-2 per cui si ha una prevalenza di ghiaia nel tratto fluviale poco a monte della foce.

2 Studio della Navigabilità

Per la determinazione dei parametri necessari alla definizione dei canali di accesso e degli spazi necessari per le manovre delle imbarcazioni si fa riferimento alle caratteristiche della barca di progetto riportate in Tabella 2-1.

Lunghezza fuori tutto L [m]	12
Larghezza massima B [m]	4.1
Immersione massima Dr [m]	1.5

Tabella 2-1: Dimensioni dell'imbarcazione di progetto.

2.1 Profondità dei canali di accesso

Le profondità minime dei fondali per il canale di accesso e dei bacini interni sono state determinate, in base ai dati dell'imbarcazione di progetto, attraverso la seguente espressione riadattata al caso di specie:

$$D_{\min} = D_r + 0.5H_d + D_s + B_m + F$$

dove:

- D_{\min} è la profondità rispetto al medio mare [m];
- D_r è l'immersione delle maggiori imbarcazioni in transito [m];
- H_d è l'altezza d'onda più frequente [m] (posta in genere pari a 0.63 volte l'altezza significativa H_s);
- D_s è l'abbassamento di poppa per andare in dislocazione [m];
- B_m è l'escursione negativa del livello per bassa marea e set-down [m];
- F è il franco variabile in funzione del tipo di fondale.

Nel caso in esame si assume un franco pari a 1.0 m, un'escursione di marea pari a 0.15 m, un'altezza d'onda significativa H_s cautelativamente scelta pari a 0.5 m e D_s pari a 0.15 m. Si ottiene così $D_{\min} = 2.95$ m.

Il fondale all'interno della darsena è stato quindi posto ad una profondità di - 3.0 m slm.

2.2 Larghezza del canale di accesso

La larghezza del canale di accesso è funzione di tre parametri che dipendono principalmente dalla larghezza della nave B (Figura 2-1):

- larghezza della corsia di manovra W_M [m];
- distanza minima di passaggio tra le navi W_P [m];
- larghezza del franco di sponda W_B [m].

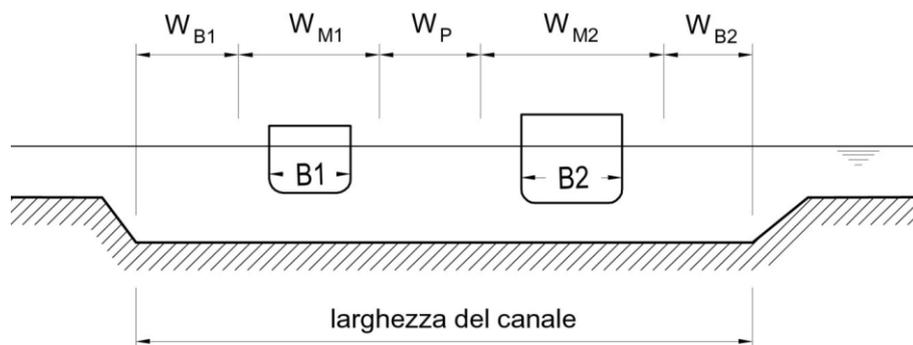


Figura 2-1: Schema di riferimento per la determinazione della larghezza del canale di accesso.

La relazione per determinare la larghezza dell'imboccatura in caso di canale di accesso navigabile a senso alternato è:

$$L_{\min} = W_M + W_B$$

La larghezza della corsia di manovra W_M è pari alla somma di una larghezza di base, che dipende dalla manovrabilità della nave e dagli incrementi dovuti in generale ai seguenti fattori: velocità della nave, vento trasversale, correnti, moto ondoso, aiuti alla navigazione, caratteristiche della superficie del fondale, profondità del canale, livello di rischio.

La larghezza di base varia da 1.3 B nel caso di nave con buona manovrabilità a 1.8 B nel caso di bassa manovrabilità. La distanza minima di passaggio tra le navi W_P ha la funzione di scongiurare un'eccessiva interazione tra le due navi in transito. Tale distanza dipende dalla velocità di navigazione e dalla densità del traffico. Inoltre, il franco di sponda W_B ha la funzione di contenere l'effetto sponda (bank effect) dovuto al flusso asimmetrico di acqua attorno alle navi che tende a deviarne la rotta. Tale larghezza dipende dalla velocità di navigazione e dalle caratteristiche della sponda.

Si precisa che per i valori da associare ai diversi fattori di incremento, da considerare per il dimensionamento della larghezza dei canali di accesso, si è fatto riferimento alle tabelle riportate dallo AIPCN/PIANC, 1997, "Approach Channels. A Guide for Design". In particolare nel caso in esame è stata considerata una velocità di navigazione nel canale moderata, un vento moderato (<33 nodi), correnti longitudinali e trasversali basse e trascurabili, un incremento dovuto al moto ondoso nullo poiché viene assunto che molto raramente onde di almeno 1.0 m possano raggiungere la darsena posta a 1.5 km a monte della foce del Fiume Magra.

Larghezza corsia di manovra W_M [m]		Larghezza del franco di sponda W_B [m]	Totale larghezza canale L_{\min} [m]
Base	Incrementi		
1.3B	0.4B (vento) 0.2B (corrente) 0.0B (moto ondoso)	(2 x 1)B	(1.3+0.6+2)B = 16

Tabella 2-2: Valori di progetto impiegati per la determinazione della larghezza del canale di ingresso alla darsena.

I risultati del dimensionamento effettuato ipotizzando il canale di accesso navigabile a senso alternato e imbarcazioni con larghezza massima $B = 4.1$ m, sono riportati nella Tabella 2-2.

Verifica dimensione canale di collegamento Art. 6.2.2 del Piano Guida per la Nautica

I canali di collegamento tra le darsene ed il fiume dovranno avere indicativamente una larghezza utile pari almeno a 5 volte la larghezza massima delle imbarcazioni ospitate, con un minimo di 15m.

$$L_{\min} = 5B$$

Tale lunghezza minima è pari a 20.5 m.

Tenendo conto delle verifiche effettuate, viene scelto un canale di larghezza minimo pari a 21.0 m.+

2.3 Imboccatura del canale di accesso

Come per la larghezza del canale di accesso, anche per il dimensionamento del raggio di curvatura dello stesso si è fatto riferimento alle tabelle riportate dallo AIPCN/PIANC, 1997, "Approach Channels. A Guide for Design".

Al fine di garantire un maggior grado di sicurezza alle imbarcazioni che si apprestano ad effettuare le manovre di ingresso ed uscita alla nuova darsena, è stata modificata l'orientamento dell'imboccatura in direzione della foce del F. Magra. Tale variazione seppur minima garantisce, oltre ad una più agevole manovra in fase di ingresso da parte delle imbarcazioni, un maggior margine di sicurezza del canale di accesso.

3 Studio dell'insabbiamento dell'imboccatura e del bacino della darsena

Un altro aspetto molto importante relativo ai fondali è la valutazione della possibile sedimentazione del materiale trasportato in prossimità dell'imboccatura della darsena, che potrebbe condizionare l'agibilità e la sicurezza della navigazione.

In base ai rilievi sedimentologici disponibili si osserva che i materiali fini risultano pressoché trascurabili e le ghiaie risultano la frazione preponderante muovendosi dalla foce verso monte.

E' quindi plausibile aspettarsi che il trasporto di sedimenti movimentati nei dintorni della darsena avvenga principalmente al fondo (bed load). E' tuttavia possibile che materiale fine in sospensione possa provenire da tratti a monte del Ponte della Colombiera.

La configurazione di progetto adottata per permettere il ricircolo delle acque della darsena prevede un flusso discontinuo in uscita dal canale di ingresso indotto dalla presenza di tre elettropompe. La velocità della corrente all'imbocco potrà variare al variare della portata immessa dalle pompe, ma tenderà in generale ad impedire l'ingresso di sedimenti nel bacino, i quali potranno al più depositarsi in un'area intorno al canale di ingresso già oggetto oggi di periodici dragaggi.

3.1 Condizioni critiche per il trasporto

Un'analisi speditiva della velocità critica mediata sulla verticale della corrente (U_{cr}) che permette la movimentazione dei granuli può essere effettuata attraverso la formula di Soulsby-Van Rijn:

$$U_{cr} = \begin{cases} 0.19 \cdot d_{50}^{0.1} \log_{10} \left(\frac{4h}{d_{90}} \right) & D_{50} \leq 0.5mm \\ 8.5 \cdot d_{50}^{0.6} \log_{10} \left(\frac{4h}{d_{90}} \right) & 0.5mm < D_{50} < 2mm \end{cases}$$

dove:

- d_{50} è il diametro del setaccio che permette il passaggio del 50% del materiale [m];
- d_{90} è il diametro del setaccio che permette il passaggio del 90% del materiale [m];
- h è il battente idraulico [m].

E' da tenere presente che la formula è accurata entro un 10% per valori del diametro delle particelle che variano tra 0.2 mm e 2.0 mm.

Un'ulteriore stima speditiva di tale valore è ottenibile considerando un moto assolutamente turbolento ed utilizzando la Formula di Gauckler-Strickler per determinare la U_{cr} . Vale infatti per un moto uniforme:

$$\tau = \gamma R_H i = \frac{U^2}{K_s^2 R_H^{1/3}}$$

La movimentazione dei sedimenti si ha per $\tau = \tau_{cr}$, ed assumendo che la τ_{cr} sia determinabile attraverso l'abaco di Shields, si ottiene:

$$U_{cr} = K_s R_H^{1/6} \sqrt{0.06(\gamma_s / \gamma - 1)} \sqrt{d}$$

Attraverso le due formulazioni si ottengono i valori di velocità critica riportati in Figura 3-1.

Per la prima formulazione è stato assunto $d_{50} = d_{90}$ e $h = 3$ m, mentre per la seconda che il moto avvenga nel canale di ingresso alla darsena con $B = 21$ m, $h = 3$ m e $K_s = 35$ m^{1/3}/s.

Il peso specifico dei costituenti solidi e dell'acqua valgono rispettivamente 25.98 kN/m^3 e 9.81 kN/m^3 .

Dalla Figura 3-1 si nota come le due formulazioni non diano gli stessi valori per la determinazione della velocità critica. Tale incertezza è insita nelle stime di trasporto solido data la complessità della materia.

E' tuttavia possibile individuare un range di velocità per cui avviene il moto dei solidi. Considerando che la frazione fine ($d < 0.063 \text{ mm}$) è ridotta, le velocità necessarie a movimentare particelle anche dell'ordine del decimo di millimetro ($0.2 - 0.4 \text{ m/s}$) sono maggiori rispetto a quelle presenti lato fiume a monte dell'ingresso della darsena, ottenute dalle simulazioni durante la fase crescente della mareggiata (Cfr. "SP01 – Studio agitazione interna").

In tale frangente si instaura infatti un flusso in ingresso alla darsena, il quale non risulta quindi in grado di movimentare i sedimenti e produrre una portata solida significativa. Velocità dell'ordine di 0.25 m/s si hanno lateralmente sul canale di ingresso e sono dovute alla presenza di una struttura vorticoso (vedi "SP01 – Studio agitazione interna"). Tale area è però confinata alla zona laterale del canale e le velocità non sono comunque sufficienti a movimentare particelle dell'ordine del mm.

In base all'analisi svolta sul campo di moto (vedi "SP01 – Studio agitazione interna") ed a quanto sopra riportato, risulta plausibile concludere che fenomeni di interrimento siano difficilmente ascrivibili al trasporto di materiale movimentato in loco, quanto piuttosto al trasporto di materiale in sospensione proveniente da aree di produzione localizzate nel bacino montano del F. Magra.

L'ingresso di materiale in darsena a causa di variazioni di livello indotte da mareggiate può verificarsi in casi particolari poiché è indotto da eventi che hanno frequenze ridotte. Tale fenomeno può invece potenzialmente realizzarsi per processi diffusivo-dispersivi per cui il flusso di sedimenti verso la darsena è causato dal gradiente di concentrazione solida tra lato bacino e lato fiume.

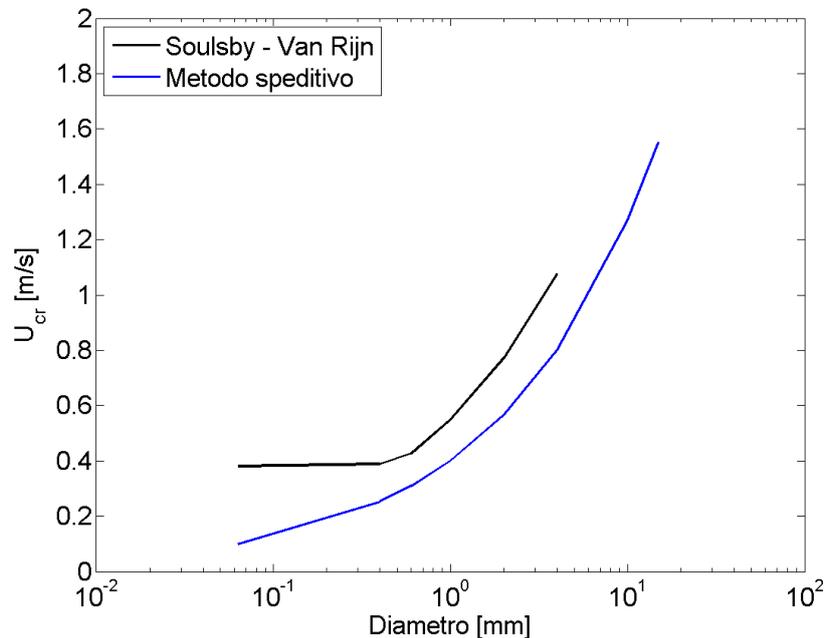


Figura 3-1: Velocità critica per il moto incipiente dei sedimenti al variare del diametro nelle condizioni idrauliche che si instaurano nel canale di ingresso della darsena.

3.2 Interrimento dovuto alla circolazione forzata

Un'ulteriore possibile causa di interrimento può essere dovuta alla portata immessa nella darsena dall'impianto di pompaggio per il ricircolo delle acque, che risulta tuttavia indispensabile per garantire un interscambio tra darsena e fiume e garantire la riossigenazione della darsena.

Una stima dell'entità dell'interrimento e quindi della frequenza con cui effettuare le operazioni di dragaggio può essere determinata per mezzo della conoscenza del trasporto solido medio annuo e della portata.

Al fine di determinare una stima della frequenza con cui la darsena debba essere soggetta a dragaggio, si è fatto riferimento alle informazioni sulla portata solida annua e sulla curva di durata della portata liquida. Una volta ottenuta una stima del volume di sedimenti in ingresso nell'arco di un anno, a causa del funzionamento delle pompe di ricircolo, si divide tale valore per l'estensione spaziale della darsena A_{dar} , pari a 13000 m², ottenendo un Δz di deposito.

Per quel che riguarda la portata solida annua i dati utilizzati sono stati ricavati da i seguenti studi:

- Relazione Intermedia "Approfondimenti dello studio geomorfologico dei principali alvei fluviali del bacino del Fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità funzionale"
- Sintesi della 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",

entrambe redatte dal Prof. Rinaldi dell'Università degli Studi di Firenze per conto dell'ADB Magra.

Portate solide di 476000 m³/anno alla foce sono riportate in studi precedenti e vengono considerate in eccesso rispetto a quanto stimato nelle relazioni menzionate sopra, secondo le quali il trasporto solido al fondo ed in sospensione alla confluenza del Magra col Canale di Turi sono pari rispettivamente a 8889 m³/anno e 125222 m³/anno, per un totale di 134111 m³/anno.

La curva di durata della portata liquida per il Fiume Magra alla foce o in sezioni nei dintorni dell'area di interesse non è disponibile e non lo sono nemmeno le informazioni storiche riguardo ai valori di portata. Lo sono invece quelle relative alle stazioni di Calamazza (sul Magra) e Naseto (sul Vara). L'analisi di tali dati è riportata nello "Studio per il piano stralcio di bacino del Fiume Magra – Allegato 6 – Elaborazione statistica dei dati di portata finalizzata alla valutazione della disponibilità idrica".

Si riportano in Figura 3-2 le curve di durata medie per le stazioni sopra menzionate

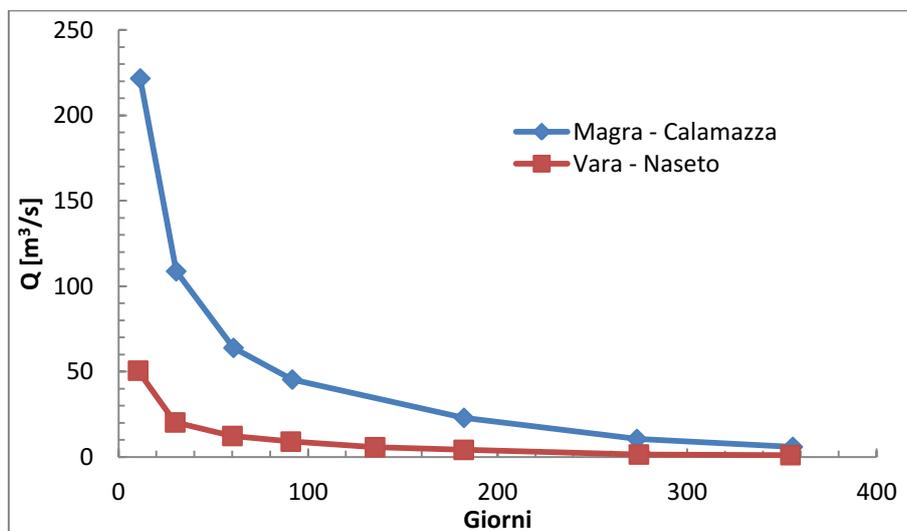


Figura 3-2: Curve di durata per il Fiume Magra a Calamazza ed il Fiume Vara a Naseto.

Per stimare un potenziale volume di sedimenti che entra in darsena è stato considerato che tale flusso possa essere causato dal funzionamento del sistema di pompaggio, necessario per il ricircolo delle acque e la riossigenazione.

Noto un valore di portata liquida Q_t che si assume essere associato alla portata solida in alveo Q_s , si determina il flusso di sedimenti in ingresso alla darsena q_s come proporzionale al rapporto che c'è tra portata liquida in alveo Q_t e portata liquida media annua immessa nella darsena dal sistema di pompaggio q_{pm} :

$$\frac{Q_s}{Q_t} = \frac{q_s}{q_{pm}}$$

Come valore di portata Q_t in grado di trasportare sedimenti è stato scelto quello che sia uguagliato o superato per almeno 91 giorni all'anno, che corrisponde con la "piena ordinaria" del corso d'acqua.

Per determinare tale valore sono state sommate le curve di durata riferite alla stazione di Calamazza e Naseto. Poiché la stazione di Naseto è posta molto a monte rispetto alla confluenza tra Vara e Magra (Figura 3-3), i valori di portata associati a tale stazione sono stati moltiplicati per 2.5. Tale valore è stato scelto poiché la sezione alla confluenza tra il Magra ed il Vara sottende un'area che è 2.5 volte l'area sottesa dalla stazione di Naseto. Si ottiene così una portata liquida Q_t di circa 70 m³/s.

Un valore analogo può essere determinato considerando il valore di portata in grado di movimentare sedimenti dell'ordine di 2.5 mm. Una volta nota la tensione critica per il moto attraverso l'abaco di Shields, si determina una portata associata attraverso la Formula di Gauckler-Strickler, ottenendo, per il tratto del Fiume Magra in esame una portata pari a 73 m³/s.

Per il calcolo della portata solida immessa nella darsena si considera che le pompe siano in funzione per circa 7.5 ore al giorno (durata necessaria per garantire la riossigenazione, vedi "SP01 – Studio agitazione interna") a 0.9 m³/s, ottenendo un valore medio giornaliero di q_{pm} di circa 0.3 m³/s.

Lo strato di sedimenti depositato è determinato come:

$$\Delta z = Q_s \frac{q_{pm}}{Q_t} \frac{1}{A_{dar}} \frac{91}{365}$$

dove A_{dar} è l'area della darsena.

In un anno Δz può variare quindi tra 0.04 e 0.01 m a seconda che si utilizzi una portata solida totale pari a 476000 m³/anno o 134111 m³/anno.

In questo modo la frequenza di dragaggio, al fine di mantenere un franco di circa 0.5 metri si aggirerebbe intorno ai 10 anni.

Avendo tuttavia escluso dall'analisi i potenziali fenomeni di interrimento dovuti a mareggiate e dovuti a processi diffusivo-dispersivi tra interno della darsena e lato fiume a cui sono soggetti i solidi sospesi, si stima cautelativamente di effettuare un dragaggio ogni 3 anni.



Figura 3-3: Localizzazione delle stazioni di misura (figura riportata nella Relazione Intermedia sopra menzionata).

4 Conclusioni

La presente relazione è inerente lo studio della navigabilità della darsena e l'analisi dei potenziali fenomeni di interrimento a cui è soggetto lo specchio d'acqua.

La darsena in progetto è connessa al Fiume Magra attraverso un canale di ingresso artificiale le cui dimensioni pari a 21 metri di larghezza minima sono state determinate in base a quanto previsto dal Piano Guida per la Nautica, al fine di permettere il transito alternato di imbarcazioni di lunghezza pari a 12 m e larghezza pari a 4.1 m.

Lo studio dei fenomeni di trasporto solido e interrimento ha mostrato che la granulometria prevalente nella zona è caratterizzata da ghiaie e sabbie con presenza trascurabile di materiale fine.

Il campo di moto che si instaura internamente alla darsena in occasione di eventi particolari quali mareggiate o piene può indurre il trasporto di materiale solido verso lo specchio d'acqua artificiale durante la fase ascendente dei livelli.

Tuttavia, tale portata liquida in ingresso è caratterizzata da velocità che difficilmente sono in grado di trasportare sedimenti, se non di pezzatura piuttosto ridotta.

Una possibile causa di insabbiamento può essere dovuta all'immissione di solidi, ascrivibile al funzionamento del sistema di pompaggio per la riossigenazione della darsena, ed a fenomeni dispersivo-diffusivi indotti dalla differente concentrazione di solidi tra lato fiume e darsena.

Un'analisi quantitativa dei flussi solidi che potenzialmente possono entrare in darsena ha permesso di stimare cautelativamente un dragaggio del bacino interno ogni tre anni per garantire le necessarie condizioni di sicurezza per la navigabilità.