

IDROVIA FERRARESE

DRG 603/2020 ADEGUAMENTO IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO IDROVIARIO DI V CLASSE EUROPEA.
COMPLETAMENTO LAVORI DELLA CONCA DI VALPAGLIARO A VALLE DELLA STESSA FINO ALLA PROGRESSIVA 2750 IN LOC FINAL DI RERO.COMUNI DI TRESIGNANA E DI FERRARA .
2 LOTTO 1 STRALCIO/PARTE

RUP:

ING. DAVIDE PARMEGGIANI
REGIONE EMILIA-ROMAGNA - DIREZIONE GENERALE CURA DEL TERRITORIO E DELL'AMBIENTE
AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SERVIZIO SICUREZZA TERRITORIALE E PROTEZIONE CIVILE
FERRARA

PROGETTAZIONE:

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
DOTT. ING. SIMONE VENTURINI

RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE
DOTT. ING. MARCO LORA



Via Carlo Cattaneo, 20 - 37121 VERONA (VR)
Tel. +39 045 8053611 - Fax. +39 045 8011558
E-Mail: technital@technital.it

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO:

**Relazioni tecniche e specialistiche
RELAZIONE IDRAULICA**

ELABORATO N° :

II134P-RT-002

		ELABORATO		CONTROLLATO		APPROVATO	
SIGLA		M. LORA		M. LORA		M. LORA	
REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE				
	0	Luglio 2021	EMISSIONE PER APPROVAZIONE				
	1						
	2						

NOME FILE :

II134P-RT-002_0_Relazione_Idraulica

DATA: Luglio 2021

SCALA :

**Regione Emilia Romagna
Amministrazione Provinciale di Ferrara**

DGR 603/2020. ADEGUAMENTO IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO IDROVIARIO DI V CLASSE EUROPEA. COMPLETAMENTO LAVORI DALLA CONCA DI VALPAGLIARO A VALLE DELLA STESSA FINO ALLA PROGRESSIVA 2750 IN LOC. FINAL DI RERO. 2 LOTTO 1 STRALCIO/PARTE

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione Idraulica

DGR 603/2020. ADEGUAMENTO IDROVIA FERRARESE AL TRAFFICO IDROVIARIO DI V CLASSE EUROPEA. COMPLETAMENTO LAVORI DALLA CONCA DI VALPAGLIARO A VALLE DELLA STESSA FINO ALLA PROGRESSIVA 2750 IN LOC. FINAL DI RERO.

Progetto Esecutivo

Pag. 1/30

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	3
2	INTERVENTI PREVISTI.....	4
3	LA RETE IDROGRAFICA	6
	3.1 L'Idrovia Ferrarese – Inquadramento generale	6
	3.2 L'Idrovia Ferrarese nel tratto tra Final di Rero e Migliarino.....	7
	3.2.1 <i>Caratteristiche geometriche e idrauliche</i>	7
	3.2.2 <i>Le protezioni di sponda esistenti</i>	10
	3.2.3 <i>La rete idrografica e gli attraversamenti idraulici</i>	12
4	LA REGOLAZIONE DEL PO DI VOLANO	16
5	DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE	17
	5.1 Il tracciato	17
	5.2 Le sezioni tipo.....	18
	5.3 Dimensionamento della protezione di sponda	21
6	CONCLUSIONI	30

1 INTRODUZIONE

Nella presente Relazione Idraulica viene descritta la rete idrografica che include il tratto oggetto di intervento, tra la conca di Valpagliaro e la fine della nuova curva di Final di Rero. Sono anche indicate le modalità di regolazione e gestione del Po di Volano nella situazione attuale e a opere realizzate, ed infine valutate le sollecitazioni idrodinamiche sulle sponde, nonché la relativa protezione prevista.

2 INTERVENTI PREVISTI

Il presente PROGETTO ESECUTIVO è una ulteriore evoluzione delle attività di progettazione sviluppate fino ad oggi, e propone una revisione delle scelte dettate dalla valutazione dei seguenti aspetti:

- necessità di ridurre gli impatti ambientali connessi alla gestione delle terre derivanti dal risezionamento del Po di Volano e dalla realizzazione della nuova curva
- sagomatura della sezione navigabile al fine di garantire un unico senso di marcia
- realizzazione del Nuovo Ponte di Final di Rero e della viabilità definitiva con conseguente demolizione dell'attuale viabilità realizzata nel secondo appalto
- ottimizzazione delle risorse economiche, utilizzando, per la revisione degli obiettivi iniziali, la documentazione disponibile derivante da analisi e studi specialistici condotti in precedenza e parte integrante del PROGETTO PREGRESSO.

Il nuovo progetto prevede quindi:

- risagomatura del tratto idroviario compreso tra la conca di Valpagliaro e la sezione terminale della modifica della curva di Finale di Rero (corrispondente alla progressiva +2739.34 m-sezione 61 nel presente progetto), assicurando un rettangolo di navigazione costante allargato in corrispondenza dei tratti in curva
- realizzazione del nuovo tracciato di progetto con raggio di curvatura conforme al transito di V classe europea a senso unico di marcia in corrispondenza della curva di Final di Rero e conservazione del tratto esistente (alveo originario del Po di Volano) come da prescrizione di VIA
- demolizione del ponte esistente e costruzione del nuovo ponte di Final di Rero, costituito da n°2 campate di estensione pari a 54.88 m e 80 m (intesa come distanza longitudinale tra gli assi degli appoggi). Il nuovo ponte risiede sull'area di sedime del ponte originario e si collega alla viabilità esistente. La campata L=54.88 m scavalca il ramo esistente del Po di Volano, mentre la campata L=80 m scavalca il nuovo ramo idroviario, anche nella geometria a doppio senso di marcia, al fine di risultare adeguato per futuri allargamenti dell'idrovia
- riqualificazione ambientale della nuova isola fra le due curve, con formazione di rilevati ottenuti dal riutilizzo di parte delle terre di scavo, e successiva sistemazione con rivegetazione dell'area e installazione di strutture per la fruizione dell'isola

Data: Luglio 2021	Rev.: 0	Doc.: II134P-RT-002-0
-------------------	---------	-----------------------

- riqualificazione del ponte provvisorio, e commutazione in passerella ciclo-pedonale per l'accesso all'isola. Il PROGETTO PREGRESSO prevedeva la demolizione del ponte provvisorio, e la costituzione di nuovo ponte a fruizione ciclo-pedonale; tuttavia, nell'ottica di valorizzazione delle strutture esistenti e di minimizzazione delle attività di demolizione e di conferimento a discarica, è risultato migliorativo sfruttare l'esistenza di tale struttura, e prevedere interventi mirati a rendere compatibile l'attraversamento con la sistemazione e la futura fruizione dell'isola
- realizzazione dello scivolo di alaggio a monte del Ponte di Final di Rero, funzionale a consentire l'accesso alla via d'acqua a mezzi di soccorso nonché alla collettività;
- demolizione del muro di sponda esistente a monte del ponte di Final di Rero, da prevedersi in ragione del cedimento della muratura e ricostituzione dell'intero muro di sponda (L~80 m), da raccordarsi allo scivolo di nuova esecuzione
- destinazione e sistemazione del materiale di scavo, in esubero, per il rialzo degli argini lungo il tratto idroviario di Migliarino-Ostellato, compreso tra il Ponte Fiscaglia e la Curva di Ostellato.

3 LA RETE IDROGRAFICA

3.1 L'IDROVIA FERRARESE – INQUADRAMENTO GENERALE

Il tracciato dell'idrovia ferrarese, dello sviluppo totale di 70 km, è in parte naturale e in parte artificiale: il tracciato, procedendo da monte verso valle, prende origine dalla sponda destra del Po, a Pontelagoscuro, con il canale artificiale Boicelli; dopo circa 5,5 km a sud ovest della stazione ferroviaria di Ferrara, il canale confluisce nel Po di Volano, che costituisce, opportunamente sistemato, il tratto intermedio dell'idrovia fino in prossimità del chilometro 41. Il tratto terminale, artificiale, si sviluppa dalla località Fiscaglia di Migliarino fino al mare Adriatico, che viene raggiunto nel porto canale di Porto Garibaldi.

L'idrovia, progettata originalmente per il passaggio di navi da 600 tonnellate di portata, presenta una funzionalità estremamente ridotta per i pesanti vincoli esistenti alla navigazione per quanto riguarda: caratteristiche geometriche della sezione, raggi di curvatura, franchi al disotto dei ponti, caratteristiche dello sbocco a mare a Porto Garibaldi.

Ai problemi di carattere idroviario si aggiungono quelli di sicurezza idraulica, dal momento che il Po di Volano è l'emissario di un bacino contribuente che più di una volta negli ultimi decenni ha creato problemi di allagamenti.

In particolare, risulta insufficiente l'efficienza a valle di Migliarino del Po di Volano che non è in grado, con sostenuti livelli idrometrici, di ricevere le acque provenienti dallo scolo meccanico di una vasta area a valle della diramazione dell'idrovia.

Un ulteriore vincolo nella gestione dei livelli idrici deriva dall'utilizzo dei volumi d'acqua invasi nell'idrovia a fini irrigui.

3.2 L'IDROVIA FERRARESE NEL TRATTO TRA FINAL DI RERO E MIGLIARINO

3.2.1 Caratteristiche geometriche e idrauliche

Il tratto in esame ha origine al chilometro 30,500-40,500 (la prima progressiva si riferisce all'origine alla conca di Pontelagoscuro e la seconda allo sbocco a mare), in comune di Ferrara, in corrispondenza della conca di Valpagliaro.

La camera utile per la concata ha una lunghezza di 102 m e una larghezza di 12,20 m (Figura 1).



Figura 1 – Conca di navigazione presso il sostegno di Valpagliaro (immagine a sinistra) e sostegno di Valpagliaro (immagine a destra)

La passerella carrabile subito a valle conca è sollevabile, ed ha una luce di 12.20 m e un franco tra superficie liquida e sottotrave di 5.10 m. Il sostegno idraulico, che fiancheggia la conca (Figura 1), regola i livelli di monte alla quota normale di +4.50 m s.m.m. ed eccezionale di +4.70 m s.m.m., presenta sei paratoie in grado di esitare le portate di massima piena, valutate in 100 m³/s con frequenza centenaria.

Il tracciato del Po di Volano si snoda quindi fra gli argini maestri, in presenza anche di vaste golene, sottopassa il ponte di Finale di Rero (luce 19,05 m e franco 4,77 m) e con una stretta curva piega verso sud (Figura 2).



Figura 2 – Curva di Final di Rero

Fra il km 34-36 e il 35-35 (30,500 corrisponde alla conca di Valpagliaro) il tracciato, assunta con una larga curva la direzione Ovest-Est, sottende una vecchia ansa del Po di Volano e riceve in destra il canale S.Nicolò-Medelana, collettore irriguo di un vasto comprensorio.

Mantenendo la direzione verso Est con larghe curve, il tracciato presenta la chiavica di Migliarino, in destra, ed è interessato dalla passerella dell'acquedotto del Consorzio Acque del Delta Ferrarese, o del Copparo, con luce di 33,90 m e franco di 6,50 m (Figura 3); infine, attraversa l'abitato di Migliarino.



Figura 3 – Po di Volano a monte dell’abitato di Migliarino (vista da valle)

Al km 41-29 l’idrovia abbandona il Po di Volano, puntando decisamente verso sud (Figura 4). La lunghezza complessiva del tratto tra la conca di Valpagliaro e l’incile del canale Navigabile (tratto Migliarino-Ostellato) in esame è di circa 11 chilometri; i comuni interessati sono quelli di Ferrara, Formignana, Tresigallo, Ostellato e Migliarino; la sezione bagnata, con la superficie liquida mantenuta a +1,50 m s. m. m., è mediamente pari a circa 100 m², con larghezza di 36 m e profondità massima, al centro, di 3,0 m.

La quota dei terreni golenali va da un massimo di +5,20 a un minimo di +2,80 m

Le sponde hanno una pendenza 3/2 e presentano diverse modalità e tipologie di rivestimento; fra queste la più efficace, anche dal punto di vista dell’inserimento ambientale, appare essere quella che prevede pietrame sciolto posato a scogliera.



Figura 4 – Incile del Canale Navigabile, tratto Migliarino-Ostellato

3.2.2 Le protezioni di sponda esistenti

Durante l'iter progettuale del presente PE, è stato svolto in data 9 febbraio 2021 un approfondito sopralluogo lungo i tratti fluviali oggetto di sistemazione per valutare lo stato di consistenza delle sponde dal bacino di evoluzione a valle della conca di Valpagliaro fino alla sezione terminale a valle della nuova isola.

Il sopralluogo ha consentito di prendere cognizione dello stato di degrado delle sponde (Figura 5), e verificare la copertura vegetazionale che richiede di essere considerata nella valutazione economica delle opere.

In particolare, con rimando specifico agli elaborati di progetto riferiti allo stato attuale delle opere, sono state riscontrate le seguenti osservazioni:

- I tratti di sponda risultano caratterizzati da una vegetazione infestante di tipo arbustivo, come ramaglie, e da vegetazione arborea, anche ad alto fusto, presente sia sul paramento inclinato della sponda che sulla parte sommitale
- In corrispondenza della fascia di escursione del livello idraulico si nota, quasi in maniera continua, l'erosione localizzata della sponda
- La sponda ha subito in molti tratti, che si presentano con ripetitività costante, cedimenti localizzati, smottamenti e distaccamenti dello strato corticale, tanto da conferire alla sponda una geometria pseudo-verticale
- Si nota, in quasi tutta l'estensione delle sponde a giorno l'assenza di rivestimento in pietrame; si riscontra la presenza di pietrame al di sotto del livello idraulico, lasciando presumere che inizialmente sia stato collocato a protezione della sponda, e successivamente che sia rotolato al piede.

La situazione connessa alla stabilità delle sponde si presenta quindi decisamente compromessa e degradata, tale da richiedere non solo un intervento di rivestimento e protezione dalle perturbazioni generate dal transito dei natanti, ma volto anche alla sistemazione e riprofilatura del paramento inclinato, previa asportazione della vegetazione esistente.

Le caratteristiche geotecniche del materiale terroso costituente la sponda sono riconducibili ad una sabbia limosa e ad un limo sabbioso. Ne deriva un materiale dalle buone caratteristiche meccaniche, con angolo di attrito superiore ai 30°, ma con scarse proprietà coesive. Per tale ragione la suscettibilità alle sollecitazioni derivanti dalle escursioni del livello d'acqua risulta elevata, e determina l'asportazione localizzata del materiale senza tuttavia generare un fenomeno massivo di instabilità, ma cedimenti localizzati e comunque diffusi sull'intero sviluppo delle sponde.

Risulta infatti, che il ciglio superiore delle sponde mantiene la posizione originaria, nonostante il paramento inclinato di sponda abbia subito notevoli ammaloramenti.



Figura 5 – Riprese della sponda fluviale del Po di Volano nel tratto oggetto degli interventi di rifunzionalizzazione idroviaria. Le riprese sono state effettuate durante sopralluogo in data 9 febbraio 2021

3.2.3 La rete idrografica e gli attraversamenti idraulici

Nella Figura 6 viene riportata schematicamente la rete idrografica della zona oggetto dell'intervento. L'area ove si sviluppa l'Idrovia Ferrarese nel tratto tra Valpagliaro e Migliarino è caratterizzata dalla presenza di numerosi canali e fossi di scolo ed irrigui che tessono una fitta rete, tipica di molte zone di pianura e particolarmente delle zone ove le quote del terreno si trovano spesso sotto il livello medio del mare.

Le opere da realizzare con i finanziamenti disponibili, oggetto del presente Progetto Esecutivo, interessano solamente i primi tre chilometri a valle della conca di Valpagliaro e non interferiscono in alcun modo con tale rete idrografica e con le varie opere di captazione, restituzione e adduzione.

Le aree a Nord e a Sud del Po di Volano appartengono al consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, che nasce dalla fusione del I Circondario (che gestiva il comprensorio a Nord) con il II Circondario (che gestiva il comprensorio a Sud).

Di seguito si fornisce una sintetica descrizione della situazione esistente.

Rispetto al comprensorio di Nord, il canale svolge la funzione di scolo e di controllo della quota della falda freatica (i cui livelli, dai dati disponibili, si aggirano intorno a $-1,50$ m s.m.m.); lo scolo è garantito dal canale Bulgarello che origina dal condotto Riserva, il quale, in località Logo Lattuga si divide in due corsi d'acqua: il Bulgarello, per l'appunto, ed il condotto Valle.

Questi due canali svolgono sia funzione di drenaggio e regolazione della falda, sia (soprattutto) di alimentazione irrigua, nei periodi estivi, quando la falda è depressa.

Il condotto Riserva, che li alimenta, ha origine all'altezza di Ponte Capatti dal Canale Molino, che è uno dei principali canali dell'intera zona.

Il Molino preleva le proprie acque all'altezza di Valpagliaro dove un'opera di presa in sinistra idrografica, sul Po di Volano, recapita le acque in una fitta rete di canali (tra cui il Molino) a servizio delle aree agricole nei dintorni di Tresigallo e Formignana.

Trasversalmente al Condotto Valle ed al Canale Bulgarello di cui è affluente, si sviluppa il condotto "Botte" che raccoglie le acque di drenaggio dell'area interclusa tra Po di Volano e Po Morto, a Medelana.

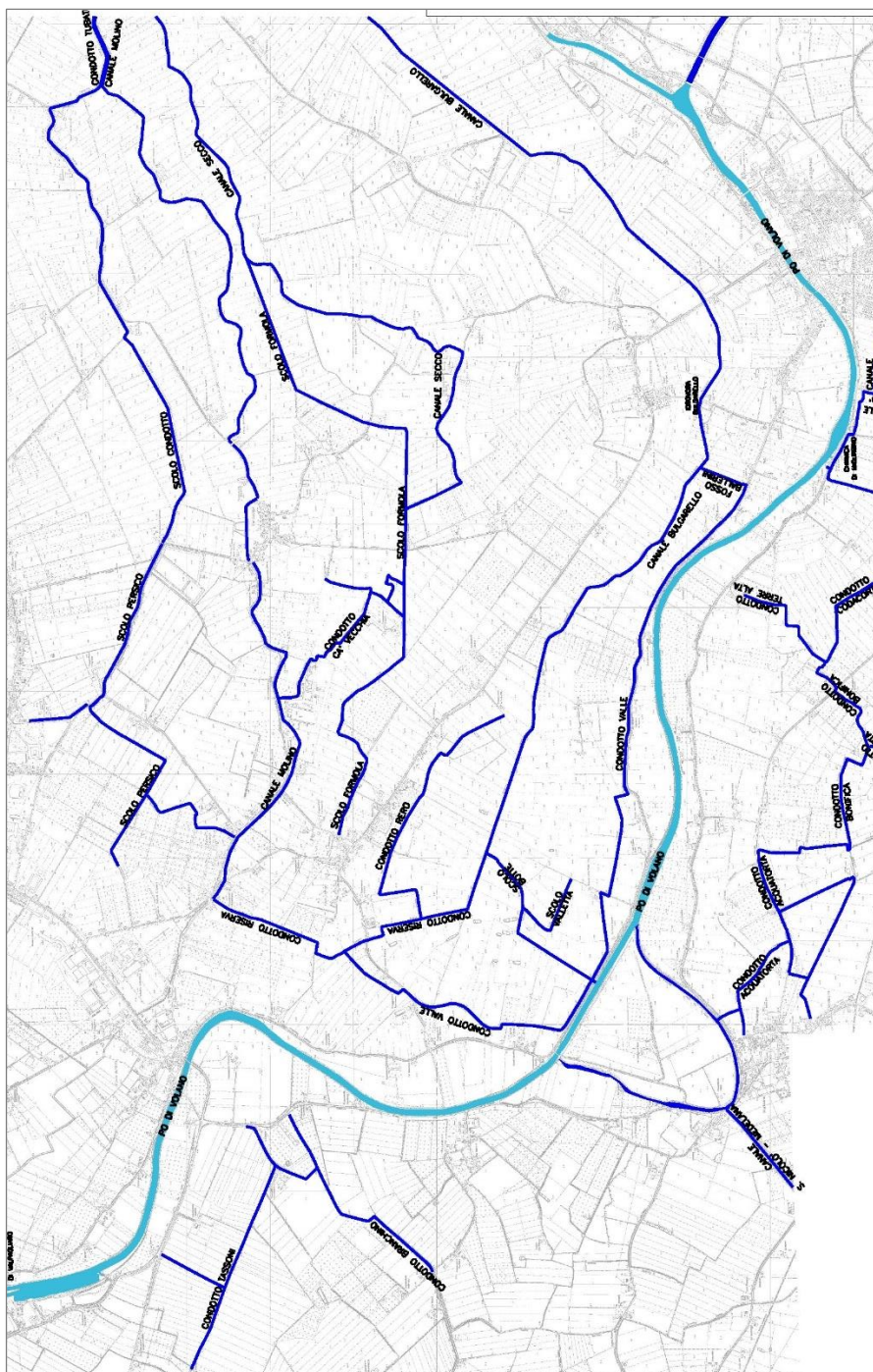


Figura 6 – Stralcio planimetrico con indicazione delle reti idrografica che caratterizza il Po di Volano nel tratto di interesse

Il condotto “Botte” prende il nome dalla botte a sifone mediante la quale passa sotto il Po di Volano a valle di Possessione Eredità, per poi sottopassare il condotto Valle, che scorre al piede dell’argine maestro sinistro del Po di Volano, e raggiungere il canale Bulgarello.

Il Condotto Valle recapita le proprie acque nel fosso Ballerini (privato a differenza di tutti gli altri canali fino ad ora citati che si sviluppano su area demaniale) il quale convoglia le acque nel Bulgarello.

Il comprensorio di Sud, II Circondario, include la rete in destra idrografica del Po di Volano.

Le maggiori strutture idrauliche in quest’area sono il canale S. Nicolò - Medelana e la Chiavica di Migliarino. Entrambi hanno principalmente funzione irrigua anche se il Canale S. Nicolò - Medelana, che si diparte dal Po di Primaro, in località S. Nicolò, può fungere anche da scaricatore di piena del Po di Primaro nel Po di Volano mediante la sua immissione all’altezza di Medelana, nel Po Morto (immissario in destra del Po di Volano).

Anche le aree in destra idrografica presentano quote inferiori al livello medio del mare: la rete di scolo e drenaggio ivi presente riesce, peraltro, a controllare la falda con efficienza.

La derivazione principale in destra, peraltro non interessata dalle opere di primo stralcio, oggetto del presente Progetto Esecutivo, è la chiavica di Migliarino, ubicata poco a monte della Possessione Bosco, che regola la derivazione di portate in un tombino, sotto l’argine maestro del Po di Volano e alimenta il Canale Madonna e da questo tutta la rete in destra idrografica.

Il Canale S. Nicolò – Medelana si immette nel Po di Volano mediante il Po Morto, all’altezza di Medelana; la sua funzione è principalmente quella irrigua; esso viene regolato alla quota del Po di Primaro il cui livello è comandato dal livello del Po di Volano, nel quale si immette, a monte del sostegno di Valpagliaro.

4 LA REGOLAZIONE DEL PO DI VOLANO

Dal punto di vista altimetrico l'idrovia è suddivisa in tre tronchi regolati a diversi livelli:

- il primo tronco, che presenta una lunghezza di 30 chilometri, va dalla biconca di Pontelagoscuro a Valpigliaro, dove una seconda conca mantiene il livello regolato a +4,50 m s.m.m.;
- il secondo, lungo 27 chilometri, tra la conca di Valpigliaro e quella di Valle Lepri, è mantenuto a +1,50 m s.m.m.;
- il terzo, di 13 chilometri, che è aperto direttamente a mare e quindi è regolato dai livelli allo sbocco.

La navigazione nel tracciato del secondo lotto si svolge quindi attualmente con una quota idrometrica a valle della conca di Valpigliaro che è normalmente di 1,50 m s.m.m, eccezionalmente di 1,80 m s.m.m; con quote idrometriche superiori la navigazione viene interrotta.

È da notare che in occasione di piogge che interessano con una intensità significativa il bacino del Po di Volano si verifica la difficoltà di esitare a mare le portate da parte del Po di Volano, dal momento che nel tratto del suo corso a valle della diramazione dell'idrovia è soggetto all'immissione di portate provenienti dallo scolo meccanico delle aree sottostanti il fiume, che provocano il rigurgito del flusso ed un innalzamento della quota idrica con conseguente allagamento di aree agricole.

Relativamente alla compatibilità idraulica delle opere e al rischio idraulico si evidenzia che il nuovo ponte di Final di Rero non interferisce minimamente con i deflussi, anche di piena; piuttosto, l'assenza di pile in alveo del nuovo ponte elimina di rialzamento idraulico dovuto alle pile; inoltre, la realizzazione della nuova curva crea nuovi volumi per l'espansione dei flussi stessi.

La situazione in presenza delle nuove opere è quindi chiaramente migliorativa dal punto di vista della sicurezza idraulica.

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE PREVISTE

5.1 IL TRACCIATO

Il tracciato di progetto si sviluppa principalmente lungo l'attuale tracciato del Po di Volano, dalla conca di Valpagliaro fino alla progressiva 2750 m (progressiva reale pari a +2739.34 m-sezione 61 nel presente progetto). La planimetria generale dell'intervento per le opere finanziate viene riportata nella seguente Figura 7.

L'unica variante di tracciato significativa, rispetto alla situazione attuale, è costituita dalla rettificazione della curva di Final di Rero, prevedendo una curva con un raggio non inferiore a 450 m.

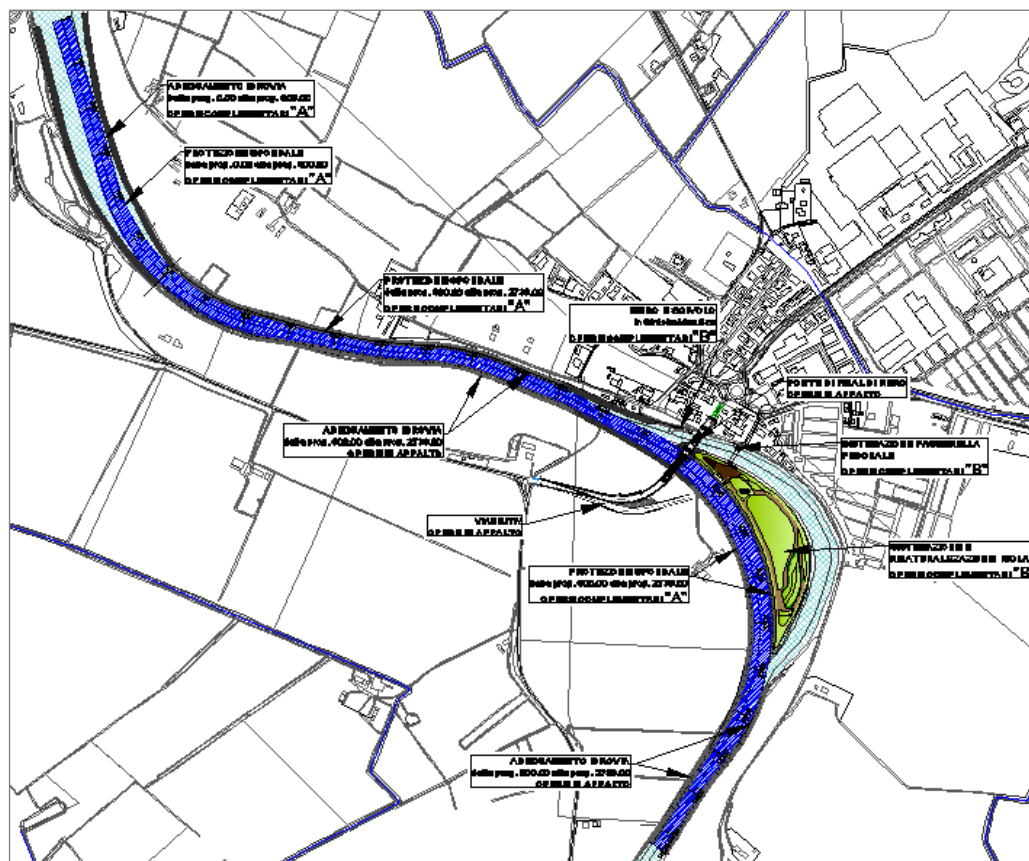


Figura 7 – Stralcio planimetrico con evidenza del tratto navigabile oggetto di intervento

5.2 LE SEZIONI TIPO

Il progetto di rifunzionalizzazione del tratto idroviario ha previsto n°4 tipologie di intervento sulla tratta dalla conca di Valpigliaro fino alla sezione di valle dell'isola:

- Scavo del nuovo tratto idroviario in curva, con un raggio di curvatura di 450 m, creando in tal modo un'isola fra il vecchio e il nuovo tracciato
- Sagomatura delle sponde al fine di ottenere il rettangolo di navigazione previsto
- Approfondimento del fondo alveo al fine di ottenere il tirante di navigazione previsto
- Rivestimento a scogliera delle sponde.

Tali interventi sono stati progettati al fine di aderire alle caratteristiche geometriche previste per la navigazione dei natanti di V classe Europea (raccomandazioni ARNI):

- larghezza minima del rettangolo di navigazione, 40 m per doppio senso di marcia (non previsto nel presente PROGETTO ESECUTIVO), 24 m per senso unico
- profondità minima del rettangolo di navigazione, 3.30 m profondità minima, 3.50 m in asse (larghezza minima di 24,0 m, profondità 3,30 m agli estremi e 3,50 m in mezzeria, scarpate con pendenza 3 su 2)
- altezza libera minima sotto i ponti:3,50 m; la Conferenza dei Servizi del Novembre 2004 riferita al Progetto Definitivo PREGRESSO prescrive da prevedere un tirante d'aria minimo di 6,80 m
- raggi di curvatura minimo normale:1000 m
- raggio di curvatura minimo ridotto:450 m
- allargamento in curva:5550/R
- minima visuale libera:400 m.

Nel tratto fluviale a valle della conca di Valpigliaro, fino alla progressiva +600 m, sono stati previsti interventi di escavo del fondale al fine di assicurare i tiranti d'acqua richiesti; in ragione dello stato ammalorato delle sponde, sono anche stati previsti interventi di rimodellamento e di protezione con pietrame (SEZIONE A, Figura 24).

Successivamente, nei tratti in rettilineo, è stata verificata la minima larghezza ammessa per il rettangolo di navigazione, pari a 24 m, provvedendo, localmente, ad estendere la larghezza fluviale e a rivestire le sponde (SEZIONE B, Figura 25).

Nella nuova curva di Final di Rero, i vincoli geometrici presenti hanno richiesto di posizionare l'asse idroviario di modo che sia rispettata la minima curvatura ammissibile, pari a 450 m. Si è provveduto quindi ad allargare la sezione navigabile di 12 m rispetto ai 24 m previsti in rettilineo, per una larghezza complessiva di 36 m (SEZIONE C, Figura 26). L'allargamento della sezione navigabile è stato aggiunto sul fronte esterno della curva, come illustrato negli elaborati grafici di progetto, di modo da assicurare, sull'interno curva, una larghezza libera di almeno 4 m adibita al passaggio dei mezzi durante le fasi di cantiere e durante la fase di esercizio dell'idrovia per le attività di sorveglianza.

La soluzione progettuale prevede la protezione delle sponde dalle sollecitazioni idrodinamiche che derivano dall'esercizio della navigazione con una mantellata di pietrame dello spessore di 0,60 m di adeguata pezzatura (20 - 100 kg) in doppio strato, posato geocomposito a doppio strato; la mantellata in pietrame viene collocata sino alla sommità arginale, ad esclusione della banca, sulla quale è previsto materiale vegetale per favorire la colonizzazione della banca stessa.

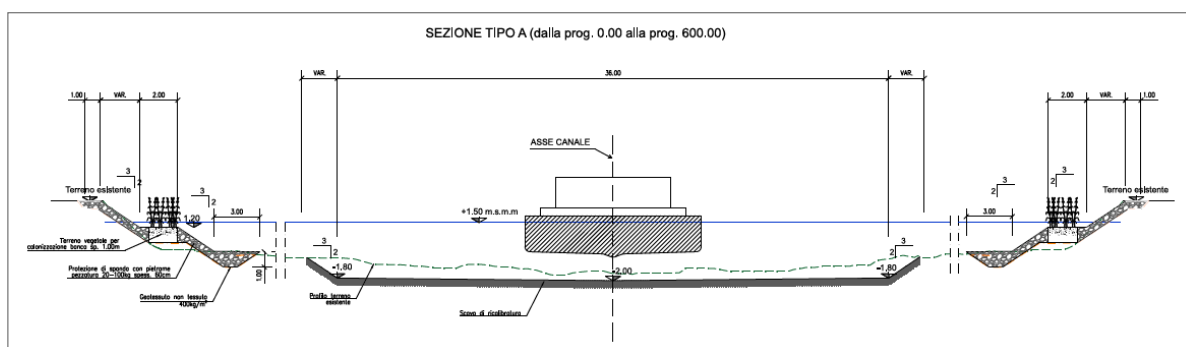


Figura 8 – Sezione tipo A adottata nei tratti fluviali di larghezza superiore alla minima larghezza di navigazione (24 m; gli interventi, per tali tratti, si limitano al rivestimento di sponda in pietrame

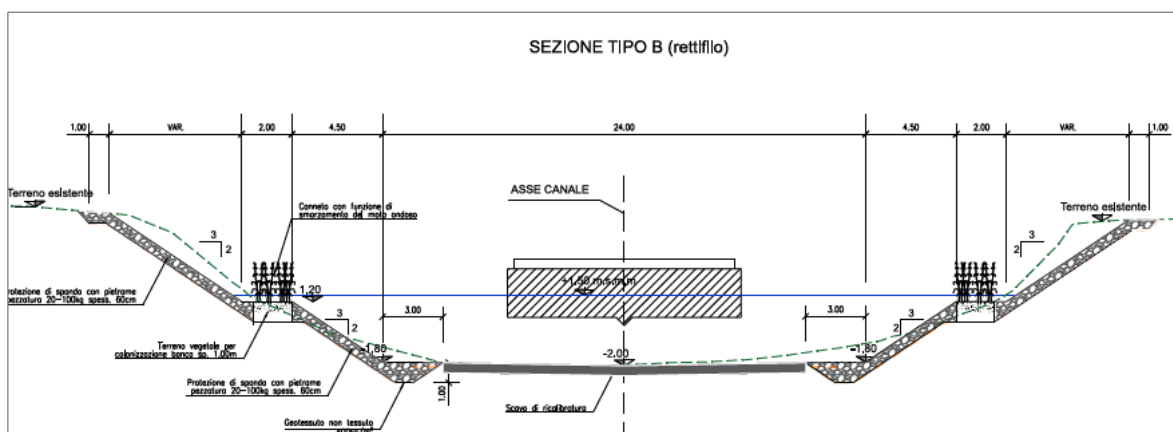


Figura 9 – Sezione tipo B adottata nei tratti in rettifilo, con larghezza alla base di 24 m

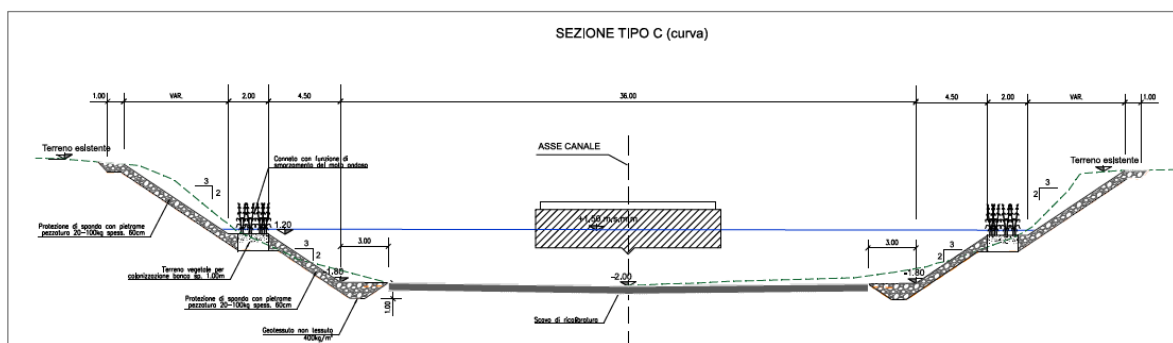


Figura 10 – Sezione tipo C adottata nei tratti in curva, con larghezza alla base di 36 m

5.3 DIMENSIONAMENTO DELLA PROTEZIONE DI SPONDA

Le sollecitazioni idrodinamiche che vanno ad interessare le mantellate di protezione delle sponde dell'idrovia sono essenzialmente:

- moto ondoso generato dai natanti che percorrono il canale;
- moto ondoso generato dal vento;
- correnti dovute alla portata del canale;
- correnti di ritorno generate dai natanti che percorrono il canale.

Le condizioni meteorologiche ed idrauliche che presenta l'idrovia ferrarese sono tali per cui le sollecitazioni che possono derivare dal vento o dalla portata del canale stesso sono trascurabili soprattutto se confrontate con le altre e cioè il moto ondoso e le correnti di ritorno generate dai natanti che percorrono il canale.

Infatti, pur potendo verificarsi, nella provincia ferrarese, velocità del vento di bora di un certo rilievo, l'orientamento dell'idrovia rispetto alla direzione predominante del vento ed il fetch disponibile per la generazione delle onde non permettono certo la formazione di onde da vento di qualche rilievo.

Per quanto riguarda invece la portata del canale navigabile e quindi le relative velocità di flusso, l'idrovia ferrarese è regolata da tre manufatti regolatori: la conca di Valpagliaro posta a monte, la conca di Vallelepri posta a valle sul canale navigabile e la conca di Tieni sul Po di Volano inferiore.

Tali manufatti mantengono livelli idrometrici costanti durante tutto l'anno con variazioni tra monte e valle dell'idrovia stessa praticamente trascurabili (+1,50 m s.m.m. per il tratto da Valpagliaro a Valle Lepri). Ne consegue che il flusso nella via d'acqua è normalmente assai ridotto e quindi il ricambio d'acqua lungo l'idrovia è molto basso. Una situazione eccezionale si verifica in occasione delle piene del Po di Volano: in tali occasioni la navigazione viene sospesa quando la quota idrometrica supera +1,80 m s.m.m. con portate dell'ordine di 30 m³/s. La portata di massima piena con tempo di ritorno più che centenario è stata stimata in 100 m³/s (studio idrologico-idraulico per il dimensionamento e la progettazione della Traversa Fiscaglia alla diramazione del Po di Volano dalla idrovia), con velocità massime di flusso non superiori a 1,00 m/s.

Gli agenti che hanno quindi maggior importanza per il dimensionamento delle mantellate di protezione delle sponde del canale sono il moto ondoso e le correnti di riflusso generate dai natanti in navigazione lungo l'idrovia.

La classe di navigazione per la quale viene progettato l'adeguamento dell'idrovia è la Va Europea; le caratteristiche del natante di progetto e della via d'acqua nei tre tratti identificabili con diverse tipologie sono le seguenti:

natante da 2000 t

lunghezza $L_s = 95.00$ m

larghezza $B_s = 11.50$ m

pescaggio $T_s = 2.70$ m

sezione $A_m = 31.05$ m

altezza 6.70 m

sezione idrovia a senso unico in rettilo (SEZIONE TIPO B in Figura 9 e negli elaborati di progetto)

larghezza dello specchio liquido $b_w = 38.96$ m

area liquida $A_l = 100.00$ m²

profondità massima $h = 3.50$ m

profondità media $h' = 3.09$ m

sezione idrovia a senso unico in curva (SEZIONE TIPO C in Figura 10 e negli elaborati di progetto)

larghezza dello specchio liquido $b_w = 50.96$ m

area liquida $A_l = 141.57$ m²

profondità massima $h = 3.50$ m

profondità media $h' = 2.99$ m.

Si ipotizza che il natante sia in navigazione sul canale seguendo una rotta che coincide con l'asse del canale.

Nel dimensionamento e nella verifica delle difese di sponda si è seguita la trattazione di Schijf (approccio energetico) suggerita dal PIANC (*Guidelines for the design and construction of*

flexible revetements incorporating geotextiles for inland waterways, Supplement to bulletin N° 57, 1987).

Sono stati quindi calcolati preliminarmente i parametri utili per il dimensionamento della protezione di sponda:

Δh :depressione media del pelo libero determinata dal passaggio della nave

\bar{u}_r :velocità media della corrente di ritorno generata dal passaggio della nave

$\hat{\Delta h}$:depressione massima determinata dal passaggio della nave

\hat{u}_r :velocità massima della corrente di ritorno determinata dal passaggio della nave.

$$\frac{v_l}{\sqrt{gh'}} = \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \left[1 - \frac{A_m}{A_c} + \frac{v_l^2}{2gh'}\right]^{\frac{3}{2}}, \text{ nella quale i simboli hanno il seguente significato}$$

v_l velocità limite nell'idrovia

h' profondità media dell'idrovia

A_m sezione media immersa del natante

A_c sezione liquida dell'idrovia.

Sostituendo i valori numerici e risolvendo l'equazione per tentativi si ottiene un valore limite della velocità del natante.

Ottenuta la velocità limite v_l e supponendo che il natante abbia una velocità v_s pari al 90% della velocità massima v_l , utilizzando lo schema di calcolo riportato nelle figure che seguono (Figura 11 e Figura 12), si ottengono i valori numerici della depressione media, della depressione massima e quelli della corrente media e massima generate dal natante.

Sapendo che:

$$\frac{A_m}{A_c} = 0,189$$

dal grafico di Fig. 4.6, si ottengono i valori di:

$$\frac{\bar{\Delta h}}{h'}, \quad \frac{\bar{u}_r}{\sqrt{gh'}}, \quad \frac{v_s}{\sqrt{gh'}}$$

Tenendo conto del valore del tirante medio si ricavano quindi:

$$\bar{\Delta h}; \bar{u}_r; v_s.$$

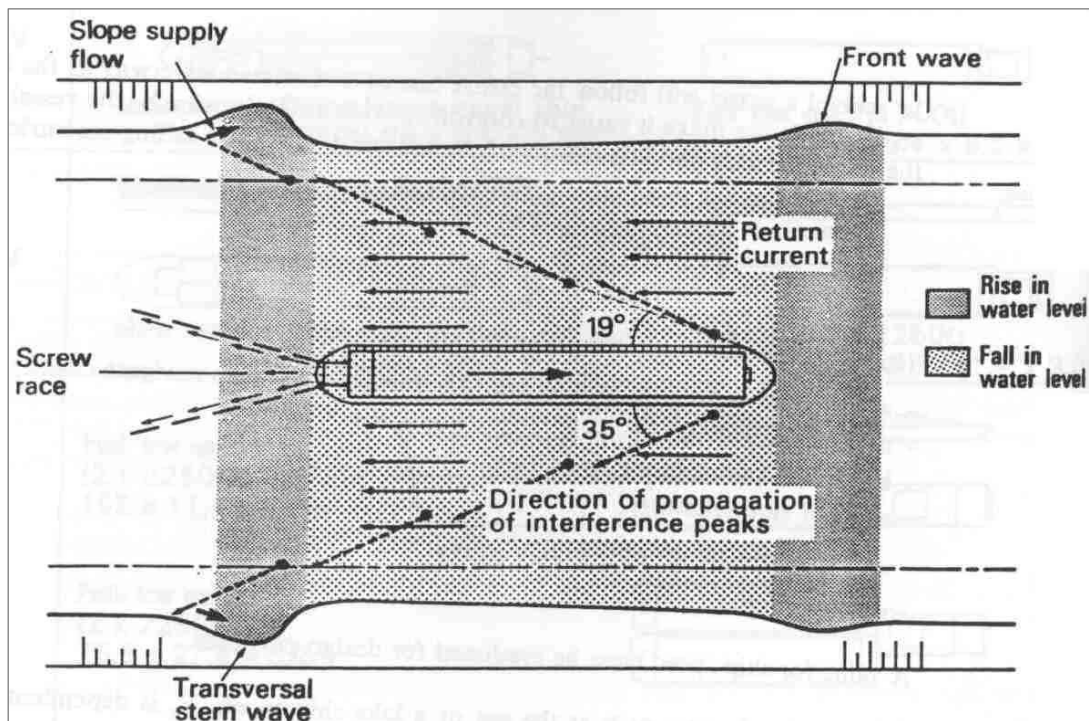


Figura 11 – Pianta schematica con indicazione delle onde prodotte da un natante

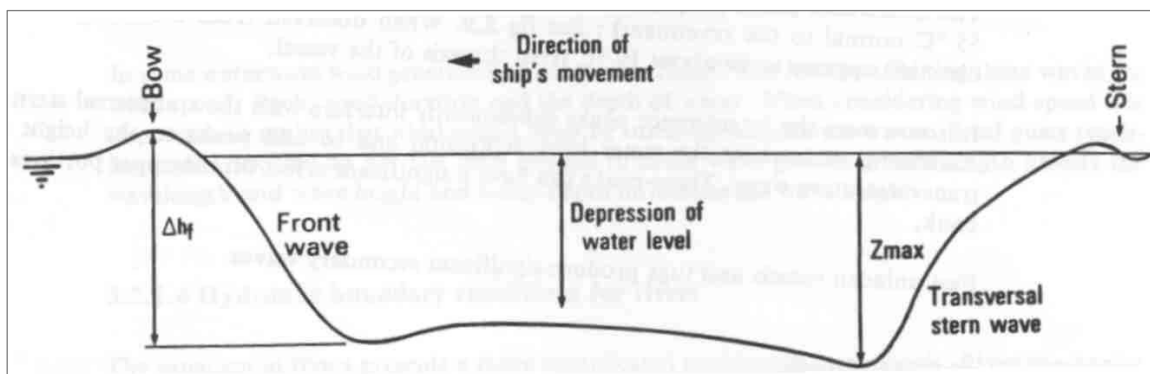


Figura 12 – Sezione schematica con indicazione delle onde prodotte da una natante

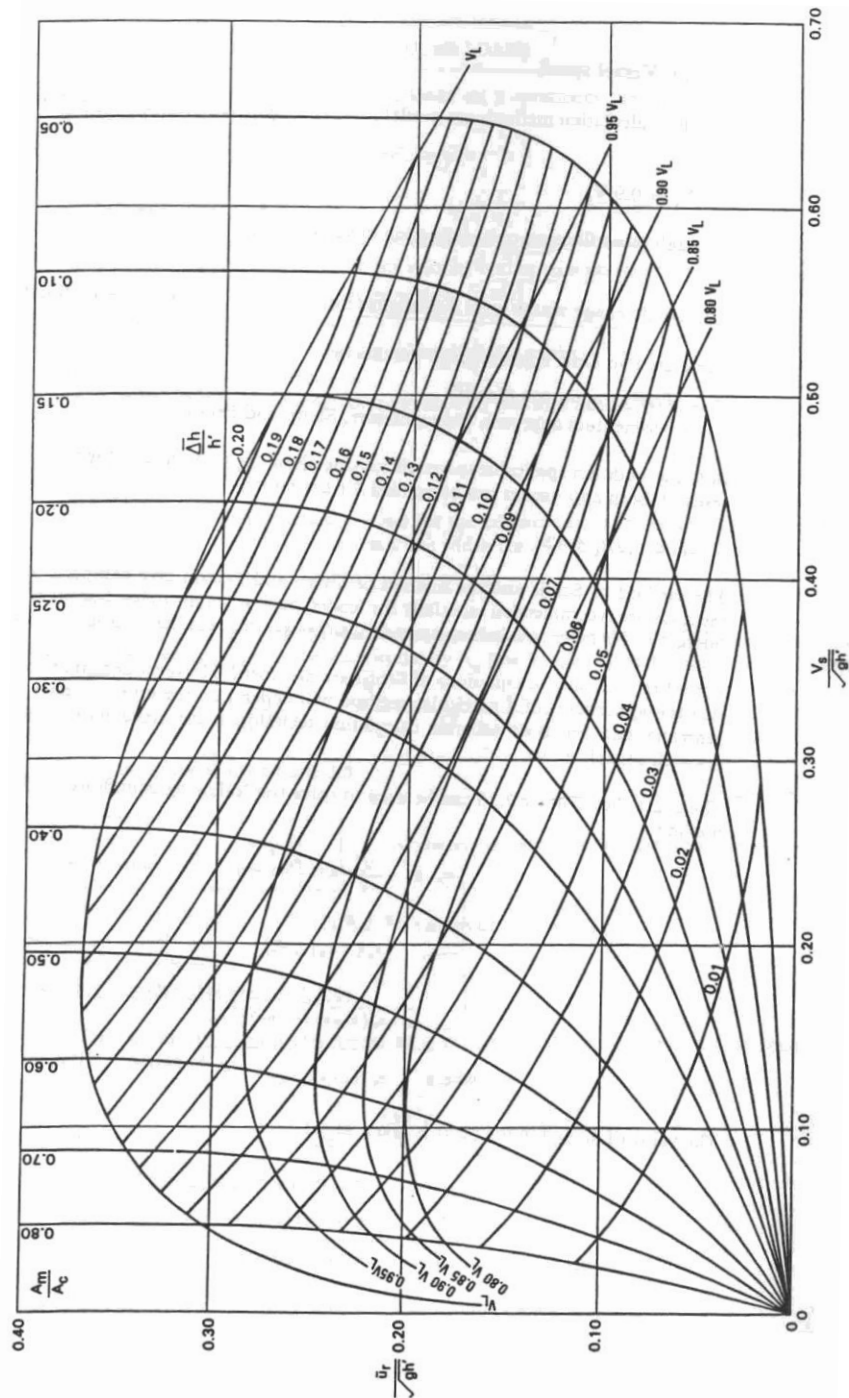


Figura 13 – Diagramma di Schiff

I corrispondenti valori massimi sono ottenibili con le relazioni di seguito riportate.

$$\hat{\Delta}h_{max} = C_3 \Delta \bar{h}$$

$$\hat{u}_r = C_3 \bar{u}_r$$

Nella quale C_3 è fornito dalla relazione:

$$C_3 = 1.20 + 5 \times 10^{-4} F_r^2 \frac{b_w}{y_t} \times \frac{L_s^2}{h \sqrt{A_m}}$$

Con

$$y_t = 0.5b_w - y - 0,5h \cot \alpha$$

Essendo

y_t distanza dell'asse natante dalla sponda, pari rispettivamente a

- 19.48 m per la SEZIONE B
- 25.48 m per la SEZIONE C con navigazione in asse
- 19.48 per la SEZIONE C con navigazione eccentrica

y eccentricità della rotta

α pendenza delle sponde (pari a 33.7°).

Sostituendo i valori numerici si ottiene il valore di C_3 e quindi il valore massimo dell'abbassamento del livello idrometrico e la velocità massima della corrente di ritorno. C_3 può ritenersi pari a 1.26 per la SEZIONE B e 1.22 per la SEZIONE C.

L'abbassamento del livello idrometrico corrisponde all'altezza d'onda che si genera dietro al natante in navigazione (stern wave).

L'altezza d'onda frontale (front wave) è pari invece a:

$$\Delta h_f = 0.10 \Delta \bar{h} + \hat{\Delta} h.$$

Sostituendo i valori numerici si ottiene l'onda di prua, riferita al livello del pelo libero indisturbato.

Nella tabella seguente (Tabella 1) vengono riportati i valori calcolati nei diversi tratti dell'idrovia:

Data: Luglio 2021	Rev.: 0	Doc.: II134P-RT-002-0
-------------------	---------	-----------------------

Tabella 1 – Parametri idrodinamici al passaggio dei natanti per le diverse tipologie di sezioni

	SEZIONE B (rettifilo)	SEZIONE C (curva)
Velocità limite natante v_l (m/s)	1.96	2.44
Abbassamento medio $\Delta \bar{h}$ (m)	0.29	0.28
Velocità di ritorno media \bar{u}_r (m/s)	1.10	0.87
Velocità del natante v_s (m/s)	1.71	2.17
Abbassamento massimo $\hat{\Delta} h_{\max}$ (m)	0.37	0.35
Velocità di ritorno massima \hat{u}_r (m/s)	1.39	1.06
Onda frontale Δh_f (m)	0.40	0.38

Sulla base dei risultati esposti sopra, si può quindi considerare un'onda incidente sul rivestimento di sponda pari a 0.5 m. Definita l'altezza d'onda di progetto, è possibile quindi calcolare il diametro medio del pietrame da impiegare per il rivestimento di sponda attraverso la relazione sviluppata da Laboyrie (PIANC):

$$D_{n50} \geq \frac{z_{max}}{1.5(\cot \alpha)^{\frac{1}{3}} \Delta m}$$

Nella quale si intende:

D_{n50} = 0.15 diametro medio del pietrame [m]

Z_{max} = 0.5 altezza d'onda incidente [m]

α = 33.7 pendenza della sponda [°]

Δm = 2 densità di massa relativa del pietrame [ton/m³].

Sostituendo i valori numerici si ottiene un valore di 15 cm. Nel presente progetto, la protezione delle scarpate è prevista con scogliera di spessore pari a 60 cm e massi di peso pari a 20-100 kg, sufficiente per contrastare la capacità erosiva generata dal passaggio dei mezzi natanti. La velocità limite da assegnare al transito risulta di circa 1.7-2 m/s.

Per determinare l'estensione della protezione lungo la scarpata del canale si sono determinati il run-up ed il run-down utilizzando le seguenti relazioni:

$$R_{up} = R_n r_r r_b r_\beta$$

dove si intende:

R_n run-up teorico

r_r fattore di riduzione che tiene conto del tipo di materiale della protezione spondale

r_b fattore di riduzione che tiene conto della presenza di una berma

r_β fattore che tiene conto dell'angolo di incidenza dell'onda.

Sostituendo i valori numerici si ottiene un valore di run-up pari a circa 1.30 m. Per quanto riguarda il run-down è stata utilizzata la seguente relazione:

$$R_{down} = H_s [0.80\xi + 0.50]$$

dove si intende:

H_s altezza d'onda significativa

ξ parametro di frangimento dell'onda.

Sostituendo i valori numerici si ottiene un valore di run-down pari a circa 1 m.

La scogliera di protezione della sponda del canale deve quindi essere estesa almeno dalla quota -1 m sino alla quota +1.30 m rispetto al livello idrico dell'idrovia, previsto a quota +1.50 m s.m.m. (regolazione a Valle Lepri e a Tieni).

Come si può vedere dagli elaborati grafici di progetto circa le soluzioni adottate per la geometria delle mantellate di protezione, l'estensione delle stesse è stata convenientemente aumentata fino al raggiungimento della sommità spondale, di modo da assegnare maggiore garanzia alla stabilità spondale.

Si riporta questa valutazione che è stata effettuata utilizzando la formula di Isbash, secondo la quale la pezzatura del materiale deve avere le seguenti caratteristiche:

$$D_{50} \geq \frac{0,7 \cdot \hat{u}_r^2}{g \cdot \Delta m \cdot K}$$

nella quale

\hat{u}_r massima corrente di ritorno rispettivamente pari a 1.39 m/s; 1.06 m/s

Δm = densità relativa, posta pari a 1,63

$K = \cos \alpha \left(1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varepsilon_s}\right)^{0,5}$, con

α = pendenza delle sponde (33,69°)

εs = pendenza di equilibrio del pietrame assunta pari a 45° .

Per i due casi esaminati si ottiene rispettivamente per D_{50} il valore:

14 cm per la SEZIONE B

8 cm per la SEZIONE C.

6 CONCLUSIONI

Il Po di Volano riveste, nell'ambito della gestione della risorsa idrica della zona, un ruolo molteplice dal momento che assume le funzioni di:

- via navigabile
- recapito degli scoli collettori delle acque meteoriche
- vettore di adduzione e alimentazione della rete irrigua.

Dal punto di vista idrometrico, i livelli sono regolati dal sostegno in corrispondenza della conca di Valle Lepri a +1,50 m s.m.m., quota compatibile con la navigazione sia per quanto riguarda il tirante idrico che il franco in corrispondenza dei ponti.

Il transito dei natanti è consentito in via eccezionale con quote idriche fino a +1,80 m s.m.m.; con quote superiori il traffico è sospeso.

Nella presente Relazione è stato riportato il dimensionamento dei massi di scogliera previsti per il rivestimento delle sponde di canale. In ragione delle velocità di ritorno generate dal transito dei mezzi natanti, è stata prevista una scogliera di spessore pari a 60 cm costituita da massi di peso variabile tra 20 e 100 kg.