

# ADEGUAMENTO DELLE CONDIZIONI DI NAVIGABILITA' DELL'ALVEO DI MAGRA DEL FIUME PO PER NAVI DI CLASSE V<sup>A</sup> - REVERE – FERRARA.

## PROGETTO PRELIMINARE

### 1) RELAZIONE GENERALE

#### PROGETTISTI

Ing Ettore Alberani

Ing. Sandro Bortolotto

Dott. Luca Crose

Ing. Bruno Droghetti

Dott. Pierpaolo Erbacci

Ing. Marcello Moretti

Ing. Tommaso Settin

#### COLLABORATORI

Geom. Antonio Antiga

Geom. Luigi Marco Bigoni

Geom. Vittorino Malagò

Ing. Elena Munerati

Geom. Matteo Occhialini

Geom. Vincenzo Pellegrino

P.A. Roberto Zilocchi

#### Perizia n.

**Visto: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**  
IL DIRIGENTE  
(Ing. Ivano Galvani)

**Prot. n.**

**Data**

## Sommario

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	NOTE STORICHE .....	3
3.	FINALITA' DEL PROGETTO.....	5
4.	INDAGINI CONOSCITIVE.....	10
4.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	11
5.	CRITERI E PARAMETRI DI PROGETTAZIONE .....	13
6.	CARATTERISTICHE DELLE OPERE.....	15
7.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	17
7.1	MELARA .....	17
7.2	BERGANTINO .....	19
7.3	CASTELMASSA – BOSCO CAPOSOTTO .....	21
7.4	CALTO - STREGGIA .....	21
7.5	FICAROLO.....	21
7.6	GAIBA.....	25
7.7	CANTARANA-RAVALLE .....	26
7.8	STIENTA .....	26
8.	TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE .....	28
9.	UTILIZZO E MANUTENZIONE DELLE OPERE .....	29
10.	ACQUISIZIONE DI AREE O IMMOBILI .....	29
11.	PROCEDURE AUTORIZZATIVE AMBIENTALI .....	29
12.	QUADRO ECONOMICO .....	30

## **1. INTRODUZIONE**

L'Agenzia Interregionale per il fiume Po nasce come emanazione del Magistrato per il Po, già organo decentrato interregionale del Ministero dei Lavori Pubblici, poi organo interregionale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e del Ministero dell'Ambiente e del Territorio. Dal gennaio 2003 infatti, sulla base del D.p.c.m. 14/12/2000 di riordino del Magistrato per il Po, in attuazione del D.Lgs. 112/98 ("legge Bassanini"), è istituita l'Agenzia, ente strumentale delle quattro Regioni, Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia Romagna.

L'Aipo svolge le funzioni di programmazione operativa, progettazione ed attuazione degli interventi sulle opere idrauliche di prima, seconda e terza categoria, di cui al Testo Unico n. 523/1904, finalizzati alla sicurezza idraulica del territorio.

Dal 2007 la Regione Lombardia, in base alla Legge Regionale 30/2006 e a una convenzione triennale con A.I.Po, ha affidato all'Agenzia le competenze in materia di navigazione interna del sistema idroviario padano-veneto e demanio fluviale in precedenza gestite dalla soppressa Azienda Porti di Cremona e Mantova. Tra i compiti principali dell'Ufficio Gestione Navigazione Lombarda ci sono la gestione del sistema idroviario del fiume Po e delle idrovie collegate (canali Pizzighettone-Cremona e Mantova-Adriatico) e la progettazione e costruzione delle relative opere idrauliche.

Per quanto concerne le competenze in materia di navigazione interna anche la Regione Emilia Romagna con L.R. 24/2009 ha soppresso l'Azienda Regionale per la Navigazione Interna (ARNI) trasferendone le competenze, tramite apposita convenzione, ad A.I.Po.

La presente perizia progettuale si colloca nell'ambito degli interventi volti a garantire le migliori condizioni di navigabilità dell'alveo di magra del fiume Po, per navi di Va classe, nel tratto compreso tra Revere (MN) e Ferrara.

## **2. NOTE STORICHE**

Il massimo fiume italiano si sviluppa per una lunghezza di circa 650 km dal Monviso al mare. Per i primi 250 km scorre in un alveo naturale senza arginature e nei successivi 400 km si sviluppa entro un imponente complesso arginale.

Il suo corso è stato variabilissimo nei tempi, avendo vagato anche di parecchi chilometri nella direzione Nord-Sud nei limiti della pianura padana. Ciò indusse le popolazioni locali ad erigere arginature, inizialmente modeste e prive di continuità, che con l'andare del tempo finirono col saldarsi fra loro e ad aumentare di dimensione trasversale sino a raggiungere l'attuale configurazione.

Il fiume, all'interno del tracciato imposto dagli argini maestri, ha comunque continuato le proprie divagazioni, creandosi numerosi letti serpeggianti dalla forma e dalla posizione mutevole nel tempo.

A titolo puramente indicativo si può precisare che gli argini maestri (tutti di seconda categoria) limitano l'alveo di massima piena, o letto maggiore del fiume, e possono contenere portate dell'ordine di 12.000 mc/sec nel tratto medio inferiore.

Sino all'inizio del '900 il Po ha avuto una grossa importanza anche come via di comunicazione; il trasporto di grandi carichi di merce era sicuramente più agevole per mezzo di imbarcazioni rispetto al trasporto per mezzo di carri trainati. Ciò indusse i governi del primo dopoguerra ad iniziare un'opera di sistemazione dell'alveo di magra con lo scopo di renderlo navigabile per navi da 600 tonn. che avessero un pescaggio massimo di m. 1,70.

Venne approntato all'uopo un progetto generale (progetto Gorio, anno 1919), cui ci si è attenuti in larga massima sino ai giorni nostri, seguendo i criteri dettati dalle esperienze francesi; ciò consisteva nel dare all'alveo di magra profilo unicursale, per concentrare le energie della massa liquida, con andamento sinuoso al fine di affidare alla forza centrifuga il compito di mantenere l'officiosità del fiume nella maniera voluta.

Le prime esperienze diedero buoni risultati sia dal punto di vista trasportistico che dal punto di vista idraulico, in quanto si concentrava l'erosione del fiume in magra in punti ben definiti e difendibili e soprattutto la si manteneva lontano dagli argini maestri.

Lo sviluppo dei lavori fu bloccato, tuttavia, dagli eventi bellici e riprese nel dopoguerra estendendo il tratto di fiume regolato da Cremona sino a foce Mincio; nel frattempo, però, la politica dei trasporti in Italia favorì soprattutto il traffico su gomma e, contestualmente all'affermarsi di un modello di trasformazione territoriale che vede i complessi urbanistici e produttivi sorgere lontano dal Po, si intiepidì l'opera di completamento delle opere di regolazione fluviale a fini navigatori favorendo il declino della navigazione commerciale.

Ad oggi lo stato di pressoché totale saturazione delle ordinarie vie di comunicazione impone di riprendere i lavori per ridare al Po il suo naturale ruolo di asse trasportistico a lungo e medio raggio.

A ciò si aggiunga che il continuo divagare del letto del fiume all'interno dell'alveo attivo non permette di fissare in maniera permanente gli attracchi fluviali per le navi passeggeri; ciò impedisce di effettuare una seria programmazione di attività legate al potenziale turistico del Po e del suo bacino con ripercussioni economiche pesanti per la collettività.

Pure l'attività di difesa del territorio risulta condizionata dalla mancanza di un disegno unitario e permanente dell'alveo di magra: il continuo variare dei punti di battuta della corrente porta da un lato a ricoprire le sponde, per la loro intera lunghezza, con materiale litoide mentre le zone non difese vengono erose con sottrazione all'agricoltura di terreno potenzialmente coltivabile.

### 3. FINALITA' DEL PROGETTO

Allo stato attuale la navigazione commerciale all'interno del fiume Po viene praticata esclusivamente nel tratto compreso fra Volta Grimana, ove si trova la conca che permette di collegarsi ai canali veneti o al Po di Levante (e di lì al mare), ed il porto di Cremona; a monte di Cremona si trova lo sbarramento fluviale costituito dalla centrale idroelettrica di isola Serafini con relativa conca di navigazione, ormai fuori uso a causa dell'abbassamento del letto del Po generato dallo sbarramento stesso, che blocca la prosecuzione della navigazione.

Il tratto di fiume sopra descritto si può suddividere in tre segmenti fluviali con caratteristiche nettamente diverse:

- il primo, fra Cremona e foce Mincio, regolato da opere di navigazione (in prevalenza opere radenti) che garantiscono la disponibilità di fondali sufficientemente profondi all'esercizio della navigazione per larga parte dell'anno e, nel caso di opere non sufficientemente ben eseguite, con presenza di bassi fondali di agevole localizzazione ed asportazione tramite interventi di dragaggio sufficientemente programmabili. E' già stato redatto, tuttavia, un progetto di regolazione a corrente libera che dovrebbe, nel breve-medio periodo, correggere anche queste manchevolezze;
- il secondo, fra Foce Mincio e Crespino, non regolato da opere di navigazione (se si escludono gli interventi di Pieve di Coriano, di Ostiglia e di Bergantino), nel quale il corso del fiume divaga liberamente all'interno dell'alveo, divenendo spesso multicursale. In tale segmento fluviale si manifestano contemporaneamente, ad ogni magra, bassi fondali in numero tale da rendere estremamente difficoltosa o vana l'opera di dragaggio;
- Il terzo, a valle di Crespino, che pur non essendo regolato da opere di navigazione, garantisce ugualmente buoni fondali poiché l'influenza della marea può correggere le quote di pelo libero sino a renderle idonee al passaggio delle navi anche in periodi di magra.

Non vengono riportate statistiche relative alla formazione di bassi fondali in quanto l'ultimo quinquennio è stato caratterizzato da un'attività particolarmente ridotta di interventi di dragaggio, a causa del concomitante incremento di costo dei carburanti e del calo di fondi all'uopo dedicati, per cui non si potrebbero fornire dati omogenei.

All'interno del secondo segmento fluviale sono stati individuati diversi sub-segmenti entro i quali si manifestano, nei periodi di magra, i bassi fondali più penalizzanti per la navigazione.

#### 1) CASTELMASSA - FICAROLO

Questo tronco, lungo circa 12 km, presenta, dal punto di vista idroviario, le maggiori criticità; il suo tracciato è pressoché diritto e la larghezza dell'alveo maggiore è, dovunque, particolarmente ridotta. In queste condizioni

il canale non ha potuto costruirsi un tracciato in equilibrio e continua a cambiare corso rimbalzando da una parte all'altra.

Con un lavoro assiduo e mirato delle draghe l'A.R.N.I. è riuscita, nel ventennio scorso, ad imporre al canale di magra il percorso migliore che sia consentito dalla geometria dei luoghi ricavando, tra le curve di estremità di Castelmassa e di Ficarolo che sono bene sviluppate, tre curve intermedie a Caposotto, a Calto ed alla Streggia.

Si tratta di curve molto piatte, e quindi poco efficaci e non molto stabili, per cui il fiume tende a demolire il lavoro realizzato con le draghe creando drizzagni, altrettanto instabili, nonché allargamenti di sezione e bassi fondali.

## 2) PALANTONE - OCCHIOBELLO

Il tronco, lungo circa 9 km è caratterizzato da curve molto pronunciate alle estremità mentre fra le due curve si ha tracciato pressoché dritto e larghezza dell'alveo maggiore assai contenuta.

Anche in questo tronco l'instabilità del tracciato, con la formazione di bassi fondali e con la loro migrazione, rappresenta il problema principale.

Il Magistrato per il Po ha da tempo terminato i lavori di costruzione del pennello di Stienta; le osservazioni batimetriche successive ai lavori summenzionati confermano che proprio il letto di magra, non regolato nel tratto immediatamente a monte, interseca il pennello con angolazione difforme da quella voluta.

Oltre ai precitati sub-segmenti fluviali vi sono anche punti singolari dove l'alveo di magra tende a migrare oltre le opere presenti o a determinare curvature eccessivamente pronunciate con conseguenze non prevedibili.

Il presente progetto rappresenta la fase successiva di attuazione di una parte dello studio di fattibilità del Sistema Idroviario Padano Veneto cioè, con più precisione, della parte che riguarda il Po nel tratto che va da Cremona sino al mare Adriatico.

Lo studio sopracitato venne consegnato in data 25/01/1999 e, nelle more della formulazione di osservazioni nonché della sua accettazione, vennero ripartiti i finanziamenti residui della legge 380/90 nonché quelli della legge 413/98 fra le Regioni interessate dal sistema idroviario Padano-Veneto quantificando in circa 30 miliardi gli interventi da realizzare entro il fiume Po ed interessanti il territorio di più regioni.

La versione definitiva dello studio è stata consegnata a fine Giugno 1999 e la versione finale della tabella riepilogativa dei costi, comprensiva delle osservazioni del Comitato Tecnico-Economico comprendente i rappresentanti delle Regioni interessate dal Sistema Idroviario Padano - Veneto ed il Ministero dei Trasporti e della Navigazione, è datata 06/10/1999.

Tale tabella aggiorna a 70 i miliardi delle vecchie lire occorrenti per realizzare gli interventi nel fiume Po, ma non risulta che tale cifra trovi completa copertura finanziaria nel quadro legislativo vigente.

L'obiettivo primario degli interventi proposti è quello di favorire la navigazione commerciale in Po. Tale obiettivo è certamente perseguito in modo continuativo attraverso i periodici interventi di tipo manutentivo (i.e., dragaggi) svolti direttamente da personale A.I.Po (ex A.R.N.I) o attraverso lavori pubblici affidati dall'Agenzia stessa. Nell'ottica di una parsimoniosa ed oculata gestione delle risorse disponibili nonché con lo scopo di massimizzare l'efficacia ed efficienza degli interventi si prospettano tuttavia opportunità di perseguire differenti modalità d'intervento volte ad una sistemazione stabile e duratura dell'alveo di magra. Tale obiettivo è perseguibile affiancando ai tradizionali interventi di movimentazione di materiale depositato in alveo (dragaggi) il ripristino di opere idrauliche danneggiate o la realizzazione di nuove.

E' opportuno segnalare come in alcuni casi le esigenze proprie della navigazione commerciale si collochino in antitesi rispetto alle necessità di intervento atte a garantire la sicurezza idraulica delle opere di difesa e dei territori circostanti. La presenza infatti di un alveo fortemente inciso e morfologicamente stabile costituisce certamente una condizione auspicabile per la navigazione commerciale ma d'altro canto rappresenta una potenziale fonte di pericolo per i sistemi arginali, soprattutto quando l'incisione d'alveo si localizza in prossimità di opere idrauliche o civili (argini in frodo, pile di ponti), e che mina anche la naturale evoluzione morfologica dell'alveo. L'aver concentrato presso A.I.Po competenze e funzioni (navigazione e sicurezza idraulica) proprie di strutture un tempo disgiunte (A.I.Po ed A.R.N.I) costituisce certamente un valore aggiunto in grado di favorire l'individuazione di mirate soluzioni tecniche progettuali ed in grado di integrare interventi realizzati separatamente, con differenti finalità e fonti di finanziamento nell'ottica di migliore gestione della risorsa pubblica.

Per tale ragione gli interventi oggetto della presente perizia sono stati analizzati e progettati coerentemente con i programmi di attuazione delle opere di difesa dalle alluvioni sulla base dei programmi approvati dalle Regioni competenti e dall'Autorità Idraulica.

In particolare è opportuno sottolineare come l'intero set di interventi proposti, nonché le modalità tecniche realizzative degli stessi, siano stati opportunamente approntati in conformità con il Piano di Gestione dei Sedimenti redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

Il dettaglio relativo alle differenti soluzioni progettuali prospettate è riportato nel seguito, qui preme osservare come l'intero set di interventi si configuri in parte come una straordinaria manutenzione di opere esistenti, in parte come prosecuzione di interventi strutturali già avviati ed infine preveda la realizzazione di nuove opere in alveo. Gli interventi previsti riguardano:

- ✓ la prosecuzione o realizzazione ex novo di difese spondali lungo arginature in frodo;
- ✓ la prosecuzione o realizzazione ex novo di pennelli funzionali a garantire un assetto planimetrico del filone principale di corrente coerente con le necessità della navigazione e conforme ai criteri di

sicurezza idraulica nonché a garantire i fondali minimi utili per il pescaggio delle navi di Va classe europea;

- ✓ attività di dragaggio e movimentazione forzata dei depositi in alveo per garantire il corretto funzionamento delle curve di navigazione. Si osservi come non sia prevista l'asportazione di materiale litoide ma la sola movimentazione nell'ambito delle pertinenze fluviali.

La totalità degli interventi si colloca all'interno delle pertinenze fluviali nonché aree di proprietà demaniale, non sono previsti espropri. Tra le somme a disposizione dell'Amministrazione sono state altresì previste somme per eventuali occupazioni temporanee di terreni che si rendessero necessarie per attività di accantieramento o predisposizione degli accessi per la fornitura a piè d'opera dei materiali.

E' infine opportuno rimarcare come la maggior parte degli interventi necessari ed oggetto della presente progettazione si siano resi necessari per effetto del cospicuo incremento dei depositi alluvionali in alveo. Tale evoluzione è certamente evidente nell'intero tratto d'asta fluviale veneto-emiliana-lombarda a valle di foce Mincio. Anche per effetto dell'interruzione delle attività di escavazione in alveo che ha caratterizzato tale tratto nell'arco dell'ultimo decennio, si è potuto osservare come in numerosi tratti si siano manifestati significativi depositi di sedimenti. Questi sono assolutamente evidenti in alcune delle aree oggetto di intervento nella presente perizia:

- in prossimità dell'abitato di Ficarolo l'intero canale di destra, storicamente presente lateralmente all'isola vegetata, risulta completamente interrito per portate superiori a circa 2000 m<sup>3</sup>/s. Tale situazione impedisce certamente la navigazione in tale porzione concentrando altresì il canale navigabile in sinistra dove è presente un'arginatura in froldo. Anche dal punto di vista dell'assetto idrodinamico in condizione di piene tale configurazione risulta gravosa per le arginature in froldo presenti in sinistra ed interessate sia in passato che oggi da diffusi fenomeni di erosione e franamento a causa delle elevate velocità della corrente nell'intero tratto in adiacenza alle arginature;
- in prossimità dell'abitato di Stienta il pennello presente in sinistra idraulica risulta oggi completamente interrito con un significativo deposito anche nella porzione d'alveo ad esso antistante. L'attuale conformazione morfologica ha altresì comportato ingenti depositi nel tratto di valle in destra idraulica convogliando nuovamente in sinistra il filone principale di corrente, anche in questo caso in prossimità di un'arginatura in froldo che continua ad evidenziare diffusi problemi di erosione ed approfondimento dei fondali al piede arginale.





**Figura 1.** Depositi di materiale litoide presenti nel tratto d'alveo antistante il comune di Ficarolo, in condizioni ordinarie l'intera porzione di canale in destra idraulica risulta interrta con il filone di corrente concentrato in adiacenza all'arginatura in froldo.



**Figura 2.** Depositi di materiale litoide presenti nel tratto d'alveo antistante il comune di Stienta, il pennello esistente risulta oggi completamente interrito con ingenti depositi nel tratto d'alveo antistante ed a valle, in destra idraulica. Oggi si presenta un funzionamento delle due curve sostanzialmente opposto rispetto a quello previsto.

Questi sono solo due chiari esempi di problematiche oramai diffuse nell'intero tratto di fiume Po a valle di foce Mincio che mettono in luce come sia oramai urgente affrontare le problematiche connesse con un incontrollato incremento dei depositi alluvionali al fine di garantire la sicurezza idraulica nell'intero tratto terminale e soddisfacenti condizioni di navigabilità commerciale.

## **4. INDAGINI CONOSCITIVE**

Per la redazione della presente perizia progettuale sono state raccolte tutte le informazioni riguardo le opere idrauliche presenti sul fiume nonché le informazioni necessarie per una corretta caratterizzazione idrologica del fiume, sulla base di:

- tutti i dati reperibili da precedenti studi ed osservazioni;
- una serie di sopralluoghi volti ad identificare le opere, la loro consistenza e il loro stato di conservazione;
- un'analisi dei dati relativi agli interventi idraulici effettuati nel tratto in esame nel recente passato, con particolare riferimento agli interventi che possono aver influenzato l'evoluzione morfodinamica del corso d'acqua e conseguentemente la navigazione;
- tutti i dati topografici disponibili;
- tutti i dati idrologici disponibili;
- l'esame dei progetti di sistemazione del fiume Po esistenti (a corrente libera e non).

Con l'obiettivo di disporre di un quadro conoscitivo omogeneo e dettagliato si individuano i seguenti studi ed approfondimenti quali interventi propedeutici all'avvio dei successivi livelli di progettazione:

- esecuzione di rilievi batimetrici dettagliati nell'intero tratto d'alveo compreso tra foce Mincio e Pontelagoscuro (FE). Tali studi dovranno riguardare certamente l'aggiornamento del quadro conoscitivo dei fondali con tecnica multibeam eventualmente integrati con rilievi a terra per il monitoraggio dei depositi presenti nella parte emersa. Per quanto concerne la porzione di terreno stabilmente emersa in tali condizioni idrometriche si ritengono ancora validi i dati acquisiti negli anni passati e relativi al rilievi Ticino-Mare realizzato da A.I.Po nel 2005 integrato con il rilievo laserscan realizzato dal Ministero dell'Ambiente nell'anno 2008.

- Analisi chimiche dei depositi alluvionali presenti in alveo ed oggetto dei previsti interventi di movimentazione. Tali indagini sono volte a verificarne l'assenza di contaminazioni ai fini degli adempimenti necessari in materia di terre e rocce da scavo.
- Indagini geognostiche, come specificatamente dettagliato nel Paragrafo 4.1, volte alla caratterizzazione sedimentologica e stratigrafica dei terreni di fondazione delle nuove opere e finalizzate all'acquisizione di informazioni necessarie alla valutazione della naturale capacità di trasporto dei sedimenti da parte della corrente fluviale nelle differenti condizioni idrometriche.
- Integrazione della base conoscitiva mediante approfondimenti modellistici in grado di valutare l'efficacia degli interventi proposti secondo gli intenti progettuali. A tal proposito è opportuno evidenziare come nell'ambito del "Progetto preliminare degli interventi relativi alla sistemazione a corrente libera del fiume Po nella tratta compresa tra Isola Serafini e foce Mincio per consentire il transito di unità di navigazione della Va. classe CEMT" sia stato approntato da parte del Centro Universitario Difesa del suolo in Ambiente Montano (CUDAM) dell'Università degli Studi di Trento, su commissione A.I.Po, il modello MODAIPO. Il modello MODAIPO è un modello matematico bidimensionale a fondo mobile particolarmente adatto per lo studio dei fenomeni di variazione morfologica degli alvei fluviali. Sarà quindi oggetto di una nuova convenzione con l'Università degli Studi di Trento la realizzazione di tali indagini.

#### 4.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Data la particolare struttura degli interventi previsti, risulta necessaria l'esecuzione di una specifica campagna di indagini geognostica e geotecnica da eseguire in alveo nelle diverse aree interessate dagli interventi indicati al Paragrafo 7, per un totale di 8 zone d'intervento; forti dell'esperienza maturata nel miglioramento delle condizioni di navigabilità nel tratto di monte "Cremona – Foce Mincio" si procederà alla caratterizzazione geo-meccanica dei terreni di imposta delle opere secondo la metodologia usata nel suddetto tratto e cioè mediante l'utilizzo di idoneo "pontone" per la realizzazione di prove "in situ" di tipo diretto e di idonea imbarcazione per le analisi geoelettriche.

L'obiettivo principale della campagna di indagini geognostiche è quello di pervenire alla conoscenza dettagliata delle condizioni stratigrafiche dei terreni di fondazione delle opere, con particolare riferimento ai seguenti aspetti:

- Ricostruzione di dettaglio della successione litostratigrafica locale;
- Variazioni laterali di facies;
- Caratterizzazione geotecnica dei vari orizzonti stratigrafici.

L'elaborazione dei dati ottenuti consentirà successivamente di ricavare elementi utili al corretto

dimensionamento delle opere in progetto secondo le vigenti NTC 2008.

Il programma delle indagini, il cui finanziamento è inserito nel Quadro economico di progetto alla voce “Rilievi accertamenti e indagini, studi, spese tecniche, ecc.”, prevede prospezioni in alveo dirette ed indirette, prove geotecniche e l’esecuzione di prove di laboratorio, secondo il seguente schema:

TIPO DI INDAGINE			FINALITA'
In alveo		In laboratorio	
Dirette	Indirette		
Sondaggi meccanici a rotazione e carotaggio continuo	Tomografia elettrica		Profilo stratigrafico e parametri litotecnici
	Prove penetr. CPTU		Profilo stratigrafico e parametri litotecnici
			Densità relativa ( $D_R$ ); Angolo d’attrito ( $\varphi$ )
		Analisi granulometrica Limiti di Atterberg	Proprietà Indici – Classificazione CNR-UNI
		Prova edometrica	Coefficiente di compressibilità ( $m_v$ ); Modulo edometrico ( $E_{ed}$ ); Coefficiente di consolidazione ( $C_v$ )
		Prova di taglio Prova triassiale	Angolo d’attrito ( $\varphi$ ); Coesione ( $c$ )

In particolare le indagini geognostiche dovranno prevedere l’esecuzione di:

1. sondaggi a carotaggio continuo
2. prove SPT
3. prelievi di campioni indisturbati ed esecuzione delle relative prove di laboratorio
4. prove CPTU
5. rilievi elettrici con tecnica tomografica elettrica.

Mentre le prove in alveo dirette permetteranno di determinare la successione litostratimetrica dei terreni in corrispondenza delle opere in progetto, con le indagini geofisiche di tipo geoelettrico si determinerà

l'andamento litostratigrafico continuo dei terreni in oggetto mediante la determinazione sperimentale della distribuzione di resistività caratterizzante la struttura elettrica del sottosuolo; questo permetterà di determinare ogni disomogeneità corrispondente ad una diversa capacità di conduzione elettrica presente nel sottosuolo dato che, ad ogni litologia è associata una determinata resistività.

Il tutto verrà eseguito in ottemperanza della seguente normativa di riferimento:

- Decreto ministeriale 14-01-2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14-01-2008, Circolare 2 febbraio 2009
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007
- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997) – Progettazione geotecnica –Parte I: Regole Generali – UNI
- Eurocodice 7.2 (2002) – Progettazione geotecnica –Parte I: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI
- Eurocodice 7.3 (2002) – Progettazione geotecnica –Parte II: Progettazione assistita da prove in sito – UNI
- Consiglio Nazionale delle Ricerche – Bollettino ufficiale - Parte IV Norme tecniche, n°36, Febbraio 1973

## **5. CRITERI E PARAMETRI DI PROGETTAZIONE**

L'area su cui realizzare le opere incluse nel programma, è il medio-basso corso del fiume Po, entro l'alveo di magra (cioè nella parte perennemente bagnata) nel tronco che scorre fra Melara e Pontelagoscuro, per una estesa in lunghezza di circa 34 km; la larghezza della striscia d'acqua interessata, rispetto all'asse del fiume, non supera i 300 m.

Le regioni interessate sono:

- Veneto (prevalentemente), ex provincia di Rovigo, comuni di Melara, Bergantino, Castelmassa, Calto, Ficarolo e Stienta;
- Lombardia (sole difese di sponda), provincia di Mantova, comune di Felonica;
- Emilia-Romagna, provincia di Ferrara, comune di Ferrara.

I tratti oggetto di sistemazione sono otto, ognuno si configura come manutenzione di opere esistenti, pennelli e difese spondali, o realizzazione di nuove opere quali pennelli e/o difesa di sponda accompagnati da locali movimentazioni dei sedimenti depositati in alveo.

Il progetto si propone di migliorare da un lato le condizioni di navigabilità, dall'altro le caratteristiche del complesso sistema ecofluviale con azioni che favoriscono la riattivazione di condizioni pluricursali nei tratti oggetto di intervento.

Il criterio iniziale per la sistemazione a corrente libera del tratto è la definizione della portata e relativa altezza di magra ordinaria al fine d'individuare le quote di sommità delle opere di regolazione da realizzare per ridurre la probabilità delle condizioni di non navigabilità.

Sulla base dello studio svolto nel 2006 dal Servizio Idro-Meteo della regione Emilia-Romagna la magra ordinaria alla sezione di Pontelagoscuro è stimabile con una portata pari a circa 550 mc/s. Tale valore di portata viene qui considerato come valore progettuale di riferimento per la verifica di navigabilità del corso d'acqua in condizioni di magra.

Lo studio svolto dal Servizio Idro-Meteo della regione Emilia-Romagna relativo all'evento di piena che ha interessato il bacino del Po nell'anno 2009 fornisce inoltre una stima dei valori di portata al colmo in diverse sezioni di monitoraggio lungo l'asta principale con riferimento a differenti tempi di ritorno. Alla sezione di Pontelagoscuro, sezione caratteristica dal punto di vista idrologico per l'intero tratto alla studio, la portata al colmo di piena ordinaria è stimabile in circa 5000 mc/s.

Per quanto concerne il dimensionamento delle nuove opere vengono considerati i seguenti parametri progettuali:

- opere di difesa di sponda, quota di sommità pari alla quota di piena ordinaria nella sezione di riferimento di Pontelagoscuro;
- pennelli esistenti oggetto di prolungamento con quota di testa pari a quella attualmente già presente ed oggetto di precedenti studi ed analisi;
- quota di testa dei nuovi pennelli tale da garantire la completa sommersione per portate superiori a 2.500 mc/s. Tale valore di riferimento sarà oggetto di approfondimenti modellistici atti a verificare la correttezza delle ipotesi. Obiettivo prioritario è infatti garantire il funzionamento attivo dell'opera in regime idrometrico dove le velocità della corrente al fondo siano tali da permettere una significativa movimentazione dei sedimenti depositati necessaria per preservare l'incisione del filone principale della corrente necessario per preservare le funzioni di navigabilità anche in condizioni di magra. Tale valore risulta strettamente dipendente sia dalla morfologia peculiare di ciascun sito di intervento sia dalle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

Le verifiche modellistiche previste in sede di progettazione definitiva dovranno altresì riguardare l'assetto idrometrico in condizioni progettuali relativamente all'intero tratto di intervento con riferimento ai seguenti aspetti:

- garanzia di navigabilità dell'intero tratto con riferimento alla portata di magra assunta in progetto;
- verifica dell'assetto plano-altimetrico in regime di piena per verifica della trasparenza delle opere previste con riferimento ai livelli di massima piena previsti lungo l'asta principale;
- verifiche di trasporto solido dei sedimenti con analisi dell'effettiva capacità di movimentazione e trasporto in relazione alle classi granulometriche osservate nelle varie sezioni. Previsione delle aree di erosione/deposito e bilancio di sedimenti nel lungo periodo.

## **6. CARATTERISTICHE DELLE OPERE**

Gli interventi previsti si possono riassumere come segue:

1. manutenzione e ripristino delle opere trasversali (pennelli) o longitudinali (difese radenti);
2. realizzazione di nuove opere trasversali (pennelli) o longitudinali (difese radenti);
3. movimentazione in ambito fluviale di sedimenti depositati al fine di riattivare un corretto funzionamento delle curve di navigazione e ripristinare un carattere pluricursale del fiume.

I nuovi pennelli avranno larghezza in sommità pari a 3,00 m e pendenza delle scarpate pari a 2/3.

Le tipologie realizzative risulteranno specifiche per ciascun sito oggetto di intervento in relazione al peculiare assetto lito-stratigrafico dei terreni di fondazione, all'assetto morfologico del corso d'acqua nell'area di intervento ed alla funzionalità specifica di ciascuna opera.

In linea generale possono essere definite le seguenti tipologie costruttive riproposte successivamente, a seconda delle necessità, nella descrizione dei vari interventi:

### **PENNELLI LONGITUDINALI E/O TRASVERSALI**

- strato di base di fondazione delle opere costituito da tappeti zavorrati, posati nel senso della lunghezza in direzione della corrente. La presenza dei tappeti, che fuoriusciranno di circa 3,00 m rispetto all'impronta dell'opera, garantirà il piede dell'opera stessa rispetto ad eventuali erosioni del fondo;
- nucleo di burghe in pietrame del volume pari a circa 0,6 mc ciascuna. Tale nucleo, di pendenza pari a circa 2/3, verrà ricoperto con pietrame di piccola pezzatura per preservare l'integrità stessa delle burghe;

- nucleo di sacconi in sabbia di volume pari e 2 mc o 25mc, anche in tale caso il ricoprimento avverrà con un primo strado di ciottoli o pietrame di piccola pezzatura per garantire un'adeguata protezione del geotessuto di contenimento dei sacconi;
- posa in opera di pietrame di cava non gelivo di differenti pezzature, a ricoprimento del nucleo e di completamento della sagoma progettuale con larghezza in sommità minima di 3m e pendenza delle scarpate pari a 3/2.

#### DIFESE DI SPONDA RADENTI

- realizzazione di berma sommersa al piede della scarpata arginale mediante la posa in opera di burghe in pietrame del volume pari a circa 0,6 mc ciascuna per stabilizzazione del talweg e formazione del piano di posa della difesa spondale;
- formazione del nucleo della berma sommersa al piede arginale mediante posa in opera di sacconi in sabbia di volume pari e 2 mc o 25mc;
- ricoprimento del nucleo della berma con ciottoli o pietrame di piccola pezzatura a protezione del geotessuto di formazione dei sacconi e delle burghe di fondazione;
- posa in opera di pietrame di grossa pezzatura (300/800 kg) a formazione del corpo della berma sommersa;
- rimaneggio di scogliere esistenti, risagomatura della scarpata arginale e formazione di rilevato con terreno demaniale per la formazione ed il ripristino della scarpata arginale a fiume;
- ricoprimento della scarpata oggetto di intervento con geotessuto;
- formazione di rivestimento spondale in pietrame di cava non gelivo, pezzatura 100/300 kg.

L'insieme delle lavorazioni previste richiede l'utilizzo di pontone trattandosi di lavorazioni eseguite prevalentemente all'interno del corpo idrico.

Sono inoltre previste lavorazioni accessorie non quantificate analiticamente in sede di progettazione preliminare inerenti:

- sfalci, decespugliamenti e taglio di piante per la pulizia delle aree oggetto di intervento per operazioni di accantieramento e formazione di piste di cantiere;
- formazione di piste di cantiere mediante movimentazione del materiale in sito, posa di misto granulare stabilizzato;



- interventi complementari di ripristino delle piste di servizio in sommità arginale utilizzate per la fornitura dei materiali al cantiere;
- interventi di movimentazione e dragaggio dei depositi fluviali nell'abito dello stesso corpo idrico, tali interventi sono funzionali al ripristino della corretta funzionalità delle opere di regimazione a corrente libera già presenti in alveo.

## **7. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI**

Nel paragrafo seguente verranno descritti singolarmente gli interventi previsti in progetto per ciascuna località presa in esame. Gli interventi sono trattati in ordine progressivo da monte verso valle.

### **7.1 MELARA**

Il tratto di asta fluviale immediatamente a monte dell'abitato di Melara è caratterizzato dalla presenza duratura di un basso fondale originatosi in nella zona di transito del filone principale della corrente dalla sponda destra verso quella sinistra. In tale zona caratterizzata da un allargamento della sezione si determinano depositi di materiale trasportato dalla corrente. Tale situazione risulta significativamente aggravata dall'interruzione della difesa spondale in sinistra idraulica a protezione dell'area golenale, infatti in corrispondenza dell'idrometro di Melara (stante n.9) si riscontra infatti l'assenza della difesa spondale per un tratto piuttosto esteso (circa 240 m). In tale area con il passare del tempo si è approfondita un'insenatura che si protende all'interno dell'area golenale. In tale area trovano oggi approdo alcuni pontili in concessione a privati e/o amministrazioni comunali. La presenza di tale insenatura produce l'intrusione del filone principale di corrente favorendo i depositi di sedimenti nel tratto d'alveo antistante. L'arretramento della linea di sponda costituisce pertanto l'elemento principale di interruzione del regolare andamento dell'alveo canalizzato necessario agli scopi di navigazione commerciale.



**Figura 3.** Curva di Melara: in destra idrografica ingenti depositi confinano il filone principale di corrente in adiacenza all'esistente pennello in sinistra, l'improvvisa interruzione di quest'ultimo favorisce la formazione di fondali superiori a 20 m anche in magra alla testa del pennello, depositi di materiale litoide lungo l'ottimale asse del canale navigabile ed profonde erosioni di sponda sull'arginatura maestra in sinistra idraulica.

L'intervento proposto prevede pertanto il ripristino dell'originale andamento della linea di sponda mediante la realizzazione di un pennello che si intesta sull'attuale difesa presente a monte dell'insenatura e che procede con andamento curvilineo assecondando l'andamento della sponda a monte ed a valle della lunata. L'intervento previsto è volto quindi a risolvere una problematica puntuale mediante la realizzazione di un'opera di lunghezza pari a 200 m e quota di sommità pari a +11,50 m s.m.m.

La tipologia costruttiva prevede:

- lo scavo in alveo per la realizzazione del piano di posa del pennello atto a garantire la stabilità dell'opera anche a fronte delle previste erosioni al piede;
- realizzazione del nucleo del pennello mediante l'annegamento di sacconi in sabbia da 25 mc;
- la posa in opera di pietrame di piccola pezzatura (10/50 kg) a ricoprimento del nucleo in sacconi al fine di realizzare una sottile mantellata a protezione del geotessuto di contenimento;
- la posa in opera di pietrame di grossa pezzatura (300/880 kg) per la realizzazione del corpo del pennello;

- il completamento e la sagomatura finale dell'opera mediante la posa di pietrame pezzatura 100/300 kg;
- lo scavo in alveo mediante draga autoaspirante o autocaricante per la rimozione dei sedimenti e lo scavo del canale navigabile. Il materiale di risulta verrà posto a tergo del nuovo pennello a parziale saturazione dell'insenatura. Tale intervento garantisce inoltre la stabilità dell'opera stessa.

## 7.2 BERGANTINO

L'ansa di Bergantino è caratterizzata da una strettissima curva verso destra, tale conformazione morfologica determina circolazioni secondarie con notevoli depositi in sponda destra all'interno della curva ed accentuati fenomeni erosivi all'argine "in battuta" in sponda sinistra. La presenza di un territorio oramai fortemente antropizzato nelle aree poste lateralmente alle arginature maestre impedisce di prevedere interventi che vadano a ridisegnare completamente l'assetto morfologico del corso d'acqua conferendo un assetto planimetrico costituito da serie di curve a debole raggio di curvatura che impediscano la divagazione naturale dell'alveo di magra e mantengano un'incisione d'alveo tale da garantire la navigazione commerciale anche in condizioni di magra.



**Figura 4.** Ansa di Bergantino: in destra idrografica ingenti depositi confinano il filone principale di corrente in adiacenza all'esistente pennello in sinistra, l'improvvisa interruzione di quest'ultimo favorisce la formazione di fondali superiori a 20 m anche in magra alla testa del pennello, depositi di materiale litoide lungo l'ottimale asse del canale navigabile ed profonde erosioni di sponda sull'arginatura maestra in sinistra idraulica.

L'attuale conformazione planimetrica determina una progressiva intrusione dei depositi sabbiosi presenti in destra idraulica verso l'arginatura sinistra determinando a valle dell'ansa in pericoloso restringimento. Tale conformazione risulta infatti dannosa ai fini della navigazione e pericolosa dal punto di vista della sicurezza idraulica. I depositi di materiale litoide si protraggono infatti all'interno del tracciato ottimale ai fini della navigazione "costringendo" il filone principale di corrente in sinistra idraulica. Nella zona di testa dell'esistente pennello di Bergantino si genera quindi un'area di erosione con fondali che superano i 22m anche in condizioni di magra. Questa conformazione mina quindi la sicurezza della stabilità del pennello stesso. D'altro canto la brusca interruzione del pennello e la presenza di depositi in destra idraulica costringe il filone di corrente "in battuta" sull'arginatura maestra in sinistra determinando fenomeni erosivi al piede arginale, critici ai fini della sicurezza idraulica.

L'intervento previsto persegue quindi la finalità di favorire una naturale e continua movimentazione dei depositi sabbiosi, l'allontanamento del talweg dall'arginatura maestra in sinistra idraulica ed il contemporaneo mantenimento di un andamento planimetrico regolare del canale navigabile.

Nell'area indagata sono già presenti le seguenti opere:

- difesa in cassero lungo la riva golenale in sinistra a monte delle curva fluviale realizzata a protezione dell'area golenale;
- pennello ubicato in sponda sinistra e finalizzato a convogliare il filone principale della corrente lontano dall'argine sinistro in battuta.

L'intervento proposto prevede il prolungamento del pennello esistente per un tratto di circa 430 m secondo una curvatura tale da raccordarsi in modo tangente all'arginatura maestra in sinistra idraulica. Il prolungamento avverrà mantenendo inalterata la sagoma del pennello esistente con sommità posta a +11,20 m s.m.m. e larghezza pari a 6,00 m.

La tipologia costruttiva del previsto prolungamento del pennello prevede:

- la realizzazione di una prima coronella in burghe in pietrame del volume pari a circa 0,6 mc al piede del pennello, lato fiume;
- il riempimento a tergo della coronella mediante l'annegamento di sacconi in sabbia del volume di 25 mc;
- la realizzazione di una seconda coronella in burghe lato fiume volta a stabilizzare il paramento di sponda del pennello;

- il successivo tombamento a tergo mediante la nuova posa di sacconi in sabbia da 25 mc;
- la posa di ciottoli o pietrame di piccola pezzatura (10/50 kg) a ricoprimento e protezione dei sacconi;
- il completamento e sagomatura dell'opera mediante la posa in opera di pietrame di ciclopico (300/800 kg) lato fiume e pezzatura 100/300 kg nella parte emersa e lungo il paramento esterno;
- il dragaggio e la movimentazione di parte dei depositi sabbiosi al fine di delineare il nuovo assetto del canale navigabile con posizionamento del materiale di risulta a tergo del pennello al fine di favorirne l'azione stabilizzatrice.

### **7.3 CASTELMASSA – BOSCO CAPOSOTTO**

La curva di Castelmassa è estremamente stabile ma la corrente, una volta terminata la curva, andrebbe guidata al lato opposto per mantenerne l'assetto unicursale e, quindi, una buona profondità delle sezioni incise.

Si tentò, negli anni '90, un'opera di regimazione che era di per sé di concezione eccessivamente timida; a ciò si aggiunga che il cantiere venne funestato da problemi contrattuali tali da costringere a dilatare i tempi di anni e, conseguentemente, ad effettuare varianti riduttive per cui l'opera pensata è oggi da ritenere inattuale, per quanto rimanga immutata l'esigenza di base e per quanto si possano apprezzare segni che testimoniano la bontà della strada intrapresa.

Si prevede di completare il disegno preesistente e di implementare lo stesso di un ulteriore pennello con pianta a T, lungo 135 m., per deviare in maniera permanente la corrente verso il lato Sud, nel quale verrà effettuato uno scavo di invito per garantire una fase transitoria non traumatica.

### **7.4 CALTO - STREGGIA**

C'è la necessità di fissare la traversata della corrente da sinistra a destra idraulica in un punto ben definito, che garantisca anche un pescaggio certo per l'impianto idrovoro di Salara.

Si prevede, perciò, di realizzare due pennelli a T di lunghezza rispettivamente 150 e 265 m e distanti fra loro 300 m, onde determinare un alveo di magra che transiti gradualmente da sponda veneta a sponda mantovana.

STREGGIA rappresenta il punto di battuta, solo parzialmente difeso, della corrente deviata dai futuri pennelli di Calto lungo la sponda opposta: va completata la difesa di sponda per una lunghezza di circa 500 m.

### **7.5 FICAROLO**

Il tratto di argine in frodo in sinistra del fiume Po in corrispondenza dell'abitato di Ficarolo rappresenta oggi uno dei punti di maggior criticità per la sicurezza idraulica del Polesine in relazione a possibili alluvioni del fiume Po ponendo nel contempo problematiche per quanto concerne la navigazione soprattutto nel tratto iniziale di curva. Esso è infatti un tratto d'argine "in botta", direttamente esposto all'impatto della corrente fluviale che lo investe con un angolo di forte incidenza. L'evoluzione morfologica di tale ansa fluviale risulta



evidente dalla comparazione di due ortoimmagini acquisite a soli sette anni di distanza (2000 – 2007) e riportate in Figura 5 e Figura 6.



**Figura 5.** Ortoimmagine dell'ansa di Ficarolo acquisita nel 2000. L'abitato di Ficarolo in sinistra idrografica (a destra nell'immagine) risulta parzialmente protetto rispetto al filone principale della corrente.



**Figura 6.** Ortoimmagine dell'ansa di Ficarolo acquisita nel 2007. L'abitato di Ficarolo in sinistra idrografica (a destra nell'immagine) risulta direttamente investito dal filone principale della corrente. In destra idrografica sono emersi estesi e rilevanti depositi che hanno interamente ostruito il ramo principale del fiume Po ora fortemente concentrato in sinistra idraulica. L'area golenale in sinistra è stata oggetto di una profonda erosione.

Storicamente infatti il filone principale di corrente risultava concentrato in destra idraulica mentre in sinistra alcuni depositi a monte dell'abitato di Ficarolo ed un'isola garantivano una parziale protezione del sistema arginale nei confronti dell'azione erosiva della corrente. Il canale di destra in passato veniva mantenuto in condizioni di buona officiosità idraulica anche per la presenza di un'attività di cava autorizzata che per garantire l'accesso all'area di cantiere lato fiume manteneva costantemente dragato il canale. La sospensione di tutte le attività estrattive e di deposito di inerti negli ambiti golenali ha altresì prodotto la cessazione di tali interventi di manutenzione del canale, svolti da privati, ed il conseguente completo interrimento del ramo di destra. La situazione attuale risulta profondamente difforme e solo parzialmente comprensibile dalla Figura 6 (in quanto risale all'anno 2007). Il filone principale di corrente risulta oggi interamente concentrato in sinistra idraulica con il vecchio ramo completamente sedimentato e parzialmente attivo solamente in condizione di piena.

Dal punto di vista della navigazione commerciale i maggiori problemi si evidenziano nel tratto iniziale di curva dove i sedimenti depositati in destra idraulica si protraggono, poco al di sotto del pelo libero dell'acqua in condizioni di magra, in modo uniforme fino al limite golenale sinistro. La risoluzione del problema in tale tratto può essere perseguita unicamente mediante un intervento integrato nella curva di monte e nel tratto di valle andando a limitarne il raggio di curvatura.

Dal punto di vista della sicurezza idraulica la criticità del tratto di argine sinistro ha origini antiche, l'intero froldo di Ficarolo è stato oggetto, sia recentemente che nel passato, di ripetuti fenomeni franosi di varia entità. Anche sulla base delle indagini di carattere geotecnico condotte negli ultimi anni appare lecito ricondurre tali movimenti franosi all'azione erosiva al piede della bassa sponda da parte della corrente fluviale, tale comportamento è certamente evidenziato dai crescenti e profondi fondali riscontrati in adiacenza all'arginatura in froldo in sinistra idraulica.

L'intervento di sistemazione definitiva del tratto arginale prospiciente l'abitato di Ficarolo non può pertanto prescindere dall'affrontare le problematiche idrauliche più generali che lo riguardano. La sicurezza idraulica può essere perseguita allontanando il filone principale di corrente dall'arginatura in froldo, riducendo quindi i fondali immediatamente a ridosso della sponda sinistra, ripristinando l'assetto planimetrico originario "anticipando" quindi la curva a monte, restringendone in parte la curvatura e favorendo la riattivazione del ramo destro dell'alvo, oggi interessato dalla corrente solo per elevati valori di portata.

La riqualificazione della curva oggi in progetto è di tipo attivo, ovvero, intervenendo sulle cause del dissesto e non limitandosi a tamponarne gli effetti negativi, punta ad eliminare le cause primarie stesse del fenomeno conformandosi alla filosofia più generale del progetto di sistemazione a corrente libera del fiume Po per consentire il transito di una unità di navigazione della Va classe CEMT).

L'attesa riconquista di un assetto equilibrato del deflusso delle acque, con l'allontanamento del talweg dall'argine sinistro, andrà ad aumentare il livello di sicurezza idraulica del tratto fluviale mantenendo e migliorando dall'altro le condizioni di navigabilità del corso d'acqua.



Figura 7. Quadro sinottico degli interventi previsti sull'ansa di Ficarolo.

L'intervento preventivato nell'ambito di tale perizia è coordinato con le opere previste nelle due curve a monte e prevede:

- un primo intervento in corrispondenza degli st. 133-134 con la realizzazione di una difesa di sponda di protezione del labbro golenale in erosione investito direttamente dalla corrente. Tale intervento, della lunghezza complessiva di 150 m, è propedeutico anche alla realizzazione di un primo pennello che andrà ad intestarsi nella nuova difesa radente;
- lungo la sponda sinistra è poi prevista la realizzazione di n.11 pennelli con interasse di 200 m, lunghezza 50 m, quota in sommità +6,25 m s.m.m. e larghezza in sommità pari a 3,00 m. La funzione dei pennelli risulta quella di favorire un arretramento della linea di talweg dall'arginatura maestra, favorire un restringimento dell'alveo attivo tale da innescare fenomeni erosivi in grado di riattivare anche la porzione destra dell'alveo oggi completamente interrita garantendo nel contempo la stabilità



della linea di navigazione e l'incisione d'alveo necessaria all'ottimale transito delle imbarcazioni. Nel tratto iniziale della curva inoltre i pennelli garantiscono la movimentazione dei sedimenti depositati che oggi determinano bassi fondali nel punto di transito tra due curve consecutive;

- in sponda sinistra è poi previsto un intervento di ricarica e sistemazione della difesa di sponda in tratte saltuarie oggetto di precedenti interventi manutentivi. L'intervento in parola è finalizzato al mantenimento ed al risanamento della difesa di sponda necessario sia alla stabilità arginale sia al mantenimento di un canale navigabile con tracciato stabile e pescaggio adeguato;
- prosecuzione verso valle della difesa di sponda esistente per completare l'assetto progettuale dell'intera curva di navigazione fino al ponte Ficarolo – Stellata.

Le tipologie costruttive sono di seguito dettagliate:

#### PENNELLI

- strato di base di fondazione delle opere costituito da tappeti zavorrati, posati nel senso della lunghezza in direzione della corrente. La presenza dei tappeti, che fuoriusciranno di circa 3,00 m rispetto all'impronta dell'opera, garantirà il piede dell'opera stessa rispetto ad eventuali erosioni del fondo;
- nucleo di sacconi in sabbia di volume pari a 25mc, il ricoprimento avverrà con un primo strato di ciottoli o pietrame di piccola pezzatura per garantire un'adeguata protezione del geotessuto di contenimento dei sacconi;
- posa in opera di pietrame di cava non gelivo di differenti pezzature, a ricoprimento del nucleo e di completamento della sagoma progettuale con larghezza in sommità minima di 3m e pendenza delle scarpate pari a 3/2.

#### DIFESE DI SPONDA RADENTI

- formazione di berma sommersa mediante posa in opera di pietrame di grossa pezzatura (300/800 kg);
- rimaneggio di scogliere esistenti, risagomatura della scarpata arginale e formazione di rilevato con terreno demaniale per la formazione ed il ripristino della scarpata arginale a fiume;
- eventuale ricoprimento della scarpata oggetto di intervento con geotessuto;
- formazione di rivestimento spondale in pietrame di cava non gelivo, pezzatura 100/300 kg.

### 7.6 GAIBA

Anche qui si ripresenta la necessità di fissare la traversata della corrente da sinistra a destra idraulica in un punto ben definito anche se, fortunatamente, non vi sono problemi di idrovore cui garantire il pescaggio;

tuttavia è la zona che determina l'inizio della consecuzione di curve e controcurve da cui dipende l'assetto idraulico di diversi km successivi di fiume quindi riveste primaria importanza nell'ordine d'esecuzione.

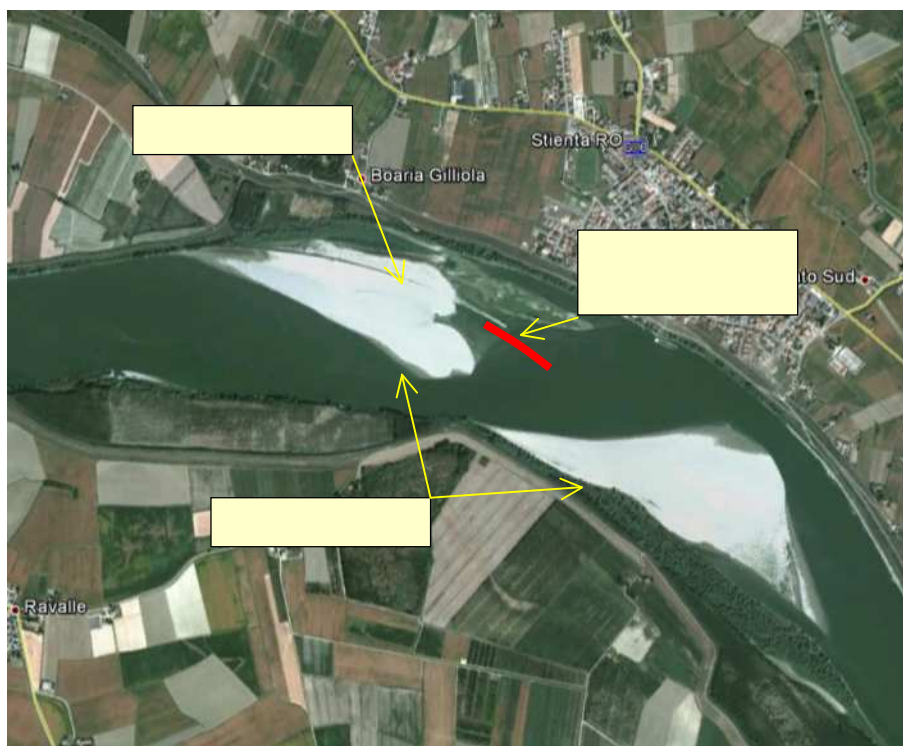
Si prevede di realizzare quattro pennelli a T distanti fra loro dai 100 ai 160 m e lunghi dai 40 ai 135 m; i pennelli sono costruiti con inclinazione in favore di corrente.

### 7.7 CANTARANA-RAVALLE

Cantarana riceve la corrente da Gaiba quindi va completata la difesa segnalando che, ad oggi, vi sono fenomeni erosivi che depauperano rapidamente la golenia di esigue dimensioni ivi in fregio promettendo di intaccare, nel medio periodo, la stabilità dell'argine retrostante. Il successivo pennello di Ravalle, la cui costruzione non fu mai completata, oltre ad essere eccessivamente breve è anche fuori asse con la linea del thalweg atteso: qualora esso funzionasse nella propria conformazione attuale, indirizzerebbe la corrente a valle dell'attuale pennello di Stienta rendendo inefficiente l'investimento in esso effettuato. Si prevede di completare la difesa di sponda di Cantarana e realizzare tre pennellini a T sopra l'attuale pennello di Ravalle; i pennelli distano fra loro 200 e 260 m e la loro lunghezza va dai 40 ai 125 m.

### 7.8 STIENTA

Nel corso degli ultimi anni in prossimità dell'abitato di Stienta (RO) si è manifestato un profondo cambiamento dell'assetto morfologico del corso d'acqua. In particolare si evidenzia come, in corrispondenza degli stanti 192-201, sia stato realizzato, tra il 1995 ed il 2000, un pennello in sponda sinistra finalizzato all'allontanamento del filone principale di corrente dall'argine in frodo, oggetto in passato di profondi e diffusi fenomeni erosivi di sponda. Tale pennello è stato oggetto nel corso dell'anno 2010 di lavori di manutenzione e ricarica della testa interessata da fenomeni di scalzamento al piede.



**Figura 8.** Quadro sinottico dell'assetto morfologico del corso d'acqua e degli interventi di regimazione a corrente libera previsti in corrispondenza dell'abitato di Stienta (RO).

L'effettiva funzionalità del repellente è tuttavia andata progressivamente riducendosi nel corso degli ultimi due anni in seguito alla formazione di depositi antistanti il pennello stesso. Detti arenili mantengono il filone principale di corrente lontano dal repellente che pertanto non risulta in esercizio se non per un tratto limitato e solamente in regime di piena. Tale conformazione morfologica concentra inizialmente il filone di corrente principale in battuta sulla sponda destra per poi dirigere lo stesso verso l'argine in froldo in sinistra idrografica con incidenza pressoché ortogonale immediatamente a valle dell'abitato di Stienta. Tale comportamento è inoltre acuito dalla presenza di sempre più estesi e stabili depositi in destra idrografica tra gli st. 203-209 tali da occludere la maggior parte della sezione libera in condizioni di magra.

La conformazione planimetrica ed altimetrica dei depositi ha quindi determinato una forte incisione d'alveo in alcune tratte. Tra gli st. 203-209 sono stati infatti registrati, in condizioni di magra, fondali superiori ai 14 m. in prossimità all'argine in froldo in sinistra idrografica. L'incisione d'alveo risulta inoltre accompagnata da diffusi fenomeni erosivi lungo la scarpata lato fiume, prodromici dell'attivazione di possibili movimenti franosi della sponda stessa e tali da coinvolgere e compromettere la stabilità dell'argine ad essa prospiciente.

D'altro canto la peculiare conformazione morfologica ha determinato la formazione di bassi fondali che impediscono la navigazione. Infatti in corrispondenza del passaggio del filone di corrente dalla sponda destra alla sponda sinistra nel tratto compreso tra i due arenili ed in corrispondenza dell'idrometro di Stienta (dove è anche presente un approdo fluviale in concessione all'Amministrazione comunale di Stienta) si è progressivamente acuita la problematica legata al deposito di sedimenti al fondo tale da limitare in battente idraulico anche a poche decine di centimetri in condizioni di magra.

L'intervento previsto persegue quindi la finalità di favorire una naturale e continua movimentazione dei depositi sabbiosi, l'allontanamento del talweg dall'arginatura maestra in sinistra idraulica ed il contemporaneo mantenimento di un andamento planimetrico regolare del canale navigabile.

L'intervento proposto prevede il prolungamento del pennello esistente per un tratto di circa 400 m. Il prolungamento avverrà mantenendo inalterata la sagoma del pennello con sommità posta a +4,89 m s.m.m. e larghezza pari a 3,00 m. La corretta funzionalità dell'opera è legata alla realizzazione degli interventi previsti a monte (i.e., Ravalle). I pennelli di Ravalle infatti svolgono la funzione di convogliare il filone di corrente in sinistra idraulica e favorire la naturale movimentazione dei depositi posti anteriormente al pennello di Stienta. Solamente in tale condizione infatti il pennello riprenderà a svolgere appieno la propria funzione, il previsto prolungamento dello stesso dovrà peraltro favorire la movimentazione dei depositi in destra idraulica riportando in tal modo l'assetto planimetrico del corso d'acqua in condizioni consone a mantenere il corretto funzionamento delle curve di navigazione ed un'incisione d'alveo (necessaria alla navigazione) in posizione non pericolosa per la sicurezza idraulica delle opere di difesa.

La tipologia costruttiva del previsto prolungamento del pennello prevede:

- lo scavo in alveo per la realizzazione del piano di posa del pennello atto a garantire la stabilità dell'opera anche a fronte delle previste erosioni al piede;
- realizzazione del nucleo del pennello mediante l'annegamento di sacconi in sabbia da 25 mc;
- la posa di ciottoli o pietrame di piccola pezzatura (10/50 kg) a ricoprimento e protezione dei sacconi;
- il completamento e sagomatura dell'opera mediante la posa in opera di pietrame di ciclopico (300/800 kg) e pezzatura 100/300 kg a completamento e finitura della sagoma;
- il dragaggio e la movimentazione di parte dei depositi sabbiosi allo scopo di delineare il nuovo assetto del canale navigabile con posizionamento del materiale di risulta a tergo del pennello al fine di favorirne l'azione stabilizzatrice.

## **8. TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE**

Per quanto riguarda il tempo utile per dare compiuti i lavori, tenuto conto del tipo di lavorazioni previste e della particolare attrezzatura necessaria per eseguirle, si ritengono congrue le seguenti tempistiche relative a ciascun sito oggetto di intervento:

- MELARA, 300 giorni (trecento);
- BERGANTINO, 600 giorni (seicento);
- CASTELMASSA – BOSCO CAPOSOTTO, 300 giorni (trecento);
- CALTO – STREGGIA, 600 giorni (seicento);
- FICAROLO, 600 giorni (seicento);
- GAIBA, 600 giorni (seicento);
- CANTARANA – RAVALLE, 300 giorni (trecento);
- STIENTA, 300 giorni (trecento).

questi comprensivi di un 10% di giorni con andamento stagionale sfavorevole relativi sia alle giornate caratterizzate da eventi metereologici avversi, da elevati livelli idrometrici del fiume Po, sia a quelle immediatamente successive a motivo della impraticabilità dei luoghi.

## **9. UTILIZZO E MANUTENZIONE DELLE OPERE**

La tipologia delle opere previste non necessita di nessuna particolare modalità d'utilizzo mentre è necessario una periodica manutenzione per verificarne la perfetta integrità (almeno dopo ogni evento alluvionale di una certa entità).

Va inoltre previsto un costante monitoraggio dei fondali per verificare l'efficacia delle opere predisponendo eventuali attività di movimentazione del materiale qualora si manifestino depositi in zone potenzialmente dannose per la garanzia di navigabilità del corso d'acqua o per la sicurezza idraulica nei territori contermini.

## **10. ACQUISIZIONE DI AREE O IMMOBILI**

Le aree oggetto di intervento si collocano interamente all'interno di terreni intestati catastalmente a "DEMANIO PUBBLICO DELLO STATO OPERE IDRAULICHE DI 2^ CATEGORIA".

Tale classificazione è conforme per quanto concerne:

- le aree oggetto di realizzazione dei nuovi pennelli;
- le aree oggetto di intervento manutentivo della difesa arginale lato fiume;
- le aree individuate per la movimentazione del materiale litoide deposito mediante scavo e/o dragaggio.

Per quanto concerne le vie di accesso alla zona d'intervento ed interessate dal transito dei mezzi d'opera nonché dei mezzi di approvvigionamento dei materiali in cantiere potrà rilevarsi la necessità operativa di utilizzare parzialmente aree private oltre a vie di comunicazione pubbliche ed aree demaniali (i.e., sommità arginale). Alla luce di questo è stato previsto di accantonare tra le somme a disposizione della P.A. i fondi per il pagamento degli oneri di occupazione temporanea. La localizzazione nonché la quantificazione delle aree interessate sarà puntualmente dettagliata nelle successive fasi progettuali.

## **11. PROCEDURE AUTORIZZATIVE AMBIENTALI**

**Il quadro dei lavori da eseguire prefigura, più che un progetto di sistemazione, un programma di interventi per la sistemazione dell'alveo di magra.**

**Ai sensi del D.lgs 152/2006 i programmi di opere sono soggetti a Valutazione Ambientale Strategica (VAS) e Valutazione di Incidenza (procedura da includere nella procedura di VAS) che, nella fattispecie, vede AIPo come soggetto proponente e la Regione Emilia-Romagna quale Autorità**

Competente; i singoli interventi, successivamente, saranno soggetti a Valutazione di Impatto Ambientale che, però, dovranno tenere conto degli esiti della precedente VAS.

Per quanto apparentemente si appesantisca il complesso autorizzativo, si tratta di una procedura che rende estremamente più flessibile l'iter complessivo: in questa maniera si possono effettuare variazioni (inevitabili vista la natura delle opere in programma) alla forma ed alle dimensioni nonché al numero delle opere in programma (purché esso non venga snaturato) senza dover ripetere passi procedurali già espletati, a differenza di quanto sarebbe necessario se la consecuzione di opere venisse considerata un'unica opera da sottoporre ad una sola VIA.

La VIA di ogni singolo intervento, poi, sostituirà ogni altro atto autorizzativo.

Si fa notare che gli interventi da eseguire nella Regione Veneto potrebbero essere eseguiti anche senza la VIA, vista la particolare natura degli stessi interventi e vista la particolare legislazione cui la Regione Veneto sottopone interventi simili; si precisa, però, che quest'ultima condizione necessita di verifica concorde con i funzionari della Regione stessa in merito all'interpretazione della legislazione.

## 12. QUADRO ECONOMICO

Il quadro economico risultante dalla perizia è il seguente:

A	IMPORTO TOTALE DEI LAVORI	€ 46.386.286,92
---	---------------------------	-----------------

B	ONERI PER LA SICUREZZA (non soggetto a ribasso d'asta):	€ 463.862,87
---	---	--------------

Importo Totale netto a base di contratto A+B:

IMPORTO TOTALE LAVORI ED ONERI SICUREZZA	<b>€ 46.850.149,79</b>
--	------------------------

C) Somme a disposizione della stazione appaltante (Iva inclusa) per:

Incentivo di cui all' art. 92 D.lgs. 163/2006 e ss. mm. (2% di A + B)	€ 937.003,00
Rilievi accertamenti e indagini, studi, spese tecniche, ecc.	€ 1.874.005,99
Spese per pubblicità e appalti	€ 250.000,00
Assicurazione progettisti	€ 285.785,91
Imprevisti	€ 4.964.523,85
IVA al 21% su A + B	€ 9.838.531,46
<b>Totale somme a disposizione (Iva inclusa)</b>	<b>€ 18.149.850,22</b>
<b>Sommano A + B + C</b>	<b>€ 65.000.000,00</b>