

FIUME PO

SISTEMAZIONE A CORRENTE LIBERA PER LA NAVIGAZIONE CON IMBARCAZIONI DI CLASSE Va NEL TRATTO CASTELMASSA - STIENTA

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE, DEI LAVORI DI "ADEGUAMENTO DELLE CONDIZIONI DI NAVIGABILITÀ DELL'ALVEO DI MAGRA DEL FIUME PO PER NAVI DI CLASSE Va - TRATTO REVERE-FERRARA" FINANZIATO CON LEGGE 413 /98 EMILIA ROMAGNA FE-E-7-N.I. - CUP I81E06000010002 - CIG 68067557EA

Progetto Esecutivo
1° Stralcio funzionale

Responsabile del Procedimento:
Ing. Alessio Picarelli

Oggetto: RELAZIONE GENERALE DI PROGETTO
ESECUTIVO

R.01

02 Revisione

01 Revisione

00 Emissione

NOVEMBRE 2023

LUGLIO 2023

Progetto R.T.I.:

Capogruppo mandataria:

Binini Partners S.r.l.
via Gazzata,4 tel +39.0522.580.578
42121 Reggio Emilia C.F. e P.IVA e R.I. 02409150352



Mandanti:



INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
1.2. INQUADRAMENTO STORICO-GEOGRAFICO	8
1.3. FINALITÀ PROGETTUALI.....	10
2. IL SISTEMA IDROVIARIO PADANO-VENETO E IL QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	16
2.1. RETE IDROVIARIA NAZIONALE E IL SISTEMA IDROVIARIO PADANO-VENETO	16
2.2. RIFERIMENTI NORMATIVI	20
2.3. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE IMBARCAZIONI E DELLA VIA NAVIGABILE PER LA CLASSE VA	21
3. LA SISTEMAZIONE A CORRENTE LIBERA DEL FIUME PO	24
3.1. ORIGINI DELLA NAVIGAZIONE MODERNA	24
3.2. LA SISTEMAZIONE DEL TRONCO DI MONTE.....	25
4. ANALISI DELLE ATTUALI CONDIZIONI DI NAVIGABILITA' DEL TRONCO FOCE MINCIO-PO DI GORO.....	30
4.1. PREMESSA	30
4.2. TRATTO DA FOCE MINCIO AL PO DI GORO: ANALISI NAVIGABILITÀ ATTUALE E INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI CRITICI	30
4.3. CRITERI DI INDIVIDUAZIONE DEGLI INTERVENTI DI SISTEMAZIONE A CORRENTE LIBERA NEL TRATTO DA FOCE MINCIO AL PO DI GORO	31
4.4. TRATTO DA FOCE MINCIO AL PO DI GORO: ANALISI DEI BASSI FONDALI ALLO STATO ATTUALE	34
5. SISTEMAZIONE A CORRENTE LIBERA DEL TRONCO IN PROGETTO.....	43
5.1. PREMESSA	43
5.2. DESCRIZIONE DELL'ASSETTO DI PROGETTO NEL TRATTO DI INTERVENTO	44
5.2.1. <i>Il progetto preliminare di AIPO</i>	47
5.3. DESCRIZIONE DELL'ASSETTO DI PROGETTO COMPLESSIVO.....	53
5.3.1. <i>Descrizione degli interventi</i>	57
5.3.2. <i>Canale navigabile e curve di navigazione</i>	59
5.4. CARATTERISTICHE DELLE OPERE PER LA SISTEMAZIONE A CORRENTE LIBERA	61
5.4.1. <i>Sezione tipologica</i>	63
6. AGGIORNAMENTO RILIEVI TOPOGRAFICI	65
6.1. AGGIORNAMENTO RILIEVO BATIMETRICO	65
6.1.1. <i>Verifica della bontà dei rilievi</i>	72
6.2. AGGIORNAMENTO RILIEVO DTM - LIDAR	75
7. INDIVIDUAZIONE OPERE PROGETTO ESECUTIVO.....	78
7.1. DESCRIZIONE INTERVENTI DEL PROGETTO ESECUTIVO	79
7.1.1. <i>Ambito di intervento 2: pennello 1SX – Castelmasa</i>	81

R.T.P:

7.1.2.	Ambito di intervento 3: pennelli 1DX, 2DX, 3DX, 4DX, 5DX - Caposotto	82
7.1.3.	Ambito di intervento 7: pennello 1DX - Novara	86
7.2.	CANTIERIZZAZIONE DELLE OPERE	87
8.	VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI NAVIGABILITA' DEL TRONCO IN OGGETTO	90
1.1.	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE A FONDO MOBILE	90
	Scenario senza nuove opere.....	90
	Scenario con opere come da progetto preliminare.....	91
	Scenario completo individuato nel progetto definitivo	91
	Scenario parziale individuato nel progetto definitivo	93
	Opere Progetto esecutivo	94
9.	ASPETTI GENERALI DEGLI INTERVENTI.....	95
9.1.	GEOLOGIA.....	95
9.2.	IDRAULICA.....	95
9.3.	ARCHEOLOGIA	96
9.4.	VALUTAZIONE RISCHIO BELLICO	98
9.5.	PAESAGGIO	99
9.6.	INTERFERENZE.....	99
9.7.	ASPETTI AMBIENTALI, IMPATTI PREVISTI, GESTIONE DELLE MATERIE, CAVE	99
9.8.	ESPROPRI ED OCCUPAZIONI TEMPORANEE	100
10.	TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE	101
11.	BIBLIOGRAFIA.....	102
12.	INDICE DELLE FIGURE	104
0		

1. PREMESSA

Con contratto Rep. N. 4187 del 20 febbraio 2018, l'A.I.Po, Agenzia Interregionale per il fiume Po, ha affidato all'R.T.I. di progettazione composta da Binini Partners s.r.l. (Capogruppo mandataria), Etatec-Studio Paoletti s.r.l. (mandante), Beta Studio s.r.l. (mandante), Gen-Tech Tecnologie innovative in biologia Animale s.r.l. (mandante) e AR/S Archeosistemi Soc. Coop. (mandante), l'appalto per il *"Servizio di progettazione definitiva, esecutiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, dei lavori di adeguamento delle condizioni di navigabilità dell'alveo di magra del fiume Po per navi di classe Va nel tratto compreso indicativamente fra Revere e Ferrara"*.

L'Agenzia Interregionale per il fiume Po (A.I.Po) nasce come emanazione del Magistrato per il Po, già organo decentrato interregionale del Ministero dei Lavori Pubblici e successivamente organo interregionale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e del Ministero dell'Ambiente e del Territorio. Dal gennaio 2003 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"), viene istituita l'Agenzia quale ente strumentale delle quattro Regioni, Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia Romagna.

L'A.I.Po svolge 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.

La Regione Lombardia nel 2007 e l'Emilia Romagna nel 2009 tramite apposite convenzioni, hanno conferito ad A.I.Po le competenze in materia di navigazione interna del sistema idroviario padano-veneto e del demanio fluviale precedentemente gestite dall'Azienda Porti di Cremona e Mantova, in Lombardia, e dall'Azienda Regionale per la Navigazione Interna (ARNI), in Emilia Romagna.

L'appalto in oggetto rientra nell'ambito dei lavori condotti da A.I.Po per la sistemazione del fiume Po aventi la finalità di garantire adeguati livelli di sicurezza dei rilevati arginali realizzati a protezione del territorio circostante nonché le condizioni idraulico-geometriche necessarie alla navigazione delle imbarcazioni commerciali della classe Va secondo la classificazione Europea per le vie navigabili.

Nella presente relazione verranno descritte, dal punto di vista tecnico e realizzativo le opere che potranno essere realizzate in base all'attuale disponibilità economica fra quelle previste nell'ambito dello stralcio individuato al precedente livello di progettazione definitiva.

R.T.P:

A seguito infatti degli ultimi aggiornamenti dei prezzi di riferimento, l'attuale disponibilità economica non permette la realizzazione di tutte le opere previste nello stralcio funzionale individuato a livello di progettazione definitiva e quindi è stato necessario individuare un sottoinsieme di opere che potesse rientrare nell'ambito della disponibilità economica prevista dal quadro economico del presente progetto.

L'aggiornamento delle stime economiche relative ai singoli interventi insieme ad una valutazione tecnica finalizzata a valutare dal punto di vista funzionale la miglior soluzione possibile ha portato ad individuare quali interventi realizzare nell'ambito del presente progetto esecutivo.

Tali valutazioni hanno portato ad individuare come miglior combinazione possibile quella costituita dalla realizzazione degli interventi n.2, costituito da un singolo pennello in sinistra idraulica, l'intervento n. 3 per i soli 5 pennelli trasversali in destra idraulica e l'intervento n. 7 costituito da un singolo pennello longitudinale in destra idraulica.

1.1. Inquadramento territoriale

Il progetto approvato a livello di definitivo riguarda un complesso di interventi che interessavano il basso del corso del Po, nel tratto fra Revere e Ferrara, più precisamente fra Castelmassa e Occhiobello per un estensione complessiva pari a circa 30 km in un tratto fondamentalmente privo di opere di sistemazione fluviale se non per alcune difese spondali di estensione molto limitata e un pennello longitudinale che definisce una curva in sinistra idraulica immediatamente a monte dell'abitato di Stienta.

L'intero tratto interessa i territori di tre Regioni rivierasche, Lombardia, Veneto ed Emilia Romagna e le provincie di Mantova, Ferrara e Rovigo coinvolgendo un totale di 10 comuni come di seguito elencati:

- Regione Veneto
 - Provincia di Rovigo
 - Comune di Castelmassa
 - Comune di Calto
 - Comune di Salara (al momento non interessato da opere)
 - Comune di Ficarolo
 - Comune di Gaiba
 - Comune di Stienta
 - Comune di Occhiobello
- Regione Lombardia
 - Provincia di Mantova
 - Comune di Sermide e Felonica (deriva dalla fusione dei due comuni dal 1 marzo 2017)
- Regione Emilia Romagna
 - Provincia di Ferrara
 - Comune di Bondeno
 - Comune di Ferrara

R.T.P:

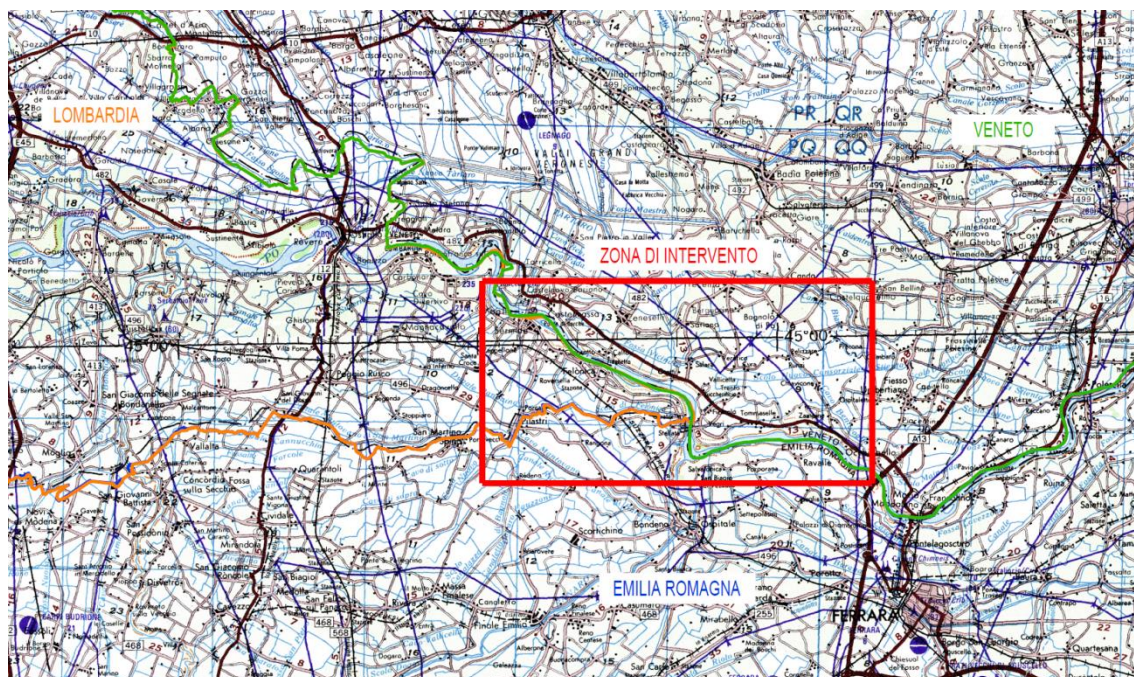


Figura 1-1: corografia della zona di intervento

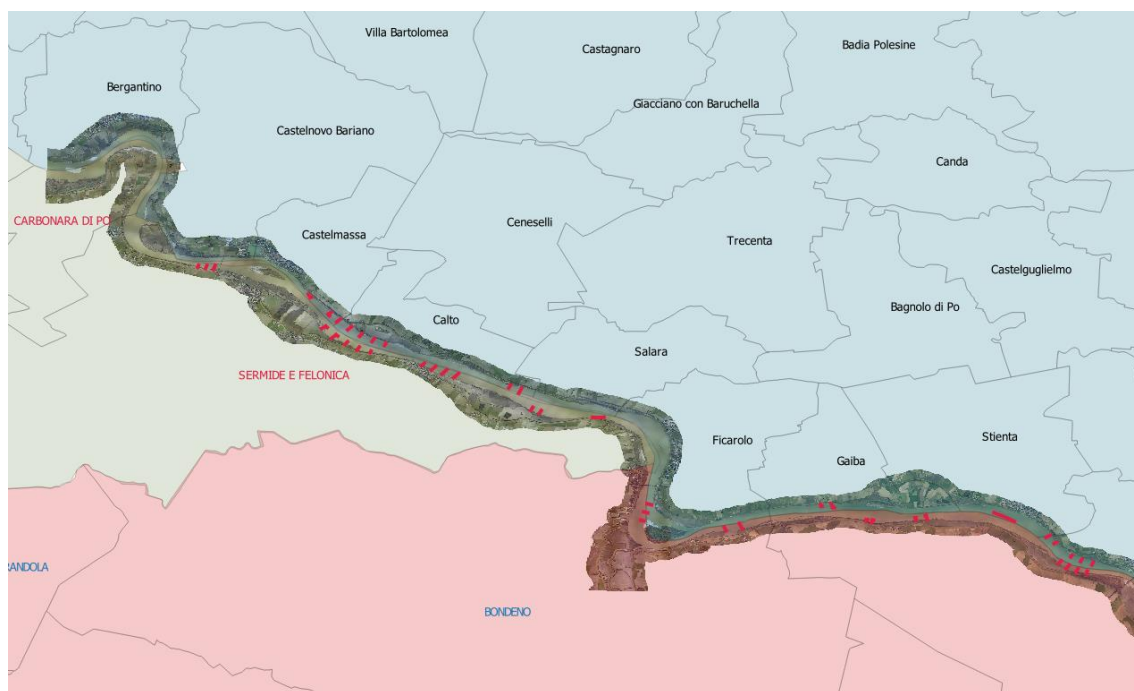


Figura 1-2: individuazione limiti amministrativi lungo il tratto oggetto di intervento

R.T.P:

Per quel che riguarda gli interventi previsti nell'ambito del presente progetto esecutivo, essi interesseranno il Comune di Castelmassa, in sponda lombarda (intervento n.2 in sponda sx) ed il Comune di Sermide e Felonica in sponda Emiliana (interventi 3 e 7 in sponda dx).

Il bacino del Po presenta un'estensione pari a circa 71.000 km², ed una lunghezza complessiva, dalla sorgente alla foce sul mare Adriatico, pari a poco più di 650 km.

Il distretto idrografico del fiume coincide con il suo bacino idrografico (Figura 1-3) ed è caratterizzato dalla presenza di un fitto reticolo idrografico sia di tipo naturale che di tipo artificiale con un'estensione superiore a 55.000 km.

Come visibile dalla figura successiva, il bacino idrografico del Po comprende buona parte del territorio del nord Italia compreso fra lo spartiacque alpino e quello appenninico ad esclusione della parte di nord est comprendente il Veneto, il Trentino e il Friuli Venezia Giulia che recapitano le acque di deflusso superficiale in corrispondenza dell'alto Adriatico.

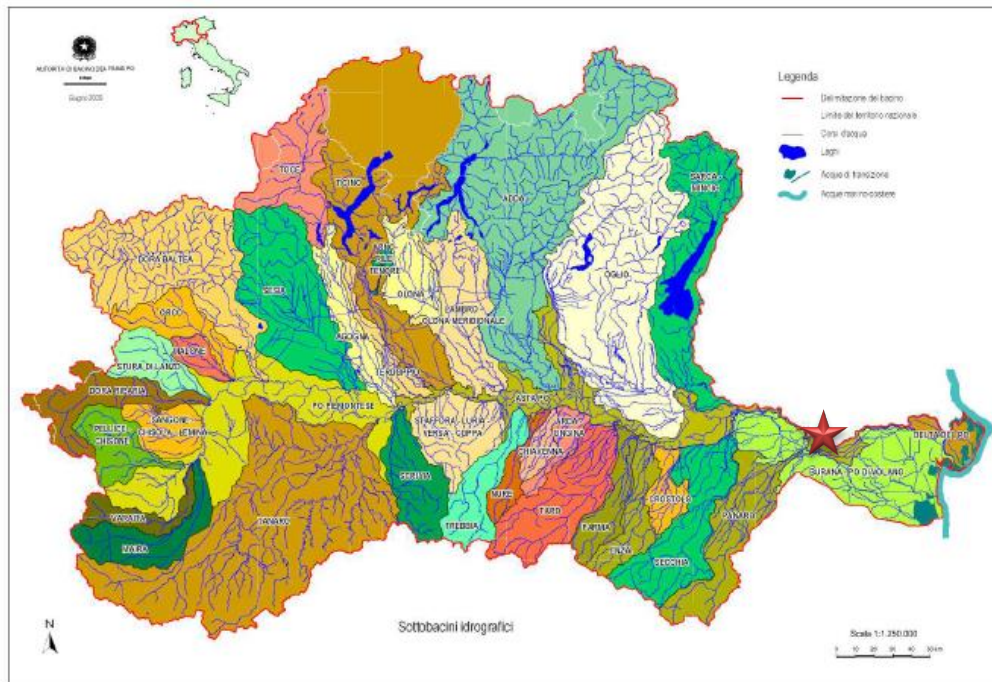


Figura 1-3: bacino del Po e sottobacini del distretto idrografico con individuazione della zona di intervento

Il tratto di fiume interessato dal presente progetto, posto sulla parte terminale dell'asta fluviale, è caratterizzato da valori di portate medie annue pari a:

- Po a Sermide (superficie del bacino idrografico sotteso pari a 68.724 km²): 1.420 m³/s;
- Po a Ficarolo: 1.550 m³/s;
- Po a Pontelagoscuro (superficie del bacino idrografico sotteso pari a 70.091 km²): 1.500 m³/s.

R.T.P:

Per quanto riguarda invece le portate di piena, di seguito si riportano i valori delle portate al colmo per tempo di ritorno variabili fra 20 e 500 anni oltre a quelli misurati in corrispondenza della piena del 2000, così come riportate nel PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni). In particolare si evidenzia che la portata di piena dell'evento duecentennale per il tratto in oggetto è di circa 13.000 m³/s.

Tab. 4.2: portate di piena per il Po nel tratto da Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro) al Delta

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie	Q20	Q ott 2000	Q200	Q500	Idrometro	
		Progr.(km)	Cod.	Denomin.	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	Denominazione	
Po	Po	264.855	82	Becca	36770	9290	-	13800	15050	Po a Becca	
Po	Po	322.250	67	Piacenza	42030	8970	12240	13000	14100	Po a Piacenza	
Po	Po	367.640	57	Cremona	50726	10090	-	14300	15870	Po a Cremona	
Po	Po	428.545	41	Boretto	55183	9380	11800	13700	14720	Po a Boretto	
Po	Po	457.560	36	Borgoforte	62450	9600	11800	13100	14890	Po a Borgoforte	
Po	Po	548.805	10	Pontelagoscuro	70091	9470	-	13000	14850	Po a Pontelagoscuro	

Figura 1-4: portate di piena del fiume Po (PGRA)

La portata di piena determinata in corrispondenza di Pontelagoscuro risulta inferiore al valore massimo che si riscontra in corrispondenza delle sezioni di monte per effetto dei fenomeni di laminazione che le golene laterali al fiume esercitano nei confronti delle portate abbassandone progressivamente il valore a mano a mano che si scende verso il delta del Po.

Gli interventi in oggetto si pongono nel tratto terminale del fiume, immediatamente a monte della città di Ferrara e a breve distanza dalla foce del Po sul mare Adriatico.

In questo tratto, compreso fra le località di Ostiglia-Revere e Ferrara, il Po presenta un andamento orografico che si sviluppa da nord-ovest a sud-est, mentre a valle della città di Ferrara il fiume cambia direzione per risalire verso nord-est e confluire nella zona del delta dove sfocia in mare dopo aver percorso complessivamente oltre 650 km dalla sorgente allo sbocco in Adriatico.

Lungo il tratto oggetto di sistemazione, il fiume riceve il suo ultimo affluente appenninico, rappresentato dal torrente Panaro, nonché l'apporto di tre collettori artificiali costituiti dal Cavo Napoleonico, avente la funzione di scolmatore del fiume Reno, il canale delle pilastresi e il canale di Fossalta. Gli ultimi due sono serviti da impianti di sollevamento che permettono di scaricare le acque in Po anche in presenza di eventi di piena del fiume.

Tutti questi collettori si collocano in destra idrografica convergendo sul fiume nella zona posta a cavallo della foce del Panaro, immediatamente a valle del Panaro il primo, subito a monte i due canali artificiali.

Lungo il tratto non sono presenti ulteriori elementi idraulici artificiali se non l'opera di presa di Calto, in sinistra idraulica, a servizio del Consorzio di Bonifica Adige Po collocata poco a valle dell'abitato di Calto e a monte della curva di Ficarolo.

R.T.P:

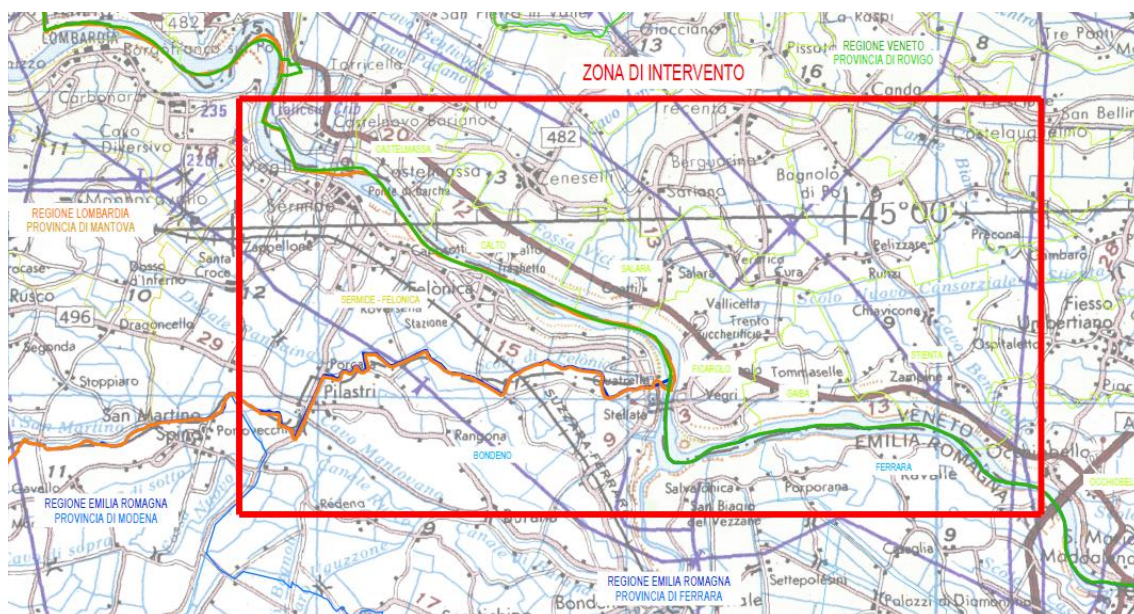


Figura 1-5: ingrandimento della zona interessata dagli interventi di sistemazione

A livello locale il fiume lambisce i territori di sette comuni in Regione Veneto, uno in Lombardia e due in Emilia Romagna.

Il tratto di intervento ricade in area padana orientale in un quadrante della pianura prossima alla foce, caratterizzata da quote altimetriche medie del terreno di pochi metri al di sopra della quota del medio mare e pendenze dei terreni e del fiume molto limitate.

Il tronco in oggetto è interessato dall'attraversamento di due ponti stradali, il primo a servizio della SP43bis fra Sermide e Castelmassa, il secondo in corrispondenza della SP86 fra Stellata e Ficarolo. Immediatamente a valle della zona di progetto, ma fuori dalla stessa, è presente il ponte autostradale della A13 Bologna-Padova che attraversa il fiume immediatamente ad est dell'abitato di Occhiobello.

1.2. Inquadramento storico-geografico

Il Po è il massimo fiume Italiano e si sviluppa attraversando l'intera pianura padana da ovest ad est per circa 650 km, dal Monviso al mare Adriatico.

Per i primi 250 km il suo corso è di tipo naturale scorrendo in un alveo privo di arginature, mentre nei restanti 400 km risulta confinato all'interno di un importante sistema di arginature che divengono via via più imponenti a mano a mano che ci si avvicina al delta del fiume sul mare Adriatico. All'innalzamento progressivo delle arginature maestre corrisponde una progressiva riduzione della distanza fra le medesime

R.T.P:

passando da distanze pari ad alcuni chilometri nella parte mediana del fiume fino a qualche centinaio di metri nel tratto terminale dello stesso.

Questa condizione morfologica si è andata formando progressivamente nel tempo per effetto degli interventi che le popolazioni rivierasche hanno adottato nel tempo al fine di limitare le numerose divagazioni che il fiume compiva durante gli eventi di piena, erigendo inizialmente modeste difese arginali che nel tempo sono state unite andando a costituire l'attuale sistema di arginature maestre presenti lungo il corso del fiume.

Nonostante il sistema difensivo arginale ne abbia limitato fortemente le possibilità di escursione, il fiume ha continuato a divagare creando numerosi letti che si modificano e si spostano nel tempo.

L'attuale sistema arginale (costituito da argini di seconda categoria) determina l'alveo di massima piena del fiume ed è in grado di contenere una portata massima dell'ordine dei 12.000 m³/s nel tratto medio inferiore a valle degli ultimi affluenti appenninici.

Tratto	Descrizione		Progressive		Lunghezza tratto	Portate piena 2000 Definite dall'Autorità di bacino del fiume Po		Portate piena PAI T200 Definite dall'Autorità di bacino del fiume Po	
	da	a	da	a		monte	valle	monte	valle
			(km)	(km)	(km)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Tratto1	Cremona	Zibello (PR)	374,7	394,6	19,9	12.240	11.850	13.000	14.300
Tratto2	Zibello (PR)	Torricella (PR)	394,6	409,8	15,2	11.850	11.850	14.300	14.300
Tratto3	Torricella (PR)	Casalmaggiore (RE)	409,8	423,9	14,1	11.850	11.850	14.300	14.300
Tratto4	Casalmaggiore (RE)	Boretto (RE)	423,9	440,4	16,5	11.850	11.900	14.300	13.700
Tratto5	Boretto (RE)	Dosolo (MN)	440,4	451,9	11,5	11.900	11.900	13.700	13.700
Tratto6	Dosolo (MN)	Borgoforte (MN)	451,9	472,4	20,5	11.900	11.800	13.100	13.100
Tratto7	Borgoforte (MN)	Correggio Micheli (MN)	472,4	492,1	19,7	11.800	11.800	13.100	13.100
Tratto8	Correggio Micheli (MN)	Ostiglia (MN)	492,1	510,3	18,2	11.800	9.750	13.100	13.100
Tratto9	Ostiglia (MN)	Gaiba (RO)	510,3	549,8	39,5	11.800	9.750	13.100	13.100
Tratto10	Gaiba (RO)	Pontelagoscuro (FE)	549,8	561,3	11,5	9.750	9.750	13.000	13.000
Tratto11	Pontelagoscuro (FE)	Goro (FE)	561,3	600,6	39,3	9.750	9.750	13.000	13.000

Figura 1-6: tabella riassuntiva per tratti delle portate di piena secondo l'ADBPo calcolate con riferimento alla piena del 2000 e al PAI con tempo di ritorno pari a 200 anni

Dal punto di vista della navigazione commerciale del fiume, come meglio descritto nei capitoli successivi, esistono vari quadri normativi a cui fare riferimento, sia a livello nazionale che europeo sinteticamente riassunte di seguito.

Il Codice Europeo delle Vie di Navigazione Interna (CEVNI) disciplina a livello europeo la navigazione in acque interne.

Nel 1953 a Bruxelles, viene istituita l'organizzazione intergovernativa "European Conference of Ministers of Transport" (ECMT o CEMT in italiano), comprendente i Ministeri dei Trasporti di 44 nazioni, con lo scopo di fornire delle linee guida per lo sviluppo di sistemi di trasporto economicamente efficienti, sicuri e a basso impatto ambientale. Con la risoluzione n. 92/2 denominata "On new classification on inlandwaterways" (sulla

nuova classificazione delle idrovie interne), il CEMT emana una serie di raccomandazioni tecniche relativamente al trasporto fluviale e idroviario.

A livello nazionale il primo riferimento normativo sulle vie navigabili risale alla legge n. 9 del 2 gennaio 1910, seguita nell'anno successivo dal R.D. dell'8 giugno n.823 nel quale vengono elencate ufficialmente le vie navigabili di seconda classe e dove viene descritta la dorsale idroviaria padana, composta dalle tratte Milano-Lodi-Cremona-Fiume Po-Cavanella Po-Conca di Brondolo-Chioggia-Venezia.

Negli anni successivi si sono succeduti altri testi normativi tra cui degno di nota risulta il R.D. n.259 dell'11 luglio 1913 (Testo unico delle disposizioni di legge sulla navigazione interna e sulla fluitazione) nel cui art.2 vengo fornite le prime informazioni relative alla classificazione delle idrovie.

Con la risoluzione del 1992 del CEMT emerge la necessità di un'armonizzazione per quanto riguarda i criteri di classificazione delle vie navigabili al fine di favorire una maggiore integrazione tra le varie reti nazionali per la realizzazione di una rete idroviaria globale europea senza limitazioni di ordine tecnico e senza strozzature dovute a dispositivi legislativi differenti nei singoli paesi europei.

A questo proposito la commissione propone una classificazione delle vie navigabili in linea con le principali tendenze europee riguardo a tipologie e configurazioni dei natanti utilizzati.

1.3. Finalità progettuali

La sistemazione a corrente libera del fiume Po si prefigge due scopi principali.

Da un lato la sistemazione del fiume e l'individuazione di un alveo di magra ben definito aumentano la sicurezza idraulica del territorio evitando fenomeni di erosione localizzata nei punti in cui il fiume dovesse andare a sbattere contro sponde non protette.

A questo scopo la sistemazione fluviale tende alla definizione di una serie di curve e controcurve che portino alla modifica del tracciato eliminando o riducendo i tratti rettilinei e correggendo anche quelle curve che hanno raggio troppo ridotto. I primi sono quelli che producono i bassifondi, le seconde sono quelle che danno origine ai gorghi profondi, che sono generalmente i più pericolosi per le difese arginali.

Dall'altra parte, con la sistemazione del fiume a corrente libera e la definizione di un alveo di magra fissato dalle opere di regolazione, si potranno ottenere i fondali necessari alla navigazione commerciale anche in presenza delle magre più pronunciate in modo da incrementare significativamente il numero di giorni disponibili per la navigazione.

Per garantire i fondali necessari al passaggio delle imbarcazioni lungo l'asta fluviale, l'AIPO compie regolarmente operazioni di dragaggio finalizzate alla rimozione dei bassi fondali che si formano lungo l'asta del fiume.

R.T.P:

Tali attività, tuttavia, vanno via via riducendosi sia in termini di intensità che in termini di frequenza a causa della riduzione del traffico navale e delle economie operate da AIPO in questo settore.

Da questo punto di vista gli interventi di regolazione, se ben condotti, risultano più efficaci e anche più economici della manutenzione ordinaria, perché sono duraturi e raggiungono il duplice obiettivo di aumentare la sicurezza idraulica e migliorare la navigabilità del fiume.

Dal punto di vista della navigazione la sistemazione a corrente libera si prefigge lo scopo di realizzare lungo il principale fiume Italiano una via d'acqua lungo la quale possano transitare battelli e chiatte adibite al trasporto delle merci aventi caratteristiche dimensionali almeno pari a quelle della Va classe europea come avviene lungo le principali direttrici fluviali esistenti in Europa dove il trasporto fluviale è ampiamente utilizzato e presenta volumi di merci trasportate pari a diverse decine di milioni di tonnellate anno.

R.T.P:

Principali vie navigabili interne nell'UE (reti TEN-T globale e centrale)



Figura 1-7: rete idroviaria europea

Anche il sistema idroviario padano-veneto è da tempo inserito all'interno delle reti idroviarie europee, come si può osservare dall'immagine successiva, anche se con volumi di traffico decisamente inferiori a quelli ampiamente consolidati lungo le principali direttrici europee e che negli ultimi anni sono ulteriormente diminuiti.

R.T.P:



Figura 1-8: sistema idroviario europeo (focus sul centro Europa)

Paesi	1970				1980				1990/22			
	Ferrovia	Strada	Idrovia	Oleodotti	Ferrovia	Strada	Idrovia	Oleodotti	Ferrovia	Strada	Idrovia	Oleodotti
Germania	33,2	36,7	23,0	7,1	30,8	38,0	24,4	6,8	24,9	48,0	21,8	5,3
Belgio	28,2	46,8	24,1	0,9	24,9	56,9	18,2	n.d.	15,9	73,4	10,7	n.d.
Francia	38,3	37,6	8,1	16,0	32,4	45,8	3,9	16,2	26,0	59,2	3,4	11,4
Lussemburgo	63,3	11,7	25,0	-	52,0	22,0	26,0	-	26,1	55,7	3,7	14,5
Olanda	7,3	24,3	60,4	8,0	5,8	29,6	56,1	8,5	3,9	44,7	45,2	6,2
Svizzera	54,3	34,3	1,4	10,0	47,8	45,0	0,4	6,8	38,8	55,9	0,2	4,1
Italia	21,0	68,5	0,4	10,1	12,2	79,7	0,1	8,0	10,1	84,7	0,1	5,1
Regno Unito	21,5	74,5	1,7	2,3	14,8	75,4	1,9	7,9	11,6	79,8	1,5	7,1

Fonte: Nostra elaborazione su dati della Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite, Libro bianco sulle tendenze e l'evoluzione della navigazione interna e delle sue infrastrutture, Nazioni Unite, New York e Ginevra, 1996.

 Figura 1-9: Ripartizione modale del trasporto interno di merci in alcuni paesi europei dotati di idrovie; composizione percentuale dei valori in t/km¹

La realizzazione di un'idrovia completa nel bacino padano passa attraverso la sistemazione del tratto terminale del Po dove non sono presenti opere per la navigazione, in particolare a valle di foce Mincio.

¹ Tratto da "Il Po fiume d'Europa: riflessioni e proposte sulle strategie di pianificazione" Autorità di bacino del fiume Po

Pur esistendo infatti una via alternativa a quella del corso del Po, costituita dal canale Fissero-Tartaro-Canalbianco-Po di Levante, essa non è completamente adatta al passaggio di imbarcazioni della V classe CEMT essendo adeguata a tale categoria solo nella sua parte iniziale e finale, mentre il tratto centrale risulta adeguato solamente al passaggio di imbarcazione della classe IV a causa di limitazioni legate ad alcune curve del tracciato e alla presenza di alcuni ponti con luce libera non sufficiente.

Dal punto di vista della navigazione la sistemazione a corrente libera del fiume si prefigge di ottenere fondali sufficienti alla navigazione delle imbarcazioni commerciali per un numero di giorni anno sufficienti a garantire un interesse da parte degli operatori economici.

In particolare, in accordo con gli studi precedentemente condotti relativamente alle medesime problematiche, le condizioni minime da raggiungere, sulla base di quanto già adottato nell'ambito dei precedenti interventi di sistemazione, sono quelle indicate di seguito:

- persistenza di un fondale minimo pari a 2,00 metri per almeno 340 giorni all'anno;
- persistenza di un fondale minimo pari a 2,80 metri per almeno 300 giorni all'anno;

Tali fondali naturalmente dovranno essere riscontrati in corrispondenza della parte centrale del canale navigabile all'interno dell'alveo fluviale dove dovrà essere considerato un ipotetico canale a sezione rettangolare utile alla navigazione avente una larghezza media che nel caso di idrovie appartenenti alla V classe europea risulta pari a circa 60 m.

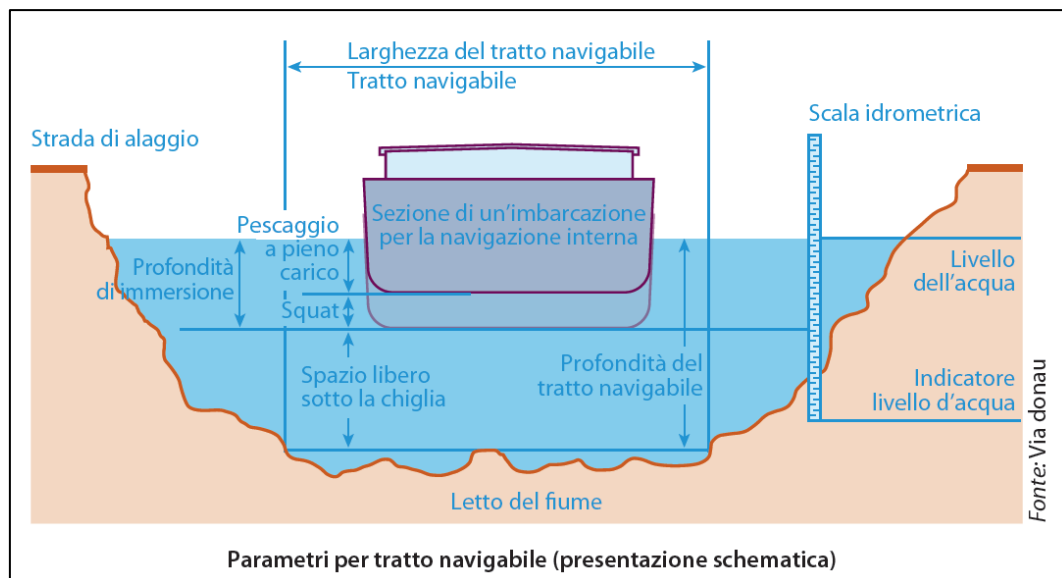


Figura 1-10: nomenclatura sezione navigabile

R.T.P:

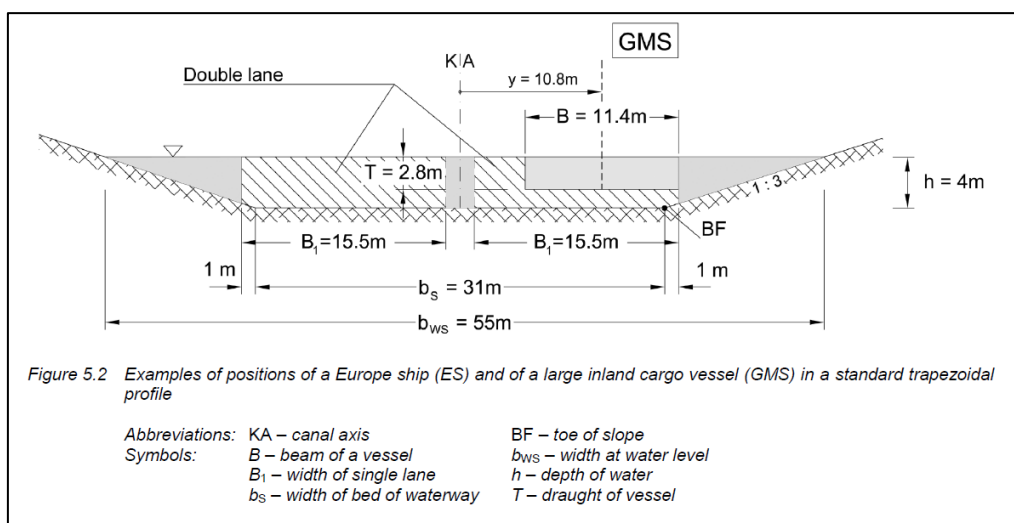


Figura 1-11: caratteristiche geometriche minime per le vie navigabili della classe Va

Naturalmente tali misure sono valide nel caso di canali artificiali, mentre nel caso di corsi d'acqua naturali, come nel nostro caso, vanno considerate nell'estensione complessiva della sezione fluviale.

Nel caso del Po, lungo il tratto oggetto di intervento, le opere sono progettate in modo tale da realizzare un canale centrale approssimativamente largo 200 metri circa, che lungo il percorso di navigazione ideale, che va da un vertice di curva a quello successivo, presenta i fondali necessari alla navigazione secondo le condizioni descritte in precedenza.

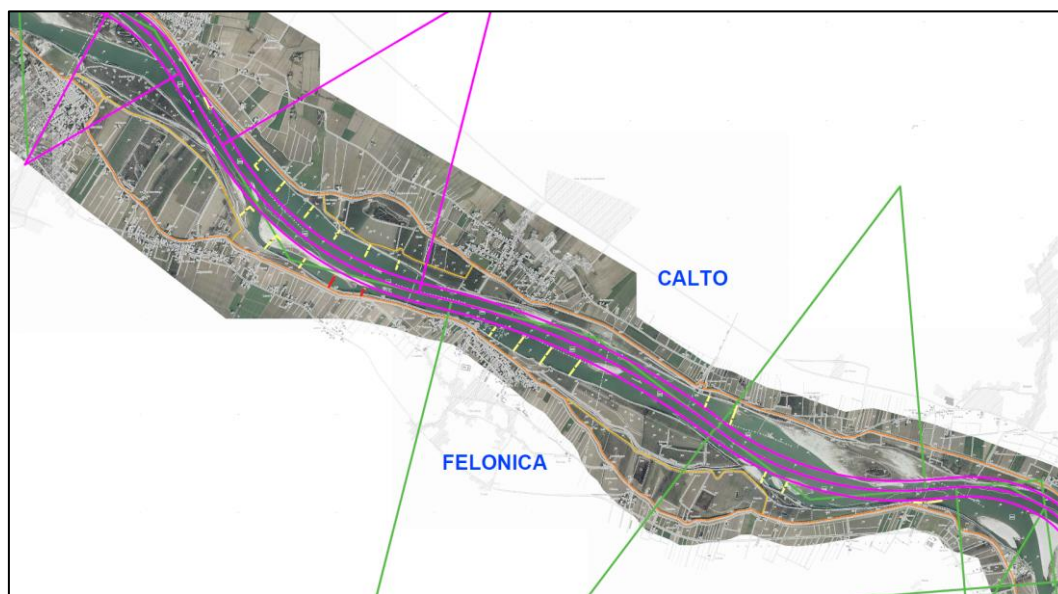


Figura 1-12: esempio di individuazione delle curve di navigazione a seguito della sistemazione del fiume a corrente libera

2. IL SISTEMA IDROVIARIO PADANO-VENETO E IL QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

2.1. Rete idroviaria nazionale e il sistema idroviario Padano-Veneto

Le vie navigabili hanno costituito per secoli il principale mezzo di comunicazione commerciale all'interno e all'esterno dei confini nazionali. Ogni qualvolta se ne presentava l'occasione, le vie d'acqua, sia di tipo naturale che artificiale, erano sfruttate per il trasporto delle merci e delle persone in considerazione delle caratteristiche e delle difficoltà delle altre forme di trasporto tradizionali via terra.

L'aumento dei costi e degli impatti derivanti dal trasporto su strada rispetto ad altre modalità, rende fondamentale la necessità di trasferire quota parte del trasporto merci verso modalità maggiormente sostenibili come la ferrovia e la navigazione interna al fine di promuovere uno sviluppo competitivo e sostenibile delle attività economiche, in conformità con le politiche europee sui trasporti, in particolare le reti Ten-T e il programma NAIADES.



R.T.P:

Da questo punto di vista le idrovie e i porti possono rappresentare una valida alternativa in considerazione del fatto che possono costituire collegamenti intermodali non solo tra acqua, strada e rotaia, ma anche direttamente tra strada e rotaia come terminali intermodali.

Il sistema idroviario dell'Italia del Nord e del Nord Adriatico rappresenta una interessante opportunità per collegare le attività industriali di una delle regioni più sviluppate in Europa quale è la pianura Padana, al mare attraverso una connessione est-ovest, attraverso un dialogo continuo tra il Nord Italia con il sistema di porti fluviali a ovest, e i porti dell'Adriatico settentrionale ed esteri ad est.

Il sistema idroviario nazionale è principalmente costituito dal sistema padano-veneto dove si sviluppano la maggior parte dei percorsi navigabili italiani.

Esso è il risultato dell'applicazione della Legge 29 Novembre 1990, n° 380 e del Decreto del Ministero dei Trasporti e della Navigazione n° 759 del 25.06.1992 e comprende:

a) le seguenti idrovie:

• Fiume Po da Casale Monferrato a Foce Ticino	65 km
• Fiume Po da Foce Ticino a mare	389 km
• Fiume Ticino da Pavia alla confluenza con il Po	7 km
• Fiume Mincio da Mantova alla confluenza con il Po	21 km
• Canale Po Brondolo	19 km
• Idrovia Fissero-Tartaro-Canalbianco-Po di Levante	135 km
• Idrovia Litoranea Veneta da Portegrandi a foce Isonzo	140 km
• Canale Milano-Cremona	66 km
• Idrovia Ferrara-Ravenna	87 km
• Canale Padova-Venezia	28 km

Per un totale di km 957

b) i porti interni ed i terminali idroviari nei porti marittimi, che comprendono:

- i porti dell'Emilia Romagna: Pontelagoscuro, Pieve Saliceto, Banchina di Piacenza e terminale del Porto di Ravenna;
- i porti della Regione Lombardia: Porto di Cremona, Mantova, Lodi-Crema, Milano, Pavia, Casalmaggiore, Pizzighettone, Ostiglia;
- nella Regione Veneto: i porti di Rovigo, Porto Levante, Legnago, Padova;
- nella Regione Piemonte: il porto di Casale Monferrato.

In realtà la rete in esercizio riguarda soltanto una parte delle idrovie sopra elencate, per uno sviluppo complessivo di 429 km, e comprende:

- il F. Po, da Cremona a Porto Tolle, presso la foce 272 km

R.T.P:

- il primo tratto Cremona-Pizzighettone del canale dal Po a Milano 14 km
- il fiume Mincio, da Mantova al Po (a Governolo) 22 km
- il canale Fissero-Tartaro-Canalbianco per il tratto iniziale da Mantova (Valdaro) alla conca di S. Leone (a Governolo) 13 km
- il canale Po-Brondolo-Laguna Veneta 19 km
- il canale Po di Levante 19 km
- l'idrovia Ferrarese, da Pontelagoscuro a Porto Garibaldi 70 km

Per un totale di	429 km
------------------	--------

Oltre a quelle raccolte nell'elenco e oltre ai canali lagunari, alcune altre idrovie di minore importanza sono interessate da una navigazione occasionale che si svolge sulla Litoranea Veneta, nell'Alto Adriatico e sui tronchi del corso medio del Po, scontando tuttavia qui le difficoltà, generate da un pesante stato di abbandono e dall'interruzione prodotta dalla diga di Isola Serafini oggi risolta con la realizzazione e messa in esercizio della nuova conca realizzata a fianco di quella esistente.

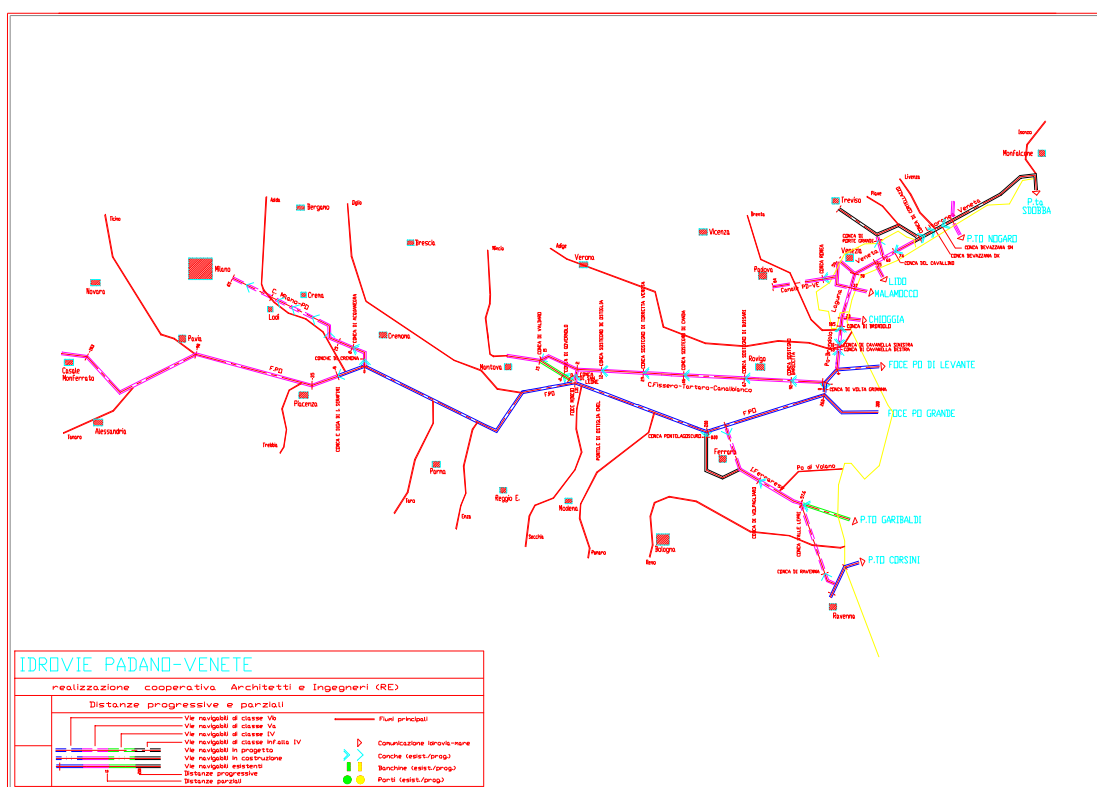


Figura 2-1: schema planimetrico della rete idroviaria padano-veneta

Il trasporto di merci per acque interne è quindi ristretto ad una rete di sviluppo inferiore ai 500 km.

R.T.P:

Il 100% del traffico idroviario si svolge su questa rete che è formata dal Po, con le sue espansioni verso l'interno, il canale Po-Milano fino a Pizzighettone e il fiume Mincio, fino a Mantova e con i suoi collegamenti al mare Adriatico:

- verso Nord e i porti della Laguna Veneta, con il canale Po-Brondolo;
- verso Nord-Est, con lo sbocco a mare del Po di Levante;
- verso Sud, con l'Idrovia Ferrarese, diretta al terminale nel Porto di Ravenna, ma ferma per ora allo sbocco a mare di Porto Garibaldi, verso il medio e basso Adriatico e lo Ionio.

Su queste idrovie l'esercizio della navigazione commerciale incontra difficoltà onerose, causate dalla presenza di strozzature che limitano le possibilità della rete e che sono di dimensioni non adeguate, conche e ponti in particolare.

I limiti riguardano anche la geometria delle idrovie e il disegno del loro alveo; problemi le cui soluzioni sono, talora, le più complicate.

La rete idroviaria italiana è stata realizzata nell'arco di tutto il secolo precedente, per successive addizioni, secondo processi contrastati che non hanno mai premiato gli sforzi di pianificazione che pure, soprattutto negli anni immediatamente successivi all'Unità d'Italia, erano stati compiuti.

E' spesso accaduto anche che un singolo progetto sia stato realizzato in tempi lunghissimi, con conseguenze gravi sull'efficienza dell'opera realizzata e soprattutto sulla coerenza del sistema.

Questa situazione è stata puntualmente rilevata, asta per asta della rete, nel lavoro che il CIPET, secondo quanto è richiesto dalla L. 380/90, ha condotto per presentare il proprio parere, relativamente al tracciato e al piano poliennale di attuazione del "Sistema Idroviario Padano-Veneto".

Alla conclusione di questo studio il CIPET è giunto potendo tener conto, sia per il tracciato che per il piano poliennale, dei pareri espressi e delle deliberazioni adottate dal Comitato dell'Intesa delle Regioni.

E' quindi opportuno riprendere il lavoro odierno mantenendo il riferimento dello studio del CIPET che assegna una scheda tecnica alle "singole realtà dei tronchi facenti parte della rete idroviaria".

Dal punto di vista idraulico il Po a valle dello sbarramento di Isola Serafini, l'unico presente sul Po, risulta sistemato a corrente libera, in particolare nel tratto fra foce Adda e foce Mincio dove negli anni passati sono state realizzate le opere di correzione e impostazione delle curve che hanno determinato l'attuale assetto del fiume e che hanno garantito, salvo qualche eccezione, buoni livelli di navigabilità e tiranti sufficienti durante tutto l'anno.

A valle di foce Mincio le opere per la navigazione sono praticamente assenti e lungo il tratto si manifestano diverse zone problematiche per la navigazione fluviale che può essere garantita solamente mediante costose operazioni di dragaggio dei bassi fondali per permettere il passaggio in sicurezza delle imbarcazioni commerciali.

R.T.P:

D'altra parte le particolari condizioni del Po, che presenta pendenze estremamente basse, determinano condizioni già naturalmente favorevoli alla navigazione fluviale che può essere tranquillamente praticata in sicurezza per molti giorni all'anno. La necessità però di garantire le condizioni richieste dalla classe Va, classe di riferimento per l'idrovia padana, rende indispensabile realizzare quelle opere che possono garantire i tiranti sufficienti alla navigazione per il numero di giorni/anno necessari.



Figura 2-2. Schema del sistema idroviario padano-veneto

Negli anni scorsi è stata la navigazione turistica che ha rappresentato, dal punto di vista della navigazione, una delle poche realtà di fruizione del fiume con finalità commerciali avendo questa attività minori necessità dal punto di vista della navigabilità del corso d'acqua.

La speranza nonché la prospettiva a medio termine è quella di poter garantire le condizioni necessarie ad incrementare l'utilizzo del fiume anche per quel che riguarda la navigazione adibita al trasporto merci spostando sull'idrovia una parte del traffico attualmente condotto su gomma.

2.2. Riferimenti normativi

La realizzazione del sistema idroviario padano-veneto viene definito dal Decreto del Ministero dei Trasporti e della navigazione n. 753 del 25/06/1992 così come previsto dalla legge n.380 del 29 novembre 1990 dove se ne dichiara il preminente interesse nazionale, legge che a sua volta attua il Piano Generale dei Trasporti

R.T.P:

integrando il DPR 616/77 che prevedeva che le Regioni che si affacciano sul Po e sulle idrovie collegate, riunite in intesa, svolgessero le funzioni di comune interesse in materia di navigazione interna.

Di fatto quindi è dal 1977 che l'Intesa Interregionale per la navigazione interna, attraverso una convenzione più volte modificata e sottoscritta dalle Regioni Veneto, Lombardia, Emilia Romagna e Piemonte, svolge un coordinamento per l'esercizio delle funzioni amministrative in tale materia.

Con il successivo Decreto Legislativo n.112 del 31 marzo 1998, viene conferita alle Regioni precedenti la gestione del sistema idroviario.

Relativamente ai provvedimenti precedenti all'attribuzione delle competenze in materia di navigazione interna alle Regioni rivierasche, si possono ricordare fra gli altri:

- la legge 2 gennaio 1910 n. 9 che aveva come oggetto la navigazione interna;
- il Regio Decreto 8 giugno 1911 n. 893 con cui fu approvato l'elenco delle linee navigabili di 2ª classe, nel quale al n.7 si precisava il tracciato della dorsale padana secondo lo sviluppo *Milano-Lodi-Cremona-Fiume Po-Cavanella Po-Conca di Brondolo-(Chioggia Venezia)*;
- il Regio Decreto del 30.03.1942 con cui si approvava in via definitiva il *Codice della navigazione*;
- il D.P.R del 28/06/1949 con cui si provvedeva all'approvazione del *Regolamento per la Navigazione Interna*;
- la legge 31 marzo 1956 n. 287 con la riclassificazione di alcune idrovie interne;

A livello Europeo la navigazione delle acque interne è disciplinata dal CEVNI – European Code for Inland Waterways, (Codice europeo per la navigazione interna) al cui interno sono contenute le norme per l'esercizio della navigazione lungo le vie navigabili interne della rete idroviaria europea.

2.3. Caratteristiche geometriche delle imbarcazioni e della via navigabile per la classe Va

Come accennato nelle premesse, le caratteristiche dimensionali delle vie navigabili e delle imbarcazioni sono state oggetto di armonizzazione da parte della *Conférence Européenne des Ministres des Transport* (CEMT) con la risoluzione n° 92/2 relativa alla nuova classificazione delle vie navigabili.

Le vie navigabili sono state suddivise in sette classi differenti.

Le prime tre classi si riferiscono a vie navigabili di importanza regionale e costituiscono due gruppi differenti a seconda che siano localizzate ad est o ad ovest dell'Elba. Le altre quattro si riferiscono a vie navigabili di importanza internazionale, con la V classe suddivisa in due ulteriori sottoclassi (Va e Vb) e la VI in altre tre sottoclassi (VIa, VIb, VIc).

R.T.P:









Tipo di via navigabile interna		Classi di vie navigabili	Chiatte e imbarcazioni a motore				Convogli a spinta					Altezza minima sotto i ponti	
			Tipo di imbarcazione: caratteristiche generali				Tipo di convoglio: caratteristiche generali						
			Denominazione	Lunghezza massima	Larghezza massima	Pescaggio	Tonnellaggio		Lunghezza	Larghezza	Pescaggio		Tonnellaggio
			L(m)	B(m)	D(m)	T(t)		L(m)	B(m)	D(m)	T(t)	H(m)	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	B
Di importanza regionale	Adriatico dell'Elba	I	Chiatta	38,5	5,05	1,80-2,20	250-400						4,0
		II	Chiatta Kampine	50-55	6,6	2,50	400-650						4,0-5,0
		III	Gustav Koenigs	67-80	8,2	2,50	650-1000						4,0-5,0
	Aest dell'Elba	I	Gross Finow	41	4,7	1,40	180						3,0
		II	BM-500	57	7,5-9,0	1,60	500-630						3,0
		III		67-70	8,2-9,0	1,60-2,00	470-700		118-132	8,2-9,0	1,60-2,00	1000-1200	4,0
Di importanza internazionale	IV	Johann Wieher	80-85	9,5	2,50	1000-1500		85	9,5	2,50-2,80	1250-1450	5,25 or 7,00	
	Va	Grandi imbarcazioni sul Reno	95-110	11,4	2,50-2,80	1500-3000		95-110	11,4	2,50-4,50	1600-3000	5,25 or 7,00 or 9,10	
	Vb						172-185	11,4	2,50-4,50	3200-6000			
	Vla						95-110	22,8	2,50-4,50	3200-6000	7,00 or 9,10		
	Vlb		140	15,0	3,90			185-195	22,8	2,50-4,50	6400-12000	7,00 or 9,10	
	Vlc						  	270-280 195-200	22,8 33,0-34,2	2,50-4,0 2,50-4,50	9600-18000 9600-18000	9,10	
	VII							285	33,0-34,2	2,50-4,50	14500-27000	9,0	

Figura 2-3: classificazione C.E.M.T. delle vie navigabili secondo la risoluzione n° 92/2

Per ognuna delle precedenti categorie vengono fornite le principali caratteristiche tipologiche e dimensionali, come si può osservare nella tabella precedente (Figura 2-3), distinguendo fra chiatte e imbarcazioni a motore e convogli a spinta con tonnellaggi trasportati via via crescenti.

Oltre alle caratteristiche dimensionali vengono forniti il pescaggio, il tonnellaggio e l'altezza minima necessaria sotto i ponti relativamente alla classe di riferimento.

Alle precedenti seguono le corrispondenti dimensioni geometriche delle idrovie necessarie a garantire il passaggio in sicurezza dei natanti lungo la via navigabile.

Nella figura successiva (Figura 2-4) sono riportate le principali caratteristiche dimensionali per le vie navigabili relative alle classi IV, Va e Vb.

Oltre alle caratteristiche precedenti un altro fattore molto importante è costituito dall'indice di navigabilità n di un'idrovia. Esso è dato dallo rapporto fra l'area della sezione bagnata del canale (A) e l'area della sezione maestra immersa di una nave a pieno carico (a). Il valore raccomandato per tale indice è pari a 7 e non può

mai essere inferiore a 5. Lungo le idrovie esistenti, con valori di $n < 7$, la velocità regolamentare di navigazione va adeguatamente ridotta.

$$n = \frac{A}{a}$$

SEZIONE								
CLASSE	RETTANGOLO DI NAVIGAZIONE		AREA BAGNATA		STRADA DI SERVIZIO			
	Larghezza (m)	Profondità (m)	Normale (m ²)	Minima (m ²)	Altezza minima sul liv.nav. (m)	Larghezza		Altezza libera sotto i ponti (m)
		sull'intera larghezza				normale	minima	
IV	30	3	165	120	1	5	3,5	3,5-(4)
Va	40	3	225	160	1	5	3,5	3,5-(4)
Vb	40	3,3	225	160	1	5	3,5	3,5-(4)

TRACCIATO				
CLASSE	RAGGI CURVATURA R (m)			VISUALE LIBERA
	Min. Nor.	Min.ridotto	Allargamento	Distanza minima
IV	800	400	3600/R	350
Va	1000	450	5500/R	400
Vb	1800	700	17000/R	700

Figura 2-4: classificazione idrovie in base alla "Normativa per la redazione dei progetti di vie navigabili"

A livello nazionale, pur in assenza di una normativa chiara e ben definita, la rete idroviaria è stata adeguata, o deve essere adeguata nel caso non lo sia, per la IV e la V classe, in particolare la classe Va che è quella che fa riferimento a chiatte e imbarcazioni a motore.

Sulla base di queste considerazioni restano fissate le dimensioni massime delle unità navali adibite al trasporto merci in termini di lunghezza e larghezza che risultano pari a 110x11,4 m.

Queste imbarcazioni, denominate come "Grandi imbarcazioni del Reno" presentano un pescaggio variabile fra 2,50 e 2,80 m e sono in grado di trasportare carichi compresi fra 1500 e 3000 tonnellate di merci.

3. LA SISTEMAZIONE A CORRENTE LIBERA DEL FIUME PO

3.1. Origini della navigazione moderna

Dopo il suo declino avvenuto nel corso del XIX secolo per l'avvento di mezzi di trasporto più veloci come la ferrovia, la navigazione fluviale ebbe una ripresa all'inizio del secolo successivo che si concretizzò con la fondazione nel 1900 della "Società di Navigazione Fluviale" con sede a Venezia e nel 1906 della "Società Mantovana Barcai" con sede a Mantova e l'introduzione, dal punto di vista tecnico, dei rimorchiatori a vapore, che resteranno in servizio fino al 1943, trasformando radicalmente un settore rimasto immutato per secoli.

La navigazione lungo il corso del Po a valle di foce Adda nei primi anni del secolo era ancora condizionata dalle modificazioni che l'alveo subiva in occasione delle piene cui era soggetto il fiume. Lo spostamento delle isole all'interno dell'alveo determinava frequenti insabbiamenti dei natanti che percorrevano la via d'acqua comportando danni e ritardi al trasporto delle merci e delle persone.

La navigazione fluviale garantiva, fino alla fine del secolo XIX, condizioni vantaggiose rispetto al trasporto terrestre, che avveniva a dorso d'uomo o d'animale o con modesti carriaggi.

L'evoluzione e il progresso dei mezzi di trasporto terrestre hanno fatto diminuire l'interesse negli ultimi cento anni per l'utilizzazione delle imbarcazioni di ridotta capacità, indirizzando il trasporto fluviale verso navi e convogli di grande tonnellaggio che potessero garantire una economicità di trasporto per le merci imbarcate sui battelli.

Oggi la maggior parte dei trasporti fluviali viene realizzata con automotori o convogli (spintore più chiatte) in grado di trasportare oltre 1000 tonnellate sul Po per arrivare a 10.000 tonnellate lungo il Reno e sul Danubio.

L'utilizzo dei fiumi naturali per la navigazione con navi da trasporto di tali dimensioni difficilmente può avvenire, salvo poche eccezioni, senza una sistemazione idroviaria dei fiumi.

A tal fine nel corso degli anni a cavallo della fine del XIX secolo e l'inizio di quello successivo sono stati messi a punto dei metodi di sistemazione che possono essere ricondotti a due sole tipologie differenti e ben distinte: la sistemazione a corrente libera e la bacinizzazione.

La prima interviene sull'alveo di magra con opere flessibili costituite da pennelli o difese spondali che tendono a canalizzare le portate di magra all'interno di un alveo di dimensioni tali da garantire i tiranti necessari alla navigazione.

La seconda interviene sul regime fluviale con la realizzazione di sbarramenti trasversali che regolano i livelli del fiume al fine di modificare il profilo idraulico per garantire i tiranti indipendentemente dalla portata in transito.

I primi interventi di sistemazione a corrente libera sui fiumi europei sono iniziati alla fine del 1800 e sono proseguiti durante la prima metà del secolo successivo.

R.T.P:

Tali interventi erano basati sulle metodiche sviluppate dall'ingegnere francese Girardon per la sistemazione del fiume Rodano a loro volta derivate da studi precedenti del Fargue sulla Garonna.

Il Fargue immagina il fiume naturale come una successione di curve e controcurve determinate da gorghi successivi, intervallate da una soglia in corrispondenza dei flessi dove il fondo del fiume si alza con la formazione di bassi fondali che in occasione di magre pronunciate possono produrre difficoltà alla navigazione. Il basso fondale può essere più o meno pronunciato a seconda se il flusso dell'acqua arriva in direzione parallela o perpendicolare all'asse generale del fiume. In quest'ultimo caso la lama d'acqua presenta una larghezza molto maggiore e quindi una profondità ridotta.

Per ovviare a questa problematica il Girardon propone di concentrare il filone della corrente di magra all'interno di un unico alveo bloccandone il tracciato mediante la realizzazione di opere trasversali costituite da pennelli ancorati alle sponde, mentre le zone concave delle curve vengono protette mediante la realizzazione di difese spondali di tipo longitudinale che indirizzano il flusso principale della corrente.

Tale metodologia è stata applicata in diversi fiumi europei con risultati generalmente positivi.



Figura 3-1: esempi di sistemazione del fiume Rodano secondo lo schema di Girardon (Fonte CNR)

3.2. La sistemazione del tronco di monte

L'avvio degli interventi per lo sviluppo della navigazione moderna del corso del Po può essere datata all'inizio del secolo XIX.

Come riportato nella relazione dell'ing. Ostilio Gorio, allora Ispettore Generale del Genio Civile (Gorio, Settembre 1953)², di cui di seguito si propone una sintesi, lo studio della sistemazione dell'alveo di magra

² Dott. Ing. Ostilio Gorio, "Ventidue anni di studi e lavori sul Po dal 1919 al 1941" Cartotecnica Romana – settembre 1953

del Po ebbe inizio nell'anno 1919 ad opera dell'Ing. Prof. Carlo Valentini, Ispettore Superiore del Genio Civile e dello stesso Ing. Gorio, dal 1919 posto a disposizione dell'ispettorato dal Ministero dei LL.PP.

Nel 1924 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici approva le conclusioni della seconda Commissione Romanin Jacur che sanciva la scelta del Po come asse idroviario della pianura padana nel tratto da foce Adda a Cavanella d'Adige indicando la necessità di procedere alla sistemazione dell'asta fluviale secondo le modalità a corrente libera.

Tale scelta arrivò dopo oltre 20 anni di studi, discussioni e confronti, in particolare fra i sostenitori delle acque *scure*, quelle del Po, e i sostenitori delle acque *chiare*, che ritenevano opportuno la realizzazione di un sistema di idrovie artificiali che collegassero i vari distretti produttivi, in particolare quelli lombardi, abbandonando il corso del Po.

Anche i primi finanziamenti arrivarono solo nel 1931 e furono finalizzati alla sistemazione del fiume nel tratto foce Adda-foce Mincio.

Il primo studio per la sistemazione del Po era finalizzato al miglioramento delle condizioni di navigazione del fiume nella sua asta intermedia per natanti da 600 tonnellate e fu compilato dall'allora Ufficio Superiore del VI Compartimento (Ispettorato del Po) con sede in Parma e presentato in data 20 maggio 1919.

Dal punto di vista geometrico si adottò per la prima volta un disegno planimetrico delle curve di tipo parabolico per meglio assecondare la corrente lungo le rive, tenendo conto delle osservazioni sperimentali del Fargue da cui discesero le sue leggi e che furono adottate per la sistemazione del Rodano in Francia dall'ing. Girardon.

Questa conformazione permetteva di evitare le problematiche connesse alla costanza della curvatura nel caso di andamenti circolari proponendo una sistemazione planimetrica che massimizzava la curvatura nel vertice rendendola minima nel punto di raccordo con il successivo tratto rettilineo.

Per la stabilizzazione delle curve venne proposta una struttura di doppio strato di buzzoni (elementi cilindrici già noti e di antico uso sul Po, formati da un nucleo di ciottolo ed un involucro di rami di salice, legati con lacci di filo di ferro) ricoperti poi da uno strato di pietrame.

Nelle parti convesse e nei rettifili per restringere il fiume vennero realizzate delle palificate di legno da infiggere nell'alveo, a ridosso delle quali venivano appoggiati delle graticciate di salice, al fine di ridurre la velocità dell'acqua determinando il deposito delle torbide e quindi provocare degli interrimenti laterali al canale principale in analogia a quanto fatto in Francia sulla Loira e sul Rodano con esiti soddisfacenti.

I primi lavori riguardarono i tratti di fiume compresi fra la foce dell'Enza e del Crostolo su un tratto di circa 14 km e successivamente il tratto adiacente a monte fra foce Taro e foce Enza della lunghezza di circa 26 km ottenendo la sistemazione di un primo tratto di circa 40 km di fiume.

I criteri geometrici adottati dal Valentini per la sistemazione dell'alveo di magra del fiume consistevano quindi nella fissazione di curve a tracciato parabolico alternato sulle due sponde, fissando solo le parti

R.T.P:

concave del tracciato che si raccordano a tratti rettilinei nel passaggio o sulle soglie da una sponda all'altra, ma lasciando sulle soglie stesse una opportuna larghezza in rapporto alla portata di magra e provvedendo poi a costruire, ove fosse necessario, dei pennelli nelle parti convesse del tracciato e in corrispondenza ai tratti rettilinei di raccordo. Il tipo sperimentato per le opere in alveo, che erano state previste in semplici palificate con graticciate, e ciò allo scopo precipuo di raggiungere la sistemazione col minimo dispendio, non dettero però esito favorevole quale avevano dato, come si è detto sopra, altri fiumi francesi, quali la Loira ed il Rodano marittimo.

Nel 1923 la Commissione dei Lavori Pubblici istituita con D.M. del 15 luglio 1922 n.8319 con lo scopo di riesaminare le problematiche relative alla sistemazione dell'alveo di magra del fiume ai fini della navigazione commerciale, incaricò l'Ufficio Idrografico del Po di Parma di redigere un progetto generale di sistemazione tenendo conto degli effetti e delle risultanze ottenute dalle opere eseguite con i primi due progetti di sistemazione. Tale progetto risultò essere costituito da proposte di larga massima con interventi nel quale il fiume veniva chiuso da due difese pressoché parallele come si evince anche dall'immagine successiva dove è riportato un estratto dell'assetto di progetto del fiume nel tratto fra Torricella Parmense e foce Parma.

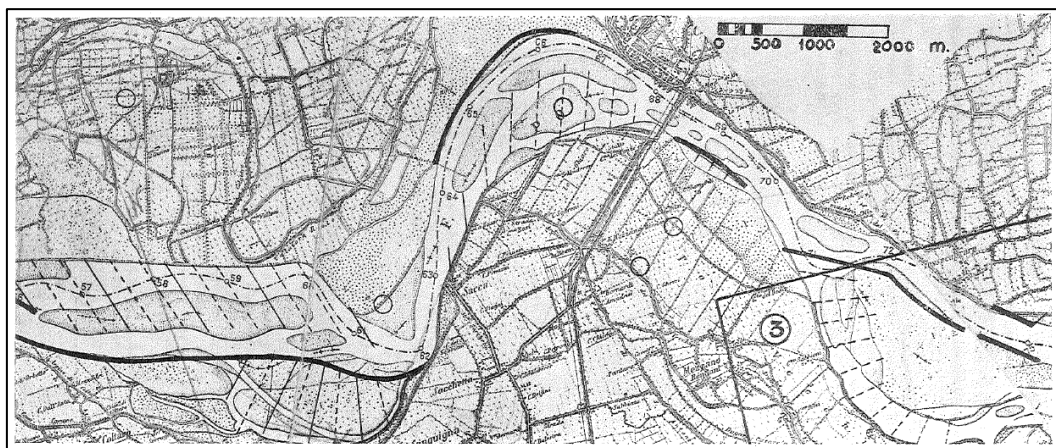


Figura 3-2: tracciato per la sistemazione del Po nel tratto da Torricella Parmense a foce Parma secondo il progetto di massima dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma del 7 novembre 1923

Nel progetto del 1923 si ammetteva l'esistenza di 18 punti fissi nelle divagazioni che il fiume libero da ogni opera effettuava dopo ogni piena e si stabilivano alcune digressioni dalla linea principale del fiume come a valle di Casalmaggiore dove si decise di non seguire la curva a ridosso di foce Parma in destra idraulica, ma la più breve via in sinistra detta fossa di caprara.

Tali assunzioni vennero successivamente superate da altri studi fatti in occasione dell'esecuzione del tracciato definitivo di sistemazione di tutto il tratto foce Adda-foce Mincio eseguito nel 1931.

I punti fissi precedentemente ipotizzati vennero abbandonati fissando nella sistemazione definitiva la posizione di 51 curve mediante difese che ne determinarono la stabilizzazione diventando altrettanti punti fissi che ancora oggi permangono nel tratto compreso fra foce Adda e foce Mincio.

R.T.P:

Il progetto di sistemazione definitiva è stato ottenuto realizzando nell'alveo del fiume un canale regolato che si appoggia alternativamente sulla riva destra e a quella sinistra (Figura 3-3). In tale configurazione la larghezza del canale non è costante ma varia da un minimo, calcolato in base alla portata, sulle soglie ad un massimo variabile in corrispondenza al vertice delle curve che in generale sono archi di parabola ed eccezionalmente, quando le condizioni locali lo impongono, archi di cerchio.

Il canale così ottenuto è costituito da una successione ininterrotta di curve paraboliche collegate fra di loro da tratti rettilinei ad esse tangenti.

Dal punto di vista geometrico rispetto al canale, ad una curva concava su una sponda se ne contrappone una convessa sulla sponda opposta mentre i tratti rettilinei si fronteggiano fra loro.

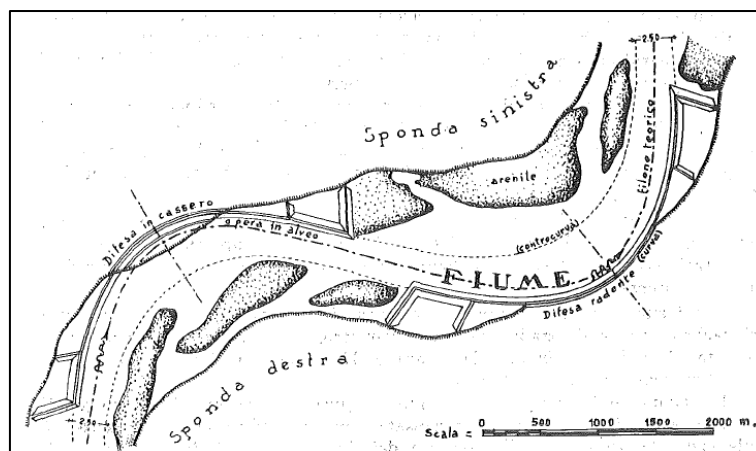


Figura 3-3: schema della configurazione adottata per la sistemazione definitiva dell'alveo del Po nel tratto foce Adda – foce Mincio

Il progetto di sistemazione di questo tratto di fiume si è basato su alcune assunzioni di base che possono essere sinteticamente riepilogate nel modo seguente:

- Realizzazione di curve regolari con andamento parabolico, come già realizzato nei progetti del 1919-1920, che garantiscono la continuità della variazione della curvatura, con semiparametri possibilmente non inferiori ai 1000 metri. Tale valore deriva dalla constatazione che in varie situazioni di erosione spondale, come evidenziato dai rilievi effettuati all'epoca, esse presentavano spontaneamente un andamento planimetrico pressoché parabolico con semiparametro pari proprio tale valore;
- Larghezza del canale regolato sulle soglie di circa 250 m con un allargamento progressivo fino a circa 400 metri in corrispondenza del vertice delle curve;
- Sostanziale uniformità di lunghezza fra il tracciato del canale e il filone naturale del fiume;
- Distanza media fra i vertici delle curve successive non troppo eccessiva, circa 2,8 km, per ottenere la stabilità del tracciato e una buona successione dei fondali conservando all'incirca lo stesso numero dei passaggi che si riscontravano naturalmente nel fiume;
- Utilizzo ove possibile delle difese esistenti per ragioni di economia;

- f. Sfocio degli affluenti nelle parti concave delle curve in modo da consentire alle acque del Po di rimuovere più facilmente e rapidamente gli apporti solidi dei suoi affluenti;
- g. Possibile maggiore addentramento della parte concava delle curve nelle alte sponde del fiume allo scopo di ridurre la lunghezza delle opere realizzate completamente nell'alveo di magra al fine di ridurre i costi di realizzazione degli interventi;
- h. Avvicinamento del tracciato ai centri di maggiore commercio;

Naturalmente all'atto pratico non è stato possibile seguire in toto tutte le indicazioni precedenti dovendo adattare l'assetto di progetto alle situazioni locali, salvo quelle essenziali in particolare quelle ai punti c, f ed h dell'elenco precedente.

L'evoluzione subita dal progetto originale del 1924 del Giandotti, ha portato ad un considerevole aumento dello sviluppo delle opere longitudinali che hanno assunto lunghezze rilevanti.

Tale configurazione produce nel breve periodo buoni risultati, ma a lungo andare può anche determinare condizioni meno favorevoli soprattutto nel caso in cui l'alveo presenti un'elevata mobilità in considerazione anche del fatto che la correzione di assetto di un'opera longitudinale risulta decisamente più complessa rispetto alla medesima necessità in caso di opera trasversale che può essere accorciata o allungata molto più agevolmente rispetto alla tipologia precedente.

La sistemazione a corrente libera realizzata fra gli anni '20 e '60 del secolo scorso si trova oggi ad affrontare una serie di situazioni che hanno determinato cambiamenti importanti sull'assetto del fiume e che hanno origine da una serie di fattori concomitanti.

Per altro anche le mutate caratteristiche dei natanti e delle moderne reti idrovie determinano necessità differenti.

Le portate di magra utilizzate per la progettazione delle opere di sistemazione sono in continua diminuzione per effetto dei cambiamenti climatici e dei crescenti prelievi per usi diversi mentre le moderne imbarcazioni per il trasporto merci con tonnellaggi che possono variare, per la classe V, fra le 1500 e le 3000 tonnellate di capacità, richiedono fondali minimi per la navigazione sempre maggiori.

D'altra parte le caratteristiche geomorfologiche del Po, che presenta pendenze variabili fra 20 e 10 cm al km nel tratto medio-inferiore, una portata media pari a circa 1500 m³/s a Pontelagoscuro, una portata di magra ordinaria pari a circa 400 m³/s e una velocità della corrente variabile fra 0,66 e 1 m/s in condizioni di magra e 2-3 m/s in piena, lo rendono particolarmente adatto già naturalmente alla navigazione fluviale, al contrario dei più importanti fiumi europei, fortemente navigati, che presentano sicuramente condizioni meno favorevoli alla navigazione.

4. ANALISI DELLE ATTUALI CONDIZIONI DI NAVIGABILITA' DEL TRONCO FOCE MINCIO-PO DI GORO

4.1. Premessa

Il progetto di sistemazione del Po così detto a corrente libera ha come scopo quello della sistemazione dell'alveo di magra con finalità congiunte di difesa idraulica e di miglioramento delle condizioni di navigabilità.

Il problema del Po, per quel che riguarda i bassi fondali e la necessità di garantire la navigazione, è sensibilmente diverso nei due tronchi a monte e a valle di foce Mincio:

- a monte di foce Mincio, dove le opere di sistemazione sono quasi completate, il tracciato del fiume è già stabilizzato. I punti dove attualmente permangono bassi fondali, sono in numero limitato e richiedono interventi manutentori limitati (per tale tratto AIPO ha da poco redatto il progetto definitivo 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 una unità di navigazione della Va classe CEMT"*).
- a valle di foce Mincio, in particolare nel tronco fino a Pontelagoscuro, lungo 70 km, il corso del fiume tende a cambiare il proprio tracciato, rispondendo a leggi naturali o ad interventi antropici che sono spesso poco appropriati, quando non del tutto ingiustificati. In tutto questo tronco, tuttavia, l'alveo maggiore è generalmente stretto e così non possono essere consentite al canale attivo divagazioni che giungerebbero subito ad insidiare la stabilità delle arginature. A valle della foce del Mincio i lavori di fissazione e di regimazione dell'alveo hanno una forte motivazione nella difesa dalle alluvioni e, se verranno opportunamente studiate, realizzeranno contemporaneamente condizioni ottime per la navigazione.

4.2. Tratto da foce Mincio al Po di Goro: analisi navigabilità attuale e individuazione dei punti critici

A valle di foce Mincio, ai buoni valori della magra di riferimento, detta magra equivalente, che sono praticamente uguali a quelli del tronco di monte, si accompagnano valori particolarmente limitati della pendenza. Ad Ostiglia, a 150 km dalla foce, il livello della magra equivalente è di circa 8,50 m sul livello del mare.

Naturalmente, l'analisi delle attuali condizioni di navigabilità nonché l'individuazione dei punti di basso fondale, non può prescindere da una verifica completa di tutti gli strumenti conoscitivi e di pianificazione portati avanti nel tempo sia da AIPO che dall'Autorità di bacino del fiume Po.

R.T.P:

Nella prima fase di lavoro, pertanto, si è proceduto alla raccolta delle informazioni utili a definire un quadro il più completo possibile dell'attuale assetto del fiume nel tratto a valle di foce Mincio, anche a seguito degli ultimi eventi di piena che hanno interessato l'asta fluviale.

Valenza prioritaria hanno in particolare le campagne di rilievo sia di tipo terrestre che batimetrico che negli ultimi anni sono state condotte da parte delle Autorità competenti. Oltre a questi è risultato utile anche reperire i dati provenienti da campagne e indagini svolte negli anni passati quali:

- i dati e/o catasti reperibili da precedenti studi ed osservazioni;
- 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;
- altri dati topografici disponibili.

Oltre ai dati precedenti è stata presa in considerazione la caratterizzazione idrologica del bacino del fiume Po che è già stata svolta negli anni precedenti e che è stata redatta considerando:

- tutti i dati idrologici disponibili;
- tutti i dati disponibili circa i punti di basso fondale, la frequenza con cui si verificano e le cause che li provocano;
- l'esame dei progetti di sistemazione del fiume Po esistenti (a corrente libera e non).

È risultato inoltre necessario fare riferimento ai principali atti di pianificazione vigenti, approvati ed adottati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, che riguardano anche il tratto di fiume Po in oggetto, in particolare:

- il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI);
- il Programma Generale di Gestione dei Sedimenti alluvionali del fiume Po (PGGS);

oltre ad altri atti di pianificazione relativi al tratto di asta fluviale in studio tra cui:

- i Piani di Tutela delle Acque regionali;
- il "Progetto Po, fiume d'Europa" della Regione Emilia Romagna;
- i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale delle province interessate.

4.3. Criteri di individuazione degli interventi di sistemazione a corrente libera nel tratto da foce Mincio al Po di Goro

Con riferimento agli studi ed al progetto-pilota sviluppato dall'ARNI per il tronco Castelmassa- Ficarolo, è possibile definire le linee guida da seguire per la realizzazione dei progetti di sistemazione dell'intero tronco di valle. Ciò naturalmente tenendo presenti le esperienze condotte sui tratti di monte già sistemati nonché sulla base delle esperienze sviluppate su altre tratte fluviali, con particolare riferimento ad interventi effettuati all'estero sui principali fiumi europei.

L'individuazione della tipologia e della conformazione degli interventi è stata condotta in particolare con riferimento alla necessità di garantire la navigabilità del fiume da foce Mincio al Po di Goro, con l'obiettivo di ottenere i seguenti valori di fondale minimi:

- fondale minimo di 2,00 m per una durata media annua di 340 giorni/anno (obiettivo che, come già detto, è uguale a quello fissato da AIPO nel progetto a sistemazione libera del tratto di monte da Cremona a foce Mincio);
- fondale minimo di 2,80 m per una durata media annua di 300 giorni/anno.

Nelle modellazioni idrauliche condotte per la verifica delle opere progettate, tali valori minimi del fondale sono stati considerati aggiungendo un franco di sicurezza per la navigazione di 20 cm e quindi considerando rispettivamente i limiti di 2,20 m e 3,00 m.

Il tratto inferiore del Po a valle di foce Mincio, dove gli interventi di sistemazione dell'alveo fluviale sono molto ridotti e finalizzati alla protezione di tratti di sponde da fenomeni di erosione in frodo alle arginature maestre, è caratterizzato da una larghezza ridotta dell'alveo compreso tra le arginature maestre e da un tracciato pressoché dritto. In tali condizioni il canale non ha potuto costruirsi un tracciato in equilibrio e continua a cambiare corso, passando da una sponda all'altra.

Con un lavoro assiduo e mirato attraverso l'utilizzo delle draghe, l'AIPO lavora da anni per imporre al canale il percorso migliore consentito dalla geometria dei luoghi, ricavando, tra le curve di estremità di ciascun tratto, alcune curve intermedie.

Si tratta in genere di curve piuttosto piatte, e quindi poco efficaci e non molto stabili. Il canale non riesce, in queste condizioni, a conservare il proprio tracciato e tende a creare dei "drizzagni" che sconvolgono l'intero tronco e sono assai dannosi sia alla navigazione, per la continua formazione e migrazione dei bassi, sia per la sicurezza idraulica, in quanto la corrente varia continuamente i punti di battuta sugli argini e rende necessari interventi sempre nuovi di protezione.

Le modalità di intervento che si ritiene opportuno adottare nel tratto a valle di foce Mincio si differenziano da quanto già eseguito nel tronco di monte. La conformazione del fiume, infatti, risulta sostanzialmente differente dal tratto a monte del Mincio con una larghezza media dell'alveo e distanza fra arginature maestre decisamente inferiori al tronco superiore. Tale condizione limita la possibilità di realizzare un sistema di curve e controcurve con ampi raggi di curvatura come realizzato nella sistemazione del tronco di monte, obbligando allo stesso tempo ad assecondare l'assetto morfologico esistente. Oltre a ciò occorre considerare che nel frattempo sono cambiati diversi fattori tra cui le dimensioni delle navi a cui fare riferimento, il quadro dei materiali disponibili, la sensibilità nei confronti dei valori ambientali ed inoltre si è aggiunta una considerevole mole di esperienze sviluppate sui fiumi di tutto il mondo.

Tenuto conto dei risultati non ottimali che sono stati generalmente ottenuti dove tra due curve successive sono stati interposti lunghi tratti rettilinei, appare innanzitutto importante adottare curve in grado di garantire, per tutto il loro sviluppo, valori apprezzabili della curvatura.

In generale si può osservare che:

R.T.P:

- in un percorso curvo la corrente è soggetta alla forza centrifuga la quale, componendosi con la forza di gravità, determina una sopraelevazione del livello dell'acqua;
- la sopraelevazione sulla sponda concava modifica il valore della pendenza longitudinale (riducendola nel tratto iniziale e aumentandola in quello terminale della curva);
- le condizioni che generano le componenti trasversali della corrente, che sono quelle che garantiscono la capacità di trasporto solido, variano in modo lineare con la curvatura;
- imponendo che, sia le componenti longitudinali che quelle trasversali della velocità varino linearmente lungo l'intero sviluppo della curva, si perviene ad individuare come forma preferibile della curva da adottare, quella di una clotoide. Conseguentemente, la forma della riva esterna delle curva nel suo complesso, nella quale le variazioni dei valori dinamici della corrente, sia longitudinali che trasversali, si sviluppino con continuità è pertanto quella di una biclotoide, ossia una curva costituita da due rami di clotoide osculanti nel punto di massima curvatura.

Nella realtà, nel tronco a valle di foce Mincio, le caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo, non garantiscono la corretta applicazione delle regole precedenti non essendo possibile garantire lunghezze e raggi di curvatura corrispondenti a tale conformazione geometrica.

Tenuto conto di queste condizioni, per la materializzazione delle curve, diversamente da quanto fatto nel tronco di monte (dove sono state impiegate esclusivamente opere radenti) appare opportuno orientarsi su soluzioni miste comprendenti assieme ad opere radenti anche opere sporgenti, con l'obiettivo di realizzare interventi meno costosi, di minor impatto ambientale e che meglio consentano adeguamenti futuri.

Per quanto riguarda l'altezza delle opere di regolazione, un'attenta osservazione dei livelli corrispondenti alle diverse portate del Po e dei fondali ad esse associati, consigliano di adottare, per il coronamento delle opere, quote prossime a quelle della magra ordinaria, indicativamente attorno ad 800 m³/s. Si tratta di una scelta che, pur corrispondendo all'ordine di grandezza di quella originaria dei progetti del tratto di monte da Cremona a foce Mincio, che come già ricordato è oggi fortemente alterata per l'abbassamento dell'alveo, porta ad opere che, rispetto a quelle oggi presenti del tronco di monte, risultano mediamente più basse di circa due metri. Si tratta pertanto di opere dal modestissimo impatto, che si potranno vedere soltanto nelle magre più accentuate.

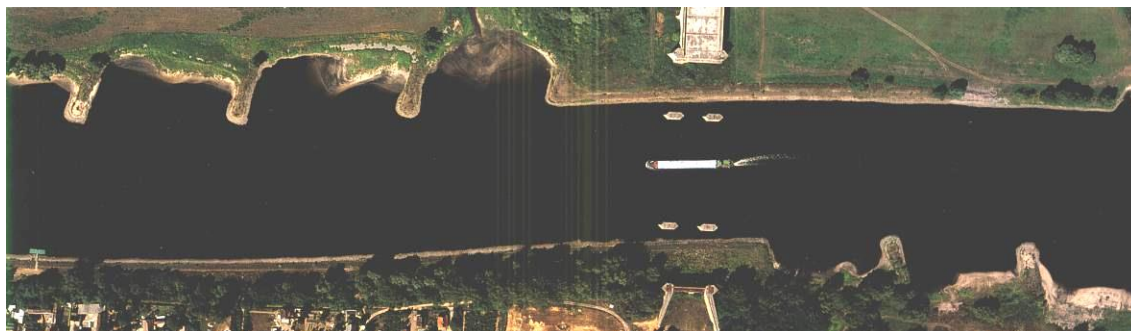


Figura 4-1 – Esempi di pennelli trasversali per la sistemazione a corrente libera del fiume Elba vicino a Magdeburgo.

4.4. Tratto da foce Mincio al Po di Goro: analisi dei bassi fondali allo stato attuale

L'analisi dei bassi fondali è stata condotta al fine di valutare le condizioni di navigabilità del fiume con riferimento in particolare alla regolazione a corrente libera dell'alveo di magra dell'asta fluviale atta a consentire la navigabilità di navigli della classe Va secondo la classificazione Europea C.E.M.T. del 1992.

Il metodo di sistemazione che viene definito "regolazione a corrente libera dell'alveo di magra" consiste in una sistemazione che non ha soltanto funzioni idroviarie, infatti in un alveo dovunque costretto entro argini molto alti, che proteggono popolazioni addensate lungo le sue sponde e beni di grande valore, è indispensabile impedire le divagazioni del tracciato che portano il canale di magra, con la sua capacità erosiva, al piede dei rilevati arginali in punti privi di protezione.

La regolazione dell'alveo di magra del Po è stata studiata dal 1920 ed è stata realizzata con ritmi lentissimi nel tronco tra Cremona e la foce del Mincio, completata oggi al 90% del programma iniziale, pur in un contesto radicalmente mutato. Qui le condizioni di navigabilità sono comunque decisamente migliorate. Mentre prima dei lavori i fondali superiori ai 2 m erano disponibili soltanto per 60 giorni nell'anno medio, oggi essi sono disponibili per 260 giorni. Anche nel tronco a valle di foce Mincio, in seguito alla maggiore efficacia nella sua gestione, i fondali superiori a 2 m sono disponibili per 250 giorni nell'anno medio, pur senza nessuna sistemazione.

In questo tratto i lavori di regolazione sono appena iniziati, anche se in modo non ancora organico e per interventi limitati, ma i risultati non potranno mancare perché qui le condizioni sono sensibilmente più favorevoli. L'intervento richiesto per la regolazione dell'alveo di magra è certamente il più leggero che si possa adottare. E' la scelta che più di ogni altra rispetta i caratteri naturali del fiume e ben si sposa con le esigenze della difesa idraulica. Ciò naturalmente se la stessa regolazione è studiata in modo da non alterare la dinamica morfologica dell'alveo, in particolare evitando che si inducano tendenze all'abbassamento dell'alveo.

R.T.P:

E' in questa direzione che l'ARNI, oggi confluita in AIPO Navigazione, ha studiato i più recenti e avanzati progetti, seppure di modesta entità, per la correzione dei punti critici dove si formano i bassi fondali, che mirano a ridurre l'erosione del fondo, a proteggere le arginature maestre, a conservare il canale navigabile e a ridurre sensibilmente gli interventi di manutenzione.

L'individuazione dei punti di basso fondale risulta quindi necessaria a determinare i tratti di fiume in cui effettuare gli interventi di sistemazione che permettano di garantire le condizioni minime di navigabilità.

In particolare per quel che riguarda i tiranti le condizioni minime da raggiungere, sulla base di quanto già adottato nell'ambito dei precedenti interventi di sistemazione, vengono indicate secondo i valori elencati di seguito:

- persistenza di un fondale minimo pari a 2,00 metri per almeno 340 giorni all'anno;
- persistenza di un fondale minimo pari a 2,80 metri per almeno 300 giorni all'anno;

Naturalmente la condizione di persistenza del tirante minimo, come sopra riportato, non è sempre garantita a causa della formazione di barre longitudinali o di banche di depositi formati per effetto di varie cause: zone di passaggio tra curva e controcurva, eccessiva distanza delle tangenti di due curve successive, raggi di curvatura troppo ampi, irregolarità delle curve (vecchie difese, curve policentriche o varianti al tracciato del progetto) ed il non completamento delle opere di sistemazione (esempio riportato in figura). Nei punti sopra descritti si creano quindi tratti di fiume caratterizzati da bassi fondali i quali possono impedire il transito dei natanti.

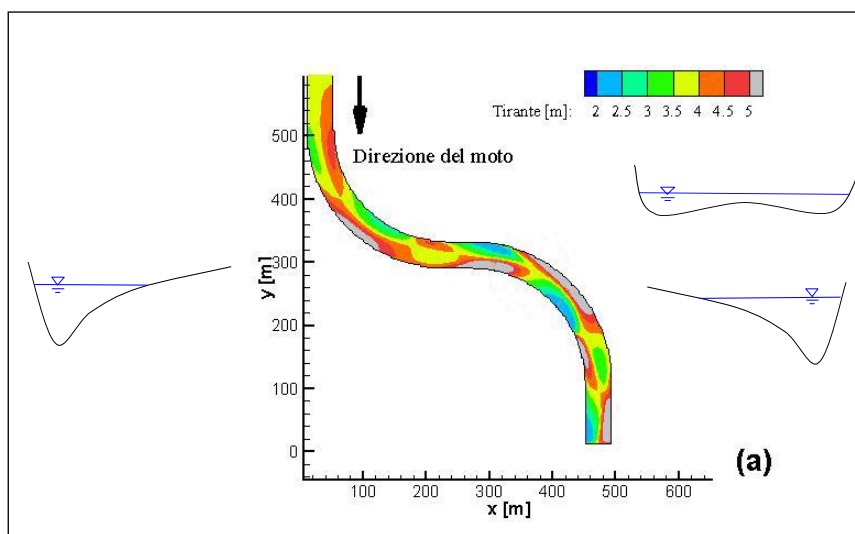


Figura 4-2 – Esempio di distribuzione dei tiranti lungo un tratto fluviale

L'individuazione dei tratti in cui il tirante idrico risulta insufficiente ai fini della navigazione commerciale è stata condotta analizzando i dati dei rilievi giornalieri eseguiti dai tecnici dell'Ufficio Navigazione Interna di AIPO effettuati nel periodo 1994-2013, per le località caratterizzate dalla presenza di bassi fondali, in

particolare nel tratto di fiume Po compreso tra foce Mincio e Po di Goro, che non è ancora stato interessato da interventi di sistemazione atti a realizzare un canale navigabile.

L'analisi è stata condotta sulla base dei dati disponibili, in particolare il dato fornito individua, per ciascuna località presa in considerazione, il numero di giorni annui in cui il tirante idrico risulta inferiore a 2,0 m.

Nelle tabelle successive si riportano, per ognuna delle località disponibili, i valori della persistenza, in giorni, di fondali inferiori a 2,00 metri per ciascun anno del periodo 1994 – 2013.

Nome Località	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
FOCE MINCIO	0	5	0	9	9	9	0	0	31	129	32	50	64	12	0	0	0	0	5	0
FOCE SECCHIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	5	42	75	93	19	0	0	0	19	0
SABBIONCELLO	0	0	0	0	7	0	10	0	6	8	34	103	74	105	64	35	32	11	60	44
BONIFICA SABBIONCELLO	0	0	0	3	0	0	0	0	36	103	4	44	45	6	2	36	20	1	70	0
MONTE QUINGENTOLE	0	7	11	60	24	28	17	0	36	89	38	97	186	239	98	14	0	4	18	72
VALLE QUINGENTOLE	0	0	9	2	32	0	46	0	6	42	69	83	181	214	87	99	7	82	73	48
PEREROLO	0	0	0	18	15	28	0	0	0	0	7	67	61	0	0	22	2	10	106	37
MONTE CARLETTE	0	4	0	2	0	0	19	0	0	82	0	54	70	38	0	0	0	0	0	0
CARLETTE	0	21	10	6	25	0	0	0	0	33	32	69	152	175	134	109	58	33	58	15
FORNACI	0	0	0	52	38	34	18	0	0	43	21	63	76	104	63	16	75	78	84	68
PAGLIOTTA	9	10	0	0	36	10	6	0	0	72	0	63	82	59	6	25	2	6	73	13
MONTE OSTIGLIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
MONTE P.TE REVERE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	0	23	40	0	0	0	0	0	0	0
RONCHI	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	71	124	137	13	0	7	0	0	0
BONIZZO	18	18	5	63	35	21	45	6	23	69	3	37	82	180	71	1	0	0	72	18
MELARA	13	44	13	15	36	28	41	4	24	9	9	51	85	210	46	73	95	133	193	121
VALLE MELARA	0	28	0	92	0	0	36	0	0	2	0	41	145	190	128	0	11	0	0	36
PRADONI	0	2	0	28	22	33	11	8	32	97	58	71	122	135	65	109	7	0	47	0
MERICONDA	0	0	0	11	10	0	25	0	0	79	0	91	91	95	12	99	25	1	14	3
ISOLA CANTUTTI	0	27	0	41	18	26	32	0	48	0	28	87	100	9	4	6	15	0	0	0
VALLE ISOLA CANTUTTI	0	0	0	0	0	0	0	19	34	74	29	77	79	73	12	27	0	38	102	35
BARONI	0	10	0	10	5	0	0	0	25	11	24	9	60	62	0	0	0	3	80	0
BERGANTINO	12	4	0	0	1	0	0	0	0	67	20	33	74	2	1	0	0	0	0	3
CROSSINE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	19	67	89	13	0	0	0	0	0
MONTE P.TE	15	12	0	2	0	0	0	0	12	131	57	75	100	81	6	22	13	34	91	15
PONTE CASTELMASSA	9	3	5	3	0	0	0	0	0	71	29	55	81	61	1	0	0	0	15	0
CASTELMASSA	0	0	0	0	21	40	56	0	0	109	58	95	197	239	109	0	24	0	1	0
BOSCO CAPOSOTTO	45	69	7	34	34	43	42	13	55	122	63	125	126	108	35	37	44	71	194	70
CALTO	40	9	19	47	41	25	0	0	22	167	58	71	114	155	104	27	43	99	185	120
FELONICA	0	11	19	28	20	27	8	0	3	117	58	70	177	217	113	74	68	69	150	42
CHIAVICA DI CALTO	0	0	0	0	0	21	14	0	54	140	66	90	98	127	124	124	60	113	124	44
ISOLA MALAVASI	32	19	4	15	28	6	5	0	6	0	25	80	221	175	0	0	40	125	225	124

R.T.P:

Nome Località	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
MERLINO	1	4	2	44	0	0	0	0	0	0	0	36	104	178	10	0	4	111	82	0
CA' POLESINE	39	10	0	37	23	23	4	0	0	47	0	14	71	94	37	20	0	53	103	61
FRONTE FICAROLO	0	7	0	48	0	0	0	0	10	127	16	94	180	119	11	0	0	0	35	0
CHIAVICA PILASTRESI	14	30	4	17	36	45	5	0	15	92	10	94	178	175	101	0	0	0	0	1
FONDO CALZA	0	0	4	7	5	0	0	0	0	78	29	33	31	0	0	0	0	0	0	0
GAIBA	48	35	9	45	24	49	30	1	0	25	0	0	29	36	72	0	0	8	2	3
VALLE GAIBA	0	10	0	60	28	0	84	23	69	110	41	118	161	240	150	144	19	116	177	59
RAVALLE	39	12	7	0	33	32	26	2	15	46	0	69	115	97	103	109	48	128	179	95
BONELLO	34	0	0	50	7	34	77	30	47	83	42	92	111	88	44	11	1	40	160	123
MONTE STIENTA	0	0	0	0	0	0	19	0	33	24	0	0	0	0	2	0	0	101	160	38
STIENTA	0	0	0	0	3	26	71	22	64	119	52	89	115	87	107	111	4	0	0	0
CA' PRINELLA	22	14	0	39	32	40	36	6	78	95	20	77	114	117	29	41	29	123	162	43
OCCHIOBELLO	0	0	0	0	0	0	2	0	0	16	0	25	68	85	67	29	0	5	136	0
MALCANTONE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1
PONTELAGOSCURO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	72	99	172	91	24	0	0	68	0
ISOLA BIANCA	30	31	7	66	33	47	52	8	56	129	27	66	75	93	75	38	49	163	191	81
FRANCOLINO	27	0	11	67	41	36	0	3	12	82	24	75	91	81	3	39	8	33	57	22
PAVIOLE	27	18	18	13	30	40	40	22	73	76	30	107	150	176	148	37	26	72	83	1
BORGIO DI PESCARA	0	10	7	37	9	32	44	0	1	42	2	98	102	41	66	60	16	62	96	38
GAROFALO	0	4	0	61	25	28	21	11	38	0	0	85	114	81	33	3	10	49	90	19
MONTE ZOCCA	0	0	0	17	2	0	0	0	0	0	0	0	6	104	15	0	0	0	0	0
PONTE POLESILLA	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
CRESPINO	29	0	8	87	52	57	87	0	91	87	62	139	91	57	15	7	39	33	112	61
PASSETTO	0	0	0	0	0	0	29	0	0	140	5	18	108	112	1	0	0	0	0	1
VICENTINA	0	0	0	41	0	0	0	0	0	56	0	0	57	36	1	0	0	0	0	0
CANALNUOVO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
CA' MATTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	6	47	0	0	0	0	0	0	0	0
VALLE S. MARIA IN PUNTA	0	0	0	0	0	0	1	0	0	230	0	0	0	14	6	0	0	0	0	0
CORBOLA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
BOTTRIGHE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	24
MAZZORNO IN DESTRA	15	11	0	59	0	5	151	1	21	117	0	7	0	0	0	55	27	0	48	62
MAZZORNO IN SINISTRA	8	0	26	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAVANELLA	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 1 - Valori di persistenza dei bassi fondali lungo l'asta del Po a valle di foce Mincio

La media annuale del numero di giorni con fondali insufficienti calcolata sull'intero campione delle località disponibili, descrive naturalmente una estrema variabilità del dato, evidenziando però un aumento, negli ultimi anni, del numero di giorni complessivi in cui i fondali non sono sufficienti alla navigazione, con un periodo particolarmente siccitoso fra il 2003 e il 2007 in cui per quasi 1/3 dell'anno il fiume non risultava navigabile nel tratto preso in considerazione.

Tali considerazioni sono illustrate nel grafico successivo da cui risulta evidente quanto precedentemente illustrato.

Oltre ai valori che fanno riferimento a fondali minimi pari a 2 metri, AIPO ha disponibili i valori relativi a fondali minimi pari a 2,5 metri. Naturalmente il numero di giorni in cui i fondali non raggiungono il valore di riferimento aumentano in modo significativo, con punte di oltre 100 giorni all'anno per quelli più siccitosi.

Parametro	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
MEDIA ANNUALE	8	8	3	21	13	13	19	3	17	61	18	53	83	87	39	26	14	31	62	26

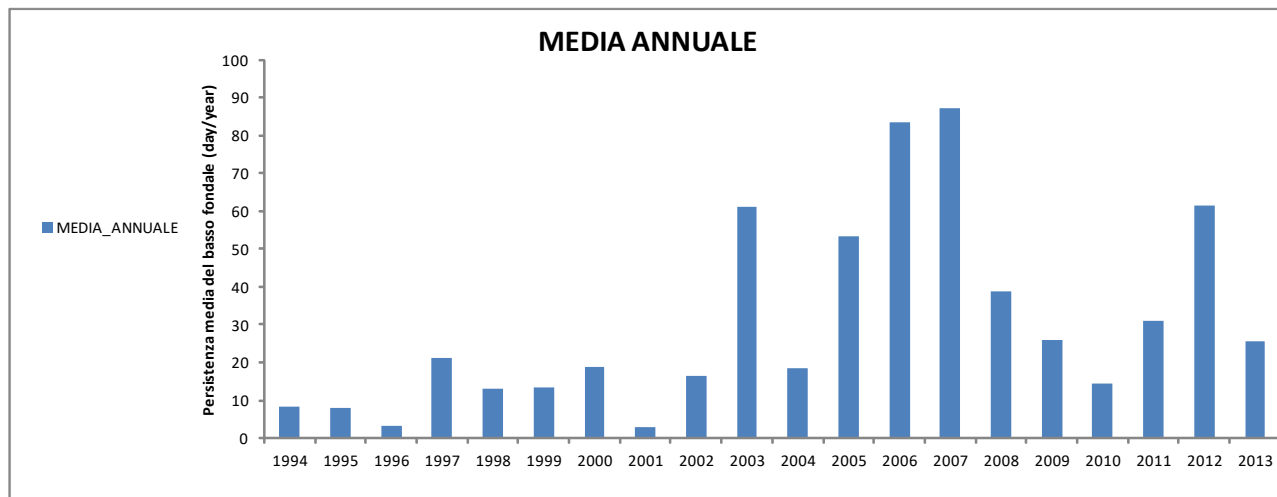


Figura 4-3 – media annuale del numero di giorni con fondali insufficienti calcolata sull'intero campione delle località disponibili

Alla luce delle caratteristiche sopra evidenziate si è quindi deciso di valutare differenti scenari per l'analisi del campione di dati come descritto nel seguito.

Per ogni località caratterizzata dalla presenza di bassi fondali sono state calcolate le medie dei seguenti periodi: 1994 – 2013 (campione completo); 2003 – 2013 (ultimo decennio); 2003 – 2007 (condizioni più gravose registrate) e sono quindi stati individuate le località per le quali le medie delle persistenze dei bassi fondali sono maggiori di 25 giorni; inoltre per individuare le località caratterizzate dalle criticità maggiori si è definita una scala cromatica in funzione del grado di persistenza come sotto riportato.

COLORE	DESCRIZIONE	GIORNI DI PERSISTENZA DEL FONDALE "G"
Verde	TRATTO A RIDOTTA PERSISTENZA	$0 < G < 25$
Giallo	TRATTO A MEDIA PERSISTENZA	$25 < G < 35$
Rosa	TRATTO AD ELEVATA PERSISTENZA	$35 < G < 50$
Rosso	TRATTO CRITICO	$G > 50$

Nome Località	MEDIA 1994 - 2013	MEDIA 2003 - 2013	MEDIA 2003 - 2007
FOCE MINCIO	17,8	26,5	57,4
FOCE SECCHIA	13,6	24,6	46,6
SABBIONCELLO	29,7	51,8	64,8
BONIFICA SABBIONCELLO	18,5	30,1	40,4
MONTE QUINGENTOLE	51,9	77,7	129,8
VALLE QUINGENTOLE	54,0	89,5	117,8
PEREROLO	18,7	28,4	27,0
MONTE CARLETTE	13,5	22,2	48,8
CARLETTE	46,5	78,9	92,2
FORNACI	41,7	62,8	61,4
PAGLIOTTA	23,6	36,5	55,2
MONTE OSTIGLIA	0,7	1,3	2,8
MONTE P.TE REVERE	5,1	9,3	20,4
RONCHI	17,8	32,0	66,4
BONIZZO	38,4	48,5	74,2
MELARA	62,2	93,2	72,8
VALLE MELARA	35,5	50,3	75,6
PRADONI	42,4	64,6	96,6
MERICONDA	27,8	46,4	71,2
ISOLA CANTUTTI	22,1	22,6	44,8

Tabella 2 - Valori medi di persistenza dei bassi fondali lungo l'asta del Po a valle di foce Mincio

R.T.P:

Nome Località	MEDIA 1994 - 2013	MEDIA 2003 - 2013	MEDIA 2003 - 2007
VALLE ISOLA CANTUTTI	30,0	49,6	66,4
BARONI	15,0	22,6	33,2
BERGANTINO	10,9	18,2	39,2
CROSSINE	11,5	20,8	43,2
MONTE P.TE	33,3	56,8	88,8
PONTE CASTELMASSA	16,7	28,5	59,4
CASTELMASSA	47,5	75,6	139,6
BOSCO CAPOSOTTO	66,9	90,5	108,8
CALTO	67,3	103,9	113,0
FELONICA	63,6	105,0	127,8
CHIAVICA DI CALTO	60,0	100,9	104,2
ISOLA MALAVASI	56,5	92,3	100,2
MERLINO	28,8	47,7	63,6
CA' POLESINE	31,8	45,5	45,2
FRONTE FICAROLO	32,4	52,9	107,2
CHIAVICA PILASTRESI	40,9	59,2	109,8
FONDO CALZA	9,4	15,5	34,2
GAIBA	20,8	15,9	18,0
VALLE GAIBA	80,5	121,4	134,0
RAVALLE	57,8	89,9	65,4
BONELLO	53,7	72,3	83,2
MONTE STIENTA	18,9	29,5	4,8
STIENTA	43,5	62,2	92,4
CA' PRINELLA	55,9	77,3	84,6
OCCHIOBELLO	21,7	39,2	38,8
MALCANTONE	0,3	0,5	0,8
PONTELAGOSCURO	27,2	49,4	72,0
ISOLA BIANCA	65,9	89,7	78,0
FRANCOLINO	35,6	46,8	70,6
PAVIOLE	59,4	82,4	107,8
BORGIO DI PESCARA	38,2	56,6	57,0
GAROFALO	33,6	44,0	56,0
MONTE ZOCCA	7,2	11,4	22,0
PONTE POLESILLA	0,7	0,1	0,2
CRESPINO	55,7	63,9	87,2
PASSETTO	20,7	35,0	76,6
VICENTINA	9,6	13,6	29,8
CANALNUOVO	0,1	0,1	0,0
CA' MATTE	11,1	20,1	44,2
VALLE S. MARIA IN PUNTA	12,6	22,7	48,8
CORBOLA	0,2	0,4	0,0
BOTTRIGHE	1,4	2,5	0,0
MAZZORNO IN DESTRA	29,0	28,7	24,8
MAZZORNO IN SINISTRA	4,2	0,0	0,0
CAVANELLA	0,4	0,0	0,0

Dalle analisi sopra riportate si ha quindi una panoramica della situazione del fiume Po allo stato attuale rispetto alla persistenza dei bassi fondali. Visualizzando in un grafico i tre valori medi analizzati si nota come il periodo 2003-2007 incida in modo particolarmente significativo sui risultati dell'elaborazione statistica essendo questi anni caratterizzati da un prolungato stato di siccità.

R.T.P.:

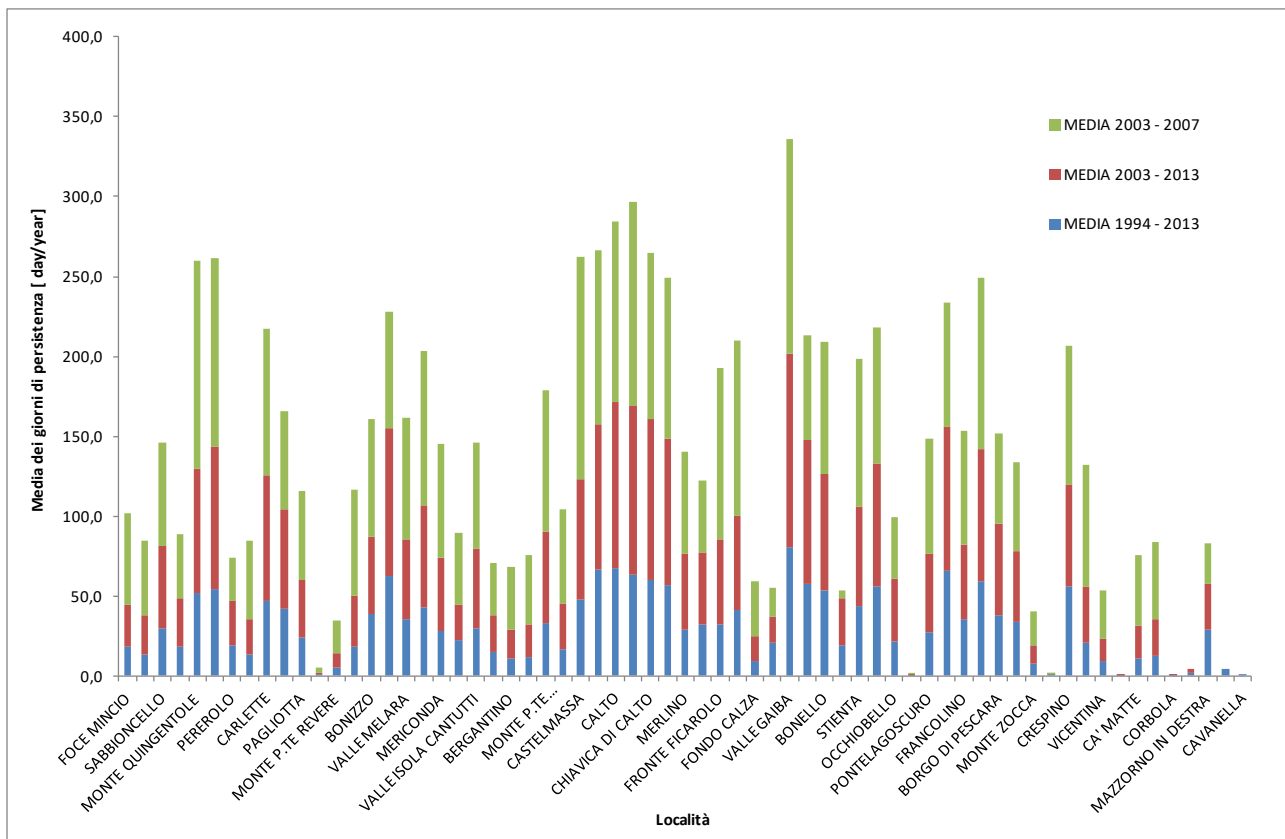


Figura 4-4 – Media, relativa ai diversi periodi considerati, della persistenza di bassi fondali per le diverse località lungo il fiume Po a valle di foce Mincio

Sulla base dei dati disponibili aggiornati emerge che per l'intero periodo considerato il tirante di 2 metri risulta disponibile mediamente per circa 335 giorni all'anno; la stessa statistica calcolata per i due sottointervalli, porta a valori mediamente inferiori, pari a 320 giorni per l'intervallo 2003-2013 e 305 giorni per l'intervallo 2003-2007.

Sulla base delle analisi precedenti sono state tracciate delle planimetrie dell'intero tratto del fiume oggetto di analisi da foce Mincio a Po di Goro sulle quali, con la medesima scala cromatica indicata nella presente relazione, sono state individuate le località per le quali la persistenza media dei bassi fondali è superiore ai 25 giorni/anno come quelle indicate di seguito a titolo di esempio.

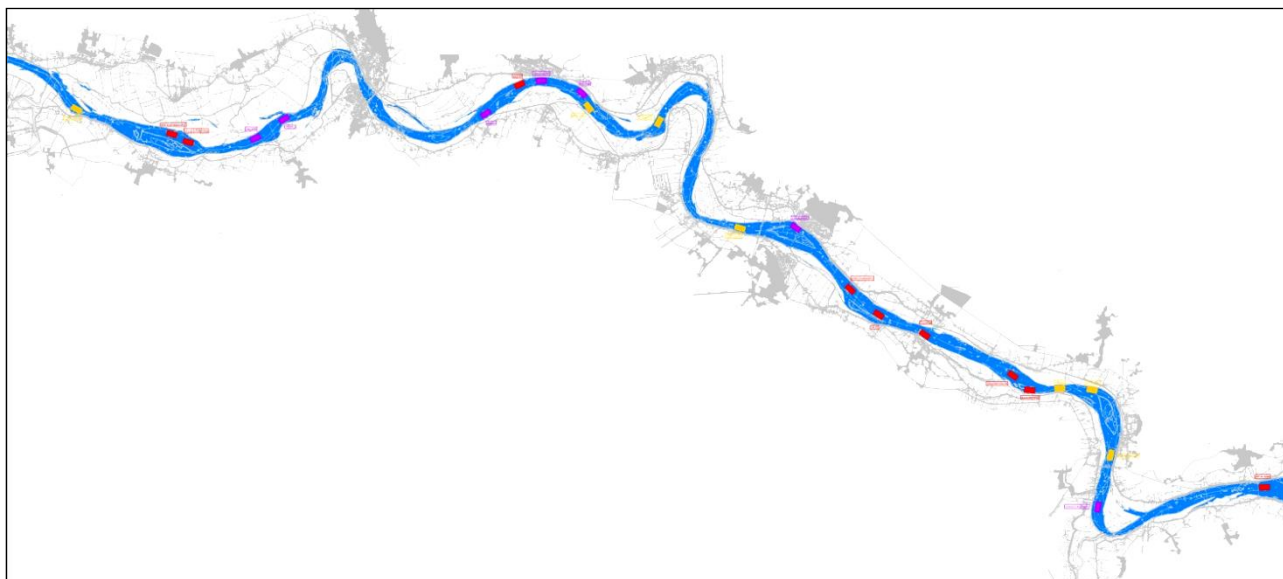


Figura 4-5 – Bassi fondali (< 2 m) individuati tra Foce Mincio e Valle Gaiba

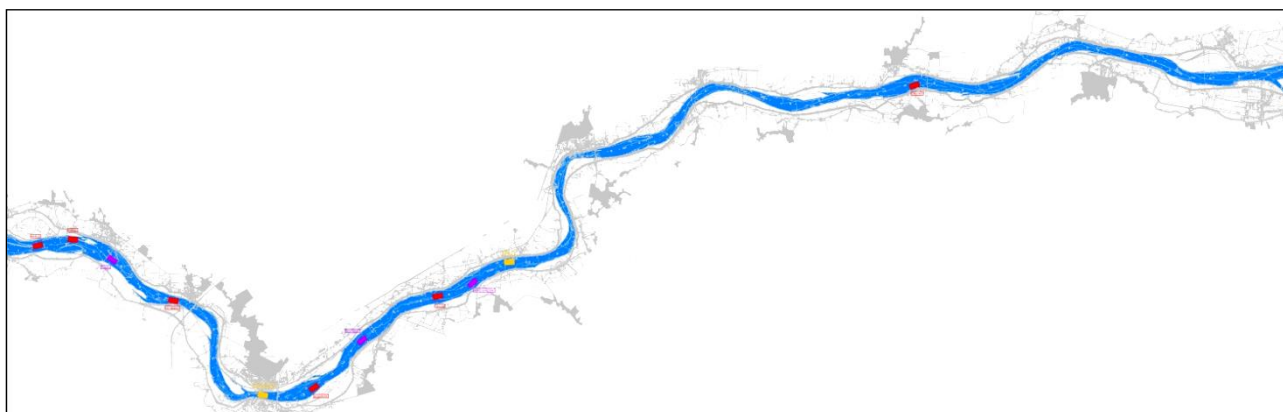


Figura 4-6 – Bassi fondali (< 2 m) individuati tra Valle Gaiba e Po di Goro

R.T.P:

5. SISTEMAZIONE A CORRENTE LIBERA DEL TRONCO IN PROGETTO

5.1. Premessa

La necessità di garantire sufficienti condizioni di sicurezza idraulica nonché adeguate condizioni di navigabilità lungo il corso del Po per le imbarcazioni di tipo commerciale, comporta l'ottenimento dei fondali necessari al passaggio delle imbarcazioni per un sufficiente numero di giorni/anno.

Tale condizione è dettata dall'esigenza di garantire alle compagnie interessate alla navigazione lungo il fiume, adeguate condizioni di navigabilità con la possibilità di poter pianificare e programmare opportunamente le attività legate alla percorrenza dell'asta fluviale.

La sistemazione del fiume a corrente libera, così come descritta nei capitoli precedenti, risulta sostanzialmente l'unica possibile per il tratto terminale di Po, dove le pendenze del fiume si riducono a valori inferiori ai 10 cm al Km, rendendo il fiume naturalmente navigabile per lunghi periodi dell'anno.

Solamente in occasione delle magre più pronunciate possono manifestarsi condizioni tali da rendere necessari interventi di sistemazione che permettano di concentrare la corrente al centro dell'alveo attivo in modo da ridurre la larghezza del canale navigabile ed ottenere i tiranti d'acqua sufficienti al passaggio delle imbarcazioni.

La sistemazione a corrente libera può per altro contribuire ad aumentare il grado di sicurezza delle arginature maestre, che in questo tratto risultano particolarmente ravvicinate all'alveo attivo del fiume, allontanando la corrente dalle sponde evitando in questo modo pericolosi fenomeni di erosione immediatamente al piede delle arginature poste a difesa della campagna retrostante gli argini.

Tale modalità di sistemazione è già stata utilizzata nel tronco di monte tra foce Adda e foce Mincio con l'individuazione e la realizzazione di 51 curve di navigazione che hanno determinato la stabilizzazione del tracciato del fiume dando nel tempo buoni risultati con il raggiungimento dei fondali necessari alla navigazione per un discreto numero di giorni anno.

Nei fiumi sistemati a corrente libera, dove i livelli non sono stabili ma dipendono strettamente dalle condizioni idrologiche del fiume, la navigabilità del corso d'acqua viene misurata con il "livello equivalente", ossia il pescaggio minimo garantito per 340 giorni/anno, ritenendo i 2 metri un valore di pescaggio utile per la capacità di portata delle imbarcazioni della navigazione interna e confrontabile con i principali fiumi europei nei tratti sistemati a corrente libera.

R.T.P:

A titolo di esempio si riportano nella tabella successiva per l'anno 2016, per il quinquennio 2012-2016 e il decennio 2007-2016 (fonte rivista "Qui Po 1-2/2017") il numero di giorni/anno in cui sono stati garantiti fondali variabili fra 120 e 280 cm nei cinque tronchi in cui è suddivisa l'asta del Po da Piacenza e fino a Volta Grimana.

NAVIGABILITA' 2016									
	≥ 120	≥ 140	≥ 160	≥ 180	≥ 200	≥ 220	≥ 240	≥ 250	≥ 280
Piacenza – Isola Serafini	362	321	240	140	103	61	41	31	18
Cremona – Boretto	355	345	334	298	241	202	157	140	100
Boretto – Foce Mincio	348	342	303	224	177	145	122	116	104
Foce Mincio – Pontelagoscuro	315	262	195	140	104	83	63	62	45
Pontelagoscuro – Volta Grimana	361	353	338	298	222	174	144	121	54

MEDIA QUINQUENNIO 2012 - 2016									
	≥ 120	≥ 140	≥ 160	≥ 180	≥ 200	≥ 220	≥ 240	≥ 250	≥ 280
Piacenza – Isola Serafini	353	324	267	183	127	86	61	53	35
Cremona – Boretto	361	351	340	325	298	262	231	218	179
Boretto – Foce Mincio	355	352	341	320	293	264	235	224	181
Foce Mincio – Pontelagoscuro	312	284	246	211	181	153	124	115	81
Pontelagoscuro – Volta Grimana	337	331	320	293	254	214	178	163	103

MEDIA DECENNIO 2007 - 2016									
	≥ 120	≥ 140	≥ 160	≥ 180	≥ 200	≥ 220	≥ 240	≥ 250	≥ 280
Piacenza – Isola Serafini	357	340	292	212	152	105	81	72	49
Cremona – Boretto	358	348	337	316	285	250	219	206	168
Boretto – Foce Mincio	356	352	344	325	301	269	240	226	183
Foce Mincio – Pontelagoscuro	327	301	263	216	178	146	119	108	78
Pontelagoscuro – Volta Grimana	344	333	321	292	250	207	167	151	103

Come si può osservare dalla tabella, il numero di giorni è significativamente più alto per il tratto di monte che va da Cremona a Foce Mincio, già sistemato a corrente libera, rispetto a quello a valle di foce Mincio sostanzialmente privo di opere se non per alcune protezioni spondali a difesa degli apparati arginali. La navigabilità torna a migliorare a valle di Pontelagoscuro perché a mano a mano che ci si avvicina alla foce, diventa sempre più significativo il rigurgito da valle determinato dal livello del mare che fa sentire la sua influenza per diversi chilometri verso l'interno.

5.2. Descrizione dell'assetto di progetto nel tratto di intervento

Le caratteristiche morfologiche del Po nel tratto oggetto di sistemazione con riferimento in particolare alla pendenza longitudinale dell'asta, mediamente inferiore ai 10 cm al chilometro, lo rendono già naturalmente navigabile per lunghi periodi dell'anno e contemporaneamente particolarmente adatto alla sistemazione secondo il metodo cosiddetto a corrente libera, che prevede la regolazione dell'alveo di magra mediante la realizzazione di una serie di opere radenti che permettono di concentrare il filone principale della corrente

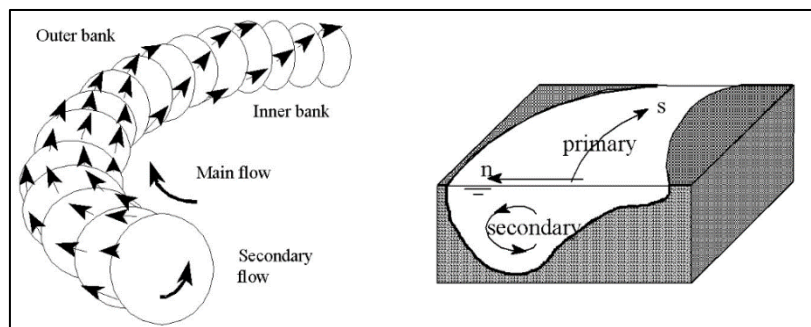
R.T.P:

al centro dell'alveo per garantire fondali sufficienti alla navigazione anche quando le portate nel fiume scendono a valori minimi.

Tale sistemazione è ottenuta realizzando una serie di opere radenti sia di tipo longitudinale che trasversale sormontabili per portate mediamente superiori a circa $800 \text{ m}^3/\text{s}$, in modo tale da risultare sommerse per la maggior parte dell'anno.

Non è possibile scendere al di sotto di questi valori, comunque inferiori alle magre ordinarie, in quanto per portate inferiori l'energia della corrente non è in grado di movimentare il sedimento di fondo rendendo vana l'efficacia delle opere realizzate. Devono infatti innescarsi nella corrente dei moti rotazionali affinché il fiume provveda a scavare il filone principale della corrente garantendo il raggiungimento dei tiranti idrici desiderati utili per la navigazione.

Tale condizione si ottiene modellando l'alveo attivo del fiume secondo uno schema di curve e controcurve che appunto innescano i moti rotazionali della corrente che a sua volta deve possedere un livello di energia tale da poter movimentare il materiale di fondo dell'alveo secondo uno schema fisico che può essere rappresentato come nella figura successiva.



La metodologia di sistemazione a corrente libera si basa sulle teorie e sulle sperimentazioni condotte tra la fine del 1800 e l'inizio del secolo scorso da vari ingegneri su diversi fiumi europei tra cui i più importanti da ricordare sono il Fargue, a cui si devono le leggi omonime, e il Girardon che le ha applicate per la realizzazione delle prime opere di sistemazione del Rodano in Francia.

Tale metodologia prevedeva la realizzazione di una serie di curve e controcurve successive lungo l'asta fluviale in grado, come detto in precedenza, di innescare i moti rotazionali necessari ad approfondire il filone centrale della corrente per garantire i tiranti necessari alla navigazione fluviale.

Tali concetti sono stati solo parzialmente utilizzati per la sistemazione del tratto interessato dalla presente progettazione, in quanto l'assetto morfologico del fiume in questo tronco presenta caratteristiche planimetriche che, come meglio evidenziato in seguito, ne rendono solo parzialmente adatta la loro applicazione.

Il tratto oggetto di sistemazione si estende indicativamente da Castelmasa a Stienta approssimativamente dalla chilometrica 528 alla chilometrica 558 per un totale di circa 30 chilometri.

Lo stesso si sviluppa indicativamente da nord-ovest verso sud est con tre sottotratti che presentano un andamento prevalentemente rettilineo, o comunque a bassa curvatura, intervallati da due curve particolarmente accentuate in corrispondenza la prima dell'abitato di Ficarolo, la seconda della foce del Panaro, ultimo affluente appenninico in destra al fiume (figura seguente).



Figura 5-1: tratto di Po interessato dalle opere di sistemazione con l'evidenziazione delle arginate maestre e golenali

I tre sottotratti, identificati come di seguito, presentano le lunghezze indicate in elenco:

- Sottotratto Castelmasa-Ficarolo (l=13 km)
- Sottotratto Ficarolo-foce Panaro (l=5 km)
- Sottotratto foce Panaro-Stienta (l=12 km)

La conformazione del fiume in questi tratti rende particolarmente frequente la formazione di bassi fondali per effetto delle modeste curvature che l'alveo assume lungo il percorso, rendendo di conseguenza difficoltosa la navigazione dei natanti quando le portate nel fiume scendono al di sotto della portata media. Per lo stesso motivo le caratteristiche geometriche adottate per la sistemazione a corrente libera non sono quelle abitualmente utilizzate in altri ambiti fluviali in quanto la presenza di tratti di fiume rettilinei particolarmente lunghi e di ampiezza limitata impedisce la realizzazione di una sistemazione planimetrica secondo traiettorie curve che nelle trattazioni teoriche vengono identificate come clotoidi.

R.T.P:

5.2.1. Il progetto preliminare di AIPO

Il progetto preliminare predisposto da AIPO per la sistemazione del tratto in oggetto prevedeva la realizzazione di una serie di interventi concentrati fondamentalmente in 5 punti distinti.

Il primo posto a valle di Castelmassa, in sinistra idraulica, costituito dal completamento di una difesa spondale esistente e la realizzazione di due nuovi pennelli con conformazione a martello (Figura 5-2).

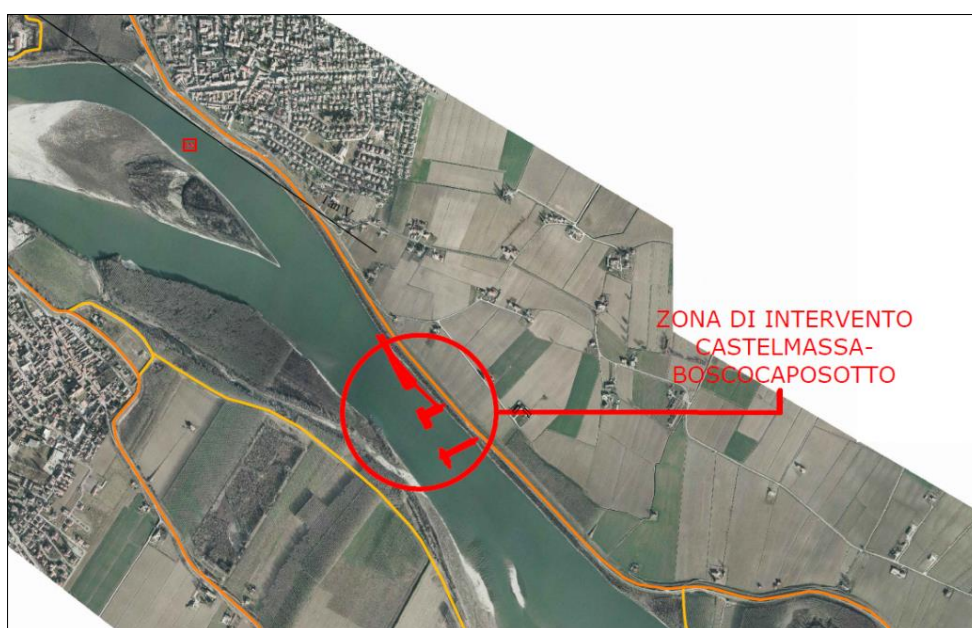


Figura 5-2: progetto preliminare AIPO, intervento di Castelmassa

Il secondo a valle della chiavica di Calto sempre in sinistra idraulica con la realizzazione di due pennelli trasversali con conformazione anche in questo caso a martello (Figura 5-3).



Figura 5-3: progetto preliminare di AIPo: intervento di Calto

Il terzo in corrispondenza di Gaiba, ancora in sinistra idraulica, con la realizzazione di quattro pennelli trasversali ravvicinati sempre con conformazione a martello e il quarto in corrispondenza di Ravallo, in destra idraulica con una difesa spondale longitudinale e tre pennelli trasversali con conformazione a martello (Figura 5-4).

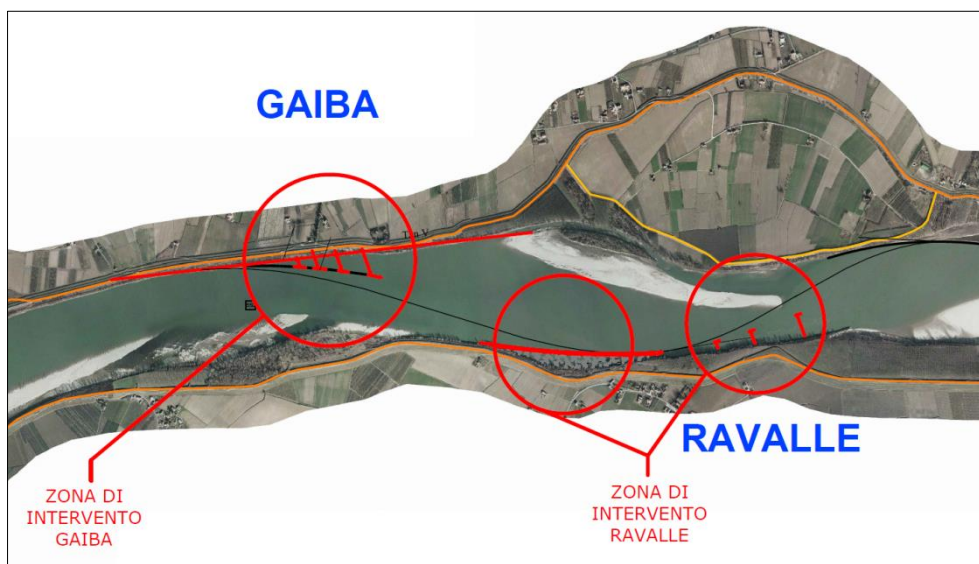


Figura 5-4: progetto preliminare di AIPo: interventi di Gaiba e Ravallo

R.T.P:

L'ultimo intervento infine è previsto in corrispondenza dell'abitato di Stienta con il prolungamento del pennello esistente già realizzato da AIPO per la definizione della curva verso destra (Figura 5-5).



Figura 5-5: progetto preliminare di AIPO: intervento di Stienta

A seguito delle prime verifiche idrauliche condotte mediante modellazione bidimensionale a fondo mobile dell'alveo fluviale per valutare le variazioni morfologiche del fondo indotte dalla presenza delle opere di sistemazione previste nel progetto preliminare di AIPO a seguito della simulazione di due anni di portate particolarmente significative (si rimanda alla relazione idraulica per un maggior dettaglio), è risultato evidente che a fronte della risoluzione delle problematiche locali in corrispondenza delle tratte di ubicazione degli interventi previsti a progetto, rimanevano irrisolte le stesse problematiche nei tratti in cui non sono previste opere di sistemazione.

A questo proposito si osservino le due figure successive che rappresentano i tiranti idrici nel tratto tra Castelmassa e Ravalle per una portata pari a 564 m³/s in corrispondenza dello stato di fatto (Figura 5-6) e con l'inserimento delle opere previste nel progetto preliminare di AIPO dopo due anni di simulazione, come meglio descritto nei paragrafi successivi (Figura 5-7).

R.T.P:

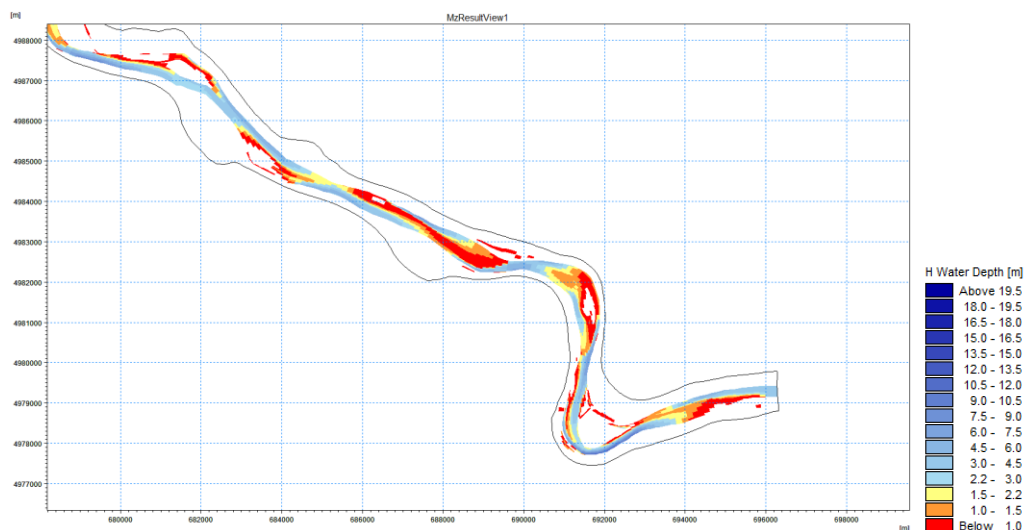


Figura 5-6: tiranti idrici simulati per una portata pari a 564 m³/s nel tratto Castelmassa-Ravalle

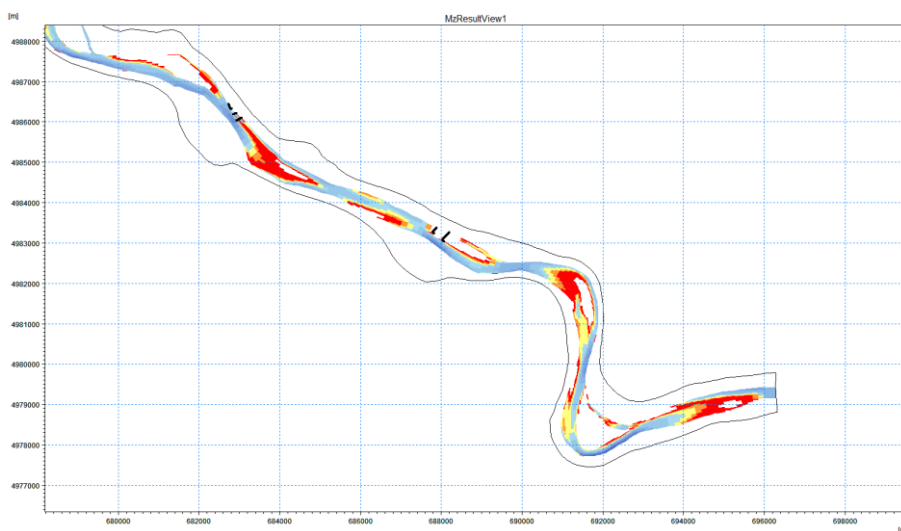


Figura 5-7: tiranti idrici simulati per una portata pari a 564 m³/s nel tratto in oggetto dopo due anni di simulazione

Come si osserva dalle due figure, a fronte di estese situazioni con bassi fondali, lungo il tratto senza la presenza di opere di sistemazione dell'alveo, anche a seguito della realizzazione delle opere previste nel progetto preliminare di AIPo, rimangono diverse zone ancora non efficacemente risolte.

Tenuto quindi conto della necessità di garantire la sistemazione ai fini idroviari dell'intero tratto fluviale in oggetto e considerato che risulta più conveniente sottoporre ad iter autorizzativo un sistema complessivo di opere in grado di definire le condizioni di navigabilità lungo il percorso individuato, resolvendo complessivamente l'assetto morfologico del fiume lungo l'intero sviluppo del percorso fra Castelmassa e

R.T.P:

Stienta, si è deciso, in accordo con AIPO, di proporre, a livello di progetto definitivo, un assetto complessivo di opere che possano determinare le necessarie condizioni di sicurezza e di navigabilità.

All'interno di questo sistema complessivo di opere è stato successivamente individuato, congiuntamente con AIPO, un primo stralcio funzionale, compatibile con i finanziamenti oggi disponibili, in grado di garantire un miglioramento complessivo, ancorché parziale, di tutto il tratto interessato dagli interventi di stabilizzazione dell'alveo di magra.

Sulla base dello stralcio così individuato verrà sviluppato il successivo progetto esecutivo che riguarderà quindi le sole opere che verranno realizzate prioritariamente sulla base delle analisi svolte e della disponibilità economica a disposizione di AIPO per la prima serie di interventi.

Questo primo stralcio fungerà anche da progetto pilota per le successive realizzazioni permettendo di correggere e valutare gli effetti indotti dalla realizzazione delle prime opere per la navigabilità del fiume in relazione alla modificazioni morfologiche dell'alveo e le conseguenze relative agli aspetti paesaggistico-ambientali.

A titolo di esempio e valutazione delle problematiche presenti all'interno del tratto oggetto di intervento, nelle due immagini successive si possono osservare dall'alto il tratto di fiume compreso fra Castelmassa e Calto (Figura 5-8) e quello fra Ficarolo e la curva sul Panaro (Figura 5-9).

Come si osserva dalle due immagini, i due tratti di fiume sono caratterizzati da un andamento pressoché rettilineo con la formazione di diverse zone di deposito e la conseguente formazione di bassi fondali che ostacolano la navigazione delle imbarcazioni che si trovano a transitare lungo il tronco in oggetto. Ovviamente tale condizione si accentua al diminuire della portata disponibile in fiume fino a rendere impossibile la navigazione quando si registrano portate di magra particolarmente accentuate.

Risulta quindi evidente la necessità di realizzare le opere previste dal presente progetto per garantire la realizzazione di un tracciato che abbia le caratteristiche fisico-morfologiche adatte alla navigazione delle imbarcazioni di classe Va come previsto dalle specifiche di progetto.



Figura 5-8: vista verso monte del tratto di Po fra Castelmassa e Calto (evidente la formazione di bassi fondali)



Figura 5-9: vista verso valle del tratto di Po fra Ficarolo e la curva del Panaro

R.T.P:

5.3. Descrizione dell'assetto di progetto complessivo

Il tratto di Po oggetto di sistemazione si estende approssimativamente dall'abitato di Castelmassa (chilometrica 528), fino a quello di Occhiobello (chilometrica 558) per una lunghezza complessiva pari a circa 30 km.

Come detto in precedenza il tronco può essere suddiviso in tre sottotratti così identificati:

TRATTO	LUNGHEZZA (km)
Castelmassa-Ficarolo	13 (da km 528 a km 541)
Ficarolo-Foce Panaro	5 (da km 541 a km 546)
Foce Panaro-Occhiobello	12 (da km 546 a km 558)

Dal punto di vista amministrativo il tratto di fiume interessato dal progetto di sistemazione attraversa i territori di tre regioni rivierasche, Veneto, Lombardia ed Emilia Romagna, tre provincie, Rovigo in Veneto, Mantova in Lombardia, Ferrara in Emilia Romagna e un totale di 10 comuni, 7 in Veneto, 1 in Lombardia e 2 in Emilia Romagna.

Il fiume in questo tratto presenta arginature maestre con quote di sommità di diversi metri superiori a quelle della campagna circostante che rendono il Po pensile rispetto al territorio limitrofo in occasione di eventi di piena rilevanti.

La campagna laterale al fiume presenta quote altimetriche approssimativamente intorno ai 10 m slm nella parte iniziale in prossimità di Sermide e Castelmassa, fino a circa 6-7 m slm in corrispondenza del tratto di valle in prossimità di Occhiobello, pur essendo tali località ancora a diverse decine di chilometri dal mare.

La morfologia del territorio giustifica le basse pendenze del fiume nel suo tratto terminale con le conseguenze che questa situazione comporta sulle condizioni di navigabilità, sulle dinamiche del trasporto solido, e sulle caratteristiche idrodinamiche della corrente.

Come tutto il corso del Po nel suo tratto mediano e terminale, anche nel tratto oggetto di interventi il fiume presenta un importante sistema difensivo costituito da un sistema arginale rilevante che si presenta pensile rispetto alla campagna circostante e con argini maestri posti sostanzialmente in frodo al fiume esercitando quindi una notevole pressione sull'alveo fluviale, come si può vedere dalla ripresa aerea successiva presa in corrispondenza del pennello di Stienta e dalla quale si può notare come l'alveo attivo, anche in condizioni di bassa portata, sia esteso da argine ad argine.



Figura 5-10: vista aerea verso valle del tratto di Po in corrispondenza dell'abitato di Stienta

Nella tabella successiva (Tabella 3), sono riepilogate le caratteristiche principali, dal punto di vista tipologico, delle opere complessivamente previste nell'ambito di assetto generale per la sistemazione dell'intero tratto compreso fra Castelmassa e Occhiobello.

Le opere previste a progetto saranno caratterizzate da dimensioni tali da venire sormontate per portate indicativamente prossime ad $800 \text{ m}^3/\text{s}$, rendendole pertanto visibili solo per brevi periodi nell'anno medio a secondo di come si sviluppa l'andamento idrologico delle portate del fiume.

In generale si prevede di realizzare principalmente opere di tipo trasversale alla corrente, questo per una maggiore flessibilità e adattabilità alle situazioni locali essendo allo stesso tempo modificabili, in caso di necessità, più facilmente rispetto a quelle di tipo longitudinale.

Da questo punto di vista la sistemazione di questo tronco di fiume potrà essere utilizzata come progetto pilota dove verificare e valutare gli effetti determinati dalla realizzazione degli interventi rispetto alle previsioni di progetto e valutare possibili miglioramenti per la realizzazione degli interventi successivi.

La realizzazione di pennelli trasversali potrà permettere di poter intervenire in caso si rendessero necessarie delle correzioni, aumentando il numero di pennelli o modificando la lunghezza di quelli già realizzati, operazioni sicuramente meno semplici nel caso di opere realizzate in senso longitudinale soprattutto nel

R.T.P:

caso in cui si rendesse necessario modificare la curvatura delle medesime essendo una tale operazione estremamente onerosa dal punto di vista economico e difficilmente realizzabile.

R.T.P:

Intervento [-]	Denominazione [-]	Codice Intervento [-]	Tipo intervento [-]	Lunghezza [m]	Regione	Provincia	Comune
Tratto Castelmassa - Ficarolo							
1	Sermide	1DX	PT	66,02	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		2DX	PT	118,52	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		3DX	PT	158,96	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
2	Castelmassa	1SX	DS	170,87	Veneto	Rovigo	Castelmassa
3	Caposotto	1DX	PT	190,00	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		2DX	PT	231,40	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		3DX	PT	117,70	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		4DX	PT	124,60	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		5DX	PT	70,40	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		1SX	PT	147,82	Veneto	Rovigo	Castelmassa
		2SX	PT	125,90	Veneto	Rovigo	Castelmassa
		3SX	PT	153,20	Veneto	Rovigo	Calto
		4SX	PT	95,00	Veneto	Rovigo	Calto
		5SX	PT	120,40	Veneto	Rovigo	Calto
		6SX	PT	91,95	Veneto	Rovigo	Calto
4	Felonica	1DX	PT	111,40	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		2DX	PT	180,30	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		3DX	PT	201,20	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		4DX	PT	196,40	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
5	Calto	1SX	PT	119,20	Veneto	Rovigo	Calto
		2SX	PT	209,70	Veneto	Rovigo	Calto
6	Bastioncello	1DX	PT	127,00	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		2DX	PT	127,00	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
7	Novara	1DX	PL	300,00	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
Tratto Ficarolo - Foce Panaro							
8	Stellata	1SX	PT	121,70	Veneto	Rovigo	Ficarolo
		2SX	PT	115,00	Veneto	Rovigo	Ficarolo
		3SX	PT	100,00	Emilia Romagna	Ferrara	Bondeno
Tratto Foce Panaro - Stienta							
9	Salvatonica	1DX	PT	148,30	Emilia Romagna	Ferrara	Bondeno
		2DX	PT	215,00	Emilia Romagna	Ferrara	Bondeno
10	Gaiba	1SX	PT	91,41	Veneto	Rovigo	Gaiba
		2SX	PT	178,90	Veneto	Rovigo	Gaiba
11	Ravalle monte	1DX	PT	100,00	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
		2DX	PT	140,00	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
12	Ravalle valle	1DX	PT	78,00	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
		2DX	PT	131,00	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
13	Stienta monte	1SX	PL	611,50	Veneto	Rovigo	Stienta
14	Stienta valle	1SX	PT	157,40	Veneto	Rovigo	Stienta
		2SX	PT	106,50	Veneto	Rovigo	Stienta
15	Occhiobello	1DX	PT	120,55	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
		2DX	PT	169,09	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
		3DX	PT	153,70	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
		4DX	PT	106,50	Emilia Romagna	Ferrara	Ferrara
		1SX	PT	80,80	Veneto	Rovigo	Occhiobello
		2SX	PT	106,50	Veneto	Rovigo	Occhiobello
		3SX	PT	109,35	Veneto	Rovigo	Occhiobello
Numero complessivo opere di navigazione Regione Veneto					19		
Numero complessivo opere di navigazione Regione Lombardia					15		
Numero complessivo opere di navigazione Regione Emilia Romagna					11		
Numero complessivo opere di navigazione					45		

Tabella 3: riepilogo opere previste nell'assetto complessivo di sistemazione del tronco fra Castelmassa e Occhiobello

R.T.P:

5.3.1. Descrizione degli interventi

Dal punto di vista complessivo, all'interno del tratto considerato, le analisi e le modellazioni svolte hanno portato alla definizione di un assetto generale di sistemazione basato sull'individuazione di 15 ambiti di intervento di correzione dell'alveo di magra, caratterizzati ciascuno dalla realizzazione di una o più opere di navigazione come sinteticamente riepilogato graficamente nella figura successiva (Figura 5-11).

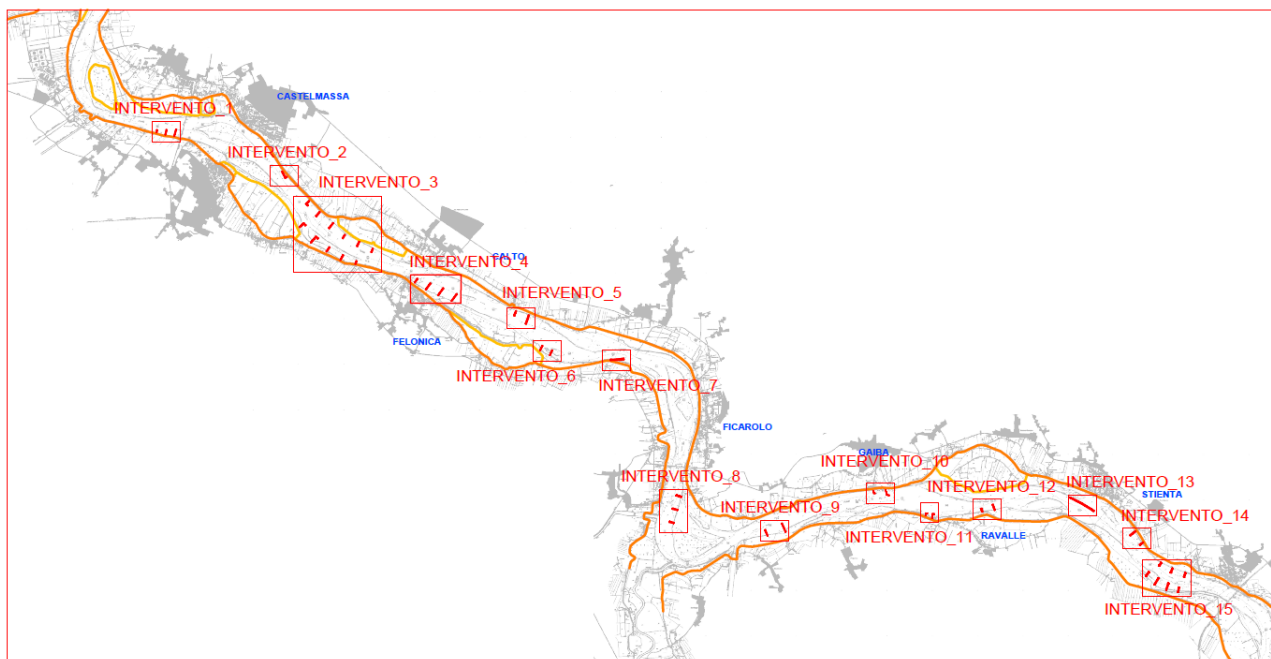


Figura 5-11: individuazione degli ambiti di intervento

Di questi 15 ambiti di intervento, 7 rientrano nel tratto compreso fra Castelmasa e Ficarolo, 1 in quello fra Ficarolo e Foce Panaro ed altri 7 nel tratto fra Foce Panaro e Occhiobello.

Per la sistemazione del tratto sono previste complessivamente 45 opere, principalmente di tipo trasversale tranne due che sono di tipo longitudinale, per uno sviluppo lineare totale pari a circa 6.700 m.

Nella tabella successiva (Tabella 4) si riporta l'elenco completo delle opere ipotizzate suddivise per intervento e con la definizione delle principali caratteristiche geometriche in termini di lunghezza, quote di sommità e altezza media dei vari pennelli.

Come meglio descritto di seguito, dal punto di vista strutturale, i pennelli saranno opere di tipo flessibile a sezione generalmente trapezia, che verranno appoggiate direttamente sul fondo dopo una preparazione preliminare della sede di appoggio mediante dragaggio.

R.T.P:

La sezione trasversale sarà di tipo zonato con l'utilizzo di materiali diversi tra fondo, nucleo e rivestimento superficiale.

Intervento [-]	Codice Intervento [-]	Tipo intervento [-]	Lunghezza [m]	Livello Q=800 mc/s [m slm]	Quota sommità [m slm]	Quota max di base pennello [m slm]	Quota min di base pennello [m slm]	Altezza media opere [m]	Lunghezza totale [m]
Tratto Castelmassa - Ficarolo									
1 Sermide	1DX	PT	66,02	6,71	6,70	1,50	1,50	5,20	343,5
	2DX	PT	118,52	6,71	6,70	1,50	1,50	5,20	
	3DX	PT	158,96	6,71	6,70	3,00	1,50	4,45	
2 Castelmassa	1SX	DS	170,87	6,13	6,60	0,00	-1,00	7,10	170,9
3 Caposotto	1DX	PT	190,00	6,13	6,15	2,00	0,00	5,15	734,1
	2DX	PT	231,40	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
	3DX	PT	117,70	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
	4DX	PT	124,60	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
	5DX	PT	70,40	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
	1SX	PT	147,82	6,13	6,20	0,00	0,00	6,20	
	2SX	PT	125,90	6,13	6,20	0,00	0,00	6,20	
	3SX	PT	153,20	6,13	6,20	0,00	0,00	6,20	
	4SX	PT	95,00	6,13	6,20	0,00	0,00	6,20	
	5SX	PT	120,40	6,13	6,20	0,00	0,00	6,20	
6SX	PT	91,95	6,13	6,20	0,00	0,00	6,20	734,3	
4 Felonica	1DX	PT	111,40	5,90	6,00	0,00	0,00	6,00	689,3
	2DX	PT	180,30	5,90	6,00	0,00	0,00	6,00	
	3DX	PT	201,20	5,90	6,00	0,00	0,00	6,00	
	4DX	PT	196,40	5,90	6,00	0,00	0,00	6,00	
5 Calto	1SX	PT	119,20	5,64	5,70	0,00	0,00	5,70	328,9
	2SX	PT	209,70	5,64	5,70	0,00	0,00	5,70	
6 Bastioncello	1DX	PT	127,00	5,48	5,30	0,00	0,00	5,30	254,0
	2DX	PT	127,00	5,48	5,30	0,00	0,00	5,30	
7 Novara	1DX	PL	300,00	5,33	5,35	-1,00	-1,00	6,35	300,0
Tratto Ficarolo - Foce Panaro									
8 Stellata	1SX	PT	121,70	4,90	4,90	0,00	0,00	4,90	336,7
	2SX	PT	115,00	4,90	4,90	0,00	0,00	4,90	
	3SX	PT	100,00	4,90	4,90	0,00	0,00	4,90	
Tratto Foce Panaro - Stienta									
9 Salvatonica	1DX	PT	148,30	4,63	4,60	0,00	0,00	4,60	363,3
	2DX	PT	215,00	4,63	4,60	0,00	0,00	4,60	
10 Gaiba	1SX	PT	91,41	4,47	4,40	-1,00	-1,00	5,40	270,3
	2SX	PT	178,90	4,47	4,40	-1,00	-1,00	5,40	
11 Ravalle monte	1DX	PT	100,00	4,25	4,25	-2,50	-2,50	6,75	240,0
	2DX	PT	140,00	4,25	4,25	-2,50	-2,50	6,75	
12 Ravalle valle	1DX	PT	78,00	4,09	4,35	-6,00	-6,00	10,35	209,0
	2DX	PT	131,00	4,09	4,35	-2,50	-2,50	6,85	
13 Stienta monte	1SX	PL	611,50	3,46	4,90	-3,00	-3,00	7,90	611,5
14 Stienta valle	1SX	PT	157,40	4,09	4,35	-4,00	-4,00	8,35	263,9
	2SX	PT	106,50	4,09	4,35	-4,00	-4,00	8,35	
15 Occhiobello	1DX	PT	120,55	4,06	4,00	-2,50	-2,50	6,50	549,8
	2DX	PT	169,09	4,06	4,00	-2,50	-2,50	6,50	
	3DX	PT	153,70	4,06	4,00	-2,50	-2,50	6,50	
	4DX	PT	106,50	4,06	4,00	-2,50	-2,50	6,50	
	1SX	PT	80,80	4,06	4,00	-2,50	-2,50	6,50	296,7
	2SX	PT	106,50	4,06	4,00	-2,50	-2,50	6,50	
	3SX	PT	109,35	4,06	4,00	-2,50	-2,50	6,50	
Numero complessivo opere di navigazione			45			Lunghezza complessiva opere di navigazione			6.696,1

Tabella 4: caratteristiche dimensionali delle opere di navigazione

R.T.P:

Per la formazione del nucleo centrale dei pennelli si prevede di utilizzare appositi sacconi riempiti con la sabbia prelevata direttamente in loco in modo da ridurre l'apporto di materiale inerte proveniente da cave di prestito riducendo allo stesso tempo costi e impatti ambientali dovuti al passaggio dei mezzi di trasporto per la fornitura in cantiere dei materiali necessari alla realizzazione delle opere.

Dal punto di vista dimensionale le opere presentano altezze che mediamente variano fra i 4 e i 7-8 m, con l'altezza che dipende soprattutto dalle condizioni morfologiche dell'alveo in cui le opere si vanno ad inserire. Tale condizione potrà per altro variare nel tempo in funzione dell'andamento delle portate nel fiume, essendo per definizione il Po un fiume a fondo mobile, e quindi occorrerà tenere conto di tale evenienza nel proseguo delle attività progettuali essendo possibile riscontrare nel tempo condizioni differenti da quelle analizzate e utilizzate nel corso della presente progettazione definitiva.

5.3.2. Canale navigabile e curve di navigazione

La realizzazione delle opere di sistemazione dell'alveo di magra ai fini della navigazione fluviale è finalizzata all'ottenimento di un alveo stabile avente una larghezza media pari a circa 200 metri e che presenti, lungo la teorica linea di navigazione che collega il vertice di una curva a quella successiva, un percorso navigabile di larghezza approssimativamente pari a 60 m nella sua parte centrale con i fondali necessari al passaggio di imbarcazioni della classe Va così come richiesto dalle normative secondo la classificazione europea per le vie di navigazione interna.

L'assetto complessivo individuato determina, nel tratto in oggetto, la formazione di un canale navigabile caratterizzato dalla presenza di 11 curve di navigazione alternate fra sponda destra e sponda sinistra come si osserva nella figura successiva (Figura 5-12).

La conformazione dell'alveo nel tratto tra Castelmassa e Occhiobello presenta caratteristiche geomorfologiche non propriamente adatte all'applicazione delle regole definite dal Fargue volte ad ottenere raggi di curvatura sufficientemente ridotti per innescare i moti rotazionali sufficienti a scavare il fondo dell'alveo per ottenere la conformazione morfologica desiderata.

Le modellazioni morfologiche condotte dimostrano comunque la capacità delle opere ipotizzate di ottenere, lungo la linea ipotetica del talweg, un alveo sufficientemente formato che presenta i fondali necessari per la navigazione secondo le specifiche richieste.

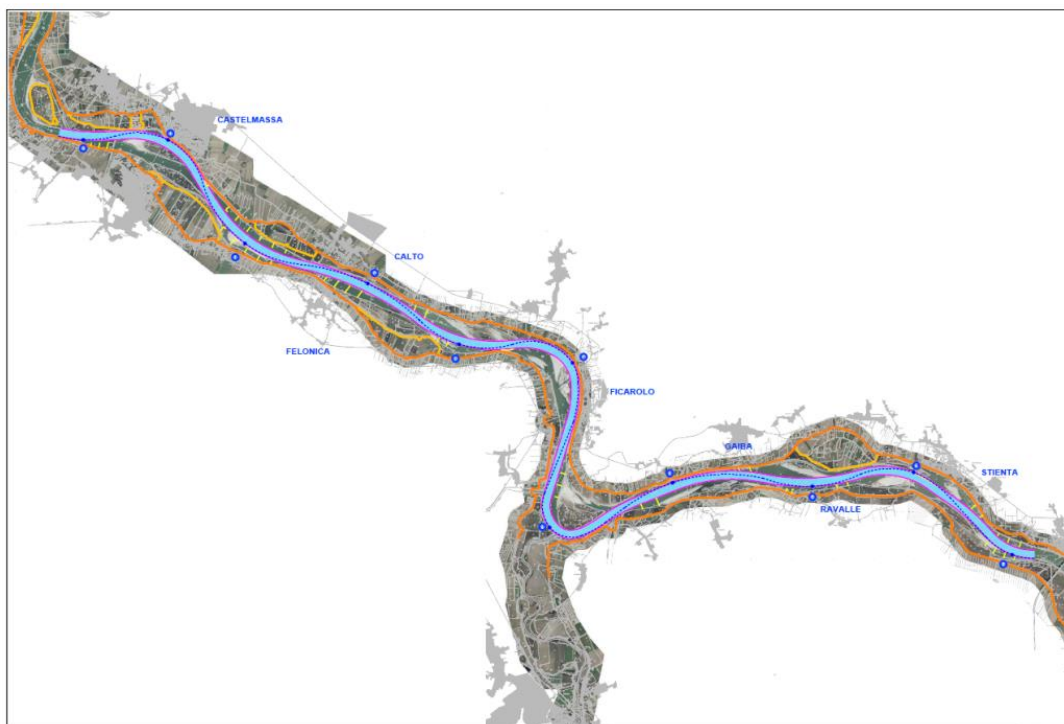


Figura 5-12: individuazione del canale navigabile e delle curve di navigazione nel tratto in oggetto

Curva	Località		Raggio minimo (m)	opere di navigazione (m)	Angolo al vertice (rad)
C1	Sermide	Monte			0,5348
		Valle	2761	4559	
C2	Castelmassa	Monte	1657	1869	2,1932
		Valle	1657	1938	
C3	Castelmassa	Monte	2757	3368	1,5760
		Valle	2757	3368	
C4	Calto	Monte	4820	7658	0,7958
		Valle	4820	7658	
C5	Streggia	Monte	2273	3205	1,4610
		Valle	2273	3205	
C6	Ficarolo	Monte	1255	1034	3,9012
		Valle	928	2647	
C7	Foce Panaro	Monte	901	717	4,8982
		Valle	708	545	
C8	Gaiba	Monte	4159	3881	1,5710
		Valle	4159	3881	
C9	Ravalle	Monte	2955	4954	0,9840
		Valle	2955	4954	
C10	Stienta	Monte	1887	2081	1,7886
		Valle	2457	2081	
C11	Borgo chiavica	Monte	1556	1556	
		Valle	1556	1556	

Tabella 5: curve di navigazione e caratteristiche geometriche delle stesse

R.T.P:

Nella tabella precedente vengono elencate le 11 curve di navigazione ipotizzate con la sistemazione proposta nel presente progetto e l'ipotetica nomenclatura derivata dalle località poste in vicinanza, oltre ai raggi e al valore dell'angolo posto al vertice della curva.

Come si osserva dalla tabella, tra le curve presenti quella di Ficarolo e quella di Foce Panaro risultano particolarmente accentuate con raggi di curvatura minimi che presentano valori prossimi o inferiori ai 1000 m, raggio di curvatura minimo normalmente richiesto per le vie di navigazione della Va classe.

In particolare la parte di valle della curva di Ficarolo e la curva di foce Panaro presentano raggi di curvatura inferiori ai 1000 m, ma comunque ancora accettabili in quanto il raggio di curvatura può essere ulteriormente ridotto in caso di necessità fino a 450 m risultando quindi compatibili con le caratteristiche geometriche richieste per la categoria di via navigabile in progetto.

La sistemazione ipotizzata permetterà di stabilizzare l'alveo di magra del fiume limitando la divagazione della corrente da una sponda all'altra diminuendo, allo stesso tempo, i possibili fenomeni erosivi ai piedi delle arginature maestre aumentando di conseguenza anche la sicurezza idraulica del tratto.

5.4. Caratteristiche delle opere per la sistemazione a corrente libera

Le opere per la sistemazione a corrente libera dell'alveo di magra saranno prevalentemente di tipo trasversale perché maggiormente adattabili e modificabili in caso di necessità.

Il pennello trasversale infatti può essere allungato o accorciato con relativa facilità nel caso in cui si rendesse necessario correggere la conformazione attribuita all'opera sulla base degli effetti morfodinamici che essa determina.

Non altrettanto si può dire nel caso in cui venga disegnata una curva di navigazione mediante la realizzazione di un pennello longitudinale.

In questo caso diventa molto più difficile procedere ad una correzione del medesimo, in particolare se si rendesse necessario modificare la curvatura del pennello stesso, operazione praticamente impossibile se non rifacendo integralmente l'opera stessa.

Una volta impostata una curva attraverso la realizzazione di un opera di questo tipo infatti, lunga spesso anche diverse centinaia di metri, diventa praticamente impossibile riuscire a modificarla senza dover rifare interamente l'opera, come per altro già verificato in passato in qualche caso in cui alcune curve di navigazione non hanno funzionato secondo le previsioni di progetto, ma non sono più state corrette oppure sono state sostituite con opere completamente nuove.

Come già ribadito anche in precedenza, dimensioni e quote dei pennelli saranno tali da essere sormontati da portate approssimativamente superiori agli 800 m³/s circa, essendo questo il valore al di sotto del quale

R.T.P:

possono iniziare a manifestarsi problemi relativamente alle condizioni di navigabilità del fiume per quanto riguarda il permanere di adeguati fondali per la navigazione fluviale.

Come si può osservare dalla curva di durata delle portate del Po a Ficarolo, calcolata come media degli anni compresi fra il 1992 e il 2015, riportata nel grafico successivo, tale portata è superata mediamente per almeno 280-290 giorni nell'anno medio, rendendo le opere di navigazione sostanzialmente invisibili per quasi l'80% del tempo nell'anno medio.

Le opere risulteranno quindi visibili per un numero di giorni medio annuo relativamente modesto.

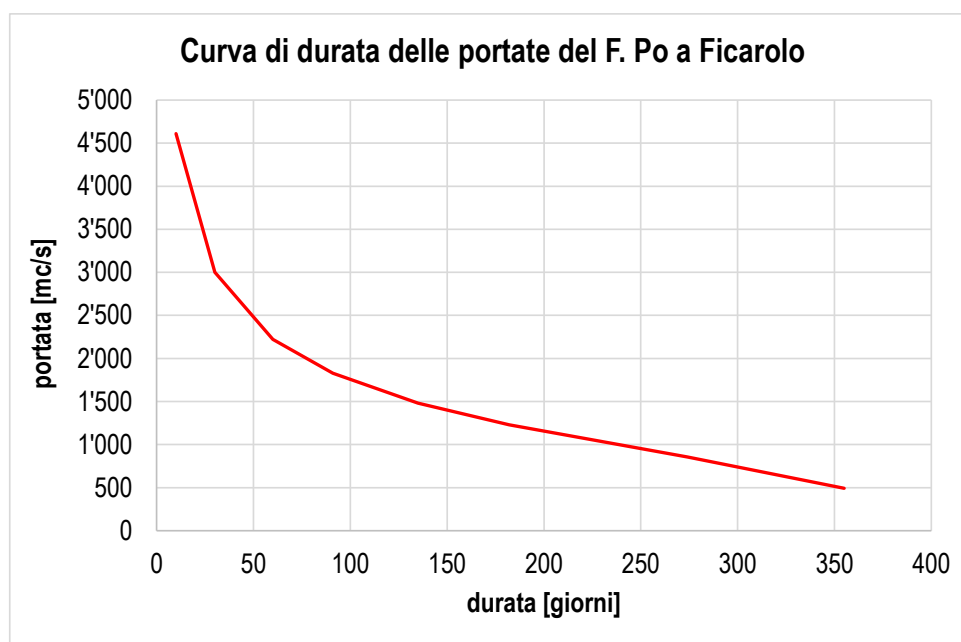


Figura 5-13: curva di durata delle portate del fiume Po a Ficarolo (1992-2015)

Come detto in precedenza, scopo delle opere è quello di concentrare il filone della corrente principale lungo un percorso ampio circa 200 metri.

Allo stesso tempo negli spazi interclusi fra i vari pennelli e a tergo degli stessi si creeranno delle zone di calma in cui il sedimento trasportato in sospensione dal fiume tenderà a depositarsi restringendo la parte inferiore della sezione attiva dell'alveo.

La realizzazione dei pennelli quindi porterà a modificare localmente le condizioni morfologiche di sponda potendo favorire anche la creazione di nuovi habitat per le specie ittiche presenti lungo il corso del fiume.

Tale fenomenologia avverrà senza sostanziali modifiche nel regime del trasporto solido del fiume, in quanto la presenza dei pennelli determinerà solamente una redistribuzione delle sabbie all'interno del tratto

considerato senza che si abbiano significative differenze nel bilancio complessivo tra il materiale in sospensione entrante e quello uscente lungo il tratto di fiume interessato dalla realizzazione delle opere. A titolo di esempio si riporta nell'immagine successiva una simulazione dei possibili effetti determinati dalla presenza dei pennelli dopo qualche anno dalla loro realizzazione (Curva di Ravalle).



Figura 5-14: simulazione degli effetti indotti dalla realizzazione dei pennelli fluviali

5.4.1. Sezione tipologica

Dal punto di vista tipologico il progetto prevede la realizzazione di pennelli aventi sezione trapezoidale e costituiti fondamentalmente da materiali lapidei che dal punto di innesto sulla sponda si prolungano verso il centro alveo della quantità prevista a progetto.

Come detto la sezione sarà di tipo trapezoidale con sommità posta indicativamente alla quota di pelo libero della portata pari ad 800 m³/s.

La sommità del pennello presenta una larghezza media pari a 3 m circa, mentre i due paramenti laterali avranno pendenze pari ad 1 su 1 quello di monte e 3 su 2 quello di valle.

Il pennello verrà appoggiato su un tappeto zavorrato costituito da un telo filtrante flessibile costituito da un geotessile in polipropilene accoppiato a blocchi di calcestruzzo resi solidali al tappeto mediante dispositivi di ancoraggio.

Il tappeto sarà posato al di sotto del pennello in modo da regolarizzare il piano d'appoggio del pennello medesimo e verrà esteso oltre la superficie di impronta del pennello al fine di ridurre i possibili fenomeni di erosione che potrebbero scalzare il piede dell'opera soprattutto in punta e a valle del pennello stesso.

R.T.P:

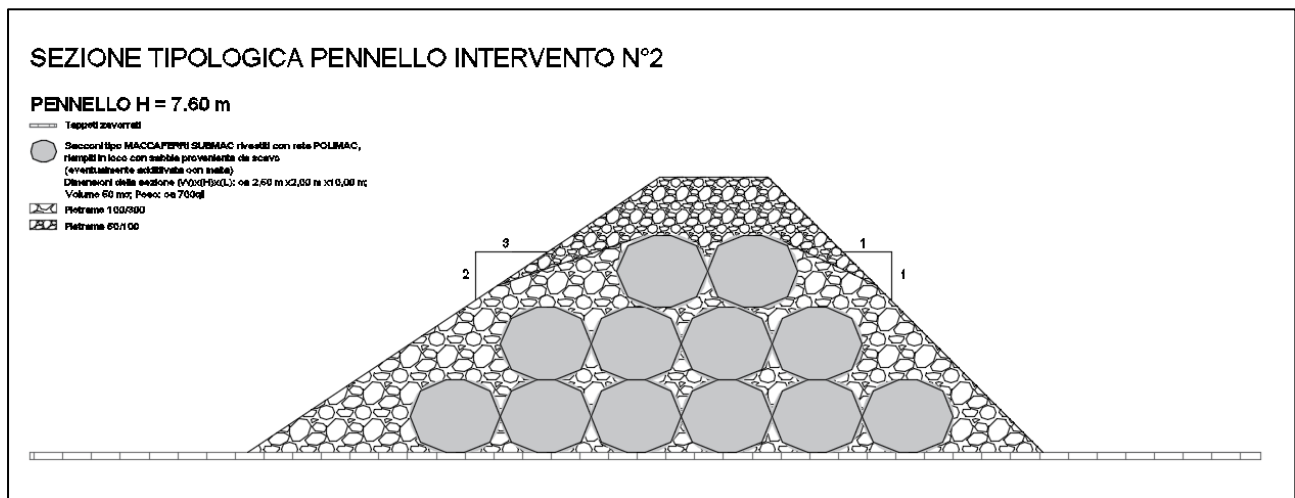


Figura 5-15: sezione tipo dei pennelli di navigazione

Il corpo del pennello sarà costituito da un nucleo centrale realizzato con sacconi di geotessuto lunghi circa 10 m, rivestiti da rete metallica a doppia torsione con rivestimento polimerico a maglia esagonale e riempiti con la sabbia recuperata in loco mediante scavo del materiale direttamente in alveo per un volume complessivo per ciascun saccone pari a circa 50 m³.

La realizzazione e posa in opera dei sacconi potrà avvenire all'interno di appositi container montati su pontone dotati di un sistema di apertura sul fondo che permette di varare per caduta il saccone una volta raggiunta la posizione planimetrica prevista a progetto.

Per la maggior parte delle operazioni di realizzazione dei pennelli sarà quindi necessario utilizzare pontoni galleggianti che permettano di lavorare direttamente in alveo e che siano dotati di opportuni sistemi di posizionamento in grado di garantire il corretto posizionamento e il giusto allineamento delle opere previste a progetto che per la maggior parte del loro volume sono immerse in acqua.

6. AGGIORNAMENTO RILIEVI TOPOGRAFICI

Viste le tempistiche che si sono rese necessarie per il completamento della procedura di VIA, si è ritenuto utile fare un aggiornamento dei rilievi topografici utilizzati per la progettazione esecutiva delle opere previste nel presenta appalto.

In particolare tali aggiornamenti hanno riguardato l'acquisizione dei rilievi LIDAR aggiornati alla più recente campagna di rilievo, e la realizzazione di nuovi rilievi batimetrici in corrispondenza almeno delle opere previste nell'ambito di questo primo stralcio di progetto esecutivo.

Entrambe le attività sono state condotte da AIPO nell'ambito delle proprie attività istituzionali e con proprie risorse interne in particolare per quel che riguarda i mezzi navali necessari all'esecuzione dei rilievi in alveo.

Nei due successivi paragrafi vengono descritte le modalità con cui sono stati svolti i rilievi integrativi, con particolare riferimento ai rilievi batimetrici, e la metodologia di verifica dei dati ottenuti con la procedura applicata sul campo al fine di valutare la correttezza dei dati e restituire i valori del rilievo in termini assoluti e non riferiti alla imbarcazione da cui il dato viene registrato.

Sono inoltre descritte le modalità di utilizzo del rilievo LIDAR aggiornato del 2022.

6.1. Aggiornamento rilievo batimetrico

I rilievi batimetrici di AIPO sono stati effettuati in tre successive giornate.

La prima campagna è stata effettuata in data 22/05/2023 tra le ore 9:00 e le ore 10:30, e ha riguardato i pennelli di navigazione relativi al gruppo di intervento 3, in sponda destra, pennelli n° 1, 4 e 5 (vedi immagine seguente).

La seconda si è svolta in data 11/07/2023 e ha riguardato la parte dei pennelli relativi allo stralcio che non erano stati rilevati nella giornata precedente, ossia il pennello n° 2 in sponda sinistra, i pennelli 2 e 3 relativi al gruppo di intervento 3.

Nella medesima giornata è stato condotto anche un rilievo longitudinale del fondo alveo nella zona in quel momento approssimativamente a maggiore profondità per avere un aggiornamento del profilo di fondo del fiume.

Infine il 20/07/2023 è stato rilevato il sedime dell'intervento 7



Figura 6-1: Vista dello shapefile dei punti rilevati dall'imbarcazione Luccio in data 22/05/2023 tra le ore 9:00 e le ore 10:30

Gli shape file dei punti rilevati nella seconda giornata di rilievo sono parzialmente visibili nelle due immagini successive.



Figura 6-2: Vista dello shapefile dei punti rilevati dall'imbarcazione Luccio in data 12/07/2023 in corrispondenza dei pennelli del gruppo 2 e del gruppo 3, pennelli 2 e 3 in destra idraulica



Figura 6-3: Shape file della strisciata batimetrica lungo il fondo alveo

R.T.P:

Dal punto di vista operativo, i rilievi, eseguiti tramite le imbarcazioni dei meatori di AIPO (imbarcazione "Luccio"), rilevano la differenza di livello tra il pelo libero del fiume Po e la proiezione verticale del punto in corrispondenza del fondale.

Il rilievo di AIPO è stato fornito tramite un file GIS materializzato a partire dagli SHAPEFILES di rilievo emessi dalla strumentazione single-beam a bordo dell'imbarcazione, i quali contengono le coordinate planimetriche del punto di misura (rilevate tramite GPS) ed il valore della profondità rilevato dallo scandaglio.

Volendo valutare la bontà del rilievo effettuato occorre rapportare il dato del rilievo alle condizioni idrauliche del fiume nella giornata di rilievo.

Per poter effettuare un confronto tra i punti rilevati e verificare l'attendibilità delle misure, rispetto all'intorno, è infatti necessario trasformare le misure determinando le quote assolute del fondale (rispetto al sistema di riferimento UTM32).

Per fare ciò occorre stimare la quota assoluta del pelo libero in corrispondenza dei punti di misura, alla data del 22/05/2023, a partire dall'idrometro più vicino che nel caso in oggetto è quello di Castelmassa SIAP.

La quota in corrispondenza di ogni pennello è quindi data da:

$$Z_i = H_i - p_i = (l_t - L_i - \text{castelmassa} \cdot j) - p_i$$

Dove:

- Z_i è la quota assoluta del fondale nella posizione i di misura
- H_i è la quota assoluta del pelo libero nel giorno 22/05/2023 all'ora di misura nella posizione i
- p_i è la profondità rilevata nella posizione i
- l_t è la lettura dell'idrometro nell'istante di misura (già in quota assoluta)
- L_i è la distanza tra il punto i e l'idrometro di Castelmassa
- j è la pendenza media del livello idrico nel tratto di misura.

Di seguito si riporta la stima dei parametri di cui sopra.


Dal sito di monitoraggio degli idrometrici di AIPO:

<https://idrometri.agenziapo.it/Aegis/data/data?elementId=15968>

è possibile risalire alle misure dei livelli alla data del 22/05/2023 tra le ore 9:00 e le ore 10:30, alla data del 12/07/2023 tra le ore 11:00 e le ore 13:00 ed alla data del 20/07/2023 tra le ore 9:00 e 9:30.

Si fa notare che l'idrometro di Castelmassa, contrariamente agli altri idrometri della rete di monitoraggio, riporta le misurazioni già nel sistema di riferimento assoluto, senza necessità di conoscere lo zero idrometrico e l'esecuzione di altre computazioni.

Castelmassa SIAP - Livello Idrometrico

2023-05-22 - 2023-05-23			Δ 30m - originale	↓
ORARIO ▲	CASTELMASSA SIAP LIVELLO IDROMETRICO (M)	VARIAZIONE	VALORE ASSOLUTO	SELETTIVA
2023-05-22 09:00	7.63	0.01	7.63	
2023-05-22 09:30	7.63	0.00	7.63	
2023-05-22 10:00	7.65	0.02	7.65	
2023-05-22 10:30	7.66	0.01	7.66	
2023-05-22 11:00	7.67	0.01	7.67	
2023-05-22 11:30	7.68	0.01	7.68	
2023-05-22 12:00	7.70	0.02	7.70	
2023-05-22 12:30	7.71	0.01	7.71	

Castelmassa SIAP - Livello Idrometrico

2023-07-07 - 2023-07-13			Δ 30m - originale	↓
ORARIO ▲	CASTELMASSA SI... LIVELLO IDROMET... (M)	VARIAZIONE	VALORE ASSOLUTO	SELETTIVA
2023-07-11 11:00	5.36	0.00	5.36	
2023-07-11 11:30	5.34	-0.02	5.34	
2023-07-11 12:00	5.34	0.00	5.34	
2023-07-11 12:30	5.34	0.00	5.34	
2023-07-11 13:00	5.34	0.00	5.34	

Castelmassa SIAP - Livello Idrometrico

2023-07-20 - 2023-07-21			Δ 30m - originale	↓
ORARIO ▲	CASTELMASSA SIAP LIVELLO IDROMETRICO (M)	VARIAZIONE	VALORE ASSOLUTO	SELETTIVA
2023-07-20 09:00	5.06	-0.01	5.06	
2023-07-20 09:30	5.06	0.00	5.06	
2023-07-20 10:00	5.05	-0.01	5.05	

Dalle misure rilevate, si evince che l'escursione di livello nel periodo delle misure batimetriche è dell'ordine di 2÷3 cm, di conseguenza, è ammissibile considerare il valore medio nel periodo di misura ottenendo per le varie giornate di rilievo i seguenti valori idrometrici di riferimento:

R.T.P:

DATA	ORA	VALORE [m slm]	DATA	ORA	VALORE [m slm]
22/05/2023	09:00	7,63	12/07/2023	11:00	5,36
22/05/2023	10:30	7,66	12/07/2023	13:00	5,34
MEDIA		7,645	MEDIA		5,35

DATA	ORA	VALORE [m slm]
20/07/2023	09:00	5,06
20/07/2023	09:30	5,06
MEDIA		5,06

Dal calcolo sopra riportato, si determina un valore medio del livello idrico in corrispondenza dell'idrometro di Castelmassa, nel periodo di misurazione, pari ad una quota assoluta di 7,645 m slm, per il rilievo del 22/05/2023, di 5,35 m slm, per il rilievo del 12/07/2023 e di 5,06 per il 20/07/2023.

Inoltre, al fine di determinare la corretta pendenza del pelo libero nel giorno di misura, dal servizio DEXTER di ARPAE sono stati scaricati i dati di misura dell'idrometro di PONTELAGOSCURO, idrometro posto a circa 33.891 metri dall'idrometro di Castelmassa.

Le misurazioni effettuate dall'idrometro e le corrispondenti quote rispetto allo zero idrometrico posto a 8,12 m slm, sono le seguenti:

VALORI IDROMETRO PONTELAGOSCURO

8,12 m slm

DATA	ORA	VALORE [m]	VALORE [m slm]
22/05/2023	09:00	-4,08	4,04
22/05/2023	10:30	-4,07	4,05
MEDIA		-4,075	4,045

VALORI IDROMETRO PONTELAGOSCURO

8,12 m slm

DATA	ORA	VALORE [m]	VALORE [m slm]
12/07/2023	11:00	-6,23	1,89
12/07/2023	13:00	-6,26	1,86
MEDIA		-6,245	1,875

VALORI IDROMETRO PONTELAGOSCURO

8,12 m slm

DATA	ORA	VALORE [m]	VALORE [m slm]
20/07/2023	09:00	-6,49	1,63
20/07/2023	09:30	-6,49	1,63
MEDIA		-6,49	1,63

R.T.P:

Il livello in corrispondenza di Pontelagoscuro alla data del 22/05/2023 è quindi pari a 4,045 m s.l.m, mentre il 12/07/2023 è pari a 1,875 m s.l.m ed il 20/07/2023 è pari a 1,63 m.

Nota la distanza dall'idrometro precedente, è quindi possibile determinare la pendenza del livello idrico del fiume Po nel tratto, ottenendo i seguenti valori per i tre giorni di rilievo i seguenti valori:

Data: 22/05/2023

DISTANZA IDROMETRO CASTELMASSA - PONTELAGOSCURO	33891	m
PENDENZA MEDIA LIVELLO IDRICO	0,000106	m

Data: 12/07/2023

DISTANZA IDROMETRO CASTELMASSA - PONTELAGOSCURO	33891	m
PENDENZA MEDIA LIVELLO IDRICO	0,000103	m

Data: 20/07/2023

DISTANZA IDROMETRO CASTELMASSA - PONTELAGOSCURO	33891	m
PENDENZA MEDIA LIVELLO IDRICO	0,000101	m

Come si può osservare per entrambe le tre giornate la pendenza media, quindi, è sempre prossima allo 0,1‰.

Per ognuno dei pennelli previsti è poi stata valutata, tramite GIS, la distanza dall'idrometro di Castelmasa rispetto al baricentro del rilievo eseguito.

Noti tali dati è possibile determinare la quota assoluta di riferimento per ogni pennello rilevato.

PENDENZA MEDIA DEL TRATTO - DA CALCOLO

Idrometri Castelmasa-PLO 0,000106

pelo libero

INTERVENTO	Distanza da idrometro	QUOTA ASSOLUTA [m slm]
Intervento 3 - Penn1	3714 m	7,25
Intervento 3 - Penn4	4760 m	7,14
Intervento 3 - Penn5	5085 m	7,10

PENDENZA MEDIA DEL TRATTO - DA CALCOLO

Idrometri Castelmasa-PLO 0,000103

pelo libero

INTERVENTO	Distanza da idrometro	QUOTA ASSOLUTA [m slm]
Intervento 2	2549 m	5,09
Intervento 3 - Penn2	4126 m	4,93
Intervento 3 - Penn3	4516 m	4,89

R.T.P:

PENDENZA MEDIA DEL TRATTO - DA CALCOLO

Idrometri Castelmassa-PLO

0,000101

pelo libero

INTERVENTO	Distanza da idrometro	QUOTA ASSOLUTA [m slm]
Intervento 7	11280 m	3,92

Noti tali valori, tramite GIS sono stati isolati i punti di rilievo di ogni singolo pennello e ricavando uno shapefile, per ognuno di essi, calcolando la quota assoluta di rilievo, mediante la funzione "calcolatore di campi", come differenza tra il valore di riferimento e la profondità rilevata.

Effettuato tale calcolo, quindi, è stato possibile esportare le tabelle degli attributi degli shapefiles di rilievo in modo da ottenere un formato di files compatibile con il software di modellazione tridimensionale Autodesk AutoCAD® Civil3D® 2023 dove essi vengono caricati come file di punti di rilievo.

6.1.1. Verifica della bontà dei rilievi

Volendo verificare la bontà delle modalità operative con cui sono stati effettuati i rilievi batimetrici, di seguito vengono confrontati i TIN creati per i pennelli 1, 4 e 5 dell'intervento 3 a partire dai rilievi eseguiti e i profili misurati mettendo a confronto fra di loro batimetrie e profili ottenuti con il DTM2005 (sezione 595W) ed il LIDAR 2022. Dal confronto si ottengono i profili visibili di seguito.

R.T.P:

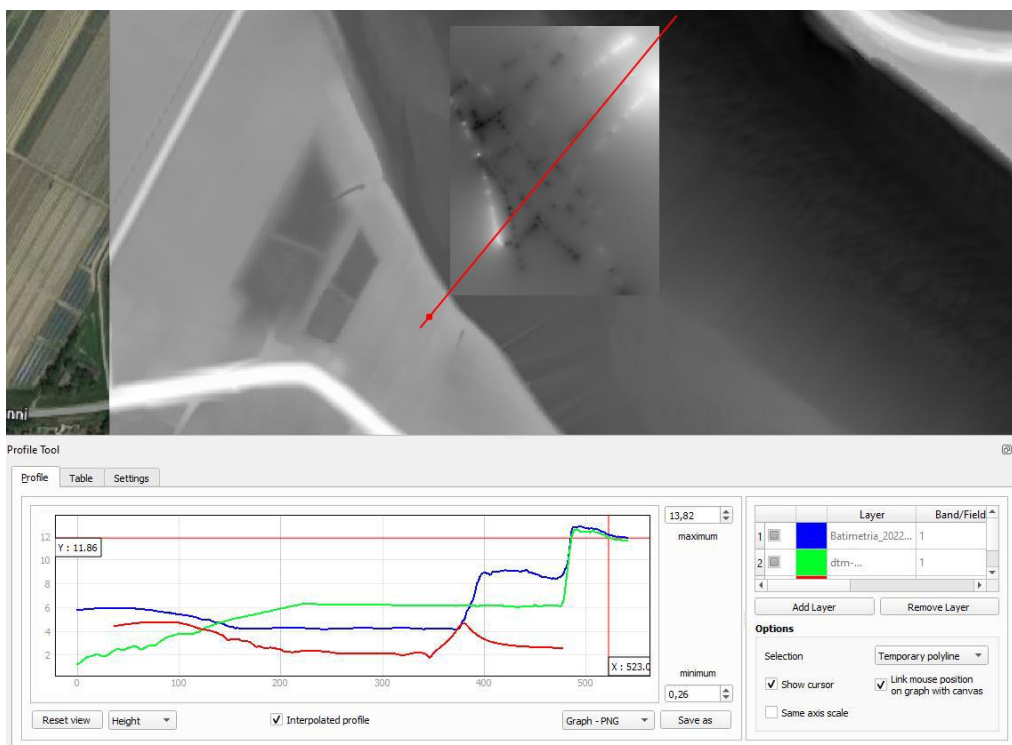


Figura 6-4: Vista dei TIN creati per il pennello 1 dell'intervento 3 a partire dai rilievi eseguiti e profili misurati (verde: DTM2005; blue: LIDAR 2022; rosso batimetria 2023)

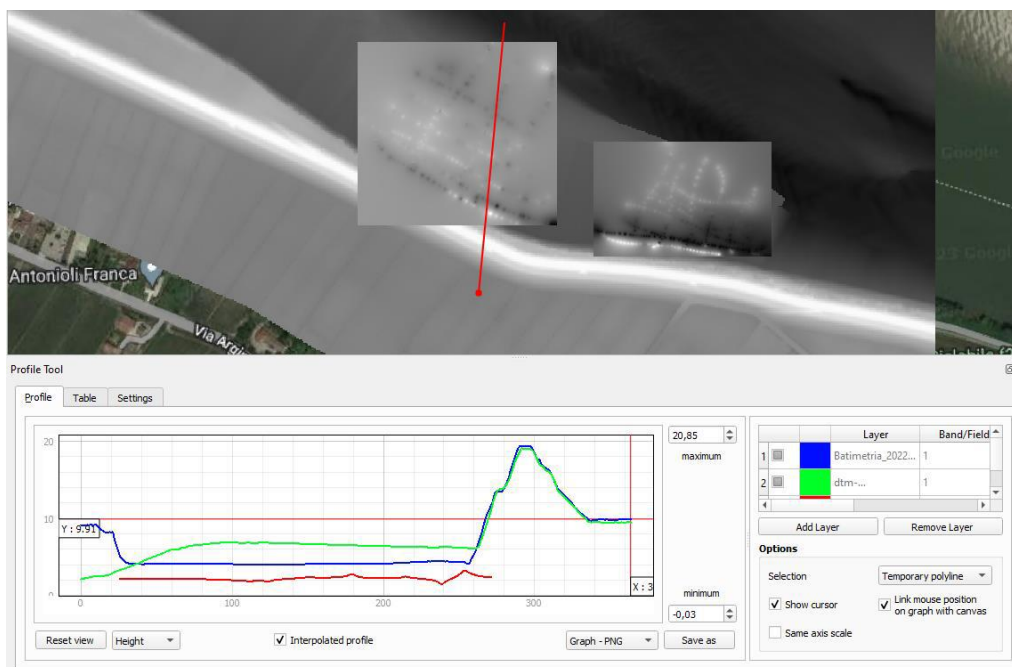


Figura 6-5: Vista dei TIN creati per il pennello 4 dell'intervento 3 a partire dai rilievi eseguiti e profili misurati (verde: DTM2005, blu: LIDAR 2022; Rosso: batimetria 2023)

R.T.P:

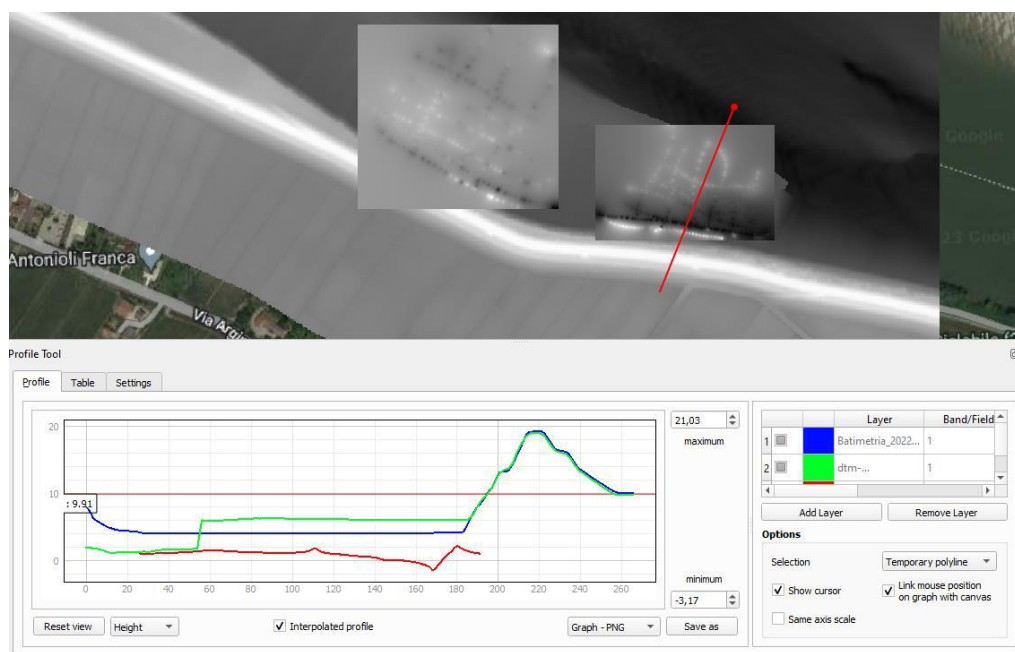


Figura 6-6: Vista dei TIN creati per il pennello 5 dell'intervento 3 a partire dai rilievi eseguiti e profili misurati (verde: DTM2005, blu: LIDAR 2022; Rosso: batimetria 2023)

Da quanto risulta dai profili generati si possono trarre le seguenti valutazioni:

- il LIDAR 2022 e il DTM 2005, per gli argini, mostrano un andamento simile e quindi sono perfettamente confrontabili;
- le differenze fra rilievo batimetrico e dato proveniente dai profili estratti dal DTM 2005 o il LIDAR del 2022, rientra nell'ambito della variabilità di un fondo alveo di tipo mobile quale è quello del Po e quindi ampiamente accettabile per l'uso che ne deve essere fatto nell'ambito del presente progetto esecutivo;

Dalle elaborazioni effettuate è possibile quindi concludere che le modalità con cui sono stati eseguiti i rilievi batimetrici possono essere considerati attendibili e negli ordini di grandezza compatibili con le possibili variazioni dell'alveo che possono intercorrere tra la progettazione e la realizzazione delle opere.

La bontà dei risultati ottenuti è stata inoltre avallata dalla stazione appaltante con una propria nota tecnica di cui al prot. n. Class. 7.20.40 – Fasc. FE-E-7-NI del 10/07/2023, in cui la Stazione Appaltante, vista anche l'urgenza di chiudere in tempi rapidi la progettazione esecutiva,

"ritiene accettata la metodologia dei rilievi fino a qui eseguiti e ancora da completare, invitando i progettisti a procedere senza indugio per le rimanenti zone dello stralcio di intervento, in pendenza di un eventuale e successivo controllo di essi tramite confronto con uno o più punti di quota nota sulle prospicienti sommità arginali".

R.T.P:

Con le medesime modalità sono quindi stati completati i rilievi batimetrici effettuati nella seconda giornata di rilievo del 12 luglio 2023 che sono poi stati utilizzati per il completamento della progettazione esecutiva di cui al presente appalto.

6.2. Aggiornamento rilievo DTM - LIDAR

Per quanto riguarda il rilievo LIDAR 2022, invece, onde rendere leggeri e maneggevoli i files, si è deciso di utilizzare solo la porzione della parte emersa in modo da poterlo completare con la batimetria rilevata dai meatori di AIPO.

Tale metodologia di lavoro è stata adottata anche nel corso della realizzazione del DTM AIPO/ADBPO del 2005, mediante il rilievo LIDAR è stata rilevata la porzione emersa del fiume Po a partire dagli argini maestri fino alla sponda del fiume al momento delle riprese; mentre la batimetria del fiume fu rilevata mediante rilievo batimetrico da imbarcazione.

Successivamente, l'unione dei due rilievi è stata effettuata sulla base delle letture idrometriche e della pendenza del pelo libero lungo l'asta fluviale. Data l'affidabilità di questo metodo, AIPO, prima di procedere alla redazione del presente progetto esecutivo, come già ricordato in precedenza ha espressamente validato il procedimento qui adottato per l'elaborazione dei dati dei rilievi.

Dal LIDAR 2022, quindi, mediante l'applicativo QGIS, sono state estratte le curve di livello tridimensionali con passo altimetrico di 10 cm.

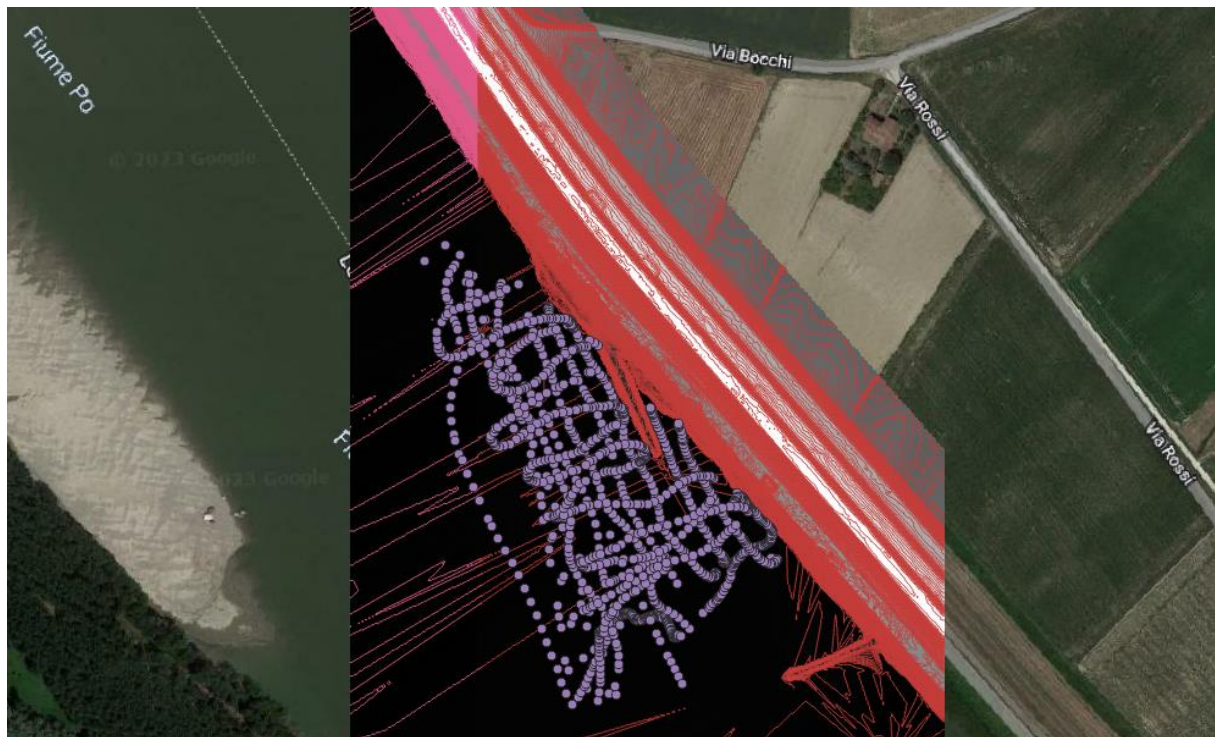


Figura 6-7: Schermata dell'applicativo QGIS ove si osservano i dati batimetrici, il lidar 2022 e le curve di livello estratte per l'Intervento n°2 - Castelmassa

Importando in Autodesk AutoCAD® Civil3D® 2023, insieme ai punti della batimetria in coordinate assolute, è stato quindi possibile sistemare le curve di livello estratte eliminando le curve di livello relative al pelo libero della portata idrica e ricreare il modello digitale tridimensionale del terreno (TIN – Triangulated Irregular Network) in corrispondenza dei pennelli compresi nel presente progetto esecutivo.

La modellazione tridimensionale così condotta, consente di applicare una metodologia BIM al progetto esecutivo dell'opera permettendo di stimare in modo maggiormente accurato i volumi presunti di terreno da scavare o riportare.

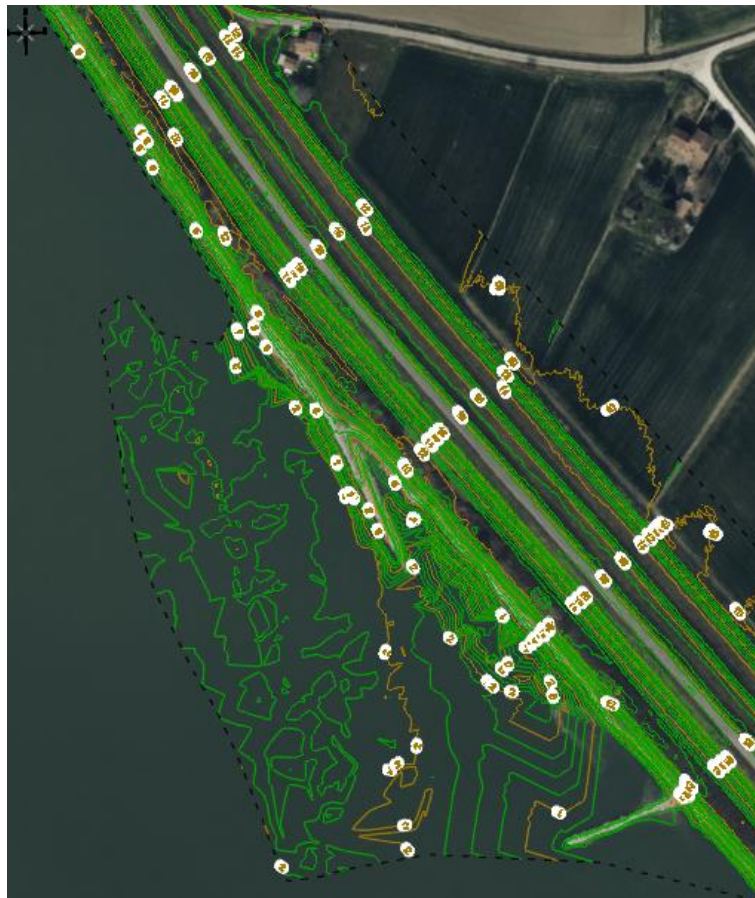


Figura 6-8: Esempio di modello tridimensionale del terreno generato (Intervento 2)

I rilievi batimetrici ed il LIDAR 2022 sono stati generati e consegnati da AIPO con il sistema di riferimento EPSG: 32632, tuttavia, il precedente progetto definitivo del tratto Revere Ferrara è stato effettuato in sistema di riferimento EPSG: 23032 (UTM ED50), concordemente al DTM2005 ed alla carta del fiume Po, pertanto, tutti i rilievi sono stati estratti e riportati nel sistema di riferimento EPSG: 23032 (UTM ED50).

7. INDIVIDUAZIONE OPERE PROGETTO ESECUTIVO

Come precedentemente indicato, l'attuale disponibilità finanziaria in capo ad AIPo permette la realizzazione solamente di una parte minore delle opere individuate nell'assetto generale di sistemazione di questo tratto di fiume.

Al fine di massimizzare i risultati derivanti dalla realizzazione della prima serie di interventi, si è cercato di scegliere quelle opere che potessero avere fin da subito effetti positivi nei confronti della navigabilità del fiume.

Diversamente da quanto previsto nell'ultima versione del progetto definitivo, a livello esecutivo è stato necessario ridurre ulteriormente il numero delle opere realizzabili togliendo da quella precedentemente previste i due pennelli in destra idraulica relativi all'intervento 12.

Nelle due immagini successive, vengono evidenziate con la numerazione in rosso gli ambiti di intervento e con i rettangoli rossi tratteggiati, i pennelli che verranno realizzati nell'ambito dell'attuale progetto esecutivo.

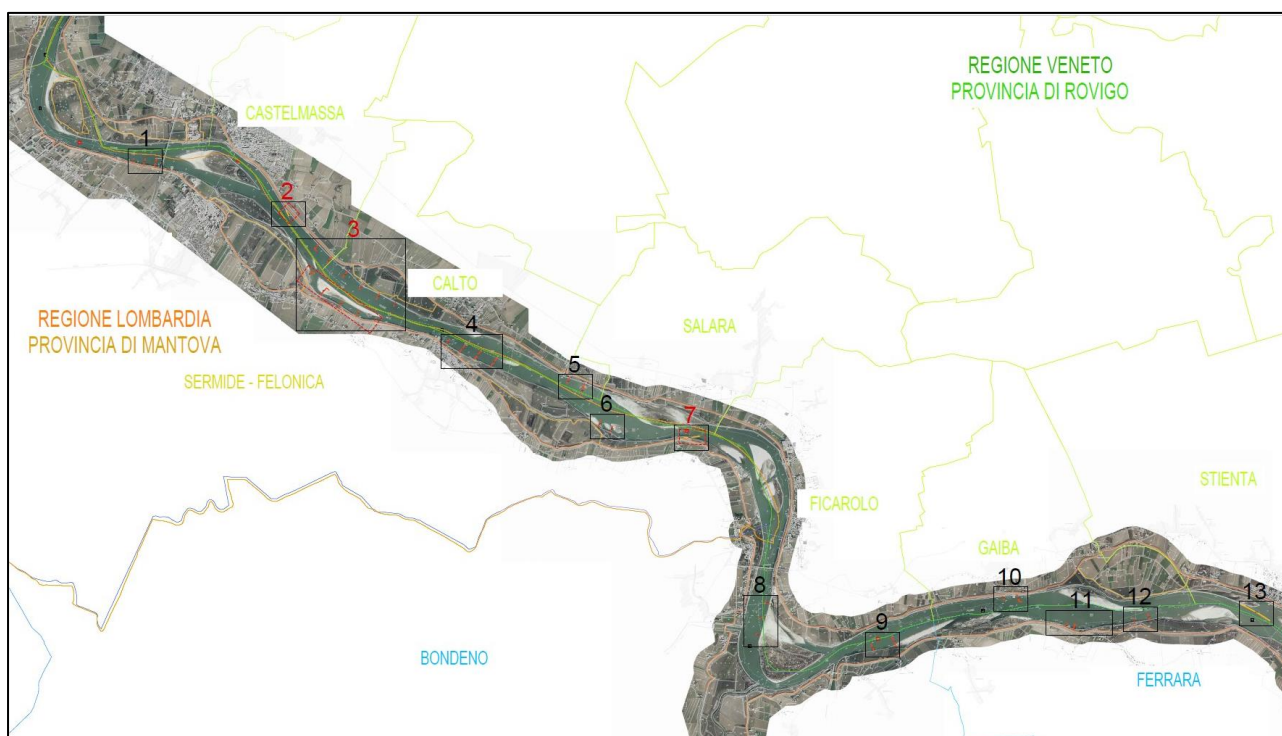


Figura 7-1: individuazione dei primi quattro ambiti di intervento contenuti nel primo stralcio di lavori finanziati

R.T.P:



Figura 7-2: individuazione dei primi quattro ambiti di intervento contenuti nel primo stralcio di lavori finanziati

Vista quindi la disponibilità economica, nell'ambito del presente progetto esecutivo si opererà in tre ambiti di intervento.

I primi due sono compresi fra Castelmassa e Felonica, intervento 2 e intervento 3 in dx idraulica, mentre il terzo è posto poco a monte della curva di Ficarolo, intervento 7.

7.1. Descrizione interventi del progetto esecutivo

Gli interventi previsti dal progetto esecutivo, saranno realizzati in 3 degli ambiti individuati all'interno dell'assetto complessivo di sistemazione posti rispettivamente in Comune di Castelmassa, in Provincia di Rovigo (Veneto) il primo e in Comune di Sermide e Felonica, in Provincia di Mantova (Lombardia) il secondo ed il terzo.

R.T.P:

Intervento [-]	Denominazione [-]	Codice Intervento [-]	Tipo intervento [-]	Lunghezza [m]	Regione	Provincia	Comune
Tratto Castelmassa - Ficarolo							
2	Castelmassa	1SX	DS	170,87	Veneto	Rovigo	Castelmassa
3	Caposotto	1DX	PT	190,00	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		2DX	PT	231,40	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		3DX	PT	117,70	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		4DX	PT	124,60	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
		5DX	PT	70,40	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
7	Novara	1DX	PL	300,00	Lombardia	Mantova	Sermide e Felonica
Tratto Ficarolo - Foce Panaro							
Tratto Foce Panaro - Stienta							

Numero complessivo opere di navigazione regione Veneto	1
Numero complessivo opere di navigazione regione Lombardia	6
Numero complessivo opere di navigazione regione Emilia Romagna	0
Numero complessivo opere di navigazione	7

Tabella 6: riepilogo opere progetto esecutivo

Il progetto esecutivo prevede la realizzazione di 7 opere di navigazione così suddivise: una difesa sponale (intervento 2), 5 pennelli trasversali (intervento 3) e un pennello longitudinale (intervento 7). per uno sviluppo complessivo lineare pari a circa 1.010 m come riepilogato nella tabella successiva (Tabella 7).

Intervento [-]	Codice Intervento [-]	Tipo intervento [-]	Lunghezza [m]	Livello Q=800 mc/s [m slm]	Quota sommità [m slm]	Quota max di base pennello [m slm]	Quota min di base pennello [m slm]	Altezza media opere [m]	Lunghezza totale [m]
Tratto Castelmassa - Ficarolo									
2 Castelmassa	1SX	DS	188,14	6,13	6,60	0,00	-1,00	7,10	188,1
3 Caposotto	1DX	PT	110,50	6,13	6,15	2,00	0,00	5,15	640,3
	2DX	PT	243,30	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
	3DX	PT	104,65	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
	4DX	PT	121,50	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
	5DX	PT	60,33	6,13	6,15	0,00	0,00	6,15	
7 Novara	1DX	PL	179,23	5,33	5,35	-1,00	-1,00	6,35	179,2
Tratto Ficarolo - Foce Panaro									
Tratto Foce Panaro - Stienta									
Numero complessivo opere di navigazione			7	Lunghezza complessiva opere di navigazione			1.007,7		

Tabella 7: caratteristiche geometriche opere progetto esecutivo

I primi tre ambiti di intervento risultano tutti compresi nel tratto fra Castelmassa e Ficarolo.

7.1.1. Ambito di intervento 2: pennello 1SX – Castelmassa

Il primo intervento riguarda il completamento di un pennello già esistente in sinistra idraulica poco a valle dell'abitato di Castelmassa (**Figura 7-3: pennello longitudinale intervento 2 pennello 1 SX a valle di Castelmassa, inquadramento su CTR e ortofoto**).

Il pennello sarà di tipo longitudinale con una conformazione planimetrica ad L e la struttura che si chiude sulla sponda fluviale sottostante l'arginatura maestra.

La funzione del pennello sarà quella di indirizzare la corrente verso la sponda destra del fiume in modo che la portata uscente dalla curva di Castelmassa, che si è dimostrata sufficientemente stabile nel tempo, venga indirizzata sul lato opposto verso le opere previste in corrispondenza della curva successiva in modo da mantenere l'assetto unicursale della corrente e sufficienti battenti idrici lungo la direttrice di navigazione.

Il pennello avrà una lunghezza complessiva pari a 170 m circa ed una quota di coronamento pari a 6,60 m s.l.m. di poco superiore al livello della Q_{800} dovendosi adattare alla quota della struttura esistente, per un'altezza media pari a circa 7 m.

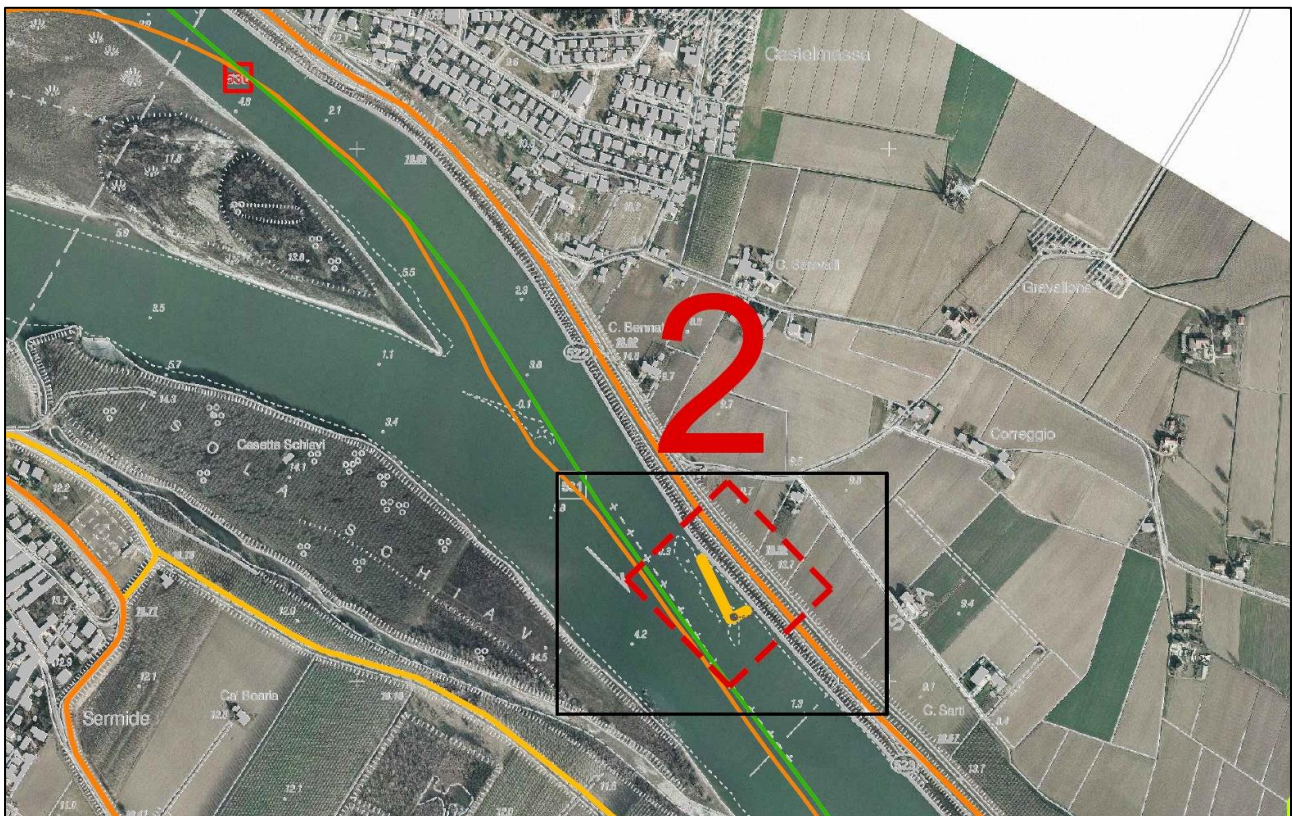


Figura 7-3: pennello longitudinale intervento 2 pennello 1 SX a valle di Castelmassa, inquadramento su CTR e ortofoto

R.T.P:

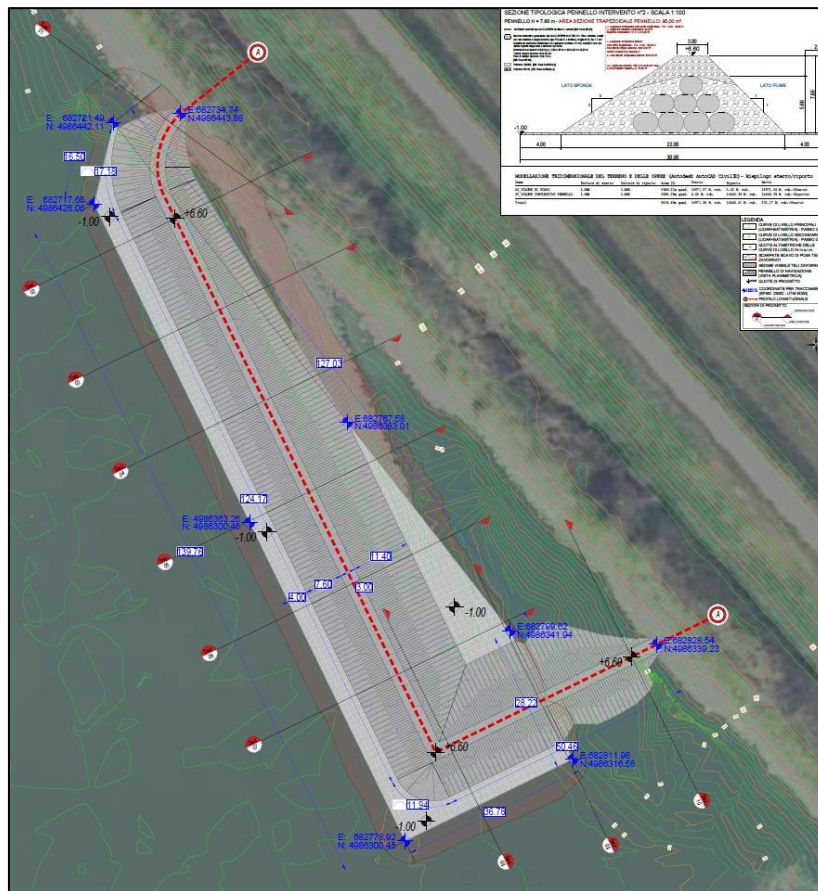


Figura 7-4: pennello longitudinale intervento 2 pennello 1 SX a valle di Castelmassa, planimetria di progetto

7.1.2. Ambito di intervento 3: pennelli 1DX, 2DX, 3DX, 4DX, 5DX - Caposotto

Il secondo gruppo di opere comprese nel progetto esecutivo è relativo all'ambito di intervento n. 3 in destra idraulica dove è prevista la realizzazione di 5 pennelli trasversali in corrispondenza dell'abitato di Caposotto. La serie di 5 pennelli proposti avranno la funzione di ricevere la corrente indirizzata verso la sponda dall'opera precedente realizzando la curva in destra idrografica, proteggendo contemporaneamente la sponda retrostante oggi oggetto di erosione in quanto la corrente in uscita dalla curva lambisce l'arginatura maestra mettendo a rischio la stabilità arginale in questo tratto di fiume.

La lunghezza complessiva dei 5 pennelli ammonta a 640 m circa. La quota di sommità sarà posta a 6,15 m slm con un'altezza media dei pennelli pari a 5,15 m per il primo pennello di monte e 6,15 m per i successivi 4.

R.T.P:

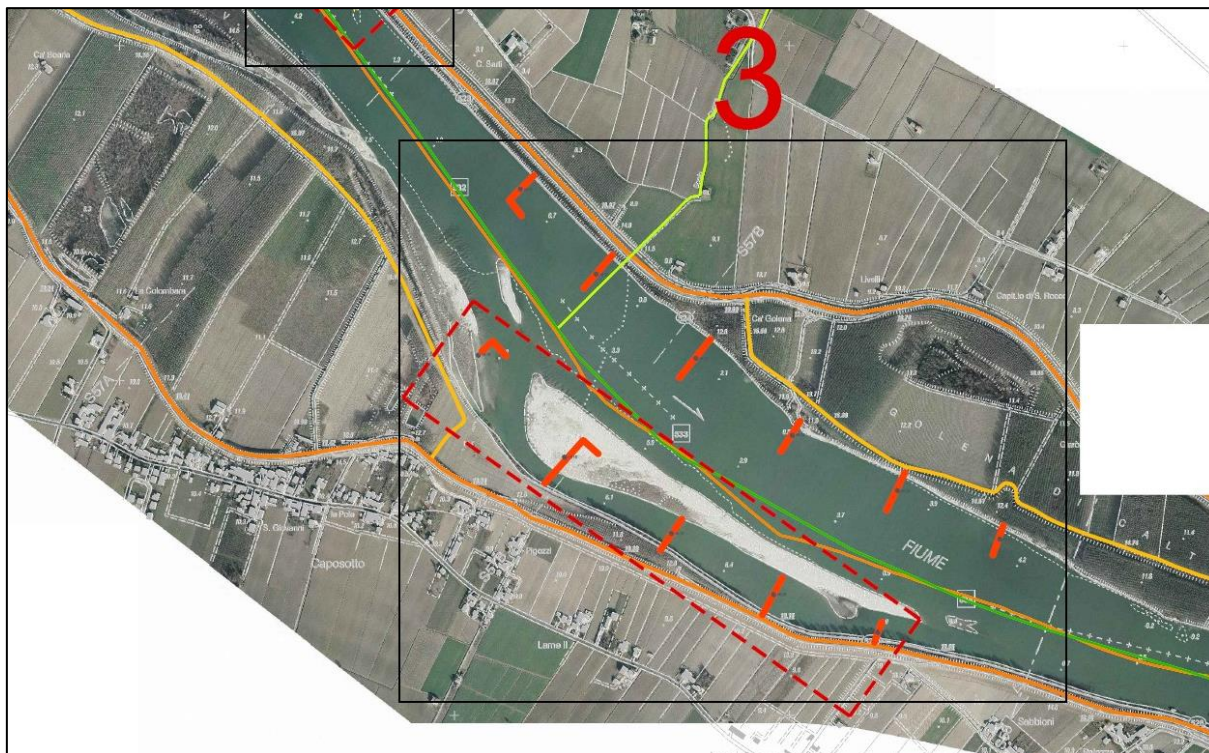


Figura 7-5: Intervento 3, pennelli in destra idraulica in corrispondenza di Caposotto, inquadramento su CTR e ortofoto

Di seguito si riportano le planimetrie di progetto dei 5 pennelli previsti nell'ambito dell'intervento n.3 estratte dalle rispettive tavole di progetto esecutivo.

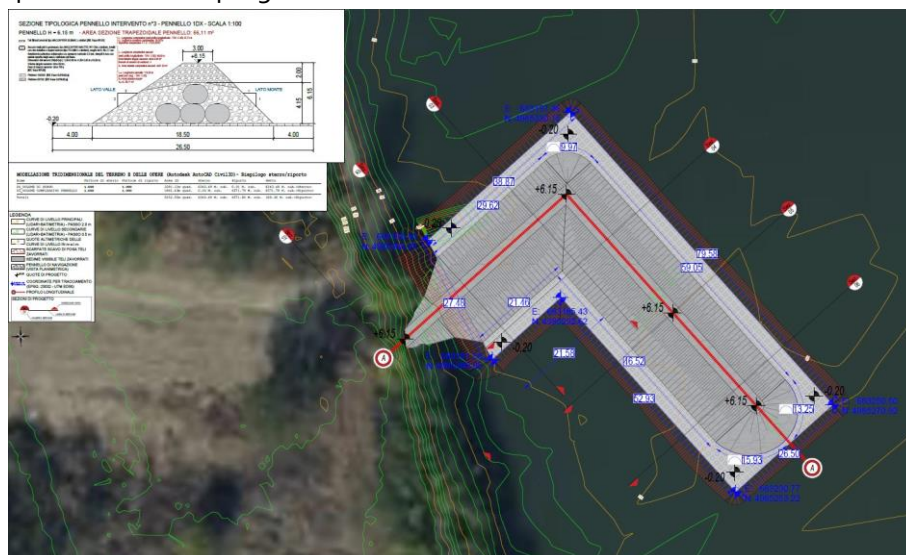


Figura 7-6: pennello trasversale a martello intervento 3 pennello 1 DX a Caposotto, planimetria di progetto

R.T.P:

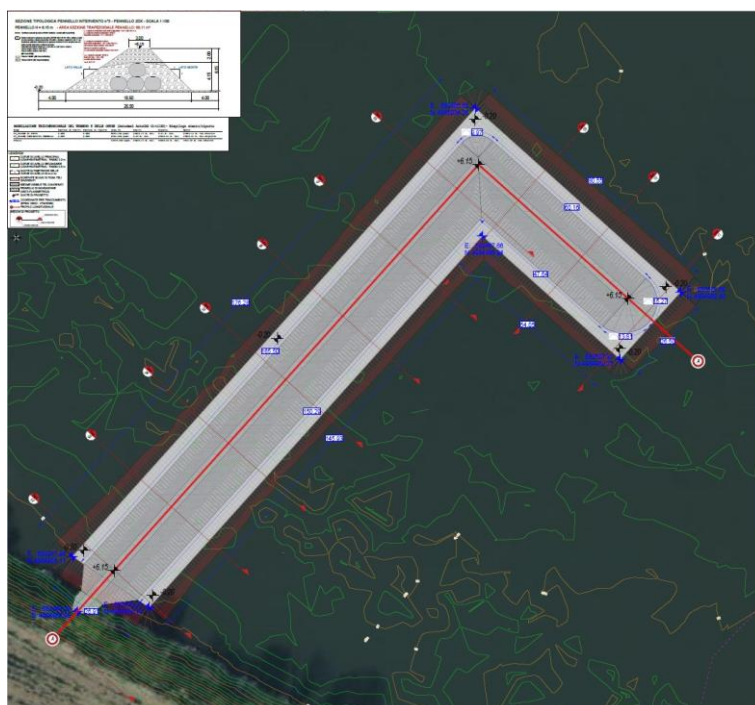


Figura 7-7: pennello trasversale a martello intervento 3 pennello 2 DX a Caposotto, planimetria di progetto

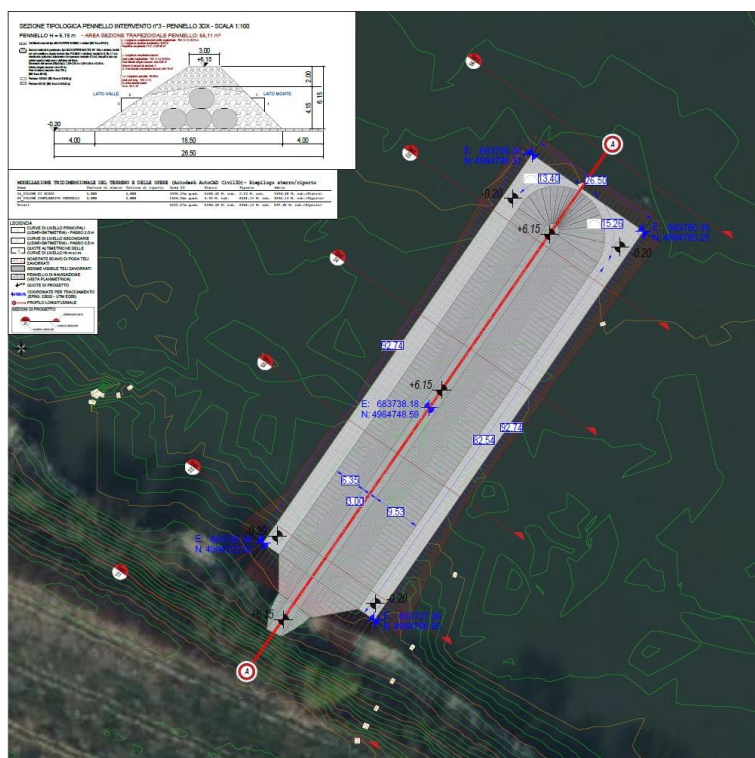


Figura 7-8: pennello trasversale intervento 3 pennello 3 DX a Caposotto, planimetria di progetto

R.T.P:

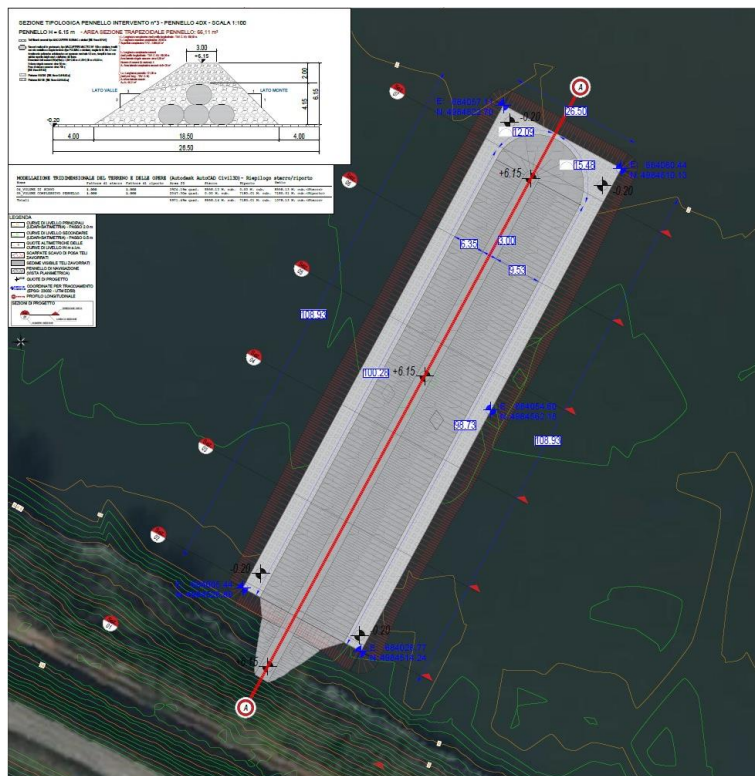


Figura 7-9: pennello trasversale intervento 3 pennello 4 DX a Caposotto, planimetria di progetto

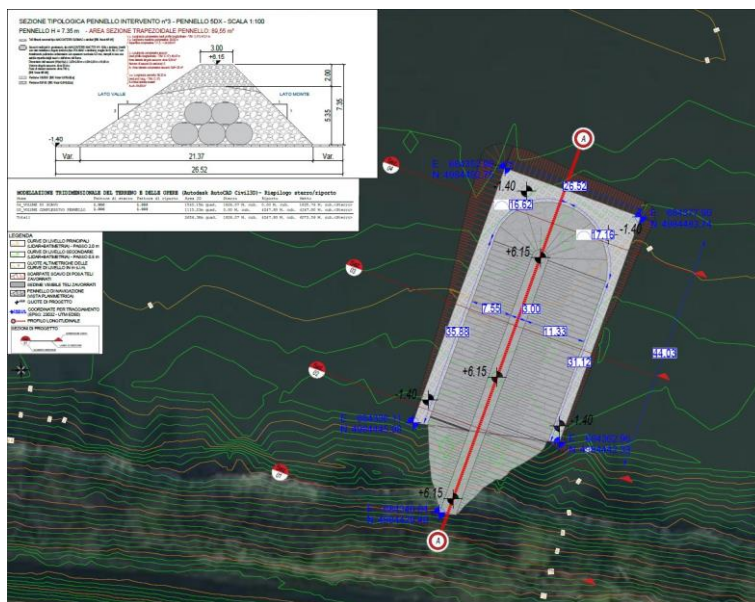


Figura 7-10: pennello trasversale intervento 3 pennello 5 DX a Caposotto, planimetria di progetto

R.T.P:

7.1.3. Ambito di intervento 7: pennello 1DX - Novara

Il terzo ed ultimo punto in cui si interverrà è posto all'inizio della lunga curva di Ficarolo dove si prevede la realizzazione di un pennello longitudinale disegnato in modo tale da indirizzare la corrente di magra verso la sponda sinistra concentrando su questo lato il filone principale della corrente di magra al fine di attivare il lato sinistro della curva di Ficarolo.

La curva di Ficarolo è la prima delle due curve presenti nel tratto in oggetto, assieme alla successiva curva di foce Panaro, che presenta una curvatura particolarmente accentuata.

Si tratta di una curva con un angolo di poco inferiore a 90° verso destra che fa assumere al fiume una direzione da nord verso sud.

E' caratterizzata dalla presenza di un'isola centrale che si modifica progressivamente in occasione degli eventi di piena principali e che sulla base dei sopralluoghi effettuati nel corso della presente progettazione appare oggi fortemente ridotta.

La necessità di indirizzare la corrente sul lato sinistro nasce dall'esigenza di garantire la navigabilità sull'esterno della curva dove è più semplice ottenere i fondali necessari alla navigazione.

Il pennello in progetto ha una lunghezza complessiva pari a circa 180 m, una quota di coronamento pari a 5,35 m slm ed un'altezza media pari a 6,35 m.

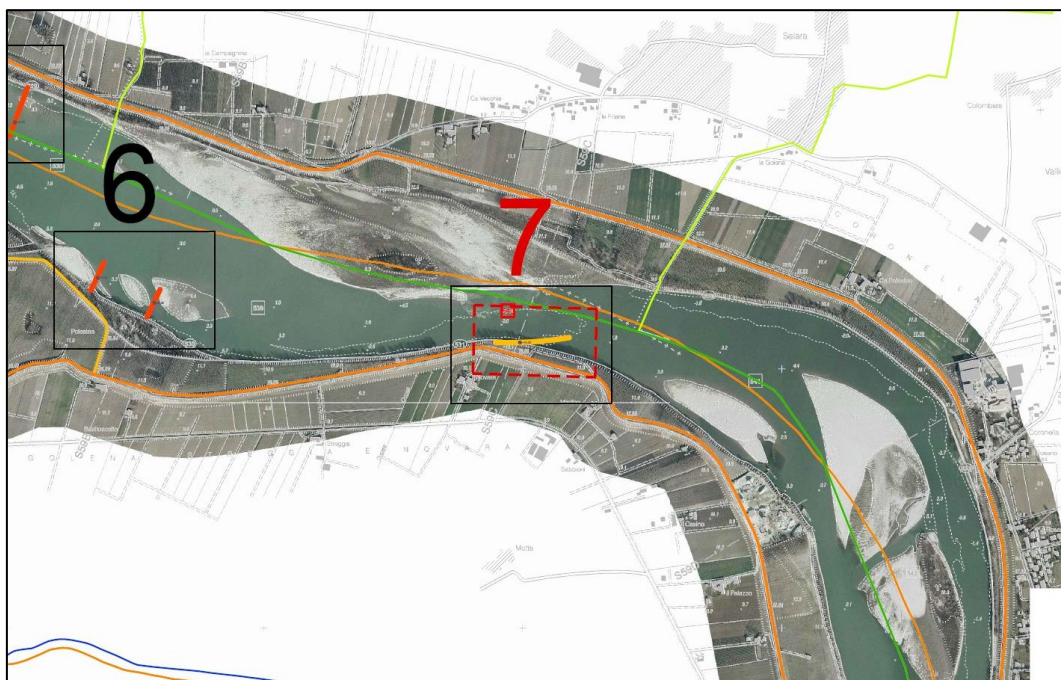


Figura 7-11: pennello in destra idraulica a monte di Ficarolo, inquadramento su CTR e ortofoto

Di seguito la planimetria di progetto del pennello.

R.T.P:

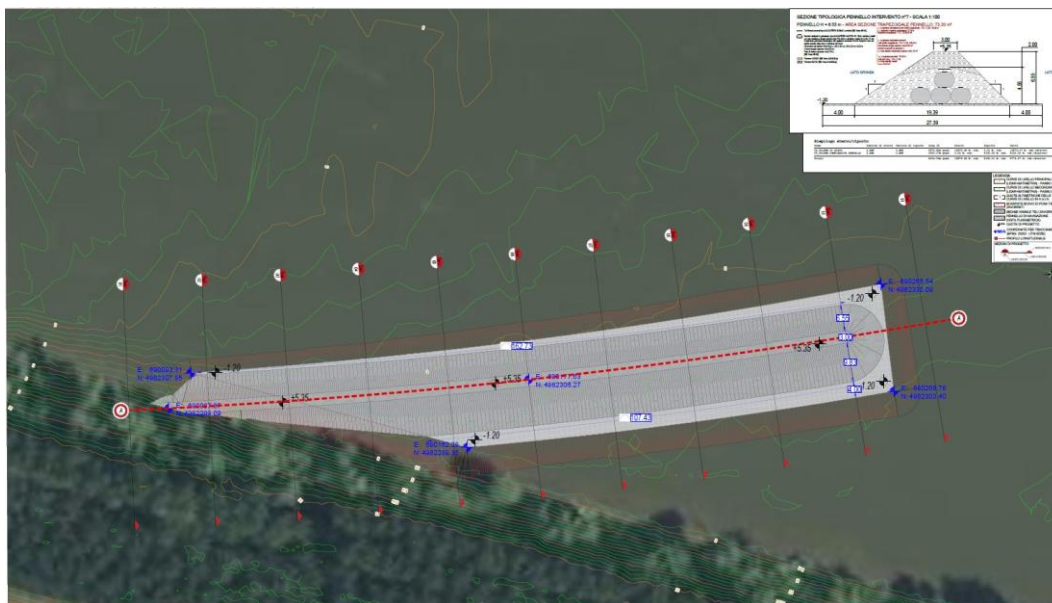


Figura 7-12: pennello in destra idraulica a monte di Ficarolo, planimetria di progetto

7.2. Cantierizzazione delle opere

I pennelli necessari alla regolazione dell'alveo di magra ai fini della navigazione lungo il Po sono costituiti prevalentemente da materiali lapidei sciolti e da sottostrutture di fondazione che andranno ad adattarsi ai fondali esistenti salvo modeste attività di dragaggio per la preparazione del piano di appoggio delle strutture.

La tipologia costruttiva dei pennelli permetterà loro di adattarsi alle diverse conformazioni del fondo configurandosi come strutture flessibili eventualmente modificabili in caso di necessità se i risultati attesi in termini di modellazione dell'alveo non dovessero essere quelli previsti dalle modellazioni.

I pennelli saranno realizzati in diverse fasi che prevedono fondamentalmente:

- la preparazione di un piano di posa sufficientemente regolare per la realizzazione del pennello mediante operazioni di dragaggio superficiale del fondo alveo;
- la posa in opera di teli zavorrati costituiti da un geotessile in polipropilene a cui vengono accoppiati blocchetti di cemento a formare il piano di appoggio delle opere con l'ulteriore funzione antiersiva del piede del pennello;
- la realizzazione del nucleo centrale del pennello mediante il varo, da apposito pontone, di sacconi in geotessuto riempiti con sabbia prelevata direttamente in alveo;
- completamento del pennello con una mantellata superficiale in materiali lapidei di ricoprimento finale;

R.T.P:

La parte preponderante dei pennelli sarà realizzata all'interno dell'alveo attivo del fiume quindi le fasi realizzative descritte in precedenza si svolgeranno prevalentemente in acqua, salvo condizioni di portate particolarmente basse, mediante l'utilizzo di pontoni galleggianti in grado di gestire autonomamente l'allineamento necessario alla corretta posa in opera dei materiali necessari alla realizzazione dei pennelli.

La realizzazione delle lavorazioni previste in progetto richiederà l'approntamento di opportune aree di stoccaggio e di alimentazione del cantiere da realizzare in zona golenale il più possibile vicino ai punti di realizzazione dei pennelli.

In tali aree saranno accatastati, in attesa della loro posa in opera, i materiali necessari alla realizzazione dei pennelli che come detto in precedenza saranno principalmente di tre tipologie:

- teli zavorrati provenienti presumibilmente dall'esterno del cantiere perché realizzati in stabilimento;
- sacconi in geotessuto riempiti con sabbia prelevata nelle immediate vicinanze del cantiere stesso;
- massi lapidei ciclopici provenienti da cave di prestito esterne al cantiere;

L'approvvigionamento del materiale in cantiere potrà avvenire sia via terra, lungo la viabilità ordinaria e successivamente attraverso le piste golenali opportunamente individuate allo scopo, ma anche via fiume qualora le condizioni di navigabilità lo permettano riducendo in questo modo il numero di mezzi di trasporto circolanti lungo la viabilità ordinaria.

Le aree di cantiere potranno essere approntate all'interno delle aree golenali del fiume.

Poste in prossimità delle zone ove verranno realizzati i pennelli per la sistemazione dell'alveo di magra, esse saranno adibite allo stoccaggio dei materiali necessari alla realizzazione delle opere, nonché allo spostamento e alla movimentazione dei mezzi d'opera utilizzati per le lavorazioni di cantiere.

La possibilità di realizzare le aree di cantiere nelle aree golenali, all'interno delle arginature maestre presenti lungo il corso del fiume, permetterà di ridurre la visibilità dei cantieri rispetto al territorio circostante limitando quindi gli impatti dovuti alla presenza dei cantieri stessi.

In questo tratto di fiume infatti, gli argini maestri presentano altezze di vari metri superiori alle quote della campagna circostante e fungono quindi da schermo naturale fra l'ambito golenale-fluviale e il territorio circostante, sia dal punto di vista visivo e ambientale, ma anche rispetto alle possibili fonti di disturbo dovute alla presenza dei cantieri quali rumore, polveri ecc.

L'ambito di ubicazione delle aree di cantiere offre quindi una naturale protezione rispetto alle attività antropiche circostanti essendo le stesse posizionate sostanzialmente al di fuori di zone di normale fruizione pubblica.

Solamente percorrendo la viabilità arginale potranno essere presumibilmente percepite le attività di cantiere e quindi solo da chi si dovesse trovare a transitare lungo i percorsi esistenti sui rilevati arginali.

R.T.P:

Essendo i punti di intervento localizzati in posizioni fra di loro relativamente distanti si dovranno necessariamente realizzare aree di cantiere espressamente dedicate e per ognuna di esse verranno individuate le migliori soluzioni possibili dal punto di vista dell'accessibilità provenendo dalla viabilità ordinaria al fine di ridurre il più possibile i percorsi di accesso e transito dei mezzi di trasporto.

Particolare attenzione andrà riservata ai carichi massimi che si potranno far transitare lungo le arginature maestre del Po in quei tratti che dovranno essere necessariamente percorsi per accedere alle aree golenali in cui saranno ubicate le aree di cantiere.

Particolare attenzione sarà inoltre posta alla tutela e alla salvaguardia delle specie animali presenti con la necessità, ove richiesto, di rispettare eventuali vincoli dettati dalla presenza o meno di aree protette quali SIC E ZPS.

R.T.P:

8. VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI NAVIGABILITA' DEL TRONCO IN OGGETTO

Di seguito vengono riassunti i principali risultati emersi dalle modellazioni morfodinamiche effettuate per valutare gli effetti indotti dalla realizzazione delle opere previste a progetto.

Si rimanda alla relazione idrologico-idraulica per un maggior dettaglio al riguardo.

1.1. Risultati della modellazione a fondo mobile

La modellazione morfodinamica ha consentito di determinare le zone in deposito/erosione, la complessiva variazione delle quote del fondo alveo nello scenario di progetto ed i conseguenti tiranti idrici che si instaurano per diverse portate.

I risultati del modello numerico hanno dato indicazioni per individuare successivi affinamenti dello scenario di progetto; modellando in maniera iterativa diverse configurazioni delle opere per numero, posizione, lunghezza ed inclinazione delle stesse.

Complessivamente, le simulazioni effettuate hanno analizzato:

- lo scenario senza nuove opere;
- lo scenario con opere come da progetto preliminare;
- alcuni scenari preliminari del progetto definitivo con una configurazione delle opere via via ottimizzata;
- lo scenario con tutte le opere individuate nel presente progetto definitivo;
- lo scenario con le opere selezionate dallo scenario complessivo, che rientrano nel finanziamento disponibile e possono considerarsi il primo step di realizzazione.

In tutti i casi sono state effettuate dapprima le simulazioni a fondo mobile, sul periodo individuato di due anni; successivamente, si è estrapolata la batimetria finale di calcolo su cui sono state effettuate le verifiche a fondo fisso, per le portate di interesse, ovvero: 530 m³/s, ai fini della verifica della risoluzione delle criticità per la navigazione, 800, 1.450, 2.500 m³/s ai fini di verifiche di carattere ambientale.

Scenario senza nuove opere

La simulazione dello scenario che prevede di mantenere lo stato attuale del corso d'acqua, senza introduzione di nuove opere, mostra una presenza diffusa di criticità lungo il tratto in esame.

Il modello mostra come il fiume tende in molti casi ad appiattire la sezione d'alveo, pertanto nei tratti più larghi si confermano le criticità dovute alla presenza di bassi fondali. Il modello conferma inoltre l'evoluzione del tratto di Ficarolo: il fiume stringe in destra, accorciando il suo percorso e depositando nella curva esterna.

R.T.P:

Scenario con opere come da progetto preliminare

L'inserimento nel modello delle opere come da progetto preliminare mostra risultati parzialmente soddisfacenti e criticità che persistono in molti tratti, in termini di tiranti minimi. In particolare i risultati del modello evidenziano come i pennelli definiti a livello preliminare portino ad un eccessivo approfondimento del fondo del fiume localizzato di fronte alle opere, di oltre 5 metri, e la presenza di tratti ancora molto estesi non risolti a Calto, nella curva di Ficarolo, ecc.

I risultati ottenuti nel secondo tratto con inserimento delle opere da progetto preliminare sono ritenuti soddisfacenti a soddisfare gli obiettivi progettuali. La configurazione di tali opere è stata pertanto ottimizzata, al fine di ridurre il numero e dimensioni dei pennelli e distribuire le risorse disponibili per risolvere i tratti critici residui a monte.

Scenario completo individuato nel progetto definitivo

Il progetto definitivo ha analizzato configurazioni che ottimizzino il raggiungimento degli obiettivi preposti lungo l'intero tratto di analisi. La modellazione numerica è stata condotta affinando per fasi successive la soluzione proposta.

Dai risultati ottenuti si osserva come le opere introdotte determinano un andamento sinuoso ma controllato del fiume e la risoluzione delle criticità in termini di tiranti idrici minime nell'intero tratto.

La Figura 8-1 riporta le batimetrie ad inizio e fine simulazione: le zone dove sono stati inseriti i pennelli mostrano zone di deposito, zone rosse a tergo dei pennelli, e di erosione fino a creare un canale navigabile piuttosto continuo. Si osserva come l'opera longitudinale in destra a monte di Ficarolo consente di spostare l'alveo di magra in curva. Il modello indica una zona di attenzione a valle della serie dei pennelli di Castelmassa, dove la larghezza del fiume è tale per cui il canale inciso fatica a crearsi.

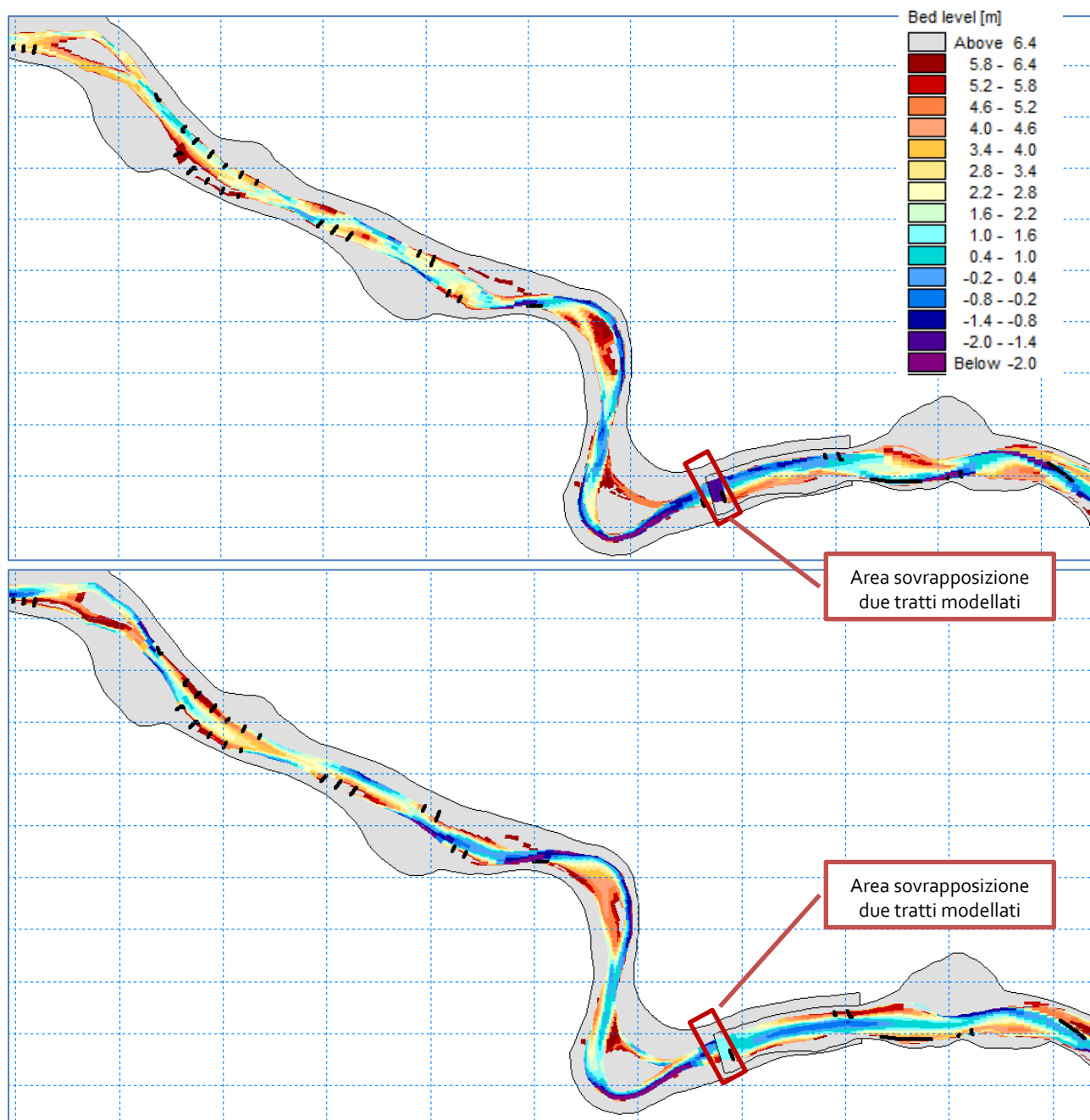


Figura 8-1 – Simulazione dello scenario con opere previste dal progetto definitivo (trattini neri): batimetria ad inizio (in alto) e fine simulazione (in basso).

I pennelli inducono effetti differenziati all'interno dell'alveo mobile, composti da effetti deposizionali nelle aree a tergo dei pennelli ed effetti erosivi nell'alveo canalizzato. Questo non comporta sostanziali differenze nel trasporto solido globale rispetto alla situazione attuale in quanto i due effetti sostanzialmente si compensano reciprocamente.

R.T.P:

Scenario parziale individuato nel progetto definitivo

Al fine di progettare le opere per le quali è disponibile un finanziamento, dallo scenario completo sono state individuate alcune opere di sistemazione e che rappresentano la prima fase dell'intervento complessivo (opere indicate in rosso in Figura 8-2).

Per poterne verificare il funzionamento, le opere sono state inserite nel modello, simulando lo stesso periodo e stesse condizioni idrologiche rispetto ai casi precedenti. I risultati in termini di tiranti sono riportati nella successiva Figura 8-3.



Figura 8-2 – In rosso: opere selezionate come primo stralcio delle opere complessive individuate nel progetto definitivo. In giallo le opere di stralci successivi.

Dai risultati si osserva quanto segue:

- in questo caso l'andamento dell'alveo risulta meno sinuoso, in quanto le opere lungo una sola sponda fanno sì che il fiume tenda a rettificare il suo percorso;
- l'opera a monte di Ficarolo, in sponda destra, consente di spostare l'alveo di magra in sinistra, in corrispondenza della curva esterna;
- i risultati che si ottengono in termini di tiranti minimi sono comunque soddisfacenti;
- la criticità residua a valle di Stienta permane, in quanto rappresenta l'effetto della stabilizzazione del tratto di monte: alcune simulazioni di studio hanno mostrato che l'inserimento di pennelli oltre il tratto in esame, e più precisamente fino ad Occhiobello, risolve tale criticità e complessivamente il problema dei bassi fondali fino a Pontelagoscuro.

R.T.P:

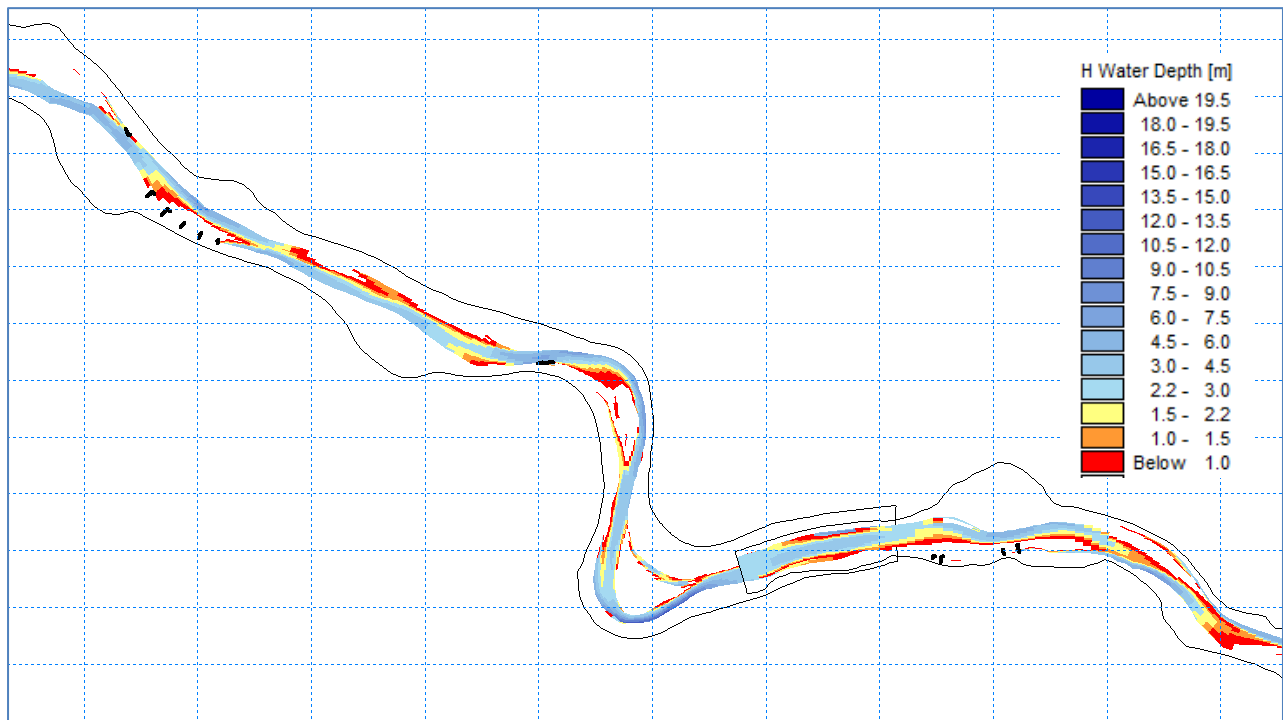


Figura 8-3 – Simulazione degli effetti delle opere selezionate dallo scenario completo, oggetto della presente progettazione: livelli corrispondenti ad una portata di 530 mc/s.

Opere Progetto esecutivo

Il progetto esecutivo di cui alla presente relazione, per le ragioni prevalentemente economiche descritte in precedenza, non prevede la realizzazione dei due pennelli relativi all'intervento 12 previsti nella parte terminale del tratto in oggetto.

Tale intervento verrà invece realizzato nell'ambito dei successivi interventi che AIPo ha già programmato e di cui prevede la realizzazione nei mesi successivi a quelli dell'intervento di cui al presente progetto esecutivo.

R.T.P:

9. ASPETTI GENERALI DEGLI INTERVENTI

Nel presente capitolo vengono riportate le caratteristiche generali del progetto in funzione degli aspetti specialistici riportati nei documenti specifici allegati al presente progetto.

9.1. Geologia

Le aree di inserimento dei pennelli di navigazione riguardano l'alveo di magra del fiume Po nel tratto compreso tra Revere e Ferrara. Presso tali aree, la geologia locale è rappresentata dal deposito di granulometrie medie e fini abbondantemente studiate in bibliografia.

La piatta morfologia dei sedimenti continentali nasconde un basamento d'origine marina articolato in anticlinali/sinclinali, sovrascorrimenti e faglie che seguono grossomodo l'allineamento ONO-ESE della Catena appenninica: si tratta delle cosiddette Pieghe emiliano-romagnole e ferraresi.

Al loro culmine, esse determinano uno spessore relativamente ridotto del materasso alluvionale, mentre lo incrementano negli avvallamenti, così da creare una sorta di rilievo montuoso sepolto sotto l'ampia fascia pianeggiante che borda a Nord i contrafforti appenninici, dall'Adriatico alla Provincia di Reggio Emilia. Notoriamente, quell'assetto regionale è un riflesso della collisione dei continenti africano ed europeo nell'incessante deriva di quelle zolle crostali.

La strizione dell'area mediterranea determinò il sollevamento delle Alpi e degli Appennini associando placche distensive, quali l'Avanfossa padano-adriatica.

La dinamica tettonica permane tuttora, come dimostrano i terremoti ricorrenti.

Giacché la materia è argomento d'innomerevoli pubblicazioni scientifiche e divulgative, ad esse si rimanda per i dettagli.

Ai fini del Progetto in corso, sono di maggiore interesse le problematiche ingegneristiche derivanti dalla natura dei terreni di tetto e dall'attività sismica di base.

Per la definizione delle caratteristiche geologiche sono state eseguite 20 verticali in 7 sottozone; per ognuna di esse sono state redatte delle monografie allegate nell'ambito della relazione geologica-geotecnica, a cui si rimanda per maggiori dettagli e per la definizione dei parametri geotecnici principali.

9.2. Idraulica

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alla compatibilità idraulica degli interventi in oggetto, si allega alla relazione idraulica e alla relazione di compatibilità idraulica, il verbale della seduta del 1° luglio 2021 della Conferenza operativa dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po nel quale si esprime parere favorevole alla realizzazione delle opere con le seguenti due prescrizioni:

- *approfondire in sede di Progetto Esecutivo le analisi a fondo mobile sugli spostamenti del fondo alveo e sulla base di esse valutare opportune modifiche alle opere in progetto che possano comunque garantire la navigabilità del tratto, ma allo stesso tempo assicurare degli spostamenti e approfondimenti del thalweg tali da non compromettere la sicurezza idraulica dei tratti di arginatura in frodo;*

R.T.P:

- *sottoporre il tratto oggetto di intervento ed in particolare i punti dove sono presenti arginature in frodo, ad un adeguato monitoraggio dell'evoluzione dell'alveo al fine di verificare l'efficacia e la sicurezza degli interventi realizzati e la necessità di eventuali interventi correttivi.*

Al riguardo si precisa che nell'ambito dei finanziamenti del PNRR, AIPO ha recentemente affidato la realizzazione di un modello aggiornato del Po a fondo mobile, che dovrebbe essere disponibile a breve, sulla base del quale sarà possibile effettuare le verifiche di dettaglio richieste.

In tal modo infatti, i suddetti approfondimenti potranno essere maggiormente aderenti alla realtà e allo stato recente del fiume basandosi su un modello morfologico aggiornato alla situazione attuale.

9.3. Archeologia

Nell'ambito della redazione del progetto definitivo sono state svolte indagini archeologiche indirette comprendenti il reperimento e la raccolta dei dati di archivio e bibliografici reperibili, la lettura della geomorfologia del territorio e le fotointerpretazioni.

Sulla base dei dati analizzati, quindi, sono stati definiti i gradi di potenziale archeologico in funzione della distribuzione provinciale:

- Provincia di Mantova: I siti ipotizzati come pre-protostorici sono tutti in alveo e pertanto già in balia dell'erosione. È quindi evidente che in questi punti eventuali interventi potrebbero ulteriormente danneggiare delle emergenze archeologiche piuttosto rare per il corso del Po. I siti di età storica sono invece in parte sepolti da imponenti coltri alluvionali (vedi ansa Revere – Bonizzo) e in parte collocati in superficie, solo il muro dell'isola Bianchi è in alveo. Ciò fa sì che la valutazione del rischio vada effettuata volta per volta, secondo gli interventi che si vorranno mettere in atto.
- Provincia di Rovigo: La fascia di territorio a nord del fiume Po in provincia di Rovigo si suddivide in due distinte porzioni. La prima area (Comuni di Melara, Bergantino, Castelnovo Bariano, Castelmasa, Calto, Salara, Ficarolo e in parte Gaiba), risulta interessata in maniera marginale da alluvioni. Nonostante la vicinanza con il Grande Fiume, si rileva la costante presenza di affioramenti in superficie di siti di età romana e tardo antica. Interessante notare come quest'area coincida con il tratto del Po rimasto stabile dal Medioevo ad oggi a conferma dell'equilibrio raggiunto dall'azione morfodinamica del fiume con il territorio circostante.

La seconda area (coincidente con parte del Comune di Gaiba e con quelli di Stienta e Occhiobello), appare del tutto priva di rinvenimenti archeologici di età romana o tardo antica. La zona fu interessata da importanti fenomeni alluvionali che obliero sotto un cospicuo deposito il paleosuolo romano.

Questa situazione non pare casuale, ma dovette trarre origine dalla rotta di Ficarolo (1152) che portò allo spostamento a nord del fiume Po (nel corso attuale), innescando processi di assestamento che cambiarono profondamente la morfologia delle zone limitrofe.

Se per i ritrovamenti di età romana e tardoantica il territorio oggetto di indagine presenta due differenti situazioni, per quanto riguarda l'età medievale si nota una certa omogeneità ovvero un fenomeno di accentrimento insediativo (di fatto coincidente con gli attuali nuclei demici) lungo la sponda sinistra del fiume Po, in posizione di alti morfologici (paleodossi), con alcune eccezioni, che però non cambiano il quadro complessivo. Tale fenomeno si sviluppa già in età alto e pieno medievale ad ovest di Ficarolo, mentre è successivo alla rotta del 1152 per quanto riguarda i territori ad est.

R.T.P:

- **Provincia di Ferrara:** Le poche testimonianze pre-protostoriche risultano sepolte sotto una spessa coltre alluvionale, come conseguenza di una rottura degli equilibri idrogeologici successiva all'VII sec. a.C. Gli studi geomorfologici e topografici hanno confermato che dall'età preromana al XII sec. il corso principale del Po defluiva nel sito dove nel VI sec. d.C. sorse il castrum bizantino di Ferrara, che dunque godette dall'Altomedioevo di una indiscussa posizione privilegiata quale punto di passaggio obbligato tra il mare e l'entroterra padano. Data la caratteristica instabilità dell'ambiente fluviale, nell'antichità non si assistette alla formazione di agglomerati di rilievo. Questa tendenza insediativa perdurò fino all'età moderna, quando le consistenti attività di bonifica acquisirono nuovi territori all'insediamento antropico.

Dalla valutazione del potenziale archeologico sono quindi stati determinati i diversi gradi di "rischio archeologico" per ogni intervento in progetto e di consequenziali impatti diversificati sul patrimonio archeologico atteso.

Dall'analisi condotta, il rischio risulta inconsistente per tutti gli interventi ad eccezione dei seguenti:

- **PROVINCIA DI MANTOVA:**
 - A monte del ponte fra Sermide e Castelnovo Bariano, in Comune di Sermide. L'intervento si colloca in un tratto di alveo del fiume Po che possiamo considerare stabile dall'età romana in poi. È quindi evidente, come peraltro dimostra la cartografia archeologica, che nell'area possono essere presenti emergenze di età storica, oltre a quella di modesta entità (13 x 16 m), di età molto tarda (post-medievale), già documentata in SE5. Tenendo poi conto dei siti documentati a monte e a valle dell'intervento non possiamo escludere che in profondità possano affiorare resti di età preromana. Va quindi considerato un potenziale archeologico di grado 4 (NON DETERMINABILE) e un "rischio" archeologico MEDIO.
 - Merlino-Sabbioni, in Comune di Felonica. L'intervento si colloca in un tratto di alveo del fiume Po che possiamo considerare stabile dall'età romana in poi. Non solo, proprio in questo tratto sono stati rinvenuti nell'Ottocento sia resti di età romana (tomba) che un lastricato post medievale, entrambi sepolti, mentre è presente un sito post-medievale affiorante, di ampia estensione (2.500 m). Quest'ultimo è posto all'estremità dell'intervento idraulico, mentre degli altri due è stata solo ipotizzata l'area del rinvenimento, perché i dati del secolo scorso sono troppo approssimativi. Si ritiene pertanto che questa zona possa conservare documentazione archeologica di un certo interesse, ma, data l'approssimazione per la fase più antica, si considera un potenziale archeologico di grado 7 (INDIZIATO DA RITROVAMENTI MATERIALI LOCALIZZATI) e un "rischio" archeologico MEDIO-ALTO.
- **PROVINCIA DI ROVIGO:**
 - L'intervento di Gaiba si colloca lungo l'asta fluviale a sud del centro abitato attuale in un'area di aperta campagna, ma piuttosto vicina al centro demico attuale. Sebbene questa porzione del territorio risulti interessata da alluvioni piuttosto consistenti dovute alla rotta di Ficarolo (1152), adiacente alla zona dell'intervento si colloca un sito di interesse archeologico, il monastero di San Lorenzo (Goo1). L'analisi aerofotografica conferma la presenza di resti antropici da monitorare con attenzione (RO-AF 3). Pertanto, in base a tutti questi elementi, per l'intervento di Gaiba si valuta un potenziale archeologico di grado 5 (INDIZIATO DA ELEMENTI DOCUMENTARI OGGETTIVI) e un conseguente "rischio" archeologico MEDIO.

R.T.P:

Si rimanda alla relazione archeologica ed ai rispettivi elaborati grafici per un maggior dettaglio relativo alla materia dell'archeologia.

Progetto esecutivo

A seguito della trasmissione della Relazione Archeologica (Elaborato D.04, 2018), la Direzione generale archeologia, belle arti e paesaggio, Servizio V ha espresso parere tecnico istruttorio (MATTM prot. 34390 del 13.10.2021) richiamando i pareri endoprocedimentali delle Soprintendenze archeologia, belle arti e paesaggio (ABAP) competenti per territorio.

La Soprintendenza ABAP per le province per la città metropolitana di Bologna e le province di Modena Reggio Emilia e Ferrara prescrive che tutti gli interventi previsti in provincia di Ferrara siano sottoposti ad assistenza archeologica in corso d'opera.

La Soprintendenza ABAP per le province di Cremona, Lodi e Mantova prescrive che tutti gli interventi previsti in provincia di Mantova siano sottoposti ad assistenza archeologica in corso d'opera ai lavori di dragaggio e al vaglio degli inerti prelevati in loco in corrispondenza dell'intervento previsto.

La Soprintendenza ABAP per le province di Verona, Rovigo e Vicenza prescrive che tutti gli interventi ricadenti in provincia di Rovigo siano sottoposti ad assistenza archeologica in corso d'opera e che, in corrispondenza dei due punti di intervento localizzati rispettivamente nei Comuni di Calto e di Gaiba, siano eseguiti carotaggi preventivi ai sensi dell'art. 25, comma 8, lett. a) del D. Lgs. 50/2016.

Il suddetto parere è stato richiamato nell'istruttoria di VIA (parere n. 279 del 20.06.2022 ID VIP 5132) e nel DM MITE-MIC n. 169 del 03.08.2022, art. 3.

Al fine di ottemperare le condizioni richieste, è inserito nel quadro economico del progetto esecutivo l'attività di assistenza archeologica in corso d'opera che dovrà essere svolta da archeologo abilitato ai sensi dell'art. 9bis del D.Lgs. 42/2004. Per quanto riguarda i due punti di intervento localizzati rispettivamente nei Comuni di Calto e di Gaiba, per i quali è prescritta l'esecuzione di carotaggi preventivi, si segnala che detti interventi non sono oggetto del presente progetto esecutivo.

9.4. Valutazione Rischio Bellico

Il cantiere in oggetto presenta diverse attività di scavo, di varia profondità e tipologia. Come espressamente previsto dall'art. 284 del D.Lgs. n. 81/2008, le attività che espongono i lavoratori al rischio di esplosione derivante dall'innesco accidentale di un ordigno bellico inesplosivo devono essere opportunamente analizzate.

A tal fine la Committenza – AIPO Agenzia Interregionale fiume Po ha incaricato il Consorzio S.T.E.R.N. di eseguire un'attività di supporto tecnico amministrativo alla valutazione del rischio bellico residuo, al fine di consentire al Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione la definizione del livello di rischio applicabile all'intervento in oggetto, ai sensi del T.U.S. 81/2008 come emendato dalla legge 177/2012.

È stata svolta, pertanto, la valutazione preliminare del rischio bellico residuale ascrivibile all'area di progetto, al fine di permettere l'esecuzione dei lavori previsti in sicurezza e di determinare la necessità o meno di

R.T.P:

procedere in fase successiva con un intervento di messa in sicurezza convenzionale, definito da normativa tecnica vigente.

La compenetrazione tra i dati documentali (analisi storiografica), lo stato di fatto sovrapposto allo stato di progetto (analisi stato di fatto) ed i dati empirici raccolti su campo (analisi strumentale) ha permesso la definizione di massima del grado di rischio bellico residuo dell'area progettuale.

In particolare, come evidenziato nel PSC, la valutazione del rischio bellico residuo condotta ha portato come conclusione un **RISCHIO ACCETTABILE** e, conseguentemente, ai sensi delle Linee Guida Sicurezza emanate dal CNI (edizione 2017 – revisione 2018) in materia di valutazione rischio bellico, non è pertanto necessario attivare la procedura di bonifica bellica preventiva.

I documenti prodotti dalla società incaricata che hanno consentito di procedere con la valutazione del rischio bellico residuo sono allegati al PSC.

9.5. Paesaggio

Il rapporto tra le opere ed il paesaggio è stato analizzato all'interno della relazione paesaggistica allegata al progetto definitivo. Per una maggiore comprensione dell'inserimento delle opere nel contesto fluviale, sono stati redatti appositi fotomontaggi delle opere previste.

Si ricorda sin da ora, però, che le opere, per la loro natura e concezione, sono visibili solo per il 20% di un anno solare e limitatamente ai periodi di secca del fiume Po.

Si rimanda agli elaborati qui richiamati per un maggiore dettaglio delle opere e dell'inserimento paesaggistico di esse.

9.6. Interferenze

L'area di inserimento delle opere è limitata all'alveo fluviale del fiume Po. Nel tratto tra Revere e Ferrara, non sono presenti attraversamenti impiantistici dell'alveo che possono generare interferenze con il presente progetto. Pertanto, non sono previsti elaborati inerenti le interferenze all'interno del progetto stesso.

9.7. Aspetti ambientali, impatti previsti, gestione delle materie, cave

Il presente progetto, ricadendo all'interno delle opere per cui è previsto il procedimento di V.I.A., è stato corredato dagli specifici elaborati richiesti dal procedimento quali: Studio di Impatto Ambientale, VINCA, Sintesi non tecnica, Piano di Cantierizzazione, Relazione preliminare sulle terre e rocce da scavo; si rimanda pertanto a tali elaborati per una trattazione dettagliata ed esaustiva sulle caratteristiche di tali componenti e l'interazione con il presente progetto.

Per quanto riguarda i materiali inerti necessari alla realizzazione delle opere si precisa che il materiale sabbioso necessario alla realizzazione dei sacconi che costituiscono il nucleo centrale dei pennelli viene prelevato direttamente nell'ambito degli scavi necessari alla realizzazione del pennello stesso.

R.T.P:

Il pietrame necessario al ricoprimento esterno dei pennelli verrà invece prelevato da cave di prestito la cui individuazione è onere dell'impresa la cui proposta e valutazione del materiale utilizzato sarà da effettuare durante la fase di Direzione dei lavori.

9.8. Espropri ed occupazioni temporanee

Il progetto esecutivo, all'interno del piano di cantierizzazione e degli elaborati connessi, definisce le modalità di fornitura dei materiali e le viabilità e le aree da utilizzare per il cantiere. Tali aree sono state definite in funzione della presenza delle rampe di discesa arginali in modo da limitare gli impatti sul territorio e la realizzazione di nuove opere.

Il sedime delle opere ricade completamente all'interno dell'alveo del fiume Po, pertanto in aree appartenenti al demanio fluviale; la realizzazione delle opere, quindi, comporta la sola occupazione temporanea delle aree limitrofe come definito negli specifici layout di cantiere riportati negli elaborati grafici specifici. Si rimanda pertanto agli specifici elaborati richiamati per un maggiore dettaglio delle occupazioni previste.

Prima della procedura di affidamento dei lavori la Stazione appaltante avvierà le procedure previste dalla legge per l'occupazione temporanea al fine di garantire la disponibilità delle aree necessarie alla realizzazione dei lavori.

R.T.P:

10. TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE

Il presente progetto esecutivo recepisce quanto richiesto a livello progettuale dal Decreto del Ministero della Transizione Ecologica Prot. 169/2022 notificato con protocollo MITE 2022-0105129 e dai rispettivi allegati. Nella relazione di ottemperanza, documento progettuale R.09 del presente progetto esecutivo, vengono richiamate le prescrizioni ricevute dagli Enti in sede di V.I.A. individuando le modalità di accoglimento di esse, quando previste in fase progettuale, oppure indicando le prescrizioni di cui sarà necessario tener conto in sede di realizzazione delle opere.

Dal punto di vista dei tempi necessari alla realizzazione delle opere, si ricorda in questa sede che, come previsto dal decreto V.I.A., la validità del parere ha durata 5 anni (prorogabili).

Le scadenze successive al progetto esecutivo, con una stima indicativa dei tempi necessari, riguardano i seguenti adempimenti:

- | | |
|--|------------------------|
| • Validazione della Progettazione Esecutiva: | 1 mese |
| • Procedura di gara di appalto: | 3 mesi |
| • Realizzazione dei lavori: | 64 settimane (448 gg.) |
| • Esecuzione dei monitoraggi post operam: | 3 anni |

Per quanto riguarda i tempi necessari alla realizzazione delle opere, questi sono stati stimati in fase di progettazione in 64 settimane (pari a 448 gg. naturali e consecutivi), come riscontrabile dal cronoprogramma allegato.

Tale previsione tiene conto di realizzare i singoli interventi in sequenza, procedendo da monte verso valle, dal momento che pare difficilmente ipotizzabile che un singolo appaltatore possa disporre dei mezzi operativi necessari per realizzare più interventi contemporaneamente in ambiti diversi.

Tali tempistiche (se previsto dal bando di gara) potranno essere eventualmente contratte in sede di offerta economicamente più vantaggiosa da parte dei singoli operatori economici in funzione delle proprie capacità operative e disponibilità di mezzi, trattandosi di interventi fra di loro indipendenti e privi di interferenze spaziali e che potrebbero pertanto anche essere realizzati in sovrapposizione fra loro.

Secondo l'iter sopra schematizzato ed ipotizzato, le opere potranno pertanto essere realizzate entro le tempistiche di validità dell'autorizzazione ambientale. Tali scadenze sono comunque in parte connesse ai tempi autorizzativi del progetto esecutivo e di espletamento della procedura di affidamento dei lavori e sono da ritenersi quindi indicative.

Reggio Emilia, novembre 2023

11. BIBLIOGRAFIA

Istituto italiano di Navigazione "Le unità navali per il sistema idroviario italiano" IIN 2011.

Dott. Ing. Ostilio Gorio "Ventidue anni di studi e lavori sul Po dal 1919 al 1941" Roma - Cartotecnica italiana settembre 1953.

Ivano galvani, Maurizio Pellegrini "Navigare il Po, tra passato e futuro".

Tiziano Binini, Umberto Bonafini, Gabriele Della Luna "Dal Po al Mare del Nord-Le vie e i porti della navigazione interna in Europa" a cura della Cooperativa Architetti e Ingegneri di Reggio Emilia.

Guillaume Raccasi "Mutations géomorphologiques récentes du Rhône aval, Recherches en vue de la restauration hydraulique et de la gestion des crues. Géomorphologie. Université de Provence – Aix" Marseille I, 2008. Français.

Luigi Da Deppo e Claudio Datei "Navigazione Interna" Libreria Internazionale Cortina Padova 2003.

AIPO "Progetto preliminare di adeguamento delle condizioni di navigabilità dell'alveo di magra del fiume Po per navi di classe V - Revere – Ferrara".

AIPO (2011) "Progetto definitivo 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 una unità di navigazione della Va classe CEMT (MN-E-12/N1-1)".

ARNI (1998) "Studio di fattibilità del sistema idroviario Padano-Veneto".

ARNI e Consorzio Ferrara Ricerche (2007) "Studio di compatibilità degli interventi di progetto in alveo di Po per l'adeguamento delle condizioni di navigabilità dell'alveo di magra per navi di V classe europea nel tratto Palantone Occhiobello".

ARPA Emilia Romagna - Servizio Idrometeorologico - Area Idrologia (dal 2005 al 2013) "Annali idrologici".

Autorità di bacino del fiume Po (2004) "Catasto arginature maestre del fiume Po".

Autorità di bacino del fiume Po (2005 e 2006) "Studio di fattibilità degli interventi di gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del fiume Po" stralcio Tanaro - Arda e Arda – mare.

Autorità di bacino del fiume Po (2006) "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)".

Autorità di bacino del fiume Po (2007) "Aggiornamento delle analisi morfologiche e del bilancio del trasporto solido dell'asta del fiume Po da confluenza Stura di Lanzo all'incile del delta (periodo 2002 – 2005) e report di valutazione".

Autorità di bacino del fiume Po (2007) "Rappresentazione delle condizioni di rischio residuale lungo l'asta del fiume Po da Torino al mare: sintesi delle conoscenze e report descrittivi".

Autorità di bacino del fiume Po (2008) "Progetto strategico per il miglioramento delle condizioni di sicurezza idraulica dei territori di pianura lungo l'asta principale del fiume Po".

Cati L. (1981) – "Idrografia e Idrologia del bacino del Po". Pubbl. n. 19 dell'Ufficio Idrografico del Po.

Chow V.T., Maidment D.R., Mays L.W., 1988. "Applied Hydrology". New York, McGraw.

R.T.P:

- Cooper R.H., Peterson A.W., Blench T., 1972. "A Critical Review of Sediment Transport Experiments", J. Hydraul. Div., ASCE 9S, HY5,
- Galvani I., Pellegrini M., 2007. "Navigare il Po, tra passato e futuro". Cap. 4 del volume: "Un Po di carte. La dinamica fluviale del Po nell'Ottocento e la tavole della Commissione Brioschi". Ed. Diabasis, Reggio Emilia.
- Interagency Committee in Water Resources. 1957. "A study of methods used in measurements and analysis of sediment loads in streams", Report n.12, Minneapolis, Minnesota.
- Jacobsen R. B., Elliot C. M., Johnson H. E. "Assessment of shallow-Water Habitat Availability in Modified Dike Structures, Lower Missouri River", 2004. U.S. Geological Survey.
- Jansen P. Ph. (1979) "Principles of river engineering" Pitman – London.
- Julien P. Y. (2002), "River Mechanics". Cambridge – New York.
- Lombardini E., (1870). "Guida allo studio dell'idrologia fluviale e dell'idraulica pratica" Milano, Tipografia degli Ingegneri, 1870.
- Paoletti A., Braga G., Colombo A., Croci S., Peduzzi G.B., Savazzi G. (2007) "La gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo inciso del fiume Po", L'Acqua.
- Regione Lombardia con il supporto di AIPO e Infrastrutture Lombarde (2009) "Attività e studi propedeutici relativi alla regimazione del Po nel tratto tra Cremona e foce Mincio - ipotesi, analisi e verifiche preliminari".
- Regione Lombardia con il supporto di AIPO e Infrastrutture Lombarde (2009) "Attività e studi propedeutici relativi alla regimazione del Po nel tratto tra Cremona e foce Mincio - studi integrativi".
- SIMPO S.p.A. (1984) "Studio della formazione del Piano Generale della navigazione interna Padano-Veneta".
- Yalin M.S., 1971 "Theory of hydraulics model", Macmillan Education UK

12. INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1: corografia della zona di intervento	5
Figura 1-2: individuazione limiti amministrativi lungo il tratto oggetto di intervento	5
Figura 1-3: bacino del Po e sottobacini del distretto idrografico con individuazione della zona di intervento	6
Figura 1-4: portate di piena del fiume Po (PGRA)	7
Figura 1-5: ingrandimento della zona interessata dagli interventi di sistemazione	8
Figura 1-6: tabella riassuntiva per tratti delle portate di piena secondo l'ADBPO calcolate con riferimento alla piena del 2000 e al PAI con tempo di ritorno pari a 200 anni	9
Figura 1-7: rete idroviaria europea	12
Figura 1-8: sistema idroviario europeo (focus sul centro Europa)	13
Figura 1-9: Ripartizione modale del trasporto interno di merci in alcuni paesi europei dotati di idrovie; composizione percentuale dei valori in t/km	13
Figura 1-10: nomenclatura sezione navigabile	14
Figura 1-11: caratteristiche geometriche minime per le vie navigabili della classe Va	15
Figura 1-12: esempio di individuazione delle curve di navigazione a seguito della sistemazione del fiume a corrente libera	15
Figura 2-1: schema planimetrico della rete idroviaria padano-veneta	18
Figura 2-2: Schema del sistema idroviario padano-veneto	20
Figura 2-3: classificazione C.E.M.T. delle vie navigabili secondo la risoluzione n° 92/2	22
Figura 2-4: classificazione idrovie in base alla "Normativa per la redazione dei progetti di vie navigabili"	23
Figura 3-1: esempi di sistemazione del fiume Rodano secondo lo schema di Girardon (Fonte CNR)	25
Figura 3-2: tracciato per la sistemazione del Po nel tratto da Torricella Parmense a foce Parma secondo il progetto di massima dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma del 7 novembre 1923	27
Figura 3-3: schema della configurazione adottata per la sistemazione definitiva dell'alveo del Po nel tratto foce Adda – foce Mincio	28
Figura 4-1 – Esempi di pennelli trasversali per la sistemazione a corrente libera del fiume Elba vicino a Magdeburgo.	34
Figura 4-2 – Esempio di distribuzione dei tiranti lungo un tratto fluviale	35
Figura 4-3 – media annuale del numero di giorni con fondali insufficienti calcolata sull'intero campione delle località disponibili	38
Figura 4-4 – Media, relativa ai diversi periodi considerati, della persistenza di bassi fondali per le diverse località lungo il fiume Po a valle di foce Mincio	41
Figura 4-5 – Bassi fondali (< 2 m) individuati tra Foce Mincio e Valle Gaiba	42
Figura 4-6 – Bassi fondali (< 2 m) individuati tra Valle Gaiba e Po di Goro	42
Figura 5-1: tratto di Po interessato dalle opere di sistemazione con l'evidenziazione delle arginature maestre e golenali	46
Figura 5-2: progetto preliminare AIPO, intervento di Castelmasa	47
Figura 5-3: progetto preliminare di AIPO: intervento di Calto	48
Figura 5-4: progetto preliminare di AIPO: interventi di Gaiba e Ravalle	48
Figura 5-5: progetto preliminare di AIPO: intervento di Stienta	49
Figura 5-6: tiranti idrici simulati per una portata pari a 564 m ³ /s nel tratto Castelmasa-Ravalle	50
Figura 5-7: tiranti idrici simulati per una portata pari a 564 m ³ /s nel tratto in oggetto dopo due anni di simulazione	50
Figura 5-8: vista verso monte del tratto di Po fra Castelmasa e Calto (evidente la formazione di bassi fondali)	52
Figura 5-9: vista verso valle del tratto di Po fra Ficarolo e la curva del Panaro	52
Figura 5-10: vista aerea verso valle del tratto di Po in corrispondenza dell'abitato di Stienta	54
Figura 5-11: individuazione degli ambiti di intervento	57
Figura 5-12: individuazione del canale navigabile e delle curve di navigazione nel tratto in oggetto	60

R.T.P:

Figura 5-13: curva di durata delle portate del fiume Po a Ficarolo (1992-2015)	62
Figura 5-14: simulazione degli effetti indotti dalla realizzazione dei pennelli fluviali	63
Figura 5-15: sezione tipo dei pennelli di navigazione	64
Figura 6-1: Vista dello shapefile dei punti rilevati dall'imbarcazione Luccio in data 22/05/2023 tra le ore 9:00 e le ore 10:30	66
Figura 6-2: Vista dello shapefile dei punti rilevati dall'imbarcazione Luccio in data 12/07/2023 in corrispondenza dei pennelli del gruppo 2 e del gruppo 3, pennelli 2 e 3 in destra idraulica	67
Figura 6-3: Shape file della strisciata batimetrica lungo il fondo alveo	67
Figura 6-4: Vista dei TIN creati per il pennello 1 dell'intervento 3 a partire dai rilievi eseguiti e profili misurati (verde: DTM2005; blue: LIDAR 2022; rosso batimetria 2023)	73
Figura 6-5: Vista dei TIN creati per il pennello 4 dell'intervento 3 a partire dai rilievi eseguiti e profili misurati (verde: DTM2005, blu: LIDAR 2022; Rosso: batimetria 2023)	73
Figura 6-6: Vista dei TIN creati per il pennello 5 dell'intervento 3 a partire dai rilievi eseguiti e profili misurati (verde: DTM2005, blu: LIDAR 2022; Rosso: batimetria 2023)	74
Figura 6-7: Intervento 3, pennelli in destra idraulica in corrispondenza di Caposotto, inquadramento su CTR e ortofoto	83
Figura 6-8: pennello trasversale a martello intervento 3 pennello 1 DX a Caposotto, planimetria di progetto	83
Figura 6-9: pennello trasversale a martello intervento 3 pennello 2 DX a Caposotto, planimetria di progetto	84
Figura 6-10: pennello trasversale intervento 3 pennello 3 DX a Caposotto, planimetria di progetto	84
Figura 6-11: pennello trasversale intervento 3 pennello 4 DX a Caposotto, planimetria di progetto	85
Figura 6-12: pennello trasversale intervento 3 pennello 5 DX a Caposotto, planimetria di progetto	85
Figura 7-1: individuazione dei primi quattro ambiti di intervento contenuti nel primo stralcio di lavori finanziati	78
Figura 7-2: individuazione dei primi quattro ambiti di intervento contenuti nel primo stralcio di lavori finanziati	79
Figura 7-3: pennello longitudinale intervento 2 pennello 1 SX a valle di Castelmassa, inquadramento su CTR e ortofoto	81
Figura 7-4: pennello longitudinale intervento 2 pennello 1 SX a valle di Castelmassa, planimetria di progetto	82
Figura 7-5: pennello in destra idraulica a monte di Ficarolo, inquadramento su CTR e ortofoto	86
Figura 7-6: pennello in destra idraulica a monte di Ficarolo, planimetria di progetto	87
Figura 8-1 – Simulazione dello scenario con opere previste dal progetto definitivo (trattini neri): batimetria ad inizio (in alto) e fine simulazione (in basso).	92
Figura 8-2 – In rosso: opere selezionate come primo stralcio delle opere complessive individuate nel progetto definitivo. In giallo le opere di stralci successivi.	93
Figura 8-3 – Simulazione degli effetti delle opere selezionate dallo scenario completo, oggetto della presente progettazione: livelli corrispondenti ad una portata di 530 mc/s.	94