

# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI NAVIGABILITÀ NELLA SITUAZIONE ATTUALE .....</b>	<b>5</b>
2.1. Descrizione del modello matematico .....	7
<b>3. CRITERI E PARAMETRI DI PROGETTAZIONE .....</b>	<b>9</b>
3.1. Portata di progetto .....	9
3.2. Larghezza del canale .....	12
3.3. Parametri di progettazione dei pennelli.....	12
3.4. Simulazioni numeriche – Modello bidimensionale.....	13
<b>4. CARATTERISTICHE DELLE OPERE .....</b>	<b>15</b>
<b>5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>16</b>
5.1. Intervento n. 1 – Basso 33 .....	17
5.2. Intervento n. 2 – Basso 31 .....	18
5.3. Intervento n. 3 – Basso 30 .....	19
5.4. Intervento n. 4 – Basso 28 .....	21
5.5. Intervento n. 5 – Basso 27 .....	22
5.6. Intervento n. 6 – Basso 25 .....	23
5.7. Intervento n. 7 – Basso 22 .....	24
5.8. Intervento n. 8 – Basso 21 .....	25
5.9. Intervento n. 9 – Basso 20.....	27
5.10. Intervento n. 10 – Basso 19 .....	28
5.11. Intervento n. 11 – Basso 18.....	29
5.12. Intervento n. 12 - Basso 17.....	31
5.13. Intervento n. 13 - Basso 16.....	32
5.14. Intervento n. 14 - Basso 14.....	32
5.15. Intervento n. 15 - Basso 9.....	34
5.16. Intervento n. 16 - Basso 6.....	34
5.17. Intervento n. 17 - Basso 5.....	35
5.18. Intervento n. 18 - Basso 3.....	36

5.19.	Intervento n. 19 - Basso 2.....	36
5.20.	Intervento n. 20 – A monte del basso 1.....	36
5.21.	Intervento n. 21 - Basso 1.....	37
<b>6.</b>	<b>TEMPI DI REALIZZAZIONE DELLE OPERE.....</b>	<b>39</b>
<b>7.</b>	<b>EFFETTI DEGLI INTERVENTI SULLA MORFOLOGIA DELL'ASTA.....</b>	<b>40</b>
<b>8.</b>	<b>UTILIZZO E MANUTENZIONE DELLE OPERE.....</b>	<b>41</b>
<b>9.</b>	<b>STIMA SOMMARIA DEI COSTI.....</b>	<b>42</b>
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>43</b>

## **1. INTRODUZIONE**

La presente relazione illustrativa accompagna il progetto preliminare degli interventi relativi alla sistemazione a corrente libera del fiume Po nella tratta compresa tra isola Serafini e foce Mincio per consentire il transito di una unità di navigazione della Va classe CEMT.

Il progetto ha avuto una prima fase conoscitiva ( i cui elaborati fanno parte integrante del presente progetto) durante la quale sono stati raccolti i dati e la documentazione necessaria alla definizione del quadro conoscitivo di base per le successive attività di progettazione. In particolare è stato predisposto un catasto delle opere idrauliche presenti sul fiume, sulla base di:

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

La caratterizzazione idrologica del bacino del fiume Po è stata redatta considerando:

- tutti i dati idrologici disponibili;
- tutti i dati disponibili circa i punti di basso fondale (intendendo con questo i punti che non raggiungano le caratteristiche individuate dal progetto), 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).

Questa fase ha permesso di avere un quadro conoscitivo completo delle diverse problematiche della via navigabile, dei possibili obiettivi raggiungibili sulla base dell'idrologia del bacino.

Sulla base della documentazione raccolta il gruppo di lavoro tecnico, appositamente istituito per la verifica delle successive fasi della progettazione, composto da tecnici di AIPO, Regione Lombardia e rappresentanti degli Enti interessati alla realizzazione ed all'utilizzo delle opere, ha

verificato l'effettiva fattibilità di raggiungere l'obiettivo iniziale di 2.20 m per 340 giorni all'anno ed ha concordato sull'opportunità di modificare l'iniziale obiettivo a 2 m sempre per 340 giorni all'anno.

## 2. VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI NAVIGABILITÀ NELLA SITUAZIONE ATTUALE

Propedeutico alla progettazione è stato accertare e quantificare la probabilità delle condizioni di non navigabilità del tratto in esame nelle condizioni attuali. Per questo, sulla base dei rilievi giornalieri eseguiti dai tecnici dell’Agenzia Regionale per la Navigazione Interna (ARNI) nel periodo 1995-2004, sono state individuate le località in cui non viene garantito il tirante d’acqua di 2.00 m per 340 giorni all’anno (*vedi Relazione Fase I*).

Nella tabella seguente si riporta per ciascuna località il numero dei giorni in cui non è garantito il tirante di 2.00 m.

	Località	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Media
1	Valle foce Taro	45	23	102	78	65	30	13	69	146	40	61,1
2	Valle pennello Sacca	47	20	87	50	54	59	25	72	147	42	60,3
3	Fronte Casalmaggiore	23	19	54	38	16	39	20	61	162	44	47,6
4	Fossacaprara.	-	8	59	39	35	46	13	62	140	33	44,1
5	Valle curva n. 12	15	10	71	34	30	40	19	19	106	44	38,8
6	Casalmag. ponte strad.	11	5	34	52	12	47	17	34	110	28	37,0
7	Portiolo	31	16	69	20	10	3	-	13	187	37	35,7
8	Valle Casa Vialunga	16	8	45	17	12	16	17	70	123	31	35,5
9	Valle Polesine	15	-	47	20	22	24	17	60	7	50	34,2
10	Valle Brancere	16	4	40	19	-	2	2	34	168	25	31,0
11	Fronte Boretto	25	12	42	42	13	36	15	51	39	34	30,9
12	Valle curva n. 17	16	6	37	68	63	17	6	33	34	23	30,3
13	Fronte pennello Gussola	21	1	49	226	19	53	-	16	91	13	29,6
14	Valle chiavica Torricella	5	1	47	25	5	16	-	38	131	25	29,3
15	Fronte curva n. 31	23	16	68	60	39	36	6	51	38	13	29,2
16	Fronte Polesine	18	5	63	35	21	45	6	23	69	3	28,8
17	Bosco ex Parmigiano	16	-	27	5	-	4	5	44	146	12	26,0
18	Fronte Brancere	14	8	28	18	21	5	2	51	57	12	26,0
19	Fronte curva n.39	7	-	36	24	4	26	-	50	63	39	24,9
20	Fronte Cremona	3	5	45	16	23	21	2	37	91	10	24,4
21	Fronte Zibello	13	-	20	7	12	5	8	33	141	4	24,3
22	Fronte Casella rossa	17	7	21	1	14	41	-	10	134	1	24,0
23	Fronte km 123	7	8	15	44	36	9	-	22	39	52	23,2
24	Foce Mincio	5	-	9	9	9	-	-	31	129	32	22,4
25	Valle foce Parma	9	-	19	10	21	22	12	24	79	15	21,1
26	Monte Cremona	14	6	28	-	7	2	7	29	02	18	20,6
27	Ponte autostr. Portiolo	1	3	19	9	7	9	-	-	118	27	19,3
28	Valle Casalmaggiore	2	-	5	11	18	21	2	43	93	4	19,1
29	Ca' Matte	-	-	-	-	-	-	-	-	140	5	17,4
30	Fronte curva n.26	-	-	-	-	3	21	13	24	93	15	16,9
31	Monte curva S. Giuliano	13	2	28	2	-	-	-	19	94	9	16,7
32	Valle Dosolo	9	-	22	-	21	12	5	7	60	27	16,3
33	Valle pennello Cogozzo	5	-	33	11	21	4	-	-	67	2	16,3
34	Valle Isola Pescaroli	-	-	8	-	3	6	2	45	81	16	16,1
35	Valle curva n. 18	16	-	21	1	25	5	-	24	47	15	15,4
36	Valle Cicognara	-	-	-	-	2	13	-	9	121	-	14,5
37	Fronte Cicognara	-	-	1	-	12	26	-	19	83	-	14,1
38	Fronte km 35	5	-	23	2	8	8	-	-	61	31	13,8
39	Via Alzaia S. Giacomo	7	1	-	-	-	-	-	15	92	3	11,8

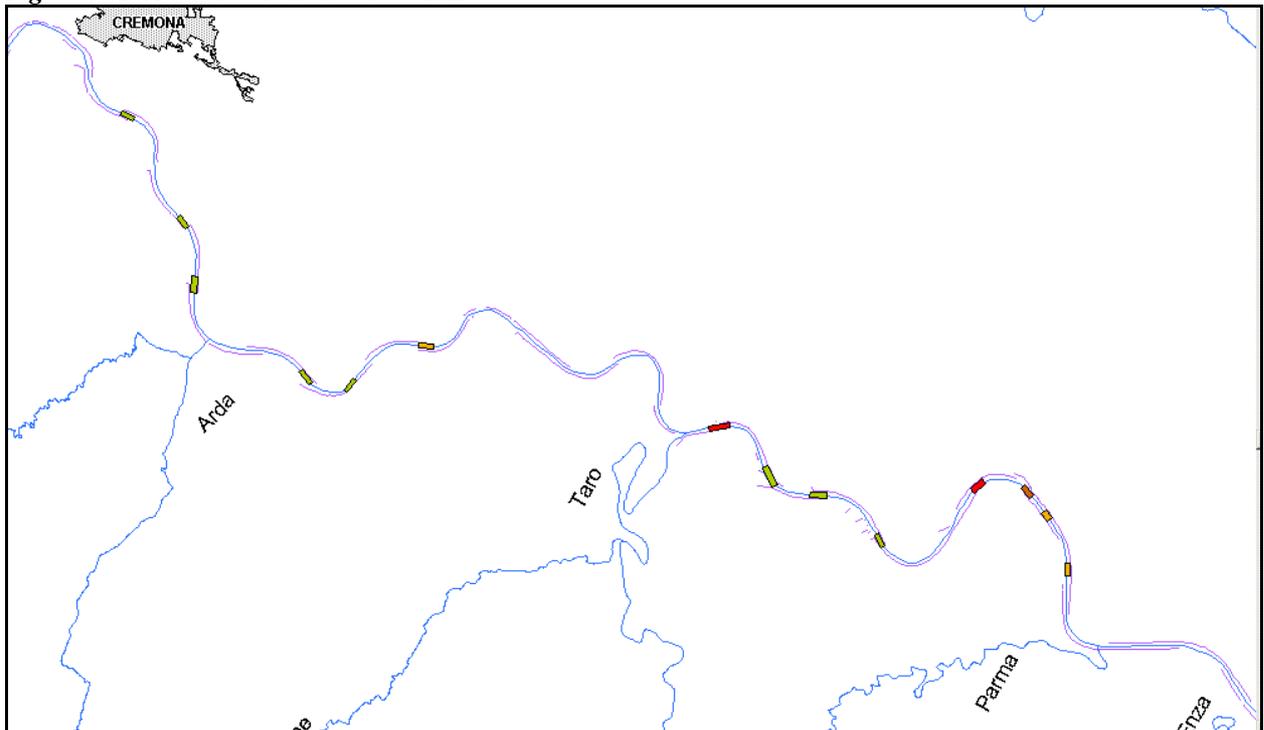
**Tabella n. 1** Numero dei giorni all’anno in cui si verificano fondali inferiori a 2.00 m

Il progetto ha preso in esame tutte le località con una persistenza superiore ai 25 giorni. Nei disegni seguenti sono rappresentate le zone di intervento per giorni di persistenza.

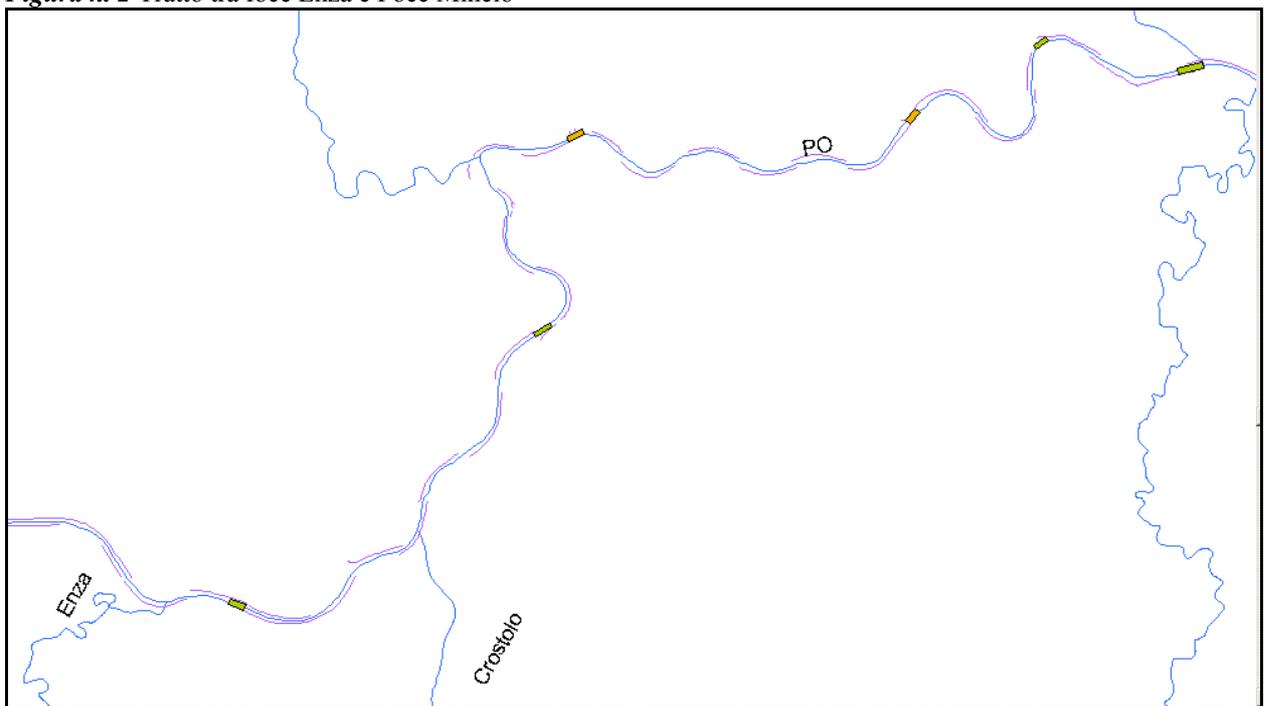
**Giorni di persistenza dei bassi**

- 55 to 65 (2)
- 45 to 55 (1)
- 35 to 45 (5)
- 25 to 35 (13)

**Figura n. 1** Tratto tra Cremona e foce Enza



**Figura n. 2** Tratto tra foce Enza e Foce Mincio



Una volta individuate le località su cui andare intervenire , in tali zone è stata verificata l'esistenza e l'effettiva ubicazione del basso attraverso il modello numerico bidimensionale (*vedi elaborato 1.1 Relazione modello idraulico Fase I*) nella tratto tra Cremona e Boretto.

Nel tratto tra Boretto e foce Mincio l'esistenza e l'effettiva ubicazione del basso è stata verificata attraverso l'analisi dei dati topografici estratti dal DTM realizzato dall'Autorità di Bacino.

## **2.1. Descrizione del modello matematico**

Le simulazioni sono state condotte utilizzando il modello MODAIPO, messo a punto dal Centro Universitario Difesa del suolo in Ambiente Montano (CUDAM) dell'Università degli Studi di Trento appositamente per l'AIPO. Il modello MODAIPO è un modello matematico bidimensionale a fondo mobile particolarmente adatto per lo studio dei fenomeni di variazione morfologica degli alvei fluviali. Il modello MODAIPO rappresenta una evoluzione di un modello preesistente sviluppato dal CUDAM, tale da rendere il nuovo modello adeguato alla descrizione del caso in esame. In particolare gli adeguamenti sono stati essenzialmente di tre tipi.

Il primo adeguamento ha riguardato la modellazione di zone particolari del campo di moto, quali gli argini ed i pennelli sommergibili, che sono zone inerodibili sommergibili. Tali zone possono essere soggette a fenomeni di deposito mentre il fenomeno di erosione è limitato inferiormente. Una volta raggiunta la massima erosione, i sedimenti transitano sopra i tratti inerodibili con dei valori di portata solida che non sono determinati dalla capacità di trasporto. Il dettaglio della modellazione matematica e numerica di queste zone è presentato negli *elaborati 2.1 e 2.1.1.*

Il secondo adeguamento è consistito nella implementazione di formule di chiusura per la scabrezza e per la capacità di trasporto che tengano conto della presenza di forme di fondo. In particolare si è scelta la formulazione di van Rijn [VanRijn1, VanRijn3] in quanto adatta a simulare fenomeni di trasporto di fondo e trasporto in sospensione nel caso di moti fluviali e diametri caratteristici piccoli,  $d_{50} < 2 \text{ mm}$ .

Infine è stato affrontato il problema della conversione dei file di input ed output del modello in modo, da rendere il modello compatibile e perfettamente fruibile con il software GIS ArcView 3.2.

### 3. CRITERI E PARAMETRI DI PROGETTAZIONE

I tratti oggetto di sistemazione sono 20 e gli interventi sono in totale 21. Ognuno si configura come un insieme di opere nuove, pennelli, difese radenti e abbassamenti e/o demolizioni delle opere esistenti.

Il progetto si propone di migliorare da un lato le condizioni di navigabilità, dall'altro le caratteristiche del complesso sistema ecofluviale con azioni che favoriscono la riapertura delle lanche (*vedi elaborato 3. Studio di Prefattibilità ambientale*).

#### 3.1. Portata di progetto

Il criterio iniziale per la sistemazione a corrente libera del tratto è la definizione della portata e relativa altezza di magra ordinaria<sup>1</sup> al fine d'individuare le quote di sommità delle opere di regolazione da realizzare per ridurre la probabilità delle condizioni di non navigabilità.

Sulla base dello studio svolto nel 2004 dal Servizio Idro-Meteo della regione Emilia-Romagna le altezze di magra ordinaria nelle sezioni di Cremona, Boretto e Borgoforte sono le seguenti:

ALTEZZE DELLA MAGRA ORDINARIA DEDOTTA DALLE PORTATE			
Stazione	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$H$ (m)	$H$ assoluta (m)
CREMONA	418	-6,77	27,50
BORETTO	455	-3,36	16,66
BORGOFORTE	528	-2,19	12,50

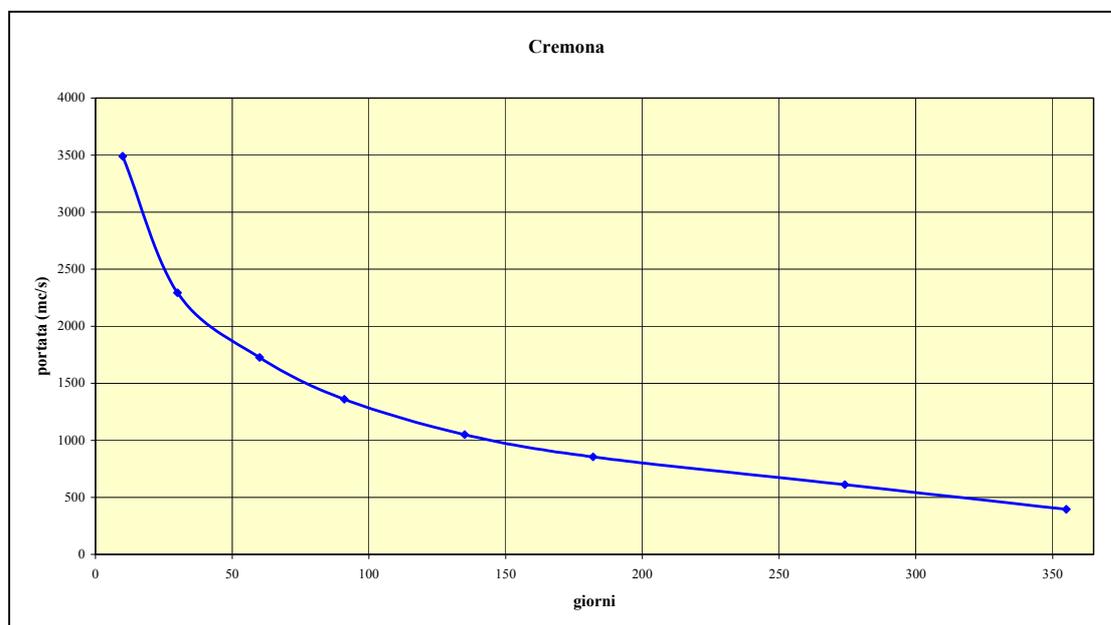
**Tabella n. 2** Altezza della magra ordinaria in funzione della portata

---

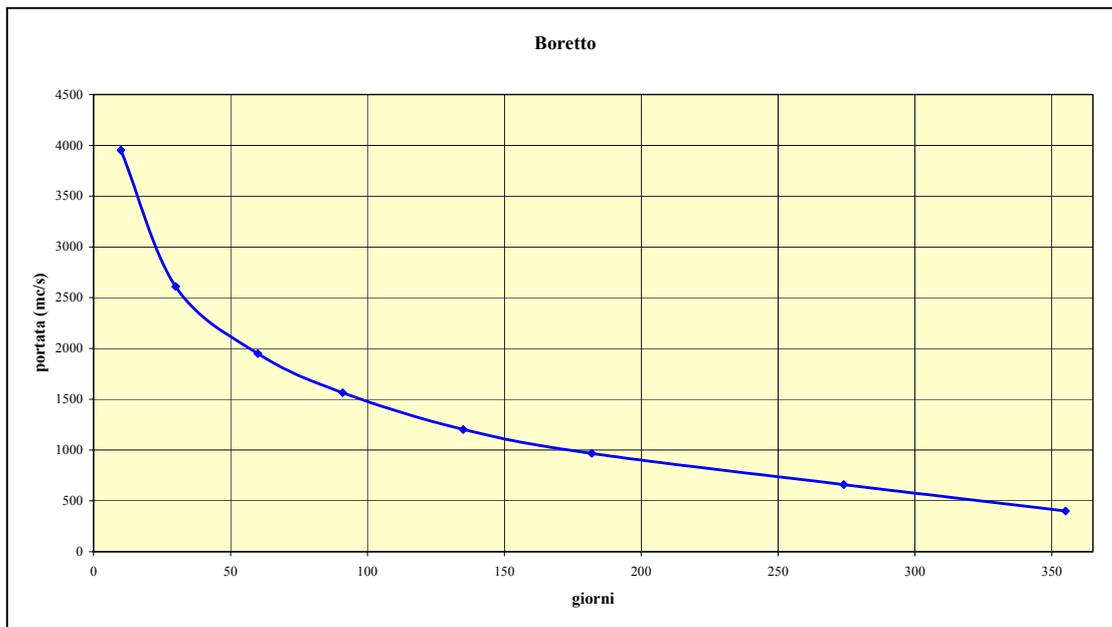
<sup>1</sup> L'altezza di magra ordinaria in una sezione fornita di idrometro e per un lungo periodo di osservazione (parecchie decine di anni) è definita come il livello che supera o eguaglia le minime altezze annuali verificate nella sezione in  $\frac{3}{4}$  degli anni di osservazione.

Nel progetto si è assunto come regola generale che la sommità delle opere debba essere superata di circa 1.50 m (nelle precedenti progettazioni il criterio era +2.00 m sulla magra ordinaria) rispetto al livello delle acque più basse che a favore di sicurezza è fissato in quello pari ad una portata di 400 mc/s. La quota massima delle opere progettate è pari alla quota del profilo per una portata pari  $Q=800$  mc/sec che è appunto la portata pari altezza della portata 400 mc/s più 1.50 m.

Il livello così definito permetterà la tracimazione delle opere per circa 200 giorni all'anno come si desume dalla curva delle durate calcolata sul periodo 1972-2005 sempre dal Servizio Idro-Meteo della regione Emilia-Romagna, nelle sezioni di Cremona e Boretto.



**Figura n. 3** Curva delle durate nel periodo 1972-2005 nella stazione di Cremona



*Figura n. 4* Curva delle durate nel periodo 1972-2005 nella stazione di Boretto

E' importante osservare che i fenomeni di magra fluviale, legati non solo ma soprattutto a prolungati periodi di siccità estiva, quando si manifestano tendono a presentare tempi di permanenza di svariate settimane consecutive.

I valori sopra riportati rappresentano una media annuale sul periodo di osservazione il quale include anche delle annate in cui non si è avuta siccità. Pertanto i valori assunti di progetto, pari a  $Q=400$  mc/s come portata di magra ordinaria ed di  $Q=800$  mc/s come portata il cui profilo supera di 1.50 m il profilo della portata di magra, hanno un valore statistico e non possono garantire in senso assoluto la navigazione nel caso di magre severe come quelle verificatesi nel corso del 2003, 2005 e 2006.

Nella progettazione definitiva ed esecutiva potrà essere utile verificare, per quando possibile, la non stazionarietà dei processi idrologici, legata alle variazioni degli schemi meteo-climatici globali con conseguente aumento della frequenza delle situazioni estreme rispetto ai regimi intermedi.

### **3.2. Larghezza del canale**

Come è noto in letteratura, fra le cause della formazione delle barre che impediscono la navigazione vi sono le variazioni di larghezza, che quando sono brusche influiscono sulla capacità di trasporto solido.

Nel progetto non è stata definita una specifica larghezza di progetto del canale ma si è cercato, tratto per tratto, di riprodurre le condizioni di trasporto solido del tratto a monte dell'intervento stesso.

Questi aspetti sono stati approfonditi sia attraverso il modello bidimensionale a fondo mobile (*elaborato 2.1*) che nello studio, svolto dal prof. Valiani dell'Università di Ferrara, sugli effetti delle variazioni di larghezza sul trasporto solido (*elaborato 2.2*).

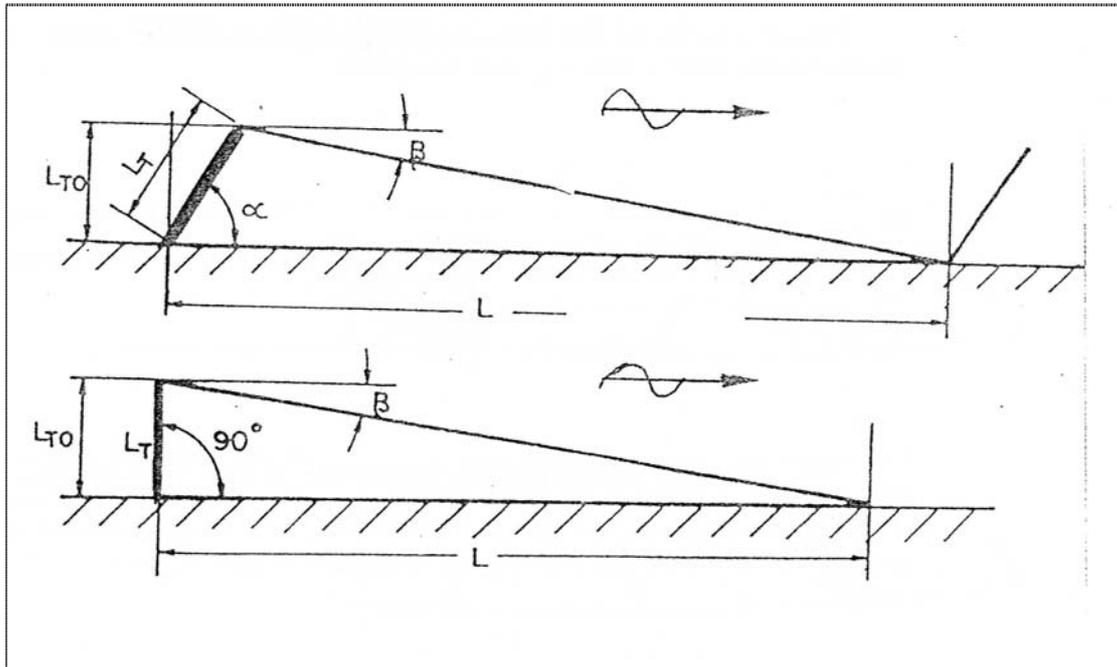
### **3.3. Parametri di progettazione dei pennelli**

I pennelli sono opere poste trasversalmente rispetto alla corrente e vanno ad interessare solo un tratto della sezione, pertanto manifestano la loro azione prevalentemente nella sponda in cui sono collocati. La loro funzione è da un lato rallentare e/o inibire il deflusso tra due pennelli consecutivi, favorendo il deposito di materiale nella zona compresa tra essi, dall'altro è sostanzialmente allontanare il filone principale della corrente dalla sponda. I parametri necessari per la loro corretta progettazione sono:

1. localizzazione planimetrica
2. lunghezza, altezza e configurazione geometrica e altezza
3. orientamento rispetto alla corrente
4. distanza tra loro

In particolare l'ultimo parametro è essenziale per la corretta funzionalità dell'opera. Nel progetto è stato assunto il criterio empirico che attribuisce un angolo  $\beta$  di influenza, tra due pennelli, compreso tra  $9^\circ$  e  $14^\circ$ .

L'angolo  $\beta$  ottimale dipende inoltre dalla posizione del pennello rispetto all'andamento planimetrico del corso d'acqua e dal valore del carico cinetico della corrente indisturbata. Nei pennelli collocati all'estradosso l'angolo tende infatti ad essere maggiore.



Il dimensionamento dei pennelli (tranne che negli ultimi cinque interventi a valle di Boretto) è stato verificato e, in caso di risultati non soddisfacenti, modificato attraverso il modello bidimensionale, il quale ha permesso di valutare l'effettiva l'efficacia delle opere progettate.

### 3.4. Simulazioni numeriche – Modello bidimensionale

Per verificare le effettive variazioni del fondo a seguito degli interventi progettati è stato utilizzato il modello numerico bidimensionale a fondo mobile, implementato dall'Università di Trento.

Il modello oltre alla verifica degli interventi ha permesso di svolgere un'analisi preliminare sugli effetti di alcune tipologie d'intervento fornendo alcuni importanti suggerimenti per migliorare l'efficienza delle opere da progettare.

La descrizione del modello ed dei risultati ottenuti è ampiamente illustrata negli *elaborati 2.1 e 2.1.1* del progetto, si riportano solo in dati sintetici delle caratteristiche idrauliche nelle sezioni utilizzate per la progettazione e la verifica degli interventi, in corrispondenza delle quali sono state estratte le caratteristiche topografiche ed idrauliche significative.

Progetto preliminare degli interventi relativi alla sistemazione a corrente libera del fiume Po nella tratta compresa tra isola Serafini e foce Mincio per consentire il transito di una unità di navigazione della Va classe CEMT

<i>Cod basso</i>	<i>Numero intervento</i>	<i>Sezione<sup>2</sup></i>	<i>Quota media del fondo [m s.m.m.]</i>	<i>Tirante medio [m]</i>	<i>Profondità massima [m]</i>	<i>Profondità minima [m]</i>	<i>Numero di Froude medio</i>	<i>Velocità media [m/s]</i>
33	1	SCR 20	23.64	3.68	6.19	1.04	0.28	1.66
31	2	SCR 25	23.67	2.71	3.95	1.36	0.36	1.83
30	3	SCR 27	22.30	3.95	4.64	1.55	0.31	1.96
	3	S 27 A	23.35	2.56	3.86	2.18	0.33	1.66
	3	SCR 28	24.30	1.64	3.85	0.46	0.33	1.31
28-27	4-5	S 28 BIS	22.52	3.41	7.65	0.32	0.29	1.70
25	6	S 28 A	22.03	2.37	3.19	1.22	0.27	1.30
	6	S 29	22.66	1.66	3.56	0.11	0.35	1.41
22	7	S 32 A	20.06	2.49	3.18	1.37	0.33	1.62
22-21	7-8	S 33	19.67	2.68	5.52	0.62	0.27	1.40
21-20	8-9	S 33 A	19.88	2.48	6.46	0.58	0.28	1.36
20-19	9-10	S 33 B	19.16	2.41	3.77	0.36	0.25	1.20
18	11	S 34	17.99	2.94	3.92	2.08	0.27	1.47
18-17	11-12	S 34 A	17.39	2.90	9.22	1.43	0.31	1.66
17	12	S 35	17.58	2.38	4.43	0.73	0.28	1.37
16	13	S 35 A	17.38	2.27	2.52	1.90	0.29	1.36
14	14	S 35 C	16.95	2.39	7.01	0.93	0.38	1.84

**Tabella n. 3** Caratteristiche idrauliche nelle sezioni di progetto

<sup>2</sup> Le sezioni fanno parte del rilievo topografico eseguito dall'Agenzia Interregionale alla fine nel 2005

#### 4. CARATTERISTICHE DELLE OPERE

Gli interventi previsti si possono riassumere come segue:

1. realizzazione di nuove opere trasversali (pennelli) o longitudinali (difese radenti) a doppia fronte di altezza inferiore a 8,00 m;
2. realizzazione di nuove opere trasversali (pennelli) o longitudinali (difese radenti) a doppia fronte di altezza superiore a 8,00 m;
3. realizzazione di nuove opere di difesa longitudinali (difese radenti);
4. riadattamento alle nuove quote di progetto di parte delle opere esistenti longitudinali (difese radenti) con demolizione;
5. demolizione di opere trasversali esistenti (pennelli).

Tutte le nuove opere a doppia fronte avranno larghezza in sommità pari a 4,00 m e pendenza delle scarpate pari a 2/3.

Esse poggeranno su una base di tappeti zavorrati, posati nel senso della lunghezza in direzione della corrente. La presenza dei tappeti, che fuoriusciranno di circa 3,00 m rispetto all'impronta dell'opera, garantirà il piede dell'opera stessa rispetto ad eventuali erosioni del fondo.

Per altezze dell'opera inferiori a 8,00 m, l'opera verrà realizzata con un nucleo di burghe in pietrame del volume pari a circa 0,5 mc ciascuna. Tale nucleo, di pendenza pari a circa 2/3, verrà ricoperto con pietrame di cava non gelivo in elementi del peso di 50/100 Kg, con uno spessore minimo pari a 0,5 m in sommità che si allarga alla base dell'opera seguendo la pendenza naturale pari a 3/2.

Per altezze dell'opera superiori a 8,00 m, l'opera verrà realizzata con un nucleo di burgoni, pietrame di cava non gelivo in elementi del peso di 100/300 Kg, e burghe.

I burgoni, del volume pari a circa 10.00 mc ciascuno, vengono posti alla base dell'opera per garantirne la piena stabilità nei confronti della corrente, in tre file in entrambi i lati dell'opera, fino a raggiungere la quota dal fondo pari a circa 4,5 m con scarpata pari a 3/2. L'interno del nucleo così costruito viene riempito con pietrame di pezzatura pari a 100/300 Kg. Superiormente vengono poste le burghe, fino a raggiungere la quota di sommità. Il rivestimento in pietrame di pezzatura inferiore pari a 50/100 Kg, dello spessore di 0,50 m in sommità, viene posto poi con la pendenza naturale pari a 3/2, e raggiunge uno spessore pari anche a 2,00 m al piede.

## 5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Nel paragrafo seguente verranno descritti singolarmente gli interventi previsti in progetto per ciascuna località presa in esame.

Gli interventi sono numerati in ordine progressivo da monte verso valle. Accanto ad ogni intervento viene poi riportato il codice del “basso” corrispondente, così come denominato nello studio conoscitivo della fase I.

La tabella riassume le caratteristiche degli interventi per ciascun basso.

<i>Codice basso</i>	<i>Numero intervento</i>	<i>Nuovi pennelli ml</i>	<i>Nuove Curve ml</i>	<i>Abbassamenti opere degradanti ml</i>	<i>Abbassamenti opere ml</i>	<i>Demolizioni opere ml</i>
33	1	100	557	-	360	-
31	2	160	693	-	-	-
30	3	50	640	456	1220	-
28	4	50	1047	581	1068	-
27	5	150	-	273	659	-
25	6	180	291	-	640	-
22	7	95	595	-	421	-
21	8	747	529	663	1643	535
20	9	195	-	320	691	-
19	10	338	-	-	1487	70
18	11	420	701	512	1357	-
17	12	-	493	-	-	-
16	13	-	-	345	948	-
14	14	425	712	-	-	-
9	15	-	706	888	-	-
6	16	140	-	-	-	-
5	17	450	-	261	466	184
3	18	395	-	332	652	232
2	19	-	1050	-	-	-
1	20	65	-	-	-	-
1	21	110	-	-	-	-
<b><i>Totali interventi</i></b>		<b><i>4.070</i></b>	<b><i>8.014</i></b>	<b><i>4.630</i></b>	<b><i>11.612</i></b>	<b><i>1021</i></b>

**Tabella n. 4** Riepilogo opere progettate

E' il caso di notare che in corrispondenza dei bassi n. 16 e n. 9 nel progetto si è prevista una semplice movimentazione periodica del materiale. Questo perché le particolari condizioni ambientali e di sicurezza idraulica (presenza di infrastrutture o centri abitati) non permettevano l'inserimento di nuove opere repellenti di restringimento dell'alveo e tali poter innescare pericolosi fenomeni di scalzamento nei periodi di transitorio delle piene fluviali.

Gli ultimi cinque interventi, a valle di Boretto, sono stati progettati secondo i criteri generali dedotti dalla modellazione numerica, ma i loro effetti non sono stati studiati e verificati attraverso la modellazione numerica stessa.

### **5.1. Intervento n. 1 – Basso 33**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 44 e la successiva curva n. 43, a monte del ponte dell'Autostrada A7 Cremona-Brescia, nelle vicinanze della località Bosco Parmigiano. Le cause a cui imputare la formazione e la persistenza della barra sono la presenza di un tratto rettilineo, la sovrapposizione delle due opere nel passaggio tra le due curve ed il brusco allargamento in sponda destra a valle della curva n. 44.

In un primo momento si è ipotizzato di accelerare la corrente in prossimità del basso con la realizzazione di 2 pennelli trasversali ortogonali alla corrente localizzati in sponda destra in prossimità del basso, di lunghezza  $P_1=20$  m,  $P_2=40$  m con interasse  $P_{1-2}=200$  m.

Sulla sponda opposta è stato previsto il prolungamento verso monte dell'opera longitudinale esistente (curva n. 43) per 560 m, allo fine di eliminare il brusco allargamento della sezione dovuto alla varice esistente.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 170 m.

Inoltre per tutto il tratto finale della curva in sponda destra è previsto l'abbassamento alla quota 28.30 m s.m.m. dell'opera longitudinale esistente per una lunghezza di circa 350 m.

Le simulazioni di verifica sono state eseguite con portata liquida costante pari a  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  e con portata solida, pure costante, corrispondente alla portata liquida secondo la formula di van Rijn applicata in una sezione prima della curva a monte del basso.

Sulla configurazione del fondo, alla fine della simulazione precedente, protratta per circa 1000 ore sul reale è stata eseguita una prova a  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  al fine di verificare i tiranti idrici in questa condizione.

Le simulazioni hanno mostrato che la presenza dei pennelli riusciva effettivamente ad asportare una porzione consistente del basso, mentre si veniva a creare all'inizio della curva a valle del basso una nuova barra di fondo che tendeva a persistere e che avrebbe potuto provocare un conseguente innalzamento del fondo con problemi alla navigabilità.

La situazione che si crea alla fine della simulazione è riportata nell'*elaborato 2.1.*

Si è deciso quindi di aggiungere un terzo pennello di lunghezza  $P_3=40$  m collocato a  $P_{2-3}=200$  m a valle del pennello  $P_2$ , orientato in direzione normale alla sponda.

La simulazione eseguita con la nuova configurazione ha mostrato che l'inserimento del terzo pennello migliora sensibilmente le condizioni di navigabilità all'ingresso della curva.

Si ritiene tuttavia utile in fase di realizzazione delle opere movimentare artificialmente parte del deposito che si verrà a creare all'ingresso della curva.

La situazione dei tiranti corrispondenti alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  è riportata nell'*elaborato 2.1.1.*

In definitiva gli interventi nel Basso 33 consistono in:

- n. 3 pennelli trasversali ortogonali alla corrente in sponda destra, di lunghezza  $P_1=20$  m,  $P_2=40$  m,  $P_3=40$  m, con interasse  $P_{1-2}=200$  m,  $P_{2-3}=200$  m.
- prolungamento verso monte dell'opera longitudinale esistente (curva n. 43) per 560 m.
- abbassamento alla quota 28.30 m s.m.m. dell'opera longitudinale esistente in sponda destra per una lunghezza di circa 350 m.
- eventuale opera di dragaggio e creazione di una 'savanella' di larghezza opportuna per migliorare la navigabilità in alcuni tratti.

## **5.2.      Intervento n. 2 – Basso 31**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 42 e la successiva curva n. 41 di Brancere, ed è dovuto alla presenza del brusco allargamento in sponda sinistra a monte della curva n. 41.

L'intervento prevede la realizzazione di una serie di n. 4 pennelli trasversali ortogonali alla corrente in sponda destra, di lunghezza pari a  $P_1=15$  m,  $P_2=20$  m,  $P_3=25$  m,  $P_4=20$  m, con interasse  $P_{1-2}=120$  m,  $P_{2-3}=120$  m,  $P_{3-4}=120$  m. Sulla sponda opposta è stato previsto il prolungamento dell'opera longitudinale esistente per 690 m, che termina con un "voltatesta" allo scopo di evitare l'aggiramento dell'opera medesima. A tale opera si collegano una serie di n. 4 pennelli di lunghezza 20 m ed interasse 120 m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, vale a dire con una portata di 800 m<sup>3</sup>/s per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s.

La presenza dei pennelli produce una concentrazione delle linee di corrente ed un conseguente aumento della velocità nella parte centrale dell'alveo in grado di asportare una porzione sufficiente di materiale solido e di consentire la creazione di un tirante sufficiente a permettere la navigazione anche con 400 m<sup>3</sup>/s. Anche in questo caso il materiale eroso nel tratto presidiato dai pennelli viene trasportato verso valle, senza tuttavia creare depositi tali da impedire la navigabilità nel tratto a valle dei pennelli.

Il modello mostra anche, come era prevedibile, una certa erosione localizzata più pronunciata in prossimità della testa del primo pennello di monte. Erosione di cui si dovrà tener conto nella progettazione dei pennelli.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s i tiranti sono superiori a 2.50 m sia nella zona del Basso attuale 31 che a valle della stessa per una larghezza superiore a qualche centinaio di metri.

In definitiva l'intervento nel Basso 31 consiste in:

- n. 4 pennelli trasversali ortogonali alla corrente in sponda destra, di lunghezza pari a  $P_1=15$  m,  $P_2=20$  m,  $P_3=25$  m,  $P_4=20$  m, con interasse  $P_{1-2}=120$  m,  $P_{2-3}=120$  m,  $P_{3-4}=120$  m.
- prolungamento dell'opera longitudinale esistente per 690 m in sponda sinistra che termina con un 'voltatesta'.
- n. 4 pennelli trasversali ortogonali alla corrente in sponda destra, di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=20$  m,  $P_3=20$  m,  $P_4=20$  m, con interasse pari a 120 m in sponda sinistra.

### **5.3. Intervento n. 3 – Basso 30**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 41 e la successiva curva n. 40.

La barra si trova subito a monte della foce del torrente Ongina in destra idraulica, e sembra formarsi per l'allargamento della sezione in sponda sinistra, a valle della curva n. 40.

L'intervento prevede la realizzazione di una serie di n. 2 pennelli trasversali ortogonali alla corrente in sponda sinistra, della lunghezza di 20 m e 30 m rispettivamente, con interasse 180 m. Sulla sponda opposta, sponda destra, è previsto il prolungamento dell'opera radente per una lunghezza di 640 m verso monte.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

Inoltre per tutto il tratto finale della curva in sponda sinistra è previsto l'abbassamento alla nuova quota di progetto pari a 27.60 m s.m.m. dell'opera longitudinale esistente per una lunghezza di circa 1040 m.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, vale a dire con una portata di 800 m<sup>3</sup>/s per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s.

Per i primi 460 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto, che si manterrà poi costante per circa 580 m. Tale abbassamento permetterà di migliorare l'attività della lanca presente in sponda sinistra.

Le verifiche effettuate con le stesse modalità degli interventi precedenti hanno mostrato che le opere previste sono in grado di determinare un'accelerazione locale della corrente tale da asportare la barra esistente in prossimità del basso e di trasferire a valle i sedimenti senza provocare innalzamenti dell'alveo tali da compromettere la navigabilità nel tratto esaminato.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 30 consiste in:

- n. 2 pennelli trasversali ortogonali alla corrente in sponda sinistra, della lunghezza di 20 m e 30 m rispettivamente, con interasse 180 m.
- prolungamento dell'opera radente per una lunghezza di 640 m verso monte.
- abbassamento alla nuova quota di progetto pari a 27.60 m s.m.m. dell'opera longitudinale esistente per una lunghezza di circa 1040 m.

#### **5.4.      Intervento n. 4 – Basso 28**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 39 e la successiva curva n. 38, di fronte al porticciolo del comune di Polesine Parmense, ed è dovuto al forte allargamento dell'alveo per la presenza in sponda destra dell'ingresso del porticciolo.

L'intervento prevede la sistemazione della sponda destra con l'allungamento dell'opera longitudinale della curva n. 38 per 280 m verso monte e la creazione di una nuova opera a monte dell'imbocco del porticciolo, della lunghezza di 770 m circa, allo scopo di restringere la sezione.

In sponda sinistra è prevista la realizzazione di una serie di n. 2 pennelli trasversali ortogonali alla sponda della lunghezza il primo di 20 m il secondo di 30 m con interasse 140 m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

Inoltre per tutto il tratto finale della curva in sponda sinistra è previsto l'abbassamento alla quota 26.60 m s.m.m. dell'opera longitudinale esistente per una lunghezza di circa 820 m. Per i primi 330 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto, che si manterrà poi costante per circa 490 m. Tale abbassamento permetterà alla corrente di lambire maggiormente il deposito in sponda sinistra al termine della curva n. 39, attenuando il fenomeno dello scavo in sponda opposta.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, ossia con una portata di 800 m<sup>3</sup>/s per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s.

La simulazione mostra che già il primo pennello di monte è in grado di provocare un consistente aumento delle velocità nella zona di basso prospiciente i pennelli. Lo scavo prodotto da questo pennello si raccorda bene con il secondo pennello leggermente più lungo il quale a sua volta estende verso valle la zona di scavo. L'effetto globale è la mobilitazione dei sedimenti nella zona di basso fondale e il loro spostamento verso valle senza provocare fenomeni di deposito a valle tali da compromettere la navigazione, anche con una portata di 400 m<sup>3</sup>/s.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 28 consiste in:

- allungamento dell'opera longitudinale della curva n. 38 per 280 m verso monte, e la creazione di una nuova opera a monte dell'imbocco del porticciolo, della lunghezza di 770 m circa.

- n. 2 pennelli trasversali ortogonali alla corrente della lunghezza il primo di 20 m il secondo di 30 m con interasse 140 m.
- abbassamento alla quota 26.60 m s.m.m. dell'opera longitudinale esistente per una lunghezza di circa 820 m.

## **5.5.      Intervento n. 5 – Basso 27**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 38 e la successiva curva n. 37, ed è dovuto all'allargamento dell'alveo.

L'intervento prevede la realizzazione in sponda destra, al termine della curva n. 38, di una serie di n. 5 pennelli trasversali ortogonali di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=40$ m,  $P_4=30$ m,  $P_5=30$  m con interasse  $P_{1-2}= 120$  m,  $P_{2-3}= 120$  m,  $P_{3-4}= 130$  m,  $P_{4-5}= 140$  m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 160 m.

Le prime verifiche effettuate sul modello numerico hanno evidenziato che le opere previste, inizialmente pari a n. 3 pennelli trasversali, erano insufficienti a rimuovere tutto il deposito che forma il basso, per tale motivo sono stati aggiunti altri due pennelli.

Inoltre per tutto il tratto finale della curva in sponda destra è previsto l'abbassamento alla quota 26.60 m s.s.m. dell'opera longitudinale esistente per una lunghezza di circa 630 m di cui i primi 260 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto mentre i successivi 370 avranno la quota di progetto. Tale abbassamento permetterebbe una maggiore attivazione della lanca presente in sponda destra in corrispondenza dell'abitato di Zibello.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 27 consiste in:

- sponda destra n. 5 pennelli trasversali ortogonali alla corrente della lunghezza di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=40$ m,  $P_4=30$ m,  $P_5=30$  m con interasse  $P_{1-2}= 120$  m,  $P_{2-3}= 120$  m,  $P_{3-4}= 130$  m,  $P_{4-5}= 140$  m.
- abbassamento alla quota 26.60 m s.s.m. dell'opera longitudinale esistente per una lunghezza di circa 630 m di cui i primi 260 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto mentre i successivi 370 avranno la quota di progetto.

## **5.6.      Intervento n. 6 – Basso 25**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 37 e la successiva curva n. 36, ed è dovuto all'allargamento dell'alveo in sponda sinistra.

Il primo intervento studiato prevedeva il prolungamento in sponda sinistra dell'opera longitudinale della curva n. 37 per 290 m verso valle, con la contemporanea realizzazione di n. 3 pennelli trasversali ortogonali alla sponda della lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m, con interasse  $P_{1-2}= 140$  m,  $P_{2-3}= 140$  m.

Sul lato opposto, in sponda destra, si erano previsti n. 2 pennelli trasversali ortogonali alla sponda di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=20$  m, con interasse  $P_{1-2}= 130$  m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

In tale tratto non era previsto l'abbassamento di opere esistenti.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, vale a dire con una portata di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La simulazione ha evidenziato una accelerazione del filone della corrente nell'area tra i pennelli contrapposti sufficiente a rimuovere la zona di deposito che forma il basso. Si formava tuttavia una persistente barra di deposito che iniziava alla fine del tratto sistemato in sponda sinistra e che si estendeva trasversalmente fino alla sponda destra.

Per questa ragione si è ritenuto necessario inserire altri 2 pennelli sulla sponda destra a valle dei 2 precedenti con lo scopo di estendere verso valle la zona di abbassamento dell'alveo. Si sono perciò inseriti il pennello  $P_3=30$  m e  $P_4=20$  m con interasse  $P_{2-3}= 150$  m e  $P_{3-4}= 150$  m.

La simulazione ripetuta con il nuovo assetto ha mostrato la scomparsa della barra a valle dei pennelli e la creazione di un tratto sufficientemente largo con fondali sufficienti a consentire la navigazione.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra, infatti, che alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  i tiranti nella zona del Basso attuale 25 sono superiori a 2.50 m per una larghezza minima dell'ordine degli 80 m. Mentre a monte del Basso 25 rimane un piccolo lembo di larghezza superiore ai 100 m nel quale il tirante è compreso tra 2 m e 2.50 m.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 25 consiste in:

- sponda destra n. 4 pennelli trasversali ortogonali alla sponda della lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m,  $P_4=20$  m con interasse  $P_{1-2}=150$  m,  $P_{2-3}=150$  m,  $P_{3-4}=150$  m.
- sponda sinistra n. 3 pennelli trasversali ortogonali alla sponda di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m con interasse  $P_{1-2}=150$  m,  $P_{2-3}=150$ .
- sponda sinistra prolungamento verso valle della curva n. 37 per circa 290m.

### 5.7. Intervento n. 7 – Basso 22

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 32 e la successiva curva n. 31, poco a valle della foce del torrente Taro ed è dovuto all'allargamento dell'alveo a causa del mancato prolungamento dell'opera in sponda sinistra.

L'intervento in sponda sinistra prevede il prolungamento dell'opera longitudinale della curva n. 31 per 590 m verso monte, ed in sponda destra la realizzazione di una serie di n. 3 pennelli trasversali ortogonali alla corrente di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=40$  m, con interasse  $P_{1-2}=140$  m,  $P_{2-3}=180$  m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, vale a dire con una portata di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La simulazione mostra che la successione dei 3 pennelli è in grado di produrre uno spostamento del filone principale verso il centro dell'alveo e un'accelerazione di corrente tale da mobilitare il deposito nella zona di basso fondale. La barra che si viene a creare inizialmente a causa dell'inserimento dei pennelli risulta praticamente azzerata già dopo circa 400 ore alla portata di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ . Si osserva tuttavia che la collaborazione operata dal pennello centrale non è ottimale. Si è ritenuto pertanto utile aumentarne leggermente la lunghezza portandola a 35 m. La simulazione ripetuta con questo nuovo assetto ha mostrato una migliore interazione tra i pennelli.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  i tiranti nella zona del Basso attuale 22 sono superiori a 2.50 m per una larghezza superiore a 100

m. Mentre a valle dei pennelli rimane una striscia di lunghezza intorno ai 50 m dove il tirante è compreso tra 2 m e 2.50 m.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 22 consiste in:

- prolungamento dell'opera longitudinale della curva n. 31 per 590 m verso monte.
- n. 3 pennelli trasversali ortogonali alla corrente di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=35$  m,  $P_3=40$  m, con interasse  $P_{1-2}=140$  m,  $P_{2-3}=180$  m.

### **5.8. Intervento n. 8 – Basso 21**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 31 e la successiva curva n. 30, in corrispondenza del porticciolo di Torricella, il cui imbocco causa l'allargamento dell'alveo. La presenza in sponda destra dell'argine maestro del fiume Po in froldo rende la sistemazione della zona particolarmente importante e delicata.

L'intervento prevede in sponda sinistra la realizzazione di una serie di n. 5 pennelli trasversali ortogonali alla sponda di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m,  $P_4=30$  m,  $P_5=30$  m, con interasse  $P_{1-2}=120$  m,  $P_{2-3}=120$  m,  $P_{3-4}=120$  m,  $P_{4-5}=140$  m.

L'opera longitudinale esistente in sponda sinistra, curva 31, viene demolita nel tratto finale per una lunghezza di circa 400 m, e ricostruita in arretramento di circa 40 m alla quota di progetto 23.40 m s.m.m. per 530 m. A monte di tale arretramento, per una lunghezza di circa 980 m la stessa curva viene abbassata alla quota di progetto. Tale intervento dovrebbe permettere alla corrente di lambire maggiormente il deposito in sponda sinistra, attenuando il fenomeno dello scavo in sponda opposta.

In sponda destra, a monte del porticciolo è prevista la demolizione del pennello esistente e la realizzazione di n. 3 nuovi pennelli della lunghezza di  $P_1=60$  m,  $P_2=190$  m,  $P_3=150$  m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

Si è ritenuto utile intervenire anche in sponda destra a valle del porto di Torricella dove l'argine maestro risulta in froldo, al fine di allontanare l'erosione dall'unghia arginale, con la realizzazione di n. 5 pennelli trasversali ortogonali alla corrente, della lunghezza di  $P_1=40$  m,  $P_2=40$  m,  $P_3=45$  m,  $P_4=45$  m,  $P_5=35$  m, con interasse  $P_{1-2}=160$  m,  $P_{2-3}=180$  m,  $P_{3-4}=180$  m,  $P_{4-5}=180$  m.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, vale a dire con una portata di 800 m<sup>3</sup>/s per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s.

La simulazione ha mostrato l'efficacia della prima serie di pennelli, che effettivamente sono in grado di produrre una concentrazione delle linee di corrente in prossimità del centro dell'alveo tali da mobilitare i sedimenti nella zona di basso fondale. Rimane tuttavia una barra a valle dei pennelli che stenta a propagarsi verso valle. Parimenti efficace si è dimostrata la difesa all'estradosso a valle del porto nella zona di froldo con l'allontanamento del talweg dall'argine.

Si è ritenuto inoltre di modificare ulteriormente la configurazione planimetrica della sponda sinistra nella zona prospiciente il porticciolo di Torricella in modo da rimuovere la barra che si era formata in questa zona.

La verifica della configurazione definitiva ha mostrato l'efficacia degli interventi.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s i tiranti nella zona del Basso attuale 21 sono superiori a 2.50 m per una larghezza superiore a 100 m. Mentre a valle dei pennelli rimane una striscia di lunghezza intorno ai 50 m dove il tirante è compreso tra 2 m e 2.50 m.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 21 consiste in:

- n. 5 pennelli trasversali ortogonali alla sponda di lunghezza pari a  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m,  $P_4=30$  m,  $P_5=30$  m, con interasse  $P_{1-2}= 120$  m,  $P_{2-3}= 120$  m,  $P_{3-4}= 120$  m,  $P_{4-5}= 140$  m.
- abbassamento in sinistra dell'opera per una lunghezza di circa 980 m alla quota di progetto.
- demolizione dell'opera longitudinale esistente in sponda sinistra, curva 31, nel tratto finale per una lunghezza di circa 400 m, e ricostruzione in arretramento di circa 40 m alla quota di progetto 23.40 m s.m.m. per 530 m.
- demolizione del pennello esistente in sponda destra.
- n. 3 nuovi pennelli della lunghezza di  $P_1=60$  m,  $P_2=190$  m,  $P_3=150$  m.
- in sponda destra a valle del porto di Torricella dove l'argine maestro risulta in froldo, al fine di allontanare l'erosione dall'unghia arginale, sono stati previsti n. 5

pennelli trasversali ortogonali alla corrente, della lunghezza di  $P_1=40$  m,  $P_2=40$  m,  $P_3=45$  m,  $P_4=45$  m,  $P_5=35$  m, con interasse  $P_{1-2}= 160$  m,  $P_{2-3}= 180$  m,  $P_{3-4}= 180$  m,  $P_{4-5}= 180$  m.

## **5.9.      Intervento n. 9 – Basso 20**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 30 e la successiva curva n. 29, poco a valle del porticciolo di Torricella, ed è causato dalla presenza di un tratto rettilineo.

La prima ipotesi di intervento prevedeva in sponda destra la realizzazione di una serie di n. 4 pennelli trasversali ortogonali alla corrente di lunghezza pari a  $P_1=40$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=20$  m,  $P_4=20$  m, con interasse  $P_{1-2}= 120$  m,  $P_{2-3}= 150$  m,  $P_{3-4}= 180$  m. L'opera longitudinale esistente, la curva n. 30, viene abbassata nel tratto terminale per una lunghezza di circa 710 m. Per i primi 320 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto pari a 23.40 m s.m.m., che si manterrà poi costante per circa 390 m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, con una portata costante di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

L'intervento si è dimostrato efficace in quanto la presenza dei pennelli riusciva a concentrare il filone principale in maniera tale da mobilitare verso valle i sedimenti nella zona di basso fondale, già dopo circa 400 ore con la portata costante di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ . Si veniva formando tuttavia una persistente barra di deposito tra le due sponde subito dopo l'inizio della curva, tale da ridurre i tiranti al di sotto di valori accettabili per la navigabilità per un consistente tratto. Si è pertanto ritenuto necessario intervenire anche sulla sponda sinistra, a valle della precedente serie di pennelli, in modo da favorire l'asportazione di questa nuova barra. La simulazione condotta con questo nuovo assetto ha mostrato uno spianamento generale delle zone di basso fondale ed una redistribuzione abbastanza omogenea dei sedimenti tale da non inibire la navigazione a valle della curva.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra, infatti, che alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  i tiranti nella zona del Basso attuale 20 sono superiori a 2.50 m per una larghezza superiore a

100 m. Mentre a valle dei pennelli rimane una striscia di lunghezza intorno ai 50 m dove il tirante è compreso tra 2 m e 2.50 m.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 20 consiste in:

- in sponda sinistra n. 3 nuovi pennelli della lunghezza di  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m, con interasse  $P_{1-2}=150$  m,  $P_{2-3}=180$  m.
- in sponda destra n. 4 pennelli trasversali ortogonali alla corrente di lunghezza pari a  $P_1=40$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=20$  m,  $P_4=20$  m, con interasse  $P_{1-2}=120$  m,  $P_{2-3}=150$  m,  $P_{3-4}=180$  m.
- abbassamento dell'opera longitudinale esistente, la curva n. 30, nel tratto terminale per una lunghezza di circa 710 m. Per i primi 320 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto pari a 23.40 m s.m.m., che si manterrà poi costante per circa 390 m.

#### **5.10. Intervento n. 10 – Basso 19**

Il basso si trova nel passaggio tra la curva n. 29 e la successiva curva n. 28, nella zona di Coltaro, ed è causato da un allargamento dell'alveo in sponda destra.

L'intervento prevede in sponda sinistra la realizzazione di una serie di n. 6 pennelli trasversali ortogonali alla corrente di lunghezza pari a 30 m, interasse pari a 150 m.

In sponda destra è previsto l'allungamento di due dei tre pennelli esistenti, per una lunghezza pari a 70 m e 90 m rispettivamente.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 150 m.

L'opera longitudinale esistente in sponda sinistra, curva n. 29, viene abbassata nel tratto terminale per una lunghezza di circa 1470 m. Per i primi 1100 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto pari a 23.10 m s.m.m., che si manterrà quindi per circa 360 m.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, vale a dire con una portata costante di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s l'accelerazione della corrente prodotta dalla doppia batteria di pennelli è tale da mobilitare i sedimenti nella zona di basso fondale.

Si osserva tuttavia la formazione di una barra di deposito con tiranti inferiori ai 2 m in sponda destra a valle dei pennelli. Tale barra ha un'estensione limitata e tale da non impedire la navigazione già dopo 700 ore di simulazione. Simulazioni condotte nell'ipotesi che questa barra venga rimossa artificialmente hanno mostrato una tendenza permanente al non riformarsi della barra stessa.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s i tiranti nella zona del Basso attuale 19 sono superiori a 2.50 m per una larghezza di circa 80 m.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 19 consiste in:

- sponda sinistra n. 6 pennelli trasversali ortogonali alla corrente di lunghezza pari a 30 m, interasse pari a 150 m
- sponda destra allungamento di due dei tre pennelli esistenti, per una lunghezza pari a 70 m e 90 m rispettivamente
- abbassamento dell'opera longitudinale esistente, la curva n. 29, nel tratto terminale per una lunghezza di circa 1470 m. Per i primi 1100 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto pari a 23.10 m s.m.m., che si manterrà quindi per circa 360 m.

## **5.11. Intervento n. 11 – Basso 18**

Il basso si trova nel tratto intermedio della curva n. 27, a monte del comune di Casalmaggiore, ed è originato dalla presenza della curva n. 28, con un tratto rettilineo lungo e con il corso d'acqua molto largo rispetto al tratto di monte ed al tratto di valle.

La prima ipotesi di intervento prevedeva la realizzazione in sponda destra di una serie di n. 6 pennelli ortogonali alla sponda di lunghezza pari a P<sub>1</sub>=20 m, P<sub>2</sub>=30 m, P<sub>3</sub>=30 m, P<sub>4</sub>=30 m, P<sub>5</sub>=30 m, P<sub>6</sub>=40 m con interasse P<sub>1-2</sub>= 130 m, P<sub>2-3</sub>= 150 m, P<sub>3-4</sub>=150 m, P<sub>4-5</sub>= 150 m, P<sub>5-6</sub>= 150 m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 200 m.

Sempre in sponda destra l'opera longitudinale esistente, la curva n. 28, viene abbassata nel tratto terminale per una lunghezza di circa 1360 m. Per i primi 510 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto pari a 22.10 m s.m.m., che si manterrà quindi per circa 850 m. Tale abbassamento permetterebbe la riattivazione della lanca presente alle spalle della curva.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, portata costante di 800 m<sup>3</sup>/s per circa 1000 ore e successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s.

La simulazione condotta ha mostrato una generale efficacia delle opere progettate, che si sono dimostrate in grado di asportare una buona parte della zona di basso fondale. Tuttavia i tiranti corrispondenti a 400 m<sup>3</sup>/s hanno mostrato la persistenza di una larga fascia di tiranti inferiori ai 2 m. Si è pertanto ritenuto necessario allungare alcuni pennelli e aggiungerne qualcuno in modo da amplificare l'effetto di asportazione delle zone di basso fondale. Mentre la distanza tra i primi quattro pennelli è risultata ottimale, la distanza fra gli ultimi due pennelli è sembrata invece eccessiva. Inoltre la lunghezza del quinto pennello è risultata insufficiente. Si è pensato pertanto di allungare il quinto pennello portandolo a 90 m, di ridurre la distanza tra il quarto e il quinto pennello portandola a 320 m e di aggiungere un settimo pennello di lunghezza  $P_7=65\text{m}$  ad una distanza  $P_{6-7}=200\text{ m}$  a valle del quinto pennello, con lo scopo di ridurre l'entità della barra che si andava formando all'ingresso della curva a valle della batteria di pennelli.

Con questo nuovo assetto il filone principale della corrente dalla zona di basso fondale è risultato tale da indurre l'abbassamento della zona di deposito in maniera sufficiente e il trasferimento verso valle dei sedimenti.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di 400 m<sup>3</sup>/s i tiranti nella zona del Basso attuale 18 sono superiori a 2.50 m per una larghezza di circa 80 m. Si osserva tuttavia la formazione di una barra di deposito con tiranti inferiori ai 2 m in sponda destra a valle dei pennelli. Tale barra ha un'estensione limitata e tale da non impedire la navigabilità già dopo 700 ore. Simulazioni condotte nell'ipotesi che questa barra venga rimossa artificialmente hanno mostrato una tendenza permanente al non riformarsi della barra stessa.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 18 consiste in:

- in sponda destra n. 7 pennelli trasversali ortogonali alla corrente di lunghezza pari a  $P_1=30$  m,  $P_2=50$  m,  $P_3=70$  m,  $P_4=95$  m,  $P_5=90$  m,  $P_6=65$  m,  $P_7=65$  m con interasse  $P_{1-2}=150$  m,  $P_{2-3}=180$  m,  $P_{3-4}=260$  m,  $P_{4-5}=250$  m,  $P_{5-6}=250$  m,  $P_{6-7}=100$  m.
- allungamento della curva n. 27 verso monte, per una lunghezza totale pari a 700 m, di cui la metà circa necessari per ammorsare l'opera al terreno retrostante.
- abbassamento in destra del tratto terminale della curva n. 28 per una lunghezza di circa 1360 m. Per i primi 510 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto pari a 22.10 m s.m.m., che si manterrà quindi per circa 850 m.

## **5.12. Intervento n. 12 - Basso 17**

Il basso si trova nel tratto intermedio della curva n. 27, in corrispondenza del porto turistico in comune di Casalmaggiore. In questo tratto il progetto originario prevedeva la realizzazione di una curva la cui curvatura è stata poi profondamente modificata per la presenza dell'approdo.

L'intervento prevede in sponda sinistra il prolungamento verso valle dell'opera longitudinale esistente, curva n. 27, per una lunghezza totale di 100 m. Allo scopo di mantenere l'alveo di larghezza costante viene anche previsto l'allungamento della curva n. 26 verso monte per una lunghezza di 390 m, con un voltatesta per permettere l'ammorsamento dell'opera sull'isola esistente.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 170 m.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, portata costante di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  per circa 1000 ore e successiva verifica dei tiranti per la portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La simulazione mostra un'efficacia locale dell'intervento proposto con un abbassamento della zona di basso fondale e trasferimento verso valle dei sedimenti asportati. In questo caso si viene a creare tuttavia una barra a valle dell'imbocco del porto di Casalmaggiore che potrebbe richiedere un intervento localizzato di movimentazione del materiale al fine di consentire la navigazione.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  i tiranti nella zona del Basso attuale 17 sono superiori a 2.50 m per una larghezza di circa 80 m.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 17 consiste in:

- prolungamento di 100 m verso valle dell'opera longitudinale esistente, curva n. 27.
- allungamento di 390 m verso monte della curva n. 26 con un voltatesta per permettere l'ammorsamento dell'opera sull'isola esistente.

### **5.13. Intervento n. 13 - Basso 16**

Il basso si trova nel tratto compreso fra il ponte della linea ferroviaria Parma-Brescia ed il ponte della S.P. n. 343, nel tratto rettilineo della lunga curva n. 27, la cui conformazione come spiegato nello "Studio per l'acquisizione dei dati e della documentazione necessaria alla definizione del quadro conoscitivo di base per la progettazione preliminare" è stata dettata dalla forte antropizzazione dei luoghi.

Vista la delicatezza della zona, la presenza delle due infrastrutture così importanti e così vicine con pile in alveo, in questo tratto l'unica soluzione proponibile è quella di prevedere un monitoraggio costante ed una movimentazione con una draga del materiale che impedisce la navigazione.

Si prevede comunque l'abbassamento del tratto terminale verso valle della curva n. 27 alla quota di progetto di 21.10 m s.m.m. per una lunghezza pari a 610 m.

### **5.14. Intervento n. 14 - Basso 14**

Il basso si trova nel tratto a valle dei due ponti della linea ferroviaria Parma-Brescia e della S.P. n. 343, nel tratto finale di controcurva della curva n. 27 ed il tratto iniziale della curva n. 26.

L'intervento iniziale prevedeva in sponda sinistra la realizzazione di due serie di pennelli trasversali ortogonali alla corrente. Si tratta in questo caso di un tratto relativamente lungo con raggio di curvatura relativamente grande, vale a dire di un tratto quasi rettilineo.

In sponda sinistra in prima fase si è previsto una serie di n. 6 pennelli, di lunghezza  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m,  $P_4=40$  m,  $P_5=40$  m,  $P_6=20$  m, con interasse  $P_{1-2}=130$  m,  $P_{2-3}=150$  m,  $P_{3-4}=$

150 m,  $P_{4-5}=150$  m,  $P_{5-6}=150$  m, e appena più a valle una seconda serie di n. 3 pennelli, di lunghezza  $P_1=20$  m,  $P_2=30$  m,  $P_3=30$  m, con interasse  $P_{1-2}=120$  m,  $P_{2-3}=140$  m.

In sponda destra è prevista la realizzazione di n. 4 pennelli, di lunghezza  $P_1=50$  m,  $P_2=50$  m,  $P_3=40$  m,  $P_4=40$  m, con interasse  $P_{1-2}=150$  m,  $P_{2-3}=150$  m,  $P_{3-4}=160$  m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta così pari a circa 175 m.

L'opera longitudinale esistente in sponda sinistra, la curva n. 27, viene abbassata nel tratto terminale alla quota di progetto pari a 20.60 m s.m.m. per una lunghezza di circa 1060 m, allo scopo di riattivare la lanca in sponda sinistra.

La verifica è stata eseguita con le stesse modalità descritte per il Basso 33, vale a dire con una portata costante di  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  per circa 1000 ore e una successiva verifica dei tiranti corrispondenti alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La simulazione ha mostrato l'efficacia della proposta di intervenire con 3 successioni alternate in sinistra e in destra di file di pennelli. I pennelli previsti riescono a creare una zona di accelerazione di corrente tale da asportare i depositi dei sedimenti nelle zone di basso fondale. Le distanze tra i pennelli della prima fila in sponda sinistra appaiono ottimali, mentre si osserva un deposito che si concentra lungo la sponda opposta a questa fila di pennelli. L'obiettivo finale è sembrato essere stato raggiunto, salvo che si è ritenuto di intervenire ulteriormente in sponda destra prolungando di 710 m verso monte la curva n. 26 e cambiare leggermente l'assetto dei pennelli accorciando il primo di circa 10 m e modificando l'interasse dei pennelli nel seguente modo:  $P_{1-2}=200$  m,  $P_{2-3}=200$  m,  $P_{3-4}=180$  m.

La soluzione definitiva è risultata pertanto efficace.

La simulazione con la configurazione di progetto mostra che alla portata di  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  i tiranti nella zona del Basso attuale 14 sono superiori a 2.50 m per una larghezza di circa 100 m. Si osserva tuttavia la formazione di una barra di deposito con tiranti inferiori ai 2 m in sponda destra a valle dei pennelli. Tale barra ha un'estensione limitata e tale da non impedire la navigazione già dopo 700 ore. Simulazioni condotte nell'ipotesi che questa barra venga rimossa artificialmente hanno mostrato una tendenza permanente al non riformarsi della barra stessa.

In definitiva l'intervento relativo al Basso 14 consiste in:

- in sponda sinistra n. 6 pennelli, di lunghezza P1=20 m, P2=30 m, P3=30 m, P4=40 m, P5=40 m, P6=20 m, con interasse P1-2= 130 m, P2-3= 150 m, P3-4= 150 m, P4-5= 150 m, P5-6= 150 m.
- in sponda sinistra di n. 3 pennelli, di lunghezza P1=20 m, P2=30 m, P3=30 m, con interasse P1-2= 120 m, P2-3= 140 m
- in sponda destra n. 4 pennelli, di lunghezza P1=40 m, P2=50 m, P3=40 m, P4=40 m, con interasse P1-2= 200 m, P2-3= 200 m, P3-4= 180 m
- il prolungamento di 710 m verso monte della curva n. 26.
- abbassamento opera longitudinale esistente in sponda sinistra, la curva n. 27, viene abbassata nel tratto terminale alla quota di progetto pari a 20.60 m s.m.m. per una lunghezza di circa 1060 m.

#### **5.15.     Intervento n. 15 - Basso 9**

Il basso si trova nel tratto compreso fra la curva n. 27 e la curva n. 26, di fronte all'abitato di Boretto.

Vista la presenza del Porto Turistico e delle opere di presa del Consorzio di Bonifica Parmigiana-Moglia, in questo tratto l'unica soluzione possibile è quella che prevede un monitoraggio costante ed una movimentazione con una draga del materiale che impedisce la navigazione.

L'opera longitudinale esistente in sponda sinistra, la curva n. 27, viene modificata nel tratto intermedio per una lunghezza di circa 890 m, mediante la creazione di un imbocco di lunghezza 300m alla quota di progetto pari a 18.20 m s.m.m., allo scopo di permettere una più frequente riattivazione della lanca in sponda sinistra.

#### **5.16.     Intervento n. 16 - Basso 6**

Il basso si trova nel tratto compreso fra la curva n. 17 e la curva n. 16, in corrispondenza del porticciolo Riva di Suzzara, per l'allargamento dell'alveo a monte.

L'intervento prevede in sponda sinistra il rifacimento del tratto terminale della curva n. 17, per 700 m, allo scopo di aumentare la curvatura del tratto.

Mentre in sponda destra è prevista la realizzazione di n. 3 pennelli, di lunghezza pari  $P_1=40$  m,  $P_2=45$  m,  $P_3=55$  m, con interasse  $P_{1-2}=180$  m,  $P_{2-3}=200$  m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 200 m.

In tale tratto non è previsto l'abbassamento di opere esistenti.

### **5.17. Intervento n. 17 - Basso 5**

Il basso si trova fra la curva n. 12 e la curva n. 11, subito a valle della foce del fiume Oglio.

Tra le cause che determinano la formazione e la persistenza della barra oltre all'eccessiva larghezza della sezione c'è la presenza, in sponda sinistra, di n. 2 pennelli trasversali, posti a distanza troppo ravvicinata per cui l'effetto di scavo dovuto ai vortici di estremità risulta preponderante rispetto a quello di deposito.

L'intervento prevede di demolire i due pennelli esistenti e realizzare una serie di n. 3 pennelli controcorrente e la formazione di una testa a martello nel pennello centrale. I pennelli da realizzare hanno una lunghezza di  $P_1=95$  m,  $P_2=100$  m,  $P_3=75$  m, con interasse  $P_{1-2}=220$  m,  $P_{2-3}=180$  m.

In sponda destra è prevista la realizzazione di n. 3 pennelli, di lunghezza  $P_1=30$  m,  $P_2=40$  m,  $P_3=50$  m, con interasse  $P_{1-2}=180$  m,  $P_{2-3}=240$  m, e la modifica del tratto terminale della difesa longitudinale della curva n. 12 per una lunghezza di circa 460 m. Per i primi 260 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto, che si manterrà poi costante per circa 200 m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

In tale tratto non è previsto l'abbassamento di opere esistenti.

### **5.18.     Intervento n. 18 - Basso 3**

Il basso si trova in corrispondenza delle curva n. 6, a valle del ponte dell'Autostrada A22 Modena-Verona a causa dell'eccessiva larghezza del tratto.

In sponda sinistra è presente una serie di n. 2 pennelli trasversali che verranno demoliti per realizzare una serie di tre pennelli ortogonali alla corrente di lunghezza  $P_1=110$  m,  $P_2=95$  m,  $P_3=85$  m, con interasse  $P_{1-2}=200$  m,  $P_{2-3}=200$  m.

In sponda destra è prevista la realizzazione di n. 4 pennelli, di lunghezza  $P_1=30$  m,  $P_2=40$  m,  $P_3=40$  m,  $P_4=40$  m, con interasse  $P_{1-2}=180$  m,  $P_{2-3}=180$  m,  $P_{3-4}=180$  m e la modifica del tratto terminale della difesa longitudinale radente della curva n. 6 per una lunghezza di circa 650 m. Per i primi 330 m la quota dell'opera degraderà dalla quota attuale fino alla quota di progetto, che si manterrà poi costante per circa 320 m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

### **5.19.     Intervento n. 19 - Basso 2**

Il basso si trova sulla curva n. 3, a monte del ponte di S. Benedetto.

Le opere esistente è molto difforme dal progetto originale di sistemazione a corrente libera, la curva infatti risulta non chiusa creando un forte allargamento che determina il basso.

L'intervento prevede inoltre il riempimento della zona retrostante e la piantumazione di vegetazione così da consolidare maggiormente l'opera.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 200 m.

In tale tratto non è previsto l'abbassamento di opere esistenti.

### **5.20.     Intervento n. 20 – A monte del basso 1**

In questo tratto è prevista la realizzazione di un pennello alla quota di progetto pari a 9.70 m s.m.m. della lunghezza di 65 m allo scopo di correggere la curvatura della curva n. 2, eliminando la varice esistente.

In tale tratto non è previsto l'abbassamento di opere esistenti.

## 5.21. Intervento n. 21 - Basso 1

Il basso si trova in corrispondenza della la curva n. 2, in prossimità della località Brede, ed è causato da una eccessiva larghezza del tratto.

In sponda destra è prevista la realizzazione di n. 3 pennelli, di lunghezza pari a 40 m ciascuno ed interasse pari a 180 m.

In tale modo la larghezza dell'alveo risulta pari a circa 180 m.

In tale tratto non è previsto l'abbassamento di opere esistenti.

Nella tabelle seguente sono riportate nelle sezioni di progetto le altezze del profilo per  $Q=800$   $m^3/s$  utilizzate nella progettazione.

<i>Codice basso</i>	<i>Numero intervento</i>	<i>Sezione di riferimento</i>	<i>Quota progetto Q=800 mc/s m s.m.m</i>
33	1	SCR 20	28,27
31	2	SCR 25	27,68
30	3	SCR 27	27,57
	3	S 27 A	27,34
	3	SCR 28	27,27
28	4	S 28 BIS	26,63
27	5	S 28 BIS	26,63
25	6	S 28 A	26,01
	6	S 29	25,85
22	7	S 32 A	24,18
	7	S 33	23,95
21	8	S 33 A	23,42
	8	S 33	23,95
20	9	S 33 A	23,42
	9	S 33 B	23,05
19	10	S 33 B	23,05
18	11	S 34	22,11
	11	S 34 A	21,54
17	12	S 34 A	21,54
	12	S 35	21,25
16	13	S 35 A	21,14
14	14	S 35 C	20,58
	14	S 35 D	20,05
9	15	S 37 B	18,20
6	16	S 39 D	15,68

Progetto preliminare degli interventi relativi alla sistemazione a corrente libera del fiume Po nella tratta compresa tra isola Serafini e foce Mincio per consentire il transito di una unità di navigazione della Va classe CEMT

---

<i>Codice basso</i>	<i>Numero intervento</i>	<i>Sezione di riferimento</i>	<i>Quota progetto Q=800 mc/s m s.m.m</i>
5	17	S 40 E	13,79
3	18	S 43 A	11,67
2	19	S 45 B	10,30
1	20	S 46 A	9,71
	21	S MN 33	9,52

**Tabella n. 5** Quote opere progettate

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

Il cronoprogramma delle successive fasi attuative, con l'indicazione dei tempi massimi di svolgimento delle varie attività di progettazione, approvazione affidamento ed esecuzione, in questa fase risulta di difficile definizione non essendo noti le disponibilità finanziarie e le conseguenti decisioni.

Di certo è possibile ipotizzare che le opere verranno realizzate a stralci, secondo una priorità che dipende dagli obiettivi che il committente dovrà definire.

Sembra comunque auspicabile prevedere una fase di progettazione definitiva sull'intero tratto tra Cremona e Foce Mincio così da affinare gli interventi previsti in questa fase preliminare per poi procedere alla progettazione esecutiva eventualmente per stralci.

Per la tipologia degli interventi progettati è comunque possibile ipotizzare una durata di almeno un anno per ciascuna località d'intervento.

## **7. EFFETTI DEGLI INTERVENTI SULLA MORFOLOGIA DELL'ASTA**

Il tratto di interesse, compreso tra Cremona e foce Mincio, come analizzato nello studio sull'evoluzione del corso d'acqua presentato nella fase I della progettazione, presenta un tracciato di navigazione con curve stabili ed un unico ramo che contiene una portata di circa 3000 mc/s.

Ciò evidenzia che il sistema di opere esistenti, progetto per la navigazione più di 70 anni fa risulta sopradimensionato rispetto all'attuale assetto morfologico del corso d'acqua.

Essendo le nuove opere, progettate per una portata sensibilmente più contenuta ( $Q=800$  mc/s), è possibile in questa fase preliminare ritenere che esse non peggiorano gli attuali bilanci di trasporto provenienti dall'interscambio alveo inciso golene.

Nelle successive fasi della progettazione dovranno essere comunque approfondite le valutazioni di carattere morfologico per diverse condizioni di deflusso.

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

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

Va inoltre previsto un costante monitoraggio dei fondali per verificare l'efficacia delle opere predisponendo eventuali attività di movimentazione del materiale qualora il periodo transitorio di eliminazione della barra avvenga su un periodo troppo lungo.

Quest'aspetto è stato messo in evidenza anche nelle simulazione sul modello che hanno evidenziato come il regime idrometrico del fiume influenzi il raggiungimento dei fondali necessari alla navigazione.

## 9. STIMA SOMMARIA DEI COSTI

N.	Numero Intervento	Codice Basso	Un.	Importo
1	Interv.1	Mitigazione del Basso 33	€	1.600.000,00
2	Interv.2	Mitigazione del Basso 31	€	2.500.000,00
3	Interv.3	Mitigazione del Basso 30	€	1.900.000,00
4	Interv.4	Mitigazione del Basso 28	€	6.200.000,00
5	Interv.5	Mitigazione del Basso 27	€	1.600.000,00
6	Interv.6	Mitigazione del Basso 25	€	1.900.000,00
7	Interv.7	Mitigazione del Basso 22	€	4.000.000,00
8	Interv.8	Mitigazione del Basso 21	€	3.600.000,00
9	Interv.9	Mitigazione del Basso 20	€	1.700.000,00
10	Interv.10	Mitigazione del Basso 19	€	2.600.000,00
11	Interv.11	Mitigazione del Basso 18	€	5.000.000,00
12	Interv.12	Mitigazione del Basso 17	€	2.100.000,00
13	Interv.13	Mitigazione del Basso 16	€	400.000,00
14	Interv.14	Mitigazione del Basso 14	€	6.500.000,00
15	Interv.15	Mitigazione del Basso 9	€	300.000,00
16	Interv.16	Mitigazione del Basso 6	€	1.600.000,00
17	Interv.17	Mitigazione del Basso 5	€	1.300.000,00
18	Interv.18	Mitigazione del Basso 3	€	2.100.000,00
19	Interv.19	Mitigazione del Basso 2	€	8.200.000,00
20	Interv.20	Mitigazione del Basso 1	€	400.000,00
21	Interv.21	Mitigazione del Basso 1	€	300.000,00
<b>A - TOTALE LAVORI</b>				<b>55.800.000,00</b>
		di cui oneri di sicurezza (circa il 4 %)		2.232.000,00
		totale lavori al netto degli oneri		53.568.000,00
<b>B - SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE</b>				
	B1	Per rivalsa I.V.A. 20%	€	<b>11.160.000,00</b>
	B2	Spese generali e spese proped. alla progettazione (pari a circa il 15 %)	€	<b>10.040.000,00</b>
<b>IMPORTO TOTALE DI PROGETTO</b>				<b>77.000.000,00</b>

Tabella n. 6 Stima Sommaria dei costi

## **10. BIBLIOGRAFIA**

Armanini A.- 2005 *Principi di idraulica fluviale* – Editoriale Bios

Arpa Sim Emilia-Romagna –2005 *Quote di magra ordinaria fiume Po nelle stazioni di Cremona Boretto e Borgoforte*

Compagnia Nazionale del Rodano –2003 *Studio per individuare gli interventi necessari ad ottimizzare l'uso della rete navigabile Lombarda* – Regione Lombardia

Da Deppo L., Salandin P. L.-1997 *Sistemazione dei corsi d'acqua* – Edizione Libreria Cortina Padova

Ferraresi M. –2006 “*Relazione Tecnica sulle condizioni di navigabilità del tratto terminale del Fiume Mincio*”

Gorio O., -1959 *Ventidue anni di studi e lavori sul Po dal 1919 al 1941* Memoria del XVIII congresso internazionale di Navigazione – Tipografie Riunite Parma

Manuale dell'Ingegneria Civile –2001 *Volume 1 Idraulica, Costruzioni Idrauliche* Zanichelli /Esac