

# NUOVO CASELLO AUTOSTRADALE DI CASTELVETRO PIACENTINO ATTRAVERSAMENTO FIUME PO MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE

AGGIORNAMENTO FEBBRAIO 2008

<p><b>UN DIRETTORE TECNICO:</b> Dott. Ing. SILVIO ROSSETTI</p> <p style="text-align: center;"><b>ETATEC</b> S.R.L. SOCIETA' DI INGEGNERIA 20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264 fax (02) 26681553 - E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT</p> <p style="text-align: center;"><small>AGENZIA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2000 SICV - SE 06-847/SA 34</small></p> <p><b>I PROFESSIONISTI INCARICATI :</b> Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI Dott. Ing. SILVIO ROSSETTI <b>MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE:</b> Dott. Ing. OMAR WILLIAM CELLA</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;"></th> <th style="width: 20%;">NOME</th> <th style="width: 20%;">FIRMA</th> <th style="width: 20%;">DATA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>REDAZIONE</td> <td>O.W.Cella</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIFICA</td> <td>S. Rossetti</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APPROVAZIONE</td> <td>A. Paoletti</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"> <b>IL RESPONSABILE TECNICO DELLA COMMESSA:</b> Dott. Ing. ROBERTO SALVADORI</p>		NOME	FIRMA	DATA	REDAZIONE	O.W.Cella			VERIFICA	S. Rossetti			APPROVAZIONE	A. Paoletti		
	NOME	FIRMA	DATA														
REDAZIONE	O.W.Cella																
VERIFICA	S. Rossetti																
APPROVAZIONE	A. Paoletti																

<b>TITOLO</b> AUTOSTRADE CENTRO PADANE s.p.a. IL DIRETTORE TECNICO (ing. Roberto Salvadori)		<b>RELAZIONE TECNICA</b>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <b>ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI CREMONA</b>  <b>Dott. Ing. ROBERTO SALVADORI</b>          N. 755 di iscrizione all'Albo       </div>
Revisioni	N°	Descrizione	Data
	1		
	2		
	3		
Numero elaborato	TIPOLOGIA <b>IF</b>	COMMITTENTE <b>353-03</b>	COMMESSA <b>35/06</b>
		DOCUMENTO <b>RT</b>	NUMERO <b>A.01</b>

**INDICE**

1. PREMESSA.....	1
2. SINTESI DEGLI STUDI PRECEDENTI .....	4
2.1 STUDIO IDRAULICO FEBBRAIO 2005 .....	4
2.2 PRIMO AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO DEL 2005 IN FUNZIONE DELLA TIPOLOGIA DI PONTE PROPOSTA E DELLA DIRETTIVA DEI SEDIMENTI PAI (2007) .....	10
3. SCENARI DI RIFERIMENTO .....	19
4. RISULTATI.....	20
4.1 SCENARIO A.....	20
4.2 SCENARIO B.....	23
5. CONCLUSIONI .....	27

## RELAZIONE TECNICA

### 1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione del nuovo casello di Castelvetro P.no, del raccordo autostradale con la S.S. 10 "Padana Inferiore" e del completamento della bretella autostradale tra la S.S. 10 e la S.S. 234, la Società Autostrade Centropadane S.p.A. ha incaricato gli scriventi, con delibera in data 28/05/2003, per la consulenza idraulica inerente il progetto del ponte di attraversamento del F. Po. Nel Febbraio 2005 è stato consegnato lo studio riguardante la verifica idraulica del ponte in progetto che ha permesso di delineare le caratteristiche principali dell'opera in progetto tra cui la direzione del tracciato, la compatibilità idraulica delle tipologie di ponte proposte in prima fase, la lunghezza dell'impalcato principale e la forma delle pile.

In seguito, considerate le indicazioni fornite nello studio del 2005 ed il progetto definitivo di ponte proveniente da Autostrade Centropadane, nell'anno 2007 è stato redatto dagli scriventi professionisti un aggiornamento dello studio precedentemente effettuato. In tale studio è stata verificata dapprima la compatibilità idraulica con il regime di piena del fiume Po del progetto definitivo di ponte proposto da Autostrade Centropadane (ponte strallato e sospeso a doppio arco convergente, caratterizzato da una luce dell'impalcato posto sull'alveo inciso di lunghezza pari a 250 m e da impalcati posti in golena caratterizzati da luci di 50 m e pile circolari). In seguito, considerato l'elevato ingombro delle opere di fondazione, è stata verificata una nuova tipologia di

attraversamento rappresentata da un ponte strallato con campata principale di 200 m. A questo punto è stata verificata anche la compatibilità di quest'ultima soluzione con gli interventi previsti nel Piano dei sedimenti di AdBPo.

In particolare, è stato verificato uno scenario caratterizzato dal ponte strallato di luce 200 m, l'abbassamento dei pennelli posti a monte e a valle dell'attraversamento in progetto e l'apertura e rimodellazione della lanca posta a valle del ponte in destra idraulica.

Eseguite tali verifiche e constatata la validità della proposta di ponte strallato con campata principale di 200 m, nei primi mesi del 2008 si è deciso di eseguire un ulteriore aggiornamento dello studio del 2005 i cui risultati sono riportati nella presente relazione.

Il presente studio, seguendo le indicazioni della *“Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B”* dell'Autorità di Bacino del Po (approvata con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 dell'11 maggio 1999), ha permesso di verificare la compatibilità idraulica della proposta che prevede, sull'alveo principale, la tipologia di ponte strallato con luce di 200 m, associato a varie configurazioni di lunghezza delle campate poste in golena ed in lanca.

Le verifiche sono state condotte sia per lo scenario morfologico attuale dell'alveo (scenario a), sia per lo scenario che prevede la ristrutturazione ed abbassamento del pennello posto a monte del ponte in progetto (scenario b); per ogni scenario si sono considerate campate in golena pari a 50 m e, in prossimità della lanca esistente, campate di luce rispettivamente di 50 m, 75 m e 100 m.

In pratica sono stati verificati i seguenti scenari:

- a) Stato di fatto alveo fiume Po - Verifica ponte strallato con luce principale di 200 m e campate secondarie di luce variabile (50 m in golena e 50/75/100 m in lanca);*
- b) Stato di fatto alveo fiume Po ed abbassamento pennello - Verifica ponte strallato luce principale di 200 m e campate secondarie di luce variabile (50 m in golena e 50/75/100 m in lanca);*

Le analisi e verifiche condotte sono state effettuate utilizzando come base di partenza il modello bidimensionale realizzato per lo studio del 2005 ed il codice di calcolo SMS di ems-i.

Di seguito, nel capitolo 2 è riportata una sintesi dei risultati dello studio del 2005 e dell'aggiornamento del 2007. Nel capitolo 3 sono riportati gli scenari di riferimento che identificano le simulazioni effettuate mentre, nel capitolo 4, sono descritti i risultati ottenuti dalle simulazioni. Infine, nel capitolo 5 sono riportate le conclusioni ed i commenti di tutti gli studi effettuati ad oggi per il nuovo attraversamento di Castelvetro Piacentino.

## **2. SINTESI DEGLI STUDI PRECEDENTI**

### **2.1 STUDIO IDRAULICO FEBBRAIO 2005**

Lo studio idraulico del Febbraio 2005, redatto da Etatec S.r.l per conto della Società Autostrade Centropadane S.p.a., ha riguardato la verifica idraulica del ponte stradale in progetto sul fiume Po collocato nell'ambito della progettazione del nuovo casello di Castelvetro P.no, del raccordo autostradale con la S.S. 10 "Padana Inferiore" e del completamento della bretella autostradale tra la S.S. 10 e la S.S 234. Le analisi e verifiche effettuate in tale studio hanno permesso di delineare le caratteristiche principali dell'opera in progetto tra cui la direzione del tracciato, la lunghezza dell'impalcato principale e la forma delle pile.

Per lo studio di tale attraversamento, previsto parte in rilevato (esternamente agli argini maestri e, quindi, ai limiti tra le fasce "B" e "C") e parte in viadotto (tra gli argini maestri), posto appena a valle di Isola Serafini, poco più di 1 km a monte dello sbocco del Canale navigabile Milano-Cremona-Po, è risultato opportuno procedere ad una modellazione idraulica di dettaglio del comportamento della prevista infrastruttura in occasione di eventi di piena critici, al fine di documentare se e come le nuove opere modifichino la dinamica fluviale in condizioni di piena.

L'analisi idraulica è stata eseguita utilizzando un modello bidimensionale, appositamente creato per il tratto in esame con il codice di calcolo sms di emsi, accoppiato ad un modello monodimensionale creato con il codice di calcolo Hec-Ras ed estrapolato dal DTM (Digital Terrein Model) utilizzato come base geometrica del modello bidimensionale (figura 2-1).

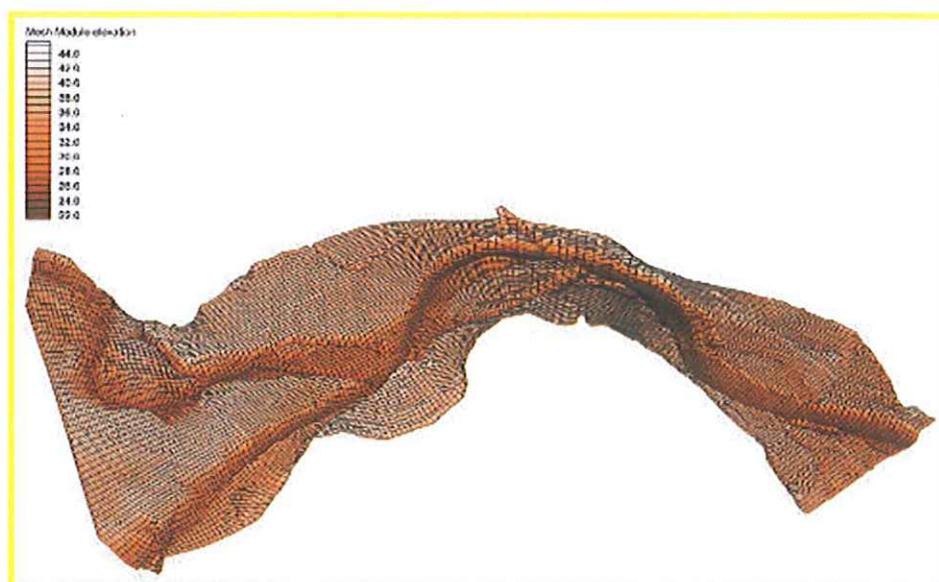


Figura 2-1: DTM (Digital Terrestrial Model) utilizzato come base geometrica del modello bidimensionale

Le situazioni da indagare con il modello sono le seguenti:

- 1) situazione attuale in assenza della nuova opera;
- 2) situazioni di progetto alternative tra loro, caratterizzate da scenari differenti in termini di numero di pile in alveo e di interassi tra le stesse;
- 3) situazioni di cantiere scelte con la committenza come rappresentative dei casi più delicati.

Gli scenari analizzati e indagati sono descritti come segue:

- a *campata unica centrale tra i punti C e D (alveo inciso) da 300 m di lunghezza; area golenale sinistra (tratto A-C) caratterizzata da 22 campate da 50 m; area golenale destra (tratto D-F) caratterizzata da 16 campate da 50 m;*
- b *campata unica centrale tra i punti C e D (alveo inciso) da 300 m di lunghezza; area golenale sinistra (tratto A-C) caratterizzata da 22 campate da 50 m; area golenale destra (tratto D-F) caratterizzata da 10 campate, di cui le 6 più centrali (tratto D-E) da 100 m e le 4 più*

*periferiche (tratto E-F) da 50 m;*

- c *campata unica centrale tra i punti C e D (alveo inciso) da 300 m di lunghezza; area golenale sinistra (tratto A-C) caratterizzata da 16 campate, di cui le 6 più centrali (tratto B-C) da 100 m e le 10 più periferiche (tratto A-B) da 50 m; area golenale destra (tratto D-F) caratterizzata da 10 campate, di cui le 6 più centrali (tratto D-E) da 100 m e le 4 più periferiche (tratto E-F) da 50 m.*

Dalle simulazioni eseguite, in corrispondenza della piena di 200 anni di tempo di ritorno, è emerso che i tre scenari di progetto determinano effetti idrodinamici sulla piena tra loro confrontabili e senza effetti rilevanti su ampia scala (profilo di rigurgito aumentato dell'ordine di qualche centimetro) e, quindi, certamente compresi nelle tolleranze di calcolo ammesse per questo tipo di elaborazioni.

In particolare, in corrispondenza della sezione del nuovo previsto ponte il livello idrico varia, in funzione dello scenario di riferimento, tra 41.7 m s.m. e 41.8 m s.m. Pertanto, è stata stabilita la quota minima di imposta dell'impalcato, non inferiore a 42.8 m s.m., in modo da rispettare la Direttiva 11/05/1999 dell'Autorità di Bacino "*Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B dei corsi d'acqua interessati dal piano stralcio delle fasce fluviali*", che impone l'esistenza di un franco minimo tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte pari a 0,5 volte l'altezza cinetica e, comunque, pari ad 1,0 m.

Per quanto riguarda la zona di attraversamento, l'analisi 2D del fenomeno di piena ha portato a concludere che il tracciato di prima proposta non è a favore

di sicurezza, in quanto le pile, la cui direzione prevista è la perpendicolare all'asse stradale, non risultano allineate con la corrente su tutto il tracciato. Per "mascherare" tra loro le pile rispetto alla corrente è stato proposto il loro allineamento alla direzione della corrente stessa. A seguito dei risultati della modellazione, è stato indicato un quarto scenario di progetto in cui si è individuato il tracciato del ponte che minimizza lo scostamento dell'allineamento tra coppie di pile e andamento della corrente nello scenario della piena di progetto. Il quarto scenario individuato è descritto come segue:

*-d campata unica centrale tra i punti C' e D' (alveo inciso) da 250 m di lunghezza; area golenale sinistra e destra caratterizzate tutte da pile con interasse di 50 m.*

L'aggiornamento del tracciato, rettificato e posto più a monte, dove l'alveo si restringe a valle del pennello esistente, ha permesso di superare l'inconveniente di avere campate di lunghezza diversa tra le due corsie del ponte, in quanto l'asse stradale risulta ivi mediamente perpendicolare alla corrente (figura 2-2). È stata, inoltre, effettuata una valutazione di massima delle erosioni attese per la verifica delle pile, la cui resistenza rischia di essere fortemente compromessa dagli scalzamenti causati dall'interazione con la corrente.

Le verifiche dello scavo e lo studio delle spinte, sono state riferite al caso di due pile aventi diametro di 3.0 m, affiancate e distanti 15 m tra loro. Per quanto riguarda le due pile della campata di attraversamento dell'alveo inciso, non essendo ancora nota la loro tipologia costruttiva, il dimensionamento della protezione al piede di tali pile è stato condotto in via preliminare ipotizzando una tipologia costruttiva del ponte tale da richiedere pile circolari di diametro dell'ordine di 10m.

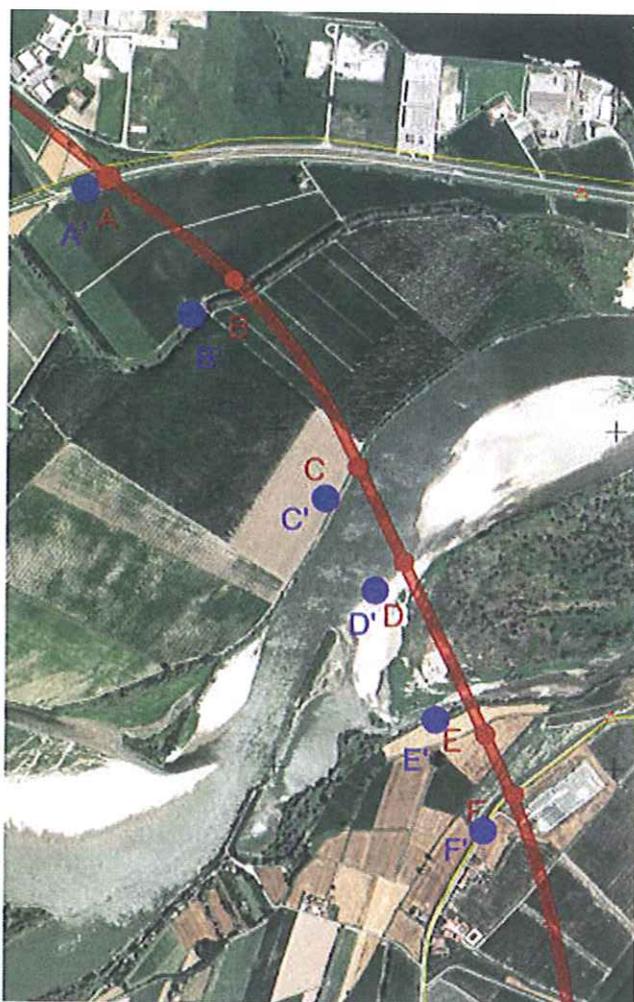


Figura 2-2: tracciato proposto del ponte in progetto. In rosso il tracciato di prima proposta (tratto A-F). I punti A'-F' indicano il tracciato rettificato a seguito delle verifiche effettuate.

Analizzando i risultati di tali elaborazioni si è convenuto di contrastare la tendenza all'erosione nella zona delle pile, realizzando una protezione al piede delle pile (rip-rap) mediante la formazione di materassi in massi di pietra (diametro equivalente non inferiore a 50 cm) con spessore di almeno 1,5 m.

In conclusione, dalle verifiche effettuate nello studio del 2005 sono stati definiti i seguenti indirizzi progettuali:

- Il tracciato preliminare di prima analisi (scenario 1, 2 e 3) è stato giudicato a sfavore di sicurezza in quanto la disposizione accoppiata delle pile non risulta allineata con la corrente su tutto il tracciato. Per “mascherare” tra

loro le pile rispetto alla corrente non è stato possibile, in accordo con i professionisti incaricati per il progetto delle strutture, ridefinire l'allineamento mediante una rotazione  $\alpha$  di base secondo lo schema della figura successiva.

- Il nuovo tracciato (scenario d), posto più a monte, dove l'alveo si restringe, permettere di avere una luce centrale di 250 m e di superare l'inconveniente di avere campate di lunghezza diversa tra le due corsie del ponte, in quanto l'asse stradale risulta mediamente perpendicolare alla corrente lungo l'intero tracciato.
- Le pile più vicine all'alveo, in particolare le due a dimensione maggiorata, necessitano di particolare protezione, che verrà dimensionata in una seconda fase di progettazione, una volta definita la tecnologia dell'attraversamento (ponte strallato, etc.), al fine di contrastare gli effetti di scavo in piena e in morbida.
- La risoluzione del problema dell'erosione potrà ottenersi mediante il consolidamento del fondo alveo in corrispondenza delle fondazioni delle pile, per ridurre sensibilmente l'erosione localizzata in corrispondenza delle stesse (rip-rap). Non si prevede la necessità di interventi di consolidamento delle opere esistenti (pennelli) di indirizzamento delle correnti di magra/morbida del Po subito a monte del ponte. Occorre sottolineare che gli interventi previsti in alveo per il corazzamento del fondo non modificano sensibilmente le condizioni idrodinamiche generali della sezione idraulica e le condizioni di deflusso della corrente.

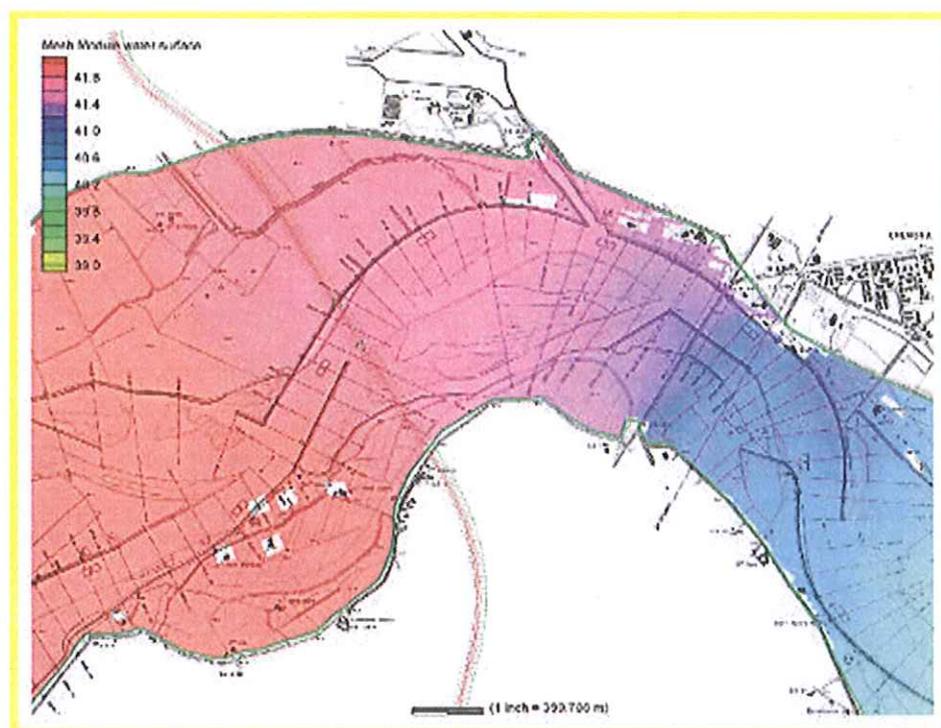
## **2.2 PRIMO AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO DEL 2005 IN FUNZIONE DELLA TIPOLOGIA DI PONTE PROPOSTA E DELLA DIRETTIVA DEI SEDIMENTI PAI (2007)**

In seguito a quanto emerso dalle analisi eseguite nello studio del 2005, la Società Autostrade Centropadane ha definito come possibile tipologia dell'attraversamento in progetto, un ponte strallato e sospeso a doppio arco convergente, caratterizzato da una luce dell'impalcato posto sull'alveo inciso di lunghezza pari a 250 m e da impalcati posti in golena caratterizzati da luci di 50 m e pile circolari. Considerate le notevoli dimensioni del dado di fondazione, adibito all'ancoraggio dei cavi di sospensione, e della fondazione del doppio arco convergente in c.a. sono state effettuate apposite verifiche idrauliche per determinare l'effetto di tali manufatti sulla dinamica fluviale. Le verifiche sono state condotte utilizzando come base di calcolo il modello idraulico bidimensionale ed il software utilizzati per lo studio del 2005. In particolare, mantenendo pressoché inalterata la geometria d'alveo, sono state introdotte nel modello le fondazioni della tipologia di ponte proposta con i loro effettivi ingombri e posizioni.

Lo scenario indagato è stato riferito alla situazione morfologica attuale dell'alveo del fiume Po e caratterizzato dalla presenza delle strutture del ponte in progetto. In questa fase non è stata effettuata una simulazione idraulica dello stato attuale senza opera in progetto, poiché già considerata nello studio precedente.

Dalle simulazioni eseguite, in corrispondenza della piena di 200 anni di tempo di ritorno, è emerso che lo scenario di progetto indagato determina effetti idrodinamici sulla piena senza esiti rilevanti su ampia scala rispetto la

situazione senza e con ponte indagati nello studio del 2005 (profilo di rigurgito aumentato dell'ordine di qualche centimetro). Infatti, in corrispondenza della sezione del nuovo previsto ponte il livello idrico varia mediamente tra 41.7 m s.m. e 41.8 m s.m., che rappresenta lo stesso range di valori calcolato nel precedente studio effettuato con ponte di luce pari a 300 m (figura 2-3).



**Figura 2-3:** livelli idrici calcolati nella simulazione che prevede la morfologia dell'alveo in condizioni attuali ed il ponte con luce principale di 250 m.

In corrispondenza delle fondazioni del nuovo ponte si riscontrano modesti innalzamenti dei livelli idrici, dell'ordine di qualche centimetro, e variazioni della dinamica fluviale, localizzate nell'intorno delle strutture, di entità modesta. Si ritiene, pertanto, che tale soluzione sia compatibile con il regime idrico del fiume Po, non influenzandone significativamente le caratteristiche attuali. Comunque, come espresso anche nello studio del 2005, si renderà necessario proteggere le opere di fondazione e le pile poste in golena dall'azione erosiva della corrente, intervenendo nel loro intorno con modesti

interventi di protezione (rip-rap).

In seguito a tali verifiche, per limitare l'impatto ambientale e le interferenze prodotte sul regime idrico dalle strutture di fondazione dell'opera in progetto, è stata verificata una nuova tipologia di attraversamento, rappresentata da un ponte strallato con luce principale di 200 m e campate secondarie di luce pari a 50 m sorrette da pile circolari.

Anche in questo caso le verifiche sono state condotte utilizzando come base di calcolo il modello idraulico bidimensionale ed il software utilizzati per lo studio del 2005 e considerando lo stesso scenario indagato per il ponte a doppio arco e luce principale di 250 m. In particolare, mantenendo pressoché inalterata la geometria d'alveo, sono state introdotte nel modello le fondazioni della tipologia di ponte proposta con i loro effettivi ingombri e posizioni.

Dalle simulazioni eseguite, in corrispondenza della piena di 200 anni di tempo di ritorno, è emersa una situazione analoga alle precedenti caratterizzata da poco significativi effetti indotti dalla struttura sul regime idrico del fiume rispetto le condizioni morfologiche attuali. Anche in questo caso, i livelli idrici nell'intorno del ponte si attestano mediamente tra valori di 41.7 m s.m. e 41.8 m s.m. e l'interferenza delle opere di fondazione dell'impalcato principale sulla dinamica fluviale sono di entità modesta e confinate nell'intorno delle opere in progetto. Si ritiene, pertanto, che anche tale soluzione sia compatibile con il regime idrico del fiume Po, non influenzandone significativamente le caratteristiche attuali (figura 2-4/2-5).

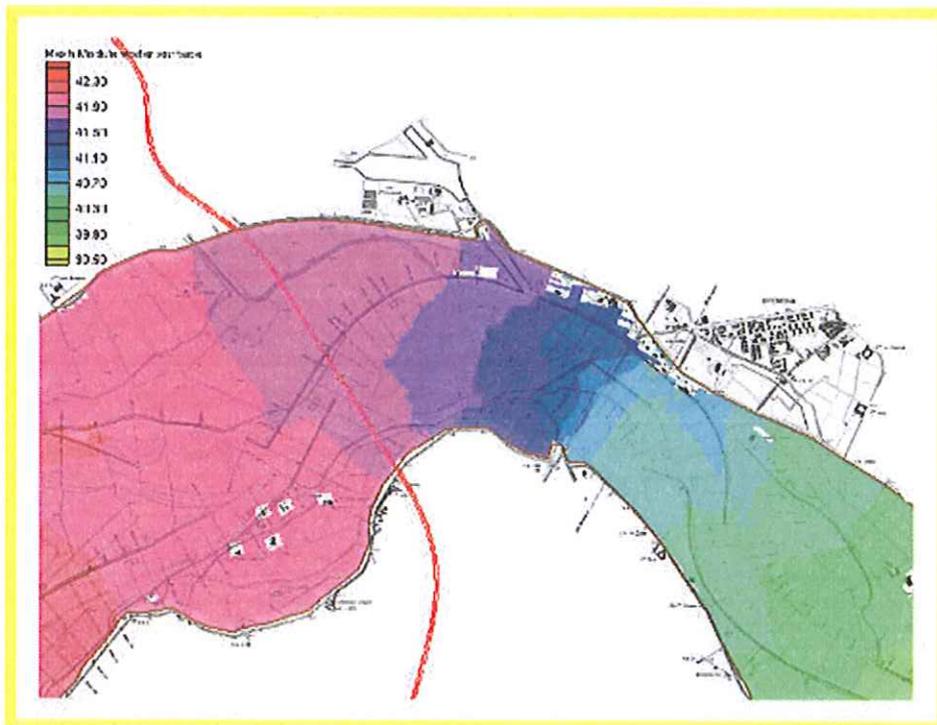


Figura 2-4: livelli idrici calcolati nella simulazione che prevede la morfologia dell'alveo in condizioni attuali ed il ponte strallato con luce principale di 200 m.

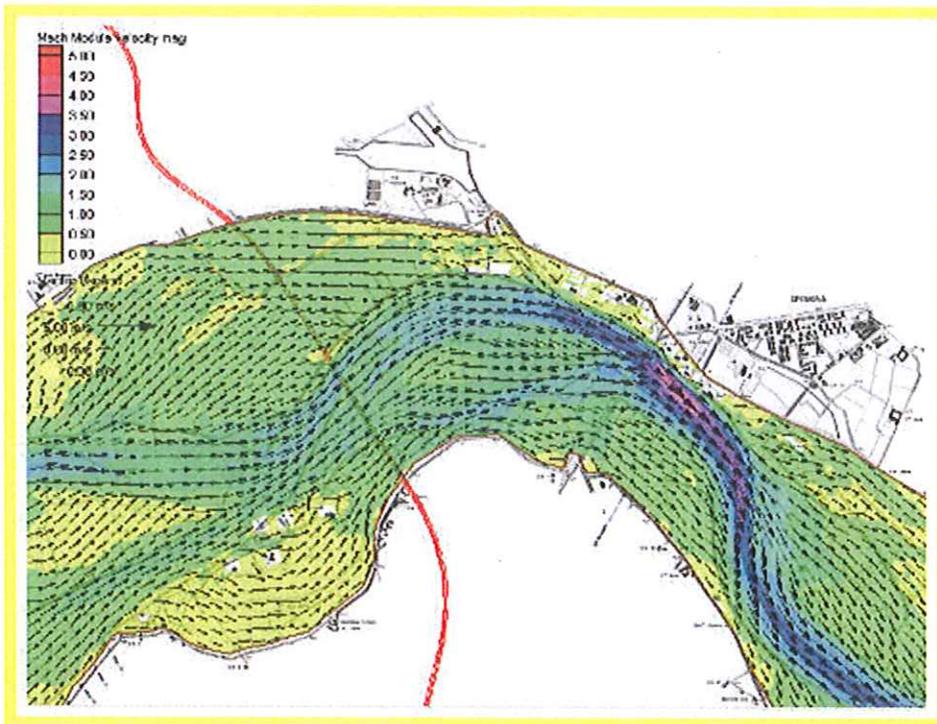
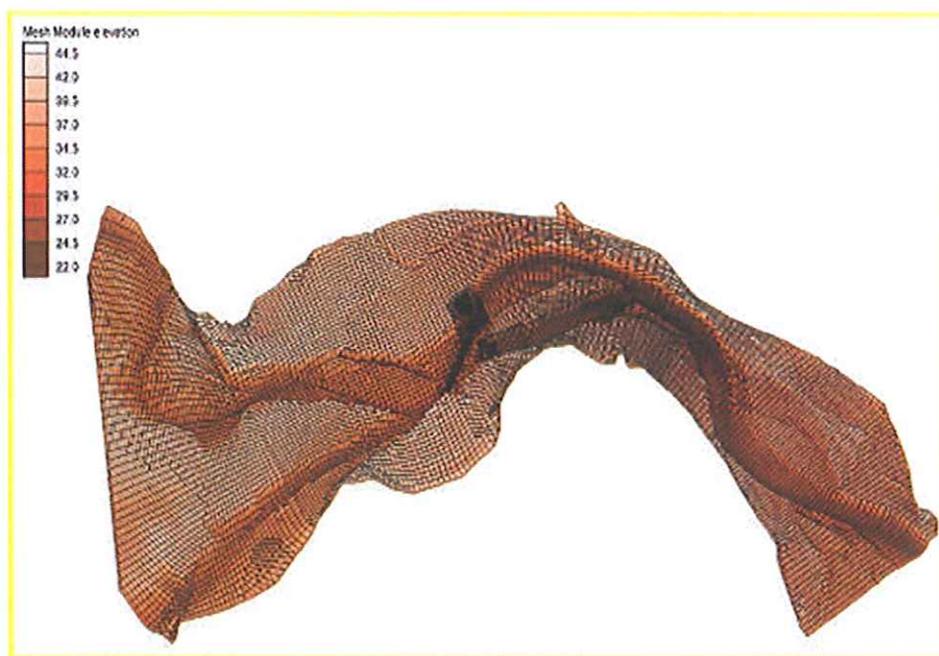


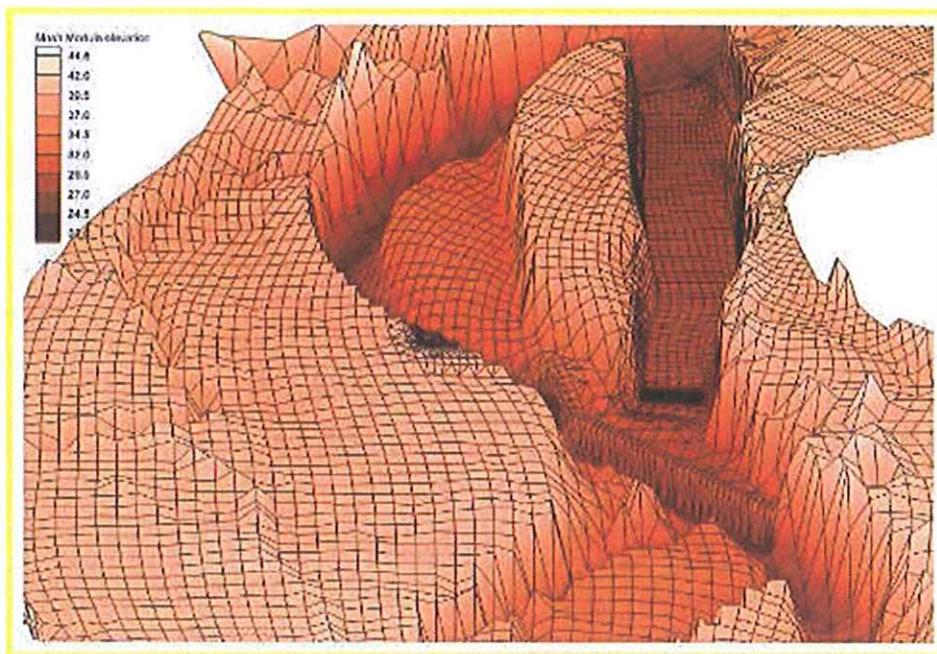
Figura 2-5: velocità e campo di moto calcolati nella simulazione che prevede la morfologia dell'alveo in condizioni attuali ed il ponte strallato con luce principale di 200 m.

Successivamente, preso atto della validità di questa ulteriore soluzione tipologica ed in seguito all'ufficializzazione del Piano dei sedimenti del fiume Po, si è proceduto all'aggiornamento del progetto alle indicazioni di tale Piano, che nella zona interessata dal nuovo ponte prevede l'apertura di una lanca e l'abbassamento dei pennelli esistenti posti in destra idraulica.

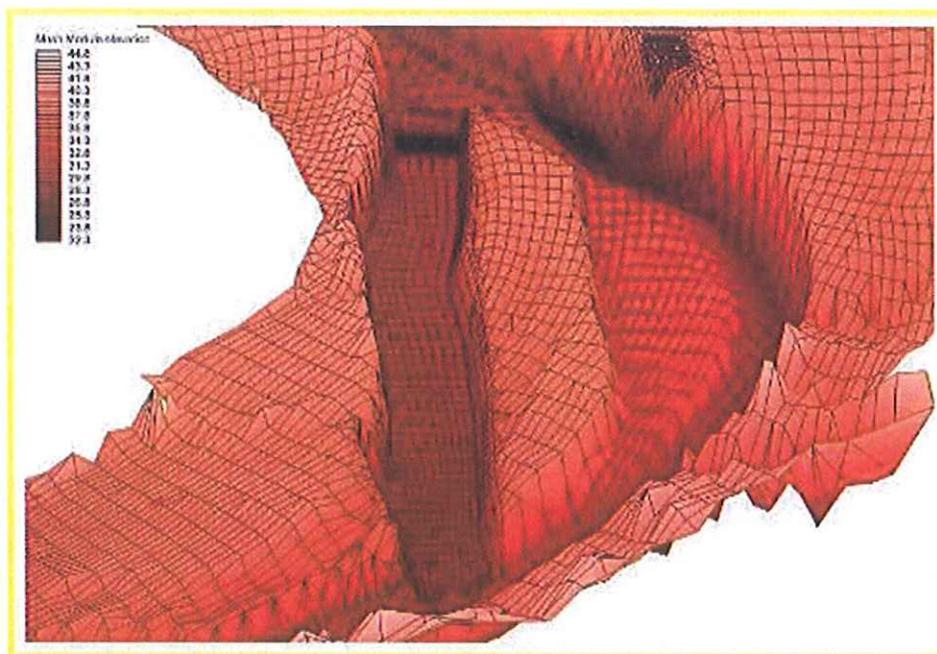
Le verifiche idrauliche sono state condotte partendo dal modello idraulico bidimensionale utilizzato precedentemente ed opportunamente rettificato per uniformare il DTM alle indicazioni contenute nel Piano dei sedimenti (figura 2-6). In particolare, mantenendo inalterata la tipologia di ponte proposta (strallato, campata principale 200 m e secondarie di 50 m), in destra idraulica sono stati abbassati i pennelli posti a monte e a valle del nuovo ponte ed è stata rimodellata la lanca presente. Più precisamente, i pennelli sono stati abbassati ad una quota tale per cui sia consentita la navigazione (1.000 mc/s) nell'alveo principale in condizioni normali, mentre la lanca è stata allargata a 150 m dandole una forma trapezia (figura 2-7/2-8).



**Figura 2-6:** DTM (Digital Terrein Model) utilizzato come base geometrica del modello bidimensionale e opportunamente rettificato per uniformarlo alle indicazioni contenute nel Piano dei sedimenti di AdBPo.



**Figura 2-7:** vista da monte - particolare del DTM (Digital Terrein Model) uniformato alle indicazioni contenute nel Piano dei sedimenti di AdBPo.



**Figura 2-8: vista da valle - particolare del DTM (Digital Terrain Model) uniformato alle indicazioni contenute nel Piano dei sedimenti di AdBPo.**

Dalle simulazioni eseguite, in corrispondenza della piena di 200 anni di tempo di ritorno, è emersa una situazione simile alle precedenti, caratterizzata da poco significativi effetti indotti dalla struttura sul regime idrico del fiume rispetto le condizioni morfologiche attuali.

I livelli idrici nell'intorno del ponte si attestano mediamente tra valori di 41.6 m s.m. e 41.7 m s.m., circa 10 cm in meno rispetto lo stato attuale e gli scenari di progetto analizzati precedentemente.

Anche in questo caso, l'interferenza delle opere di fondazione dell'impalcato principale e delle campate in lanca sulla dinamica fluviale sono di entità modesta e confinate nell'intorno delle opere in progetto (figura 2-9).

Come era presumibile, la variazione più rilevanti si registrano sulla dinamica fluviale che risulta modificata dagli interventi di abbassamento dei pennelli e di apertura della lanca. In particolare, si ha una migliore distribuzione della portata lungo tutto l'alveo di piena con conseguente diminuzione ed uniformazione delle velocità sia nell'alveo principale che lungo la lanca (figura 2-10).

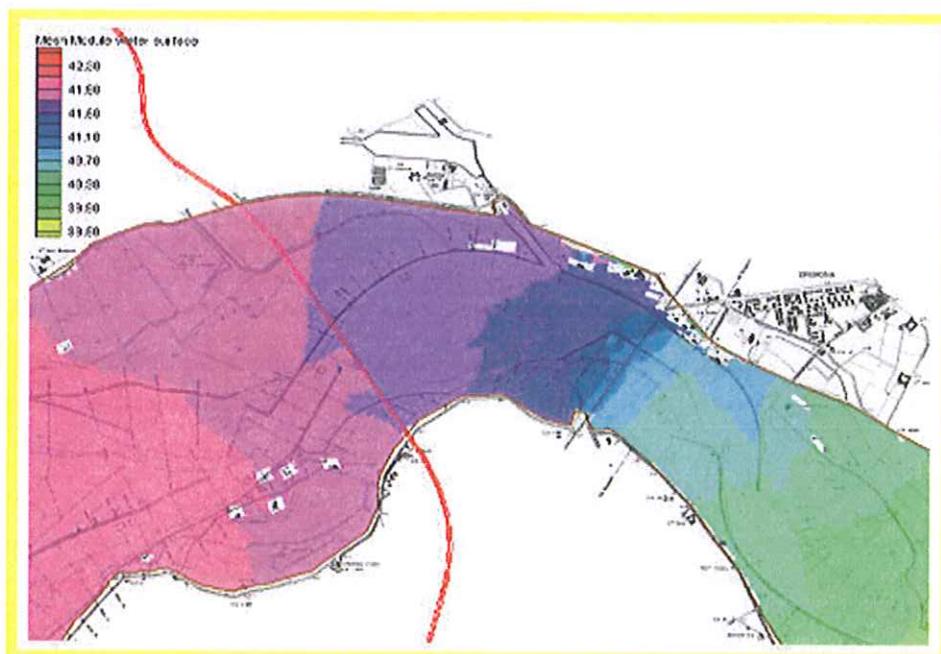


Figura 2-9: livelli idrici calcolati nella simulazione che prevede la morfologia dell'alveo adattata alle prescrizioni del Piano dei sedimenti ed il ponte strallato con luce principale di 200 m.

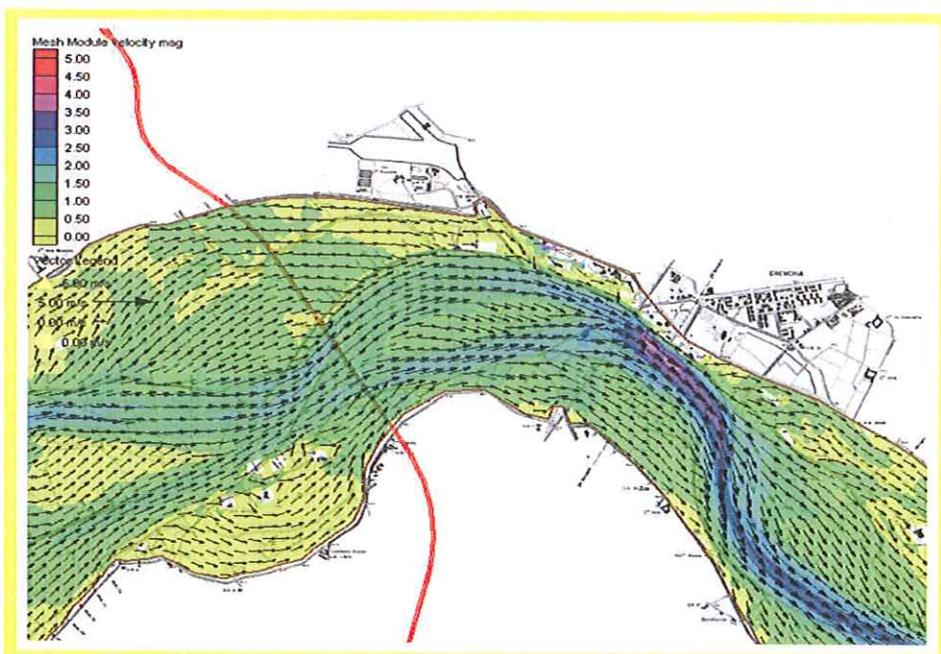


Figura 2-10: velocità e campo di moto calcolati nella simulazione che prevede la morfologia dell'alveo adattata alle prescrizioni del Piano dei sedimenti ed il ponte strallato con luce principale di 200 m.

Da quanto emerso, si ritiene che tale soluzione sia compatibile con il regime idrico del fiume Po. Infatti, distribuendo uniformemente la portata di piena

lungo tutto l'alveo, permette sia la diminuzione dei livelli idrici che la diminuzione e regolarizzazione delle velocità della corrente, riducendo di fatto l'azione erosiva della corrente lungo il fondo e le sponde dell'alveo principale (confronto figura 2-5 e 2-10).

### 3. SCENARI DI RIFERIMENTO

Valutati gli esiti degli studi precedenti, nel secondo aggiornamento apportato allo studio idraulico del 2005 si sono verificati i seguenti scenari:

- a) *Stato di fatto alveo fiume Po - Verifica ponte strallato con luce principale di 200 m e campate secondarie di luce variabile (50 m in gola e 50/75/100 m in lanca);*
1. alveo fiume Po in condizioni attuali + ponte strallato campata 200 m con pile secondarie di luce pari a 50 m;
  2. alveo fiume Po in condizioni attuali + ponte strallato campata 200 m con pile secondarie di luce pari a 50 m e due campate in corrispondenza della lanca di luce pari 75 m;
  3. alveo fiume Po in condizioni attuali + ponte strallato campata 200 m con pile secondarie di luce pari a 50 m e una campata in corrispondenza della lanca di luce pari a 100 m.
- b) *Stato di fatto alveo fiume Po ed abbassamento pennello - Verifica ponte strallato luce principale di 200 m e campate secondarie di luce variabile (50 m in gola e 50/75/100 m in lanca);*
1. alveo fiume Po in condizioni attuali e abbassamento pennello + ponte strallato campata 200 m con pile secondarie di luce pari a 50 m;
  2. alveo fiume Po in condizioni attuali e abbassamento pennello + ponte strallato campata 200 m con pile secondarie di luce pari a 50 m e due campate in corrispondenza della lanca di luce pari 75 m;
  3. alveo fiume Po in condizioni attuali e abbassamento pennello + ponte strallato campata 200 m con pile secondarie di luce pari a 50 m e una campata in corrispondenza della lanca di luce pari a 100 m

## 4. RISULTATI

### 4.1 SCENARIO A

Analizzando tutte le simulazioni eseguite relative allo “scenario a”, in corrispondenza della piena di 200 anni di tempo di ritorno, è emersa una situazione caratterizzata da poco significativi effetti indotti dalla struttura sul regime idrico del fiume rispetto le condizioni morfologiche attuali. I livelli idrici nell’intorno del ponte si attestano mediamente tra valori di 41.7 m s.m. e 41.9 m s.m., circa 5÷10 cm in più rispetto lo stato attuale e gli scenari di progetto analizzati nello studio del 2005 (figura 4-1).

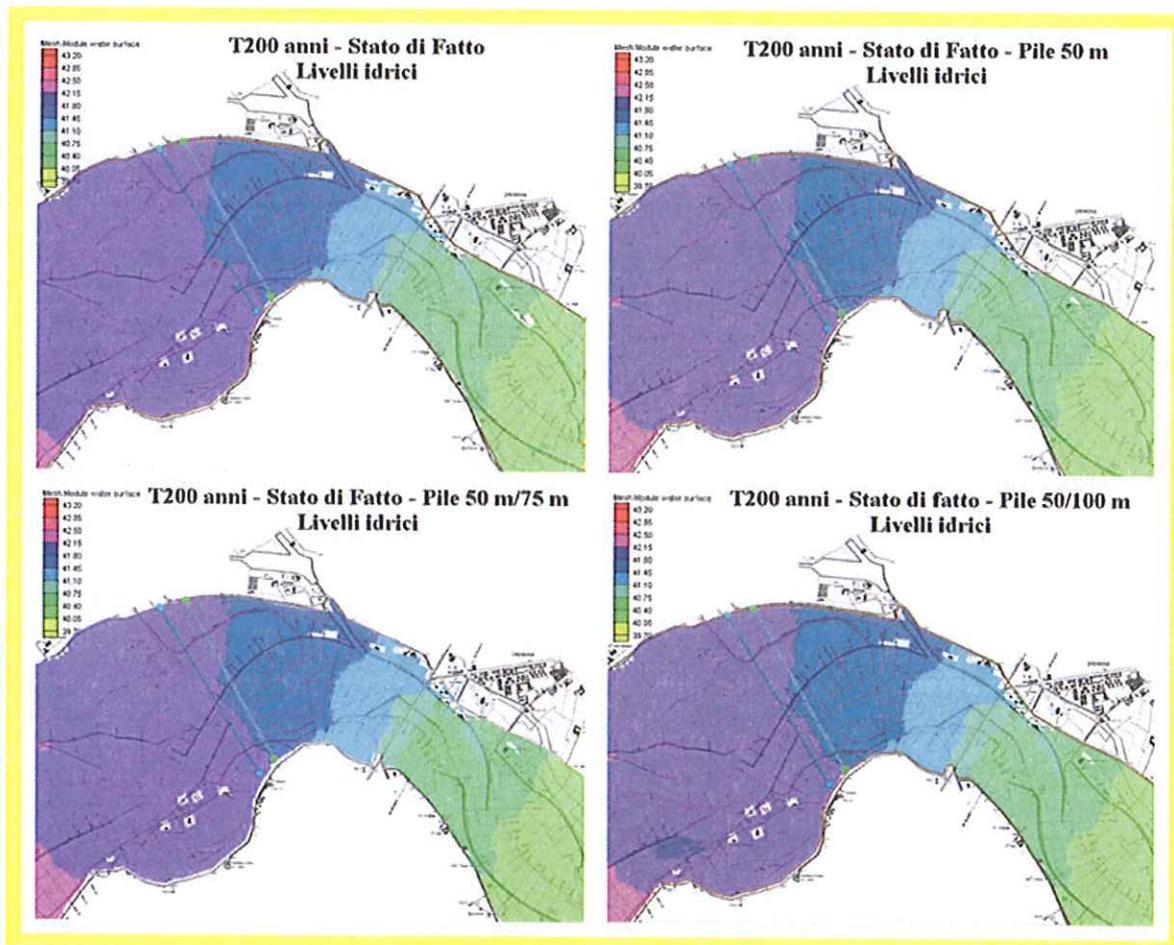


Figura 4-1: confronto tra i livelli idrici calcolati per la situazione attuale e per gli “scenari a” (linee azzurra e verde: sezioni a monte e valle del ponte).

L'intradosso dell'impalcato dell'attraversamento dovrà essere posto ad una quota minima di 42.9 m s.m. per rispettare la Direttiva 11/05/1999 dell'Autorità di Bacino "*Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B dei corsi d'acqua interessati dal piano stralcio delle fasce fluviali*", che impone l'esistenza di un franco minimo tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte pari a 0,5 volte l'altezza cinetica e, comunque, pari ad 1,0 m.

L'interferenza che le opere di fondazione dell'impalcato principale e le pile delle campate in golena hanno sulla dinamica fluviale risulta essere di entità modesta e, soprattutto, localizzata. Si evidenzia che le linee della corrente di piena rimangono pressoché inalterate ad eccezione di variazioni di direzione localizzate nell'intorno delle opere in alveo. Mediamente, i valori di velocità calcolati a monte e a valle del ponte in progetto diminuiscono di circa 0.2÷0.3 m/s rispetto lo stato attuale (figura 4-2). La causa di tale diminuzione è imputabile alla presenza delle strutture che compongono l'attraversamento.

Localmente, tra una pila e l'altra e fra le opere che compongono lo zoccolo di fondazione della campata principale, si registrano variazioni di velocità rispetto lo stato attuale comprese entro un range di  $\pm 0.1\div 0.2$  m/s, dovute all'effetto di schermatura e restringimento delle opere stesse (figura 4-3).

Le variazioni di livelli e velocità calcolate, si possono considerare poco significative e senza effetti rilevanti su ampia scala (profilo di rigurgito aumentato dell'ordine di qualche centimetro), in quanto sono certamente compresi nelle tolleranze di calcolo ammesse per questo tipo di elaborazioni.

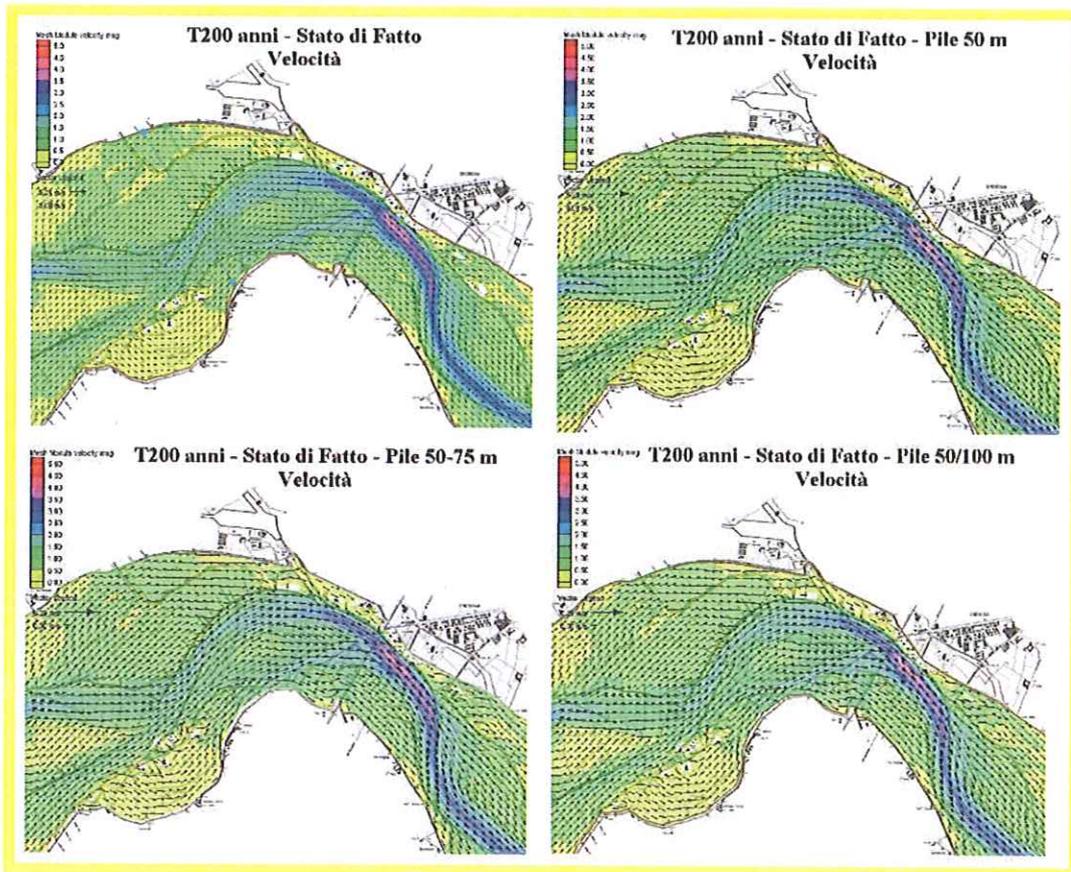


Figura 4-2: confronto tra le velocità ed il campo di moto calcolati per la situazione attuale e per gli “scenari a”.

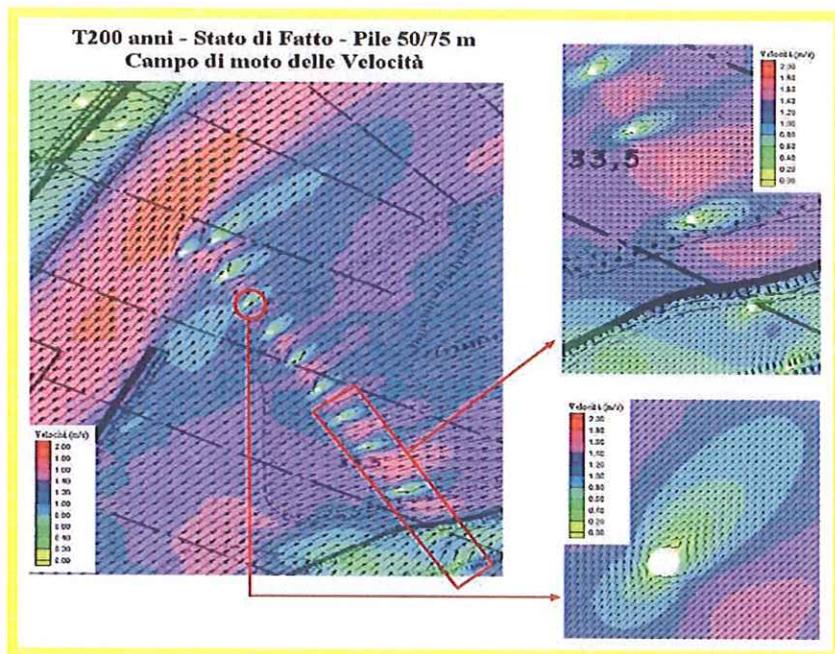


Figura 4-3: particolare del campo di moto nell'intorno delle opere in alveo.

## 4.2 SCENARIO B

Analizzando tutte le simulazioni eseguite relative allo “scenario b”, in corrispondenza della piena di 200 anni di tempo di ritorno, è emersa una situazione caratterizzata da poco significativi effetti indotti dalla struttura e dall’abbassamento del pennello sul regime idrico del fiume rispetto le condizioni morfologiche attuali. I livelli idrici nell’intorno del ponte si attestano mediamente tra valori di 41.75 m s.m. e 41.9 m s.m., circa 5÷10 cm in più rispetto lo stato attuale e gli scenari di progetto analizzati nello studio del 2005 (figura 4-4).

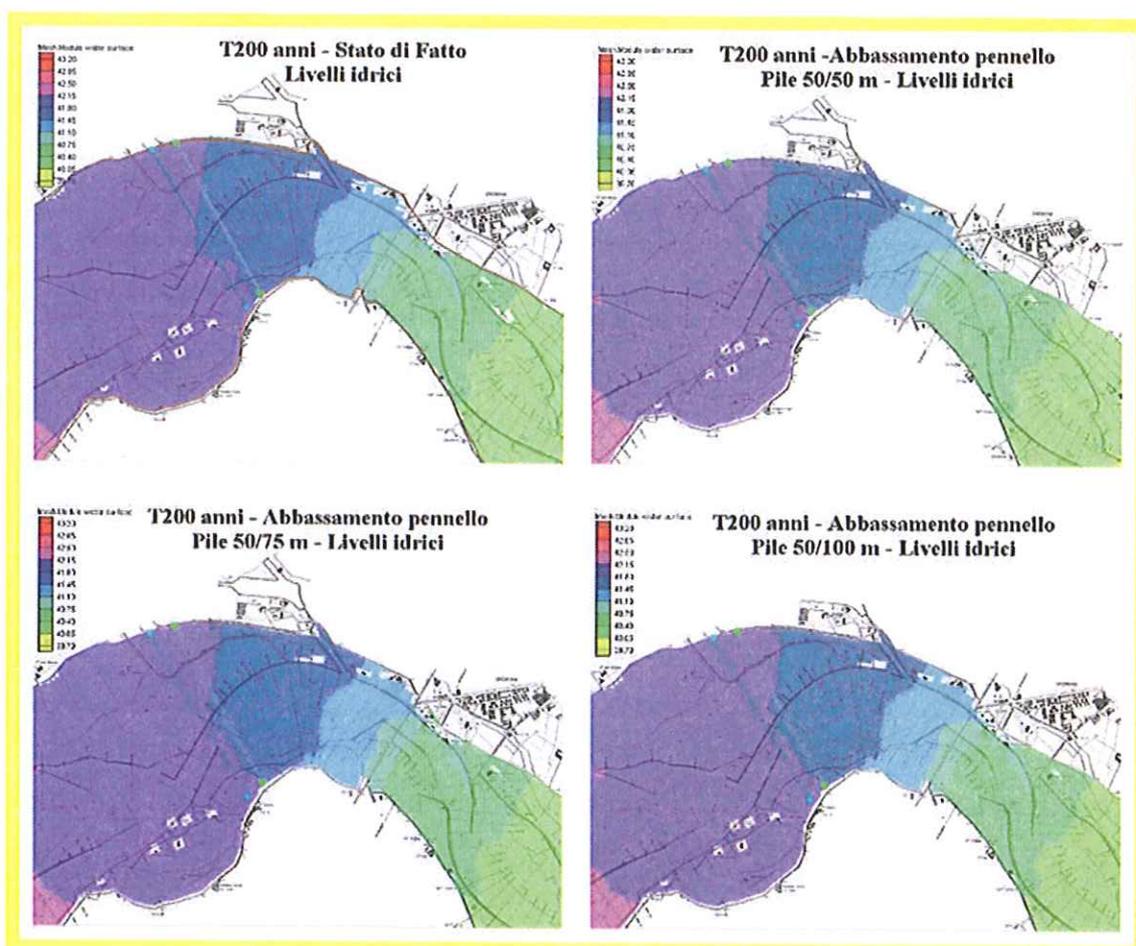


Figura 4-4: confronto tra i livelli idrici calcolati per la situazione attuale e per gli “scenari b” (linee azzurra e verde: sezioni a monte e valle del ponte).

L'intradosso dell'impalcato dell'attraversamento dovrà essere posto ad una

quota minima di 42.9 m s.m. per rispettare la Direttiva 11/05/1999 dell'Autorità di Bacino "*Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B dei corsi d'acqua interessati dal piano stralcio delle fasce fluviali*", che impone l'esistenza di un franco minimo tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte pari a 0,5 volte l'altezza cinetica e, comunque, pari ad 1,0 m. Le differenze di livello sono riscontrate essenzialmente lungo le campate in golena, mentre lungo l'alveo principale, in prossimità del ponte strallato, non si verificano differenze di livello apprezzabili rispetto lo stato attuale. A monte dell'impalcato principale si riscontra un aumento dei livelli di circa 5 cm che si propaga verso valle in prossimità dell'impalcato principale. Tali variazioni si possono considerare poco significative e senza effetti rilevanti su ampia scala (profilo di rigurgito aumentato dell'ordine di qualche centimetro), in quanto sono certamente compresi nelle tolleranze di calcolo ammesse per questo tipo di elaborazioni. L'interferenza che le opere di fondazione dell'impalcato principale e le pile delle campate in golena hanno sulla dinamica fluviale risulta essere di entità modesta e localizzata. Si evidenzia che le linee della corrente di piena rimangono pressoché inalterate ad eccezione di modeste variazioni di direzione localizzate nell'intorno delle opere in alveo. Mediamente, i valori di velocità calcolati a monte e a valle del ponte in progetto diminuiscono di circa  $0.2 \div 0.3$  m/s rispetto lo stato attuale ad eccezione dell'impalcato principale ove si riscontra un aumento delle velocità di circa 0.2 m/s a valle del nuovo ponte (figura 4-5). La causa della diminuzione delle velocità lungo gli impalcati posti in golena è imputabile sia alla regolarizzazione delle portate dovuta alla

ristrutturazione ed abbassamento del pennello di monte, sia alla presenza delle strutture che compongono l'attraversamento. Per contro, l'aumento di velocità a valle dell'impalcato principale è imputabile soprattutto alla regolarizzazione dell'alveo in prossimità del pennello posto a monte e, quindi, alla regolarizzazione dei filetti fluidi della corrente di piena. Comunque, tali aumenti e/o diminuzioni di velocità, circoscritti a piccole aree posti a monte e a valle della struttura, si possono ritenere poco significativi e ininfluenti sul regime idrico di piena del Po. Infatti, vista la loro esiguità si possono certamente ritenere, così come per le variazioni di livello, compresi nelle tolleranze di calcolo ammesse per questo tipo di elaborazioni.

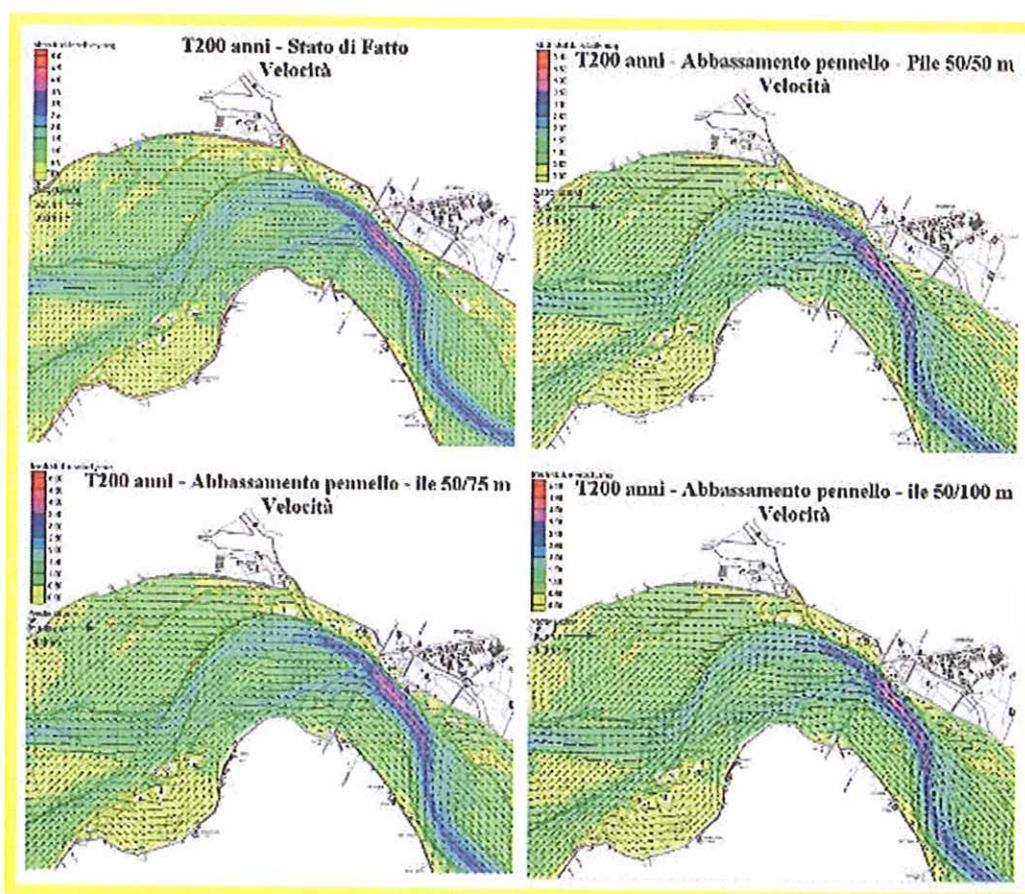


Figura 4-5: confronto tra i le velocità ed il campo di moto calcolati per la situazione attuale e per gli "scenari b".

Localmente, tra una pila e l'altra o fra le opere che compongono lo zoccolo di fondazione della campata principale, si registrano variazioni di velocità rispetto lo stato attuale comprese entro un range di  $\pm 0.1 \div 0.2$  m/s, dovute all'effetto di schermatura e restringimento della luce di passaggio indotti dalle opere stesse (figura 4-6).

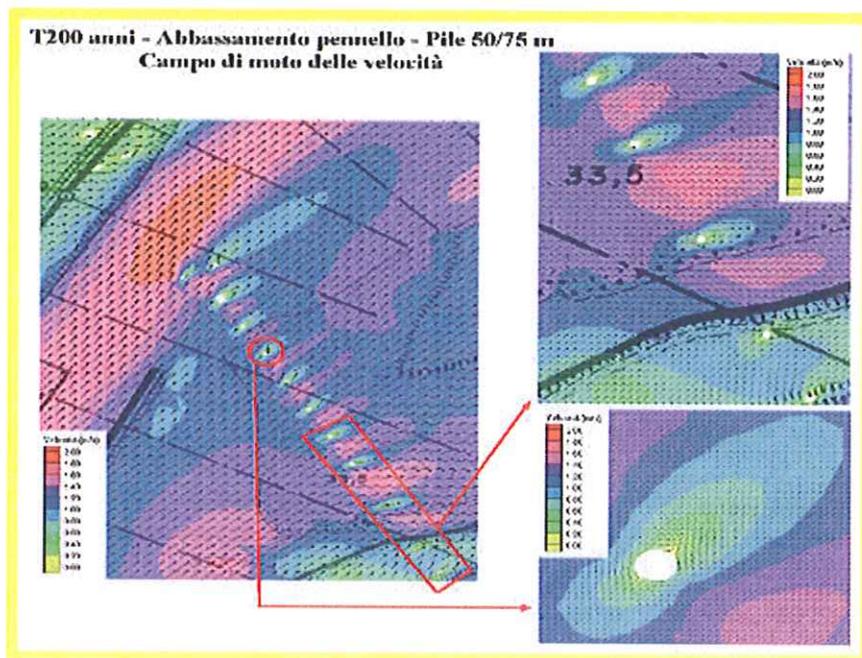


Figura 4-6: particolare del campo di moto nell'intorno delle opere in alveo.

Confrontando tra di loro gli scenari di progetto si riscontra che le variazioni di livello e velocità si registrano localmente, solo nella zona che interessa la lanca posta a tergo del pennello; più precisamente, nel tratto in cui si sono proposte varie ipotesi di lunghezza degli impalcati che sormontano il canale attivo della lanca esistente. In particolare, le velocità idriche sono maggiori di circa 0.3 m/s nei casi di impalcati sulla lanca di luce 75/100 m rispetto al caso con impalcati di luce pari a 50 m. I livelli idrici si mantengono costanti a valle dell'impalcato per le tre soluzioni prospettate, mentre a monte dell'impalcato si ha un aumento del livello idrico pari a circa 3 cm nel caso di campate pari a 50 m.

## 5. CONCLUSIONI

Premesso che dagli studi precedenti sono emersi i seguenti indirizzi progettuali:

### Studio del 2005

- Rettifica del tracciato proposto al fine di allineare i filetti fluidi della corrente con le opere in alveo.
- Trascurabili effetti della struttura nelle configurazioni proposte sul regime idrodinamico di piena del fiume Po.
- Validità di una proposta con campata principale di 250 m, anziché i 300 m prospettati in prima ipotesi.
- Definizione della quota minima dell'intradosso dell'impalcato (42.8 m s.m).
- Forma circolare delle pile in alveo.
- Necessità di proteggere le fondazioni delle opere in alveo con interventi di modesta entità (rip-rap).

### Aggiornamento del 2007 allo studio del 2005

- Validità della proposta tipologica di ponte sospeso e strallato a doppio arco convergente di luce pari a 250 m.
- Validità della proposta tipologica di ponte semplicemente strallato di luce pari a 200 m.
- Compatibilità della proposta con campata principale di 200 m al Piano dei sedimenti di AdBPo.

Nella presente analisi di aggiornamento dello studio redatto nel 2005 sono state verificate le proposte e gli scenari che colgono le indicazioni progettuali

risultate dagli studi precedenti. Più precisamente, in questa sede è stata verificata la proposta che prevede sull'alveo principale la tipologia di ponte strallato con luce di 200 m, associato a varie configurazioni di lunghezza delle campate poste in golena ed in lanca. Le verifiche sono state condotte sia per lo scenario morfologico attuale dell'alveo (scenario a), sia per lo scenario che prevede la ristrutturazione ed abbassamento del pennello, posto a monte del ponte in progetto, ad una quota tale da consentire la navigazione (1.000 mc/s) nell'alveo principale in condizioni normali (scenario b).

Dalle analisi è emerso che, per ambo gli scenari, su ampia scala l'attraversamento in progetto non modifica sensibilmente il regime idrodinamico di piena del fiume Po. Infatti, la variazione di livelli (5÷10 cm) e velocità della corrente di piena (0.2÷0.5 m/s), confinati nell'intorno della struttura, rientrano ampiamente nelle tolleranze di calcolo ammesse per questo tipo di elaborazioni e le linee di corrente non subiscono particolari variazioni rispetto lo stato attuale senza opera in progetto. Localmente, in prossimità delle opere in alveo, si registrano modeste variazioni di livello e velocità dovuti all'effetto di schermatura delle strutture ed al restringimento della luce di passaggio prodotto dalle stesse. Tali variazioni, dell'ordine di grandezza delle variazioni riscontrate nell'intorno dell'attraversamento su scala più ampia, rientrano anch'esse ampiamente nelle tolleranze di calcolo ammesse per questo tipo di elaborazioni.

Confrontando le soluzioni progettuali analizzate (con e senza abbassamento del pennello posto a monte dell'attraversamento) si nota che, a seguito dell'intervento di abbassamento del pennello di monte, si determinano sia una migliore distribuzione delle portate tra alveo inciso e golene, sia la

regolarizzazione delle velocità e delle linee di corrente. Quest'ultimo effetto si riscontra soprattutto nell'alveo inciso ove è intuibile, confrontando le rappresentazioni delle velocità in alveo, l'aumento dell'effetto di schermatura ed orientamento della corrente prodotto dal pennello ristrutturato.

In conclusione, riprendendo quanto emerso da tutte le analisi effettuate per il nuovo attraversamento del fiume Po a Castelvetro Piacentino, si può affermare che le soluzioni progettuali proposte lungo il tracciato rettificato nello studio del 2005 sono tutte valide. Esse, infatti, non interferiscono sensibilmente con il regime idrodinamico di piena del fiume Po e, inoltre, risultano compatibili con le linee d'intervento contenute nel Piano dei sedimenti dell'AdBPo.

In tutti i casi esaminati, le linee di deflusso della corrente rimangono pressoché inalterate rispetto le condizioni attuali.

Si registrano esclusivamente variazioni localizzate della direzione dei filetti fluidi poste nell'intorno dei manufatti presenti in alveo e, nel caso di ponte strallato con luce di 200 m ed abbassamento del pennello posto a monte dell'attraversamento, si evidenzia una regolarizzazione della velocità di piena a valle del pennello che si protrae sino all'isola del Deserto.

In questo caso, si registrano anche lievi diminuzioni delle velocità pur essendo il dato rilevante rappresentato dalla uniformità dei loro valori rispetto le condizioni attuali.

L'intradosso dell'impalcato dell'attraversamento dovrà essere posto ad una quota minima di 42.8÷42.9 m s.m. (secondo la soluzione progettuale scelta) per rispettare la Direttiva 11/05/1999 dell'Autorità di Bacino "*Criteria per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B dei corsi d'acqua interessati*

*dal piano stralcio delle fasce fluviali*”, che impone l’esistenza di un franco minimo tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte pari a 0,5 volte l’altezza cinetica e, comunque, pari ad 1,0 m.

In ogni caso, in fase di progettazione esecutiva, si dovranno prevedere nell’intorno delle opere in alveo apposite protezioni (rip-rap) di entità modesta come indicato nello studio del 2005, per la salvaguardia delle fondazioni dall’azione di scalzamento della corrente. Non si prevede la realizzazione di opere di protezione delle sponde o deviazione della corrente a monte o a valle dell’attraversamento in aggiunta a quelle già esistenti.

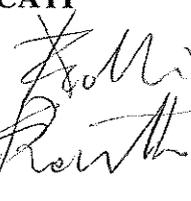
Infine, gli elementi di fondazione dell’impalcato principale dovranno avere una forma idrodinamica in tutta la parte interessata dalla corrente di piena e le pile delle campate secondarie dovranno essere di forma circolare.

Milano, Febbraio 2008

#### **I PROFESSIONISTI INCARICATI**

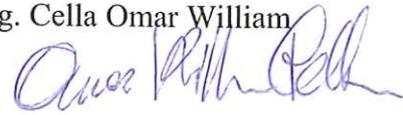
Prof. Ing. Alessandro Paoletti

Dott. Ing. Silvio Rossetti



**CALCOLI IDRAULICI**

Dott. Ing. Cella Omar William

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Omar William Cella', written in a cursive style.