

COMMITTENTE



**PARCO OGLIO NORD**  
ENTE DI DIRITTO PUBBLICO  
Piazza Garibaldi 15 - 25034 Orzinuovi (Bs)

## PROGETTO DEFINITIVO

*Realizzazione di una passerella ciclopedonale sul ponte che attraversa il fiume Oglio (come da progetto denominato "Greenway dell'Oglio - lotto 8) tra i comuni di Calcio e Urago d'Oglio*

ELABORATO

# 02

## RELAZIONE COMPATIBILITA' IDRAULICA

REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:
00	18/05/2023	Prima emissione elaborato - Progetto Definitivo

PROGETTISTA

Ing. Paola Pianta  
Via Solferino 75/c - 26012 Castelleone (Cr)  
Tel. +39 3384028285  
email: paolapianta77@gmail.com  
PEC: paola.pianta@ingpec.eu

## **1. Introduzione**

Il presente documento costituisce la relazione idraulica finalizzata alla verifica di compatibilità idraulica da effettuare nell'ambito della realizzazione di una passerella ciclopedonale che attraversa il fiume Oglio tra i comuni di Calcio e Urago d'Oglio.

L'area interessata dall'intervento si trova tra i comuni di Calcio (Bg) e Urago d'Oglio (Bs), in prossimità del ponte esistente sede della S.S. n. 11 Padana Superiore, come indicato nella figura 1.



Figura 1 – Estratto Ortofoto Regione Lombardia  
con indicazione della posizione della passerella in progetto

## **2. Contenuto dello studio di compatibilità**

Obiettivo dello studio è quello di quantificare gli effetti prodotti dall'intervento in progetto rispetto alle condizioni idrauliche attuali nel tratto del corso d'acqua interessato.

L'indagine si è sviluppata secondo i seguenti punti:

- analisi degli aspetti morfologici, delle caratteristiche dell'alveo e dell'ambito fluviale;
- rilievo dello stato di fatto con ricostruzione di dettaglio delle sezioni d'alveo;
- modellazione del deflusso della piena;
- verifica delle condizioni di compatibilità richieste dalla normativa.

### 3. Descrizione del manufatto in progetto

Il progetto prevede la realizzazione di una passerella con appoggi in asse di luce 57,00 m esterni all'alveo di magra; in lato orografico destro e sinistro del fiume ci sono poi appoggi in asse di luce 12,00 m.

La passerella di luce 57,00 m è costituita da fondazioni in calcestruzzo armato in appoggio su coppie di pali infissi nel terreno, antenne di attacco degli stralli in acciaio con forma ad A costituite da sezioni in tubolare circolare e tiranti posteriori che ancorano l'antenna al suolo; l'impalcato ha struttura portante in acciaio cor-ten, formato da travi portanti a sezione IPE600, travi secondarie IPE180 e controventi CNP80 a croce nel piano orizzontale. La sezione trasversale dell'impalcato ha una larghezza massima di 3220 mm.

La pavimentazione è in doghe materiale WPC.

Le prime campate a destra e a sinistra delle antenne, con luce pari a 12,00 m sono costituite da fondazioni in calcestruzzo armato in appoggio su coppie di pali infissi nel terreno, strutture in elevazione costituite da doppio palo a sezione circolare tralicciato nella direzione trasversale; l'impalcato ha struttura portante in acciaio cor-ten, formato da travi portanti a sezione IPE600, travi secondarie IPE180 e controventi CNP80 a croce nel piano orizzontale. La sezione trasversale dell'impalcato ha una larghezza massima di 3220 mm.

La pavimentazione è in doghe materiale WPC.

Le restanti campate in lato Calcio e Urago d'Oglio hanno luce 12,00 m, sono costituite da fondazioni in calcestruzzo armato, strutture in elevazione costituite da doppio palo a sezione circolare tralicciate nella direzione trasversale; l'impalcato è con struttura in tegoli a PiGreco prefabbricati, getto di completamento in cls alleggerito con rete elettrosaldata e finitura della pavimentazione con tappetino antiscivolo colorato. La sezione trasversale dell'impalcato ha una larghezza massima di 3220 mm.

Il parapetto della struttura in progetto è realizzato in acciaio inox con protezione in tubolare e rete inox in maglia quadrata.

Nelle figure 2 e 3 seguenti sono riportati alcuni estratti di progetto (pianta, prospetto e vista 3D).

Per ulteriori dettagli costruttivi si rimanda agli elaborati specifici.

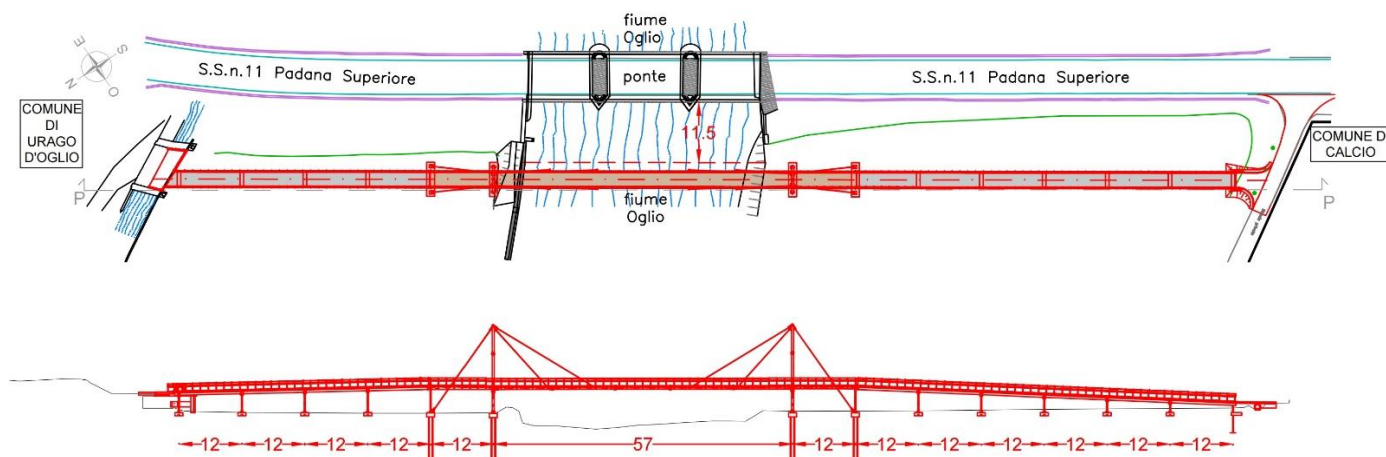


Figura 2 – Pianta e prospetto di progetto



Figura 3 – Vista 3D di progetto

#### **4. Rilievo plano-altimetrico**

Al fine di effettuare una corretta modellazione idraulica, è stato eseguito un rilievo topografico delle sezioni e dei manufatti presenti nel tratto oggetto di studio fornito dalla committenza, elaborato da GON S.r.l. S.t.p.

Il tratto del fiume Oglio analizzato è pari a circa 500 m.

Per la modellazione idraulica si sono utilizzate le sezioni fornite dall’Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO), estrapolate dal geoportale della stessa Agenzia.

Le suddette sezioni sono infine state integrate con ulteriori misurazioni GPS.

Le sezioni utilizzate per la modellazione idraulica sono indicate in planimetria nella figura 4.

I dettagli delle sezioni sono invece riportati negli allegati 1 – 2 – 3 – 4 – 5:

- Allegato 1: SEZIONE AIPO 136.03; SEZIONE 1; SEZIONE 2
- Allegato 2: SEZIONE 3; SEZIONE 4; SEZIONE 5
- Allegato 3: SEZIONE PASSERELLA IN PROGETTO; SEZIONE 6; SEZIONE PONTE ESISTENTE
- Allegato 4: SEZIONE AIPO 136.01.P; SEZIONE 7
- Allegato 5: SEZIONE 8; SEZIONE AIPO 136; SEZIONE 9



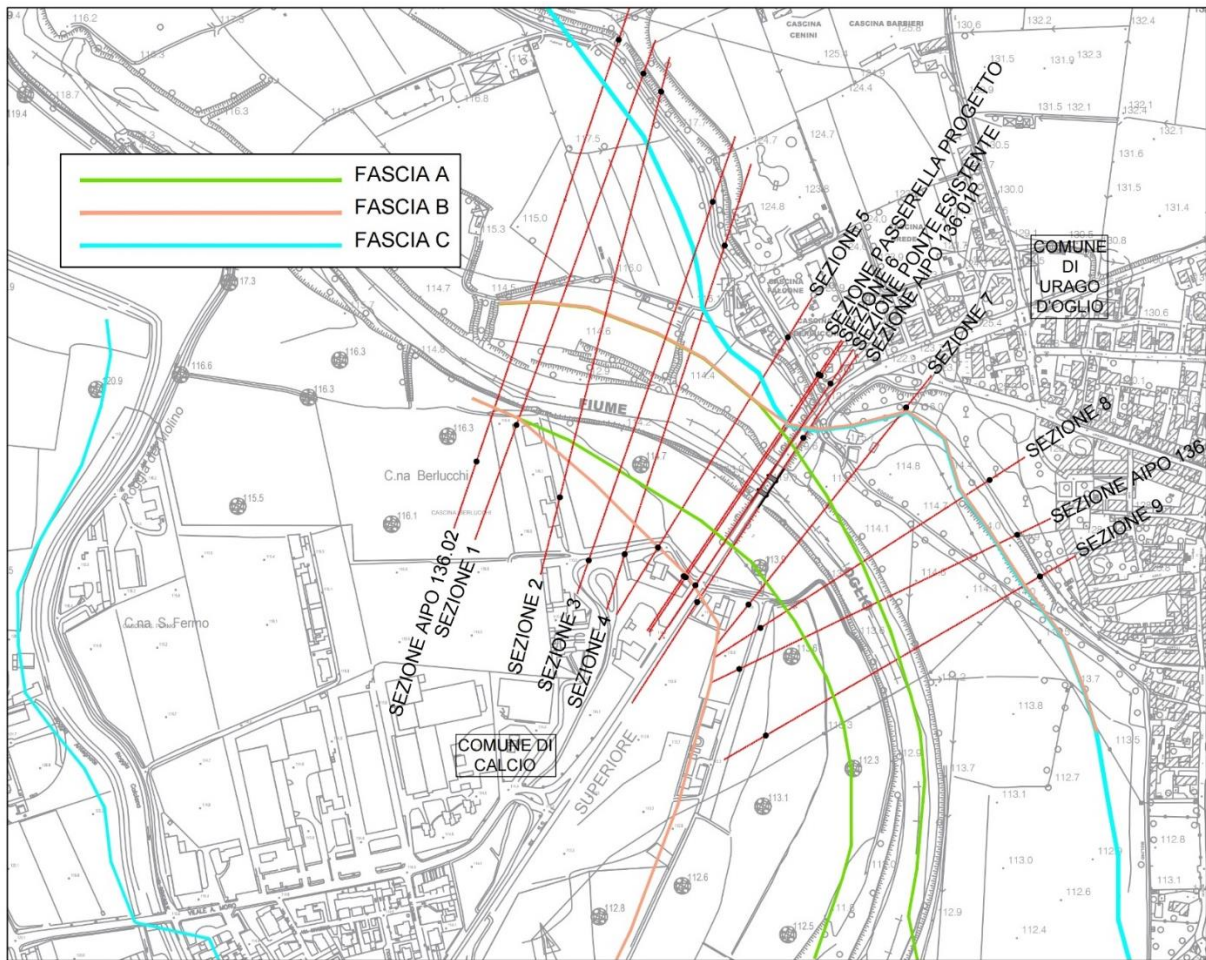


Figura 4 – Planimetria con indicazione delle sezioni utilizzate per la modellazione

## 5. Dati del bacino e del fiume

Il Fiume Oglio scorre per una lunghezza complessiva di 280 km e il suo bacino imbrifero occupa una superficie complessiva di 6.360 km<sup>2</sup>. Il fiume nasce a Ponte di Legno, alla confluenza dei torrenti Frigidolfo, proveniente dal Gavia, e Norcanello, proveniente dalla Val Sozzine. Dopo circa 130 km, il fiume si immette nel Lago d'Iseo da cui sfocia all'altezza di Sarnico. Il tratto di Oglio sublacuale, scorre per altri 150 km prima di immettersi nel Fiume Po, poco a monte di Borgoforte.

Nella prima parte del suo percorso il fiume Oglio sublacuale segue la direzione nord-sud per circa 60 km; più a valle piega verso est secondo la pendenza naturale della pianura padana e in tale zona riceve in sinistra idrografica le acque dei due affluenti principali, il Mella e il Chiese. Altri importanti affluenti del Fiume Oglio sublacuale sono i fiumi Cherio e Strona.

Il fiume nel suo tratto sublacuale attraversa, nell'ordine, le province di Brescia, Bergamo, Cremona e Mantova. Fino alla confluenza con il Fiume Mella, il corso del Fiume Oglio sublacuale è interamente ricompreso all'interno del Parco Oglio Nord.

L'Oglio sublacuale, nel suo tratto iniziale che scorre nella provincia bergamasca e bresciana, è un corso d'acqua planiziale che attraversa aree a scarsa naturalità, più che altro in cui si alternano colture di mais e centri urbanizzati. In questo tratto il fiume ha una bassa pendenza, alveo poco inciso con fondo ciottoloso e scarsa presenza di vegetazione golenale; la corrente è concentrata in un unico alveo. Fino a Palazzolo sull'Oglio il fiume assume andamento sinuoso e si snoda in un fondovalle stretto tra alte scarpate di erosione. In questo tratto il fiume ha una bassa pendenza ed è caratterizzato principalmente da una tipologia idraulico-morfologica a *run* intervallata da pochi tratti *riffle* nelle zone di maggiore pendenza.

Il tratto che scorre tra la foce del Fiume Cherio e il Fiume Mella ha andamento irregolare con presenza di molte difese spondali. L'alveo si presenta inciso con larghezza media di 150-200 m con sedimenti a granulometria compresa tra i ciottoli ghiaiosi e le sabbie più o meno fini con pendenza molto elevata. La parte che va da Soncino alla confluenza con il Mella l'alveo è monocursale meandriforme con presenza di lanche e paleoalvei.

Il tratto centrale del fiume, condiviso tra la provincia cremonese e bresciana, è caratterizzato dalla presenza di aree a elevata naturalità.

In generale, il fiume è regolato fin dall'incile e lungo il suo corso sono presenti numerose derivazioni sia a scopo idroelettrico sia irriguo. Anche l'ampiezza dell'alveo bagnato varia fortemente a seconda delle portate e della morfologia delle sponde. L'alveo ha carattere monocursale ed è caratterizzato dalla presenza di molte lanche e meandri tagliati.

Per definire la geometria dell'alveo da utilizzare per la modellizzazione idraulica del corso d'acqua sono state utilizzate le sezioni fornite dal geoportale AIPO integrandole nel tratto in cui è prevista la realizzazione del nuovo ponte con ulteriori sezioni ricavate dai rilievi topografici e batimetrici realizzati appositamente. Tali sezioni sono localizzate a monte ed a valle del tratto in oggetto, in particolare in corrispondenza del futuro ponte ciclo-pedonale. Tutte le sezioni sono riportate in Appendice.

Per quello che riguarda più propriamente l'area in esame, si osserva come questa sia individuata, nelle mappe del PGRA, come ambito interessato dalle possibili esondazioni del fiume Oglio, quale corso d'acqua del Reticolo principale (RP).

La delimitazione e la classificazione delle aree allagabili sono contenute nelle mappe della pericolosità del PGRA, per diversi scenari di pericolosità:

- aree P3 (H nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- aree P2 (M nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;

- aree P1 (L nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare.

Il tempo di ritorno della piena di riferimento è quello corrispondente allo scenario di pericolosità poco frequente (P2), come definito nel PGRA e per il Fiume Oglio è pari a 200 anni.

I tempi di ritorno associati alle frequenze previste dalla Direttiva Alluvioni, sono i seguenti:

- Alluvioni frequenti (P3/H) tempo di ritorno 20 anni;
- Alluvioni poco frequenti (P2/M) tempo di ritorno 200 anni;
- Alluvioni rare (P1/L) tempo di ritorno 500 anni.

Nella seguente figura 5 sono rappresentati gli stralci della mappa della pericolosità del PGRA, per tutti i tre eventi alluvionali previsti nel PGRA, relativi all'area oggetto del presente studio.

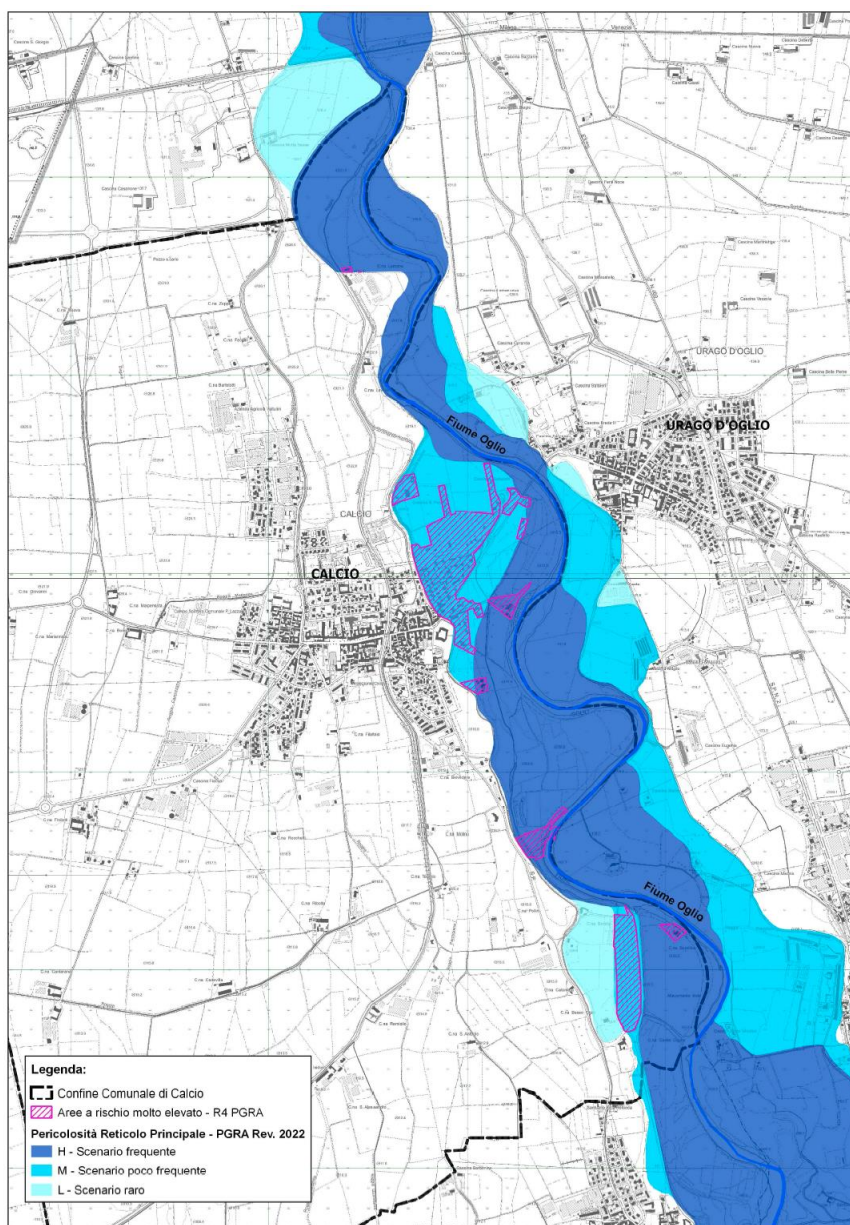


Figura 5 – Stralcio mappa PGRA

Come è evidente dalla figura, le sezioni fluviali sono attualmente insufficienti a contenere le portate idrologiche calcolate che, quindi, attualmente non possono transitare nella sezione del ponte. Tuttavia, nel seguito si utilizzerà la portata idrologica indicata da AIPO per verificare l'effetto del nuovo manufatto di attraversamento in progetto.

La portata utilizzata per le simulazioni è stata tratta dalla tabella 4.4 del “Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni” ex Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010, “Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale” redatta da AIPO nel Marzo 2016, come da indicazioni ricevute via PEC della Segreteria Tecnica di Adbpo del 19 ottobre 2022.

## **6. Verifica idraulica**

### **6.1 Il modello di calcolo utilizzato – HEC RAS**

Il modello idraulico è stato costruito con il software Hec-Ras (versione 6.3.1), sviluppato a partire dal 2002 presso l'Hydrologic Engineering Center dell'United States Army Corps of Engineers, che consente il calcolo dei profili idraulici in reti di canali naturali o artificiali.

La procedura utilizzata nei calcoli si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia; le perdite di carico valutate sono quelle distribuite (equazione di Manning) e quelle localizzate causate dalla contrazione o espansione della vena liquida (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica).

L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni; ciò si verifica: in condizione di regime misto, nei punti di passaggio da corrente veloce a lenta, in corrispondenza dei ponti e delle tombinature, oppure nei pressi delle confluenze fra corsi d'acqua.

Nei calcoli possono essere considerati gli effetti di punti singolari quali ponti, tombinature di varia forma e con aperture singole o multiple, soglie sfioranti e paratoie; inoltre si possono confrontare e valutare direttamente gli effetti indotti da una sistemazione idraulica (riprofilatura o arginatura) riportando sulle stesse sezioni trasversali del corso d'acqua la traccia del pelo libero nelle condizioni post – operam ed ante – operam.

Utilizzando un procedimento iterativo, il software determina il profilo di moto permanente risolvendo l'equazione:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + h_e$$

dove:

$Y_1, Y_2$ : altezza d'acqua nella sezione trasversale;

$Z_1, Z_2$ : quota del fondo nella sezione trasversale;

$V_1, V_2$ : velocità media nella sezione trasversale;

$\alpha_1, \alpha_2$ : coefficiente di Coriolis;

$g$ : accelerazione gravitazionale  $9.8 \text{ m/s}^2$ ;

$h_e$ : perdita di carico totale tra le sezioni 1 e 2.

Le perdite di carico tra due sezioni comprendono sia la dissipazione localizzata che quella distribuita; l'equazione è la seguente:

$$h_e = L \cdot S_f + C \cdot \left| \alpha \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove:

$L$ : distanza tra le due sezioni contigue 1 e 2;

$S_f$ : pendenza della linea dell'energia;

$C$ : coefficiente per le perdite di carico localizzate.

Per la determinazione del valore della pendenza motrice  $S_f$  il programma calcola la conduttanza totale della sezione trasversale sommando la conduttanza di tutte le parti della sezione trasversale comprese fra due punti contigui. La conduttanza può essere così definita:



$$Q = K \cdot \sqrt{S_f}$$

dove:

$K = \frac{1.486 \cdot A \cdot R^{2/3}}{n}$  = conduttanza della porzione di golena considerata;

$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning;

$A$  = area della sezione idrica;

$R$  = raggio idraulico.

Per la determinazione delle perdite di carico localizzate, il programma valuta la variazione del termine cinetico tra due sezioni contigue e lo moltiplica per il coefficiente di contrazione/espansione della vena liquida.

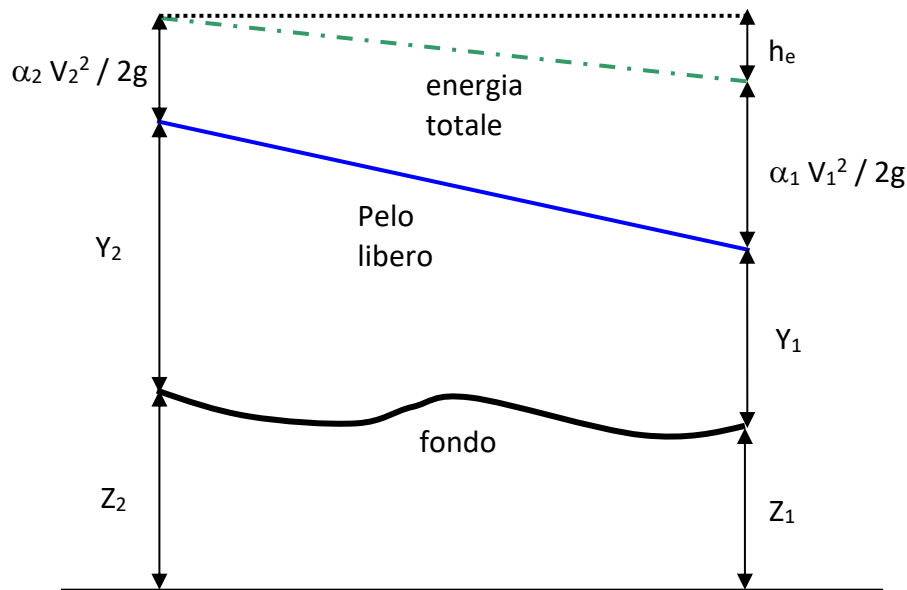


Figura 6 – Bilancio dell'energia.

Considerando la figura 6 e indicando con  $WS = Z + Y$  il livello della corrente, la procedura seguita dal programma per la definizione del profilo idrico risulta così schematizzabile<sup>1</sup>:

- si assume un valore di primo tentativo  $WS_{ass-2}^{1\wedge}$  nella sezione incognita (sezione 2) e lo si pone pari alla quota nota della sezione 1 ( $WS_1$ );
- dal rilievo topografico delle sezioni si determinano per le golene e l'alveo inciso area e perimetro bagnati e raggio idraulico:  $A_j$ ,  $P_j$ ,  $R_j$  e la somma  $A = \sum_{j=1}^3 A_j$ ;
- si calcolano le conduttività idrauliche (conduttanza) delle 3 parti  $K_j$  e la loro somma  $K_{TOT}$ ;
- si calcolano i valori  $\frac{K_j^3}{A_j^2}$  e  $\sum_{j=1}^3 \frac{K_j^3}{A_j^2}$ ;
- si determinano il coefficiente  $\alpha$  e la velocità media della corrente ( $U$ ) come:

$$\alpha = \frac{(\sum_{j=1}^3 A_j)^2}{(\sum_{j=1}^3 K_j)^3} \cdot \sum_{j=1}^3 \frac{K_j^3}{A_j^2}$$

$$U = \frac{Q}{\sum_{j=1}^3 A_j}$$

e quindi si ricava il termine cinetico

<sup>1</sup> La seguente procedura è formulata per il caso di corrente lenta: è quindi nota la quota di valle,  $WS_a$ . Per una corrente veloce si segue la stessa procedura procedendo da monte.

$$\alpha \cdot \frac{U^2}{2g}$$

- si calcolano le perdite distribuite determinando la pendenza motrice

$$S_f = \left( \frac{Q}{K_{TOT}} \right)^2$$

- si calcolano le perdite concentrate di allargamento e restringimento;
- dall'equazione dell'energia si determina la WS calcolata, secondo:

$$WS_{calc}^1 = WS_1 + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \Delta h_e - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

- si determina l'errore della prima iterazione come:

$$err^{1^{\wedge}} = WS_{ass2}^{1^{\wedge}} - WS_{calc2}$$

- si assume come valore di secondo tentativo una quota del pelo libero pari a quella dell'iterazione precedente diminuita del 70% dell'errore:

$$WS_{ass2}^{2^{\wedge}} = WS_{ass2}^{1^{\wedge}} - 0.7 * err^{1^{\wedge}}$$

- si ripetono i passi precedenti calcolando una  $WS_{calc}^2$  (di secondo tentativo) e si determina l'errore di secondo tentativo come:

$$err^{2^{\wedge}} = WS_{ass2}^{2^{\wedge}} - WS_{calc2}^{2^{\wedge}}$$

Se l'errore è minore della tolleranza (0.003 m di default) ci si ferma al secondo valore di pelo libero calcolato, altrimenti si arriva a convergenza col metodo della secante.

## 6.2 Simulazioni effettuate in stato di fatto

I dati utilizzati per le simulazioni sono stati descritti in precedenza. Per quello che riguarda la modellazione, i valori di scabrezza utilizzati in tutte le simulazioni, espressi con il coefficiente di Manning, è pari a 0.04 s m<sup>-1/3</sup> per l'alveo di magra e pari a 0.045 s m<sup>-1/3</sup> per le sezioni golenali.

In figura 7 è riportato lo schema delle sezioni implementate in Hec-Ras.

Come è evidente, i risultati ottenuti con un modello monodimensionale non possono essere comparati con quelli di un modello bidimensionale o comunque con i dati di allagamento registrati sul campo. Come descritto precedentemente, infatti, è da rilevare l'insufficienza dell'alveo a contenere le portate duecentennali, che quindi invadono il terreno e procurano allagamenti. Tuttavia, si è scelto di operare con un modello monodimensionale e, come detto, di considerare la portata idrologica indicata da AIPO coincidente alla portata idraulica in considerazione dei possibili futuri adeguamenti delle sezioni idrauliche che potranno consentire a tale valore di portata di giungere nelle sezioni dove sono posti gli attraversamenti: esistente ed in progetto. È del tutto evidente che le dette sezioni devono consentire il passaggio di quella portata e pertanto con tale valore devono essere verificate; viceversa, qualora venissero considerate le esondazioni, la portata transitante nelle sezioni ove sono posti gli attraversamenti sarebbe minore.

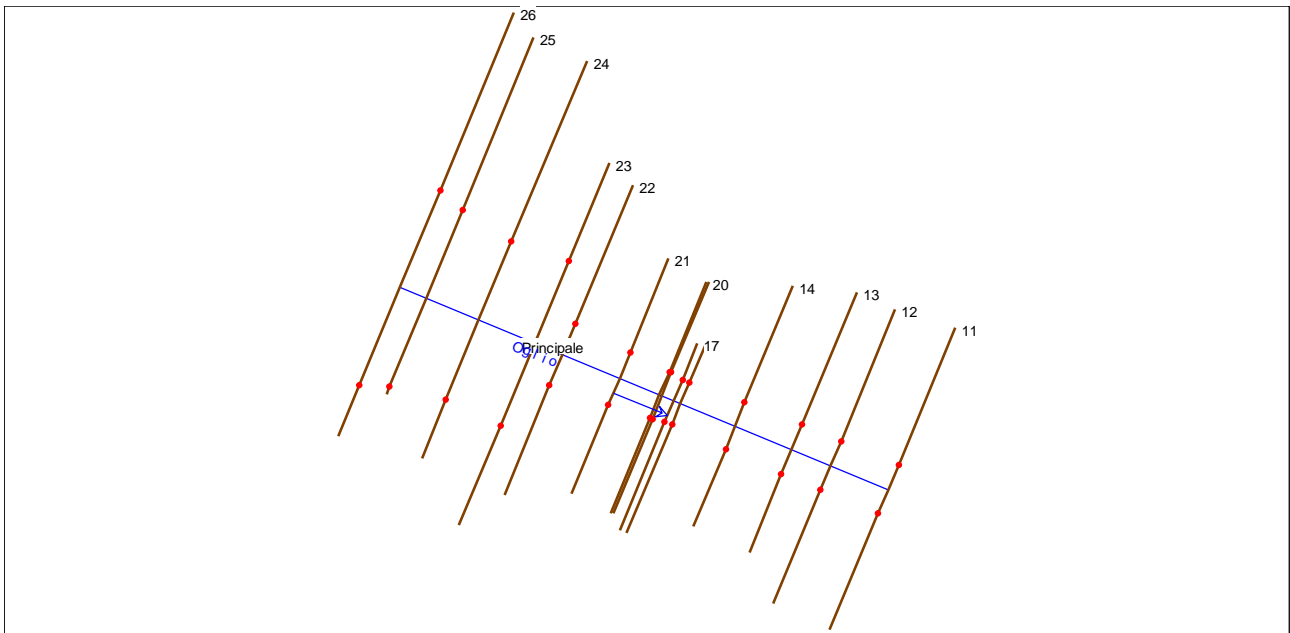


Figura 7 – Inserimento delle sezioni nel programma di calcolo (stato di progetto).

In definitiva, quindi, come visibile in figura 8 per la sezione AIPO 136.02, si è imposto al programma di calcolo di contenere la portata imposta anche innalzando fittiziamente gli argini.

La figura 9, invece, riporta la sezione con il ponte esistente, come descritta nei documenti AIPO ed ivi identificata come sezione 136.01 P. Si osserva come questa sezione sia ampiamente sufficiente a consentire il passaggio della portata duecentennale, con le caratteristiche del moto riportate nella tabella 1.

Infine, in figura 11 si riporta la sezione 6, ovvero dove è prevista la costruzione della nuova passerella ciclo-pedonale. Anche in questo caso, nella medesima tabella 2 sono riportate le caratteristiche del moto in forma analitica.

In particolare sono evidenziate le sezioni di calcolo 20, corrispondente alla sezione 6 del rilievo, ovvero quella dove è ipotizzata la costruzione del nuovo manufatto, e le stazioni 19 e 17, rispettivamente poste a monte ed a valle del ponte esistente.

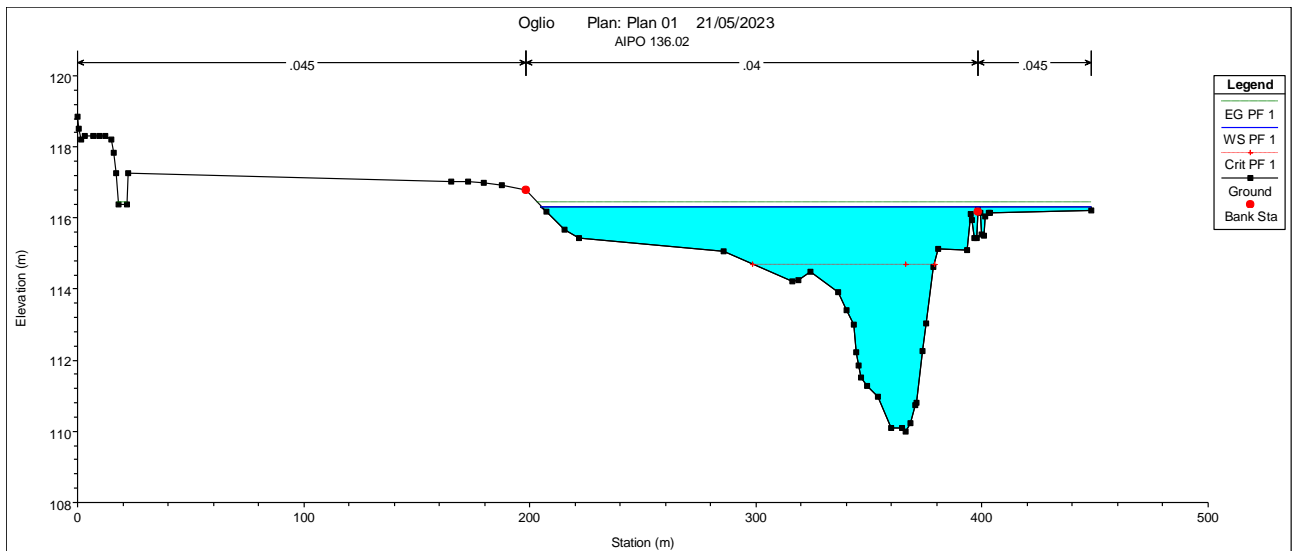


Figura 8 – Sezione AIPO 136.02, stato di fatto, in occasione del passaggio della piena duecentennale.

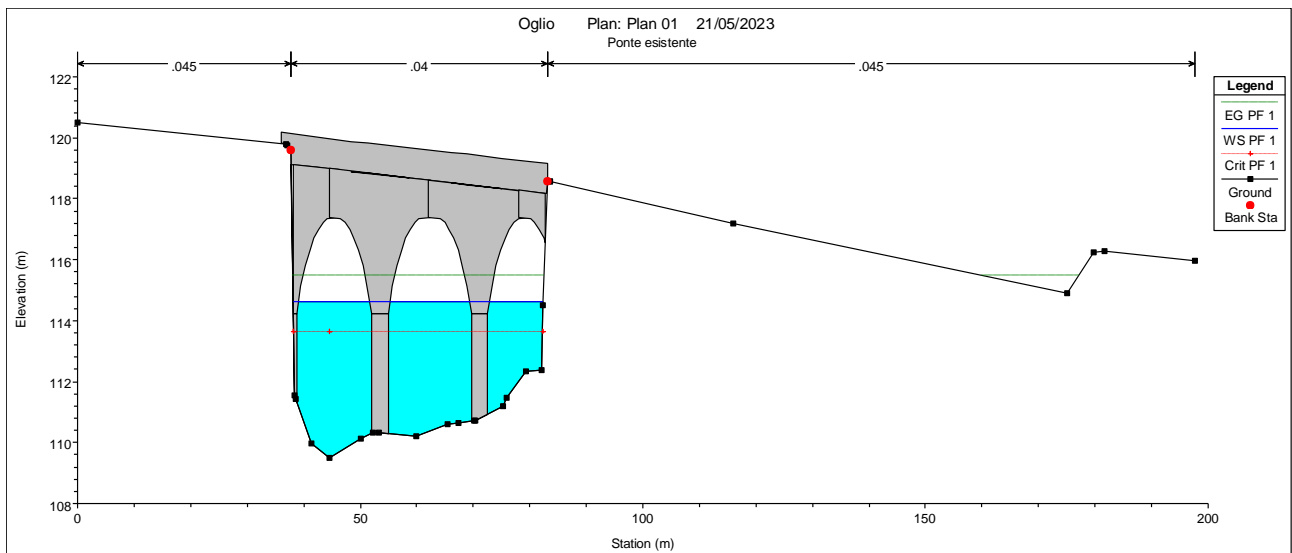


Figura 9 – Sezione AIPO 136.01 P – ponte esistente, stato di fatto, in occasione del passaggio della piena duecentennale.



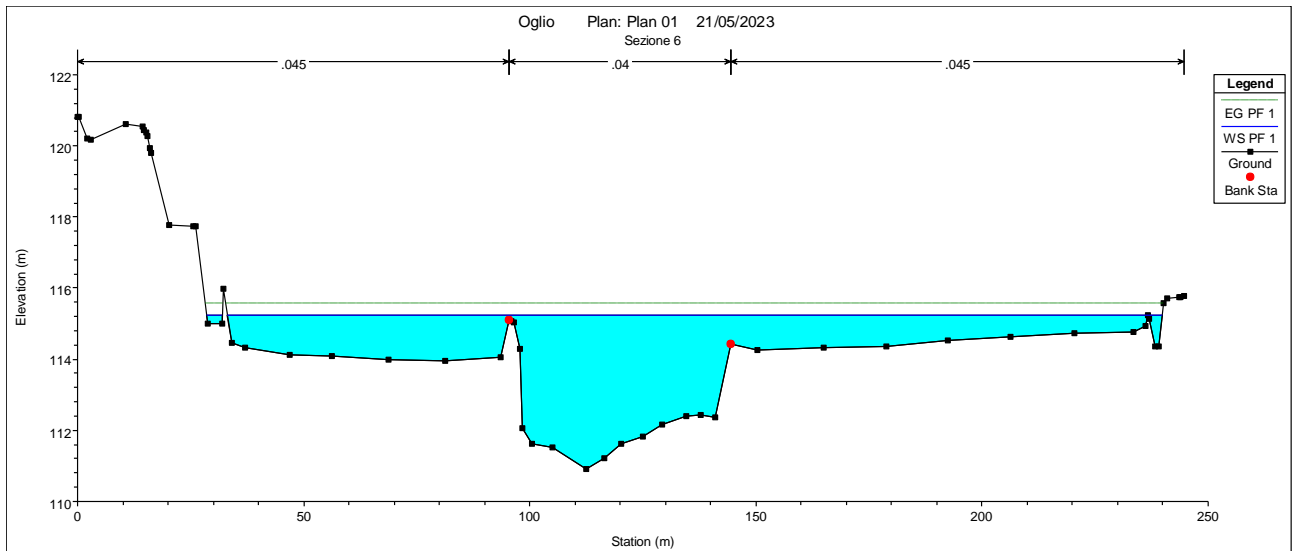


Figura 10 – Sezione 6, stato di fatto, in occasione del passaggio della piena duecentennale.

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Principale	26	PF 1	620.00	109.99	116.29	114.71	116.42	0.001641	1.60	393.66	242.88	0.36
Principale	25	PF 1	620.00	110.26	115.98		116.33	0.005342	2.59	240.42	144.09	0.63
Principale	24	PF 1	620.00	109.53	115.89		116.08	0.002451	1.95	335.47	220.57	0.44
Principale	23	PF 1	620.00	110.01	115.83		115.94	0.001802	1.47	422.09	263.68	0.37
Principale	22	PF 1	620.00	111.04	115.78		115.89	0.001775	1.47	423.78	261.19	0.36
Principale	21	PF 1	620.00	110.59	115.30		115.72	0.003072	3.01	266.97	221.41	0.53
Principale	20	PF 1	620.00	110.92	115.20		115.56	0.003297	2.99	288.47	209.91	0.54
Principale	19	PF 1	620.00	109.50	114.98	113.35	115.52	0.002820	3.23	191.79	46.26	0.50
Principale	18		Bridge									
Principale	17	PF 1	620.00	109.50	114.82		115.39	0.003181	3.36	184.44	44.35	0.53
Principale	16	PF 1	620.00	107.96	114.97		115.16	0.001487	2.01	360.38	169.59	0.36
Principale	15	PF 1	620.00	109.61	114.77		115.02	0.003544	2.39	298.06	184.21	0.53
Principale	14	PF 1	620.00	109.78	114.62		114.91	0.001932	2.62	319.41	242.29	0.43
Principale	13	PF 1	620.00	108.61	114.62	112.25	114.80	0.001002	2.10	431.75	289.48	0.31

Tabella 1: Caratteristiche della corrente lungo il tratto di fiume in stato di fatto per portata duecentennale.

### 6.3 Simulazioni effettuate in stato di progetto

Le medesime simulazioni sono state condotte avendo inserito il manufatto in corrispondenza della sezione 6, come da elaborati di progetto. Il risultato è visibile graficamente nella figura 11 e numericamente le caratteristiche della corrente sono riportate nella tabella 2.

Anche in questo caso in tabella sono evidenziate le sezioni di calcolo 20 e 18, rispettivamente a monte ed a valle del nuovo manufatto in progetto; e le sezioni di calcolo 17 e 15, rispettivamente a monte ed a valle del ponte esistente.

Come si osserva, rispetto alla condizione esistente, il nuovo manufatto impone un rigurgito di 9 centimetri; infatti l'altezza dell'acqua calcolata passa da 115.20 m prima della costruzione dell'attraversamento ciclo-pedonale ad un valore di 115.29 m a monte dello stesso, per poi raggiungere la quota di 115.27 a valle del manufatto.

Non vi sono differenze relative al passaggio nella sezione del ponte esistente nelle due condizioni di stato di fatto e di stato di progetto.

Risulta del tutto evidente a chi scrive che la precisione della modellazione non può spingersi ad apprezzare una variazione di altezza di pochi centimetri. In altri termini, non è da ritenersi sufficientemente accurato il risultato ottenuto. Tuttavia, questo risultato porta a ritenere senz'altro l'influenza del nuovo manufatto come *trascurabile* anche in condizioni di piena, a causa della presenza delle pile solo in alveo golenale (dove le velocità della corrente sono ridotte, e quindi tali anche le perdite di carico indotte) e la leggerezza della struttura.

Si osserva, inoltre, che anche il franco idraulico di sicurezza risulta ampiamente rispettato.

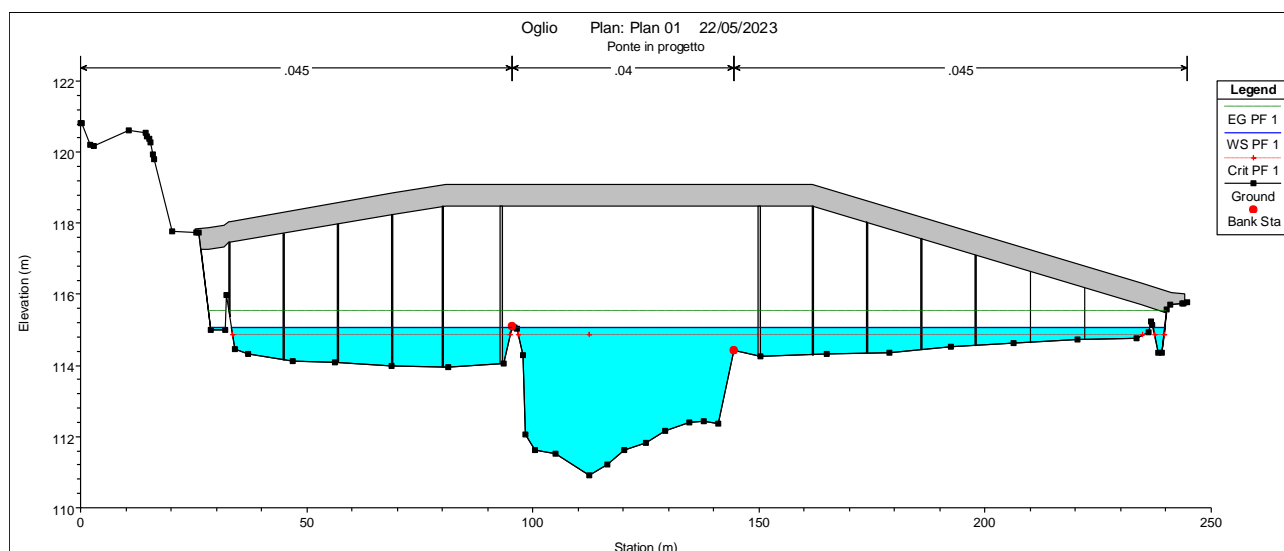


Figura 11 – Sezione 6, stato di progetto, in occasione del passaggio della piena duecentennale, con inserito il manufatto di attraversamento.

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Principale	26	PF 1	620.00	109.99	116.33	114.71	116.46	0.001763	1.57	402.84	243.44	0.35
Principale	25	PF 1	620.00	110.26	116.03		116.35	0.006035	2.52	247.32	152.02	0.62
Principale	24	PF 1	620.00	109.53	115.90		116.09	0.002803	1.93	337.48	220.59	0.44
Principale	23	PF 1	620.00	110.01	115.81		115.94	0.001830	1.66	418.49	263.15	0.36
Principale	22	PF 1	620.00	111.04	115.71		115.89	0.001503	2.07	407.30	260.84	0.35
Principale	21	PF 1	620.00	110.59	115.38		115.74	0.003091	2.86	284.28	222.48	0.50
Principale	20	PF 1	620.00	110.92	115.29	114.87	115.59	0.003096	2.75	309.03	210.44	0.49
Principale	19		Bridge									
Principale	18	PF 1	620.00	110.92	115.27		115.58	0.003245	2.80	303.30	210.35	0.50
Principale	17	PF 1	620.00	109.50	114.98	113.35	115.51	0.003271	3.24	191.56	46.10	0.50
Principale	16		Bridge									
Principale	15	PF 1	620.00	109.50	114.81		115.39	0.003693	3.37	184.17	44.35	0.53
Principale	14	PF 1	620.00	107.96	114.95		115.17	0.001235	2.22	356.51	169.52	0.32
Principale	13	PF 1	620.00	109.61	114.76		115.06	0.002188	2.61	296.84	183.79	0.42
Principale	12	PF 1	620.00	109.78	114.72		114.97	0.001892	2.45	344.10	268.89	0.39
Principale	11	PF 1	620.00	108.61	114.70	112.25	114.85	0.001000	1.97	456.48	289.73	0.29

Tabella 2: Caratteristiche della corrente lungo il tratto di fiume in stato di progetto per portata duecentennale.



## **7. Conclusioni**

Dal punto di vista idraulico, la passerella ciclo-pedonale in progetto risulta verificata. Nel seguito si fa riferimento alle norme di attuazione del PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) approvate con deliberazione del Comitato Istituzionale n.2 dell'11 maggio 1999 – aggiornate con deliberazione n. 10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006 sanciscono, tra le altre cose, i criteri di compatibilità idraulica per i ponti e i rilevati di accesso in progetto, riportate nella direttiva n. 4 "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B".

Citando esplicitamente la norma:

*(...) il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte deve essere non inferiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1.00 m; il valore del franco deve essere assicurato per almeno i 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non sia rettilineo e comunque per almeno 40 m, nel caso di luci superiori a tale valore. Nel caso di corsi d'acqua arginati, la quota di intradosso del ponte deve essere superiore a quella della sommità arginale. Il franco minimo tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di sommità del rilevato di accesso al ponte (piano viabile) deve essere non inferiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1.00 m (...)*

Come si vede dalle simulazioni, il valore del franco è assicurato per buona parte della luce; oltre a ciò, si deve rilevare come l'effetto delle pile poste in golena sulla corrente è da considerarsi trascurabile.

A seguito di quanto detto si può concludere che la compatibilità idraulica relativa la realizzazione del ponte ciclo-pedonale sul fiume Oglio risulta verificata.

## 8. Bibliografia

- A. Armanini, *Principi di idraulica fluviale*, Ed. Bios, Cosenza, 1999
- F. Arredi, *Costruzioni idrauliche*, vol. 1, Ed. UTET, Torino, 1980
- H.H. Chang *Fluvial Processes in River Engineering*. John Wiley & Sons Pub., New York, 1988
- V.T. Chow, *Open-Channel Hydraulics*, Mc.Graw-Hill, 1959
- V.T. Chow, *Handbook of applied hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1964
- D. Citrini, G. Nosedà, *Idraulica*, Casa Editrice Ambrosiana, Milano, 1976
- L. Da Deppo, C. Datei, *Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali*, Ed. Bios, 1994
- L. Da Deppo, C. Datei, P. Salandin *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Ed. Libreria Cortina, Padova, 1994
- V. Ferro, *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2002
- R.H. French, *Open-Channel Hydraulics*, Mc.Graw-Hill, 1985.
- HEC-RAS, River Analysis System, *Hydraulic Reference Manual*, Version 6.3.1, US Army Corps of Engineers, Institute for water resources, Hydrologic Engineering Center
- HEC-RAS, River Analysis System, *User's Manual*, Version 6.3.1, US Army Corps of Engineers, Institute for water resources, Hydrologic Engineering Center
- U. Maione, U. Moisello, *Elementi di statistica per l'idrologia*, Ed. La Goliardica Pavese, 1993
- U. Maione, *Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, Pavia, 1977
- U. Maione, A. Brath, *La difesa idraulica del territorio*, Ed. Bios, 1996
- U. Maione, A. Brath, *La difesa idraulica dei territori fortemente antropizzati*, Ed. Bios, 1997
- E. Marchi, A. Rubatta *Meccanica dei Fluidi* Ed. UTET, 1981
- J. A. Maza Alvarez, *Introduction to river engineering*, Università Italiana per stranieri, Advanced course on water resources management, Perugia, 1989
- A. Paoletti, *Lezioni di idraulica fluviale*, Istituto di Idraulica del Politecnico di Milano

## INDICE

1.	Introduzione.....	2
2.	Contenuto dello studio di compatibilità .....	2
3.	Descrizione del manufatto in progetto.....	3
4.	Rilievo piano-altimetrico.....	4
5.	Dati del bacino e del fiume .....	6
6.	Verifica idraulica.....	8
6.1	Il modello di calcolo utilizzato – HEC RAS .....	8
6.2	Simulazioni effettuate in stato di fatto .....	10
6.3	Simulazioni effettuate in stato di progetto.....	15
7.	Conclusioni.....	17
8.	Bibliografia .....	18

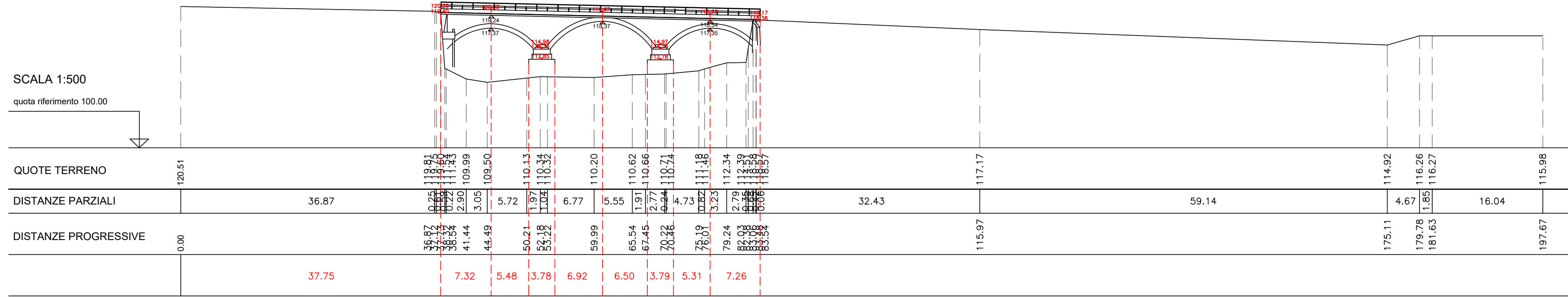








SEZIONE AIPO 136.01.P



SEZIONE 7

