



PARCO OGLIO NORD



GREENWAY DELL'OGLIO

PROGETTO LOTTO 22-A

***Nuova passerella ciclopedonale ed
itinerario ciclopedonale tra i comuni
di Monticelli d'Oglio - Monasterolo – Robecco***

PROGETTO ESECUTIVO

C - RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DEL PONTE - PASSERELLA SUL FIUME OGLIO

***Studio d'Ingegneria ed Architettura
Ing. Giuseppe Cimini***

Via Milano, 56 – 26100 CREMONA (CR)

Tel. 0372446030 - 3382809656 - mail:ciminig@libero.it

Aggiornamento del 13.10.14



PARCO OGLIO NORD
Piazza Garibaldi 15 - 25034 Orzinuovi (BS)

Verifica della compatibilità idraulica del ponte ciclo-pedonale sul fiume Oglio - collegamento tra Monticelli d'Oglio e Monasterolo



Elaborato				Tavola n°:
Relazione Idraulica				
Ns. Rif.	Data:	Scala:	Dim. Foglio:	Timbro e firma:
14N29	Luglio 2014			
RESPONSABILE TECNICO : Dott. Ing. Massimo SARTORELLI				
PROGETTAZIONE : Dott. Ing. Massimo SARTORELLI				
				Via Repubblica n.1 21020 - Varano Borghi (VA) -IT tel.: +39 0332.961097 fax: +39 0332.961162 massimo.sartorelli@bluprogetti.eu

INDICE

1.0	INTRODUZIONE.....	2
1.1	Premessa.....	2
1.2	Struttura del documento.....	2
2.0	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE.....	3
2.1	Rilievo plano-altimetrico.....	3
2.2	Rilievo Batimetrico	5
2.3	Modello idraulico	7
3.0	ASPETTI TEORICI DEL MODELLO IDRAULICO.....	8
3.1	Ipotesi di moto permanente	8
3.2	Regimi di flusso.....	8
3.3	Equazioni di base utilizzate per il calcolo del profilo	8
3.4	Passaggio all'altezza critica	10
3.5	Applicazione dell'equazione del momento (Momentum Equation)	11
4.0	ANALISI IDRAULICA.....	12
4.1	Il Fiume Oglio.....	12
4.2	Caratteristiche generali del sito.....	13
4.2.1	L'area di intervento secondo il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)	13
4.3	Geometria del canale.....	16
4.3.1	Sezioni.....	16
4.3.2	Manufatto in progetto.....	18
4.4	Condizioni al contorno	21
4.5	Scabrezza di calcolo e valori di portata adottati.....	21
4.6	Risultati	22
4.6.1	Verifica del franco di sicurezza.....	26
4.6.2	Confronto tra stato attuale e stato di progetto	28
4.6.3	Analisi delle velocità dell'acqua in corrispondenza del ponte	29
5.0	CONCLUSIONI.....	30
	ALLEGATI	31

1.0 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Il presente documento, predisposto da Blu Progetti s.r.l. su incarico del Parco Oglio Nord, costituisce la relazione idraulica conclusiva dell'attività che prevedeva la verifica di compatibilità idraulica da effettuare nell'ambito della pratica relativa la realizzazione di un ponte ciclo-pedonale sul fiume Oglio, che consentirà il collegamento tra la sponda destra e quella sinistra tra i comuni rispettivamente di Monasterolo (CR) e Monticelli d'Oglio (BS).

A tal fine, in data 02 Luglio 2014 si è eseguito il rilievo topografico e batimetrico del tratto di fiume oggetto di studio, con lo scopo di effettuare una corretta modellazione idraulica finalizzata a verificare il rispetto del necessario franco minimo di sicurezza, così come indicato dalle 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.

Successivamente i dati rilevati sono stati utilizzati per l'implementazione di un modello idraulico monodimensionale. Nella presente relazione tecnica vengono illustrate le modalità operative adottate, le elaborazioni effettuate ed i risultati ottenuti.

1.2 Struttura del documento

La presente relazione è composta dai seguenti Capitoli:

- *Introduzione (Capitolo 1.0)*: in cui si definisce lo scopo e la struttura del documento;
- *Descrizione delle attività svolte (Capitolo 2.0)*: in cui si relaziona in merito alle attività svolte, la strumentazione e i software utilizzati;
- *Aspetti teorici del modello idraulico (Capitolo 3.0)*: in cui si descrivono le ipotesi e le equazioni su cui è basato il software utilizzato per la modellazione idraulica;
- *Analisi Idraulica (Capitolo 4.0)*: in cui si entra nel merito della modellizzazione idraulica del fenomeno, con riferimento alla geometria, alle portate utilizzate e alle condizioni al contorno e vengono quindi esposti i risultati ottenuti;
- *Conclusioni (Capitolo 5.0)*: in cui si sintetizzano le assunzioni effettuate e i risultati dell'analisi idraulica;
- *Allegati*: costituiti dalla planimetria utilizzate per la modellazione, dal profilo idraulico e dalle sezioni trasversali.

2.0 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

2.1 Rilievo plano-altimetrico

La prima fase del lavoro è stata quella delle misure e dei rilievi di campo, fondamentale per lo svolgimento di tutte le successive attività necessarie all'implementazione del modello. Per poter definire la geometria dell'alveo di piena da inserire nel modello idraulico è stato quindi effettuato un rilievo topografico, i cui dati sono stati successivamente elaborati, corretti ed integrati fino alla costruzione di un database georeferenziato dal quale è stata poi ricavata la geometria utilizzata per implementare il modello idraulico. Questa attività comprende una prima fase di campo, nel corso della quale sono stati effettuati i rilievi, ed una successiva fase di elaborazione e restituzione, nel corso della quale sono stati organizzati ed elaborati i dati rilevati. Le attività di campo comprendono il rilievo delle sezioni e dei manufatti presenti nel tratto oggetto di studio.

Per l'esecuzione del rilievo è stata utilizzata la metodologia differenziale (DGPS) attraverso l'utilizzo di due ricevitori GPS, il primo, denominato base, posizionato in un punto caratteristico ed un secondo, denominato rover, utilizzato per la determinazione dei punti caratteristici di ciascuna sezione e di ciascun manufatto. Questa metodologia consente di ottenere una precisione, in tempo reale, pari a $\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ sul piano orizzontale e di $\pm 15 \text{ mm}$ sul piano verticale e in post-elaborazione di $\pm 3 \text{ mm}$ sul piano orizzontale e di ± 5 sul piano verticale.

L'adozione di questo sistema di posizionamento consente di passare in coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest attraverso una rototraslazione e una proiezione, utilizzando un punto IGM95 denominato Caposaldo n° OGCS061.

In Figura 1è illustrata la scheda del caposaldo IGM95.

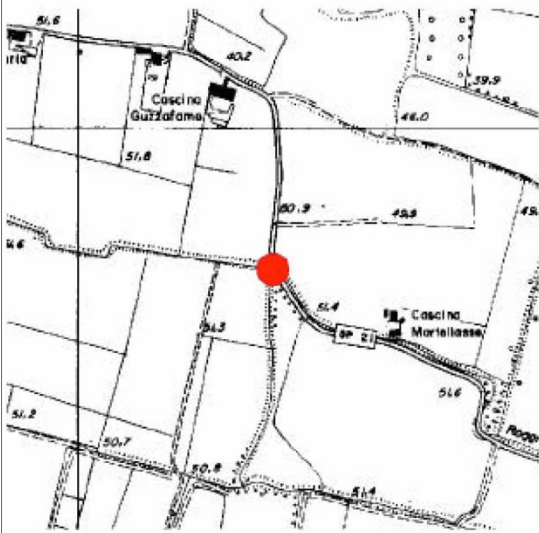
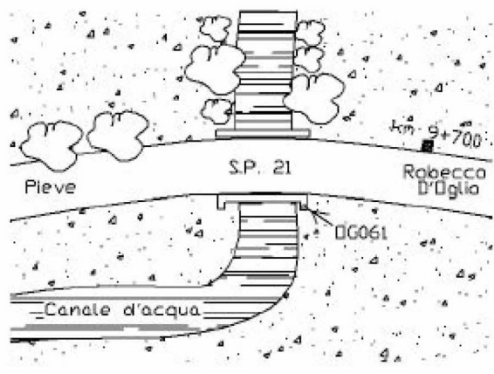
 PUNTO 471		RETE DI RAFFITTIMENTO SCHEDA DI RICONOSCIMENTO CAPOSALDO		Caposaldo n° OGCS061									
Regione: Lombardia		Provincia: Cremona		Comune: ROBECCO D'OGGIO									
				Località: Cascina Martellasse									
Cod.id.: OG061		Rete inquadramento: IGM95		Nuovo vertice: Sì									
				Data rilievo: agosto 2002									
Inquadramento territoriale 1/10000:			Planimetria / Schizzo:										
													
Coordinate geografiche		Coordinate piane											
WGS 84		GAUSS-BOAGA		WGS 84 UTM 32									
$\varphi = 45^{\circ}14'42.3808''$		N = 5010773,325		N = 5010753,512									
$\lambda = 10^{\circ}05'12.2144''$		E = 1585312,686		E = 585284,651									
Q ell. (m s.m.) = 92,564		Quota assoluta (m s.m.) = 52,303											
Descrizione : Da Robecco d'Oglio per CorteDe' Frati seguendo la SP21, al Km 9+730, sulla spalletta sx del ponticello è materializzato il vertice.													
Collegamento a caposaldo altimetrico			Documentazione fotografica:										
Caposaldo di partenza <table border="1"> <tr> <td>Prov.</td> <td>Cl.</td> <td>Cat.</td> <td>N°</td> </tr> <tr> <td>IGM</td> <td>Lv</td> <td>III</td> <td>3/48</td> </tr> </table>			Prov.	Cl.	Cat.	N°	IGM	Lv	III	3/48			
Prov.	Cl.	Cat.	N°										
IGM	Lv	III	3/48										
Quota di caposaldo (m s.m.) = 41,8452													
Parametri di trasformazione: trasformazione in Gauss-Boaga ottenuta mediante il programma VERTO dell'IGM.													

Figura 1: Caposaldo n° OGCS061

2.2 Rilievo Batimetrico

Per una corretta modellizzazione dell'alveo bagnato si è reso necessario effettuare un rilievo batimetrico per meglio caratterizzare la morfologia del fondo alveo nel tratto interessato.

Le misure batimetriche sono state effettuate attraverso l'ausilio di una imbarcazione munita di un ecoscandaglio integrato con un ricevitore GPS.



Figura 2: Strumentazione adottata per il rilievo batimetrico

Il GPS è stato posizionato in linea con il trasduttore dell'ecoscandaglio in modo da ottenere le coordinate geografiche per ogni punto di profondità.

Tutti i dati sono stati registrati grazie all'ecoscandaglio che, oltre a visualizzare in tempo reale la profondità del fiume, indicava la traiettoria seguita.

Nelle immagini seguenti vengono rappresentati i punti rilevati rispettivamente su Carta Tecnica Regionale e su ortofoto.





Figura 4: Punti rilevati - Inquadramento su Ortofoto

2.3 Modello idraulico

Una volta terminata l'elaborazione dei dati plano-altimetrici si è passati alla modellazione idraulica andando ad inserire la geometria del tratto fluviale in esame nel modello.

Per costruire il modello idraulico del tratto del fiume Oglio si è utilizzato il software Hec-Ras (versione 4.1.0), sviluppato nel 2002 presso l'Hydrologic Engineering Center dell'United States Army Corps of Engineers, che consente il calcolo dei profili idraulici di moto permanente gradualmente vario in reti di canali naturali o artificiali.

Con tale modello possono essere simulate condizioni di moto subcritico, supercritico e misto e possono essere valutati gli effetti di immissioni o emissioni laterali di portata, opere in alveo, ostacoli al flusso e costruzioni presenti lungo le sponde. Allo scopo di effettuare le verifiche idrauliche per la zona oggetto di studio si è reso necessario l'utilizzo dello schema di moto permanente monodimensionale al fine di determinare le portate smaltibili nel tratto del corso d'acqua e il relativo franco di sicurezza rispetto al ponte ciclo-pedonale in progetto.

3.0 ASPETTI TEORICI DEL MODELLO IDRAULICO

3.1 Ipotesi di moto permanente

La procedura di calcolo di moto permanente (steady flow) implica il verificarsi delle seguenti condizioni:

- la corrente è stazionaria ovvero le sue caratteristiche dal punto di vista geometrico e cinematico si mantengono invariate e costanti nel tempo;
- la corrente è gradualmente variata (ovvero le curvature dei filetti liquidi sono poco accentuate e possono essere considerate uniformi), ad eccezione dei punti in cui sono presenti strutture idrauliche quali ponti, paratoie, briglie, etc. Nei pressi di tali strutture la corrente può essere rapidamente variata (ovvero con curvature dei filetti liquidi accentuate e quindi non considerabili uniformi) e vengono applicate, quindi, equazioni globali o sperimentali;
- la corrente è monodimensionale;
- i corsi d'acqua hanno pendenze ridotte ($i < 0.1$).

3.2 Regimi di flusso

La determinazione del profilo liquido può avvenire secondo tre regimi di flusso:

- Corrente lenta o subcritica (subcritical flow) quando la corrente è ovunque lenta ovvero presenta, in tutte le sezioni, un'altezza d'acqua maggiore dell'altezza critica.
- Corrente veloce o supercritica (supercritical flow) quando la corrente è ovunque veloce ovvero presenta, in tutte le sezioni, un'altezza d'acqua minore dell'altezza critica.
- Corrente mista (mixed flow) quando nel tratto in esame si possono verificare transizioni da un tipo di corrente all'altro.

3.3 Equazioni di base utilizzate per il calcolo del profilo

Per il calcolo del profilo idraulico in moto permanente Hec-Ras utilizza una procedura iterativa per la soluzione dell'equazione del bilancio energetico tra una sezione e quella immediatamente a monte (o quella immediatamente a valle in caso di corrente lenta):

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - h_e \quad (1)$$

con:

- y_1 e y_2 = altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;
- z_1 e z_2 = altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;
- v_1 e v_2 = velocità medie della corrente nelle due sezioni;
- a_1 e a_2 = coefficienti di ragguglio del termine di energia cinetica (dipende dal fatto che l'alveo è suddiviso in sottosezioni);
- h_e = perdita di carico tra le due sezioni considerate.

Il termine h_e dipende sia dalle perdite per attrito sia da quelle per contrazione ed espansione e viene valutato mediante la relazione:

$$h_e = L \times S_f + c \times \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

con:

- L = lunghezza del tronco considerato;
- S_f = cadente media tra le due sezioni;
- c = coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine dell'equazione (2) ($L \times S_f$) rappresenta le perdite di carico totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media.

La cadente media viene calcolata utilizzando l'equazione di Manning:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (3)^1$$

$$K = \left(\frac{1}{n} \right) \times A \times R^{\frac{2}{3}} \quad (4)$$

con:

- S_f = perdita di carico distribuita;

¹ Hec-Ras permette di selezionare espressioni alternative delle equazioni riportate per il calcolo della cadente media che presuppongono una suddivisione dell'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante e il coefficiente di Manning invariato.

- n = coefficiente di Manning;
- A = area bagnata;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra area bagnata e contorno bagnato);
- K = conveyance ovvero misura dell'attitudine di una data sezione a far defluire le portate.

Il secondo termine dell'equazione (2) per il calcolo delle perdite di carico rappresenta il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata ovvero dovuto alla non linearità della corrente in seguito ad allargamento o restringimento della sezione.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2).

3.4 Passaggio all'altezza critica

Il programma permette di calcolare l'altezza critica corrispondente a ciascuna sezione attraverso un procedimento iterativo che definisce l'altezza d'acqua per cui è minima l'energia totale espressa come:

$$H = WS + \frac{av^2}{2g} \quad (5)$$

con:

- H = energia totale;
- WS = quota del pelo libero dell'acqua corrispondente all'energia di posizione;
- $\frac{av^2}{2g}$ = energia cinematica

L'altezza critica viene considerata altezza d'acqua del profilo idraulico nei seguenti casi:

- 1 condizione specificata dall'utente come condizione al contorno;
- 2 passaggio da corrente lenta a corrente veloce;
- 3 quando il programma non riesce a risolvere l'equazione di bilancio energetico nel numero specificato di iterazioni;
- 4 quando il controllo effettuato con il numero di Froude indica che l'altezza d'acqua calcolata per il profilo, attraverso l'equazione di bilancio energetico, non corrisponde al regime di flusso selezionato.

Nei casi 3 e 4 il programma visualizza un messaggio di errore che permette di correggere condizioni che hanno portato alla non risoluzione dell'equazione di bilancio energetico o di selezionare un regime di flusso più adeguato.

3.5 Applicazione dell'equazione del momento (Momentum Equation)

Nel caso in cui si verifica il passaggio dallo stato critico e in tutti i casi in cui la corrente è rapidamente variata l'equazione di bilancio energetico non può essere applicata. In questi casi Hec-Ras utilizza l'equazione del momento (Momentum Equation) che prevede l'applicazione dell'equazione globale di equilibrio a un elemento di volume d'acqua compreso tra la sezione 1 e 2:

$$\sum F_x = m \times a \quad (6)$$

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (7)$$

con:

- $P_{1,2}$ = spinta idrostatica nella sezione 1 e 2;
- W_x = forza dovuta al peso dell'acqua nella direzione del moto;
- F_f = forza di attrito dovuta alla resistenza idraulica;
- Q = portata uscente;
- ρ = densità dell'acqua;
- Δv_x = variazione di velocità tra la sezione 1 e 2 nella direzione del flusso.

4.0 ANALISI IDRAULICA

4.1 Il Fiume Oglio

Il Fiume Oglio scorre per una lunghezza complessiva di 280 km e il suo bacino imbrifero occupa una superficie complessiva di 6.360 km². 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; il flusso della corrente è concentrato in un unico filone. 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 cremasca 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.

4.2 Caratteristiche generali del sito

Il tratto del fiume Oglio analizzato è circa pari a 400 m. Il tratto si presenta abbastanza uniforme, con la presenza di tratti arginati sia in sponda destra che in sinistra.

Nelle aree golenali sono presenti terreni a forte utilizzo agricolo e risultano comunque vegetati da alberi di media e grossa taglia.



Figura 5: Inquadramento (fonte: bing mappe)

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 state integrate dal rilievo topografico e batimetrico eseguito in data 02 luglio 2014. Le sezioni da noi integrate andranno a caratterizzare in maniera significativa l'area oggetto di studio, come meglio specificato nel paragrafo 4.3.

4.2.1 L'area di intervento secondo il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n° 18 del 26 aprile 2001, il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI – è entrato in vigore con la sua pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale n° 183 dell'8 agosto 2001 con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 24 maggio 2001. Obiettivo prioritario del PAI è la riduzione del rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti. Il PAI consolida e unifica la pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico: esso coordina le determinazioni assunte con i precedenti

stralci di piano e piani straordinari (PS 45, PSFF, PS 267), apportando in taluni casi le precisazioni e gli adeguamenti necessari a garantire il carattere interrelato e integrato proprio del piano di bacino.

I contenuti del Piano si articolano in interventi strutturali (opere), relativi all'assetto di progetto delle aste fluviali, dei nodi idraulici critici e dei versanti, e interventi e misure non strutturali (norme di uso del suolo e regole di comportamento). Si tratta di misure che non incidono direttamente sulla piena, ma tendono ad evitare o ridurre l'impatto e i danni, attraverso operazioni sia di carattere preventivo che di gestione del decorso degli eventi critici; tra di essi si evidenzia la regolamentazione dell'uso del suolo nelle aree a rischio, con particolare riferimento alle fasce fluviali A, B e C.

Il metodo di delimitazione delle fasce fluviali, approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con Deliberazione n° 19/1995, definisce:

- la « Fascia A » o Fascia di deflusso della piena; è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena²;
- la « Fascia B » o Fascia di esondazione; esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata;
- la « Fascia C » o Area di inondazione per piena catastrofica; è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

L'individuazione delle fasce rappresenta l'assetto di progetto dei corsi d'acqua, determinando i caratteri idraulici dell'alveo in condizioni di piena e le modalità di uso della regione fluviale dalle stesse perimetrata.

Per quanto riguarda il caso specifico in studio, tutta l'area di progetto si trova all'interno della Fascia A e della Fascia B del PAI.

² Si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:

- la porzione ove defluisce almeno l'80% della piena con Tr di 200 anni (all'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s - criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali);
- limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati)

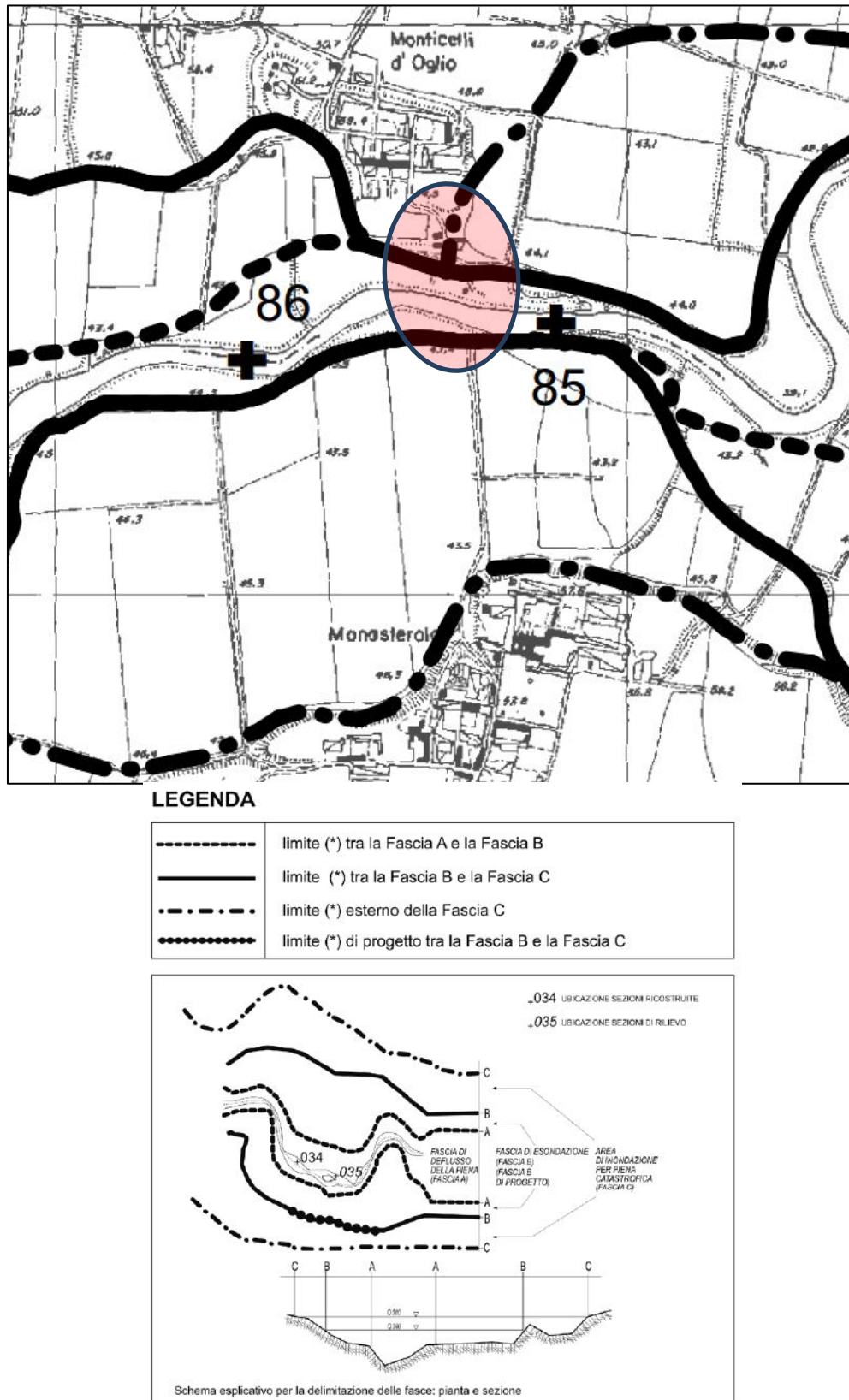


Figura 6: delimitazione delle fasce fluviali nell'area di progetto (tratto da: "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali" n.142-3, (fonte: sito ufficiale Adbpo – www.adbpo.it). Nel cerchio rosso l'area interessata dallo studio in oggetto.

4.3 Geometria del canale

4.3.1 Sezioni

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 (Figura 7), integrandole nel tratto in cui è prevista la realizzazione del nuovo ponte con ulteriori sezioni ricavate dai rilievi topografici e batimetrici realizzati ad hoc. Tali sezioni sono localizzate nei punti più significativi, ovvero a monte del tratto in oggetto, e in corrispondenza del futuro ponte ciclo-pedonale (Figura 8).

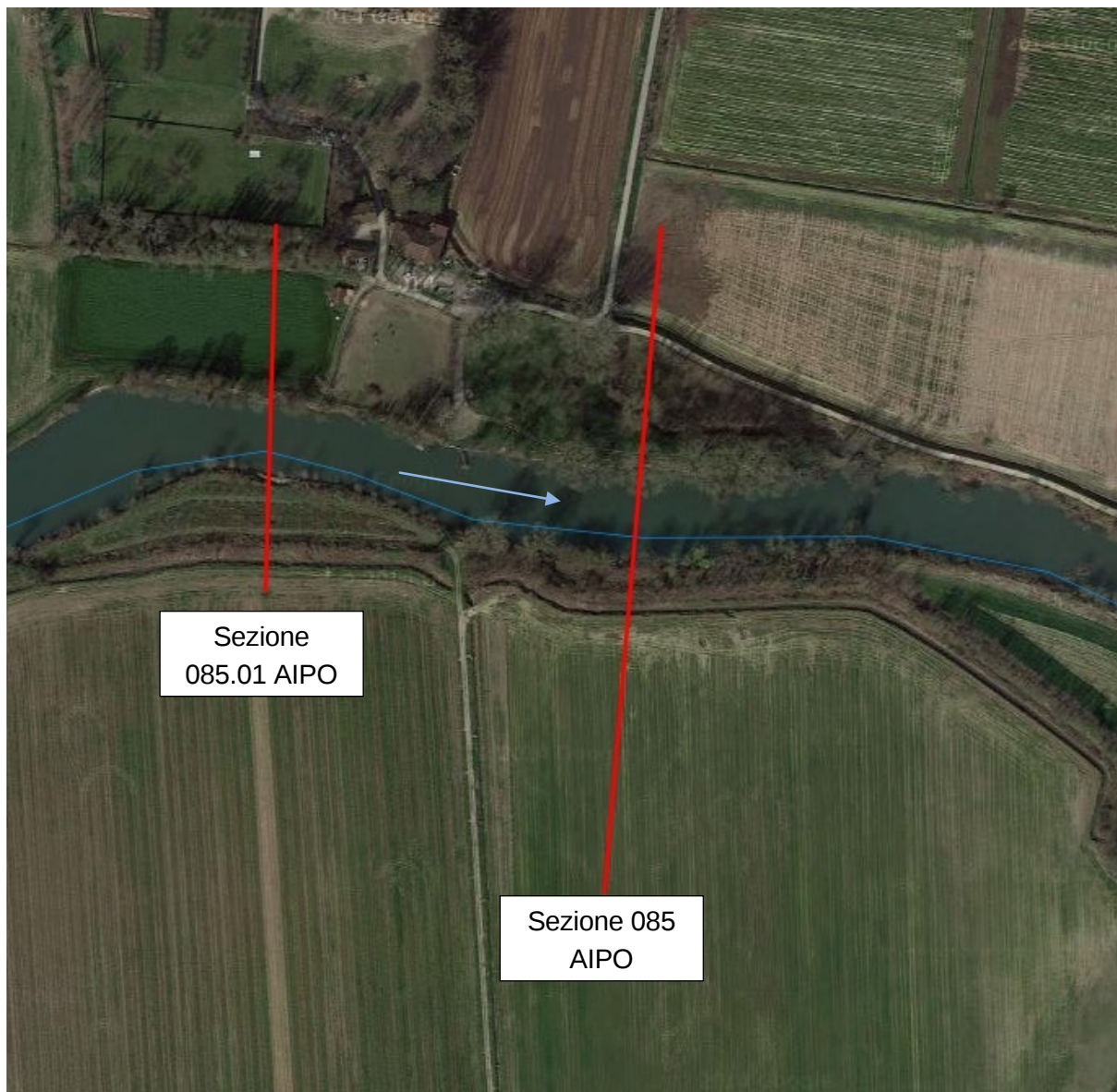


Figura 7: Sezioni AIPO utilizzate per la modellazione idraulica

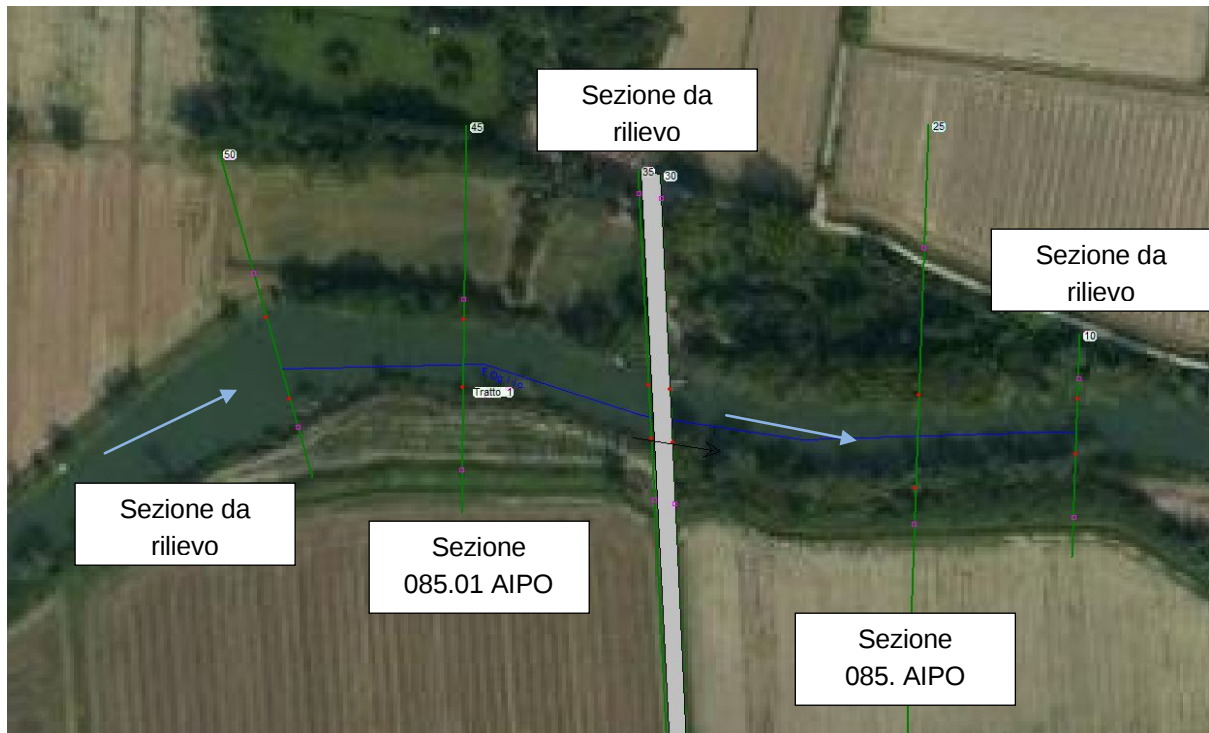


Figura 8: Sezioni utilizzate per la modellazione idraulica

In particolare per implementare il modello sono state utilizzate 6 sezioni: due da fonte AIPO e quattro ricavate dal rilievo topografico e batimetrico. Sono state inoltre inserite delle sezioni interpolate automaticamente dal software HEC-Ras, ad una distanza di 10 m l'una dall'altra, per meglio caratterizzare il tratto interessato, ovvero in corrispondenza del futuro ponte ciclo-pedonale in progetto.

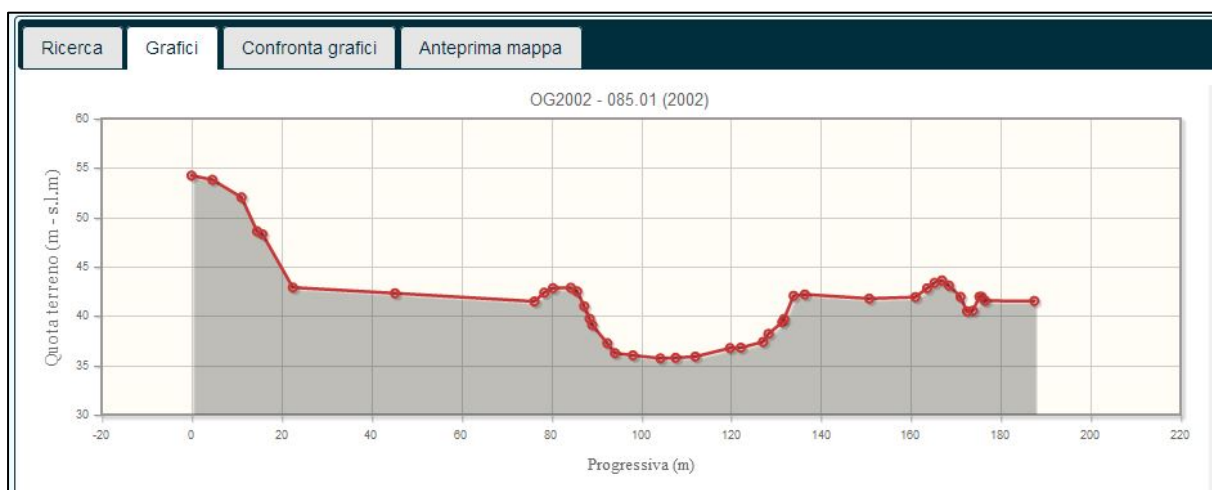


Figura 9: sezione 085.01 ricavata dal geoportale AIPO

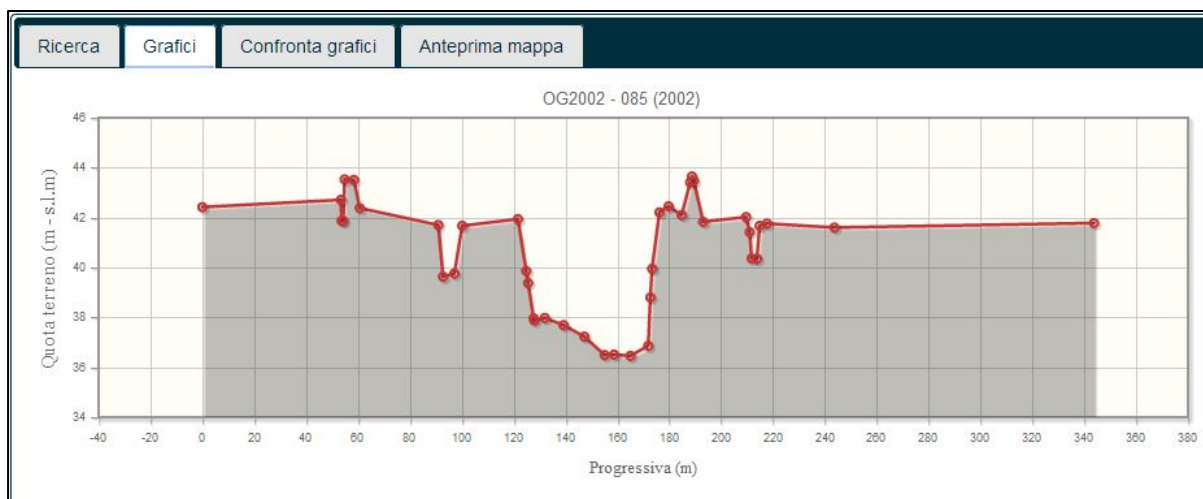


Figura 10: sezione 085 ricavata dal geoportale AIPO

4.3.2 Manufatto in progetto

Il programma permette di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso in cui il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero o in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, dove la corrente subisce una contrazione.

Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte.

Le perdite di energia dovute alle contrazioni ed espansioni del flusso tra due sezioni trasversali sono determinate direttamente nella procedura d'integrazione del profilo liquido, tramite l'utilizzo dei coefficienti di contrazione ed espansione (a seconda che l'altezza cinetica rispettivamente aumenti o diminuisca verso valle).

La perdita di energia che si verifica nella struttura stessa può essere invece valutata con diversi metodi di calcolo selezionati in base al tipo di deflusso che si verifica (deflusso a pelo libero, in pressione, a stramazzo, di flusso combinato).

Per condizioni di basse portate, ovvero con livelli d'acqua che non raggiungono l'estradosso dei manufatti, come nei casi considerati, si possono selezionare i seguenti 4 metodi:

1. Equazione dell'energia

Il metodo del bilancio energetico tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

2. Bilancio della quantità di moto

Si basa sull'applicazione dell'omonima equazione tra le sezioni trasversali considerate di ingresso e in uscita dal ponte. L'utilizzo di questa equazione richiede la definizione di un coefficiente di flusso intorno alle pile del ponte (C_d = drag coefficient) che dipende dalla forma delle stesse.

3. Equazione di Yarnell

È un'equazione empirica che tiene conto della differenza di altezza del pelo libero dell'acqua tra la sezione appena a monte del ponte e quella appena a valle. Anche in questo caso viene richiesto di definire un coefficiente che varia in funzione della forma delle pile del ponte (K = Yarnell's pier coefficient).

4. Metodo di FHWA WSPRO

Il metodo WSPRO della Federal Highway Administration (FHWA) si basa sulla risoluzione iterativa dell'equazione dell'energia tra le diverse sezioni del ponte utilizzando dei fattori correttivi per flussi non uniformi che dipendono dalle caratteristiche geometriche del ponte.

Il programma permette all'utente di selezionare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno, alcuni o tutti i metodi sopra citati. Nell'ultimo caso è necessario selezionare successivamente la soluzione che, a seconda delle finalità del modello, restituisce il profilo con le maggiori criticità.

Nelle figure che seguono è rappresentato il confronto tra il prospetto geometrico del ponte ciclo-pedonale in progetto e la schematizzazione dello stesso inserita nel modello idraulico (Figura 11 e Figura 12).

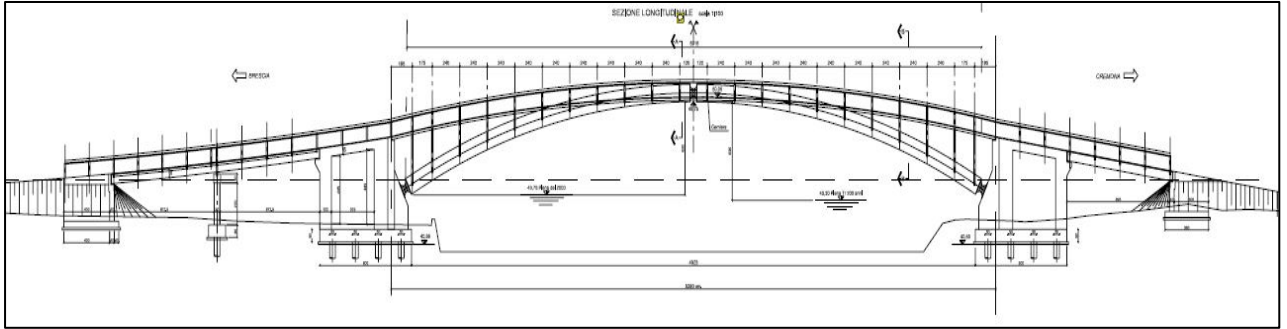


Figura 11: Ponte ciclo-pedonale in progetto

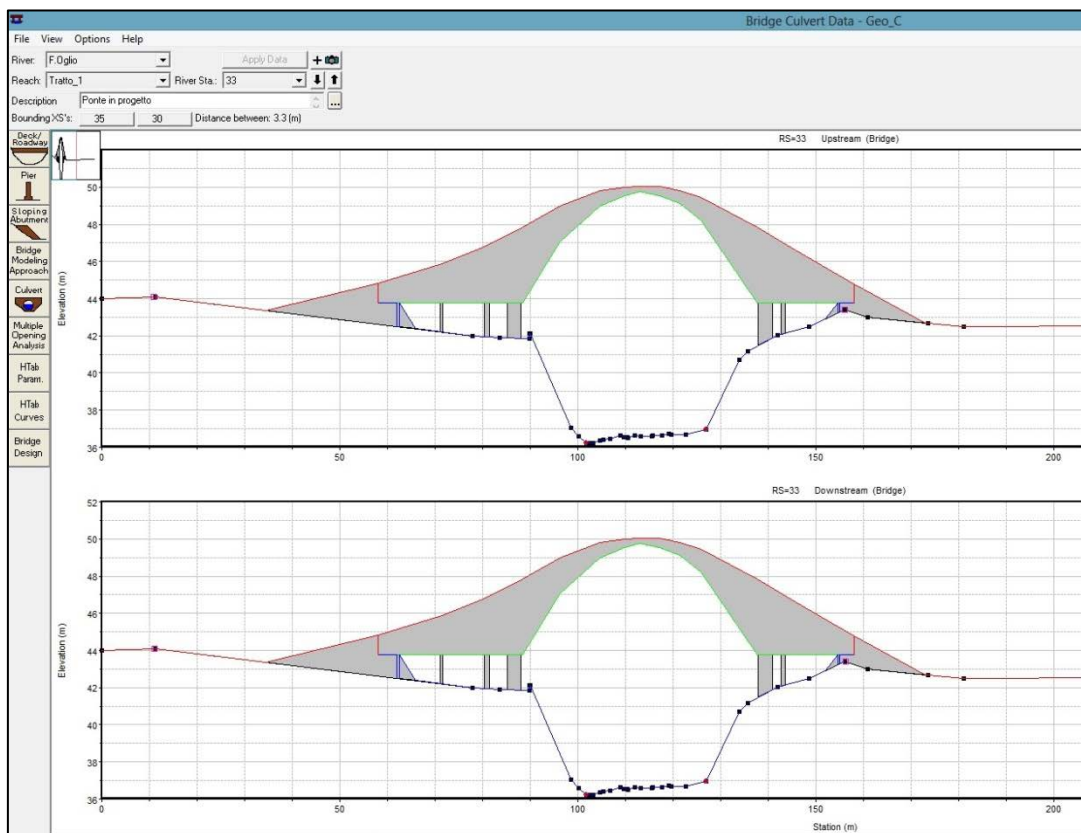


Figura 12: Ponte in progetto modellato in Hec-Ras

L'immissione dei dati relativi alla geometria e al metodo di calcolo da adottare per la simulazione dei ponti e del tombino, è avvenuta tramite il tasto Bridge/Culvert contenuto nel Geometric Data Editor del software.

In tutti i casi considerati, come metodo di calcolo delle perdite di energia attraverso il ponte, si è scelto di selezionare il metodo del bilancio energetico (equazione dell'energia), in quanto ritenuto il più idoneo per le finalità del modello.

4.4 Condizioni al contorno

In base al tipo del regime di flusso, definito durante l'implementazione dell'analisi, è necessario definire le condizioni al contorno. Per regime di corrente lenta è necessario specificare una condizione al contorno di valle, per regime di corrente veloce una condizione al contorno di monte, e, per un regime misto, è necessario definire entrambe le condizioni di monte e di valle.

Il programma contempla i seguenti tipi di condizioni al contorno:

- passaggio del profilo per un valore di altezza liquida assegnato (Known Water Surface Elevation);
- passaggio del profilo per l'altezza critica (Critical Depth);
- passaggio del profilo per l'altezza di moto uniforme (Normal Depth), calcolata in base alla pendenza del canale (s);
- scala di deflusso (Rating Curve).

In tutte le simulazioni effettuate, nonostante il regime di flusso sia prevalentemente di corrente lenta, è stato selezionato il regime di corrente mista, per tenere conto dei possibili incrementi di portata che interessano il tratto di fiume in oggetto. Questo ha reso necessaria la definizione delle condizioni al contorno sia di valle che di monte.

Nello specifico come condizione al contorno a monte e a valle del tratto di fiume modellato è stato inserito il valore relativo all'altezza di moto uniforme (*normal depth*). Tale grandezza viene calcolata dal modello utilizzando le sezioni terminali del tratto e assegnando il relativo valore della pendenza media. La pendenza media del tratto di f. Oglio indagato è dell'ordine dello 0,2 ‰.

4.5 Scabrezza di calcolo e valori di portata adottati

Per quanto concerne il valore della scabrezza dell'alveo bagnato e delle fasce golenali, così come per le portate utilizzate nella modellazione, sono stati utilizzati i valori riportati nello studio di fattibilità realizzato da Enel.HYDRO, "*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e dal suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume da Gavardo alla confluenza in Oglio*". La scelta di utilizzare i valori riportati nel suddetto studio è stata fatta sulla base di quanto indicato telefonicamente agli scriventi dai funzionari dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

In particolare sono stati utilizzati valori di scabrezza differenti per le fasce golenali e per l'alveo inciso. Nello specifico si è assunto:

- Golena destra: $0.06 \text{ m}^{-1/3}/\text{sec}$
- Golena sinistra: $0.045 \text{ m}^{-1/3}/\text{sec}$
- Alveo: $0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{sec}$

Tali valori tengono conto delle reali condizioni delle sezioni in questo tratto, caratterizzate dalla presenza di vegetazione e cespugli sulle sponde, fondo vegetato con materiale sedimentato.

Per quanto concerne i valori di portata utilizzati per la verifica di compatibilità idraulica, sono stati utilizzati i valori di portata in riferimento ai diversi tempi di ritorno nella sezione di riferimento OG_17, posta in località Robecco d'Oglio. Tale sezione è localizzata a circa 3 km a valle di quella in cui verrà collocato il ponte ciclo-pedonale.

Così come di evince dallo studio di fattibilità sopra menzionato, i valori di portata al colmo stimati coi metodi di regionalizzazione per i diversi tempi di ritorno sono:

$$Q_{tr=50 \text{ anni}} = 469.44 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q_{tr=100 \text{ anni}} = 525.96 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q_{tr=200 \text{ anni}} = 582.27 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Nel caso in esame, la verifica della compatibilità idraulica sarà effettuata considerando la portata con **tempo di ritorno di 200 anni.**

4.6 Risultati

La modellazione è stata estesa per un tratto di fiume pari a 360 m, ricostruendo la geometria dell'alveo integrando le due sezioni ricavate dal geoportale AIPO (085.01 e 085) per questo tratto con sezione ricavate dal rilievo morfo-batimetrico effettuato specificatamente per il presente studio.

La modellazione con schema monodimensionale di questo tratto di fiume è finalizzata a verificare la compatibilità idraulica del ponte ciclo-pedonale in progetto. Le verifiche idrauliche, condotte con riferimento alle portate di riferimento, hanno permesso di valutare l'andamento del pelo libero e le caratteristiche idrauliche sezione per sezione.

In particolare nella Figura 13 sono riportate le tracce delle sezioni utilizzate per l'implementazione del modello idraulico e nella Figura 14 è rappresentato il profilo idraulico relativo alla portata con tempo di ritorno di 200 anni. Nella successiva Tabella 1 sono poi riportati i risultati delle simulazioni idrauliche in forma tabellare.

Le sezioni trasversali con indicazione del pelo libero in riferimento alle portate al colmo con tempo di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni sono riportate in allegato al presente studio.

Nelle pagine che seguono sono commentati risultati delle simulazioni idrauliche svolte, con particolare riferimento a:

- a) verifica del franco e rispetto della norme di attuazione del PAI;
- b) confronto tra il profilo idraulico relativo alla configurazione attuale e a quella di progetto;
- c) valutazione delle velocità medie in corrispondenza del ponte.



Figura 13: Planimetria utilizzata per la modellazione

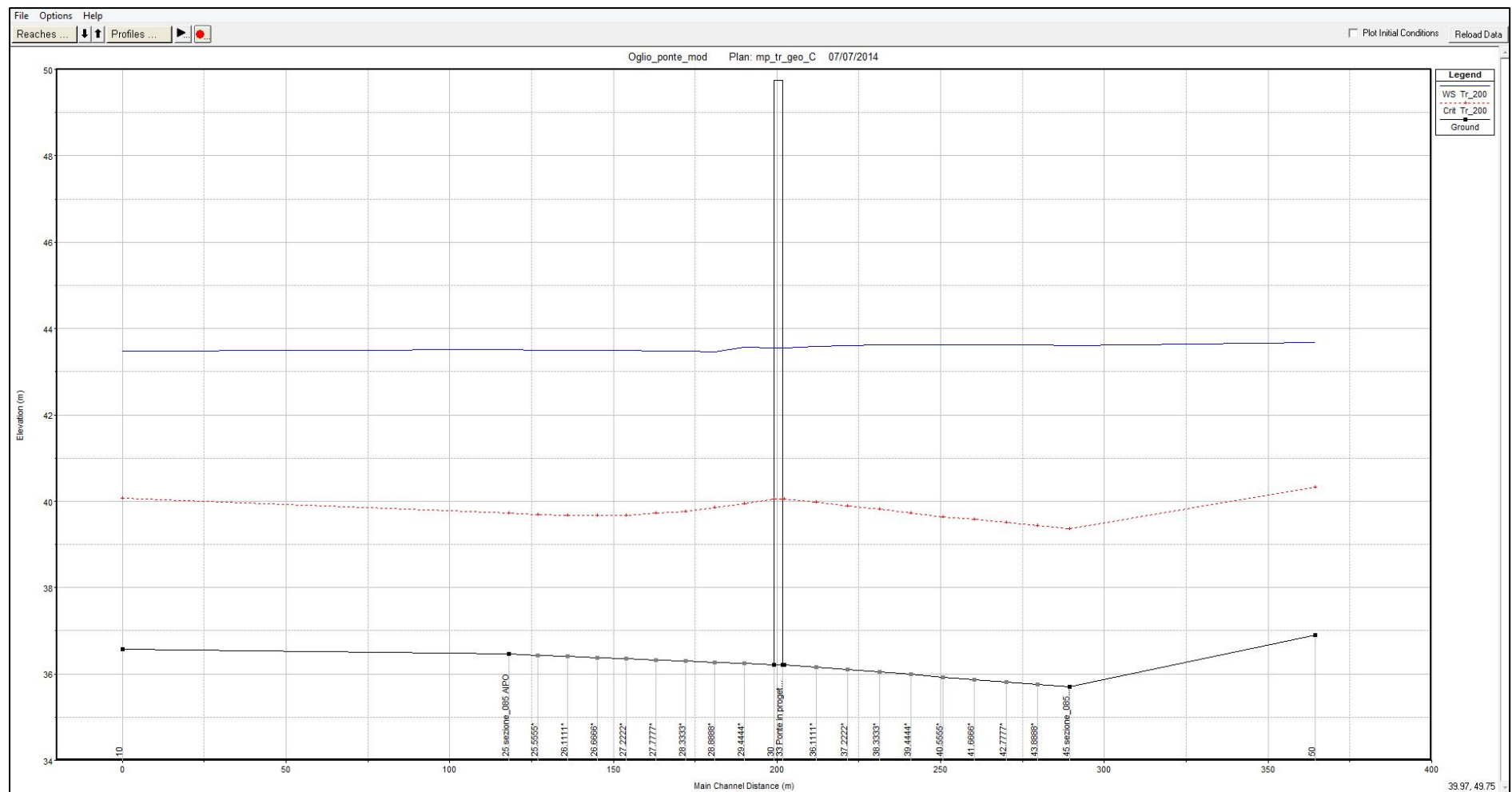


Figura 14: Profilo idraulico in riferimento alla portata con tempo di ritorno di 200 anni

Tabella 1: Risultati in forma tabellare relativi alle sezioni

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
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)
50	Tr_200	582.27	36.89	43.7	40.33	43.83	0.000398	1.86	471.07	159.96
45	Tr_200	582.27	35.7	43.67	39.36	43.81	0.000296	1.87	497.39	165.91
43.8888*	Tr_200	582.27	35.76	43.67	39.44	43.8	0.000287	1.83	556.09	203.9
42.7777*	Tr_200	582.27	35.81	43.67	39.51	43.8	0.00028	1.81	606.12	241.88
41.6666*	Tr_200	582.27	35.87	43.68	39.59	43.79	0.00028	1.8	647.02	279.85
40.5555*	Tr_200	582.27	35.93	43.67	39.64	43.79	0.000285	1.81	678.61	317.81
39.4444*	Tr_200	582.27	35.98	43.67	39.73	43.79	0.000297	1.84	700.51	355.76
38.3333*	Tr_200	582.27	36.04	43.66	39.81	43.78	0.00031	1.87	708.05	381.21
37.2222*	Tr_200	582.27	36.1	43.65	39.89	43.78	0.000339	1.95	712.31	427.55
36.1111*	Tr_200	582.27	36.16	43.63	39.97	43.77	0.000379	2.05	700.55	469.07
35	Tr_200	582.27	36.21	43.49	40.05	43.76	0.000621	2.58	397.75	189.28
33		Bridge								
30	Tr_200	582.27	36.21	43.48	40.05	43.75	0.000626	2.58	395.94	188.66
29.4444*	Tr_200	582.27	36.24	43.56	39.94	43.71	0.000385	2.05	688.83	485.27
28.8888*	Tr_200	582.27	36.27	43.46	39.85	43.7	0.000524	2.37	370.23	138.55
28.3333*	Tr_200	582.27	36.29	43.47	39.77	43.68	0.000467	2.23	386.55	140.14
27.7777*	Tr_200	582.27	36.32	43.48	39.72	43.67	0.000421	2.11	400.55	138.51
27.2222*	Tr_200	582.27	36.35	43.49	39.68	43.67	0.000388	2.01	412.25	136.89
26.6666*	Tr_200	582.27	36.38	43.5	39.67	43.66	0.000363	1.93	421.99	135.26
26.1111*	Tr_200	582.27	36.41	43.5	39.67	43.65	0.000344	1.87	429.97	133.63
25.5555*	Tr_200	582.27	36.43	43.5	39.69	43.65	0.000332	1.81	435.59	132.01
25	Tr_200	582.27	36.46	43.51	39.73	43.64	0.000316	1.75	443.27	129.92
10	Tr_200	582.27	36.57	43.48	40.06	43.6	0.00033	1.82	499.12	115.21

Dove:

RS: sezione di riferimento**Profile:** profilo**Q tot.:** portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale**Min Ch El:** minima quota del pelo libero nel main channel**W.S. Elev.:** quota del pelo libero**Crit. W.S.:** quota critica del pelo libero (corrispondente al punto di minimo assoluto della linea dell'energia)**E.G. Elev:** quota della linea dell'energia per il profilo liquido calcolato**E.G. Slope:** pendenza della linea dell'energia**Vel. Chnl.:** velocità media nel canale**Flow Area:** area totale della sezione liquida effettiva**Top Width:** larghezza superficiale della sezione liquida, comprese le aree di deflusso non effettive

4.6.1 Verifica del franco di sicurezza

Le 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...”*

Nel caso in esame tale franco risulta verificato, in quanto la quota della portata al colmo per un tempo di ritorno di 200 anni è pari a 43.56 m s.l.m., mentre la quota idrometrica di accesso al piano viabile del ponte è pari a 44.83 m s.l.m. (Figura 15). Il franco di sicurezza è quindi di 1.30 m e rispetta quindi la suddetta norma.

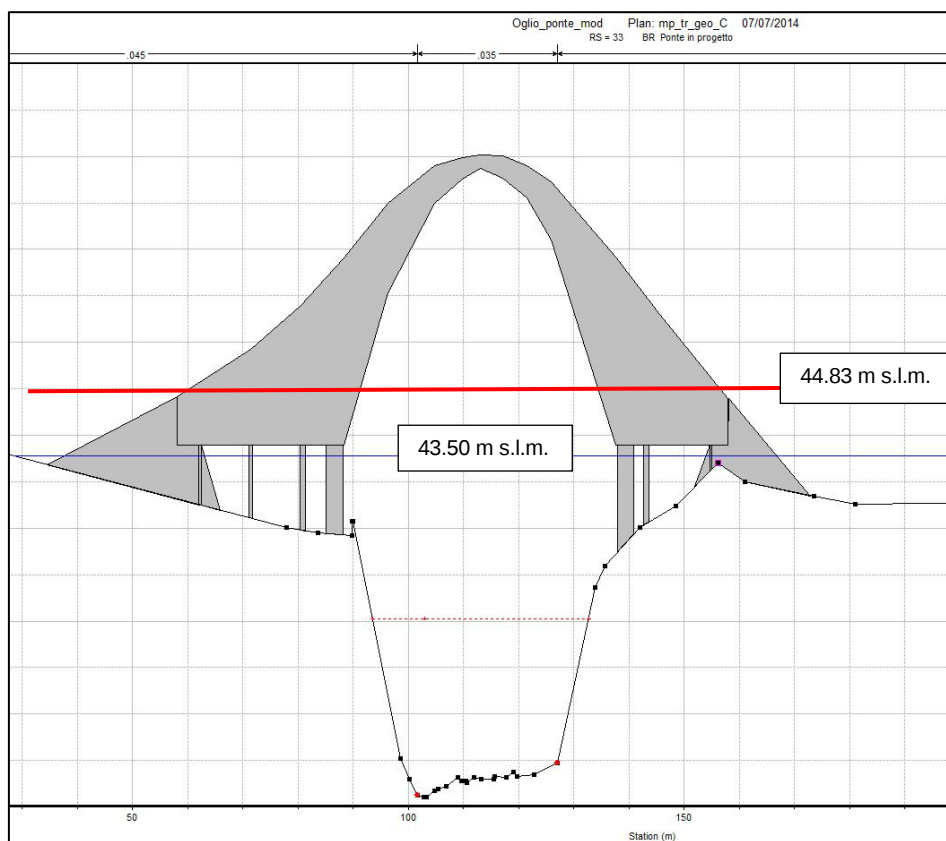


Figura 15: sezione di verifica del ponte in progetto

La medesima verifica è stata fatta nell'ipotesi in cui non avvenga più l'esondazione del fiume in sponda destra, corrispondente ad un ipotetico scenario che preveda l'innalzamento dell'argine in sponda destra. Tale modellazione è stata effettuata avvalendosi dell'opzione "*ineffective flow areas*" disponibile all'interno del software Hec-Ras.

Le simulazioni relative a questo particolare scenario sono riportate nell'allegato 4. Dalle simulazioni svolte si è potuto verificare che, anche "impedendo" al fiume di esondare in destra idraulica, il tirante idrico rimane pressoché invariato.

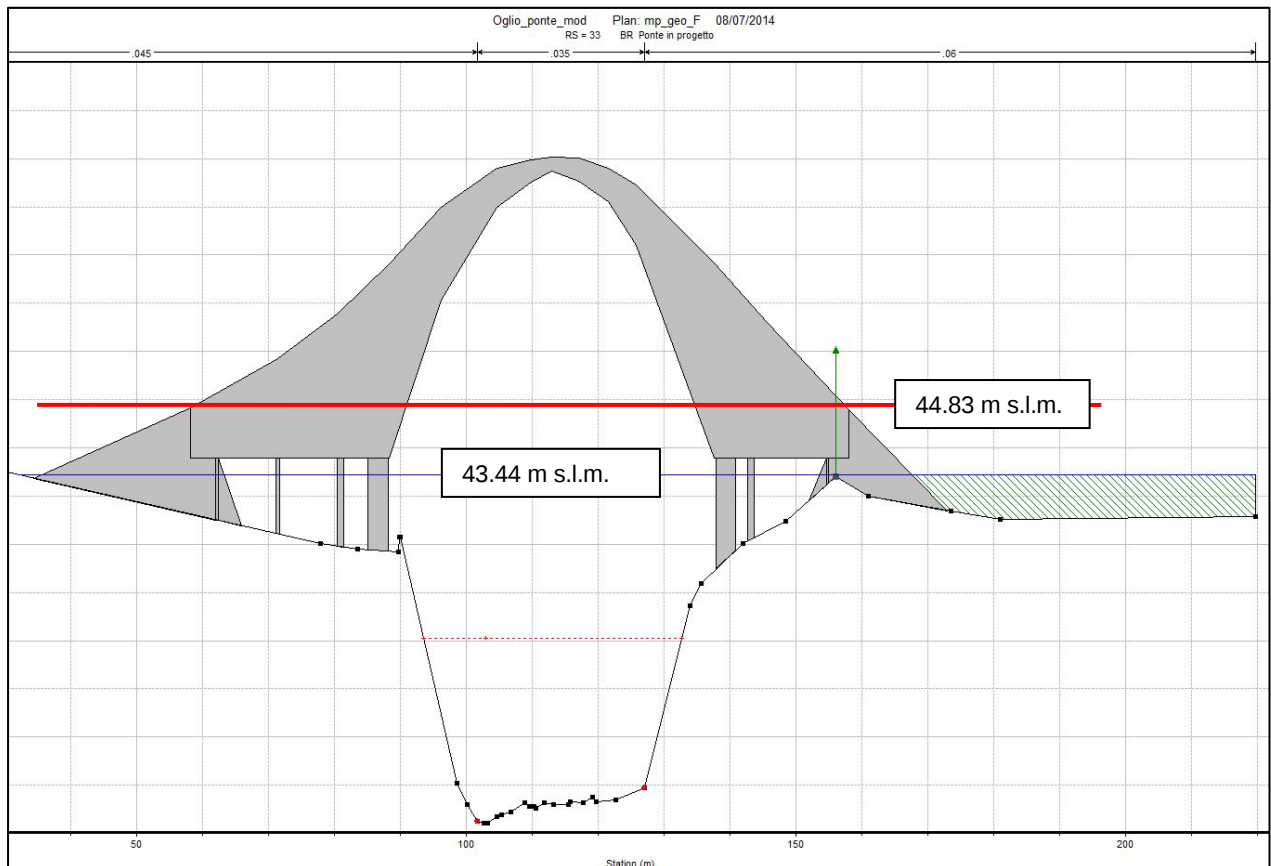


Figura 16: Sezione ponte con argine destro rialzato

4.6.2 Confronto tra stato attuale e stato di progetto

In Figura 17 è riportato il confronto tra i profili in corrispondenza del ponte e a monte dello stesso per portate con Tr 200 anni.

L'innalzamento del pelo libero indotto dalla presenza del ponte è inferiore a 20 cm in corrispondenza dello stesso e si riduce progressivamente procedendo verso monte, fino ad annullarsi ad una distanza di circa 100 metri dal manufatto. L'effetto di rigurgito indotto dalla presenza del manufatto si può quindi ritenere trascurabile.

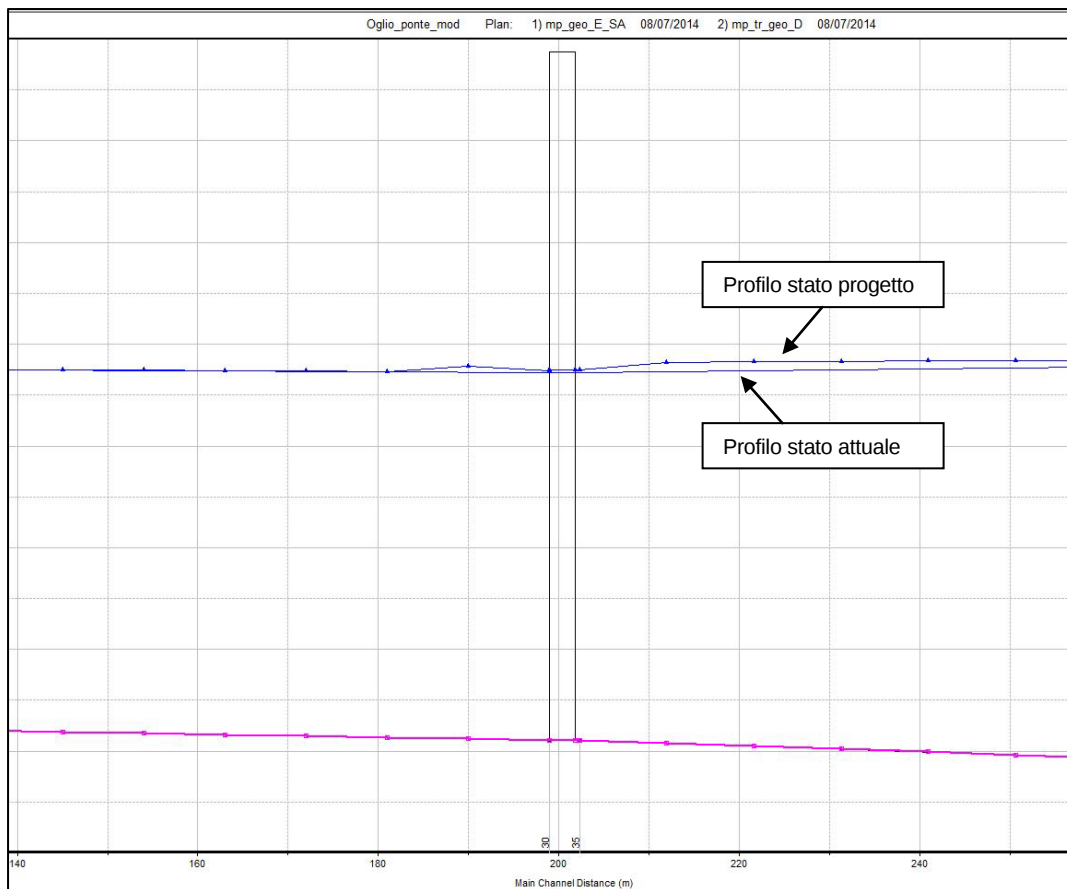


Figura 17: Confronto profilo idrico - Stato attuale e stato di progetto

4.6.3 Analisi delle velocità dell'acqua in corrispondenza del ponte

L'ultima verifica svolta riguarda la velocità media della corrente in corrispondenza del ponte in progetto.

Dalla modellazione emerge che le velocità maggiori si hanno nella parte centrale del corso d'acqua, mentre man mano che ci si avvicina alle sponde le velocità diminuiscono sensibilmente. In corrispondenza delle pile del ponte, che si trovano già al di fuori dell'alveo inciso, la velocità della corrente risulta inferiore a quella relativa all'alveo inciso.

Dalla distribuzione di velocità nella sezione del ponte (Figura 18), si osserva che all'interno dell'alveo inciso (*main channel*) le velocità risultano pari a circa 2.5 m/sec, nell'area golenale le velocità scendono a valori pari a 1 m/sec in sponda sinistra e di 0.5 m/sec in sponda destra.

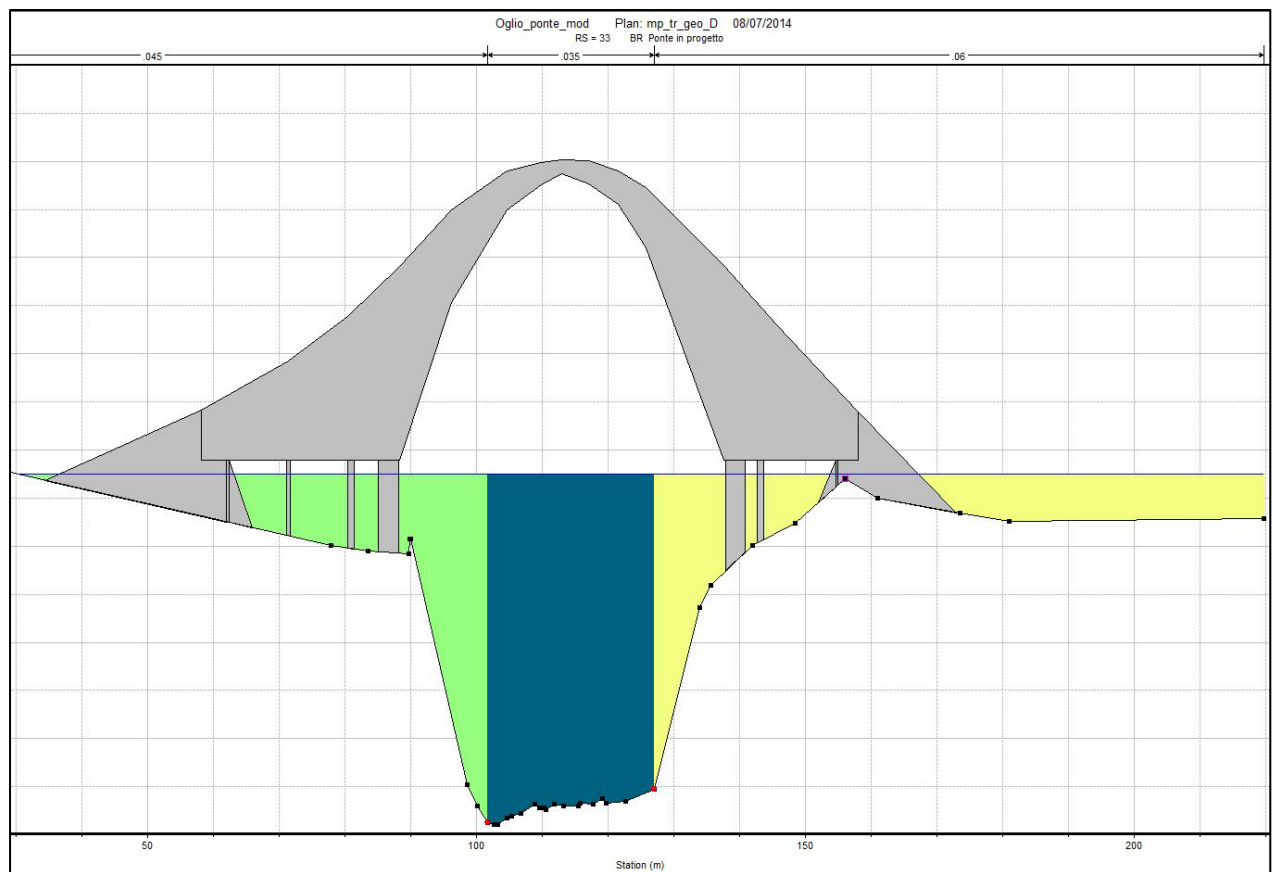


Figura 18: Distribuzione media della velocità nella sezione di riferimento

5.0 CONCLUSIONI

Il presente documento, predisposto da Blu Progetti s.r.l. su incarico del Parco Oglio Nord, che costituisce la relazione per la verifica di compatibilità idraulica di un ponte ciclo-pedonale sul fiume Oglio, che consentirà il collegamento tra la sponda destra e quella sinistra tra i comuni rispettivamente di Monasterolo (CR) e Monticelli d'Oglio (BS).

La modellazione è stata estesa per un tratto di fiume pari a 360 m, ricostruendo la geometria dell'alveo integrando le due sezioni ricavate dal geoportale AIPO (085.01 e 085) per questo tratto con sezione ricavate dal rilievo morfo-batimetrico effettuato specificatamente per il presente studio.

Dall'esame dei risultati ottenuti emerge che la differenza di quota tra il piano viabile di accesso al ponte e la quota relativa alla superficie liquida della portata con tempo di ritorno di 200 anni è superiore al metro, per cui si può affermare che il franco di sicurezza prescritto dalle norme di attuazione del PAI è soddisfatto.

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

Il tecnico

Ing. Massimo Sartorelli



The image shows a circular professional stamp of the Ordine degli Ingegneri della Provincia di Varese. The stamp contains the text: "ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. VARESE", "Dott. Ing. SARTORELLI MASSIMO", and "n° 2096". A handwritten signature in black ink is written over the stamp.

ALLEGATI

- 1. Planimetria utilizzata**
- 2. Profilo idraulico**
- 3. Sezioni trasversali**
- 4. Sezioni trasversali con argine destro rinforzato**

PLANIMETRIA UTILIZZATA

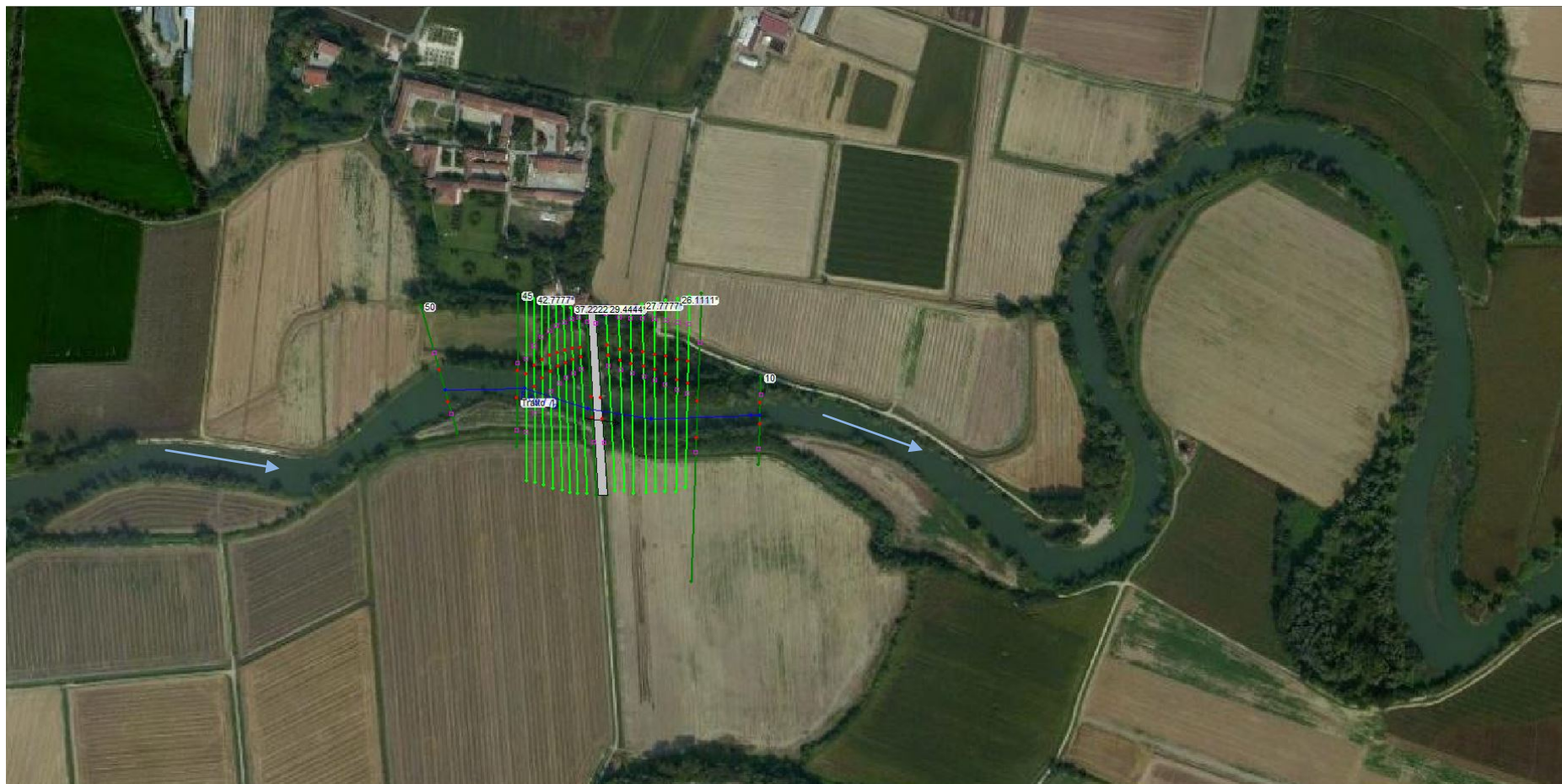


Figura 19 : Planimetria utilizzata per la modellazione idraulica

PROFILO IDRAULICO

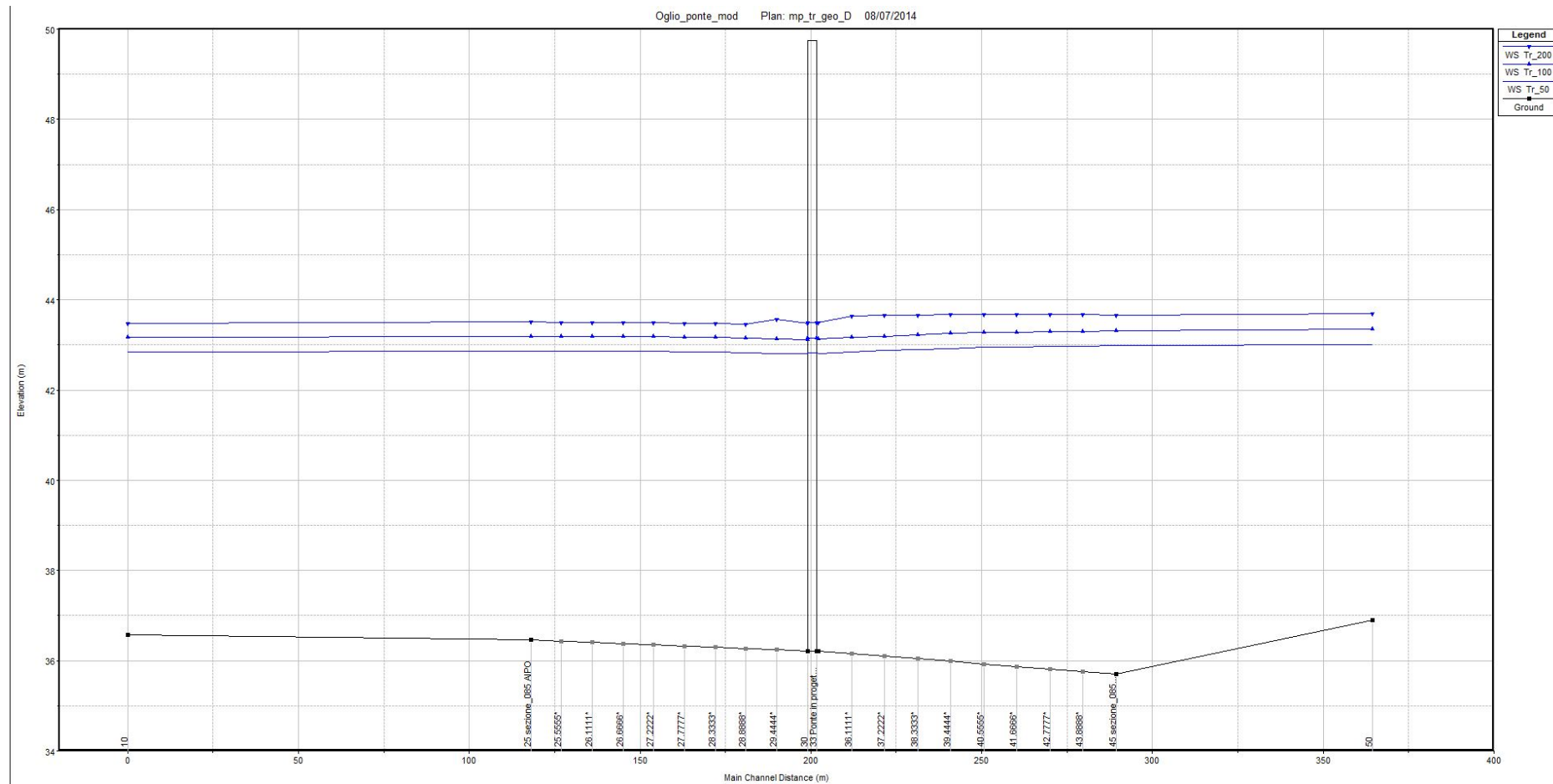
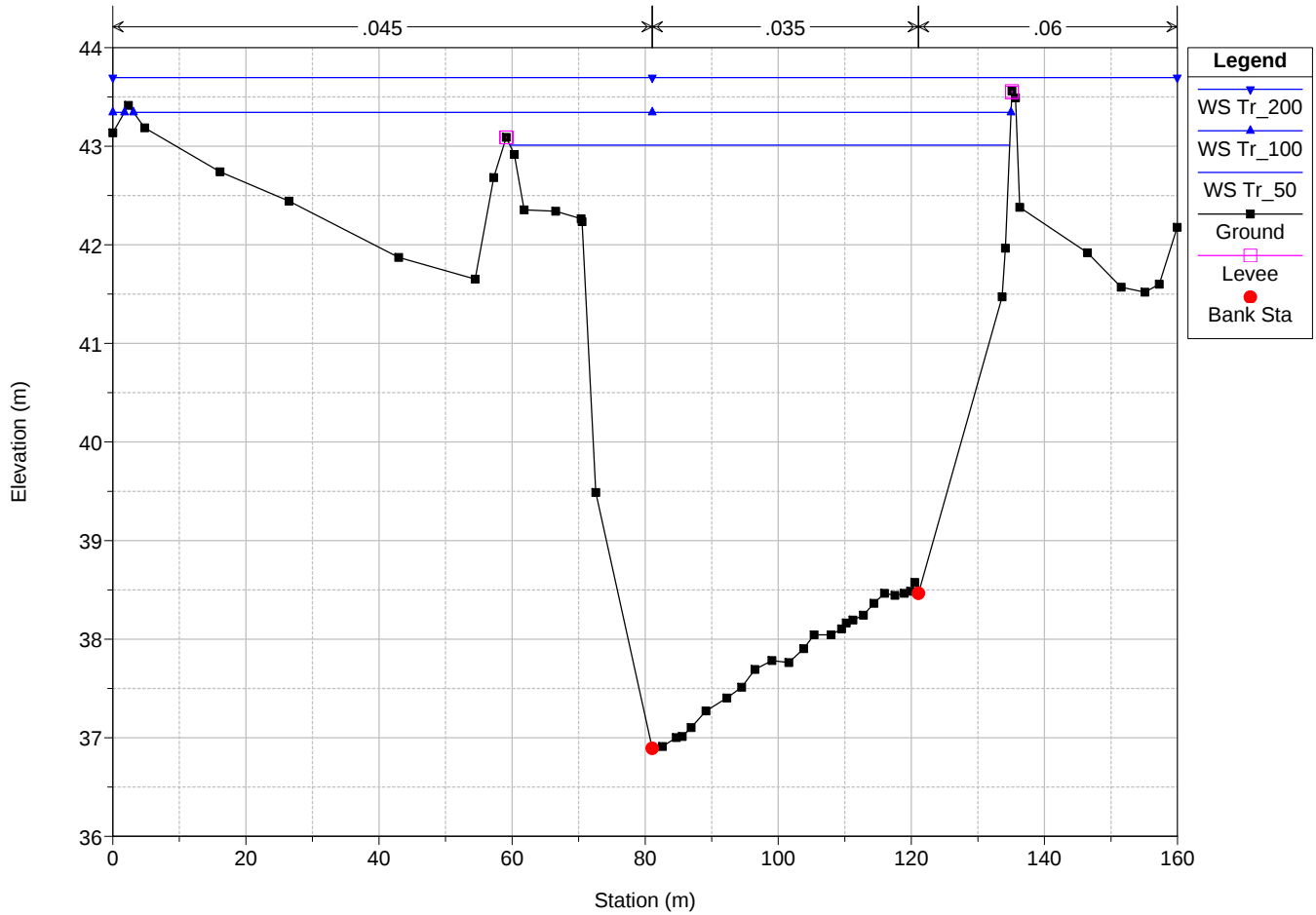


Figura 20: Profilo idraulico con riferimento alle portate con i rispettivi tempi di ritorno. 50, 100, 200 anni

SEZIONI TRASVERSALI

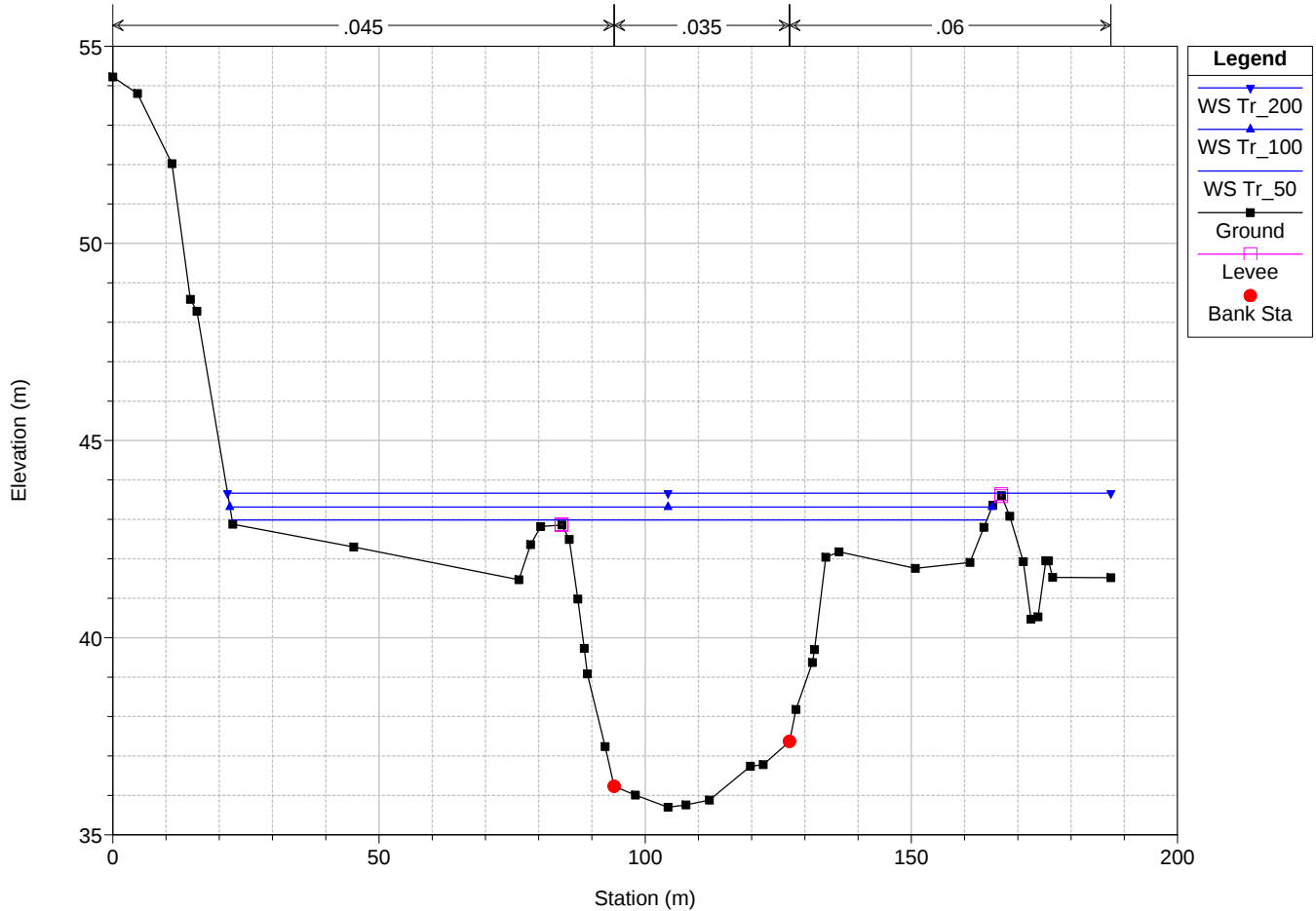
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 50



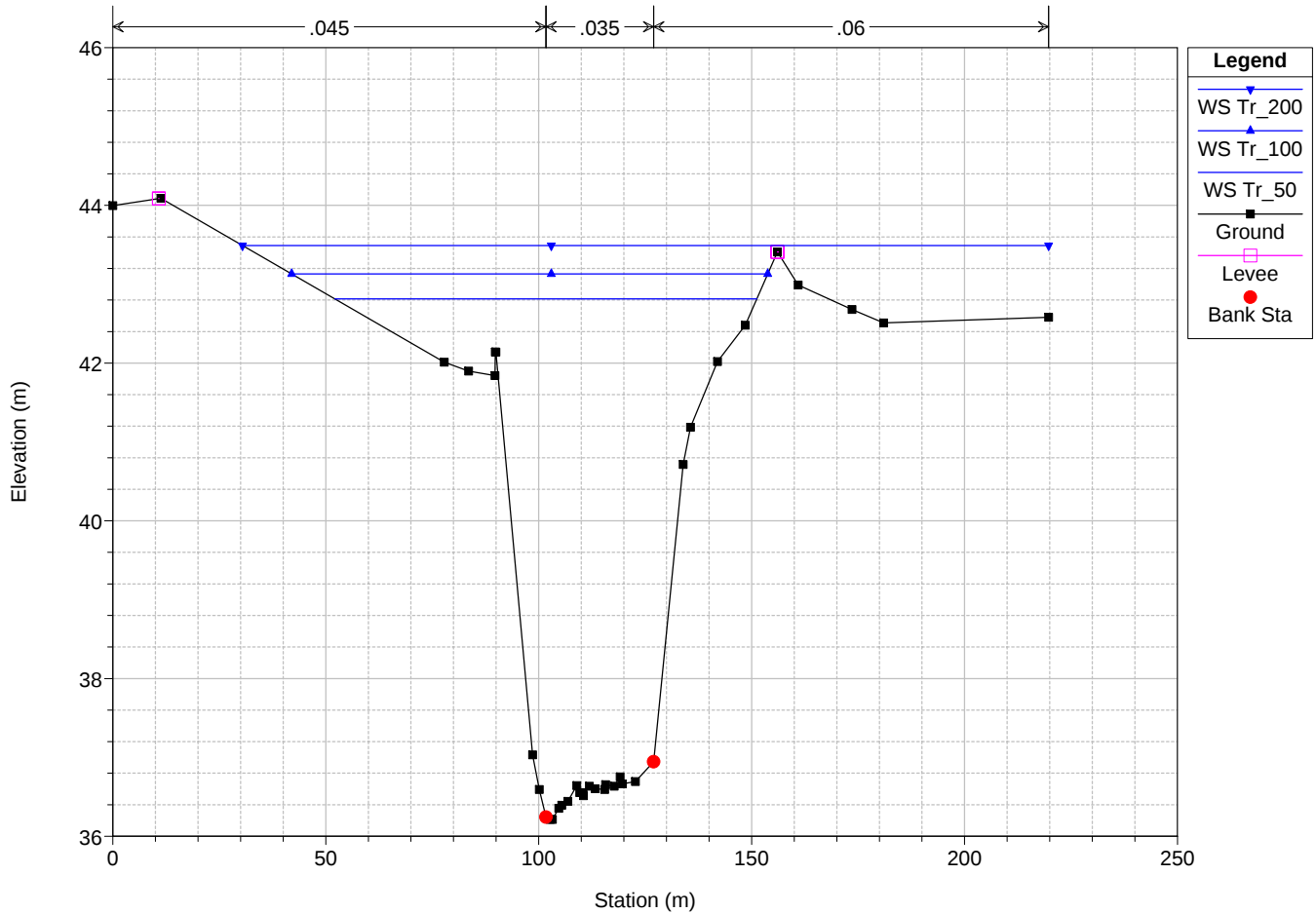
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 45 sezione_085.01 AIPO



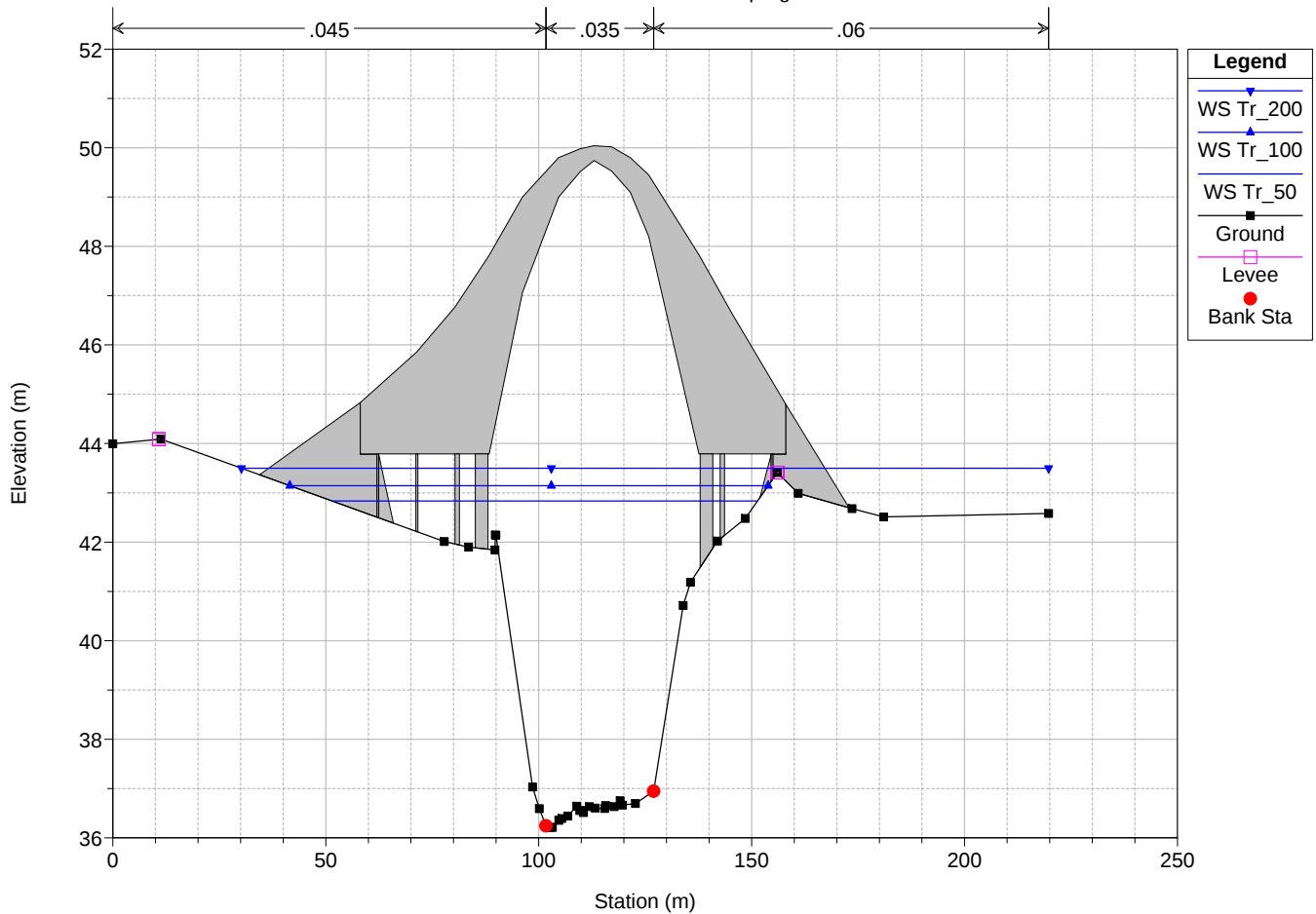
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 35



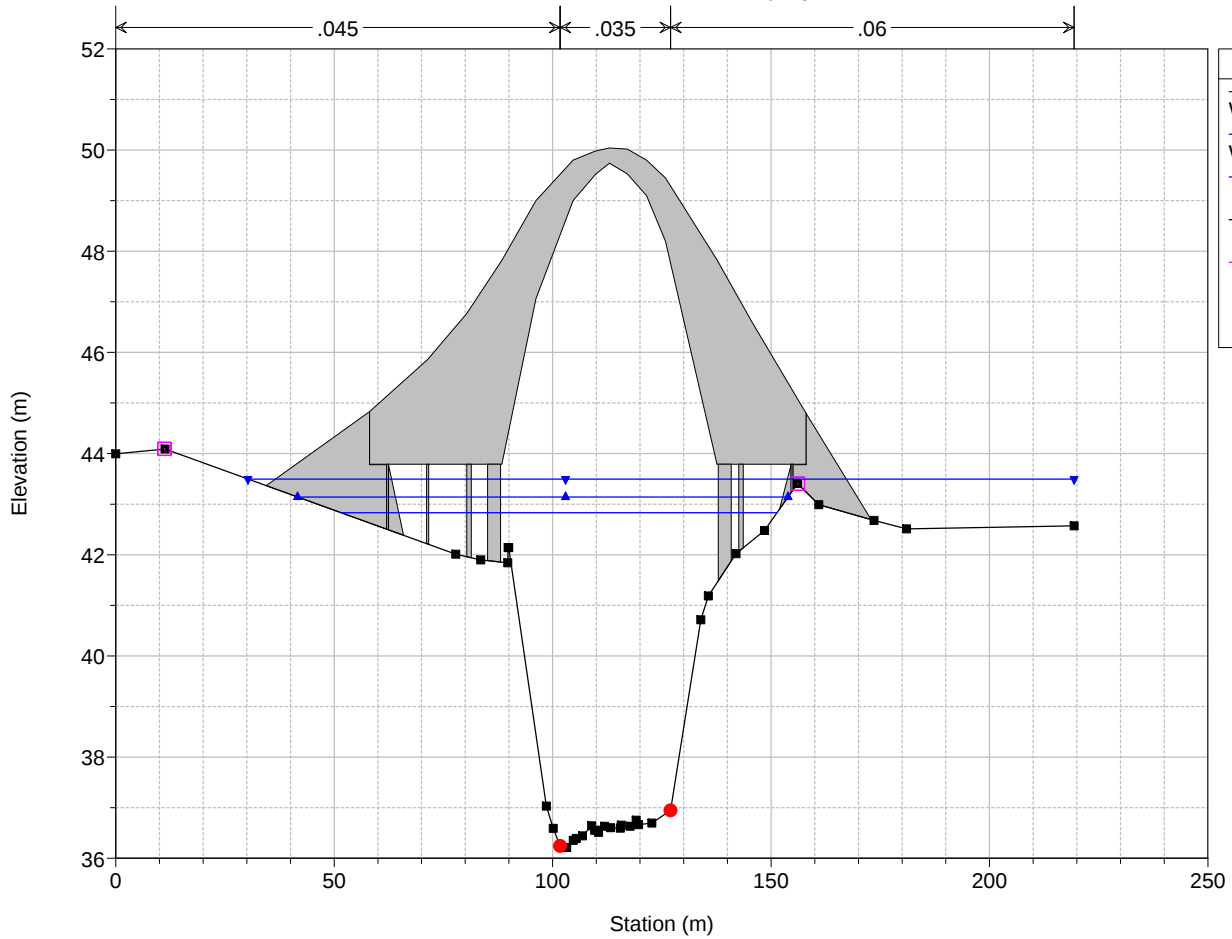
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 33 BR Ponte in progetto



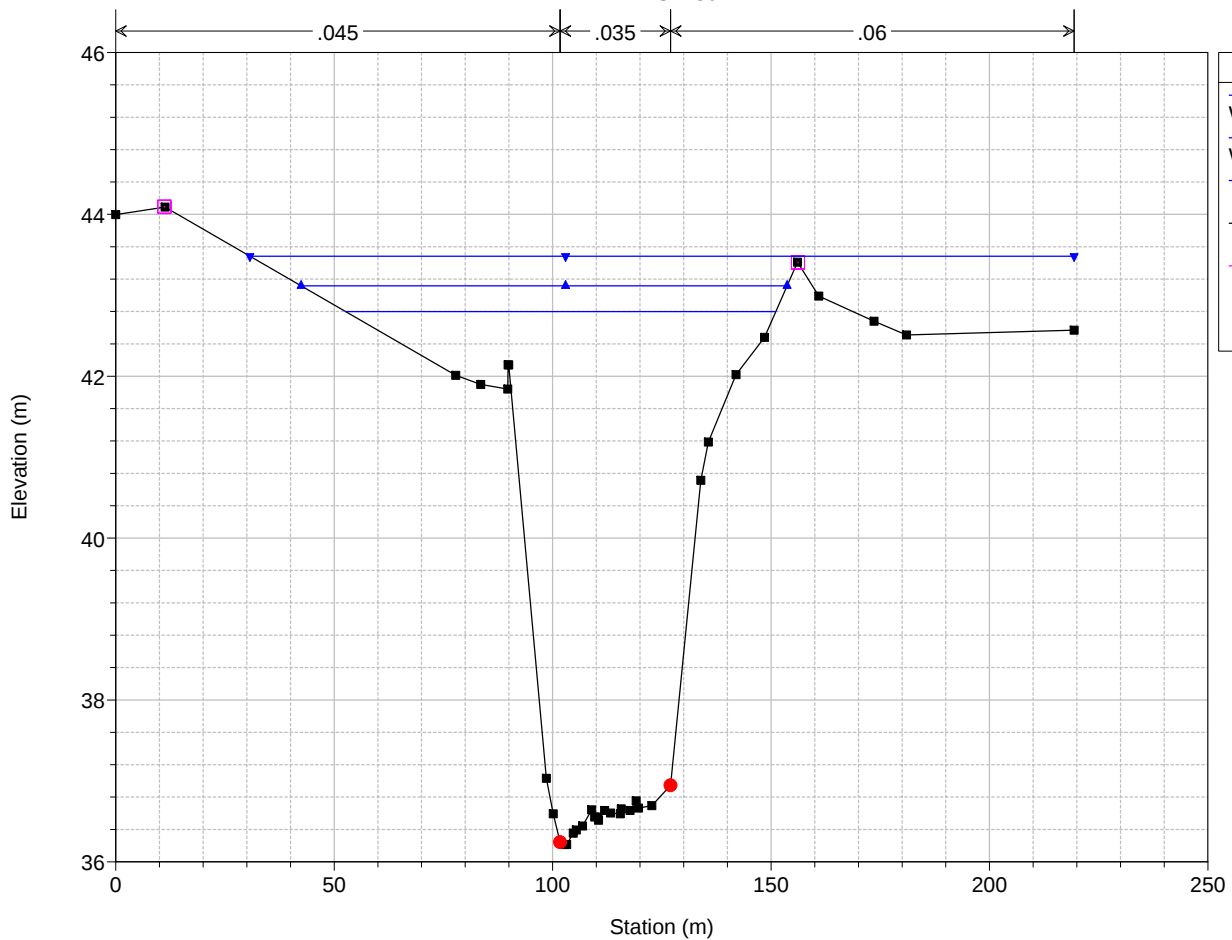
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 33 BR Ponte in progetto



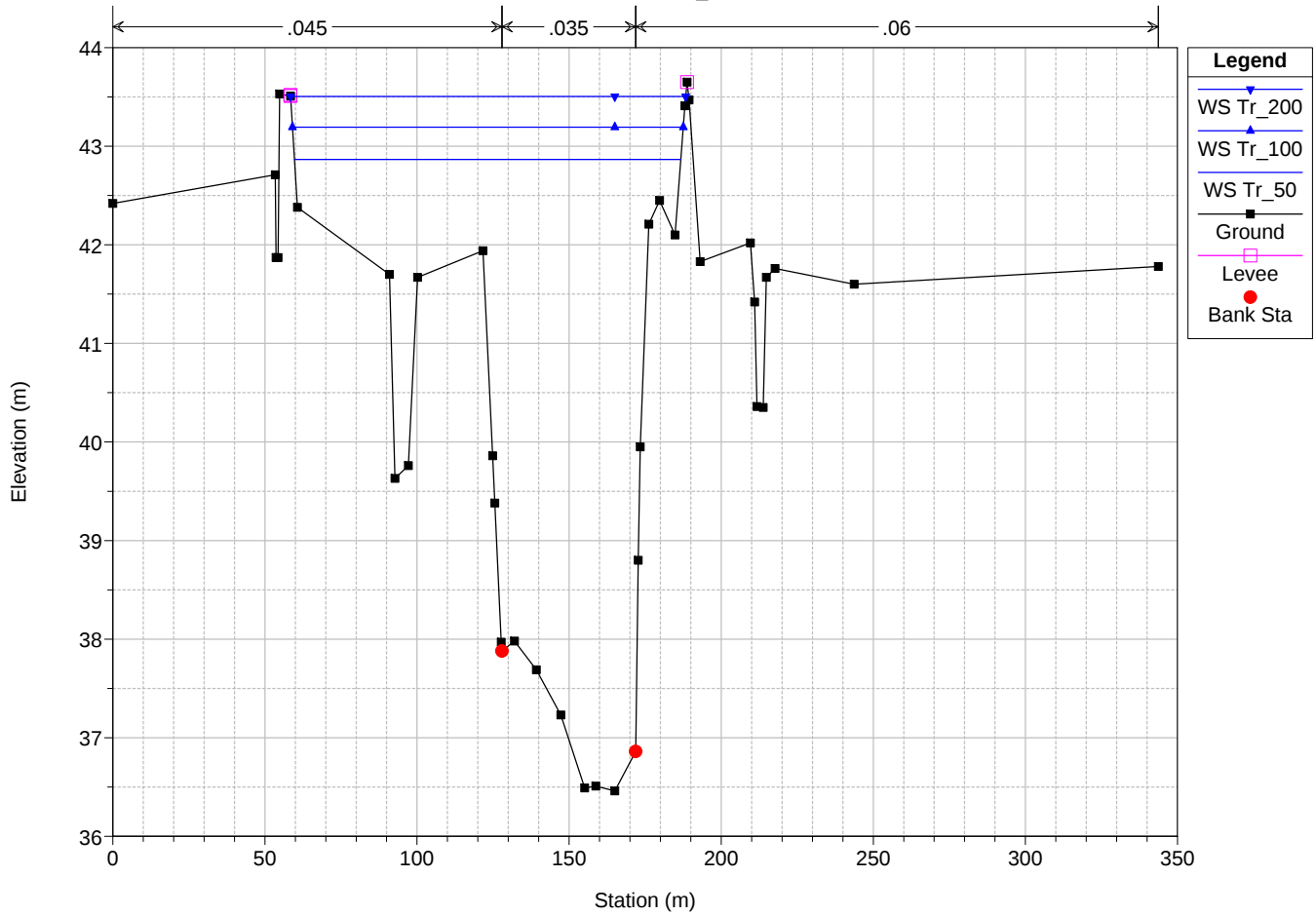
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 30



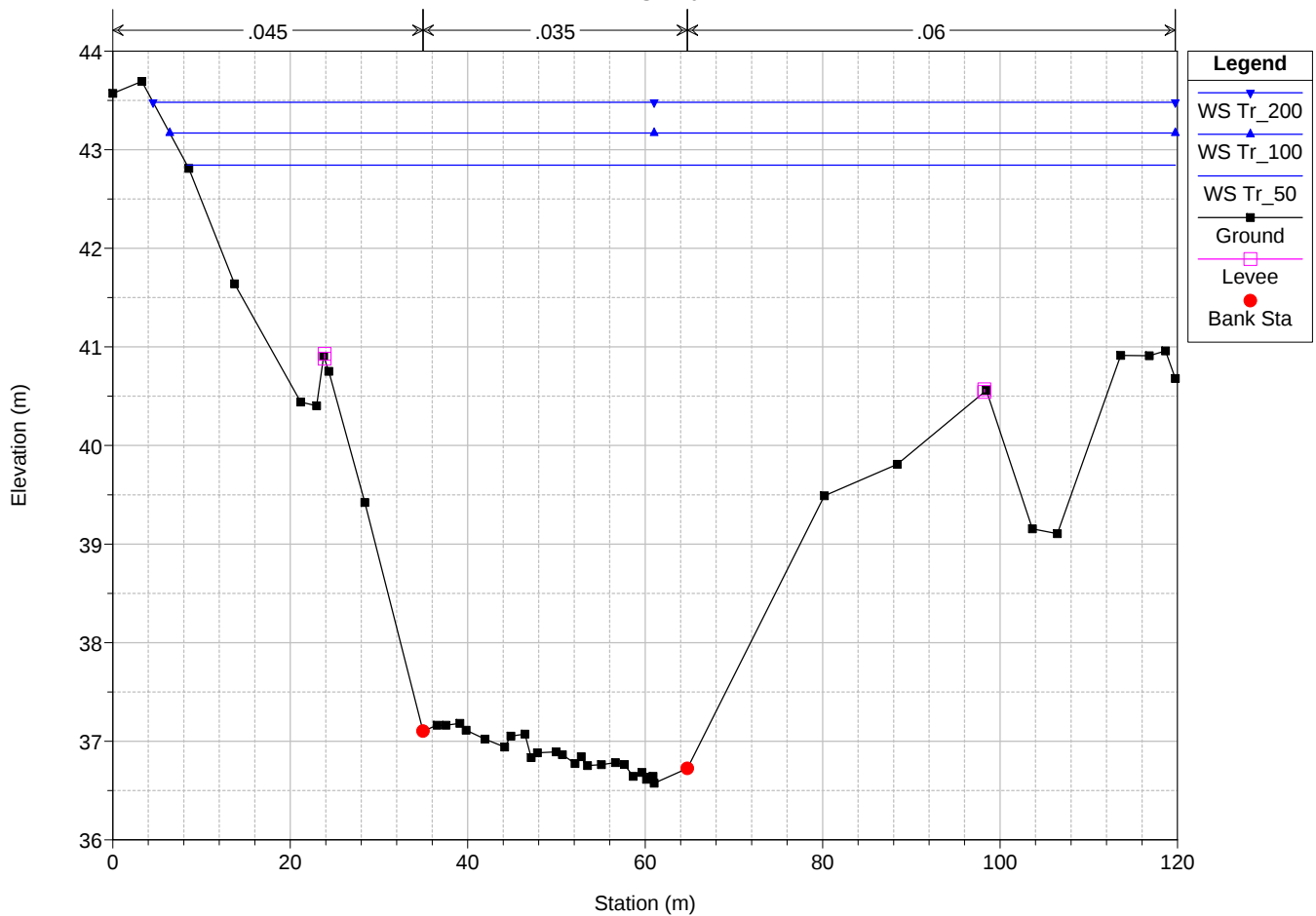
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 25 sezione_085 AIPO



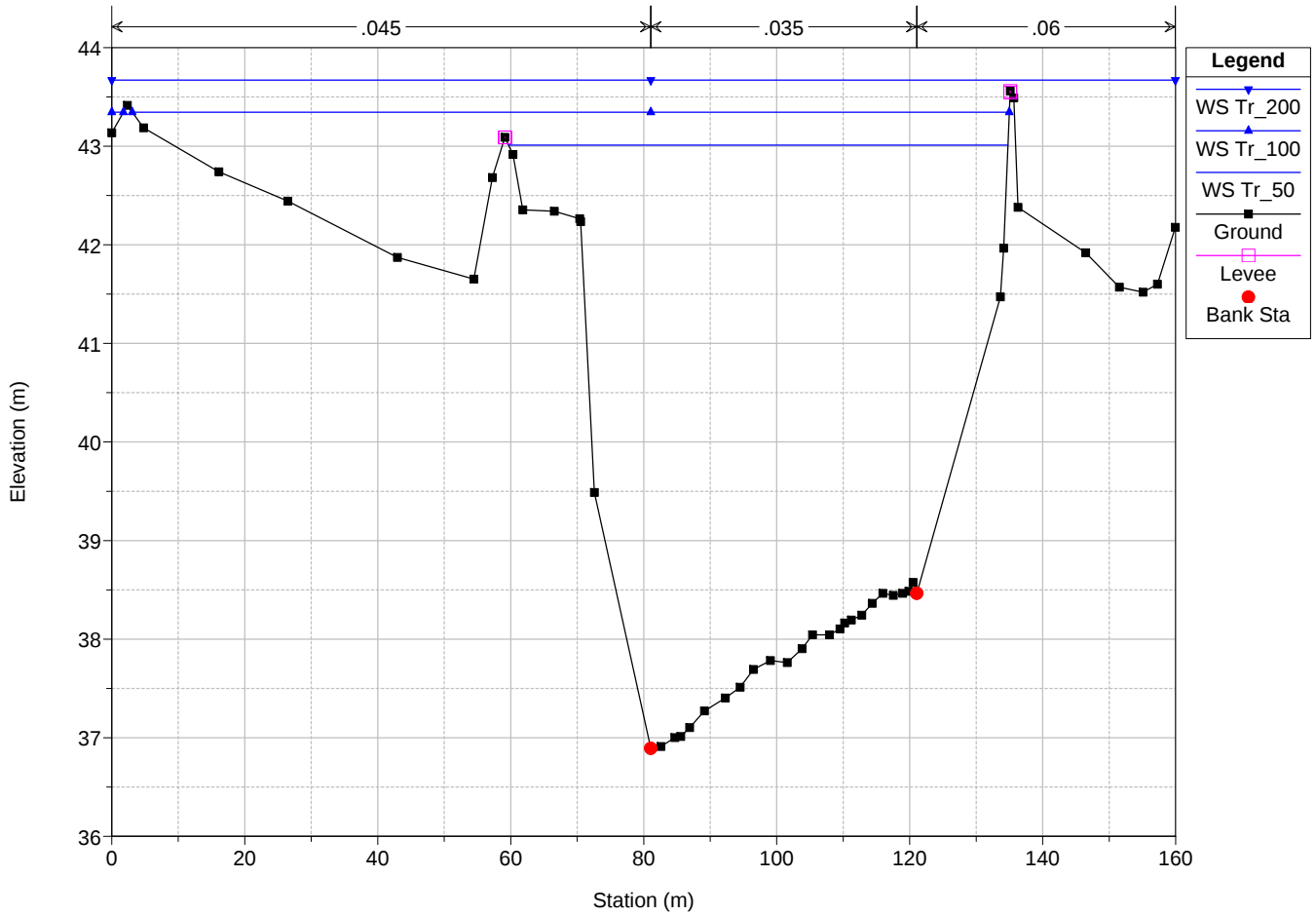
Oglio_ponte_mod Plan: mp_tr_geo_D 08/07/2014

RS = 10

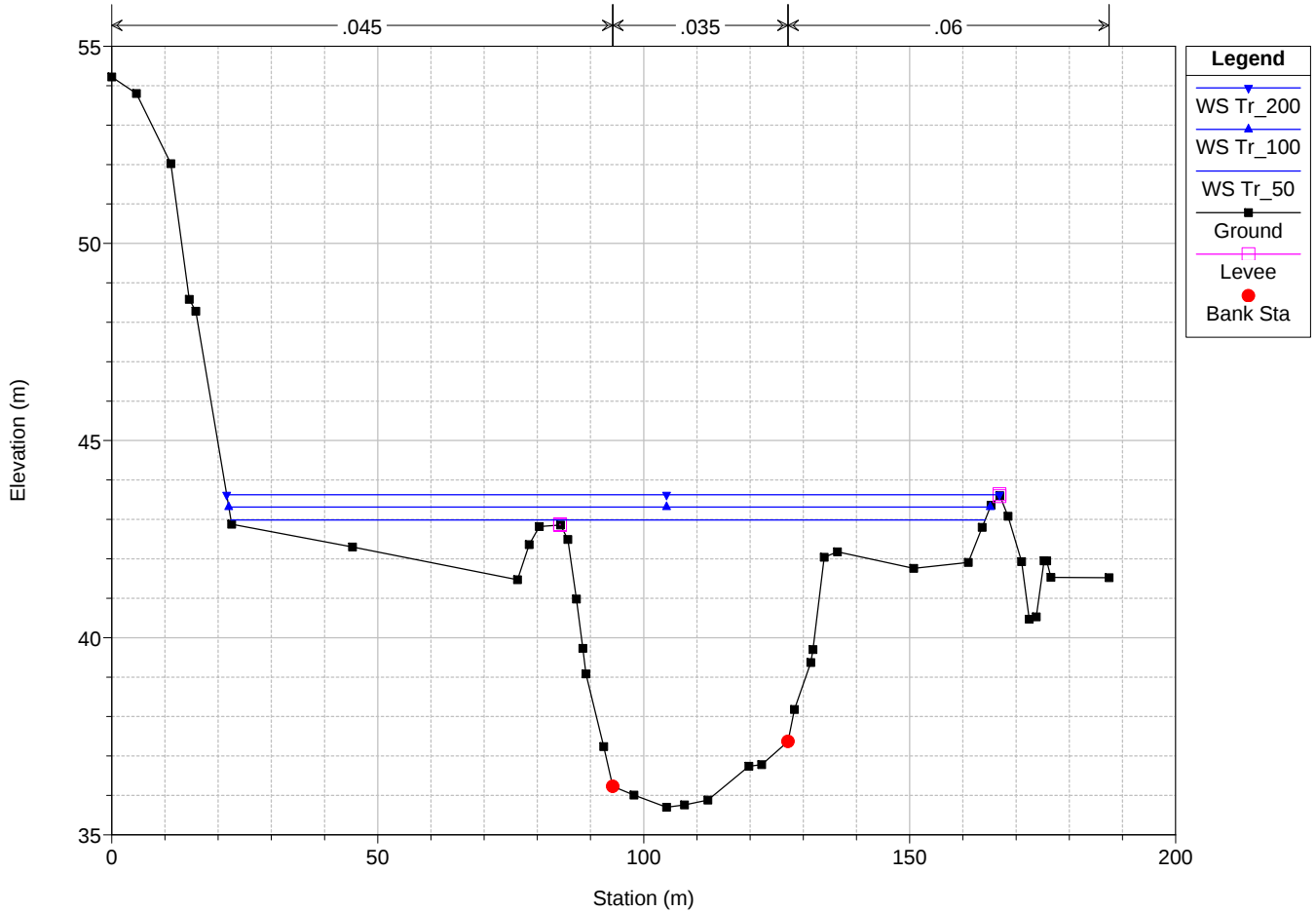


SEZIONI TRASVERSALI CON ARGINE DESTRO RINFORZATO

Oglio_ponte_mod Plan: mp_geo_F 08/07/2014
RS = 50

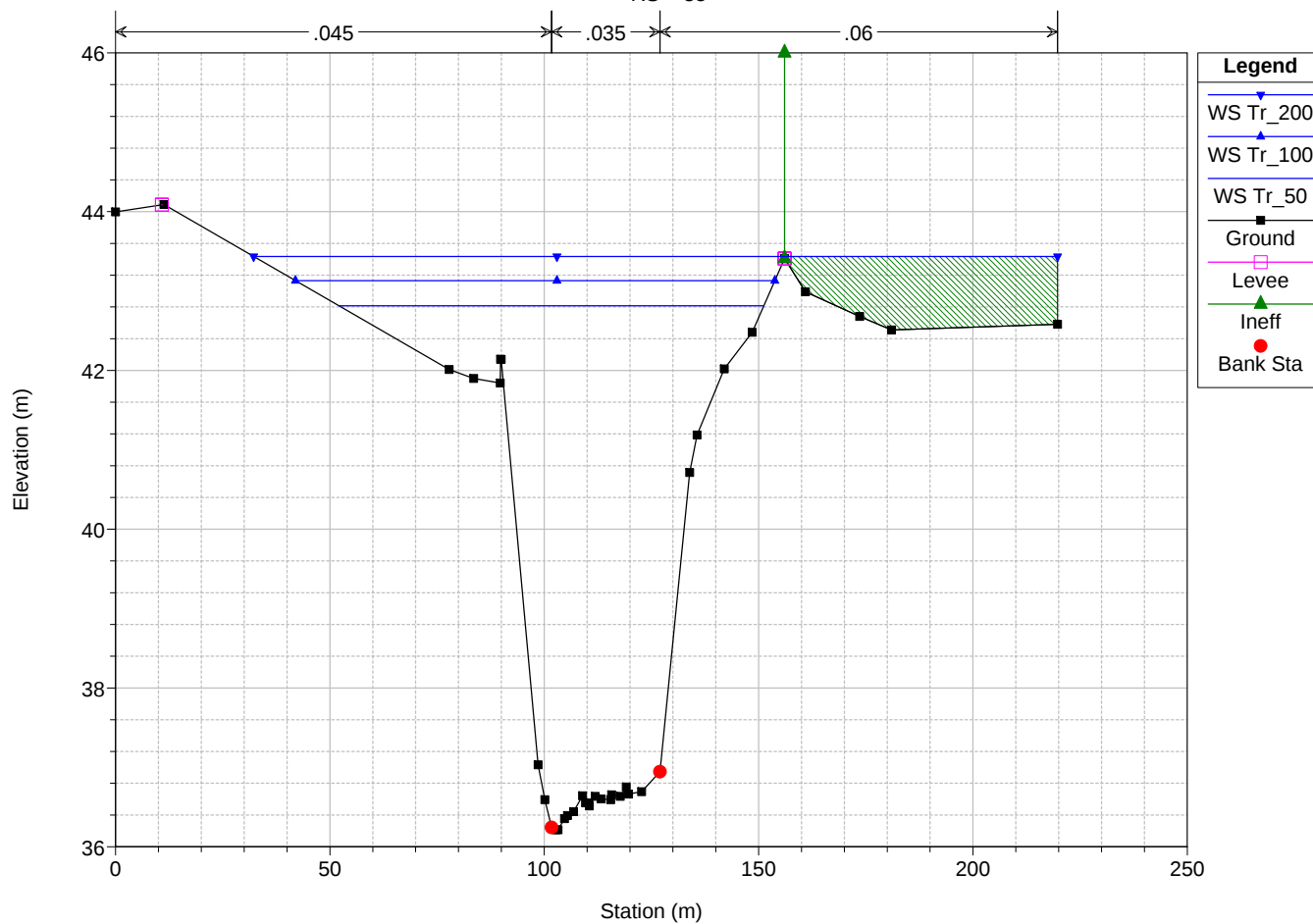


Oglio_ponte_mod Plan: mp_geo_F 08/07/2014
RS = 45 sezione_085.01 AIPO



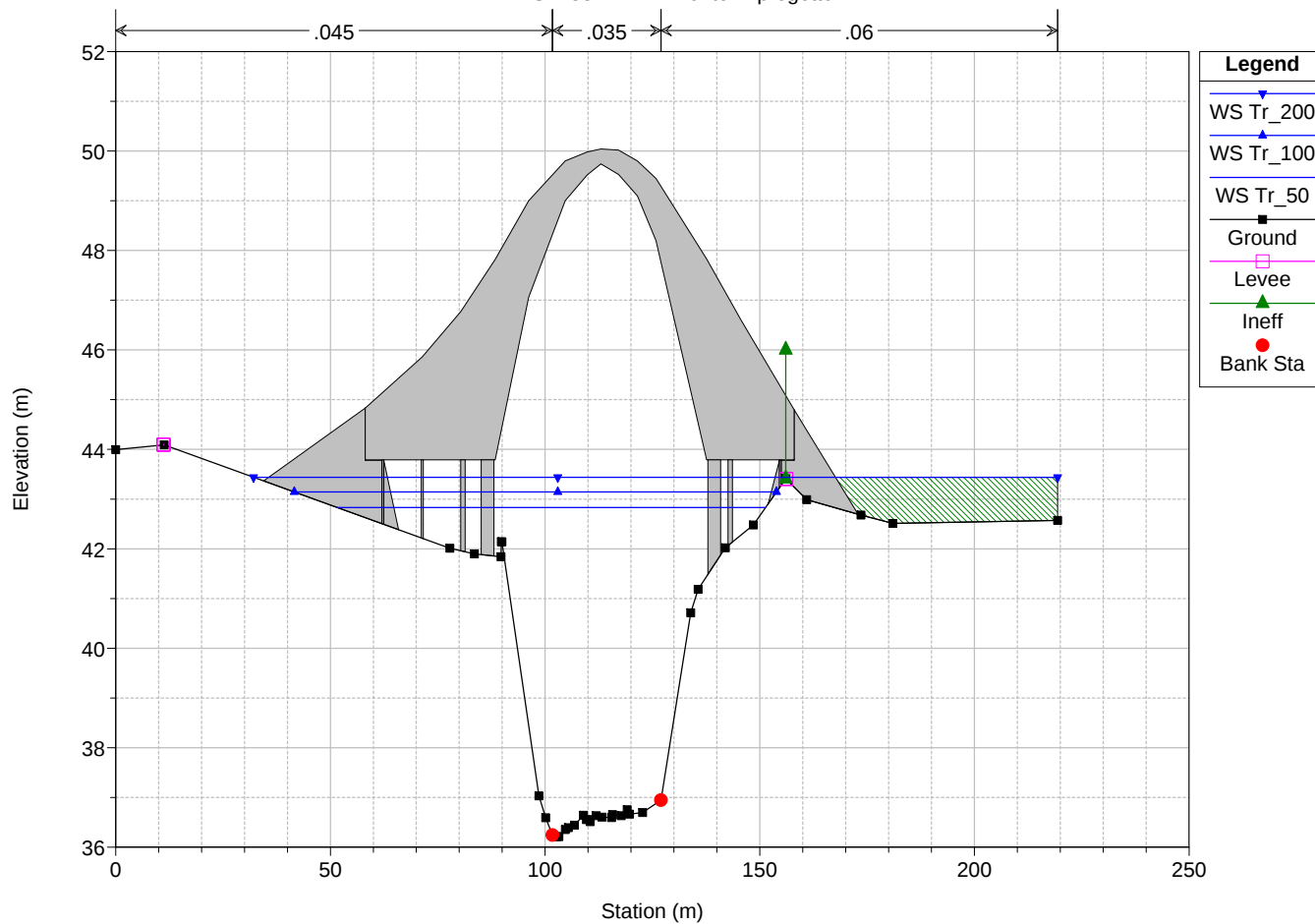
Oglio_ponte_mod Plan: mp_geo_F 08/07/2014

RS = 35

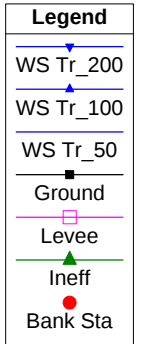
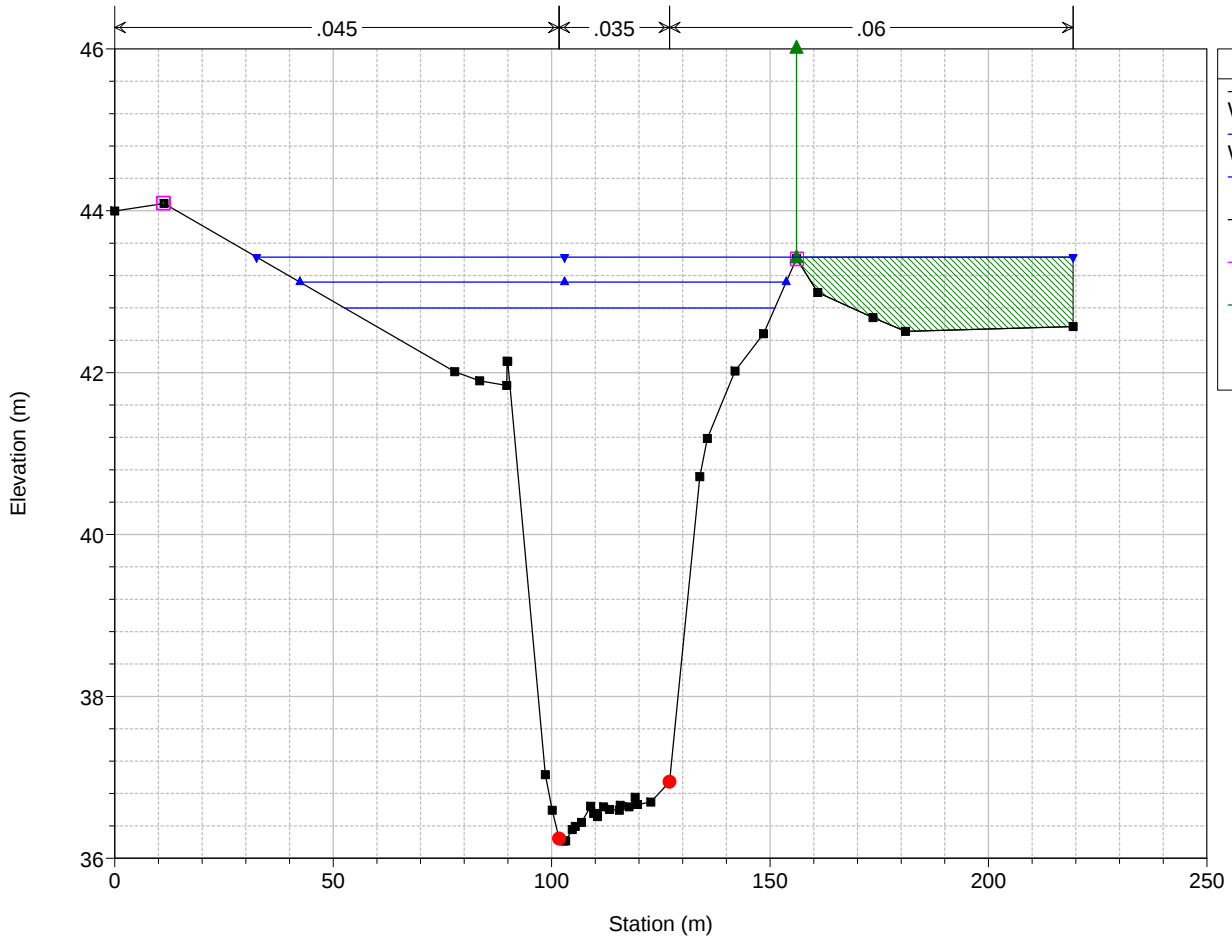


Oglio_ponte_mod Plan: mp_geo_F 08/07/2014

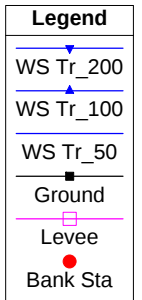
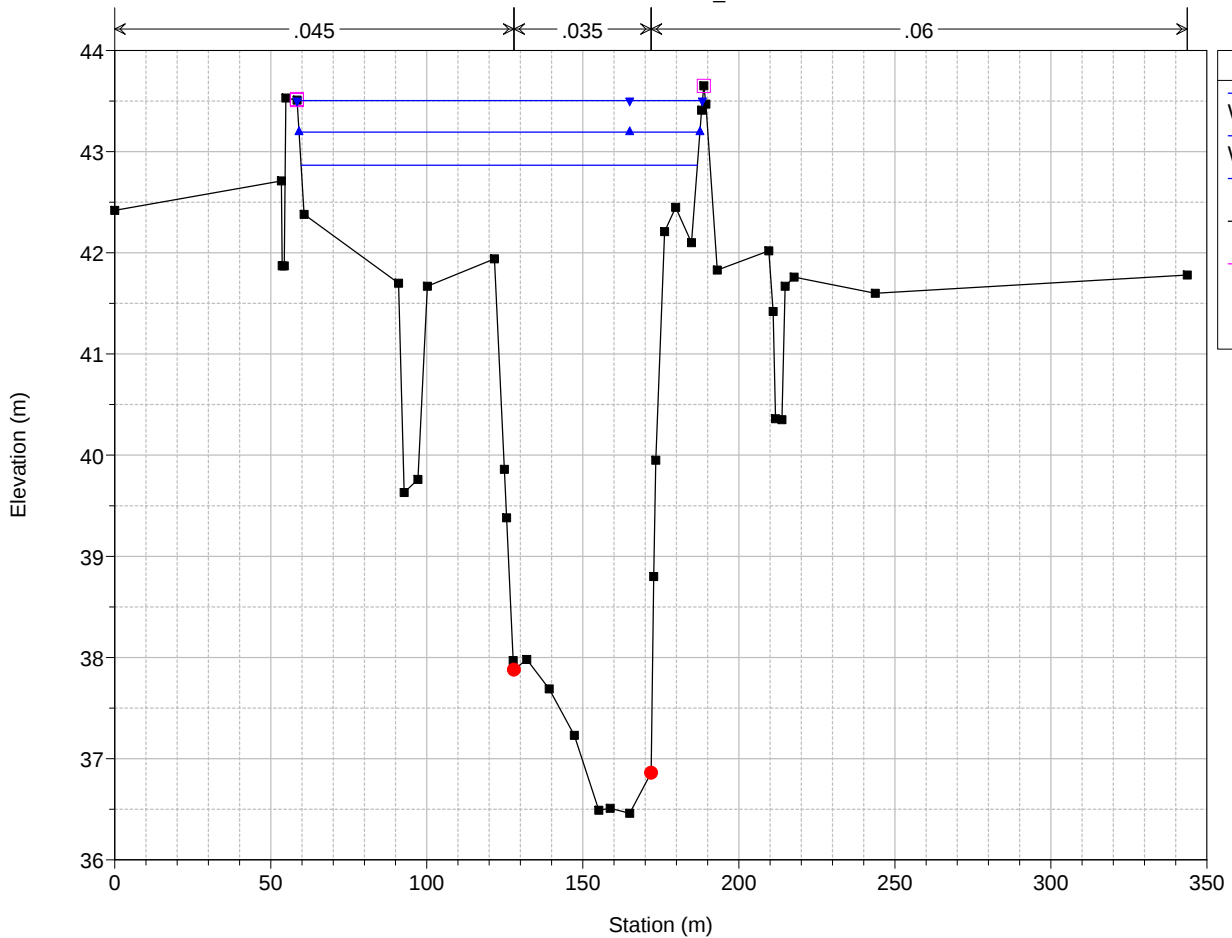
RS = 33 BR Ponte in progetto



Oglio_ponte_mod Plan: mp_geo_F 08/07/2014
RS = 30



Oglio_ponte_mod Plan: mp_geo_F 08/07/2014
RS = 25 sezione_085 AIPO



RS = 10

