COMUNE DI BOLANO

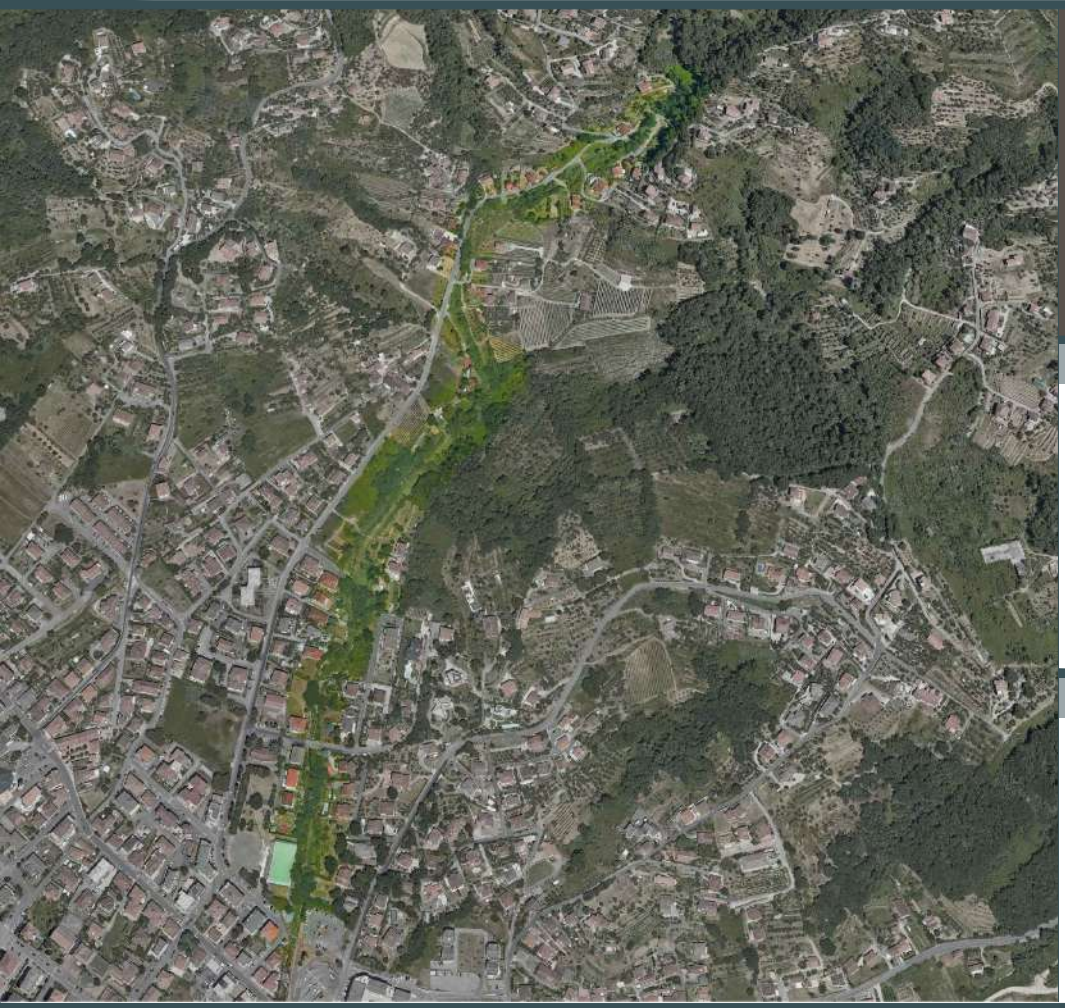
PROVINCIA DI LA SPEZIA

PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTO DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL CANALE VILLA NEL TRATTO COMPRESO TRA IL PONTE SU VIA PICARDA E LA PASSERELLA PEDONALE DI P.ZZA DELLE CORRIERE A CEPARANA

CUP: D22B15000000003

RELAZIONE IDRAULICA RELATIVA AL TRASPORTO SOLIDO



COD. ELABORATO

P E R T 0 5 0 1

PROGETTISTA

DOTT. ING. GIUSEPPE CERVAROLO (CSP)

WWW.EGIUSEPPECERVAROLO.IT

ORDINE INGEGNERI COSENZA
Ingegnere
CERVAROLO
GIUSEPPE
Laurea Specialistica
Sezione: A n. 4577
Settori: Civile-Ambientale

R.U.P.

GEOM. LORENZO BRAGAZZI

Lorenzo Bragazzi
07.08.2025
07:39:39
GMT+01:00

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	ESEGUITO
A	FEBBRAIO 2023	EMISSIONE PROGETTO ESECUTIVO	ING. CERVAROLO
B	LUGLIO 2023	REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO	ING. CERVAROLO
C	SETTEMBRE 2023	REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO	ING. CERVAROLO
D	DICEMBRE 2023	REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO	ING. CERVAROLO

SOMMARIO

Sommario....1
PREMESSA....2
Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS....3
Modellazione in moto permanente....3
Perdite di carico concentrate....6
Strutture longitudinali....11
CONDIZIONI AL CONTORNO....13
Modellazione idraulica Canale Villa RELATIVA AL TRASPORTO SOLIDO....14
COEFFICIENTI DI SCABREZZA DI MANNING....16
COEFFICIENTI DI CONTRAZIONE ED ESPANSIONE....16
Conclusioni....33

PREMESSA

Lo scopo della presente relazione è quello di considerare le condizioni di deflusso in alveo considerando altresì l'eventuale trasporto solido.

In particolare non vi è evidenza inoltre nel bacino imbrifero a monte e/o di episodi accaduti in passato, della possibilità di trasporto di materiale in sospensione quali alberi di alto fusto o derivante da episodi franosi di scorrimento superficiale, pertanto si ritiene che il franco ottenuto in corrispondenza dei ponti sia adeguato anche da questo punto di vista.

Ad ogni buon conto, al fine di tenere comunque conto di eventuali fenomeni di trasporto solido, e consultando per le vie brevi i funzionari dell'Autorità di Distretto di competenza, è stata condotta una simulazione idraulica tenendo conto di due aspetti aggiuntivi a quanto già fatto in condizioni ordinarie, ovvero:

- Incremento della portata liquida secondo la formulazione proposta da *Smart & Jaegge*:

$$Qs = 2.55 \cdot Q_C \cdot {i_f}^{1.6}$$

- Riduzione della sezione idraulica del 20% in corrispondenza degli attraversamenti (simulata attraverso la presenza di una pila di pari area).

La simulazione idraulica degli eventi di piena è stata effettuata allo scopo di valutare l'officiosità idraulica del canale Villa oggetto di studio considerando pertanto gli eventuali effetti di trasporto solido in accordo a quanto discusso anche per le vie brevi con i funzionari dell'Autorità di Distretto.

La modellazione è stata effettuata tramite l'ausilio del software HEC-RAS (River Analysis System), sviluppato da "*Hydrologic Engineering Center*" del *US Army Corps of Engineers (Versione 6.3.1).*

È stata condotta una modellazione idraulica monodimensionale del canale in condizioni di moto permanente.

I risultati riportati riguardano esclusivamente quelli relativi agli attraversamenti, ovvero per i punti più sensibili in caso di evento di piena con aggiunta di trasporto solido.

Come sarà mostrato di seguito, gli interventi di sistemazione idraulica previsti garantiscono livelli di officiosità adeguanti anche nel caso vi fosse un incremento di portata liquida e potenziali fenomeni di occlusione della sezione idraulica nella misura del 20%.

DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS

Il codice di calcolo HEC-RAS è un software freeware sviluppato dall' "*Hydrologic Engineering Center*" del *US Army Corps of Engineers.*

La versione adoperata è la 6.3.1 e permette di:

- Effettuare simulazioni in condizioni di moto permanente (steady flow) in corrente lenta, veloce o mista, calcolando i corrispettivi profili di corrente.
- Effettuare simulazioni in condizioni di moto vario (unsteady flow).
- Effettuare simulazioni per la classificazione e quantificazione di processi di idrodinamica del trasporto solido relativi a fenomeni di erosione o deposizione generalizzata e/o localizzata in condizioni di moto "quasi vario" (quasi-unsteady flow) e in moto vario.
- Effettuare simulazioni idrauliche bidimensionali in condizioni di moto vario e/o effettuare analisi accoppiate 1D/2D adoperando modelli monodimensionali per la simulazione del canale e modelli bidimensionali per le aree inondabili.
- Effettuare modellazioni puramente bidimensionali dell'intero dominio di calcolo.

MODELLAZIONE IN MOTO PERMANENTE

Il programma di calcolo opera integrando le equazioni generali del moto secondo il metodo denominato nella letteratura anglosassone "Standard Step Method". Il processo di calcolo si sviluppa, a seconda delle caratteristiche della corrente, lenta o veloce, dalla sezione estrema di valle o dalla sezione estrema di monte dove vengono assegnate dall'utente le condizioni al contorno e procede verso l'altro estremo.

Le ipotesi alla base del modello sono:

- Moto permanente gradualmente variato;

- Deflusso della corrente monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate; le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;

- a pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);

- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;

- a geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente viene risolta, considerando due sezioni consecutive, nella seguente forma:

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

In cui:

• Yi = Tirante dell'i-esima sezione

• Zi = Quota geodetica dell'i-esima sezione

• αi = Coefficienti di ragguaglio dell'altezza cinetica

• Vi = velocità medie nell'i-esima sezione

• g = accelerazione di gravità

• ΔE = perdita di carico totale nel tratto considerato

Il valore di ΔE è definito dalla somma delle perdite di carico dovute all'attrito (perdite distribuite) e delle perdite di carico dovute alla contrazione o all'espansione della vena liquida (perdite localizzate).

$$\Delta E = L\, S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Dove:

• L = Lunghezza del tratto fluviale mediata sulle portate:

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{rob} Q_{rob} + L_{ch} Q_{ch}}{Q_{lob} + Q_{rob} + Q_{ch}}$$

I pedici lob, ch e rob rappresentano rispettivamente: golena sinistra (lob); alveo per le piene ordinarie (ch); e golena destra (rob).

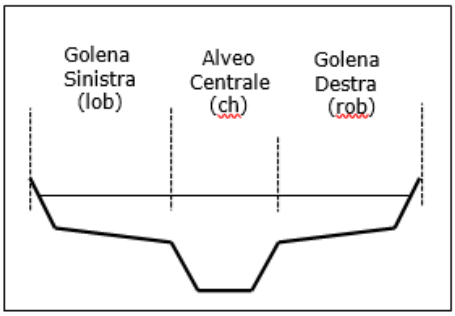


Figura 1 - Schematizzazione della sezione all'interno del codice HEC-RAS

• Sf = cadente piezometrica

• C = Coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1

Tramite la formula di Chezy è¨ possibile calcolare il valore delle *conveyance* considerando le singole porzioni di flusso (in golena destra e sinistra e nel canale centrale):

$$Q = K S_f^{1/2} \quad e \quad K = \frac{1}{n} A R^{2/3}$$

Con:

• K = conveyance espressa in m^3/s;

• n = coefficiente di scabrezza di Manning espressa in $m^{1/3}/s$;

• A = area relativa al deflusso espressa in m^2;

• R = raggio idraulico espresso in m.

Il valore della conveyance viene calcolato per le singole sezioni di deflusso, ottenendo quindi un valore totale della stessa, come somma dei contributi di Krob, Klob e Kch.

Infine il coefficiente di ragguaglio α viene calcolato considerando che l'altezza cinetica deriva dal valore medio pesato sulla portata sulle singole sezioni (golenali e centrale):

$$\frac{\alpha \bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i \frac{V_i^2}{2g}}{Q_{tot}} \quad \text{con} \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i^2 Q_i}{Q_{tot} \bar{V}^2}$$

Il valore relativo all'altezza della superficie libera incognita viene determinato in maniera iterativa a partire dai dati assegnati di portata e dalle caratteristiche geometriche delle singole sezioni.

La procedura di calcolo prevede la risoluzione dell'equazione dell'energia e delle perdite di carico in maniera iterativa.

PERDITE DI CARICO CONCENTRATE

Riguardo alle perdite di carico concentrate, il programma HEC-RAS considera una contrazione ogni volta che l'altezza cinetica della sezione di monte risulta maggiore di quella della sezione più a valle, viceversa un'espansione. Le perdite concentrate vengono espresse dalla seguente equazione:

$$h_{ce} = C \left| \frac{a_1 V_1^2}{2g} - \frac{a_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C è il coefficiente di contrazione/espansione ed i pedici 1 e 2 sono relativi alla sezione di monte ed alla sezione di valle.

Le perdite di carico concentrate si hanno soprattutto in corrispondenza di ostacoli al deflusso, ovvero nel caso di ponti, dighe e altre particolarità idrauliche, per il calcolo delle quali sono stati incorporati gli stessi codici di calcolo sviluppati nel modulo relativo al moto permanente. Il programma calcola le perdite di carico come somma di tre contributi: le perdite dovute alla contrazione e all'espansione del flusso rispettivamente a monte e a valle della struttura e una perdita in corrispondenza della struttura. Quest'ultima viene calcolata, nel caso particolare dei ponti, tramite i metodi seguenti:

- *Energy Method*, per i casi in cui il livello idrico rimane al di sotto della quota minima di intradosso (low cord); il programma risolve l'equazione di bilancio energetico tra le sezioni a monte ed a valle del ponte, il calcolo avviene sottraendo all'area contribuente al deflusso le zone occupate dalle strutture del ponte ed aggiungendo le superfici del ponte a contatto con l'acqua nella perimetrazione del contorno bagnato;
- *Pressure and Weir flow method*, che prevede di considerare il ponte in pressione non appena il livello idrico raggiunge una percentuale prefissata dell'altezza delle aperture; quando il livello idrico è superiore al low cord nella sezione di monte, il programma sceglie una modellazione del comportamento idrico come deflusso attraverso una luce a battente (libero o rigurgitato a seconda che il livello idrico sia più basso o più alto del low cord nella sezione di valle);

$$Q = C_d A_b \sqrt{2g(Y_3 - \frac{Z}{3} + a_3 \frac{V_3^2}{2g})}$$

dove Q è il flusso totale attraverso il ponte, Cd è il coefficiente di flusso, A_b è l'area della sezione di monte del ponte al netto delle zone occupate dal ponte, Y3 il tirante idrico nella sezione subito a monte del ponte, Z è la massima distanza tra la quota del low cord e la profondità media della sezione di monte del ponte. Quando la quota del pelo idrico supera, invece, anche il livello di high cord (quota di impalcato del ponte), si usa l'equazione per gli stramazzi liberi o rigurgitati:

$$Q = \sqrt{2g} C_d L H^{3/2}$$

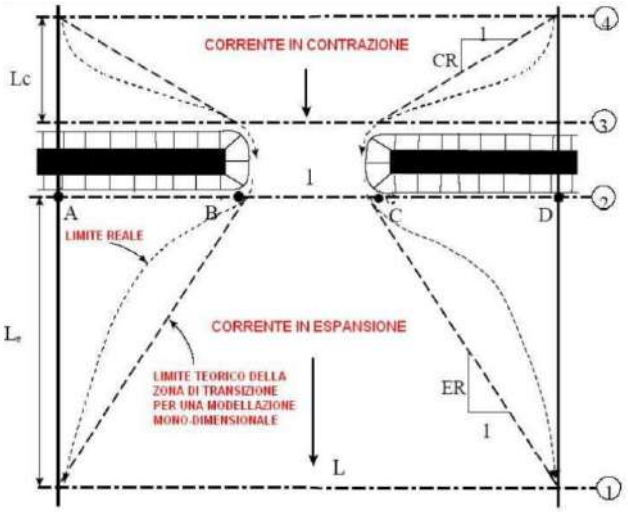
dove il valore del coefficiente Cd si assume pari a 1,7 se lo sfioro è libero e viene ridotto in base alla sommergenza percentuale se il deflusso è rigurgitato.

Modellazione dei ponti

I ponti sono elementi di singolarità rispetto alla normale geometria fluviale causa di contrazioni ed espansioni della vena fluida e conseguente perdite di carico. Per tale motivo all'interno del software HEC-RAS la presenza di tali infrastrutture viene modellata mediante l'inserimento di quattro sezioni:

- La sezione 1, ubicata a valle del ponte, a una distanza pari ad almeno quattro volte il semi-restringimento causato dal ponte nella sezione 2 con le spalle e le eventuali pile;
- Le sezioni 2 e 3 ubicate rispettivamente subito a valle e subito a monte del ponte;
- La sezione 4, ubicata a monte del ponte, a una distanza pari almeno al semirestringimento causato dal ponte nella sezione 3.

Questo tipo di modellazione permette infatti di tenere conto del fenomeno di contrazione e espansione della vena liquida a monte e a valle del restringimento della sezione generato dalla presenza dell'infrastruttura.



Per quanto riguarda le modalità di approccio alla simulazione il software HEC-RAS permette di effettuare una modellazione idraulica nelle seguenti situazioni di flusso:

• **Low flow**: si verifica quando il flusso che attraversa il ponte avviene come in un canale aperto, con la superficie libera al di sotto del punto più alto dell'intradosso del ponte. I metodi di calcolo utilizzabili sono: equazione dell'energia, equazione dei momenti, metodo di Yarnell e metodo WSPRO.

• **Weir flow**: s'innesca quando la superficie libera raggiunge la quota di estradosso del ponte. Vengono applicate nel calcolo le classiche equazioni delle luci a stramazzo;

• **Pressure flow**: avviene quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. HEC-RAS assume nel calcolo l'equazione più appropriata tra quelle disponibili per descrivere il flusso attraverso la luce del ponte.

• **High flow**: si verifica quando il ponte risulta fortemente sommerso; il programma in questo caso applica automaticamente l'equazione dell'energia.

Nel caso di **low flow** il programma differenzia tre casi, a seconda che la corrente sia sempre lenta (subcritica), mista o sempre veloce (super critica).

Nel primo caso il programma dà la possibilità di scegliere 4 metodi di soluzione differenti:

1) *Equazione dell'energia* (metodo standard);

2) *Bilancio della quantità di moto:* il bilancio avviene tra le sezioni 2 e 3 in tre step successivi. In un primo momento fra la sezione 2 e la sezione di valle interna al ponte, quindi fra valle-ponte e monte-ponte, infine tra la sezione a monte interna al ponte e la sezione 3.

3) *Equazione di Yarnel:*

$$\frac{\Delta Y}{Y_0} = k_2(k_2 - 0.6 + 5\,Fr^2)\left[1 - \frac{b}{b_0} + 15\left(1 - \frac{b}{b_0}\right)^4\right] Fr^2$$

Dove:

- ΔY è il rigurgito provocato dalla presenza delle pile del ponte tra le sezioni 2 e 3;
- b_0, Y_0 sono rispettivamente la larghezza e l'altezza del corso d'acqua in condizioni indisturbate (canale a sezione rettangolare);
- b è la larghezza della sezione ristretta;
- Fr è il numero di Froude;
- k_2 è un coefficiente tabellato che tiene conto della geometria delle pile del ponte e del syuo effetto sulle modifiche al deflusso;

4) *Metodo FHWA WSPRO*: consiste nella soluzione iterativa dell'equazione dell'energia fra le sezioni di entrata (1) e di uscita (4) del ponte (sezioni in cui le linee di flusso sono approssimativamente parallele). L'equazione è risolta in più passi fra le sezioni 1-2, 2-3, 3-4.

Di seguito viene riportata l'equazione del metodo WSPRO:

$$h_4 + \frac{a_4 V_4^2}{2g} = h_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} \cdot h_{L4-1}$$

Con:

- h_1, h_4 sono le quote della superficie libera;
- h_{L4-1} rappresenta la perdita di carico che viene calcolata di volta in volta tra le sezioni. Le perdite vengono valutate tramite il coefficiente di scabrezza n e i coefficienti di contrazione/espansione.

Nel caso di **weir flow** il programma utilizzerà le equazioni delle luci a stramazzo. Se il pelo libero raggiunge altezze molto elevate il programma riduce automaticamente la quantità di flusso, riducendo il coefficiente di sbarramento (weir coefficient) in base all'ammontare della sommergenza raggiunta. Quando il ponte diventa altamente sommerso, il programma passa automaticamente al calcolo delle perdite di carico utilizzando l'equazione dell'energia. Il

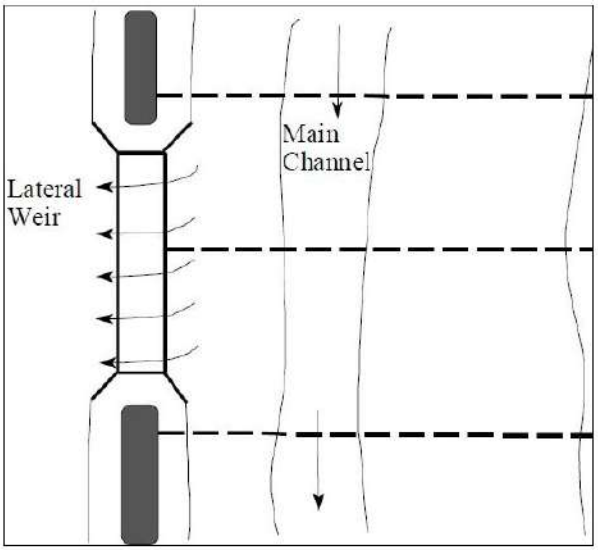
momento in cui il programma passa all'utilizzo di tale equazione può essere modificato dall'utente.

Il caso di **pressure flow** avviene quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. Una volta che il flusso entra in contatto con il lato a monte del ponte, nella zona si verifica un ristagno. In questo caso il programma gestisce due casi: il primo è quando solo il lato a monte del ponte è a contatto con l'acqua e il secondo è quando il ponte viene completamente sommerso. Nel primo caso il programma utilizza il metodo FHWA, nel secondo utilizza le equazioni delle luci a stramazzo. Il programma inizia il controllo del pressure flow quando la linea dell'energia supera la massima elevazione del low chord. La risposta del pressure flow viene comparata a quella del low flow e la maggiore delle due viene considerata. L'utente ha la possibilità di indicare al programma di utilizzare la superficie libera, invece di quella dell'energia, per attivare il calcolo del flusso di pressione.

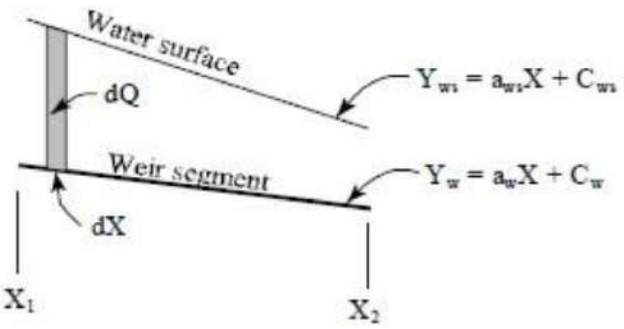
STRUTTURE LONGITUDINALI

All'interno del software di calcolo HEC-RAS è possibile modellare la presenza di sbarramenti laterali e luci a battente. Le *lateral structures* possono essere utilizzate come strutture di collegamento tra l'area monodimensionale in alveo e le aree inondabili esterne con struttura bidimensionale.

La rappresentazione geometrica delle lateral structures prevede la presenza di almeno una sezione a monte e una sezione a valle di quest'ultima. La sezione a monte può essere collocata sia in corrispondenza dell'inizio della struttura che leggermente prima, stesso discorso ovviamente vale per la sezione di valle che può essere posizionata anche più avanti.



Come mostrato nella figura seguente, sia la superficie dell'acqua che il terreno presentano una determinata pendenza dovendo quindi andare a derivare l'equazione dello stramazzo laterale. In figura vengono indicate l'equazione della superficie idrica e del terreno laddove le costanti aws e aw rappresentando i coefficienti angolare delle due equazioni, mentre le variabili Cws e CW sono le costanti che rappresentano i livelli iniziali.



L'equazione dello stramazzo laterale standard ipotizza che la struttura sia parallela alla superficie idrica (cioè la profondità dell'acqua è costante da una estremità all'altra dello stramazzo). La seguente equazione generale deriva dall'integrazione dell'equazione dello stramazzo laterale andando a considerare sia la pendenza della struttura laterale che del terreno:

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{3/2}\, dx$$

$$dQ = C(a_{ws}x + C_{ws} - a_w x - C_w)^{3/2}\, dx$$

$$dQ = C((a_{ws} - a_w)x + C_{ws} - C_w)^{3/2}\, dx$$

Posto

$$a_1 = a_{ws} - a_w \text{ e } C_1 = C_{ws} - C_w$$

$$\int_{x1}^{x2} dQ = C \int_{x1}^{x2} (a_1 x + C_1)^{\frac{3}{2}} dx = \frac{2C}{5a_1}(a_1 x + C_1)^{\frac{5}{2}}\Big]_{x_1}^{x_2}$$

$$Q_{x1-x2} = \frac{2C}{5a_1}((a_1 x_2 + C_1)^{5/2} - (a_1 x_1 + C_1)^{\frac{5}{2}})$$

Tale equazione è valida finché il termine $aa1$ è diverso da zero. Quando $aa1$ è nullo, la superficie dell'acqua e la lateral structures sono parallele.

CONDIZIONI AL CONTORNO

Ai fini computazionali potranno essere definite delle condizioni al contorno dei dati sedimentologici agli estremi liberi del dominio o in una qualsiasi sezione dello stesso. Nello specifico è di particolare importanza inserire i carichi di sedimenti in ingresso al sistema ovvero quelli relativi alle sezioni di monte dei tronchi studiati.

Le condizioni al contorno adoperabili nel software sono:

1) **Rating curve**: scala di deflusso dei sedimenti ovvero carico di sedimenti variabile in funzione della portata liquida. Tale condizione al contorno equivale ad imporre che l'afflusso dei sedimenti nella sezione di interesse è strettamente legato ai deflussi liquidi. È quindi indispensabile che preventivamente venga sia condotta un'analisi che metta in relazione il carico di sedimenti che affluisce nella sezione con il deflusso idrico, definendo quindi le diverse coppie portata liquida – carico di sedimenti.

2) **Sediment load series**: carico di sedimenti predefinito. Tale condizione al contorno considera un'immissione concentrata o distribuita di sedimenti non specificamente correlata ad una variazione di portata. Questa condizione è adatta per simulare eventuali movimenti franosi in atto il cui piede arriva ad essere lambito dalla corrente con conseguente collasso dei detriti in alveo.

3) **Equilibrium load**: carico di equilibrio. Tala condizione, disponibile solo per le sezioni di monte del dominio d calcolo, è determinata dalle capacità di trasporto della corrente.

MODELLAZIONE IDRAULICA CANALE VILLA RELATIVA AL TRASPORTO SOLIDO

Lo studio idraulico in oggetto ha riguardato il tratto del Torrente Villa in corrispondenza del tratto compreso tra il ponte su via Picarda e la passerella pedonale di Piazza delle Corriere a Ceparana nel Comune di Bolano. Nella figura 4 è riportato lo schema planimetrico delle sezioni rilevate ed utilizzate per il calcolo dei profili.

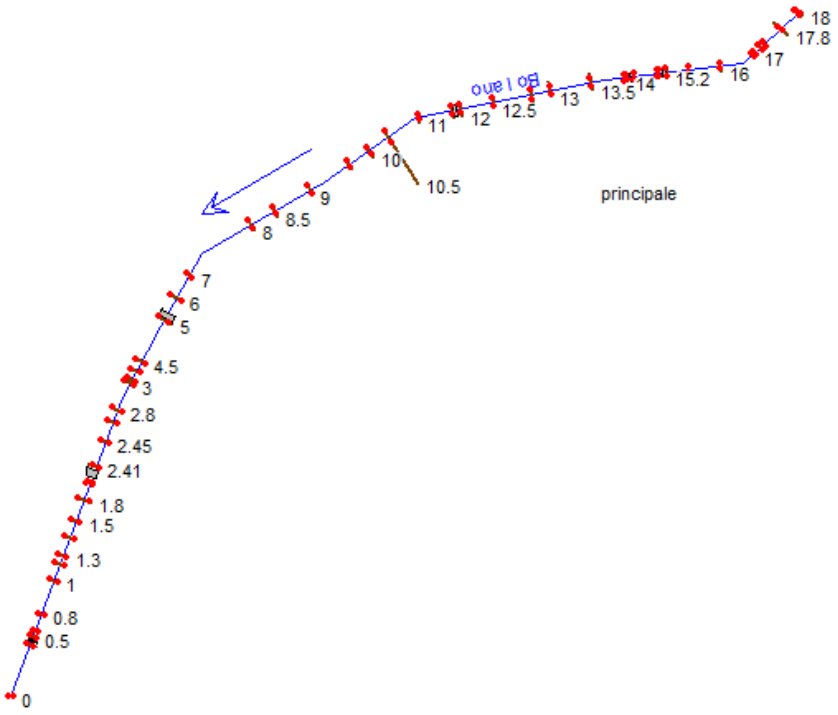


Rappresentazione planimetriche delle sezioni del Torrente Villa utilizzate ai fini del presente studio idraulico

Il tratto in analisi per Torrente Villa si estende per circa 1300 metri. Le sezioni trasversali che seguono sono state desunte da appositi rilievi topografici, condotti con strumentazione ad altissima precisione, e per un totale di circa 36 sezioni con rilievo altresì delle opere presenti, quali attraversamenti stradali e pedonali.

Non è stato necessario integrare le sezioni mediante interpolazione, in quanto il rilievo condotto è stato abbastanza accurato riuscendo a ricostruire il corso d'acqua con sezioni ravvicinate e ad ogni cambio di condizioni, tale da garantire la condizione di corrente gradualmente varia.

Più specificatamente, nella figura sottostante sono riportati gli andamenti plano-altimetrici delle sezioni fluviali direttamente rilevati in situ.



COEFFICIENTI DI SCABREZZA DI MANNING

I coefficienti di scabrezza adoperati nelle singole sezioni sono stati confrontati dati di letteratura (Chow V.T. 1959) con i valori suggeriti dal PAI, in funzione delle caratteristiche dell'asta. Facendo riferimento alle peculiarità dell'alveo, sono stati assegnati i seguenti coefficienti di scabrezza di Manning:

- n = 0.05 $m^{1/3}/s$ per alveo costituito da massi naturali di II categoria;
- n = 0.1 $m^{1/3}/s$ per alveo naturale (a vantaggio di sicurezza in condizioni di presenza di vegetazione spontanea non rimossa tempestivamente)
- n = 0.025 $m^{1/3}/s$ per argine in cls;
- n = 0.04 $m^{1/3}/s$ per argine in massi ciclopici.

I valori di scabrezza prescelti sono del tutto coerenti con i valori del modello idraulico dell'intervento realizzato a valle del tombamento di piazza delle corriere.

COEFFICIENTI DI CONTRAZIONE ED ESPANSIONE

I coefficienti di contrazione ed espansione sono assegnati secondo letteratura. In particolare sono stati tarati in funzione delle caratteristiche cinematiche della corrente e geometriche dell'alveo. Per correnti subcritiche con geometrie a graduale transizione la letteratura suggerisce l'impiego di coefficienti di contrazione ed espansione rispettivamente pari a 0.1 e 0.3, che vengono incrementati a 0.6 e 0.8 in caso di geometrie con brusche variazioni. In presenza di ponti i coefficienti suggeriti sono pari a 0.3 per quello di contrazione e 0.5 per quello di espansione. Per correnti ipercritiche, come il caso in esame, con geometrie a variabilità graduale, la letteratura suggerisce l'impiego di coefficienti di contrazione ed espansione rispettivamente pari a 0.01 e 0.03. In presenza di profili d'alveo naturali con brusche transizioni geometriche, sempre in condizioni di correnti ipercritiche, è consigliabile invece prevedere l'incremento di tali coefficienti con valori di 0.05 per il coefficiente di contrazione e 0.20 per quello di espansione. I coefficienti vanno nuovamente incrementati in corrispondenza di opere idrauliche che interferiscono con la corrente e generano ulteriori perdite di carico per contrazione ed espansione della vena fluida. Nel caso in esame si sono adoperati i seguenti coefficienti:

CONDIZIONE	CONTRAZIONE	ESPANSIONE
corrente subcritica con transizioni graduali	0.1	0.3
Corrente subcritica in presenza di ponti	0.3	0.5

I valori di portata adoperati per la taratura del modello geometrico e per l'individuazione in delle caratteristiche di officiosità idraulica del canale per opere provvisionali sono quelli inerenti al periodo di ritorno pari a 200 anni (si rimanda all'elaborato PD.RT.04.00) pari a:

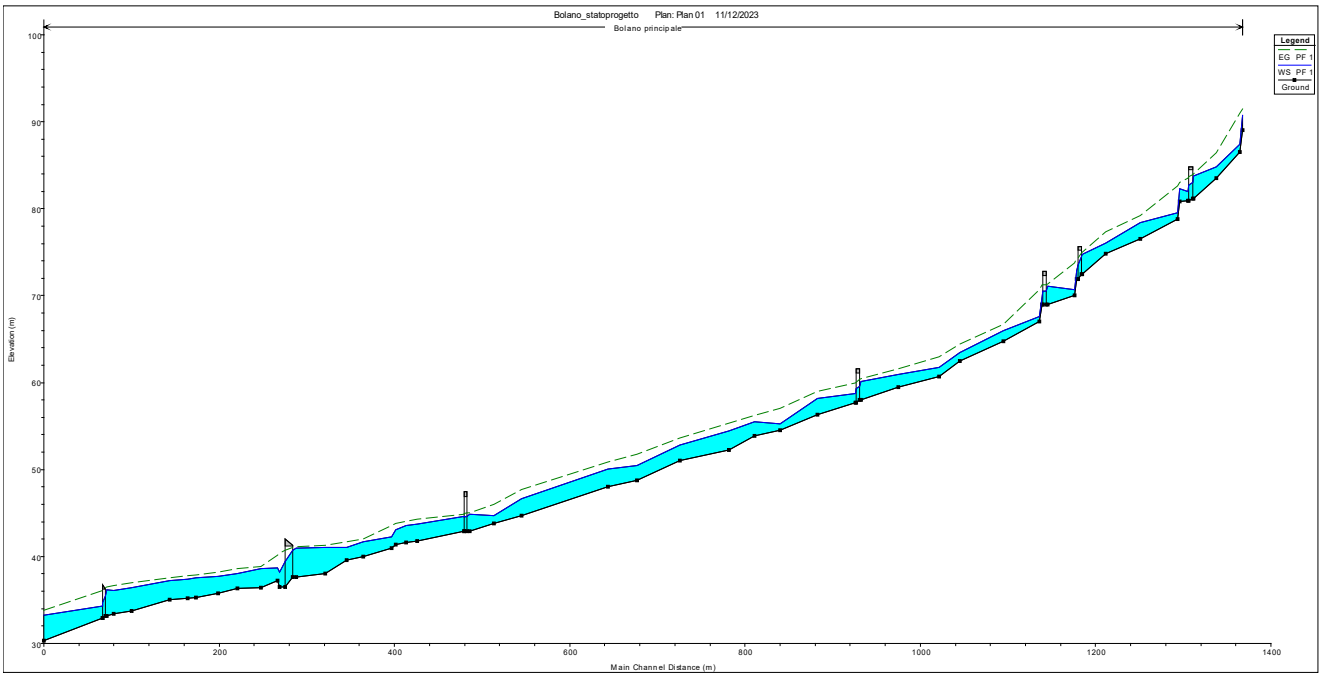
- Dalla sez. 18 alla sez. 13: **Q = 35,00 m^3/s**
- Dalla sez. 12.8 alla sez. 10: **Q = 48,50 m^3/s**
- Dalla sez. 9.5 alla sez. 2.2: **Q = 59,00 m^3/s**
- Dalla sez. 2.1 alla sez. 0: **Q = 60,50 m^3/s**

Sommando l'aliquota di trasporto solido alla portata di picco liquida sono stati ottenuti i valori delle portate al colmo di progetto.

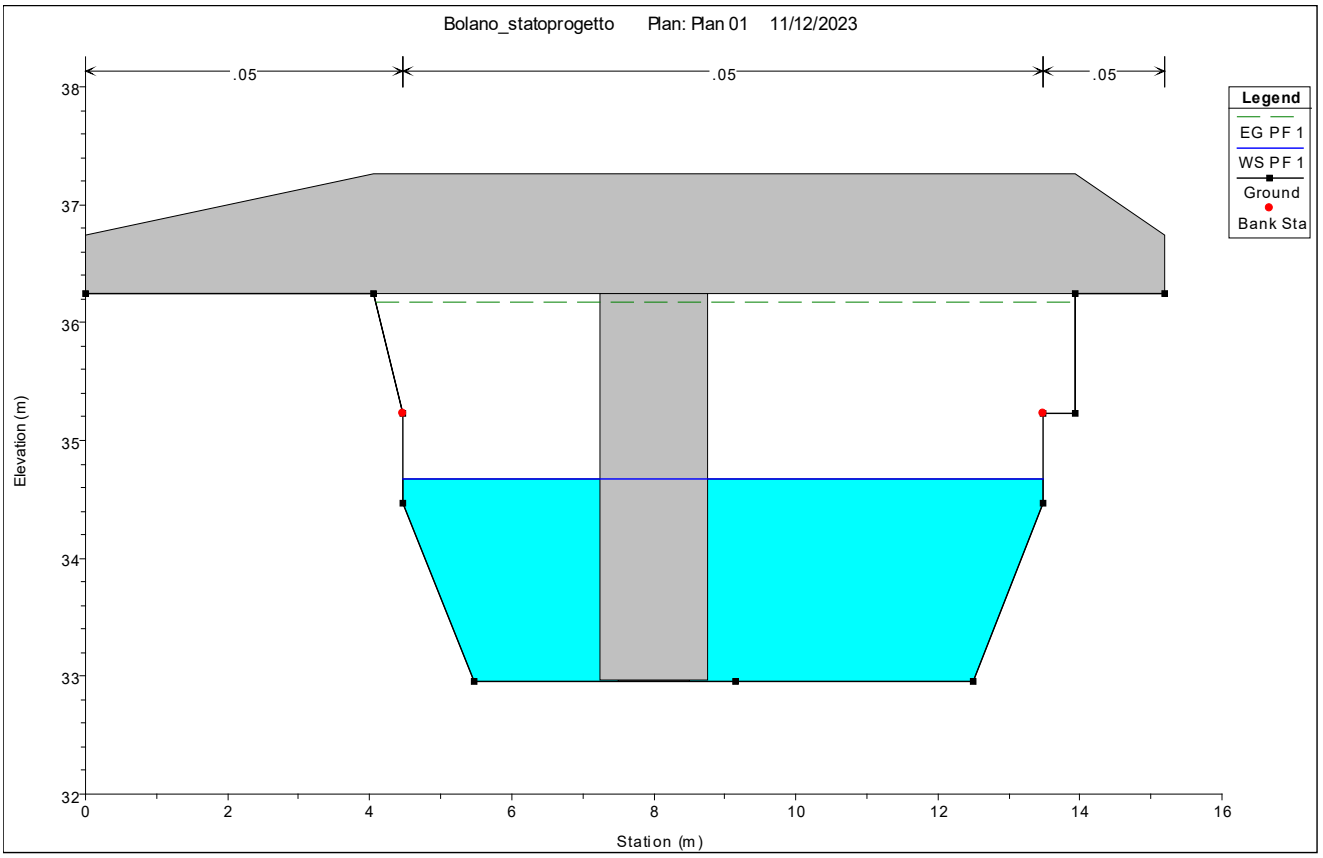
- Dalla sez. 18 alla sez. 13: **Q = 37,50 m^3/s**
- Dalla sez. 12.8 alla sez. 10: **Q = 49,50 m^3/s**
- Dalla sez. 9.5 alla sez. 2.2: **Q = 59,60 m^3/s**
- Dalla sez. 2.1 alla sez. 0: **Q = 61,80 m^3/s**

Le portate stimate ed utilizzate nel presente studio sono in accordo con lo studio idrologico ed idraulico dell'intervento già realizzato a valle del tombamento di Piazza delle Corriere in località Ceparana fino alla confluenza con il Fiume Magra.

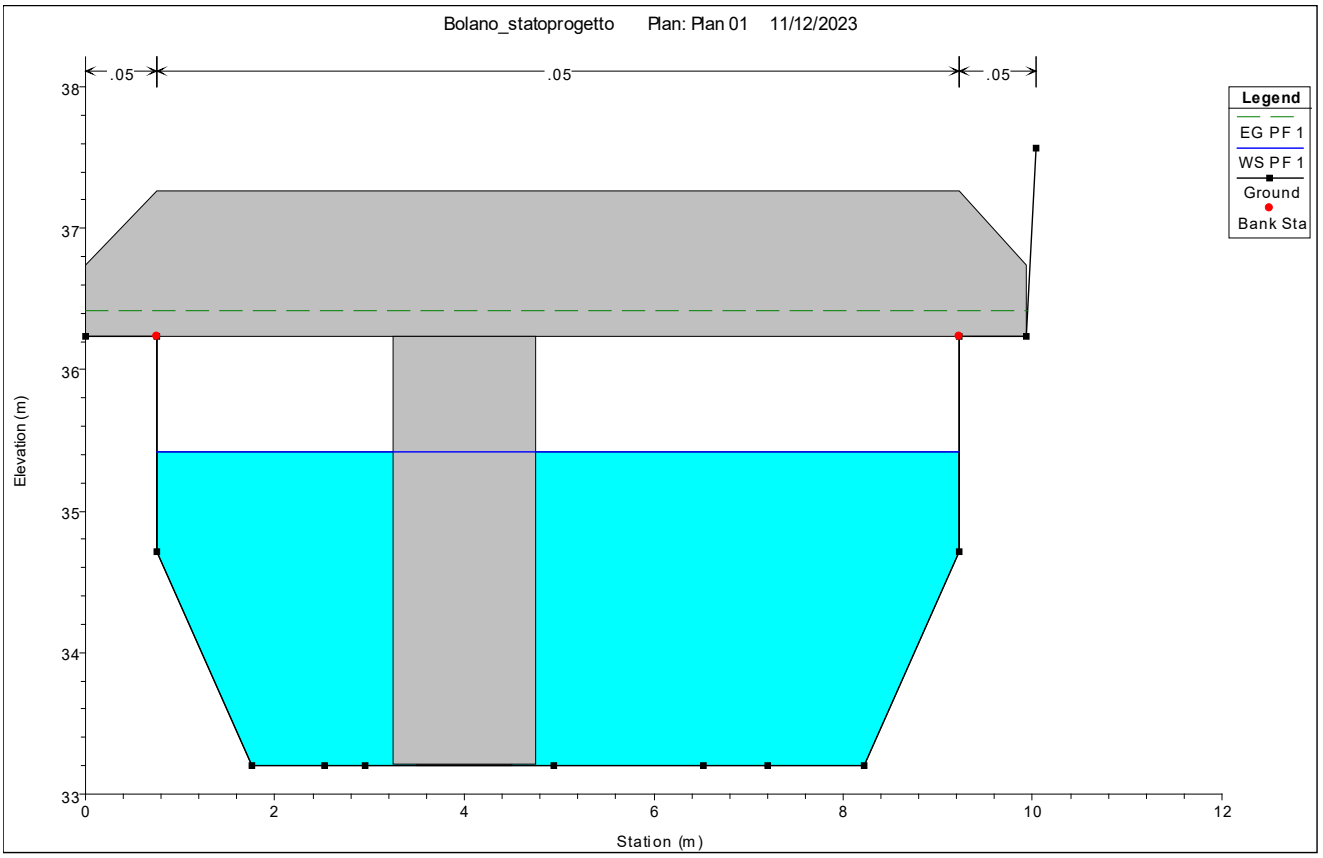
Di seguito si riportano le sezioni in output dal modello matematico su hec-ras per quanto riguarda i soli attraversamenti con un'occlusione parziale di circa il 20%:



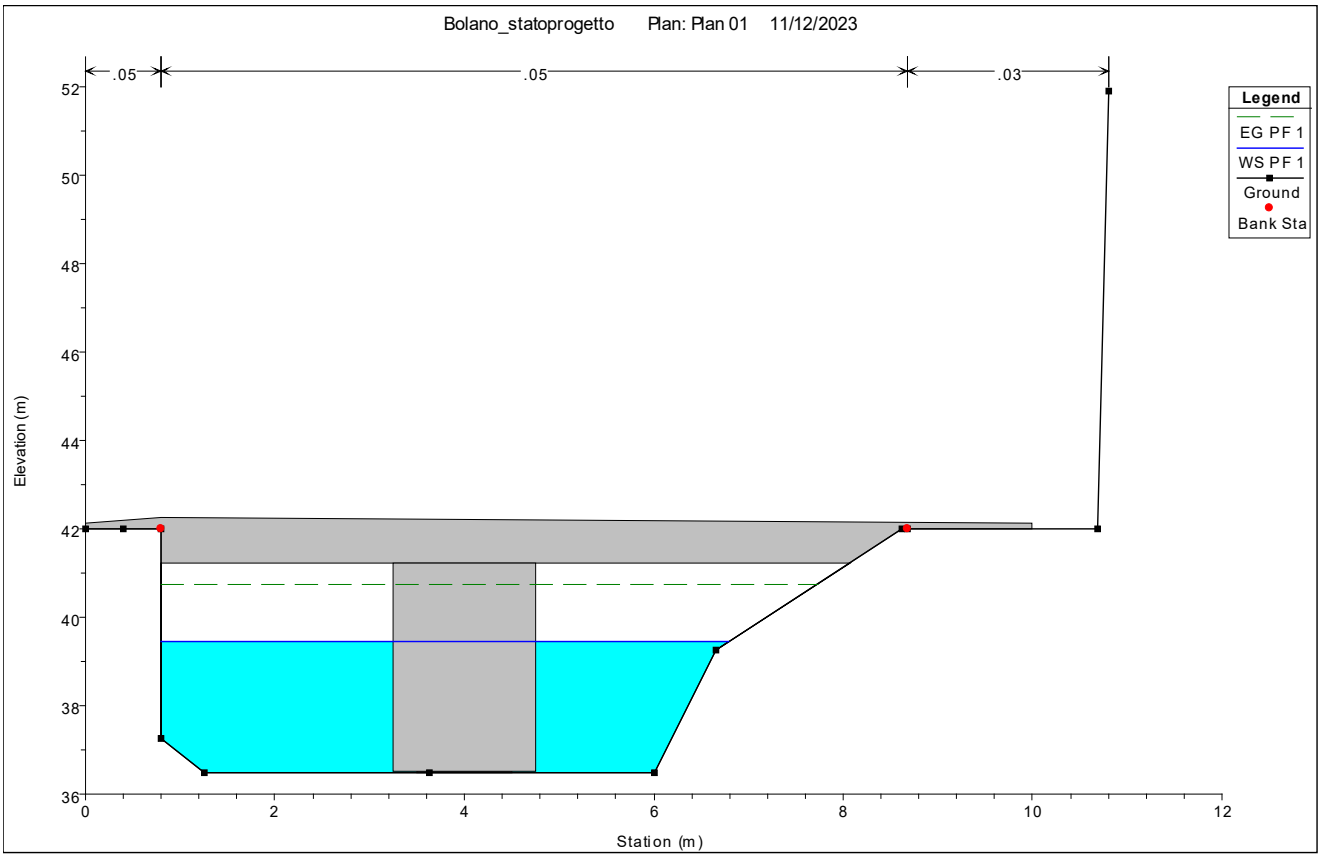
Sez.0.2 BR D (Passerella pedonale- Piazza delle corriere)



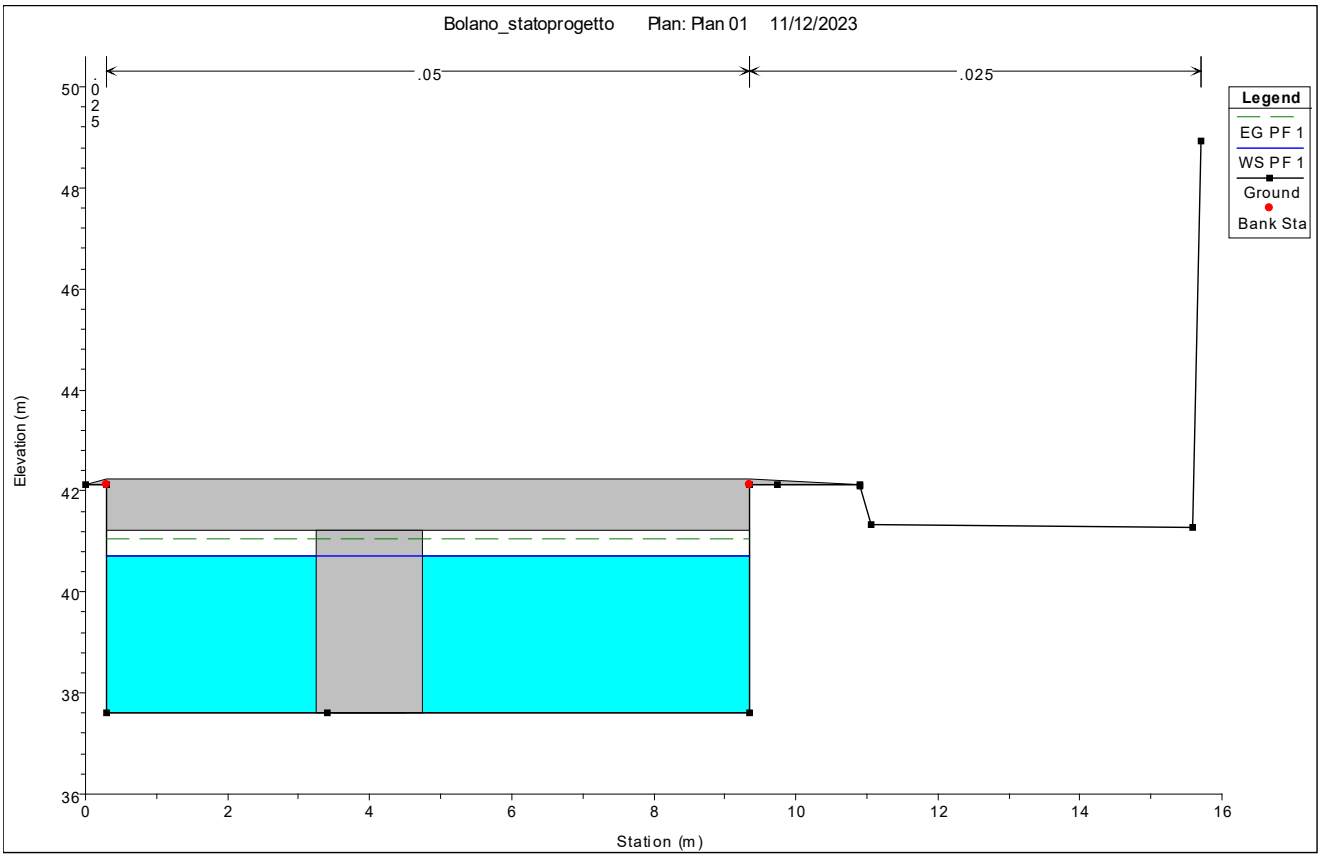
Sez.0.2 BR U (Passerella pedonale- Piazza delle corriere)



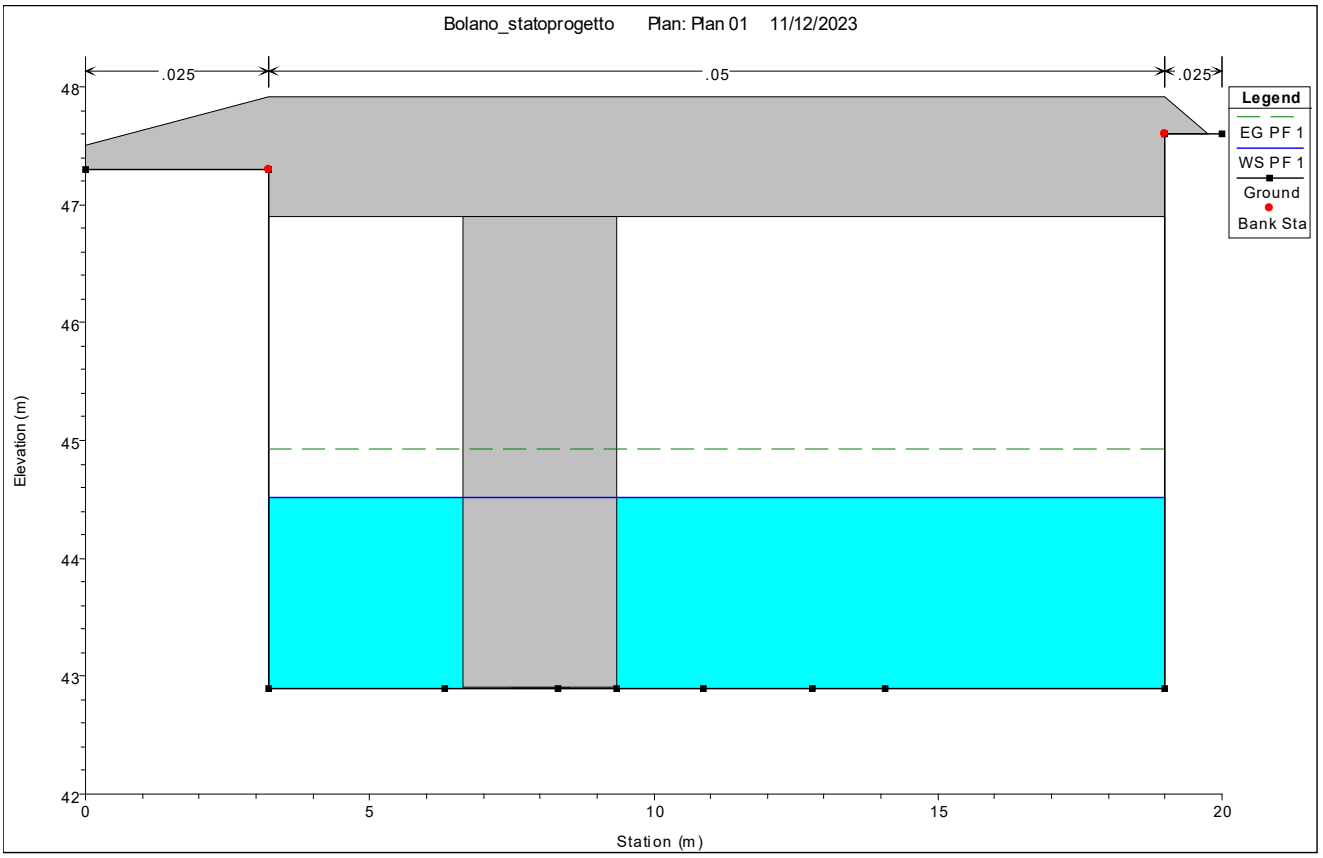
Sez. 2.2 BR D (Ponte Via Dante A.)



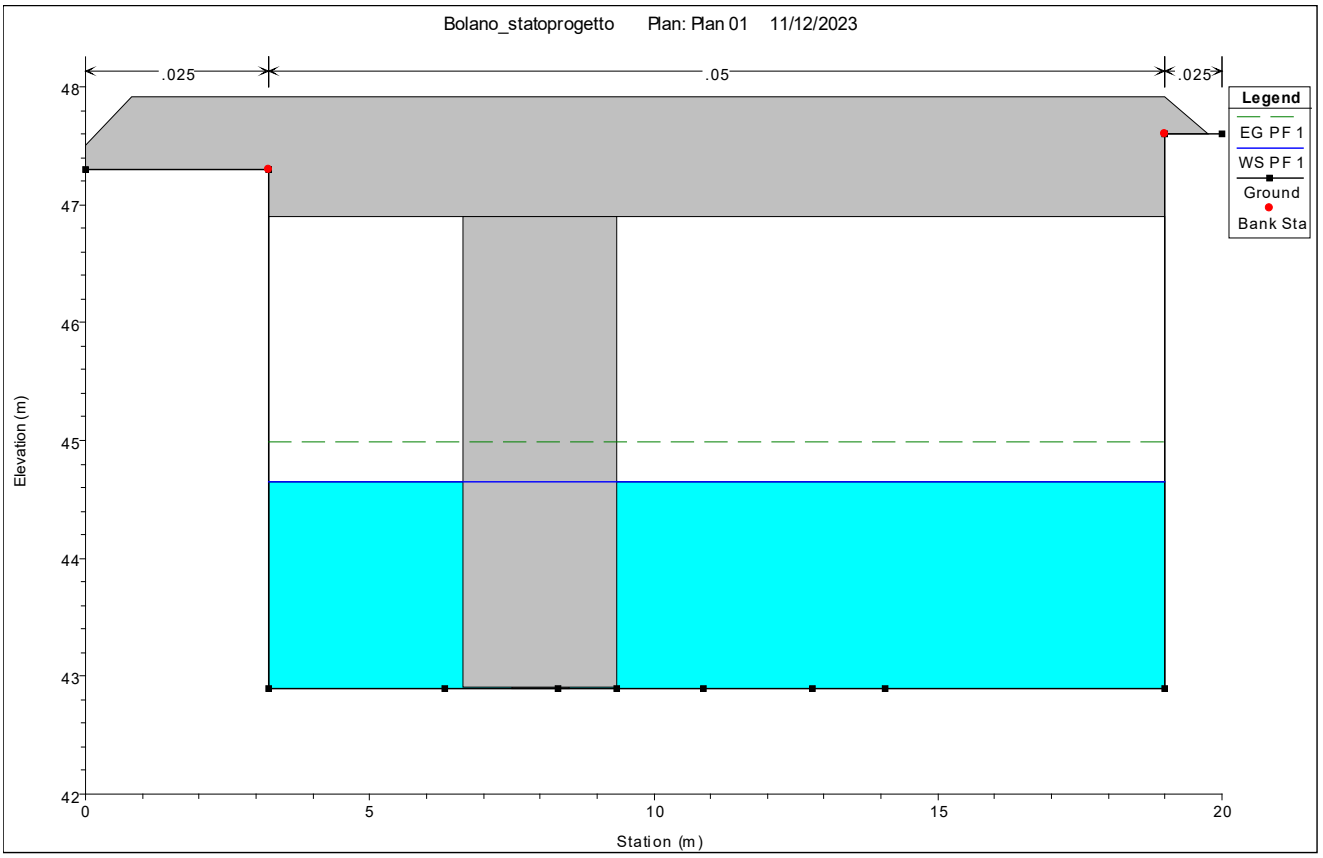
Sez. 2.2 BR U (Ponte Via Dante A.)



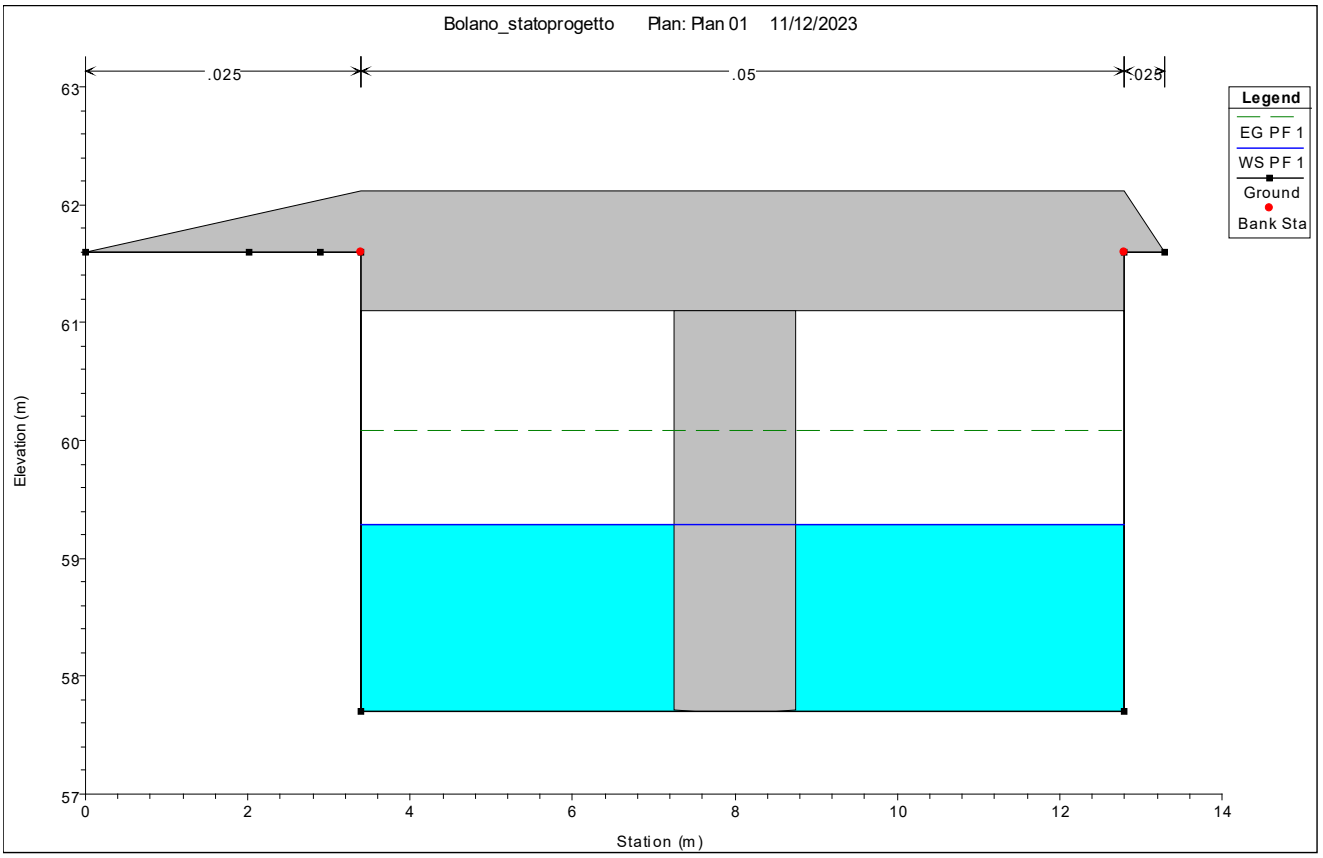
Sez. 5.2 BR D (Nuovo ponte via Bersaglione)



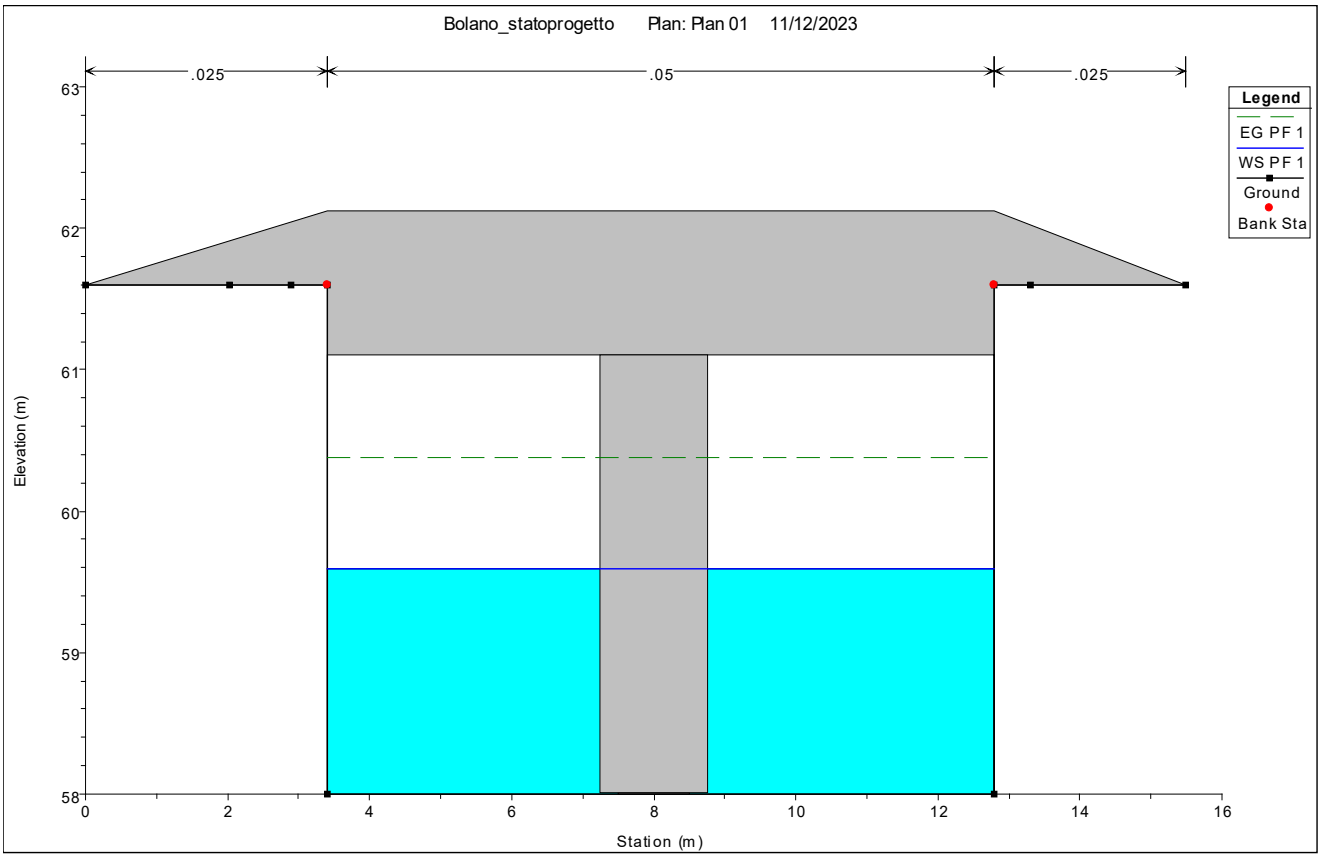
Sez. 5.2 BR U (Nuovo ponte via Bersaglione)



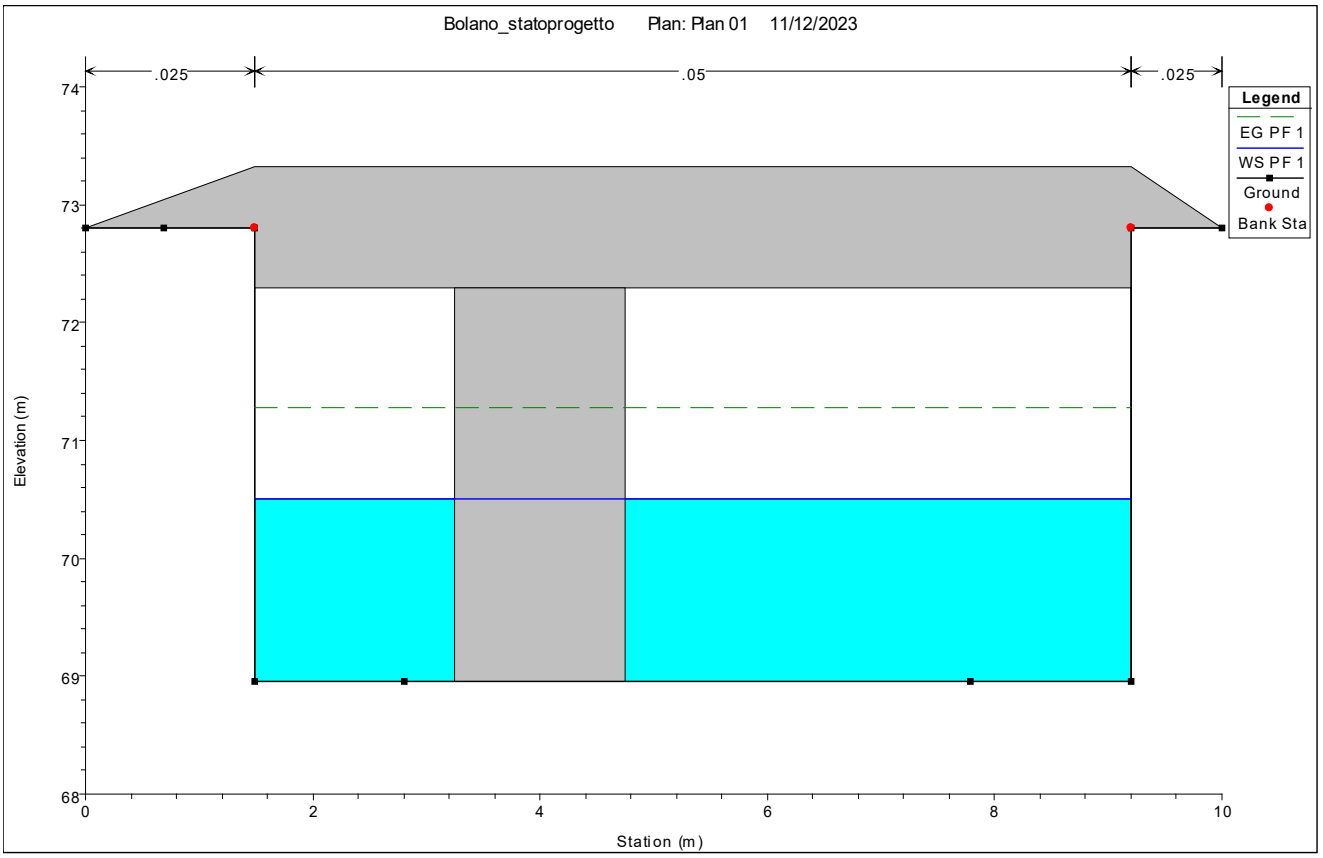
Sez. 11.9 BR D (Ponte Via Garibaldi)



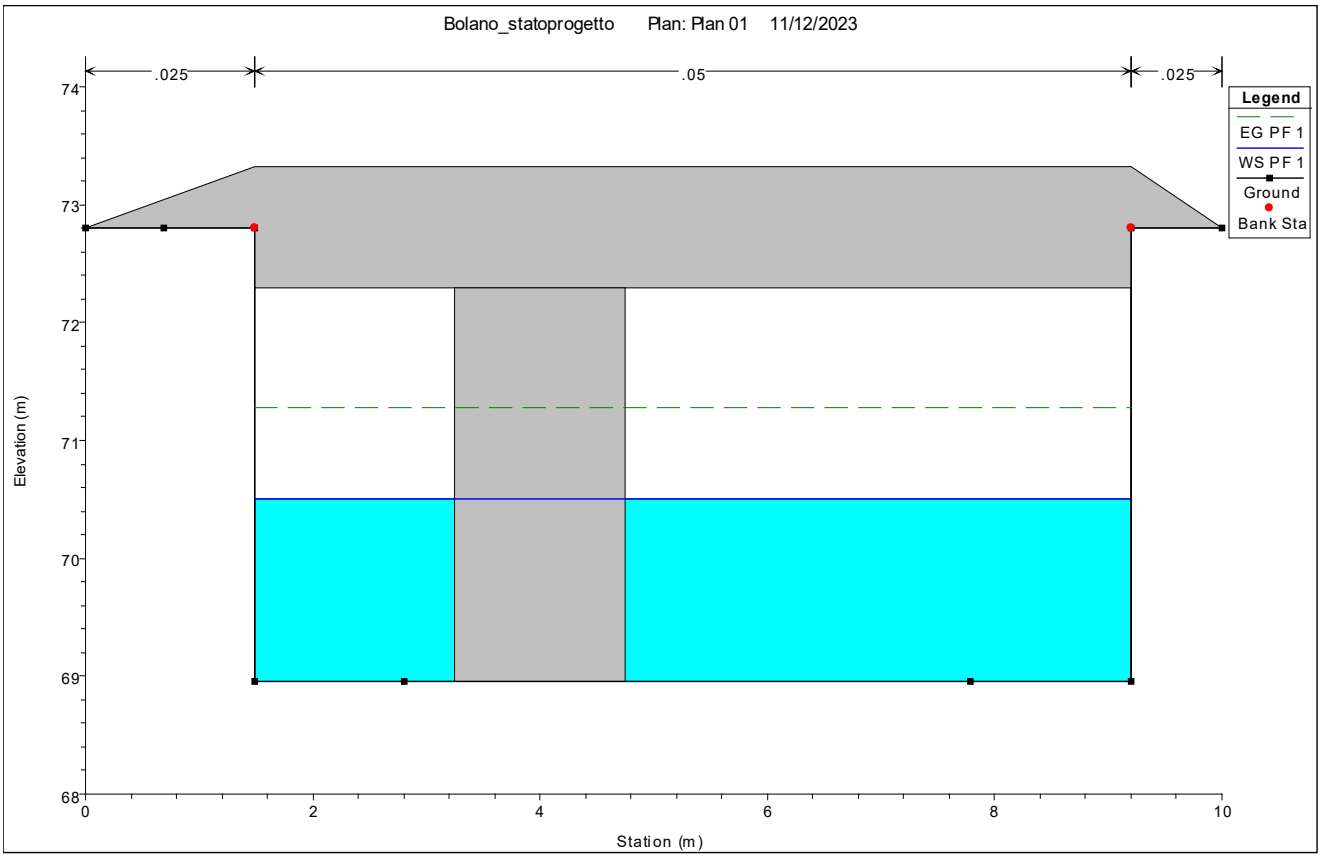
Sez. 11.9 BR U (Ponte Via Garibaldi)



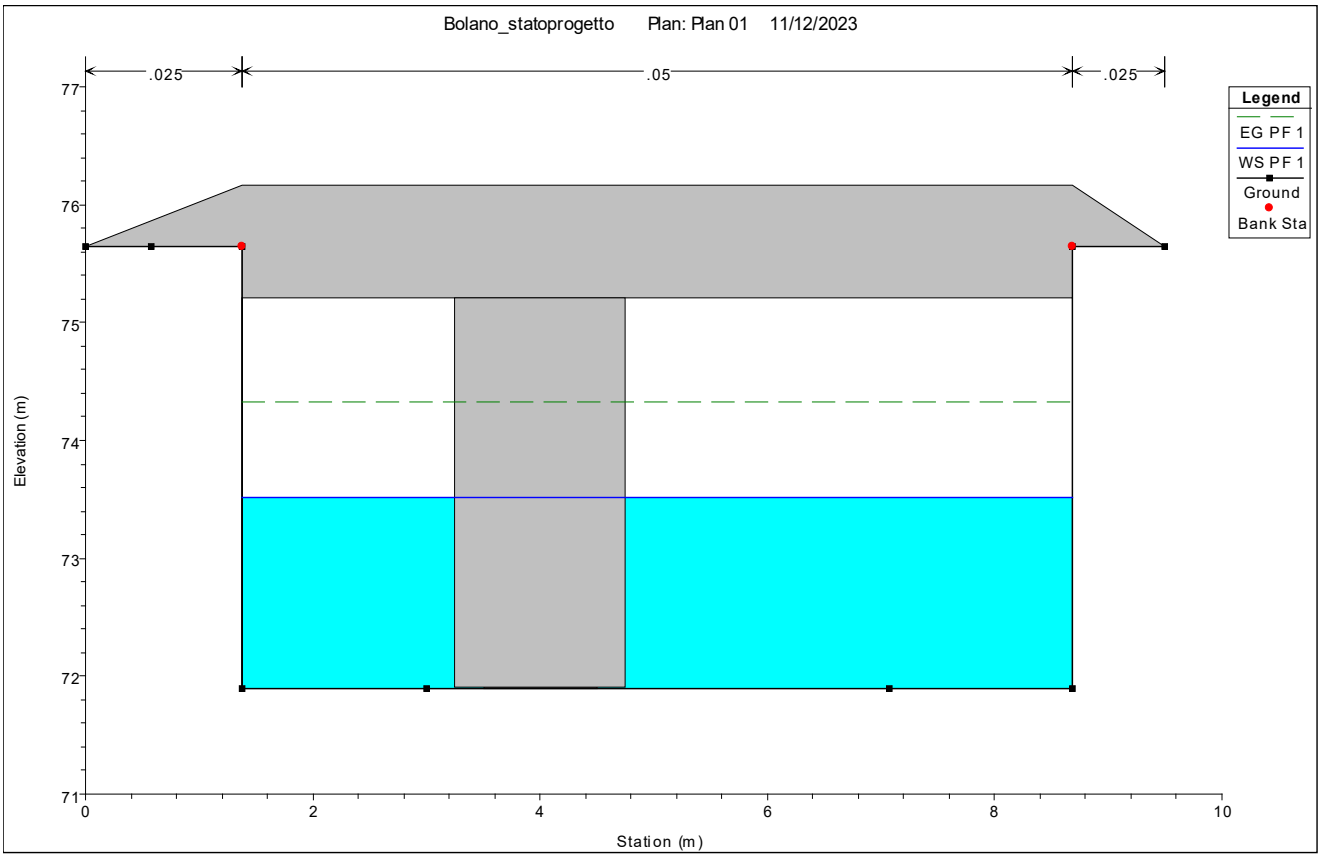
Sez. 14.2 BR D (Attraversamento loc. Villa- F)



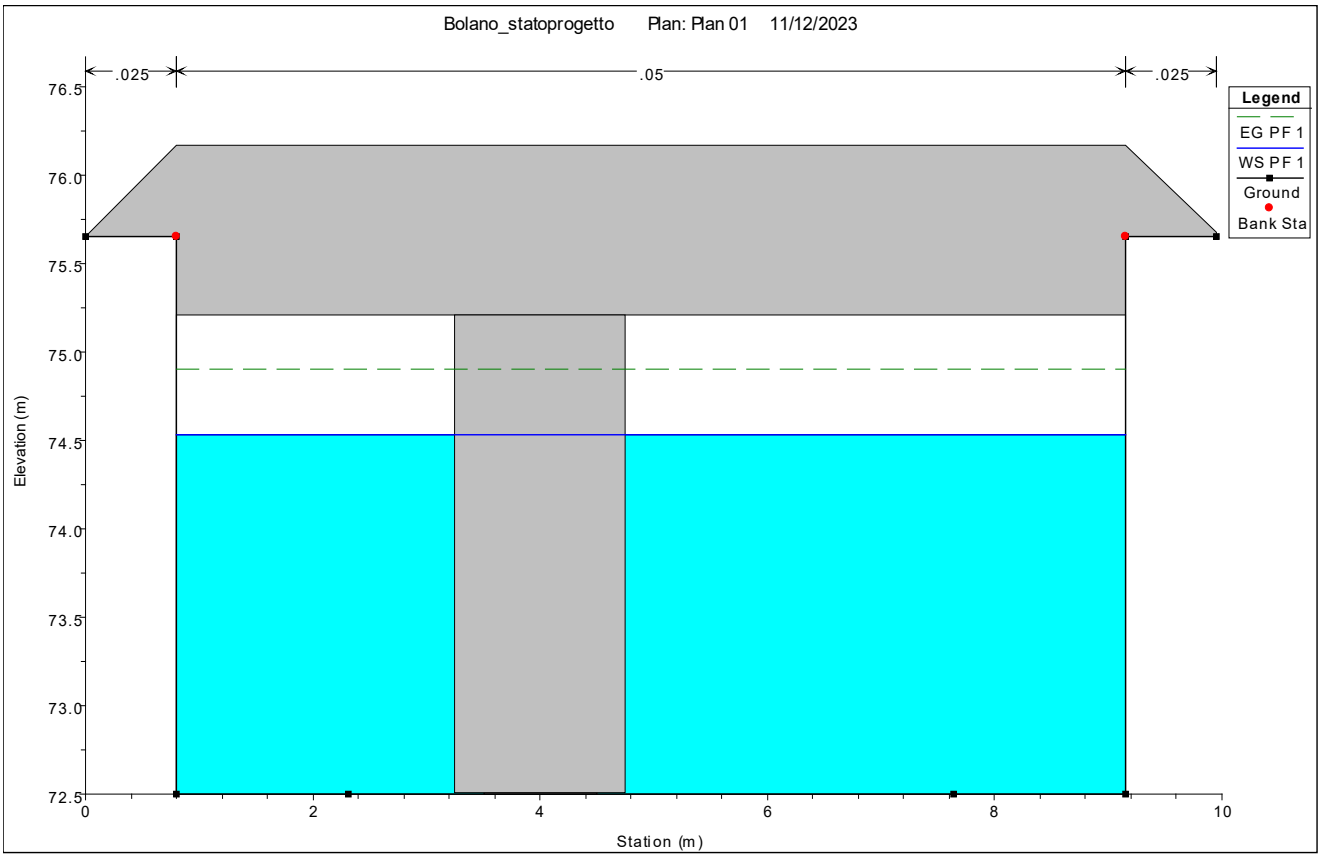
Sez. 14.2 BR U (Attraversamento loc. Villa- F)



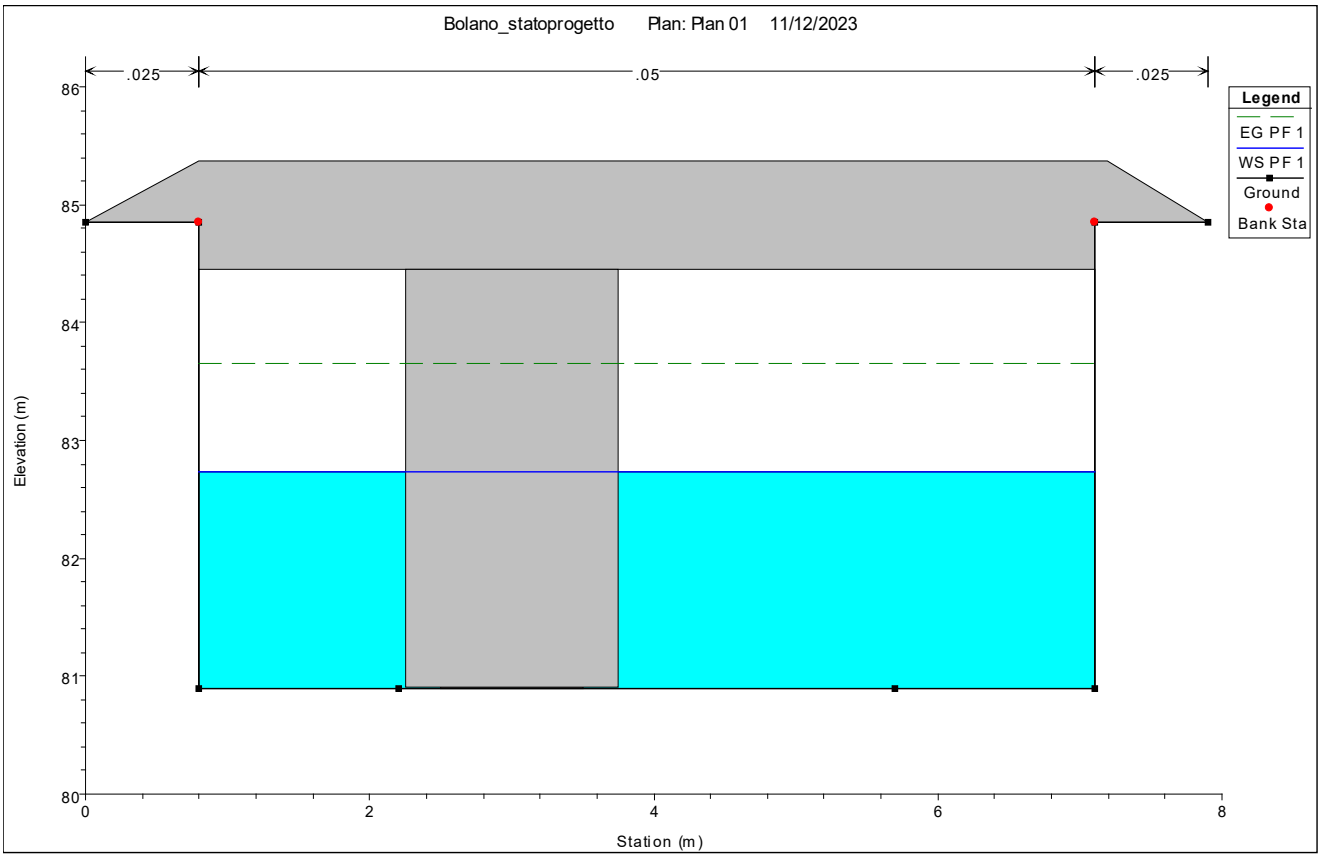
Sez. 15.1 BR D (Attraversamento loc. Villa – G)



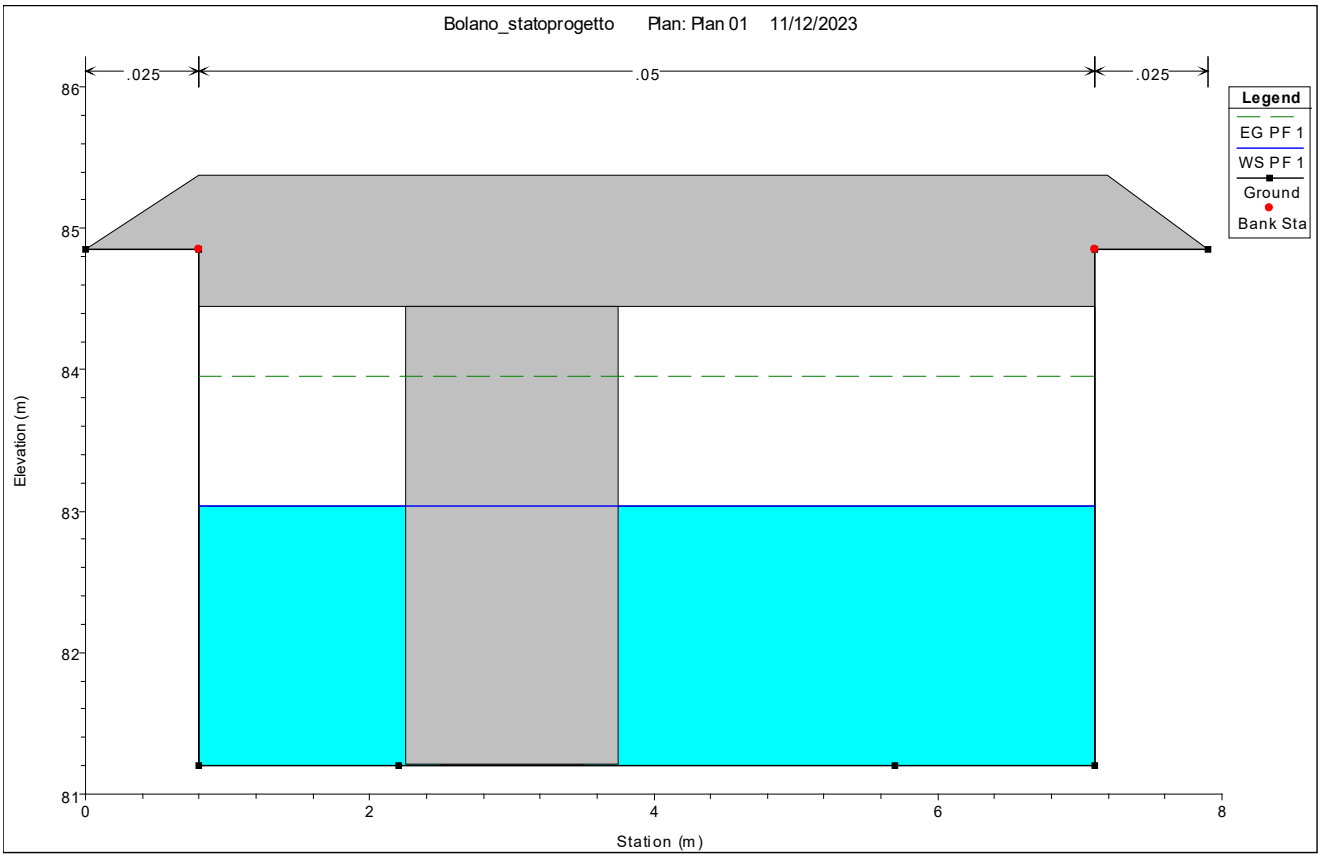
Sez. 15.1 BR U (Attraversamento loc. Villa – G)



Sez. 17.5 BR D (Ponte Via Picarda)



Sez. 17.5 BR U (Ponte Via Picarda)



CONCLUSIONI

Secondo quanto già riportato in premessa, lo studio idraulico condotto sul tratto del Torrente Villa del Comune di Bolano, ha evidenziato adeguati livelli di officiosità idraulica, pur riducendo parzialmente gli attraversamenti in condizioni di piena ordinaria (T=200 anni).

In tal senso, alla luce dei risultati ottenuti, rimane comunque garantita luce adeguata tra il tirante idrico e l'estradosso dei ponti.