CERVAROLO
GIUSEPPE
01.04.2022 10:47:57
GMT+00:00

COMUNE DI BOLANO

PROVINCIA DI LA SPEZIA

PROGETTO DEFINITIVO

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

RELAZIONE IDRAULICA



COD. ELABORATO

P D R T 0 5 0 0

PROGETTISTA

DOTT. ING. GIUSEPPE CERVAROLO (CSP)
WWW.GIUSEPPECERVAROLO.IT

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

R.U.P.

GEOM. LORENZO BRAGAZZI

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	ESEGUITO
A	LUGLIO 2021	EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO	ING. CERVAROLO
B	SETTEMRE 2021	INTEGRAZIONE PROGETTO DEFINITIVO	ING. CERVAROLO
C	DICEMBRE 2021	INTEGRAZIONE PROGETTO DEFINITIVO	ING. CERVAROLO
D	FEBBRAIO 2022	INTEGRAZIONE PROGETTO DEFINITIVO	ING. CERVAROLO
E	MARZO 2022	INTEGRAZIONE PROGETTO DEFINITIVO	ING. CERVAROLO

SOMMARIO

PREMESSA……2

Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS……3

Modellazione idraulica Canale Villa……21

Conclusioni……70

PREMESSA

La simulazione idraulica degli eventi di piena è stata effettuata allo scopo di valutare l'officiosità idraulica dei tre canali oggetto di studio, modellare la propagazione delle portate eventualmente esondate nei tratti insufficienti e stimare i comportamenti morfodinamici degli alvei in condizioni di apporto solido dalle sezioni di monte in condizioni di alveo a fondo mobile. 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.*

Per ogni canale studiato sono state effettuate le seguenti modellazioni:

1) Modellazione idraulica monodimensionale del canale in condizioni di moto permanente;

2) Modellazione idraulica monodimensionale del canale in condizioni di moto "quasi vario" con alveo a fondo mobile e apporti detritici da monte;

3) Modellazione idraulica con modello accoppiato 1D per il canale e 2D per le aree inondabili in condizioni di moto vario.

Per le modellazioni si è fatto riferimento alle portate al colmo di piena con periodo di ritorno considerati pari 200 stimate dall'analisi idrologica.

I modelli geometrico-fisici dei canali e delle aree inondabili sono stati realizzati conformemente ai rilievi topografici acquisiti dallo scrivente per la redazione del seguente studio. In particolare la geometria 1D delle aste è stata realizzata implementando nel software le sezioni trasversali georeferenziate battute lungo le aste con strumentazione GPS e elettro-ottica così come per tutte le opere idrauliche presenti lungo i percorsi.

La modellazione monodimensionale in moto permanente è stata condotta al fine di tarare il modello geometrico, sopperendo in tal modo ad eventuali problematiche di instabilità derivanti dalla geometria e dalle caratteristiche fisiche dello stesso.

La modellazione a fondo mobile in condizioni di moto "quasi vario" ha permesso quindi di individuare, con adeguata approssimazione, i comportamenti morfodinamici degli alvei studiati in modo da definire l'officiosità idraulica dei canali durante gli eventi estremi di progetto e valutare quindi gli eventuali tratti di insufficienza idraulica lungo i quali si osservano potenziali fenomeni di esondazione sia in condizioni puramente idrauliche che in presenza di trasporto solido.

Le modellazioni a fondo mobile sono state condotte considerando un afflusso detritico da monte, stimato rispetto ad una curva granulometrica rappresentativa degli apporti di sedimenti del bacino e funzione delle capacità di trasporto della sezione di monte del dominio. Per la curva granulometrica dei sedimenti di bacino si è fatto riferimento alle risultanze delle indagini di cui alla relazione geologica.

Le stesse indagini hanno fornito la caratterizzazione granulometrica del letto dei canali lungo i tratti d'alveo naturale, permettendo in tal modo la taratura del modello fisico a fondo mobile.

L'individuazione dei tratti di non sufficienza idraulica è risultata fondamentale per la modellazione accoppiata 1D - 2D in quanto detti tratti rappresentano proprio i profili di collegamento tra il canale e le aree inondabili. La modellazione bidimensionale ha permesso quindi di stimare come le portate esondate tendano a propagarsi lungo le aree di 2D.

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 6.0.0 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);

- a 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).

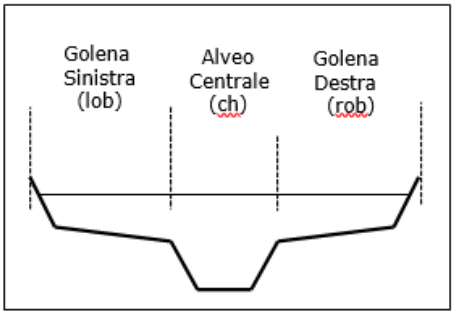


Figura 1 - Schematizzazione della sezione all'interno del codice HEC-RAS

• 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):

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

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.

Modellazione in moto vario

Per la modellazione in moto vario vengono adottate le seguenti ipotesi:

- La distribuzione delle pressioni è di tipo idrostatico (ipotesi valida se le linee di flusso non presentano curvatura accentuata);
- La pendenza del fondo alveo è minima, tale che la sezione trasversale normale alla corrente si confonda con la sezione verticale;
- Alveo prismatico, laddove le variazioni nella sezione trasversale e nella pendenza di fondo possono essere prese in considerazione approssimando il corso d'acqua con una serie di tratti prismatici;
- Le perdite di carico possono essere espresse tramite una delle classiche formule adottate per il moto uniforme (si utilizza l'equazione di Manning); con questa ipotesi si assume che in regime di moto vario ad una data velocità V della corrente si abbiano le stesse perdite di carico che si avrebbero in moto uniforme con la stessa velocità;
- La velocità e le accelerazioni lungo la verticale sono trascurabili rispetto alle analoghe grandezze in direzione del moto;
- Le variazioni della densità del fluido sono trascurabili.

ottenendo a partire dalle equazioni differenziali di continuità e di conservazione della massa per moto monodimensionale, le equazioni di De Saint Venant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_{lat} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial Q}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

Nel caso di alvei a sezione composta le aree golenali esterne al canale vengono considerate come aree di accumulo o di espansione. Quindi, per i due flussi vengono sviluppate le equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto ipotizzando che la WS sia definita da un'unica superficie orizzontale in modo tale che lo scambio di quantità di moto tra il canale e le aree golenali (foodplain) sia trascurabile e la portata sia distribuita nell'intera sezione.

La portata che defluisce all'interno del canale vale:

$$Q_c = \frac{K_c}{K_c + K_f} Q$$

$$K_c = \frac{1}{n} \cdot A_c \cdot R_c^{2/3}$$

$$K_f = \frac{1}{n} \cdot A_f \cdot R_f^{2/3}$$

I pedici c ed f indicano rispettivamente l'alveo centrale e l'area golenale.

L'unione delle equazioni per il canale e per le aree golenali viene attuata mediante un coefficiente β che mette in relazione i termini convettivi.

$$\beta = \frac{V_c^2 A_c + V_f^2 A_f}{V^2 A} = \frac{V_c Q_c + V_f Q_f}{QA}$$

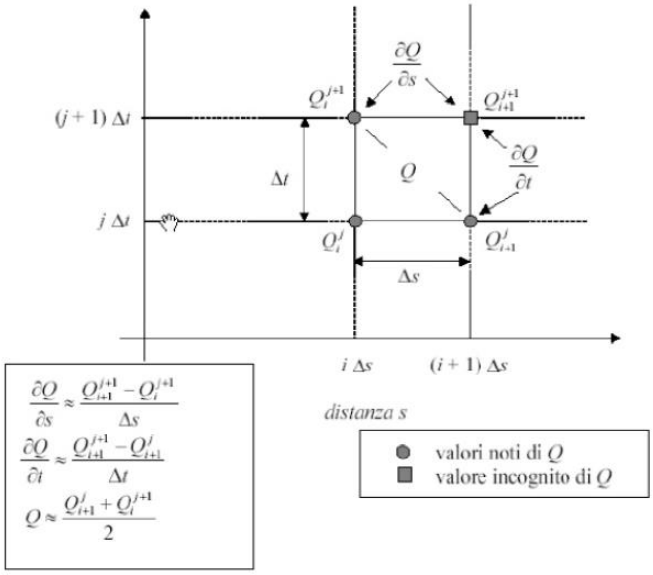
Si riportano nel seguito le equazioni del De Saint Venant in forma differenziale:

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} x_e + \frac{\Delta A_f}{\Delta x_f} x_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} x_f - \bar{Q}_{lat} = 0$$

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta(QV\beta)}{\Delta x_e} + g\bar{A}\left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \bar{S_f}\right) = 0$$

dove $\Delta xxee$ è l'*equivalent flow path*, ovvero un contorno bagnato equivalente dove vengono considerati i contributi di resistenza generati dalle golene laterali sul flusso.

Nell'ambito del software HEC-RAS, la risoluzione del sistema non lineare di equazioni differenziali viene sviluppata mediante la linearizzazione proposta da Preissmann-Cunge-Chen mediante uno schema di calcolo implicito a 4 punti (box scheme), illustrato in figura:



Per la determinazione delle perdite di carico distribuite, come visto per il moto permanente, si risolve l'equazione di Chezy andando a tener conto delle diverse scabrezze tra l'alveo centrale, channel, e le due aree golenali, right e left overbank.

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

Il valore di conveyance totale è dato dalla somma dei singoli contributi relativi al canale e alle aree golenali.

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, Abu 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:

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

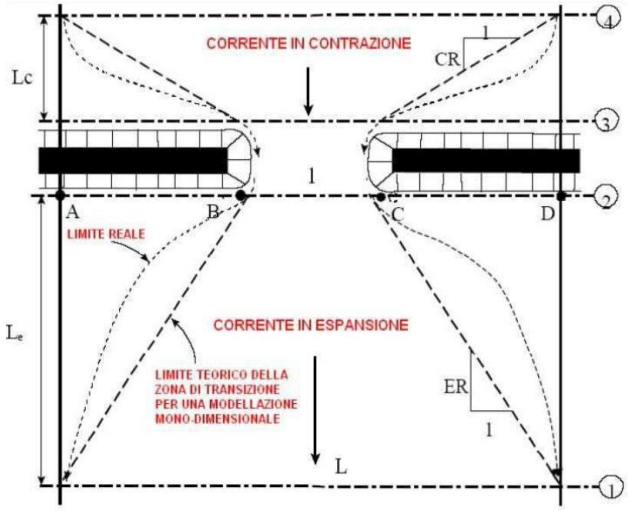
dove il valore del coefficiente Cd si assume pari a 1,7 se lo sfioro è libero e viene ridotto in base alla sommergenza percentuale se il deflusso è rigurgitato.

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.

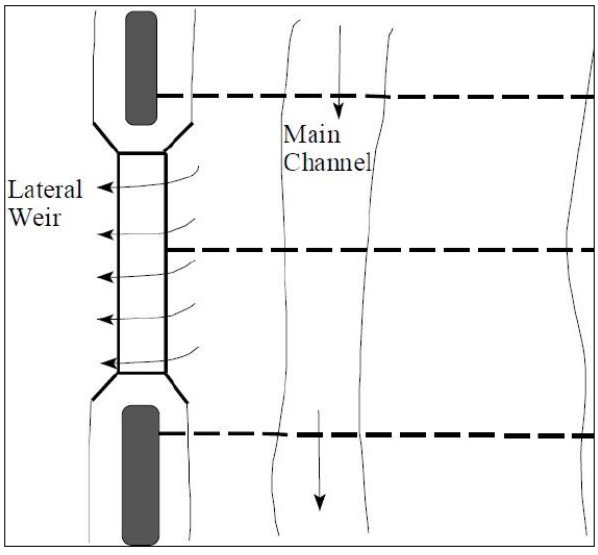
Nel caso di **weir flow** il programma utilizzerà le equazioni delle luci a stramazzo. Se il pelo libero raggiunge altezze molto elevate il programma riduce automaticamente la quantità di flusso, riducendo il coefficiente di sbarramento (weir coefficient) in base all'ammontare della sommergenza raggiunta. 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.

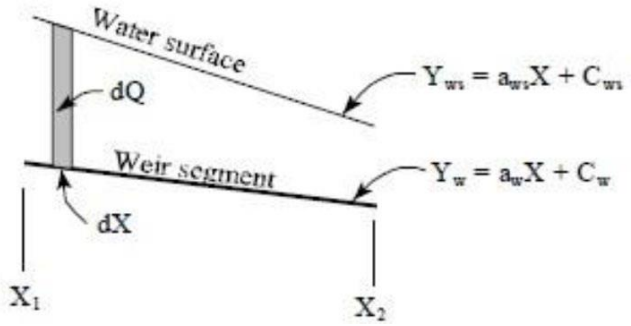
Strutture longitudinali

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

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

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

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

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.

Modellazione bidimensionale

Il software HEC-RAS nella versione adoperata 5.0.5 permette la simulazione dei deflussi combinando il modello monodimensionale dell'asta fluviale principale con il modello bidimensionale delle zone esterne.

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione della nuova versione BETA sono:

- *Modellazione combinata 1D e 2D* che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permettendo di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando come sopra descritto la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- *Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D*: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di

diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.

- *Algoritmo di soluzione ai volumi finiti:* Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volum finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.
- *Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D*: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia.
- Maglie computazionali strutturate e non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturati o non strutturati. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: All'interno di HECRAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborato per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molti grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.
- Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RASMapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul

DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e parzialmente bagnate/asciutte.

- *Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore*: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
- *Motori di calcolo a 64 e 32 bit*: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit.

Modellazione del terreno e interfacciamento GIS

La bontà di una modellazione bidimensionale dipende dal dettaglio del modello digitale del terreno adoperato. Le capacità di interfacciamento in ambiente gis del codice HEC-Ras permettono di adoperare Modelli digitali del terreno precedentemente processati su software Gis. Tali capacità consentono pertanto di utilizzare DTM di dettaglio ricavati da rilievi topografici, da dati lidar, da mappature open source o dall'unione di tali dati digitali, il tutto in maniera geo-referenziata secondo il sistema di riferimento più appropriato a scelta dell'utente. In tal modo la perimetrazione delle aree allagabili, fine ultimo della modellazione bidimensionale, e la stima delle caratteristiche idrauliche delle aree inondabili e/o dell'asta oggetto di studio può essere eseguita con estremo dettaglio.

Trasporto solido e qualità delle acque

Nel codice di calcolo HEC-RAS sono implementate numerose funzionalità inerenti la modellazione di fenomeni di trasporto solido e di qualità delle acque. Nel seguito saranno illustrate esclusivamente quelle adoperate per il presente studio.

Trasporto solido di sedimenti

La funzione trasporto solido di sedimenti implementata nel software HEC-RAS permette di stimare la capacità di trasporto di sedimenti con coesione nulla in una o più sezioni del corso d'acqua sulla base delle caratteristiche idrauliche di monte e di quelle dei sedimenti. Il trasporto di sedimenti comprende sia quello in sospensione che quello di fondo. I risultati di questa analisi possono essere utilizzati per sviluppare, per ogni sezione, una curva del deflusso solido utile per interpretare e prevedere l'evoluzione della morfologia

fluviale.

Il trasporto solido può essere suddiviso nelle seguenti componenti:

- In sospensione: porzione di materiale che è mantenuta in sospensione dalla turbolenza della corrente che viene raramente depositata e si muove ad una velocità pari a quella della corrente stessa;
- Al fondo: porzione di sedimenti che pur essendo trasportata rimane sempre a contatto con il fondo;
- Wash load: porzione di sedimenti molto fine che viene trasportata in sospensione, non entra mai in contatto con il fondo e dipende unicamente dalla capacità dio produzione dei sedimenti del bacino idrografico.

Quest'ultima componente, a seconda delle condizioni di moto, può trasformarsi in trasporto solido in sospensione o anche di fondo.

Per la valutazione del trasporto di sedimenti viene adoperata la formula dello sforzo tangenziale:

$$\tau_b = \gamma \cdot R \cdot S$$

In cui:

τ_b = Sforzo tangenziale al fondo

γ = Peso specifico del fluido

R = Raggio idraulico

S = Pendenza del profilo dell'energia

Altro fattore che gioca un ruolo fondamentale nei fenomeni di trasporto solido è la variazione di turbolenza in corrispondenza del fondo, rappresentata attraverso la velocità di sforzo al fondo descrivibile secondo la seguente equazione:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \quad o \quad u_* = \sqrt{g \cdot D \cdot S}$$

Anche le dimensioni, la forma, le caratteristiche di scabrezza e la velocità di caduta delle particelle rappresentative della granulometria giocano un ruolo fondamentale. In genere la forma considerata è quella sferica ma alcuni metodi tengono in considerazione di un fattore di forma. Una funzione tipica del trasporto di sedimenti tiene in conto, in termini generali, del seguente set di parametri:

$$g_{si} = f(D, V, S, B, d; \rho, \rho_s, sf, d_i, p_i, T)$$

Dove:

gsi = quantità di trasporto relativo all'i-esima classe di sedimenti

D = profondità della corrente (Depth of flow = Tirante)

V = velocità media della corrente

S = pendenza del profilo dell'energia

B = Larghezza del canale

d = diametro rappresentativo del materiale

ρ = Densità dell'acqua

ρs =densità del sedimento

s = fattore di forma delle particelle solide

di =diametro medio del materiale i-esimo

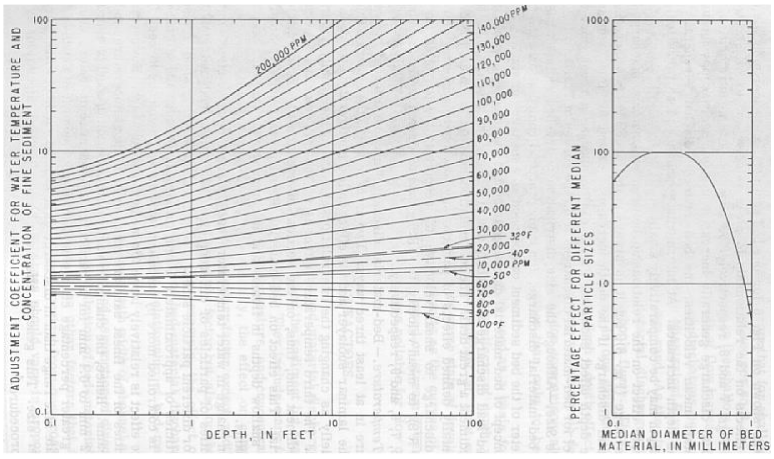
pi = percentuale delle particelle della classe i-esima

T = Temperatura dell'acqua

Spesso vengono adoperati uno o più fattori di correzione per adattare la formula di base ai risultati ottenuti in maniera empirica.

All'interno del software sono implementati tre metodi per il calcolo della velocità di sedimentazione quali quello di ***Toffaleti*** (1968), quello di ***Van Rijn*** (1993) e quello di ***Rubey*** (1933).

La velocità di sedimentazione in caso di particelle fini può essere influenzata dalla concentrazione e dalla viscosità del fluido che è a sua volta funzione della temperatura. HEC-RAS permette di considerare questa correzione tramite il metodo di ***Colby*** (1964) i cui principali risultati sono riportati nell'omonimo abaco rappresentato in figura:



Il trasporto di sedimenti viene valutato dal software per ogni dimensione caratteristica dei granuli in maniera sparata sotto l'ipotesi di materiale di fondo omogeneo e monogranulare. Il trasporto totale di sedimenti è dato quindi dalla somma delle varie componenti:

$$g_s = \sum_{i=1}^{n} g_{si} \cdot p_i$$

Nella quale:

gs = Trasporto solido totale

gsi = trasporto solido dell'i-esima classe

pi = percentuale dell'i-esima classe nella curva granulometrica

n = numero di classi granulometriche della curva

Nella seguente tabella le classi granulometriche implementate nel software

Tipo sedimento	*range granulometrico (mm)*	*diametro mediano (mm)*
argilla (Clay)	0.002-0.004	0.003
limo molto fine (VFS)	0.004-0.008	0.006
limo fine (FS)	0.008-0.016	0.011
limo medio (MS)	0.016-0.032	0.023
limo grosso (CS)	0.032-0.0625	0.045
sabbia molto fine (VFS)	0.0625-0.125	0.088
sabbia fine (FS)	0.125-0.250	0.177
sabbia media (MS)	0.250-0.500	0.354
sabbia grossa (CS)	0.5-1.0	0.707
sabbia moitro grossa (VCS)	1-2	1.41
ghiaia molto fine (VFG)	2-4	2.83
ghiaia fine (FG)	4-8	5.66
ghiaia media (MG)	-16	11.3
ghiaia grossa (CG)	16-32	22.6
ghiaia molto grossa (VCG)	32-64	45.3
piccoli ciottoli (SC)	64-128	90.5
grossi ciottoli (LC)	128-256	181
massi piccoli (SB)	256-512	362
massi medi (MB)	512-1024	724
massi grossi (LB)	1024-2048	1448

Tabella: Classi granulometriche software HEC-RAS

Le caratteristiche di moto utilizzate nelle valutazioni del trasporto solido derivano dalla modellazione idraulica che, quindi, è condotta preliminarmente alla stima delle condizioni di trasporto solido specificando in seguito i profili per i quali si vuole eseguire il calcolo delle capacità di trasporto della corrente per la specifica curva granulometrica definita dall'utente.

Il programma permette di distinguere tre diverse zone nella sezione computazionale ovvero quella centrale e le due laterali. In funzione della formulazione adottata per il calcolo del trasporto solido il programma individuerà le rispettive caratteristiche idrauliche da adoperare. In alternativa permette di adoperare specifiche caratteristiche idrauliche quali la profondità e la larghezza equivalente (rispettivamente EDF e EFW):

$$EDF = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} D_{avg} \cdot a_i \cdot D_{avg}^{2\frac{2}{3}}\right)}{\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot D_{avg}^{\frac{2}{3}}} \qquad EFW = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot D_{avg}^{\frac{2}{3}}}{EDF^{\frac{5}{3}}}$$

Con:

ai = Area della sotto-sezione

$Davg$ = profondità media della sotto-sezione

n = Numero di sotto-sezioni

Per la stima delle condizioni di trasporto occorre tenere debitamente in conto delle condizioni e dei campi di validità delle diverse formulazioni adoperabili nel programma. Le valutazioni sulle capacità di trasporto in una specifica sezione possono essere condotte tramite la funzionalità **Sediment Trasport Capacity** delle Hydraulic Design Function del Software.

Particolare attenzione dovrà essere volta alla comprensione di quale componente di trasporto i vari metodi sono in grado di stimare; se si tratta cioè di trasporto in sospensione piuttosto che di fondo.

I vari metodi per la stima delle capacità di trasporto e i loro capi di applicabilità, frutto di analisi empiriche, sono nel seguito sintetizzati in tabella:

Equazione	*d*	*dm*	*s*	*V*	*D*	S	*W*	*T*
Ackers-White (fiume)	0.04 - 7.0	NA	1.0-2.7	0.07 - 7.1	0.01 - 1.4	0.00006 - 0.037	0.23 - 4	46 - 89
Engelund-Hansen (fiume)	NA	0 .19 - 0.9 3	NA	0.65 - 6.34	0.19 - 1.33	0.000055 - 0.19	NA	45 - 93
Laursen (field)	NA	0.08 - 0.7	NA	0.068 - 7.8	0.67 - 54	0.0000021 - 0.0018	63 - 3640	32 - 93
Laursen (fiume)	NA	0.011 - 29	NA	0.7 - 9.4	0.03 - 3.6	0.00025 - 0.025	0.25 - 6.6	46 - 83
Mayer-Peter Muller (fiume)	0.4 - 29	NA	1.25-4.0	1.2 - 9.4	0.03 - 3.9	0.00004 -0.02	0.5 - 6.6	NA
Toffaleti (field)	0.062 - 4.0	0.095 - 0.76	NA	0.7 - 7.8	0.07 - 56.7 (R)	0.000002 - 0.0011	63 - 3640	32 - 93
Toffaleti (fiume)	0.062 - 4.0	0.45 - 0.91	NA	0.7 - 6.3	0.07 - 1.1 ®	0.00014 - 0.019	0.8 - 8	40 - 93
Yang (field-sand)	0.15 - 1.7	NA	NA	0 .8 - 6.4	0.04 - 50	0.000043 - 0.028	0.44 - 1750	32 - 94
Yang (field-gravel)	2.5 - 7.0	NA	NA	1.4 - 5.1	0.08 - 0.72	0.0012 - 0.029	0.44 - 1750	32 - 94

Tabella: Equazioni trasporto solido di applicabilità

Dove:

d = Diametro maggiore (mm)

dm = diametro mediano del sedimento (mm)

s = peso specifico del sedimento

V = velocità media del canale (ft/s)

D = profondità del canale (ft)

S = gradiente dell'energia

W = Larghezza del canale (ft)

T = Temperatura dell'acqua (°F)

(R) = Raggio Idraulico (ft)

NA = dato non disponibile

MODELLISTICA IDRAULICA A FONDO MOBILE

L'attendibilità dei risultati che si ottengono da una modellazione idraulica a fondo mobile dipende in maniera sostanziale dalle conoscenze sul materasso alluvionale (soprattutto in termini di spessori e di variabilità della granulometria al suo interno) che si può movimentare in caso di piena e dei meccanismi di apporto di sedimenti al corso d'acqua. La modellistica a fondo mobile in HEC-RAS può essere eseguita sia tramite modellazioni in moto cosiddetto "quasi vario" (susseguirsi di step in moto uniforme) sia tramite modellazioni in moto vario. Le modellazioni in moto "quasi vario" rappresentano una buona approssimazione per molti studi dei fenomeni di trasporto in quanto la scala temporale della mobilità dei sedimenti è molto più lunga rispetto a quella delle variazioni idrodinamiche, tuttavia tali simulazioni possono indurre errori significativi nel caso in cui ci siano importanti accumuli d'acqua nel sistema con ingenti fenomeni di sedimentazione.

CONDIZIONI INIZIALI E PARAMETRI DI TRASPORTO

I dati sedimentologici di input del modello a fondo mobile sono rappresentati essenzialmente dalle caratteristiche del deposito alluvionale e dalle condizioni iniziali.

Nello specifico bisogna specificare i seguenti parametri:

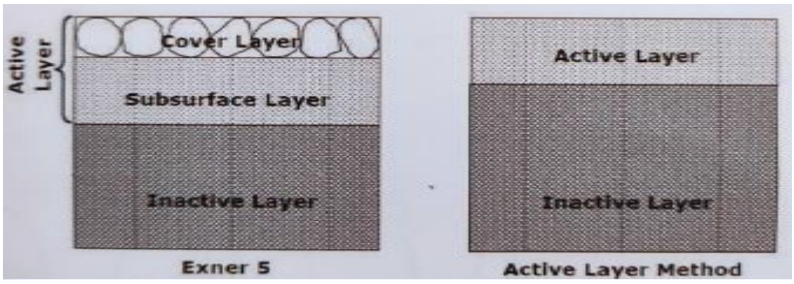
1) **Funzione di trasporto**. Le funzioni di trasporto implementate nel codice sono le seguenti:

- **Ackers and White**
- **England and Hansen**
- **Coppeland's from Laursen**
- **Mayer-peter and Muller**
- **Toffaleti**
- **Yang (sands and gravel eqns)**
- **Wilcock**

I risultati della modellazione sono fortemente influenzati dalla scelta della funzione di trasporto. Per tale motivazione la scelta della funzione dovrà essere frutto di attente valutazioni inerenti il sistema fisico studiato.

2) **Modello di orientamento del fondo**. Sono adoperabili due modelli di orientamento:

- **Exner 5**: un modello di fondo a tre strati che considera uno strato superficiale più grossolano che limita l'erosione del materiale più profondo, simulando un corazzamento dell'alveo;
- **Active Layer**: approccio semplificato del modello di fondo che prevede due strati. Lo spessore dello strato attivo è fissato pari al d90 dello strato; questa ipotesi è adatta solo per fondi in ghiaia ed è destinato ad essere utilizzato con il metodo di trasporto di Wilcock



3) **Velocità di sedimentazione**. I modelli disponibili per il calcolo delle velocità di sedimentazione sono:

- **Ruby**
- **Toffaleti**
- **Van Rijn**
- **Report 12**

4) **Volume di controllo dei sedimenti**. Ai fini computazionali del trasporto solido HECRAS richiede che ad ogni sezione venga assegnato un volume di controllo dei sedimenti che rappresenta la porzione di materasso alluvionale potenzialmente movimentabile durante i fenomeni di piena, partecipando quindi al trasporto solido.

5) **Granulometria dei sedimenti**. Il programma consente di associare ad ogni sezione una curva granulometrica dei sedimenti che potrà essere definita come percentuale di passante al setaccio o come masse delle i-esime classi.

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. Suddetta analisi può essere condotta adoperando la funzionalità Sediment Trasport Capacity, di cui al §4.2.6.1.5, che consente appunto la modellazione delle capacità di trasporto in una determinata sezione per le diverse condizioni di portata precedentemente definite. Nella definizione della scala di deflusso dovrà essere utilizzato un range di portate che comprenda tutte le portate attese durante la simulazione a fondo mobile;

2) **Sediment laod 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

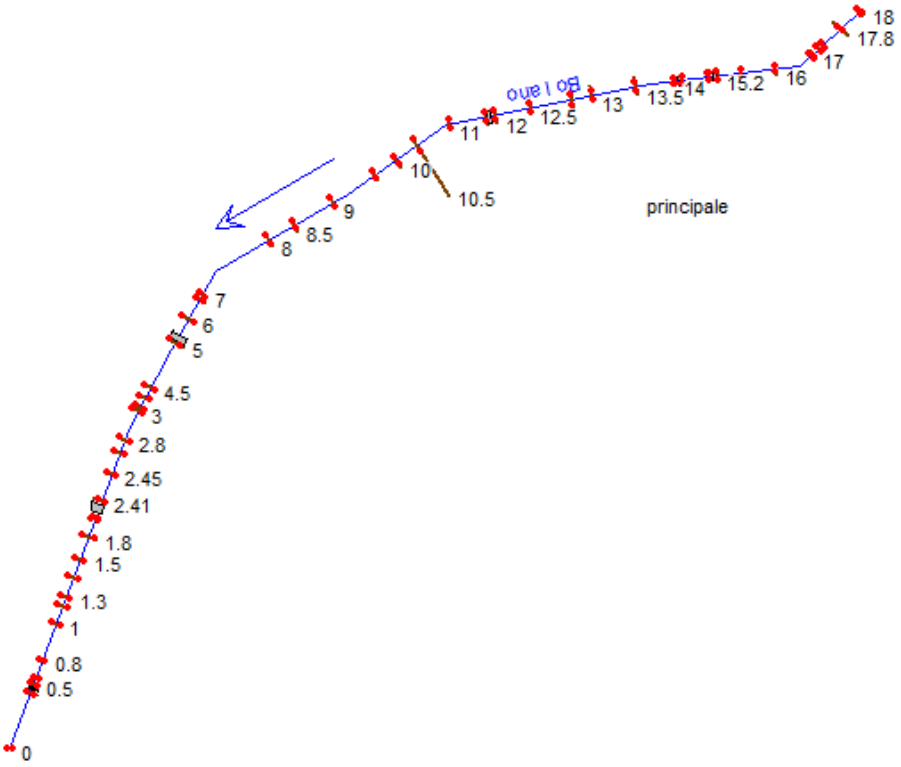
Lo studio idraulico in oggetto ha riguardato il tratto del Torrente Villa in corrispondenza del tratto compreso tra il ponte su via Picarda e la passerella pedonale di Piazza delle Corriere a Ceparana nel Comune di Bolano. Nella figura 4 è riportato lo schema planimetrico delle sezioni rilevate ed utilizzate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

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



Si rimanda agli elaborati grafici di dettaglio (*PD.EG.06.0X*) per la rappresentazione grafica delle sezioni allo stato di fatto.

COEFFICIENTI DI SCABREZZA DI MANNING

I coefficienti di scabrezza adoperati nelle singole sezioni sono stati ricavati da letteratura 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 e III categoria;
- n = 0.1 $m^{1/3}/s$ per alveo naturale;
- n = 0.08 $m^{1/3}/s$ per alveo con inserimento di un dispositivo di dissipazione di energia.

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 prima approssimazione delle caratteristiche di officiosità idraulica del canale 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 = 59,00 m^3/s**
- Dalla sez. 9.5 alla sez. 0: **Q = 60,50 m^3/s**

A monte del modello geometrico si è impostata come condizione al contorno l'altezza critica del salto di fondo della sezione 18, mentre a valle l'altezza del tirante idrico dello studio idraulico effettuato per il progetto esecutivo dei lavori realizzati tra il tratto tombato in Piazza delle Corriere e la confluenza con il fiumeMagra.

L'uso del modello HEC-RAS per i valori di portata al colmo relativi al tempo di ritorno T di 200 anni, ha evidenziato attraverso la ricostruzione dei corrispondenti profili di moto permanente le situazioni più critiche e di maggiore attenzione per il tratto analizzato e definire quindi, sulla base dei risultati dello stato di fatto gli interventi di sistemazione idrauliche in grado di garantire adeguata sicurezza per tutto il tratto, ovvero

bisogna garantire un franco di sicurezza, come dal Piano Stralcio Assetto Idrogeologico – Allegato 5 alle Norme di Attuazione, pari a:

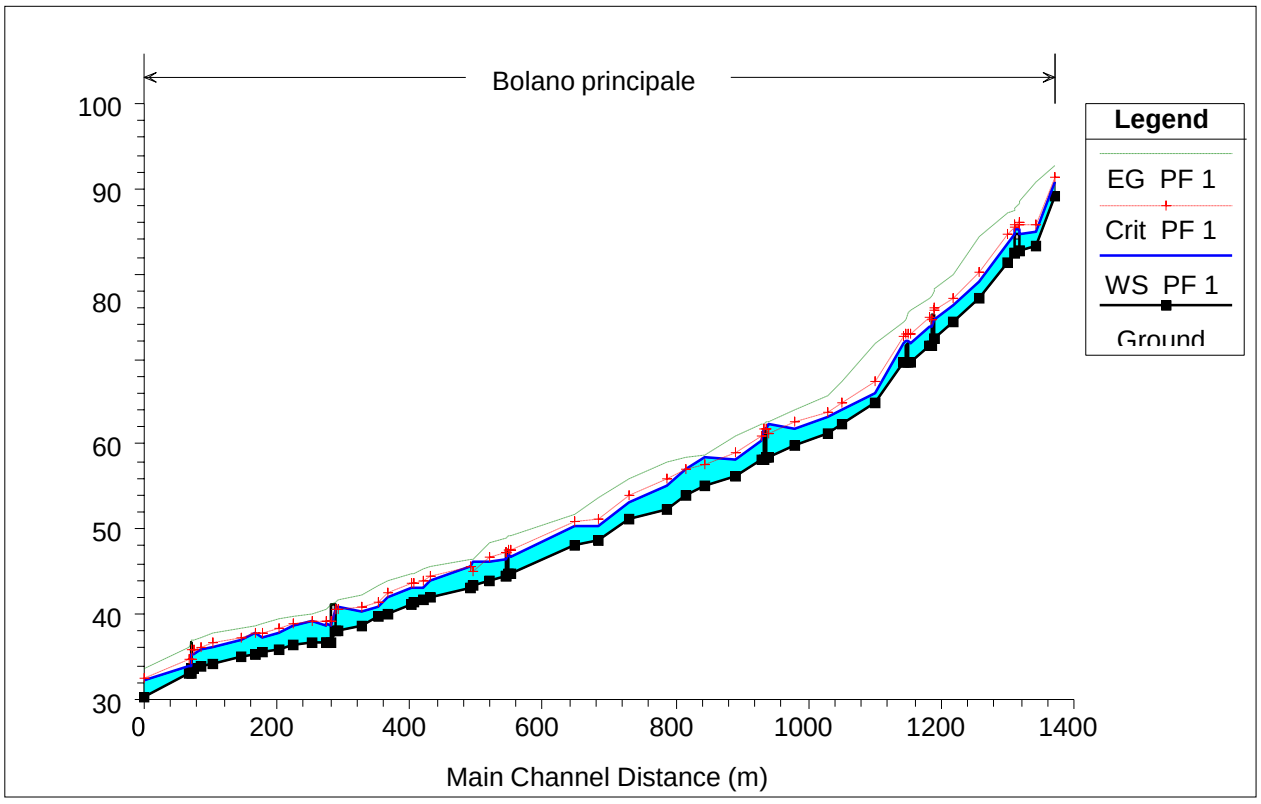
a) il carico cinetico della corrente determinabile come U2/2g (valore particolarmente rilevante per correnti veloci o debolmente lente), dove U è la velocità media della corrente (m/s) e g è l'accelerazione di gravità (m/s2);

b) i valori per categorie di opere di seguito indicati:

Stato del bacino sotteso	Tipo di opere	
	Argini e difese spondali	Attraversamento
Sufficientemente sistemato	cm 50	cm75
Poco sistemato, ma non dissestato	cm 75	cm 100
Dissestato	cm 100	cm 150

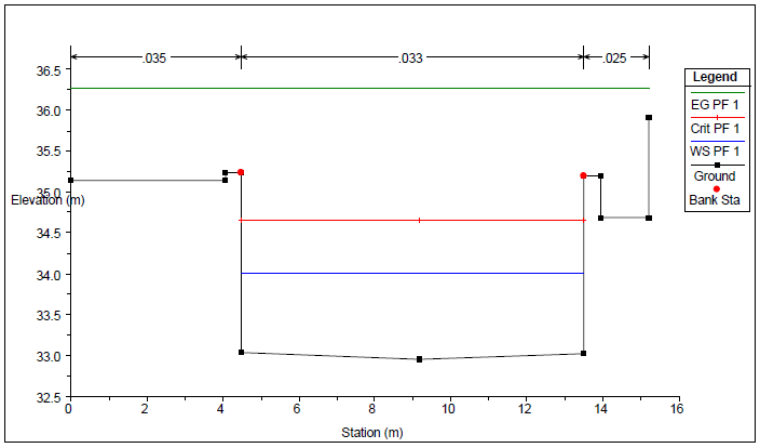
STATO DI FATTO

A seguire è riportato il profilo della corrente per il tratto analizzato e la rappresentazione graficadelle singole sezioni.

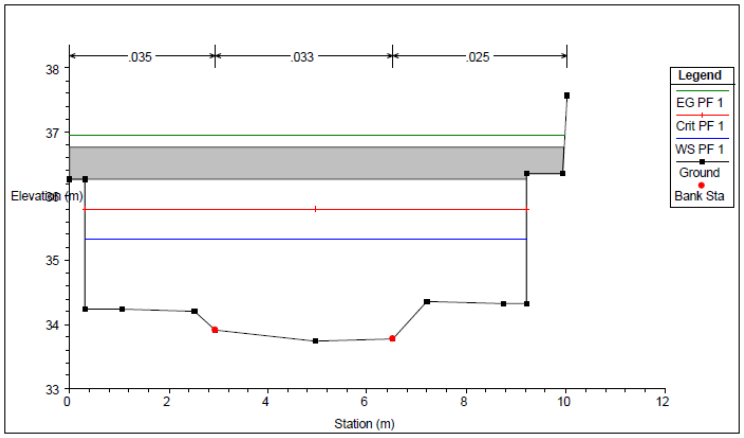


Profilo della corrente per T=200 anni (stato attuale).

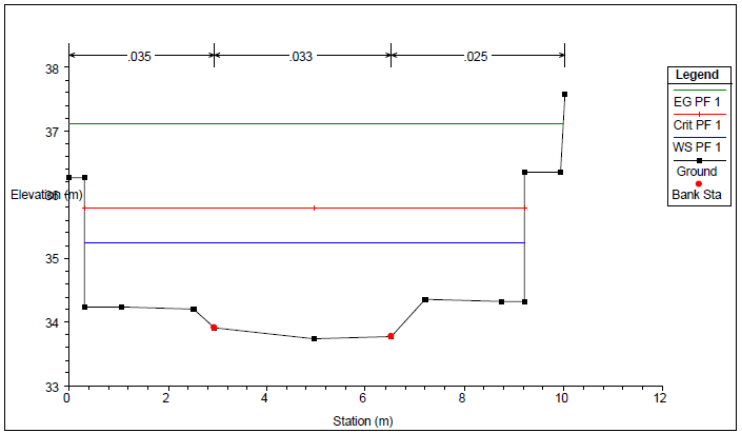
Sez. 0.1



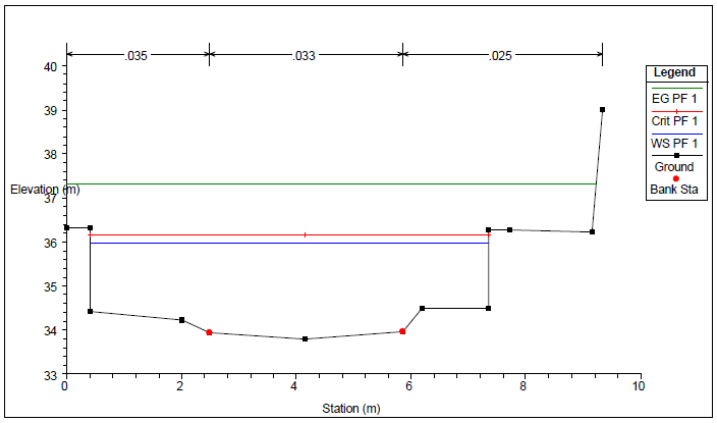
Sez.0.2 (Passerella pedonale Piazza delle Corriere)



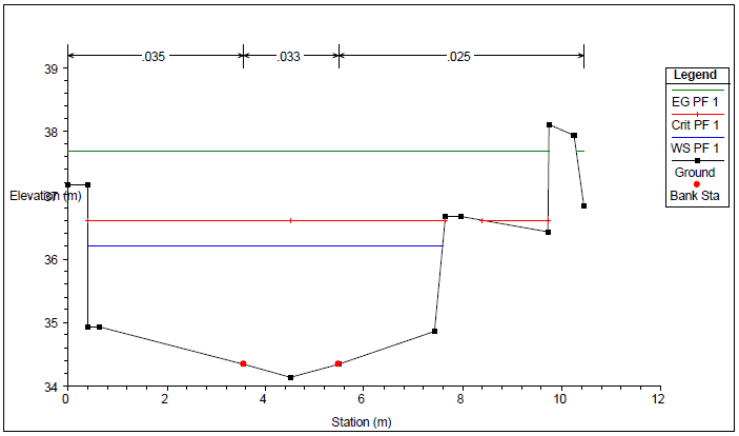
Sez.0.5



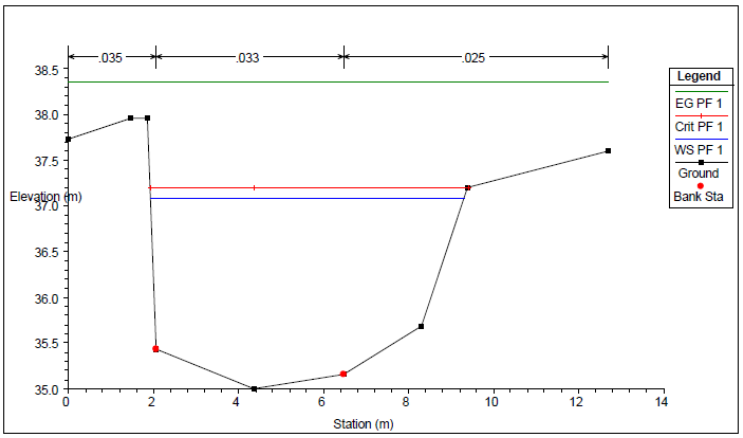
Sez.0.6



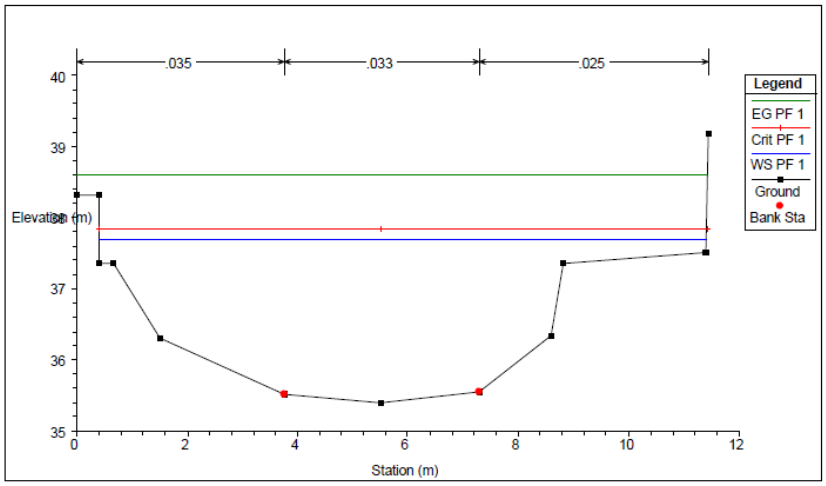
Sez.0.8



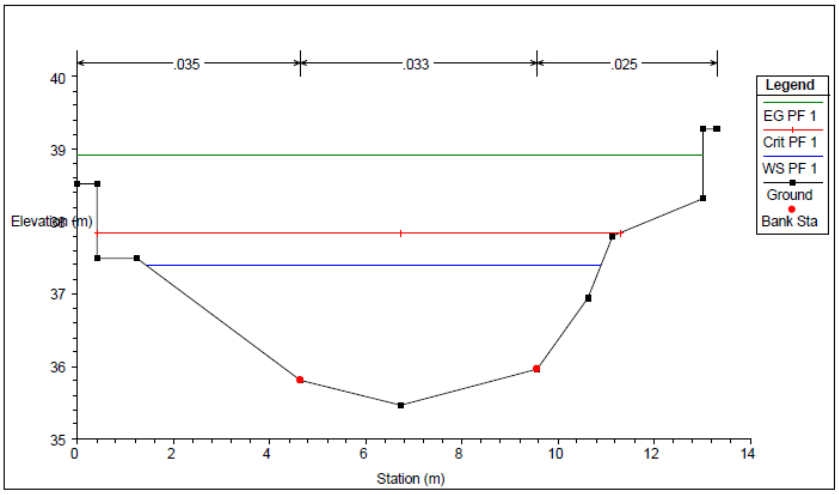
Sez.1.0



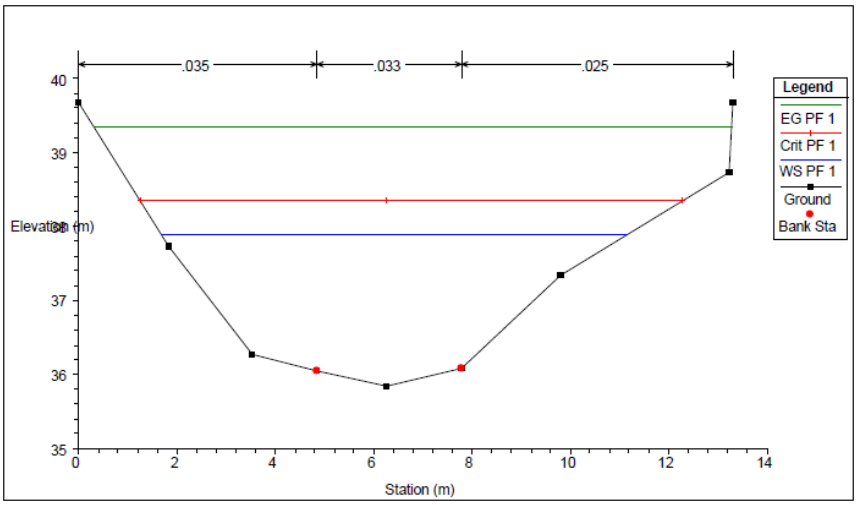
Sez. 1.2



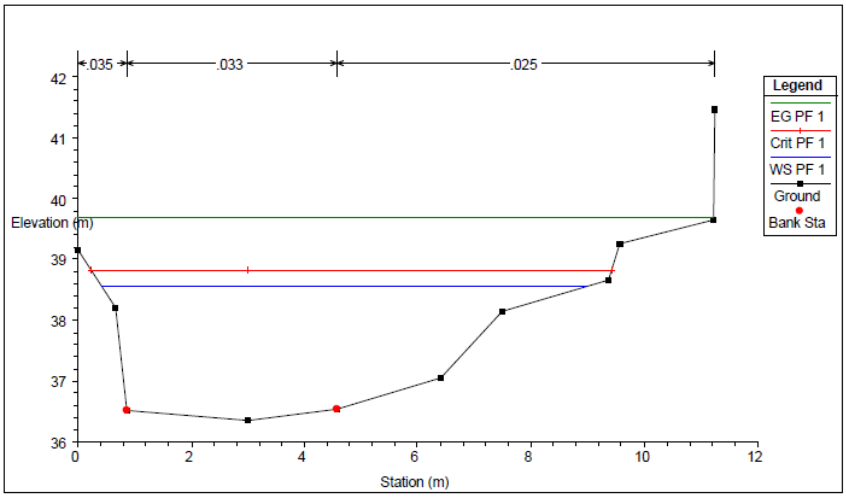
Sez. 1.3



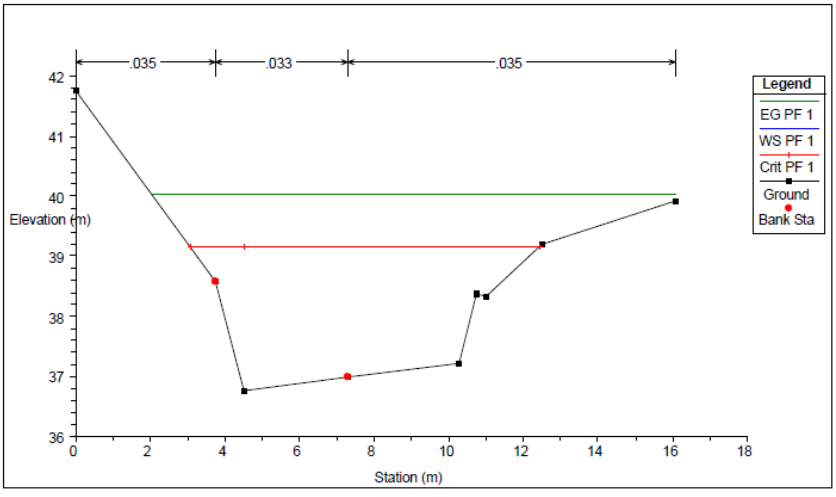
Sez. 1.4


.035
.033
.025
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

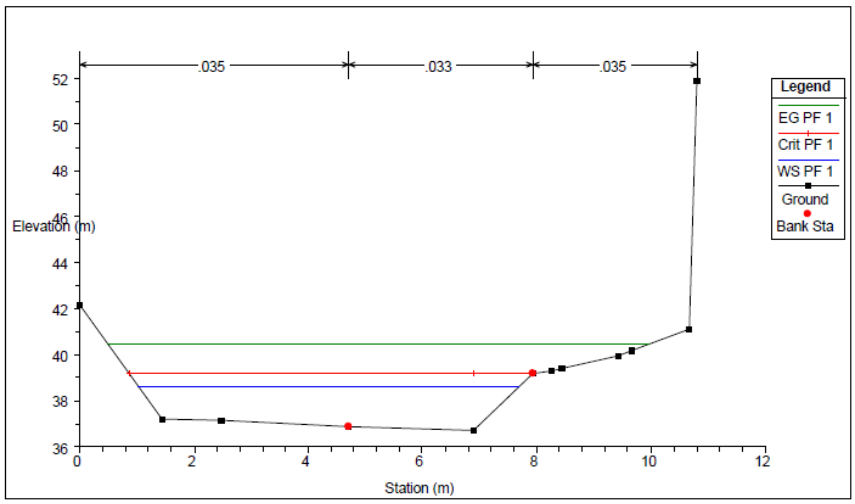
Sez. 1.5


.035
.033
.025
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

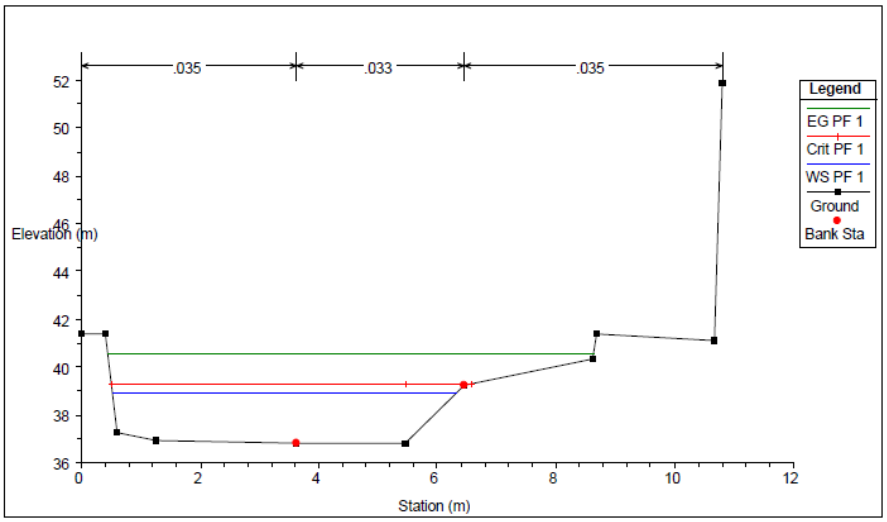
Sez. 1.8


.035
.033
.035
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

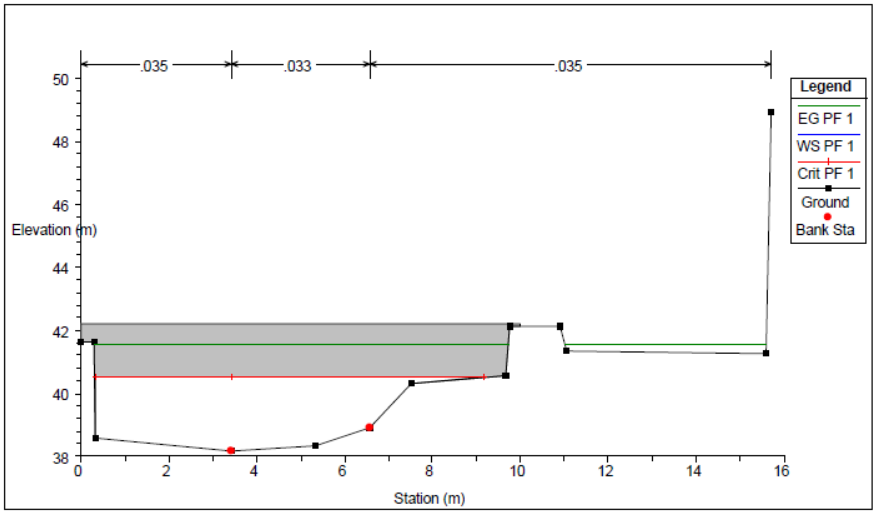
Sez. 2.0



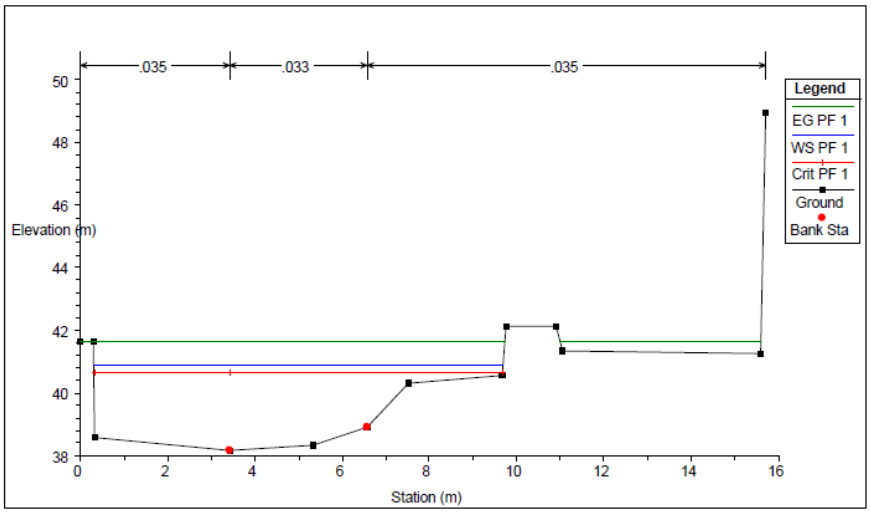
Sez. 2.1



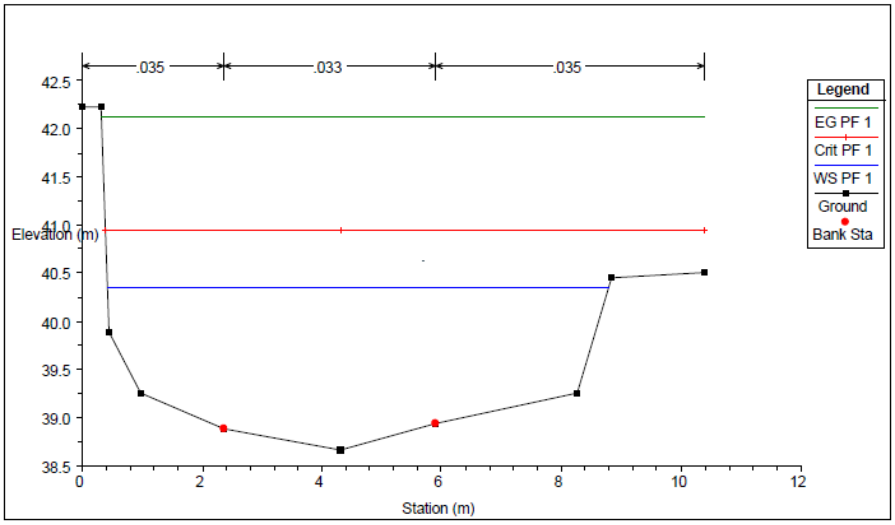
Sez. 2.2 (Ponte via Dante)



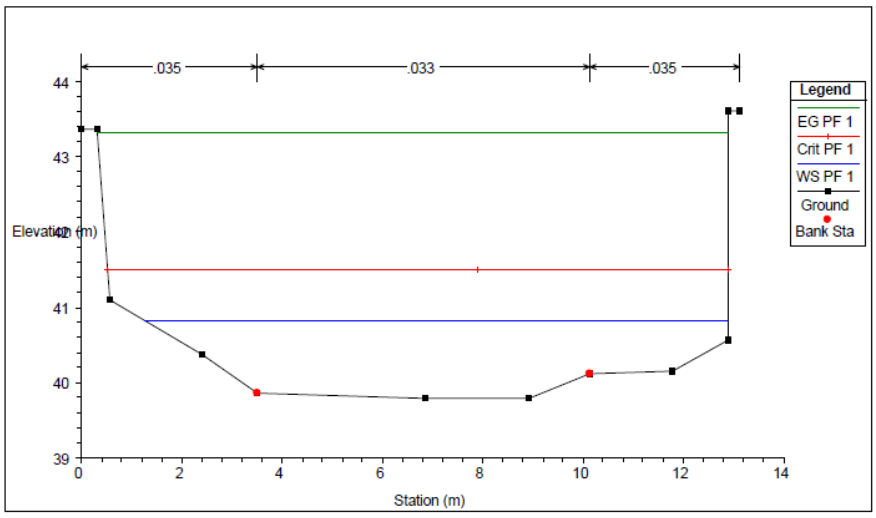
Sez. 2.41



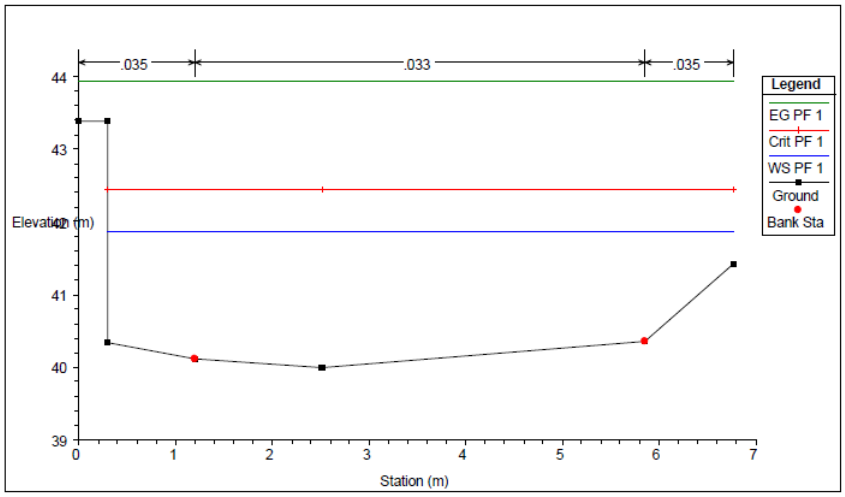
Sez. 2.45



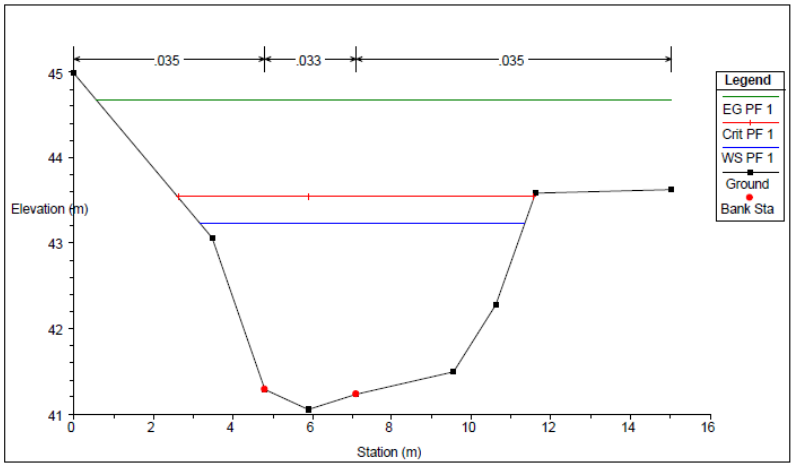
Sez. 2.5



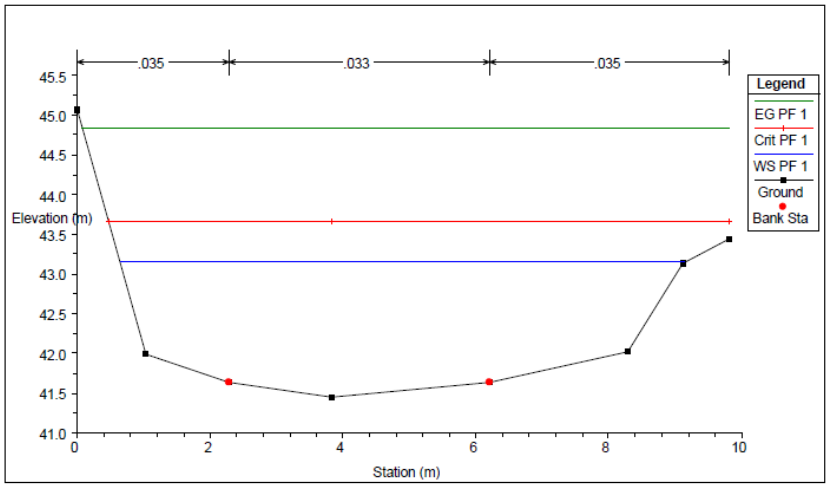
Sez. 2.8



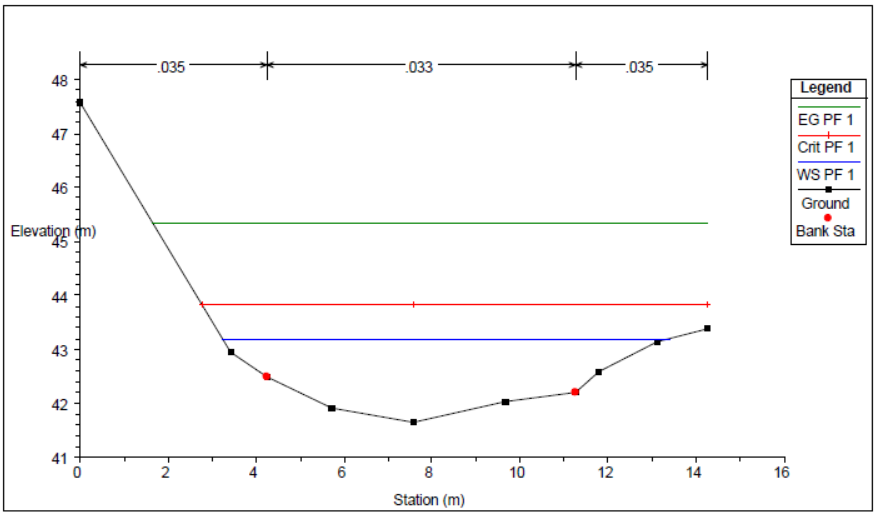
Sez. 3.0



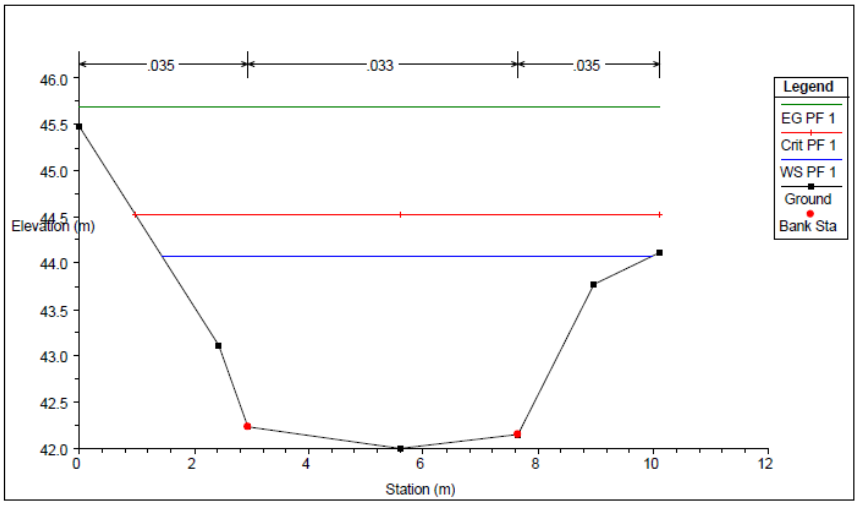
Sez. 3.5


.035
.033
.035
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

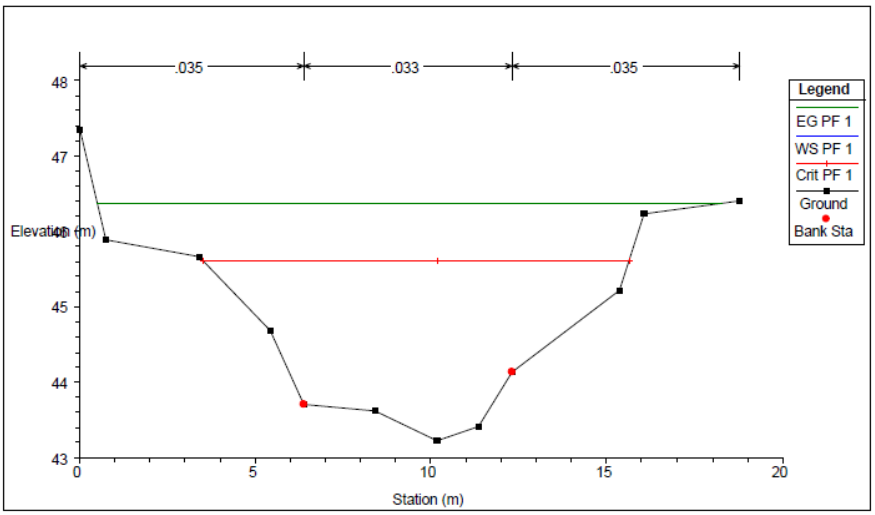
Sez. 4.0


.035
.033
.035
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

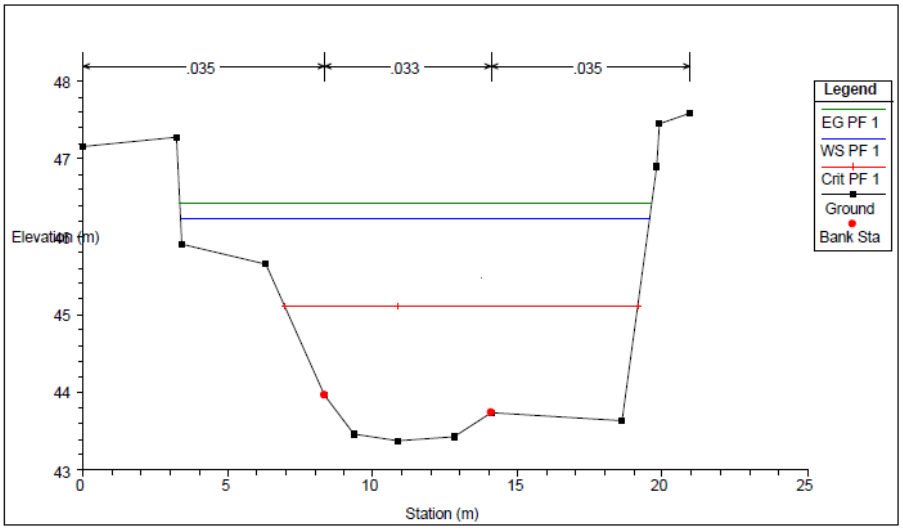
Sez. 4.5


.035
.033
.035
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

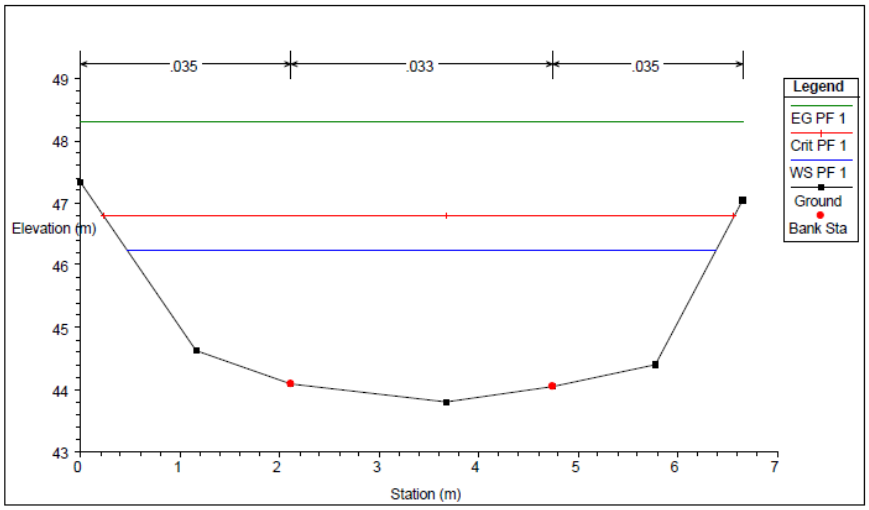
Sez. 5.0



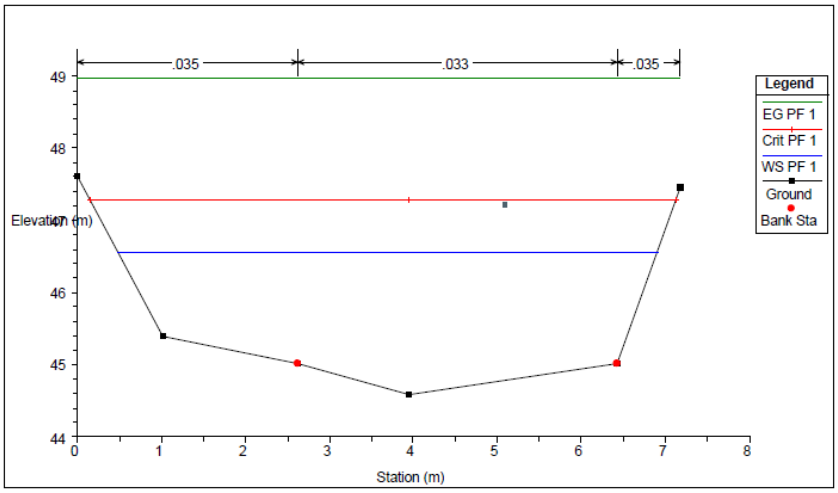
Sez. 5.2



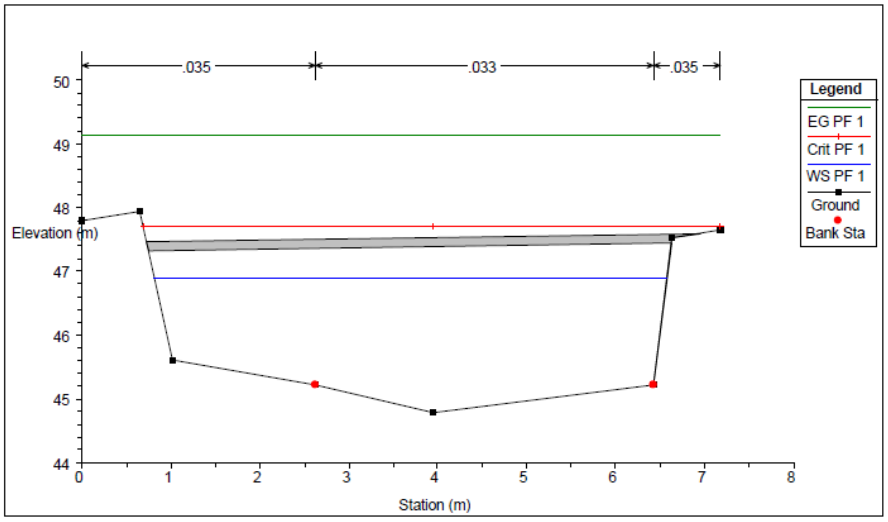
Sez. 6.0



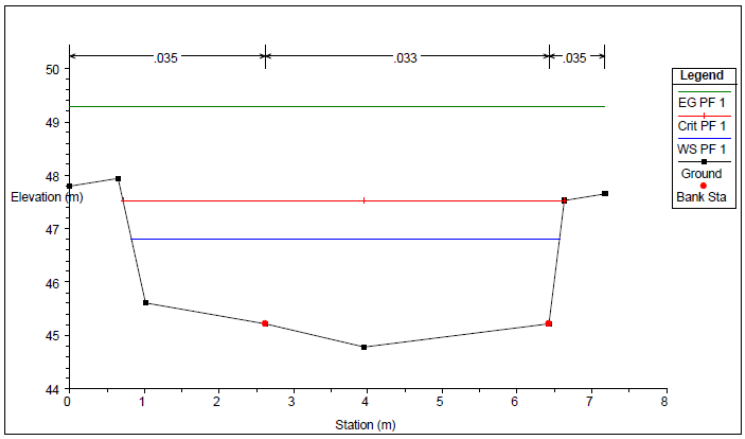
Sez. 6.5



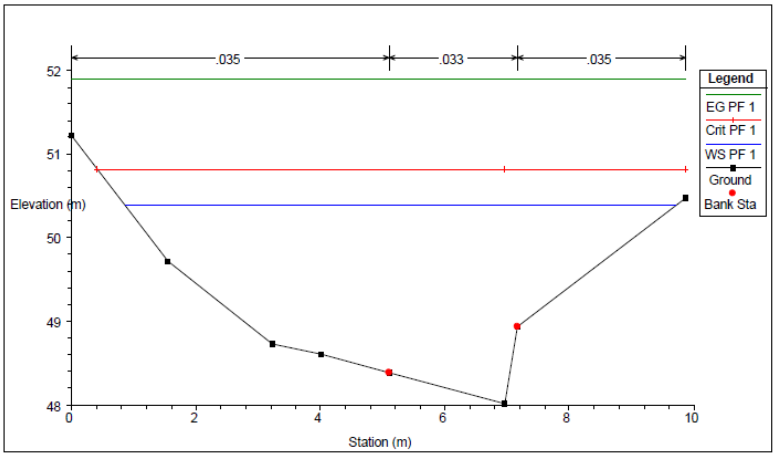
Sez. 6.7 (Passerella pedonale)



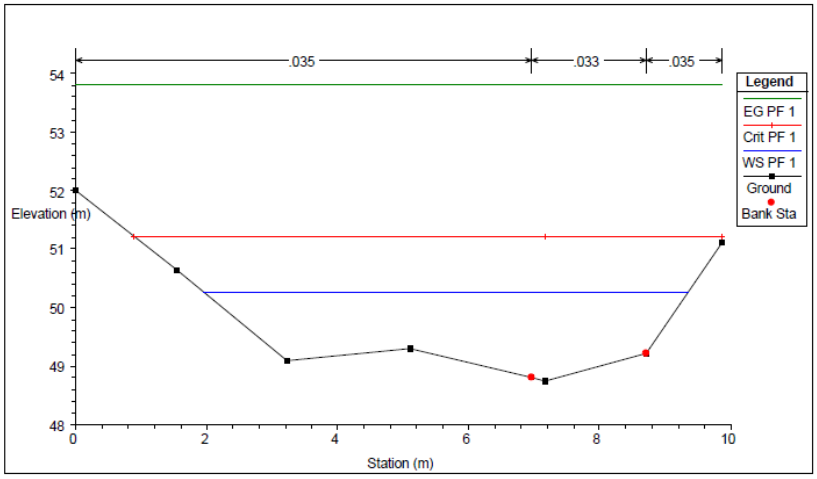
Sez. 7.0



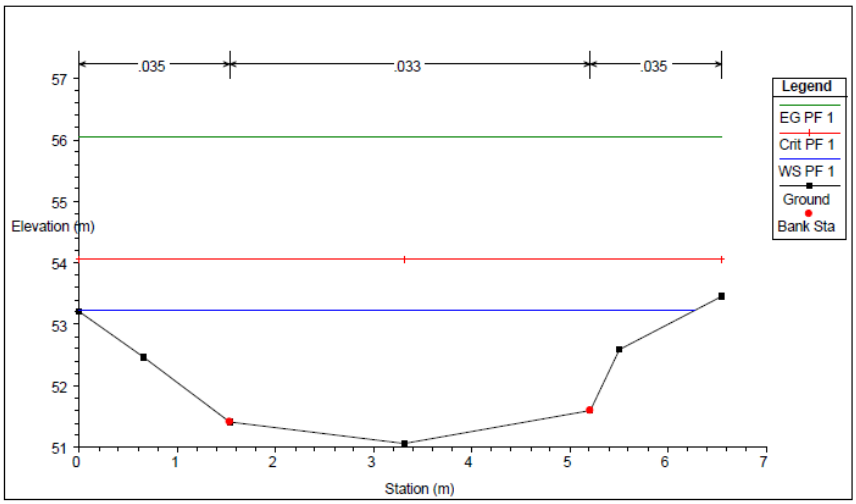
Sez. 8.0



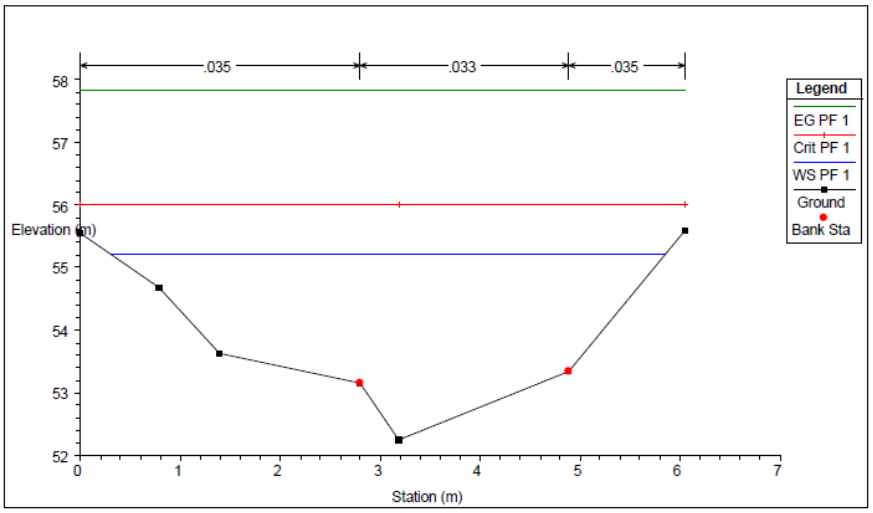
Sez. 8.5



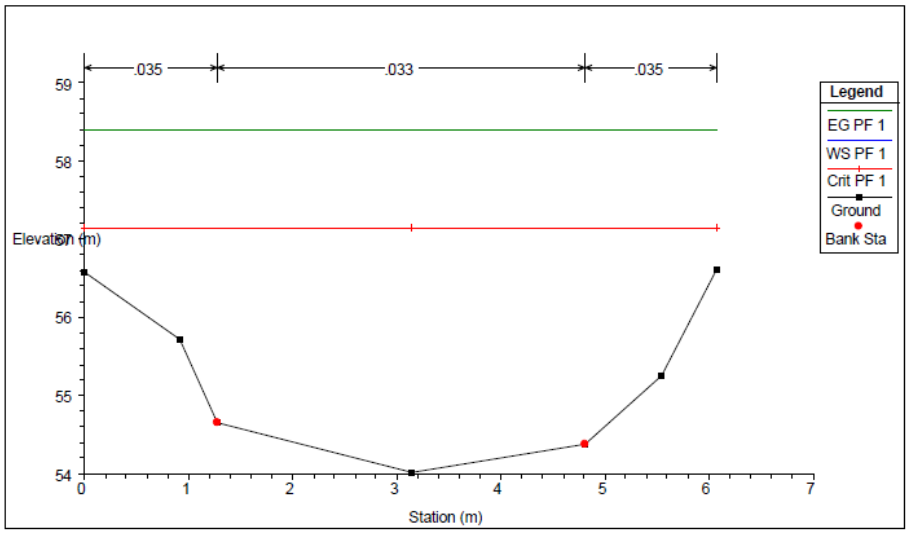
Sez. 9.0



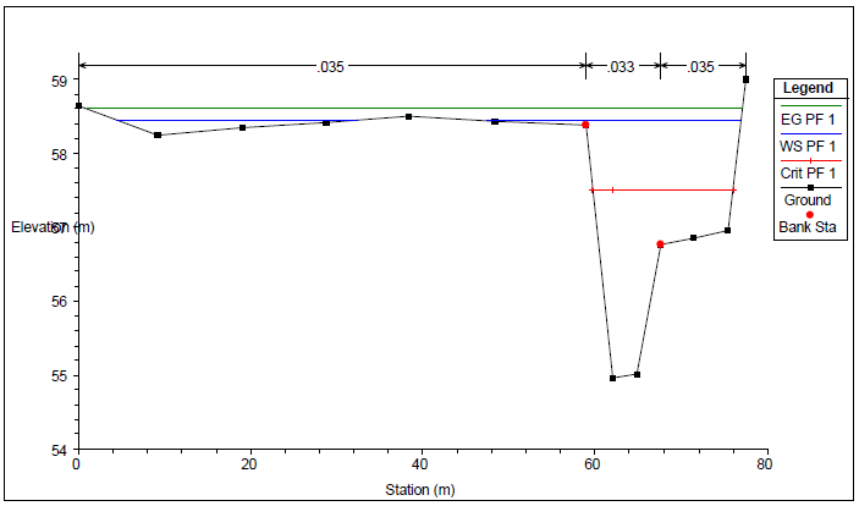
Sez. 9.5



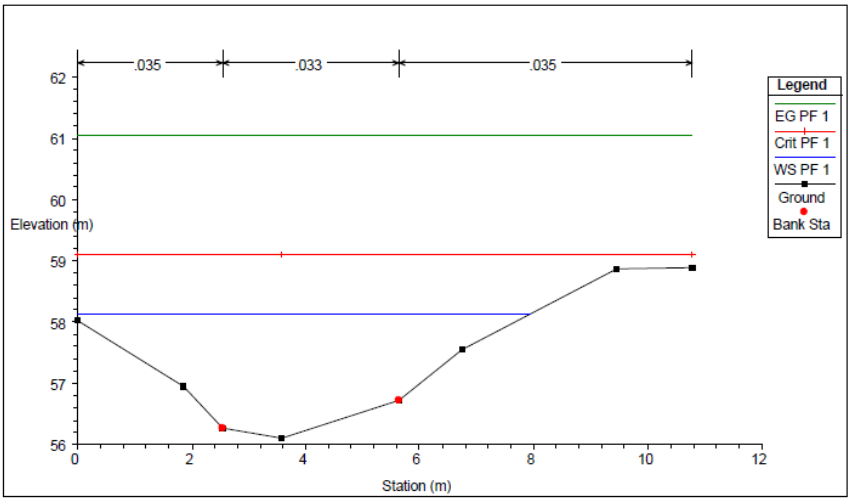
Sez. 10.0



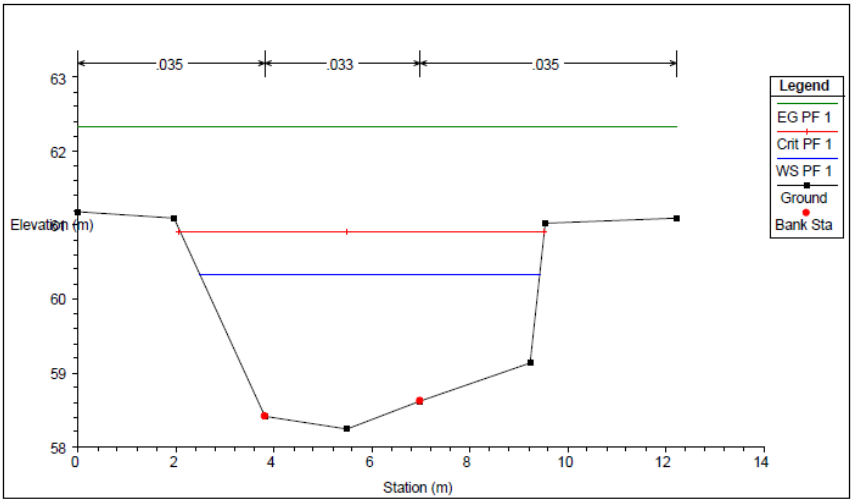
Sez. 10.5



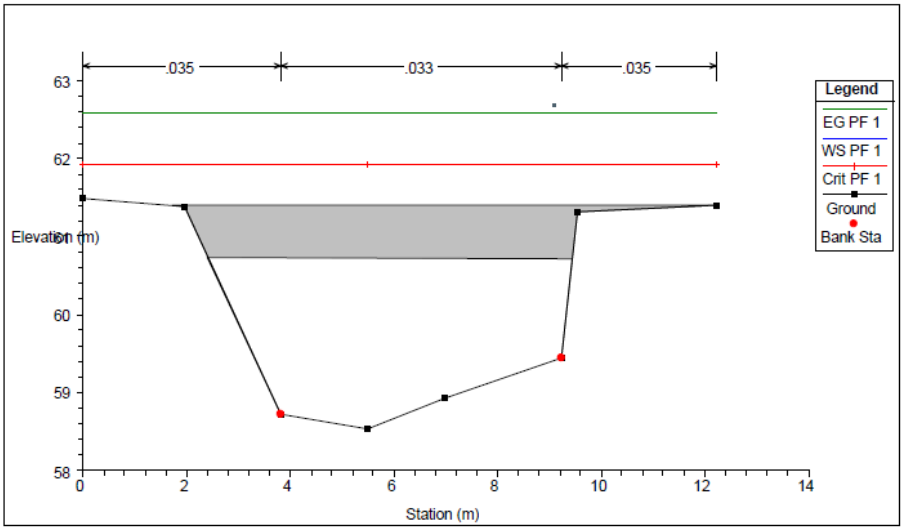
Sez. 11.0



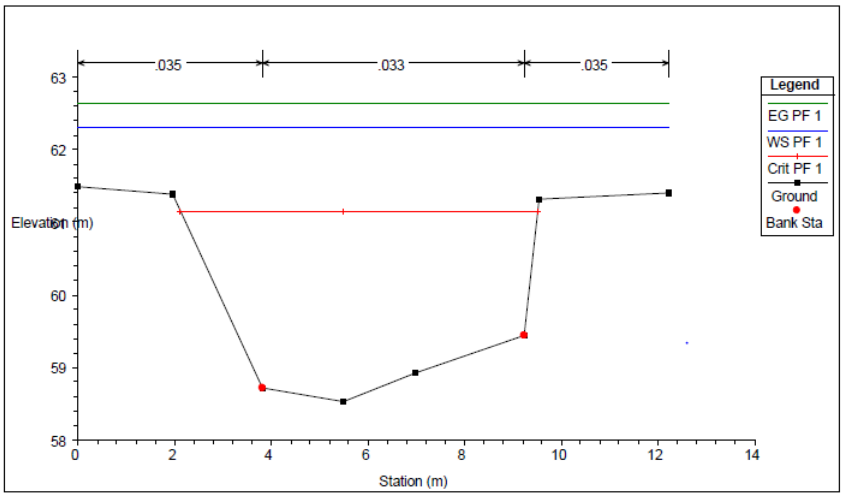
Sez. 11.8



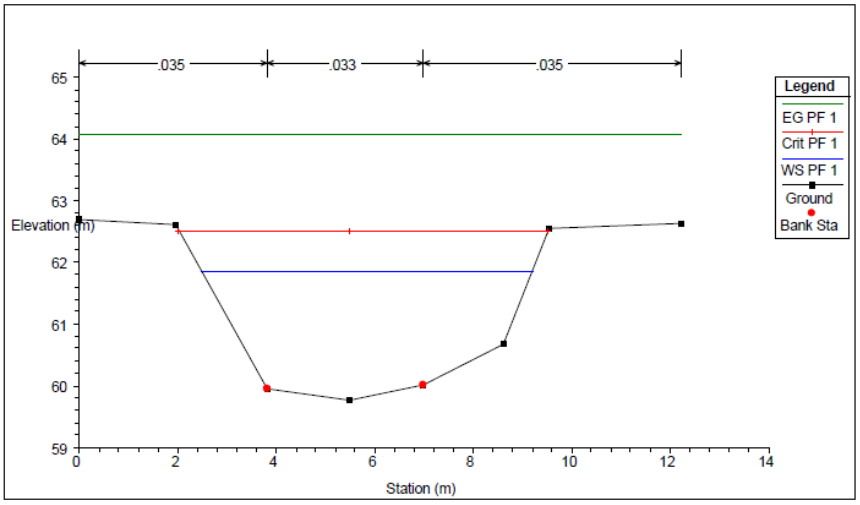
Sez. 11.9 (Ponte Via Garibaldi)



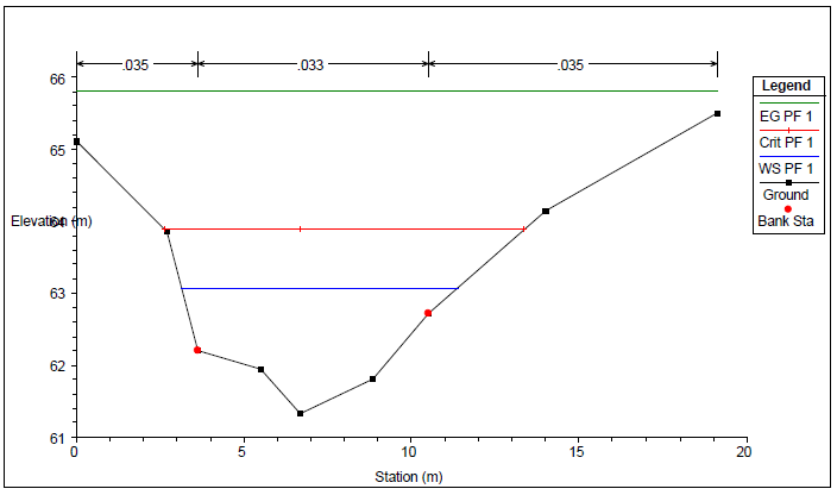
Sez. 12.0



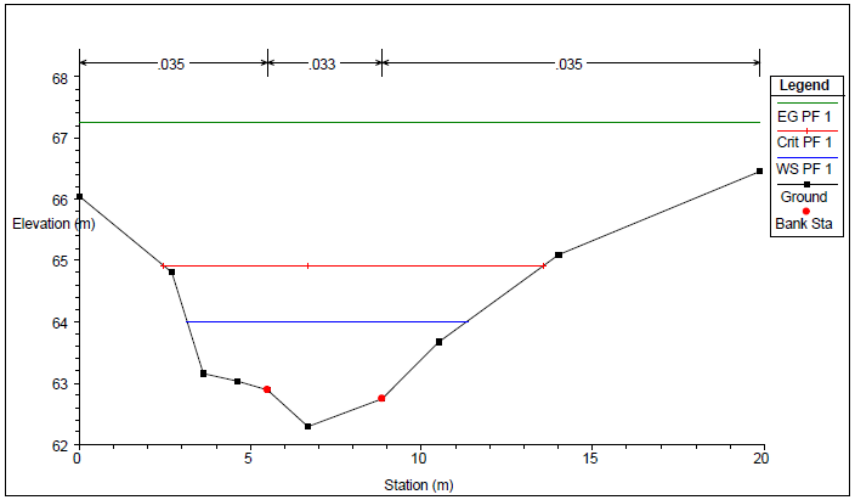
Sez. 12.5



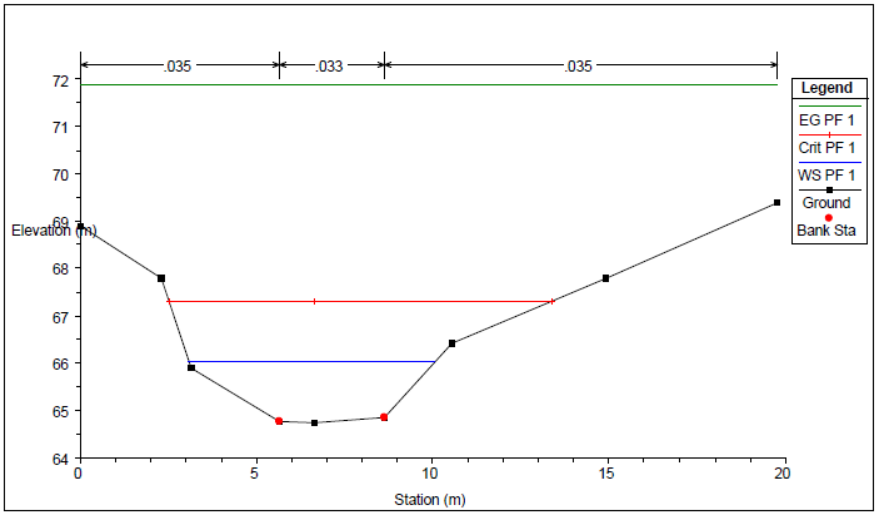
Sez. 12.8



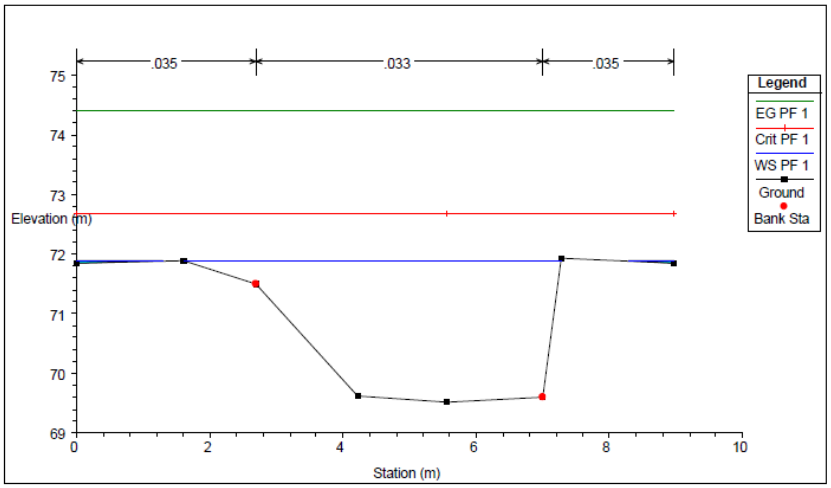
Sez. 13.0



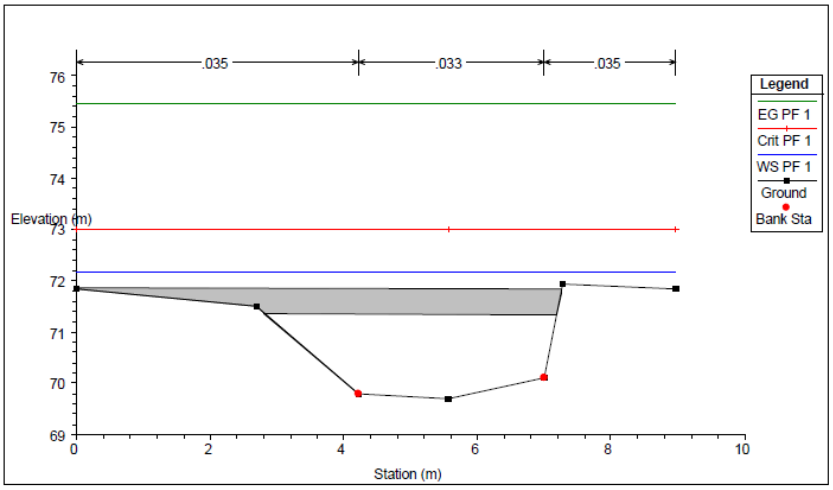
Sez. 13.5



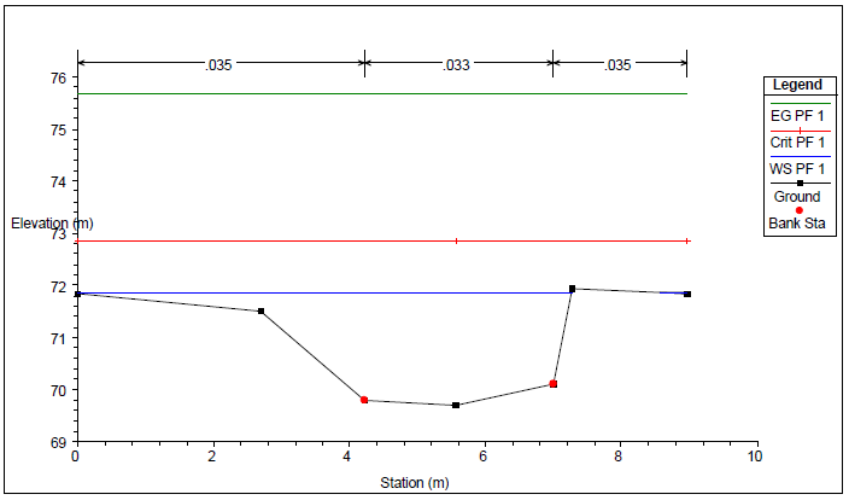
Sez. 14.0



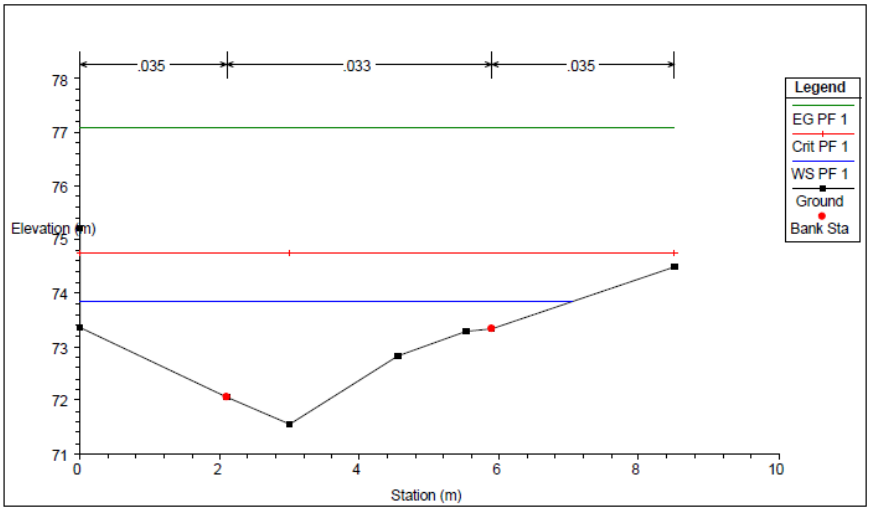
Sez. 14.2 (Attraversamento loc. Villa-F)



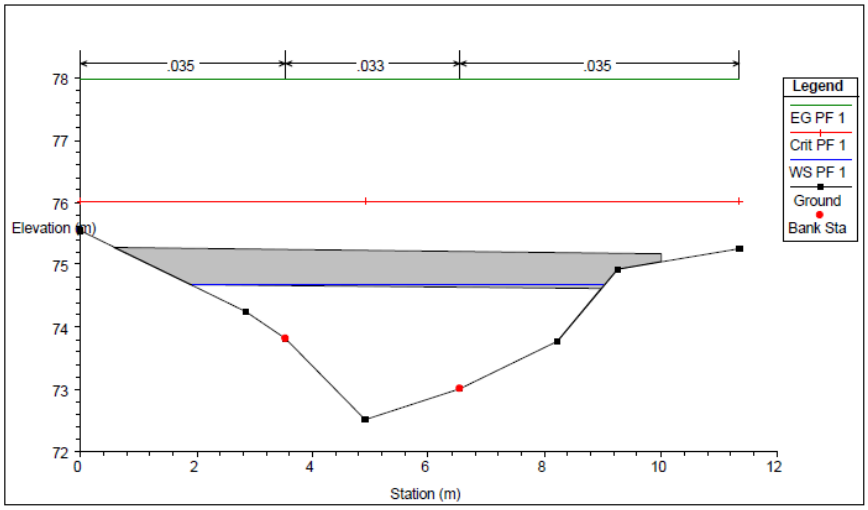
Sez. 14.5



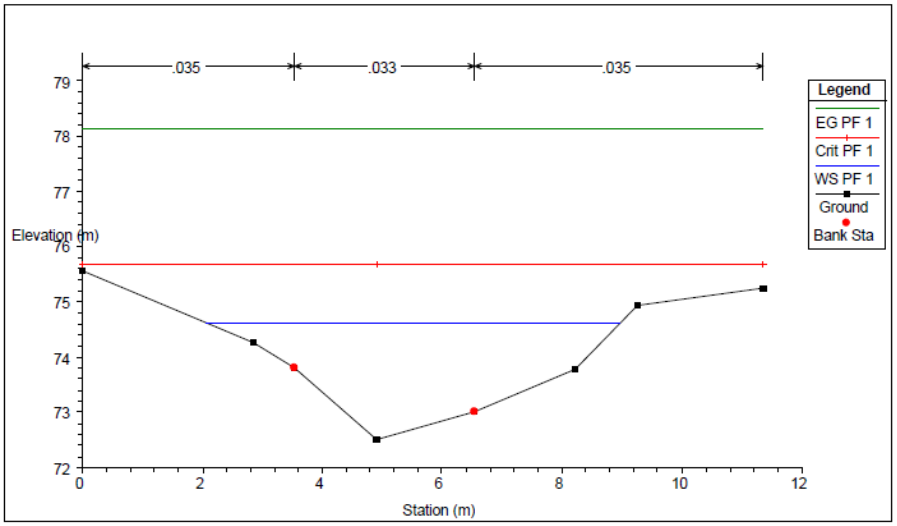
Sez. 15.0



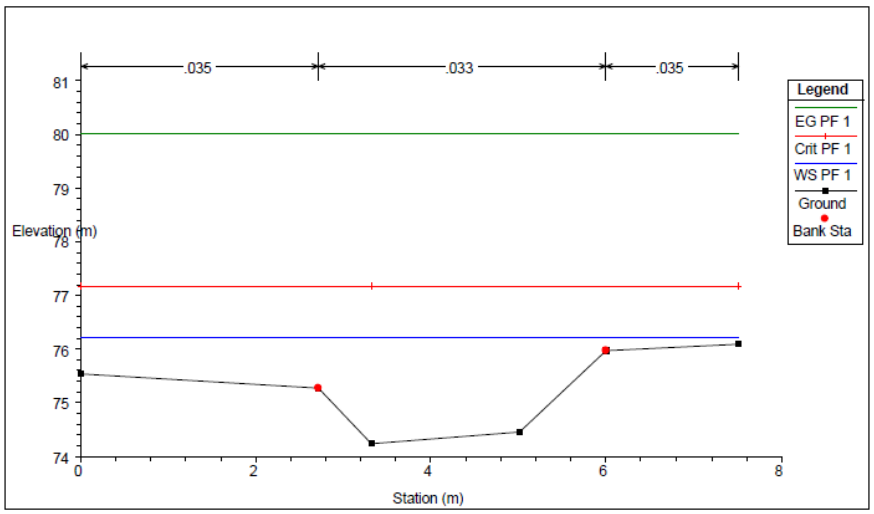
Sez. 15.1 (Attraversamento loc. Villa- G)



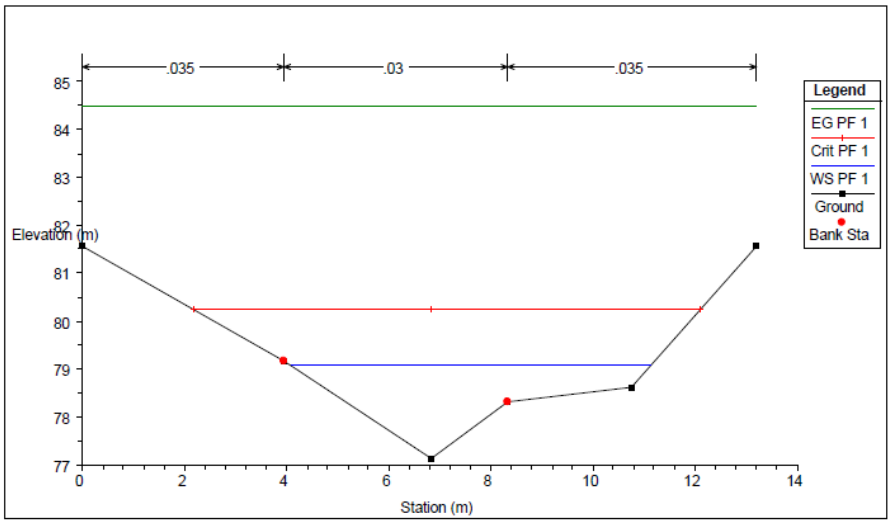
Sez. 15.2



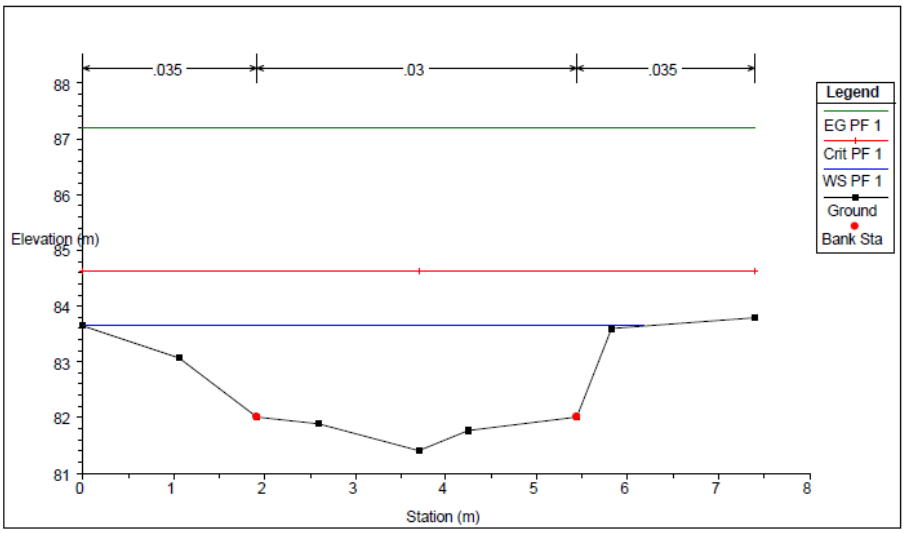
Sez. 15.5



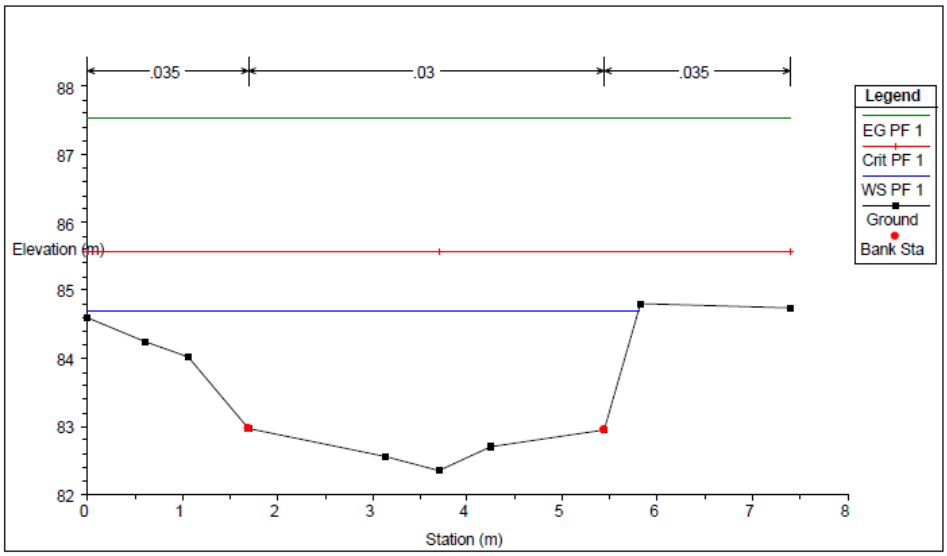
Sez. 16.0



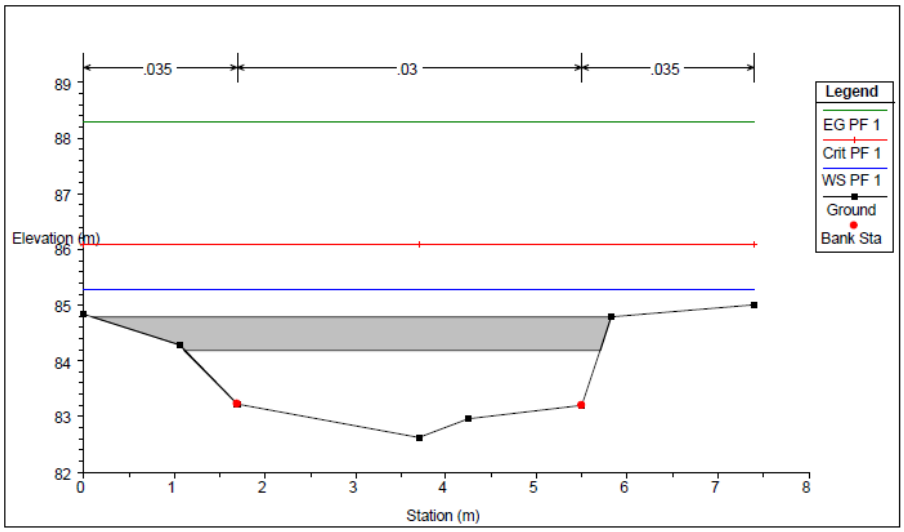
Sez. 17.0



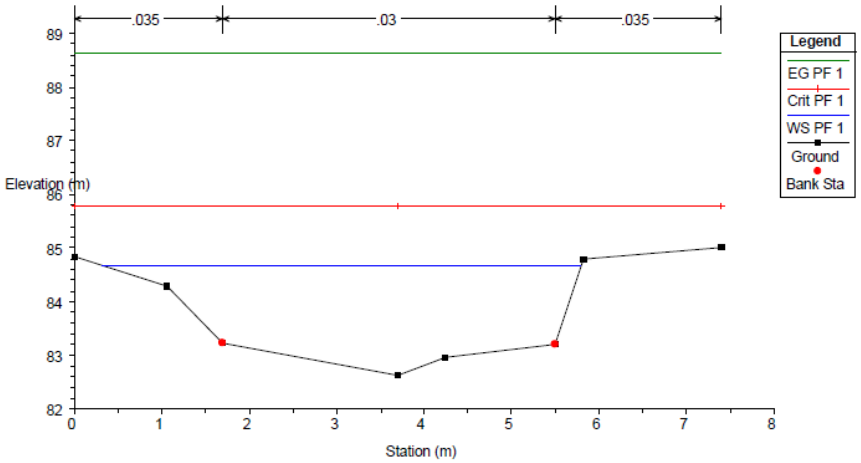
Sez. 17.4



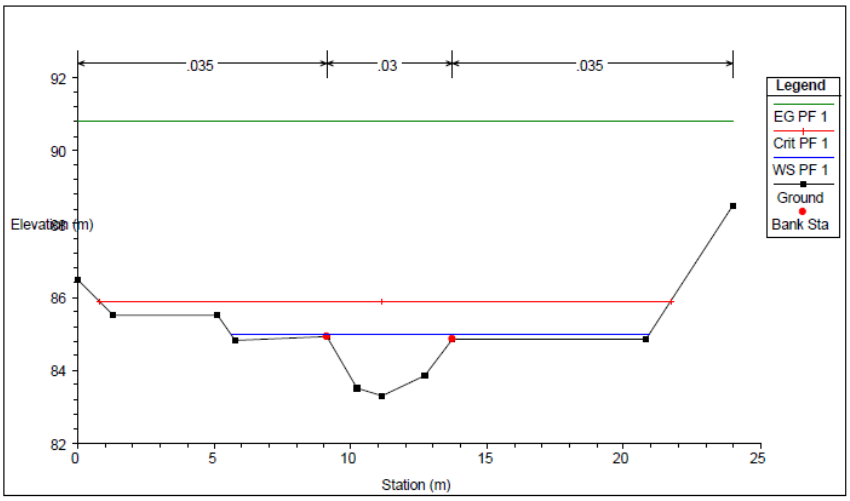
Sez. 17.5 (Ponte su Via Picarda)



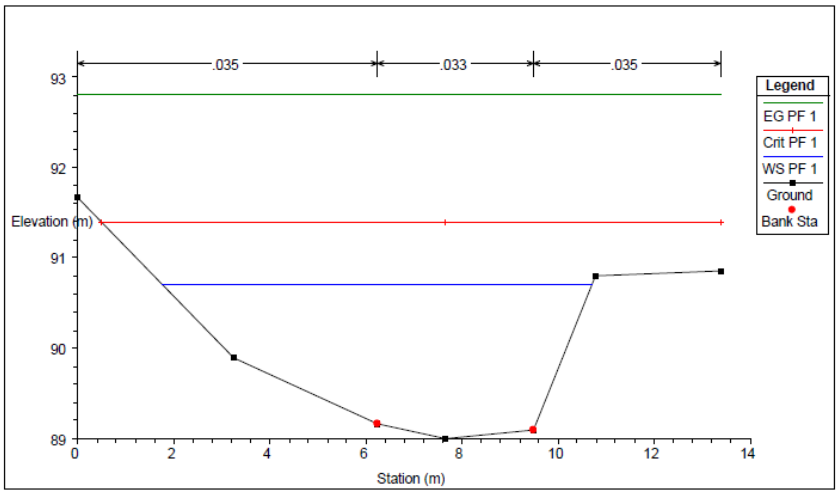
Sez. 17.5



Sez. 17.8



Sez. 18.0



Per una migliore analisi dei risultati ottenuti con HEC-RAS nelle tabelle che seguono si riportano per le simulazioni con QT=200, e per ciascuna delle sezioni considerate ai fini della descrizione del Torrente Villa a seguito degli interventi di progetto, l'altezza della corrente ed i valori delle principali grandezze idrauliche:

- numero sezione;
- portata complessiva;
- quota del fondo della sezione;
- quota del profilo della corrente;
- quota del profilo critico della corrente;
- quota del profilo dell'energia della corrente;
- pendenza del profilo dell'energia della corrente;

- velocità della corrente;
- area bagnata;
- numero di Froude;

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	18	PF 1	61.00	89.00	90.71	91.40	92.81	0.030029	7.31	10.51	8.95	1.82
principale	17.8	PF 1	61.00	83.29	84.98	85.88	90.81	0.127493	11.02	6.62	15.33	3.32
principale	17.6	PF 1	61.00	82.62	84.68	85.78	88.62	0.037605	8.96	7.50	5.48	2.18
principale	17.5		Bridge									
principale	17.4	PF 1	61.00	82.36	84.71	85.56	87.53	0.022450	7.65	9.03	5.80	1.73
principale	17	PF 1	61.00	81.41	83.63	84.64	87.20	0.032095	8.64	8.11	6.16	2.02
principale	16	PF 1	61.00	77.15	79.08	80.24	84.48	0.125308	10.90	6.23	7.05	3.32
principale	15.5	PF 1	61.00	74.25	76.22	77.17	80.00	0.085102	9.26	7.51	7.51	2.38
principale	15.2	PF 1	61.00	72.51	74.62	75.69	78.12	0.056822	9.03	7.94	6.92	2.23
principale	15.1		Bridge									
principale	15	PF 1	61.00	71.56	73.83	74.76	77.10	0.063383	8.55	7.98	7.04	2.31
principale	14.5	PF 1	61.00	69.69	71.87	72.86	75.67	0.036605	9.21	8.36	7.66	2.06
principale	14.2		Bridge									
principale	14	PF 1	61.00	69.51	71.88	72.68	74.41	0.028403	7.08	9.06	7.63	1.61
principale	13.5	PF 1	61.00	64.75	66.03	67.31	71.90	0.116440	11.94	6.27	6.98	3.42
principale	13	PF 1	61.00	62.28	64.00	64.91	67.26	0.056047	8.90	8.40	8.21	2.35
principale	12.8	PF 1	61.00	61.33	63.06	63.88	65.81	0.051748	7.39	8.51	8.24	2.17
principale	12.5	PF 1	61.00	59.76	61.85	62.50	64.07	0.023621	7.29	10.34	6.71	1.66
principale	12	PF 1	61.00	58.54	62.29	61.14	62.64	0.001721	2.80	27.37	12.23	0.49
principale	11.9		Bridge									
principale	11.8	PF 1	61.00	58.24	60.34	60.91	62.32	0.022151	6.98	10.88	6.95	1.59
principale	11	PF 1	61.00	56.10	58.12	59.09	61.05	0.037137	8.40	9.16	7.93	2.01
principale	10.5	PF 1	61.00	54.97	58.44	57.51	58.60	0.001475	1.90	38.80	57.53	0.38
principale	10	PF 1	61.00	54.01	57.14	57.14	58.40	0.007867	5.28	14.07	6.07	0.99
principale	9.5	PF 1	61.00	52.25	55.21	55.99	57.84	0.034879	8.03	9.31	5.54	1.64
principale	9	PF 1	61.00	51.06	53.22	54.05	56.05	0.028330	7.76	9.06	6.27	1.78
principale	8.5	PF 1	61.00	48.74	50.26	51.22	53.82	0.077958	9.81	7.63	7.40	2.74
principale	8	PF 1	61.00	48.02	50.39	50.82	51.89	0.023557	6.29	11.89	8.85	1.37
principale	7	PF 1	61.00	44.78	46.81	47.52	49.28	0.027853	7.39	9.38	5.74	1.75
principale	6.7		Bridge									
principale	6.5	PF 1	61.00	44.58	46.57	47.29	48.97	0.028466	7.35	9.61	6.43	1.76
principale	6	PF 1	61.00	43.81	46.23	46.80	48.30	0.019230	7.21	10.99	5.91	1.52
principale	5.2	PF 1	61.00	43.38	46.22	45.12	46.44	0.001599	2.32	32.47	16.18	0.45
principale	5	PF 1	61.00	43.23	45.61	45.61	46.37	0.007551	4.14	17.41	12.13	0.92
principale	4.5	PF 1	61.00	42.00	44.07	44.52	45.68	0.015291	5.88	12.11	8.56	1.34
principale	4	PF 1	61.00	41.65	43.20	43.84	45.34	0.037680	6.64	9.93	10.17	1.91
principale	3.5	PF 1	61.00	41.45	43.14	43.65	44.84	0.024349	6.46	11.39	8.49	1.63
principale	3	PF 1	61.00	41.06	43.22	43.54	44.68	0.016872	6.31	12.47	8.13	1.40
principale	2.8	PF 1	61.00	39.99	41.88	42.44	43.94	0.023371	6.67	10.48	6.47	1.62
principale	2.5	PF 1	61.00	39.79	40.83	41.49	43.31	0.062184	7.47	9.26	11.64	2.40
principale	2.45	PF 1	61.00	38.67	40.36	40.95	42.13	0.027180	6.72	11.08	8.38	1.71
principale	2.41	PF 1	61.00	38.17	40.89	40.64	41.62	0.006541	4.40	17.91	9.37	0.89
principale	2.2		Bridge									
principale	2.1	PF 1	61.00	36.81	38.91	39.31	40.55	0.028914	5.66	10.74	5.80	1.36
principale	2	PF 1	61.00	36.73	38.62	39.16	40.47	0.035871	6.19	10.13	6.68	1.57
principale	1.8	PF 1	61.00	36.76	39.15	39.15	40.02	0.012198	4.52	15.16	9.35	0.99
principale	1.5	PF 1	61.00	36.36	38.55	38.83	39.69	0.011130	5.23	13.76	9.78	1.15
principale	1.4	PF 1	61.00	35.84	37.89	38.35	39.36	0.017454	6.18	12.21	9.46	1.42
principale	1.3	PF 1	61.00	35.47	37.38	37.84	38.92	0.018987	5.89	11.92	9.41	1.44
principale	1.2	PF 1	61.00	35.40	37.69	37.83	38.61	0.008985	4.89	15.86	11.01	1.05
principale	1	PF 1	61.00	35.00	37.08	37.20	38.36	0.012294	5.18	12.35	7.37	1.19
principale	0.8	PF 1	61.00	34.14	36.19	36.60	37.70	0.018789	6.38	11.81	7.19	1.46
principale	0.6	PF 1	61.00	33.79	35.98	36.16	37.32	0.013611	5.78	12.95	6.94	1.27
principale	0.5	PF 1	61.00	33.74	35.25	35.79	37.11	0.030248	6.76	10.65	8.92	1.79
principale	0.2		Bridge									
principale	0.1	PF 1	61.00	32.96	34.01	34.66	36.26	0.061128	6.65	9.18	9.02	2.10

I risultati ottenuti, per una portata con tempo di ritorno duecentennale (Cfr "*PD.RT.04 Relazione idrologica*) evidenziano una marcata insufficienza idraulica con fenomeni di evidente esondazione nel tratto montano compreso tra via Picarda e l'attraversamento di via Garibaldi, pertanto come sarà evidenziato in seguito gli interventi consisteranno in una risagomatura e leggero allargamento delle sezioni e relativa stabilizzazione

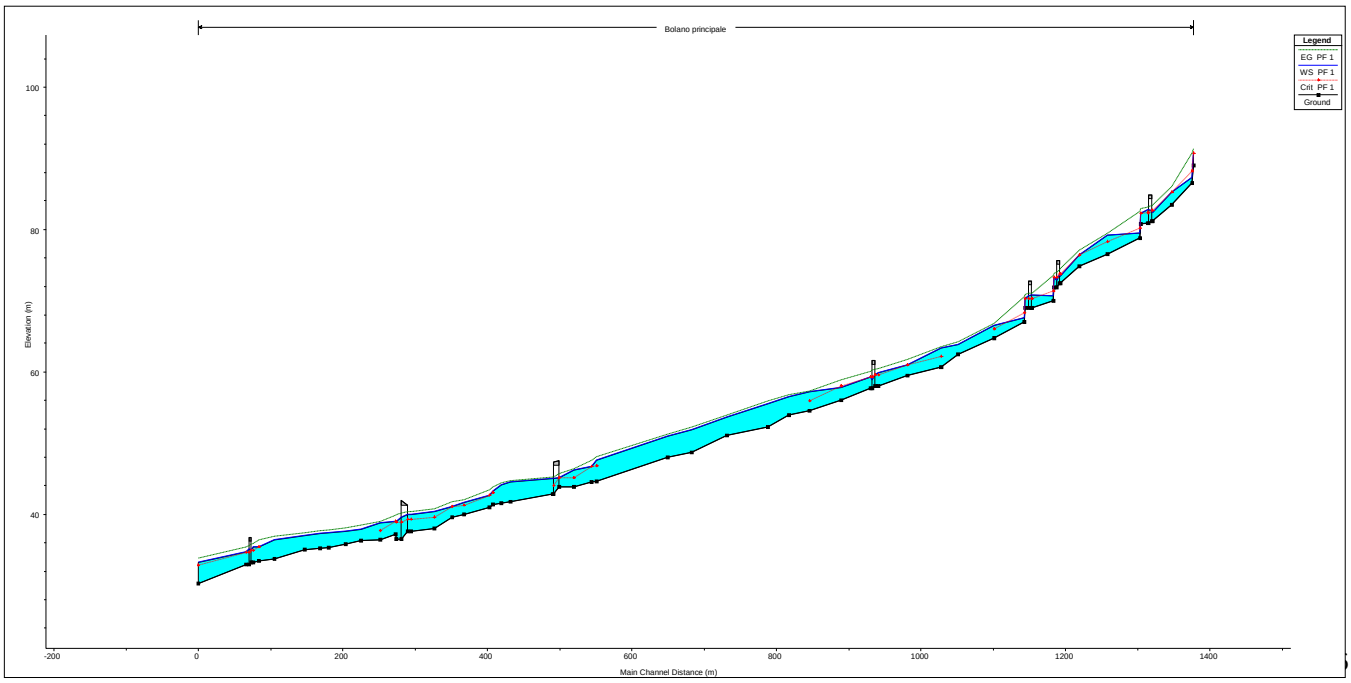
delle stesse. Inoltre saranno completamente demoliti e ricostruiti gli attraversamenti compresi tra Via Picarda e via Garibaldi come è meglio evidenziato negli elaborati di progetto.

STATO DI PROGETTO

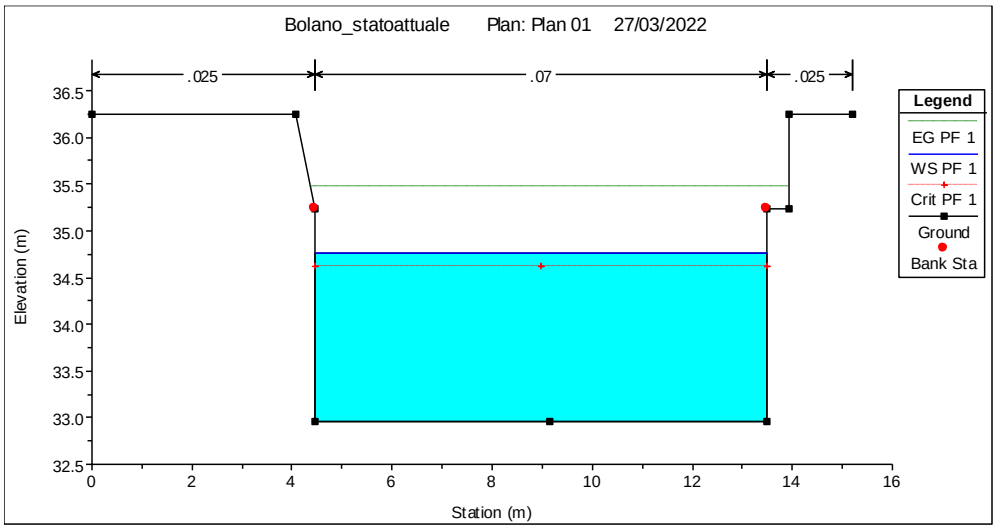
Gli interventi che sono stati previsti, al fine di evitare fenomeni di esondazione e garantire un franco di sicurezza, come riportato nel Piano Stralcio Assetto Idrogeologico – Allegato 5 alle Norme di Attuazione, consistono principalmente nella canalizzazione del torrente Villa, ovvero nella:

- risagomatura dell'alveo, con sezioni variabili tra 5 e 7 metri;
- stabilizzazione delle sezioni a sezione rettangolare, mediante la realizzazione di argini in massi ciclopici di grossa pezzatura cementati;
- Realizzazione del fondo alveo in massi ciclopici cementati al fine di diminuire la scabrezza e quindi garantire a parità di portata, tiranti idrici sensibilmente minori, evitando fra l'altro la crescita di vegetazione spontanea che inficerebbe l'ipotesi sui coefficienti di scabrezza;
- Demolizione e ricostruzione degli attraversamenti stradali del tratto di monte (Picarda, loc. Villa, via Garibaldi);
- Demolizione senza ricostruzione di una passerella pedonale (sez.6.7);
- Realizzazione nuovo attraversamento a valle della passerella demolita (sez. 5);

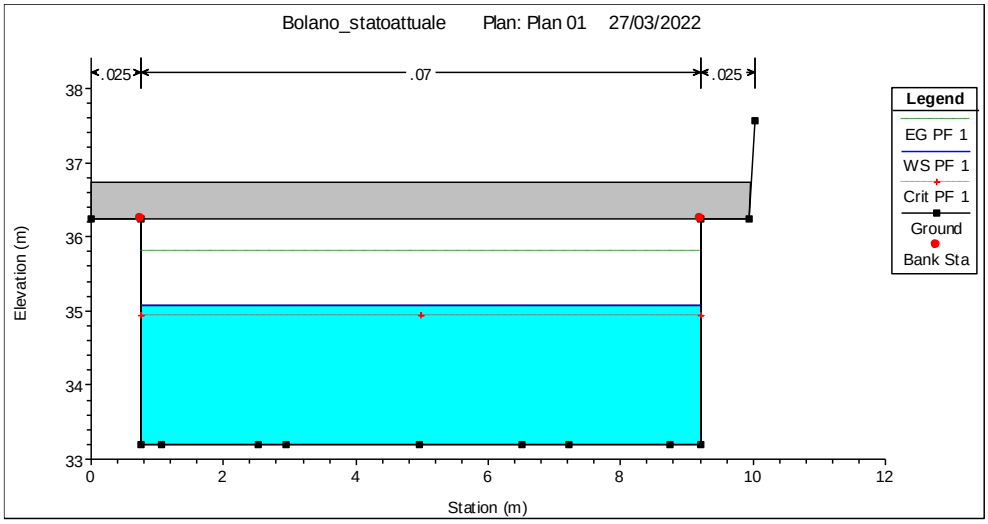
A seguire è riportato il profilo della corrente per il tratto analizzato e la rappresentazione grafica delle singole sezioni.



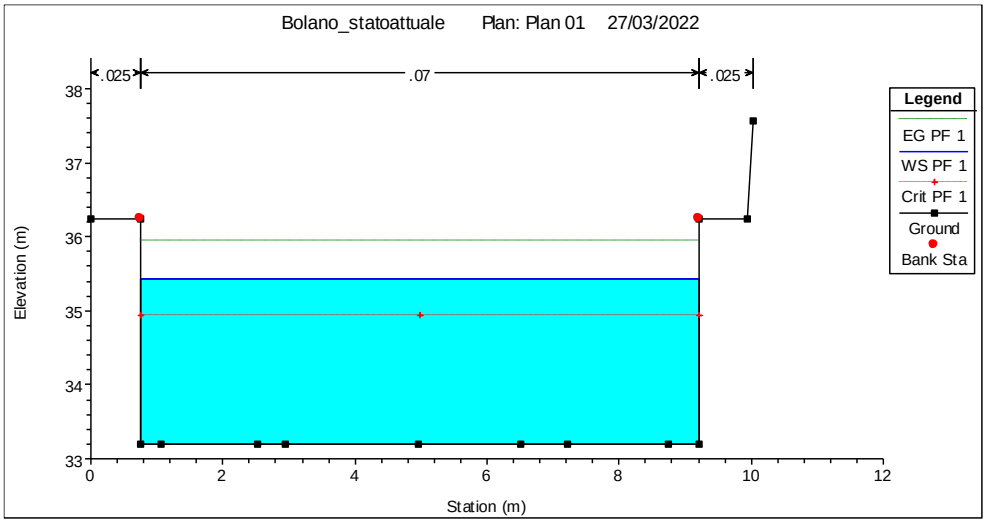
Sez.0.1



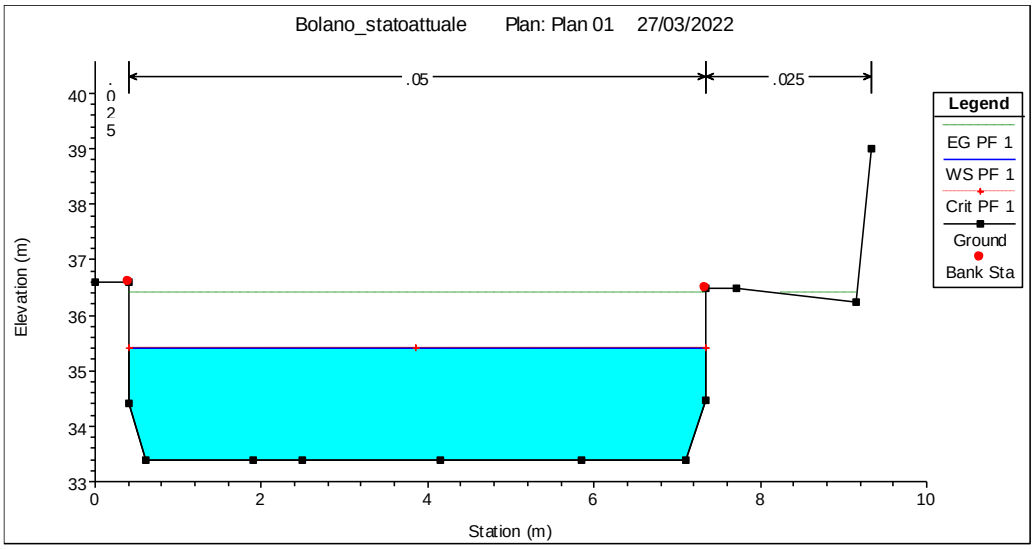
Sez.0.2 (Passerella pedonale- Piazza delle corriere)



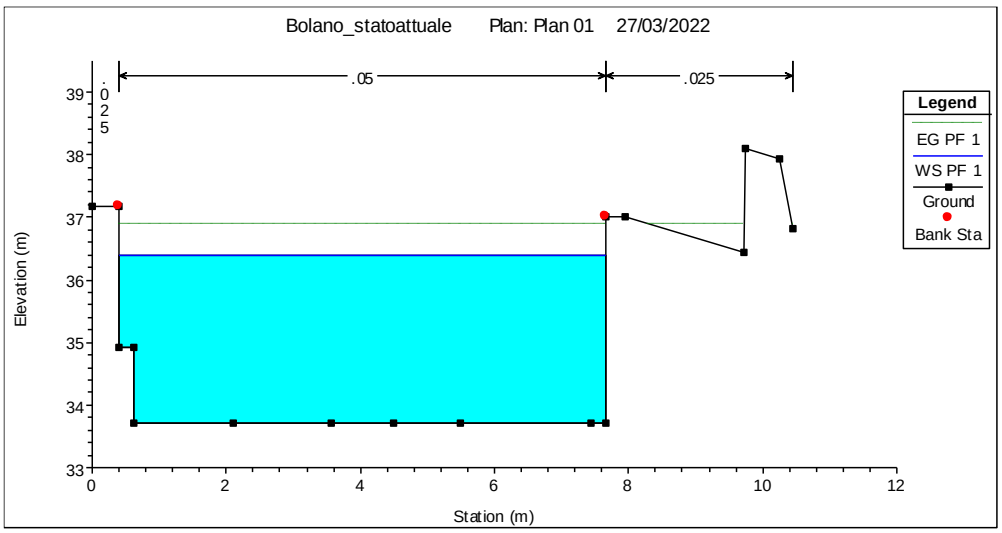
Sez.0.5



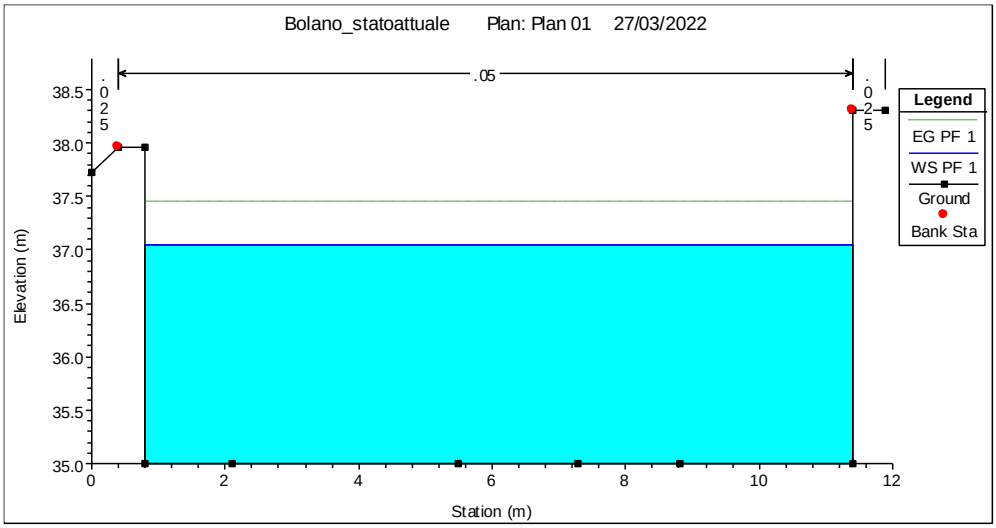
Sez.0.6



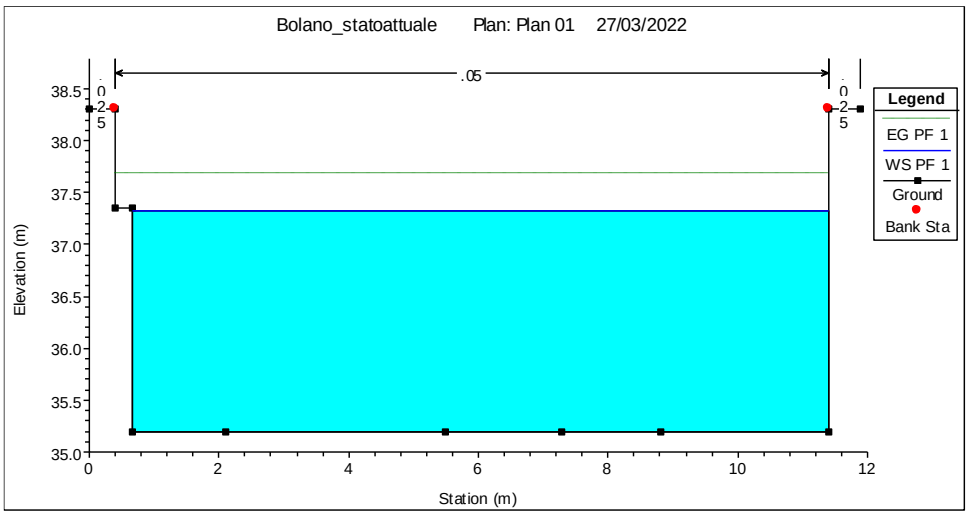
Sez.0.8



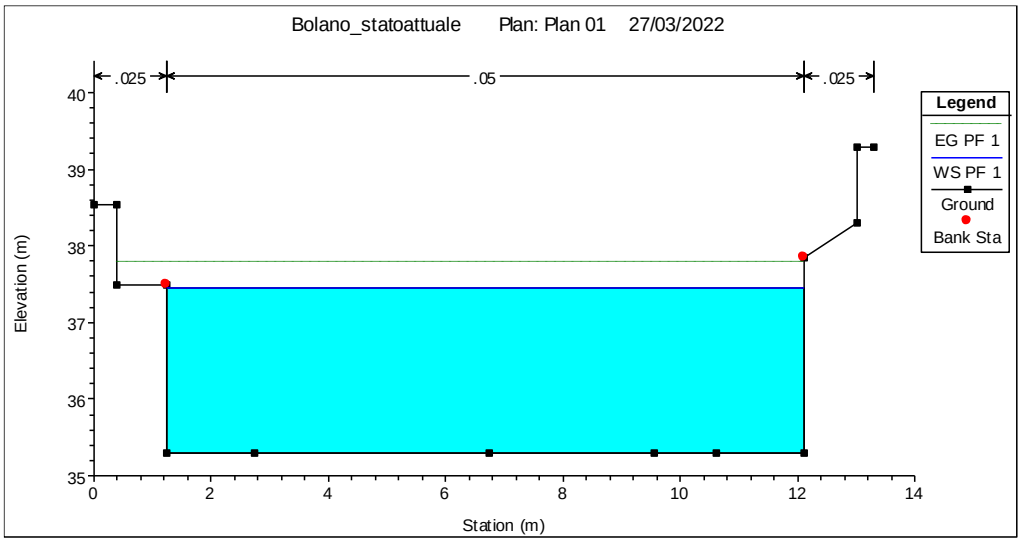
Sez. 1.0



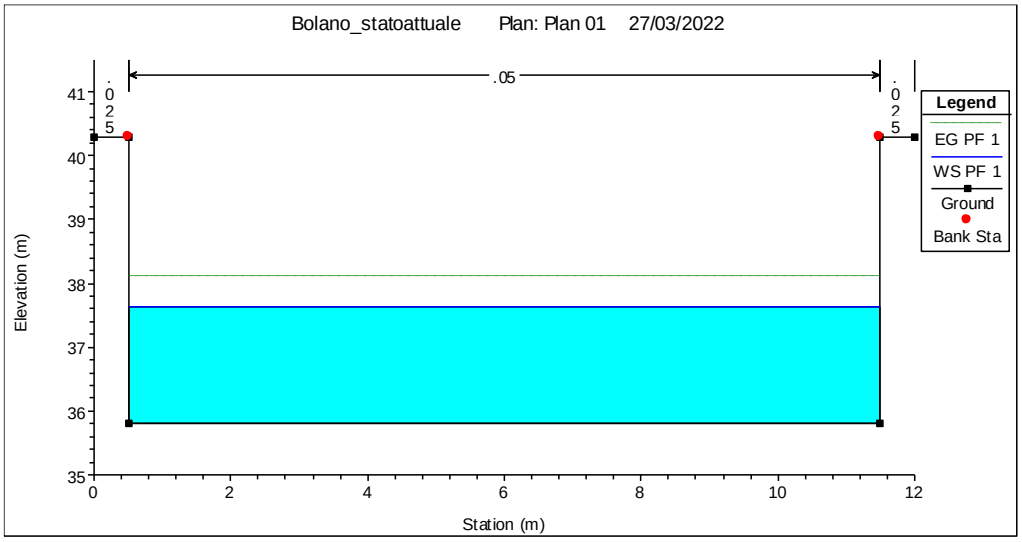
Sez. 1.2



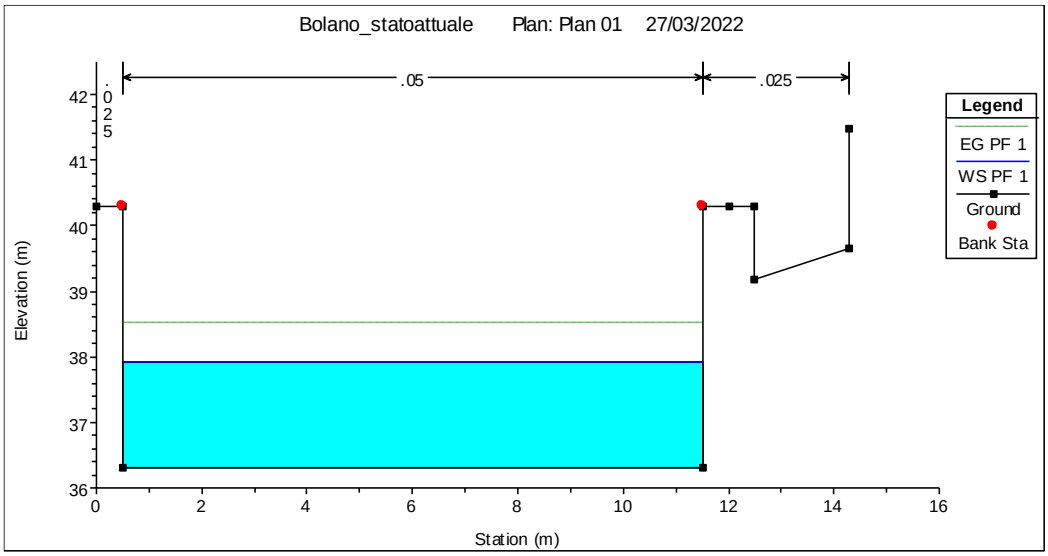
Sez. 1.3



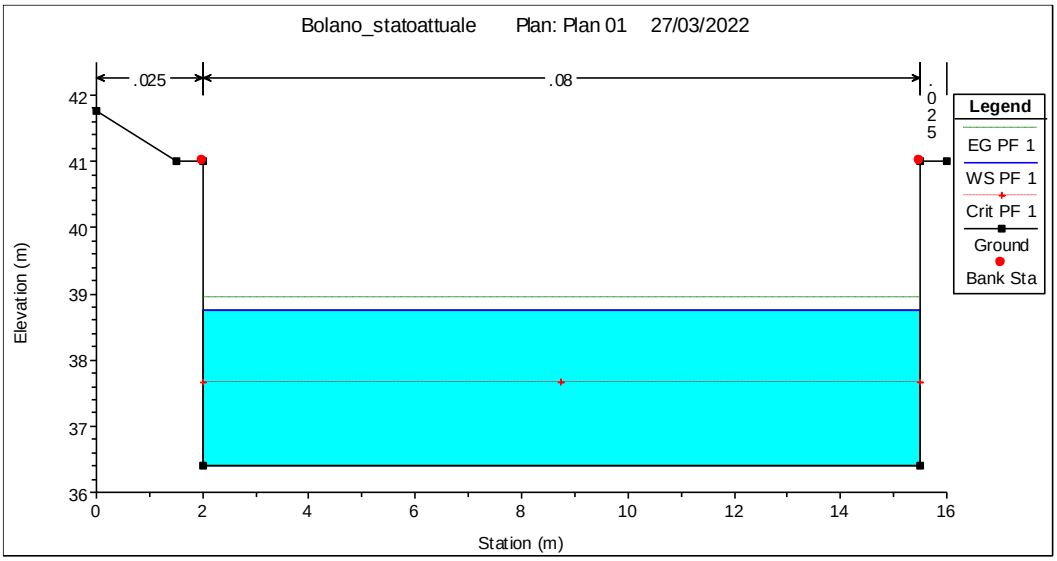
Sez. 1.4


Bolano_statoattuale Plan: Plan 01 27/03/2022
.05
.025
.025
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
35
36
37
38
39
40
41
0
2
4
6
8
10
12

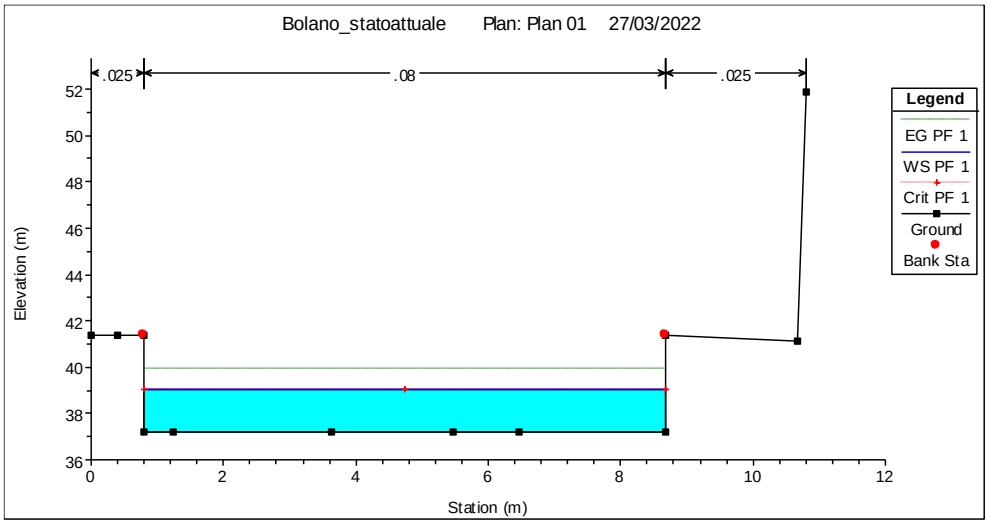
Sez. 1.5


Bolano_statoattuale Plan: Plan 01 27/03/2022
.05
.025
.025
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
36
37
38
39
40
41
42
0
2
4
6
8
10
12
14
16

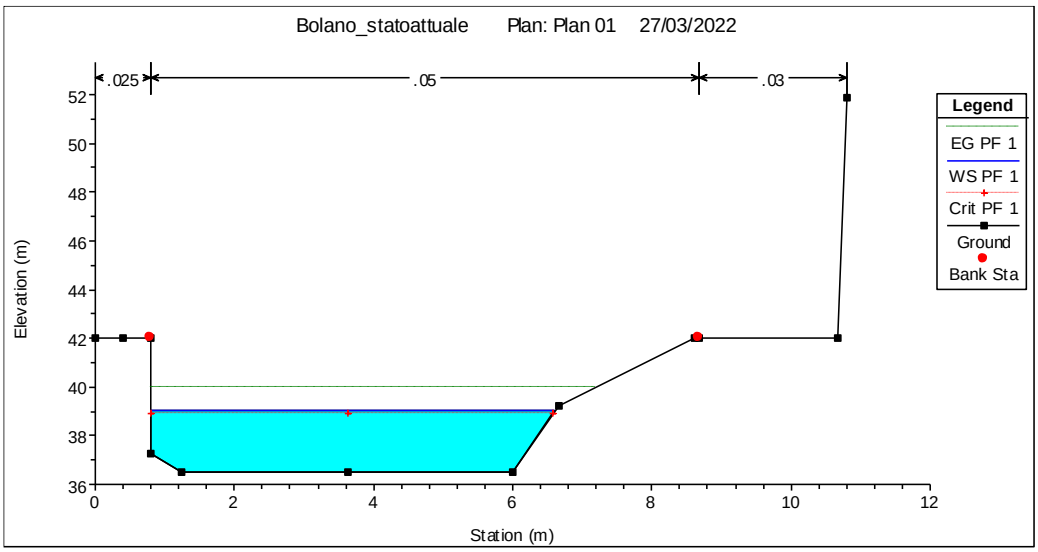
Sez. 1.8


Bolano_statoattuale Plan: Plan 01 27/03/2022
.025
.08
.025
Legend
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
36
37
38
39
40
41
42
0
2
4
6
8
10
12
14
16

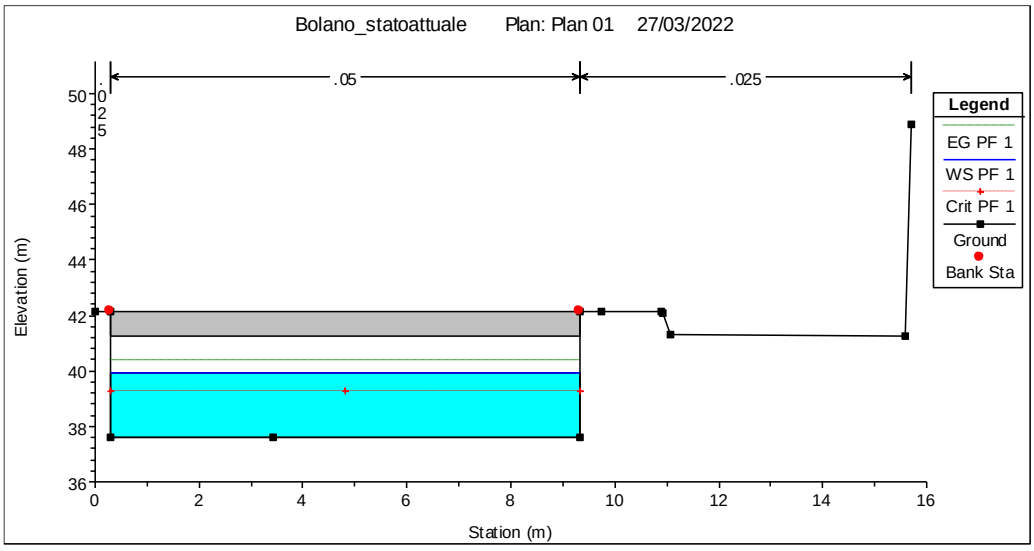
Sez. 2.0



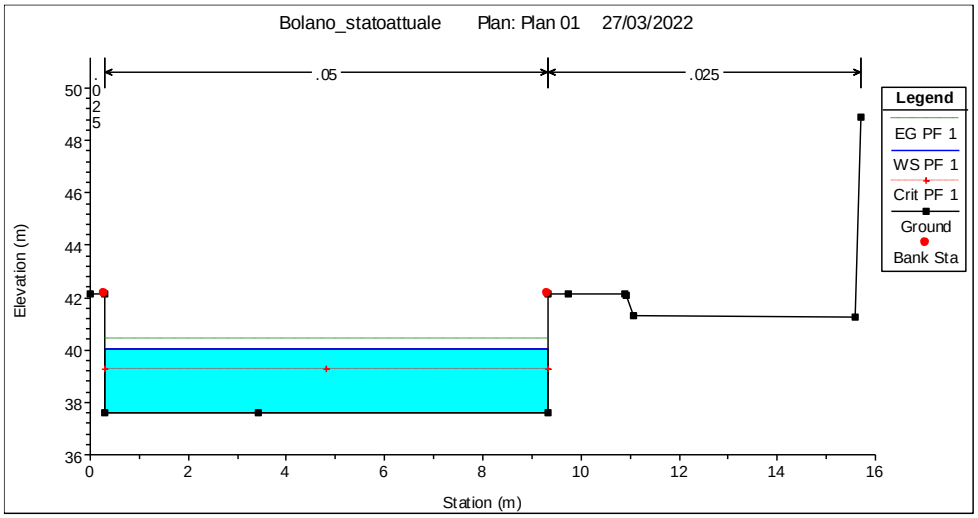
Sez. 2.1



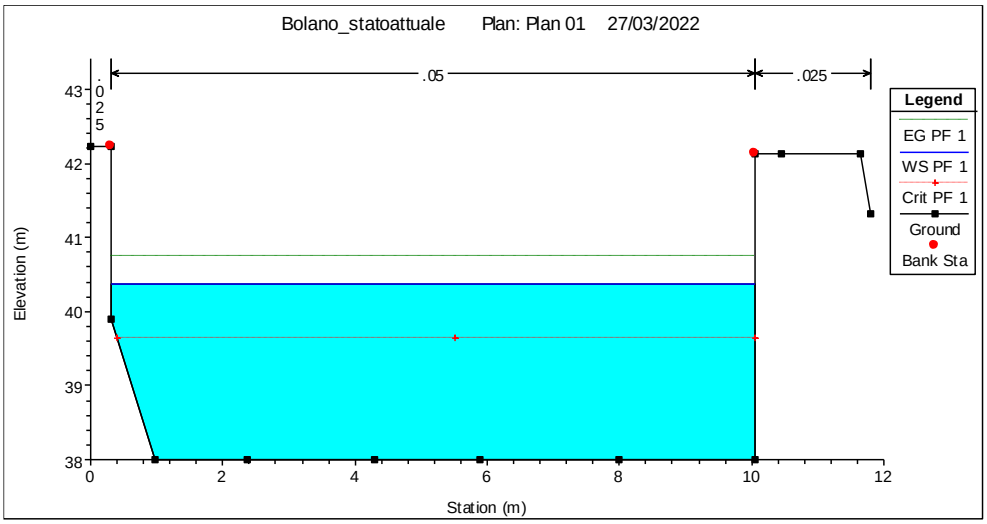
Sez. 2.2 (Ponte Via Dante A.)



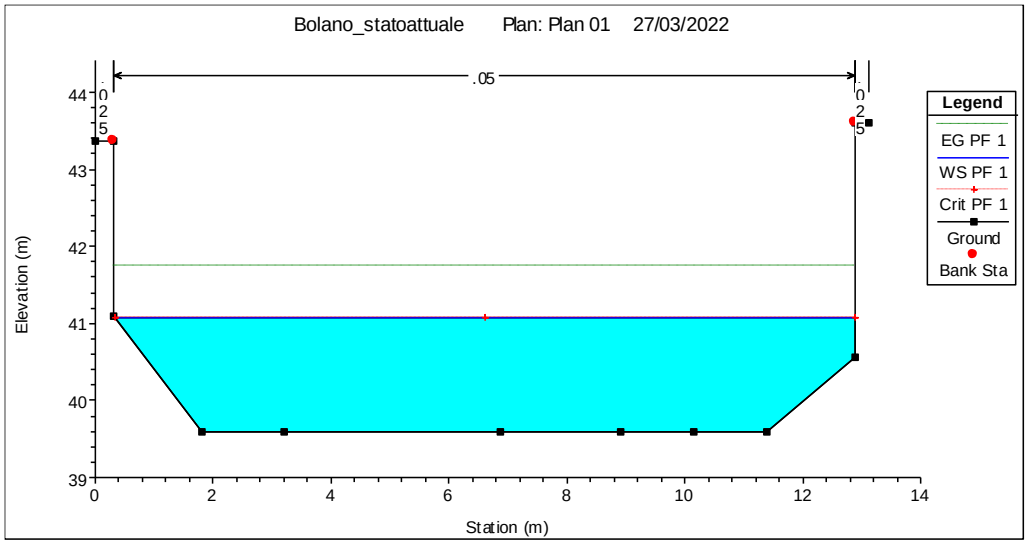
Sez. 2.41



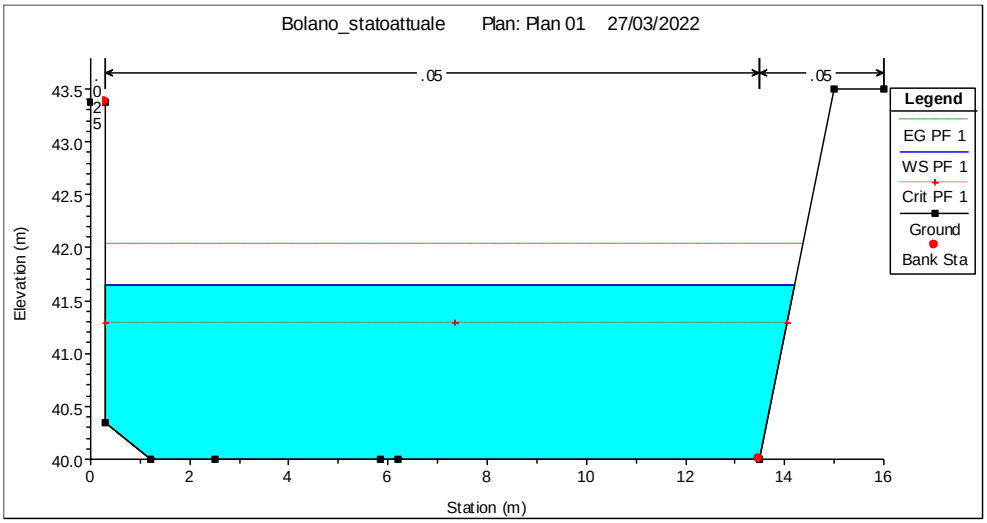
Sez. 2.45



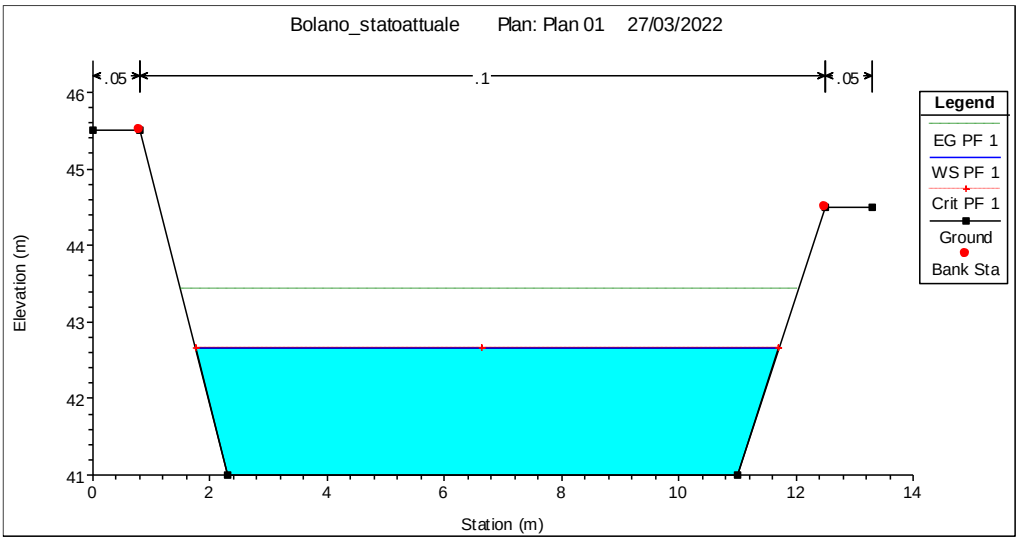
Sez. 2.5



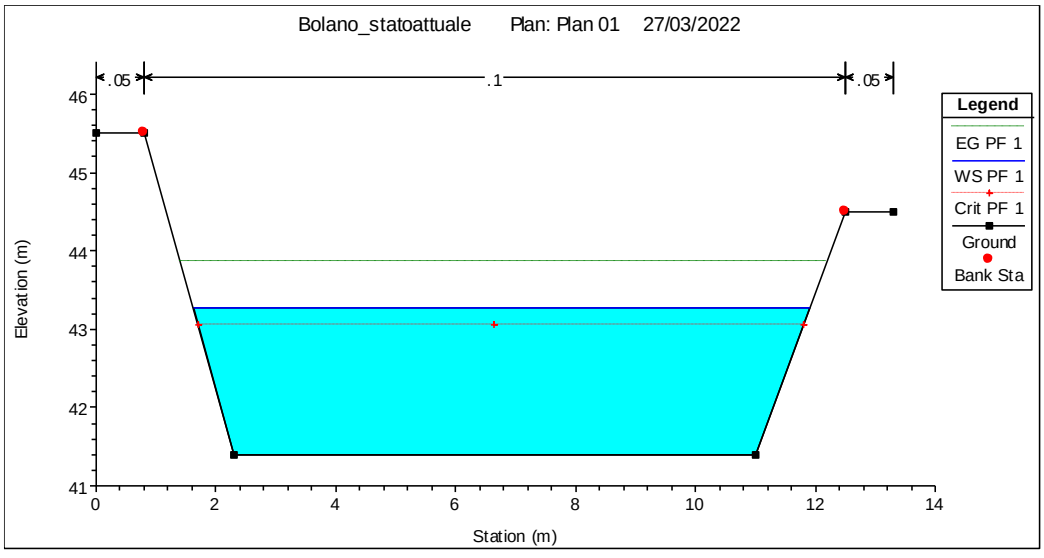
Sez. 2.8



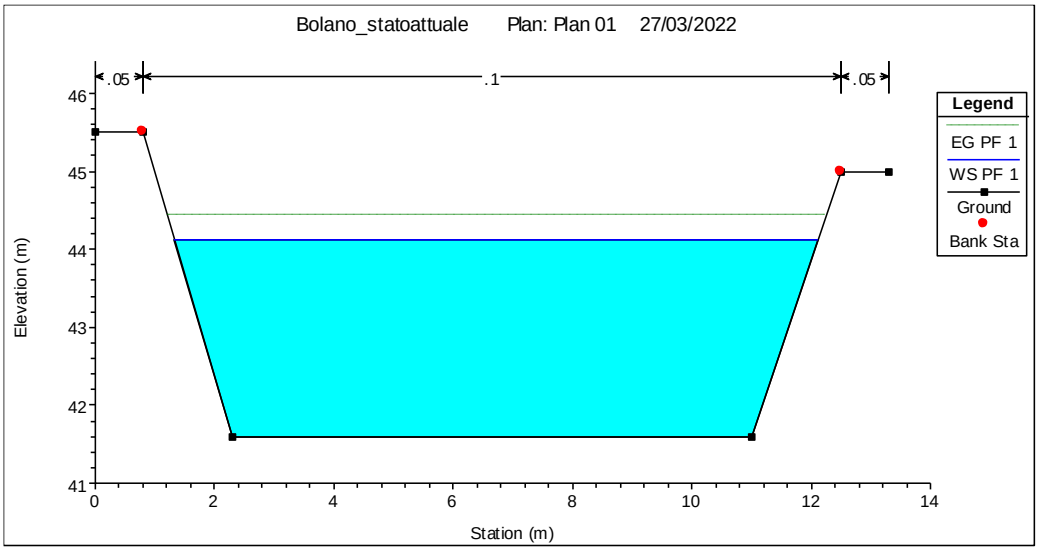
Sez. 3.0



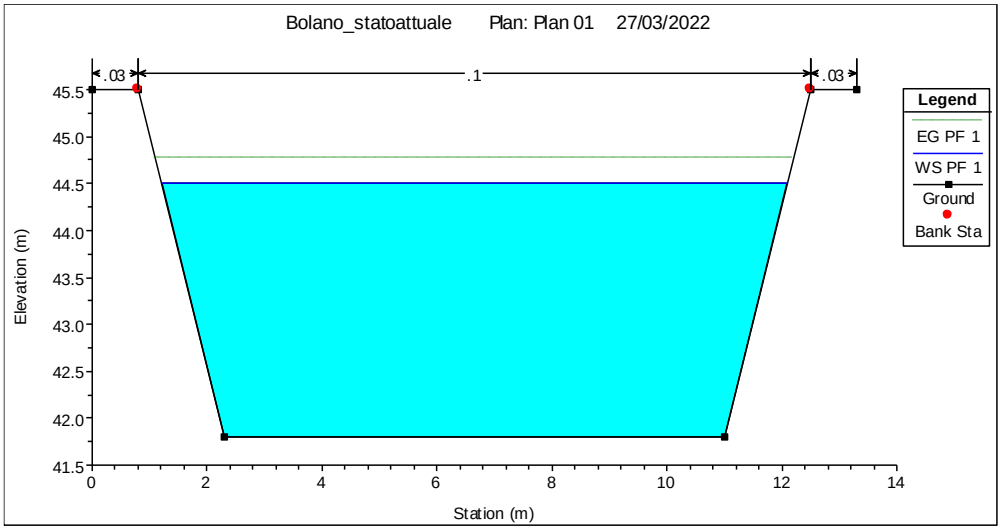
Sez. 3.5



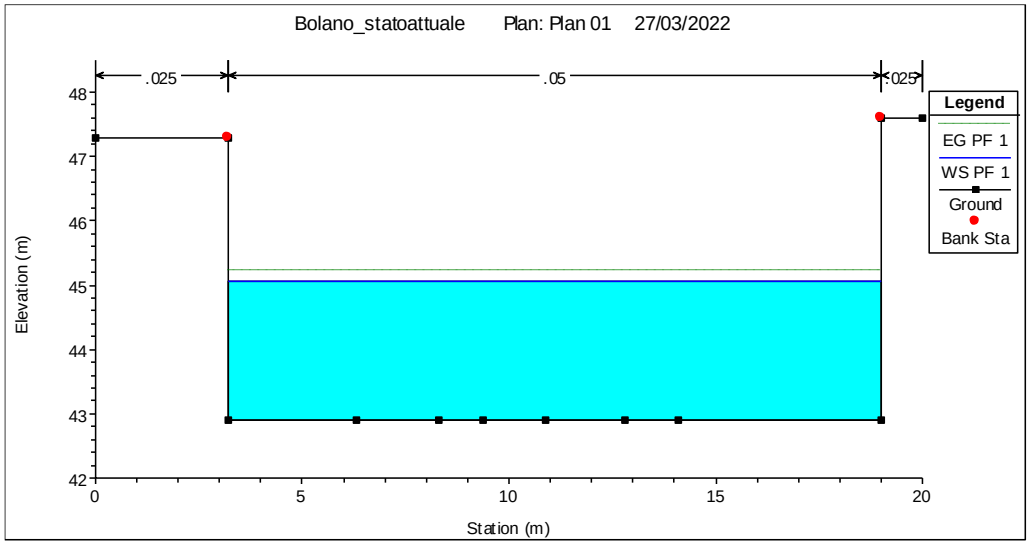
Sez. 4.0



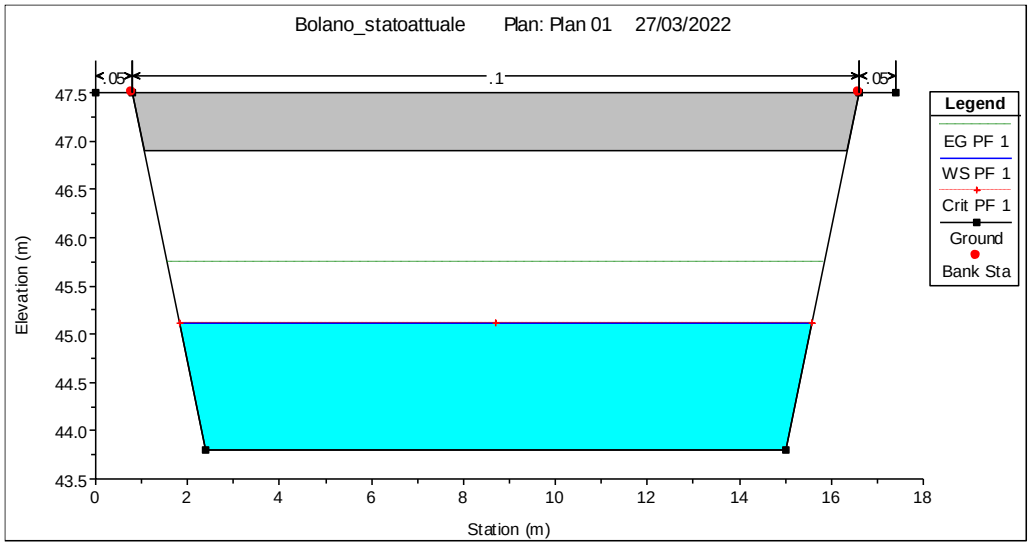
Sez. 4.5



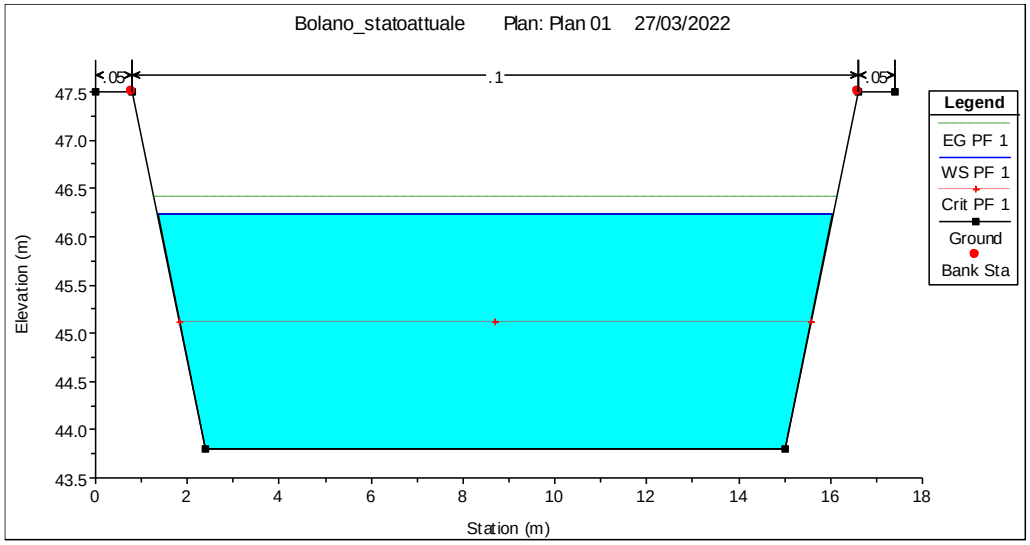
Sez. 5.0



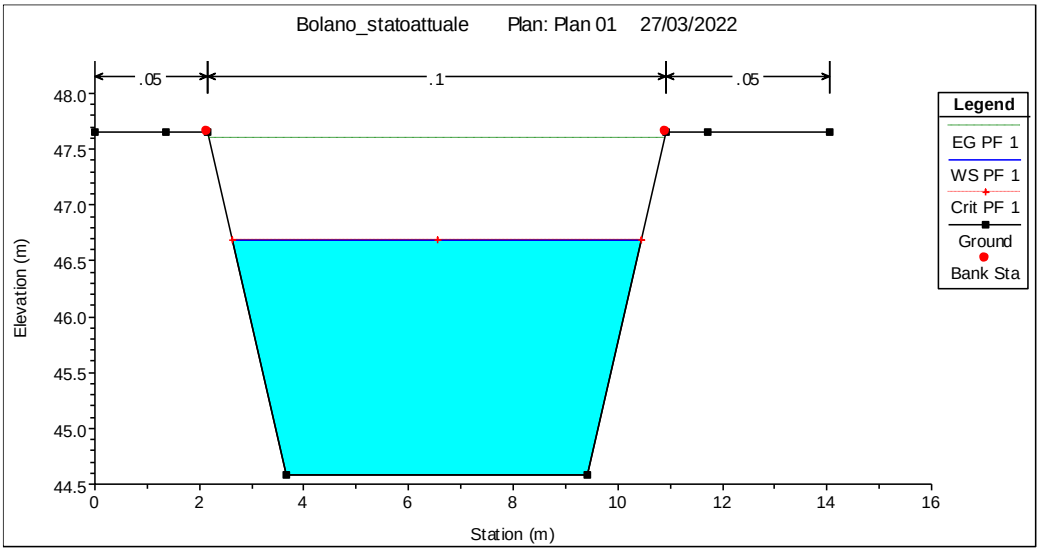
Sez. 5.2 (Nuovo ponte via Bersaglione)



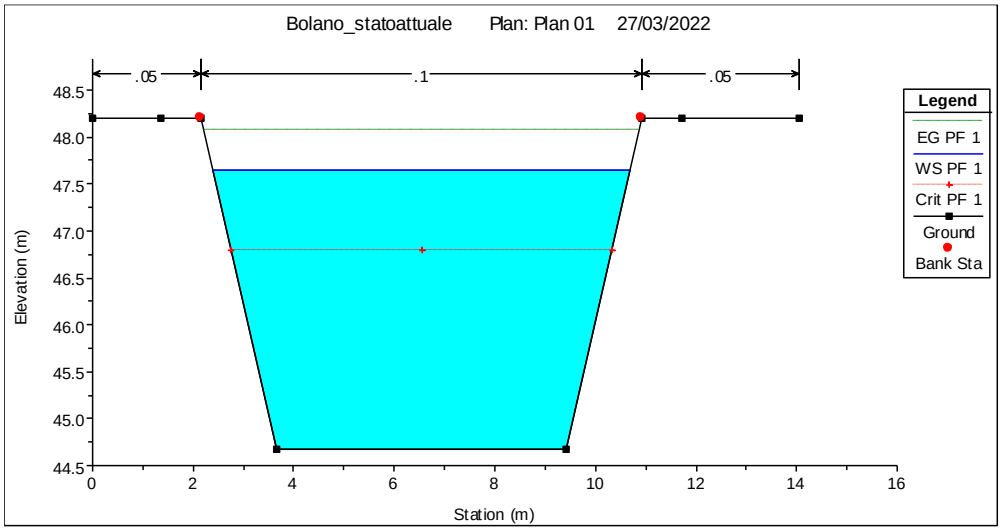
Sez. 6.0



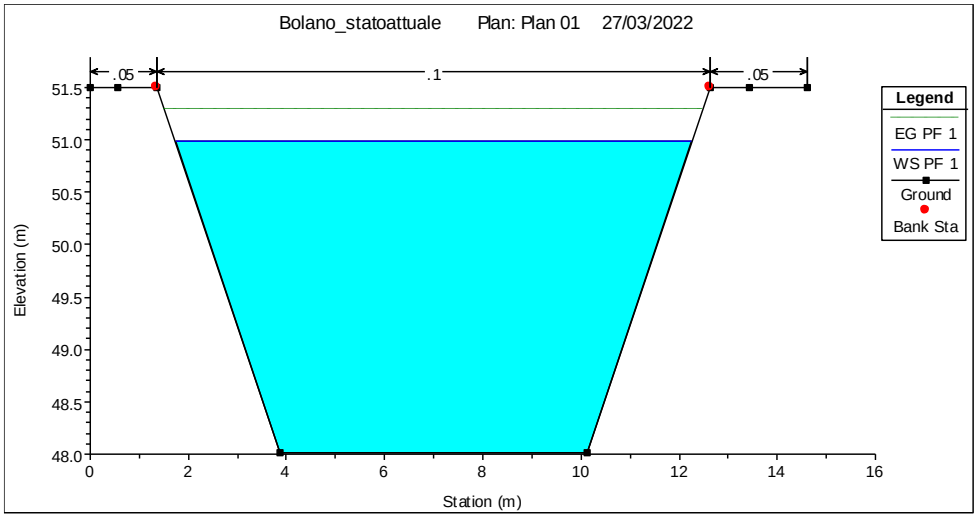
Sez. 6.5



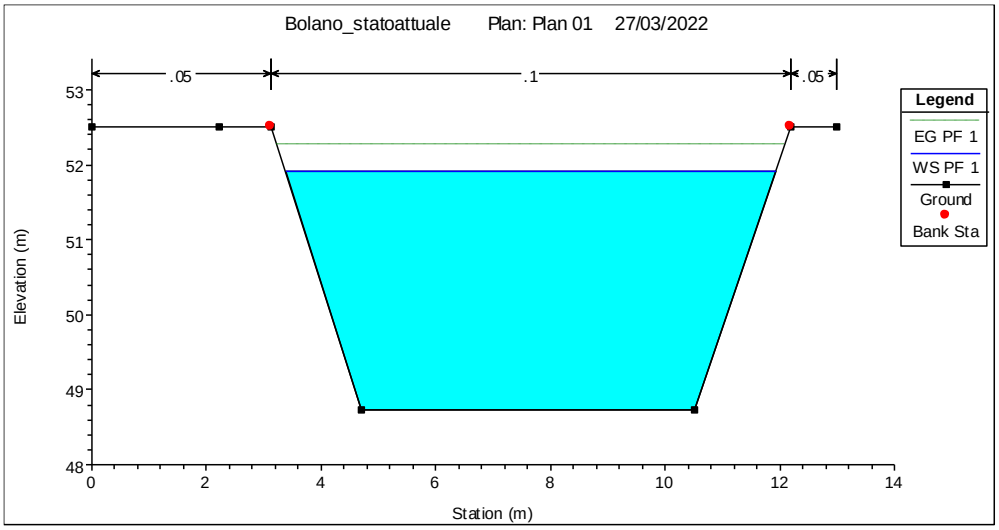
Sez. 7.0



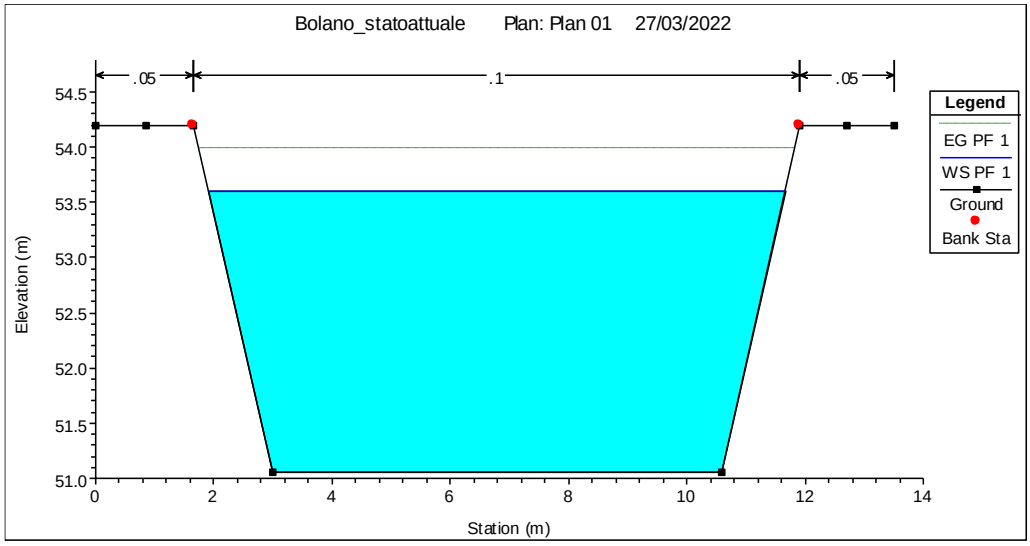
Sez. 8.0



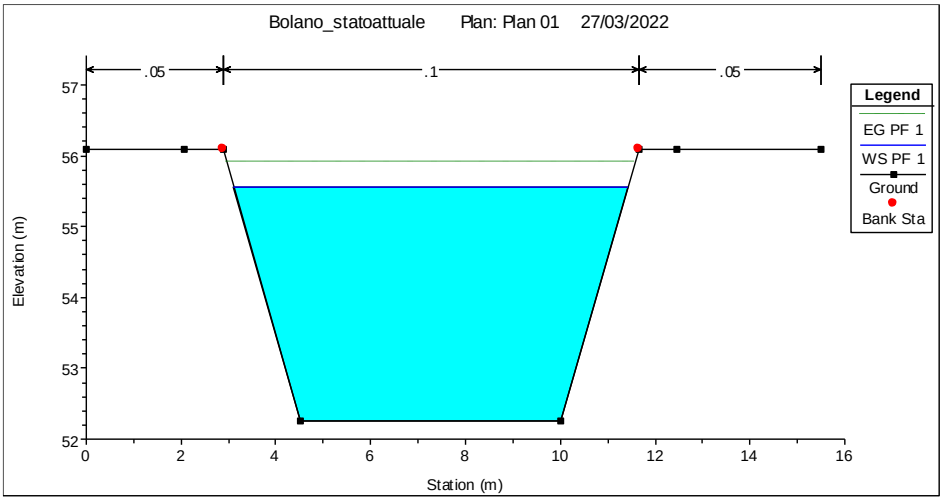
Sez. 8.5



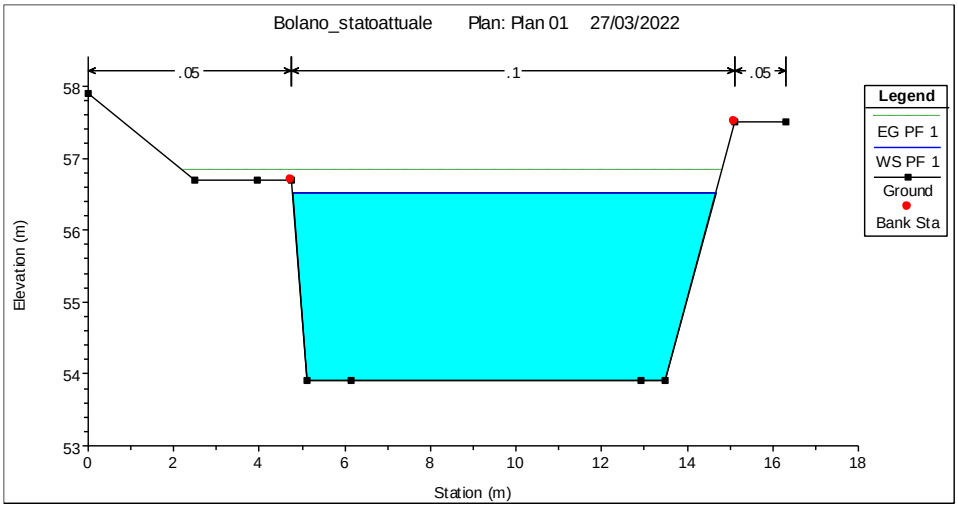
Sez. 9.0



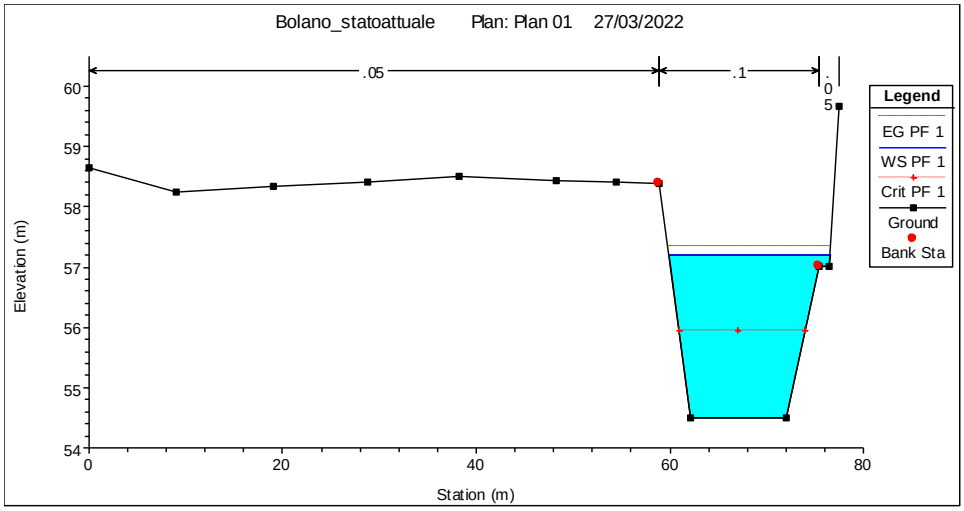
Sez. 9.5



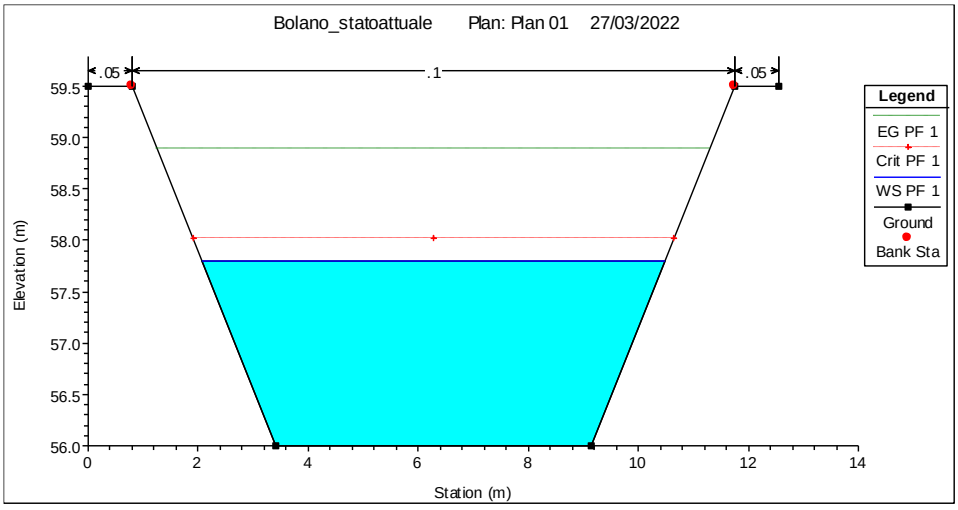
Sez. 10.0



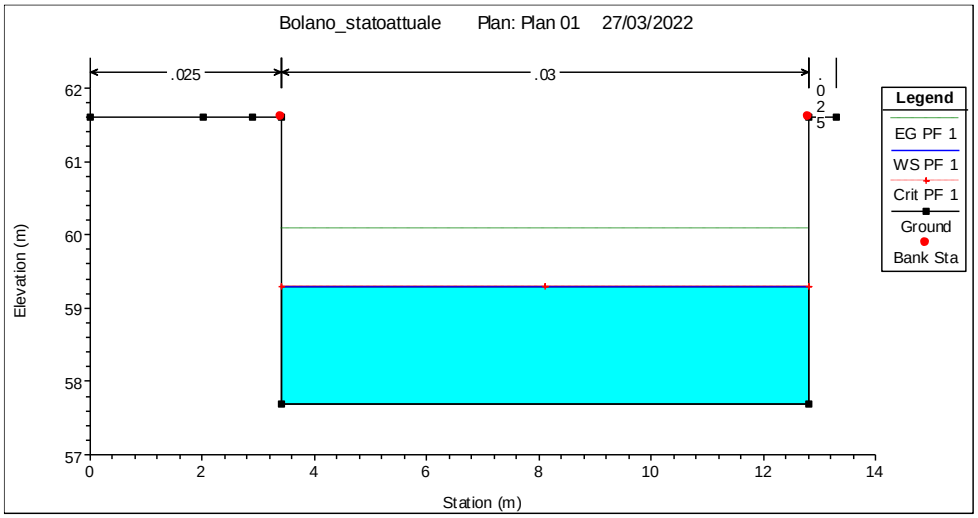
Sez. 10.5



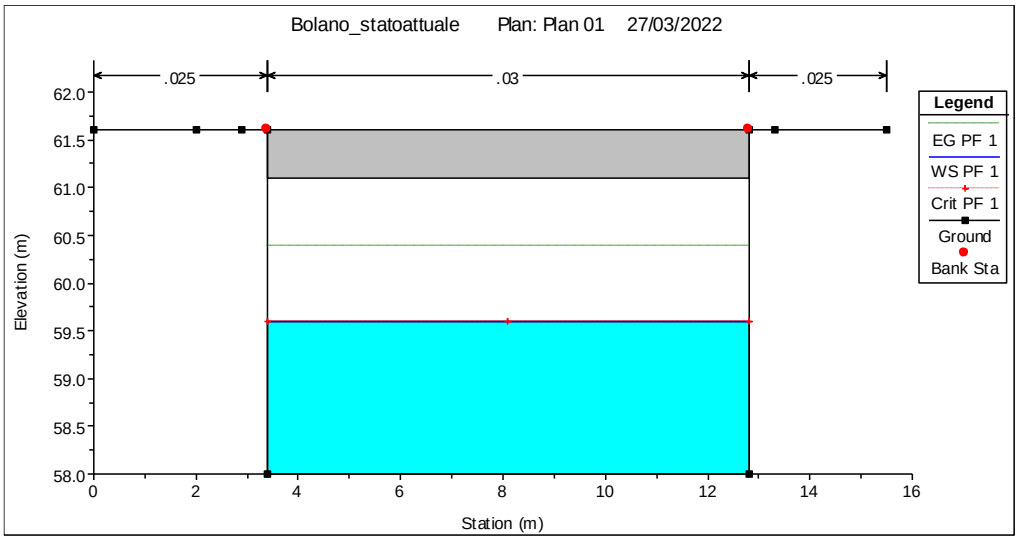
Sez. 11.0



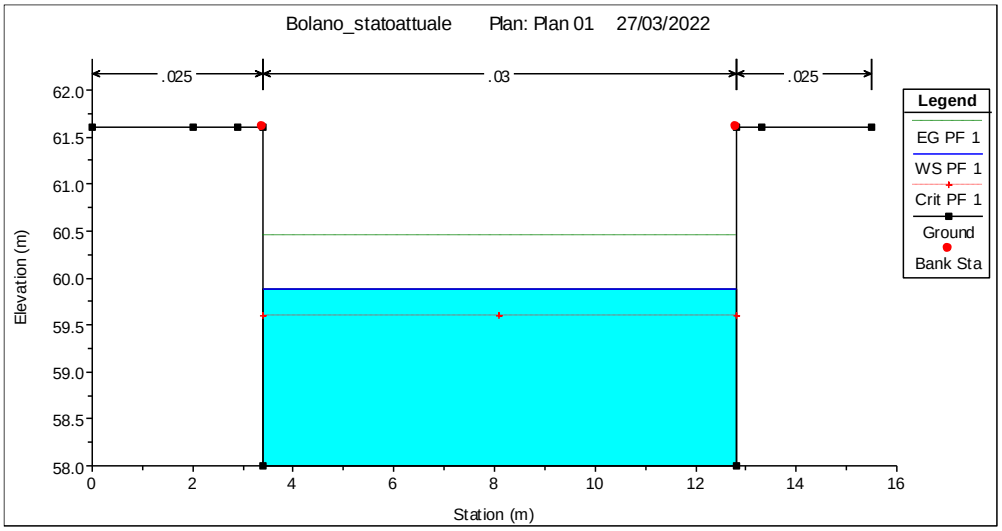
Sez. 11.8



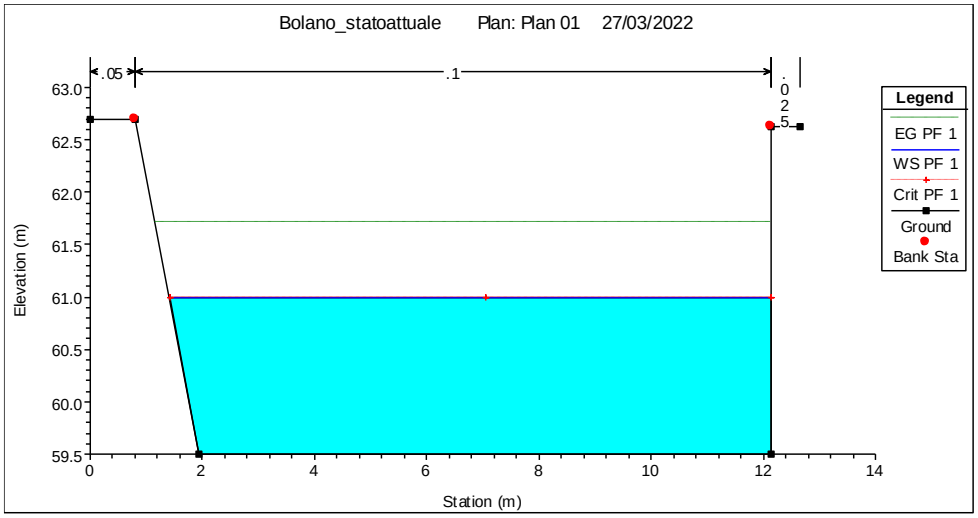
Sez. 11.9 (Ponte Via Garibaldi)



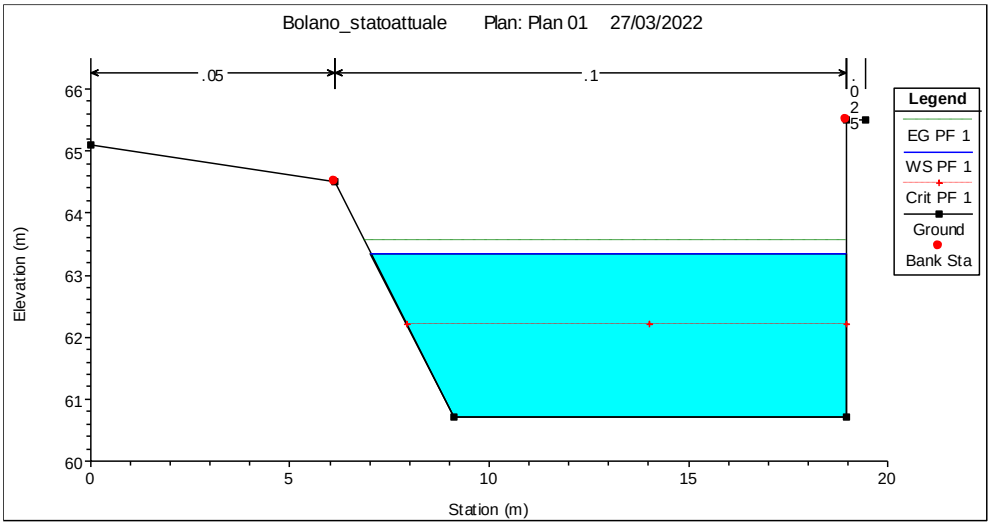
Sez. 12.0



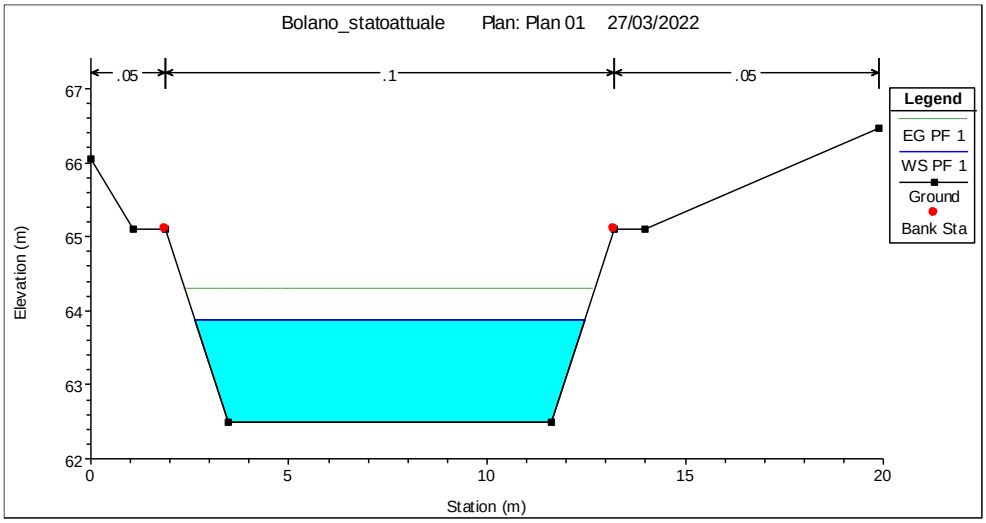
Sez. 12.5



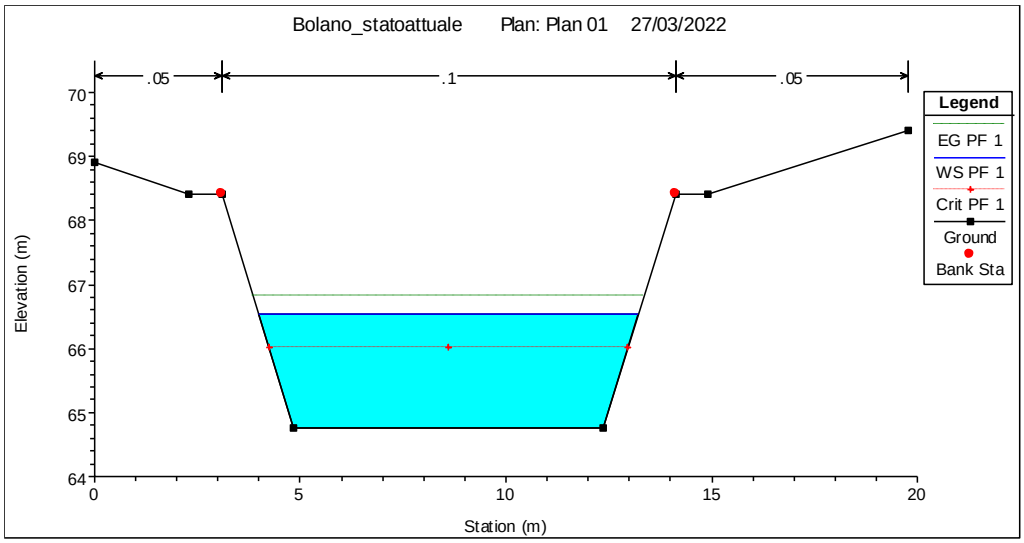
Sez. 12.8



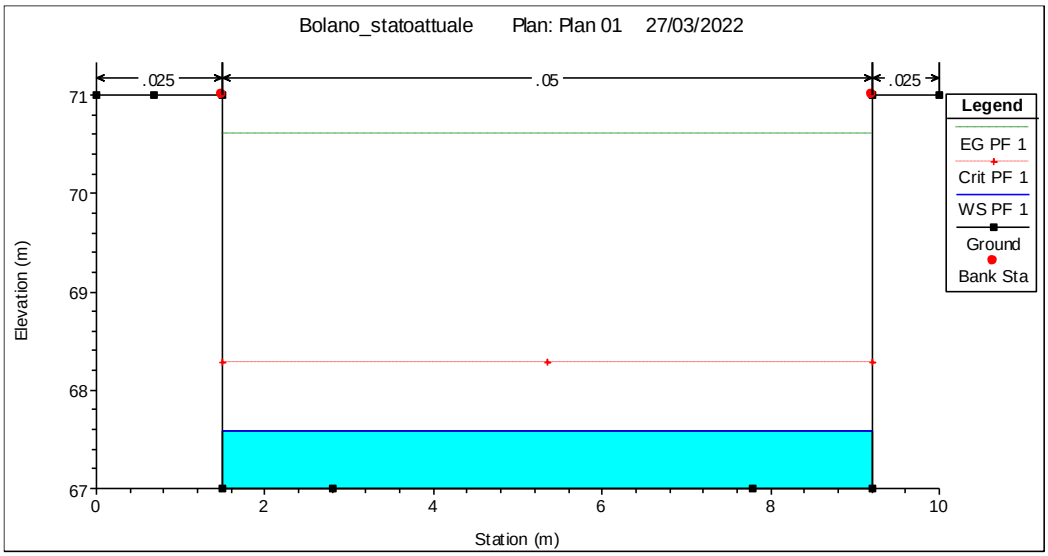
Sez. 13.0



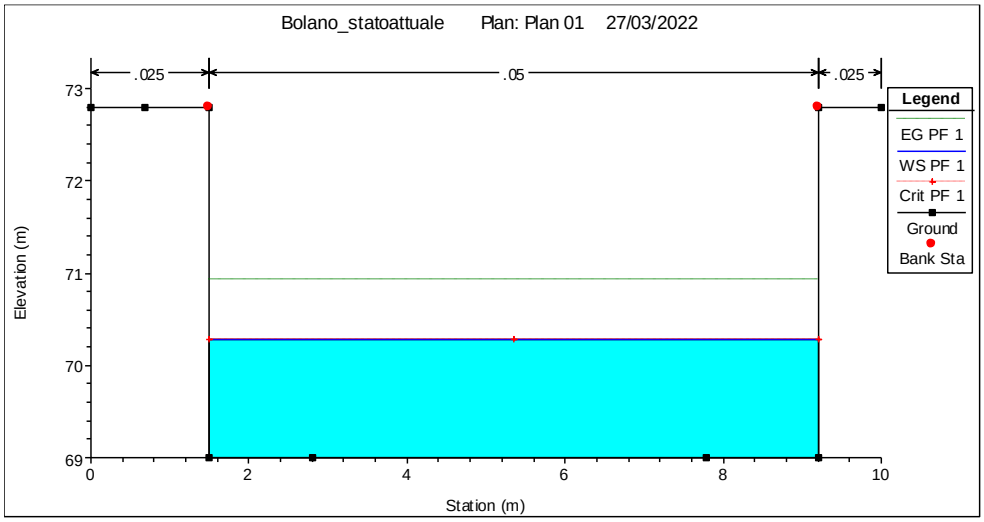
Sez. 13.5



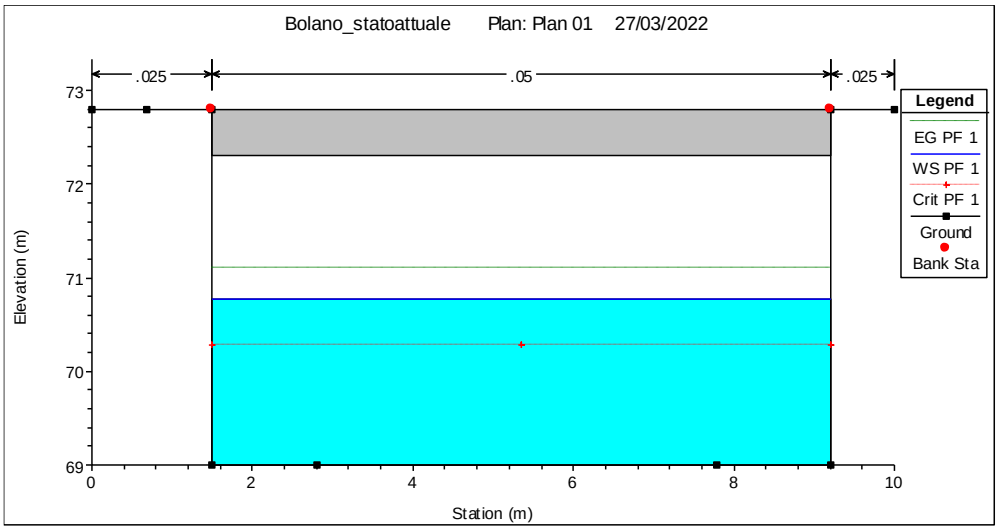
Sez. 13.9



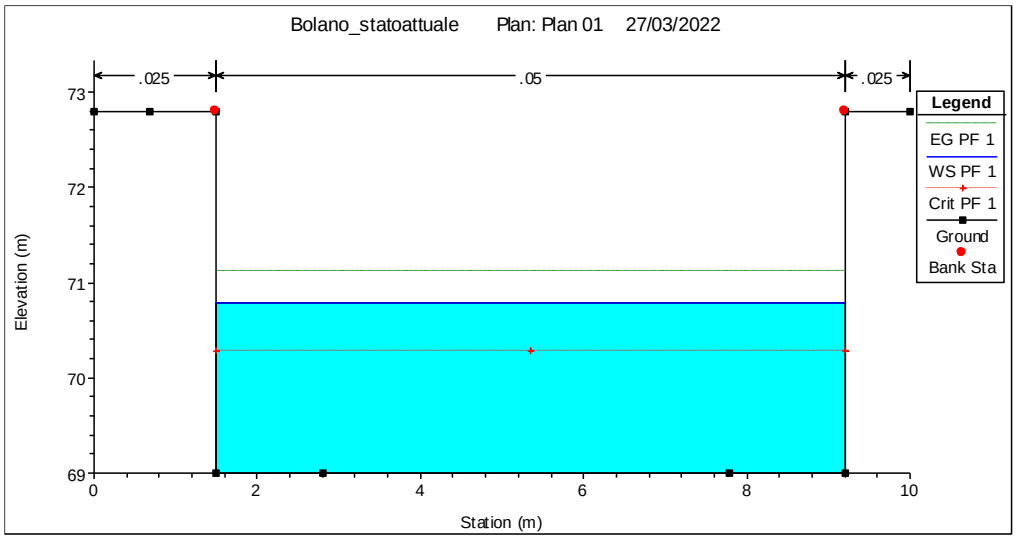
Sez. 14.0



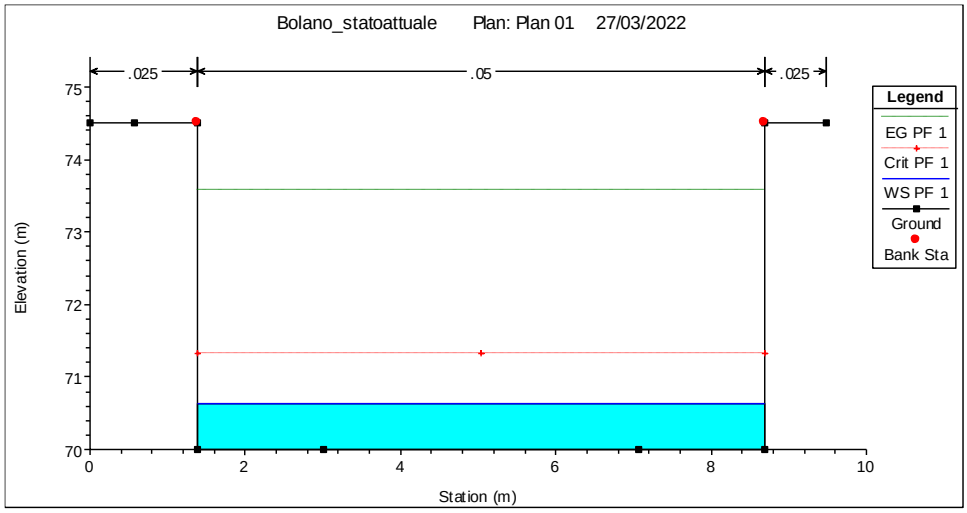
Sez. 14.2 (Attraversamento loc. Villa- F)



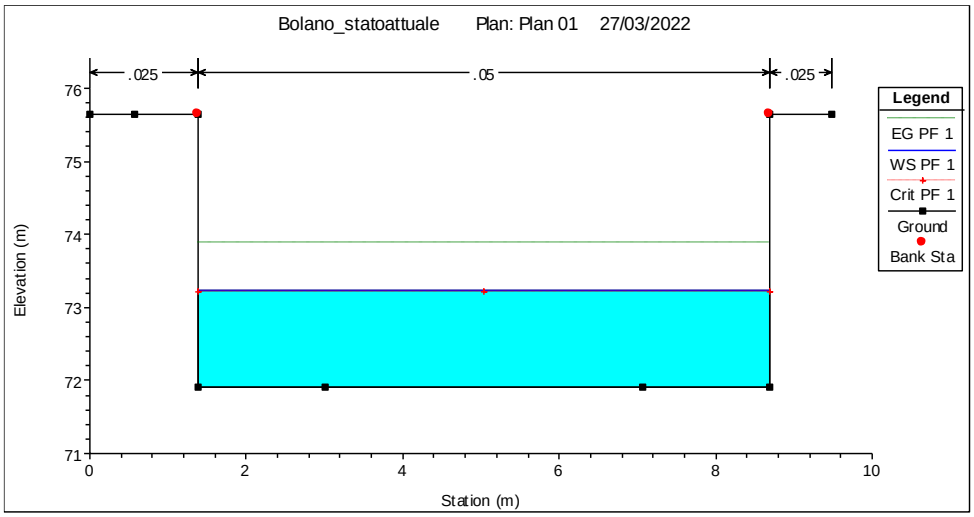
Sez. 14.5



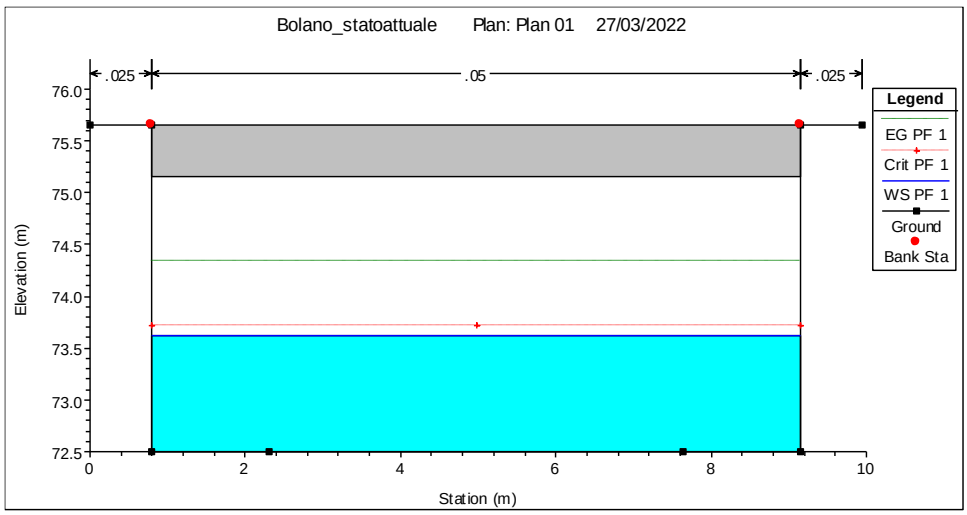
Sez. 14.9



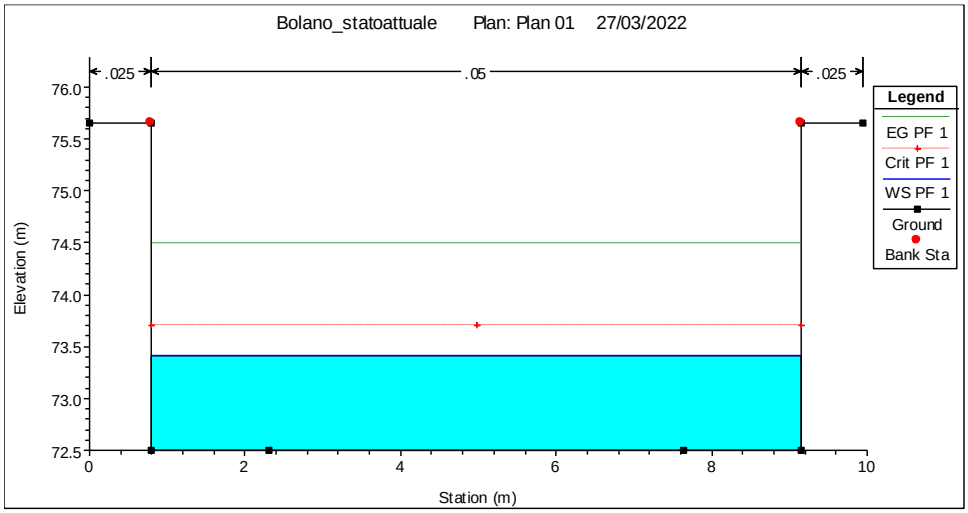
Sez. 15.0



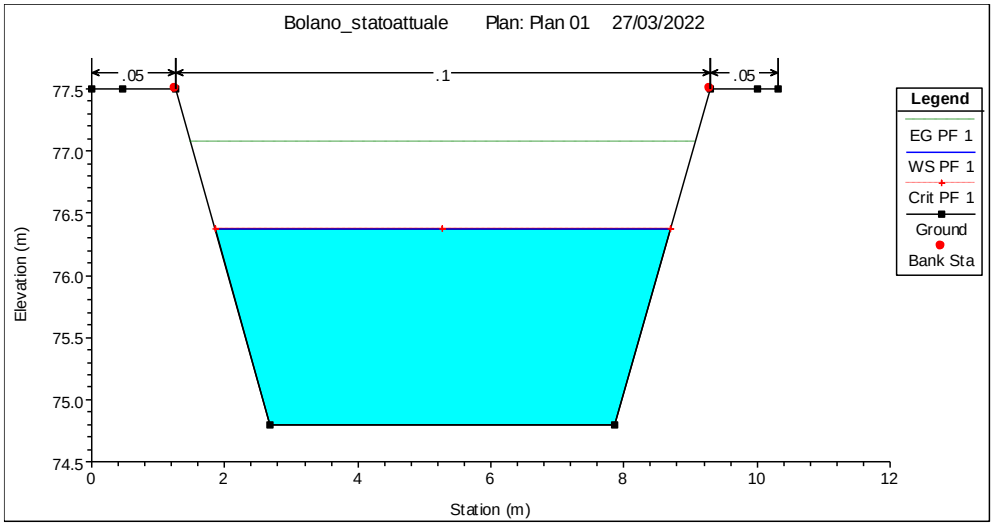
Sez. 15.1 (Attraversamento loc. Villa – G)



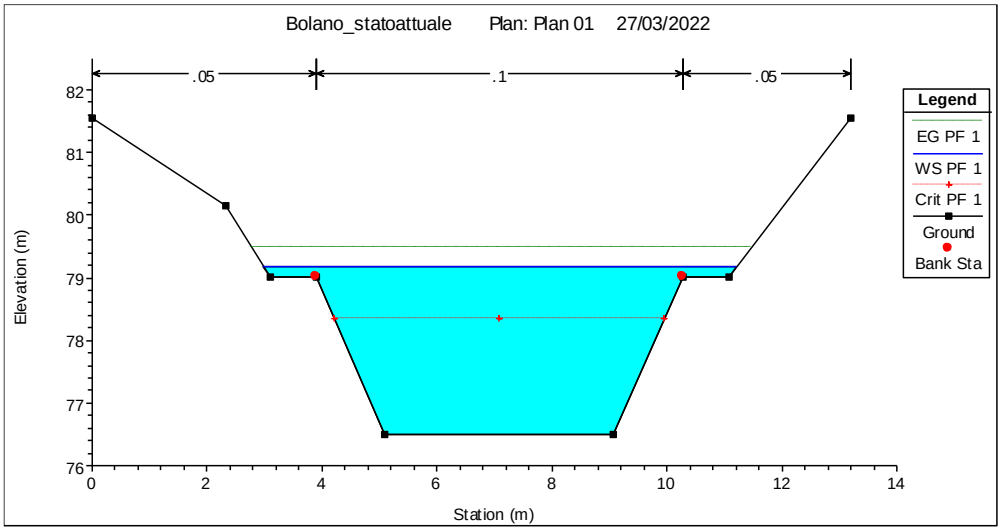
Sez. 15.2



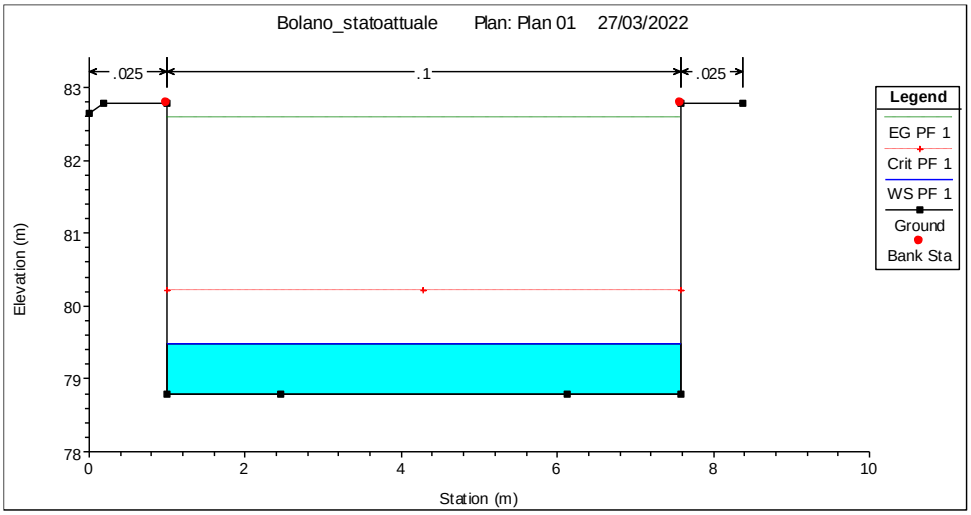
Sez. 15.5



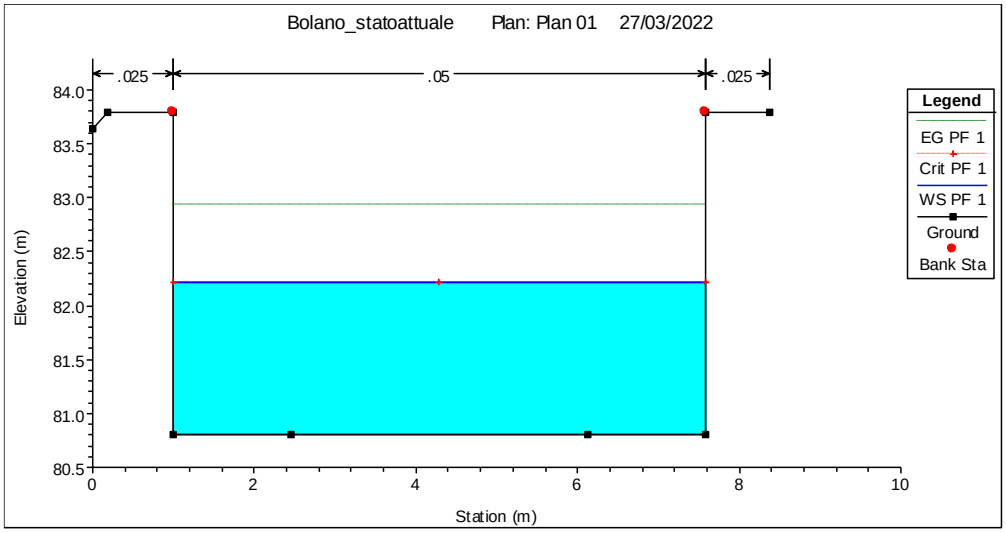
Sez. 16.0



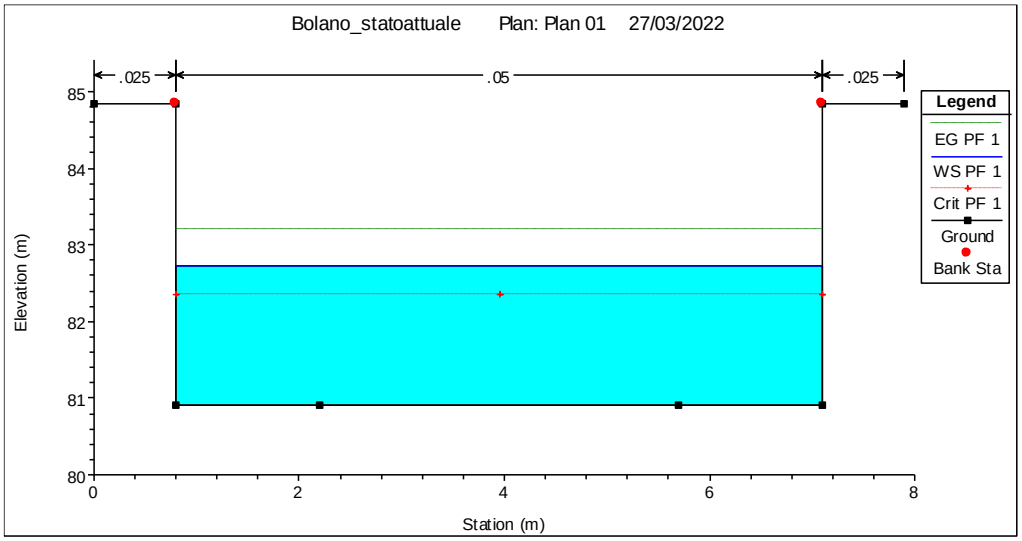
Sez. 16.9



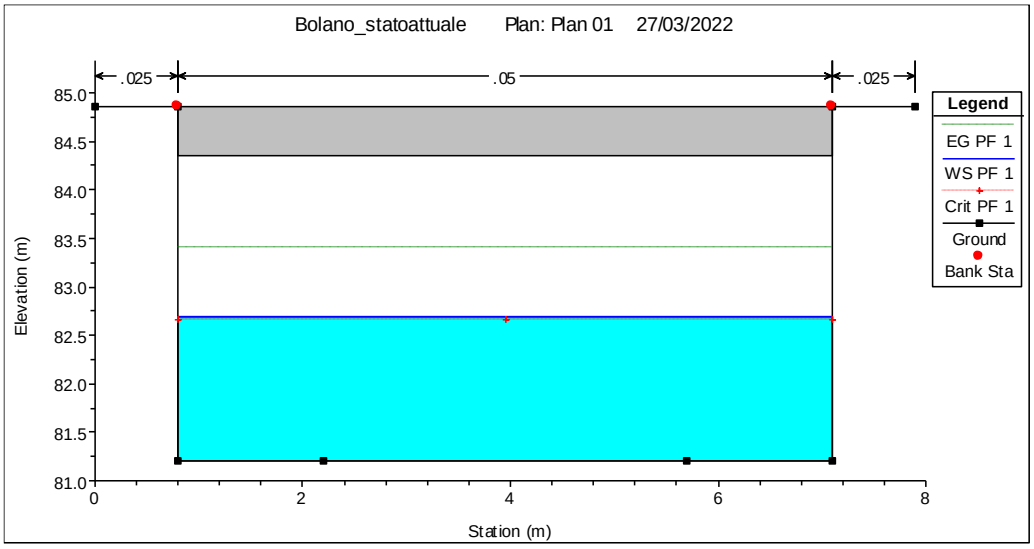
Sez. 17.0



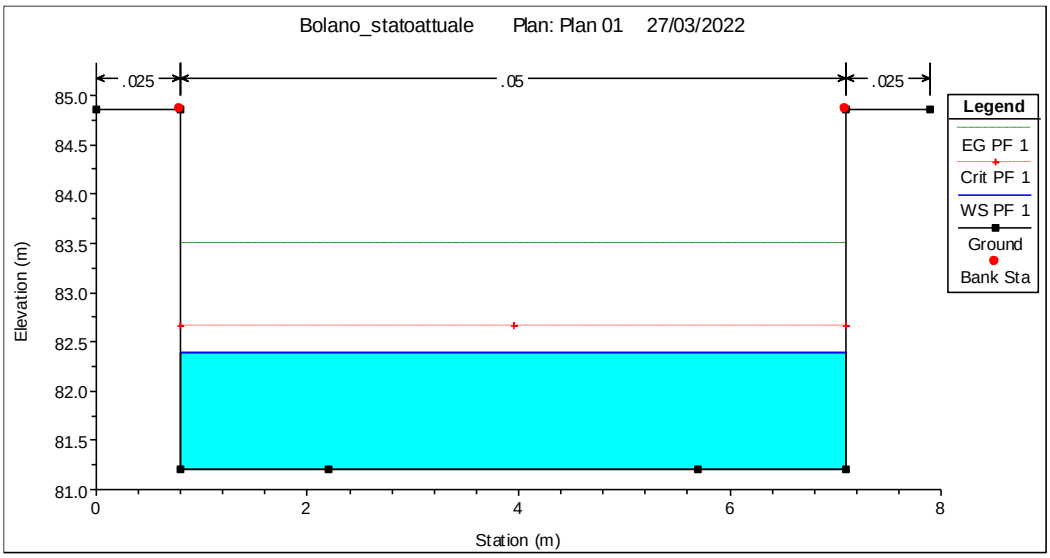
Sez. 17.4



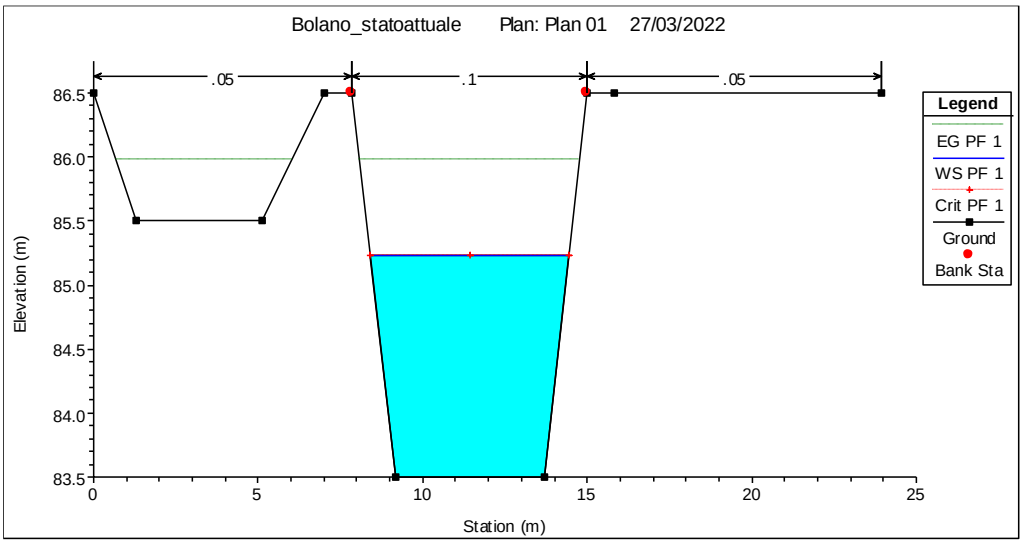
Sez. 17.5 (Ponte Via Picarda)



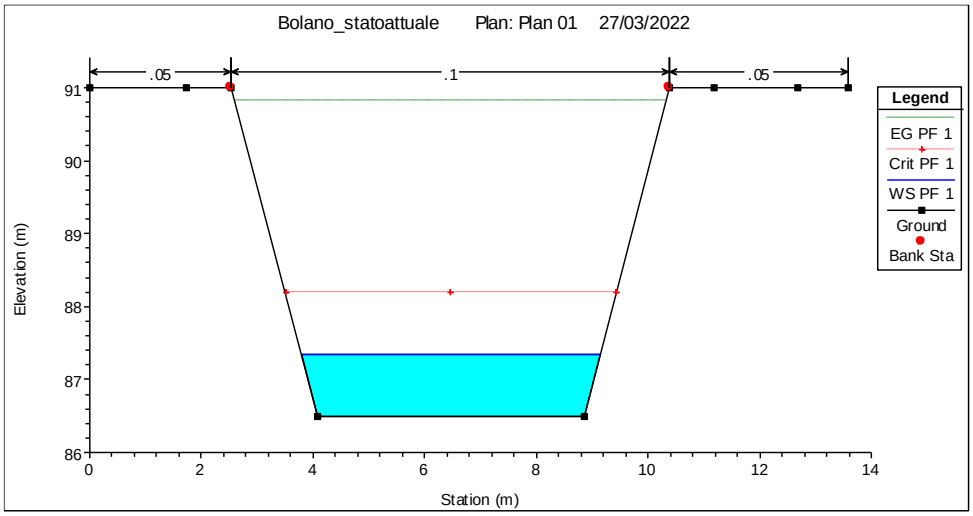
Sez. 17.6



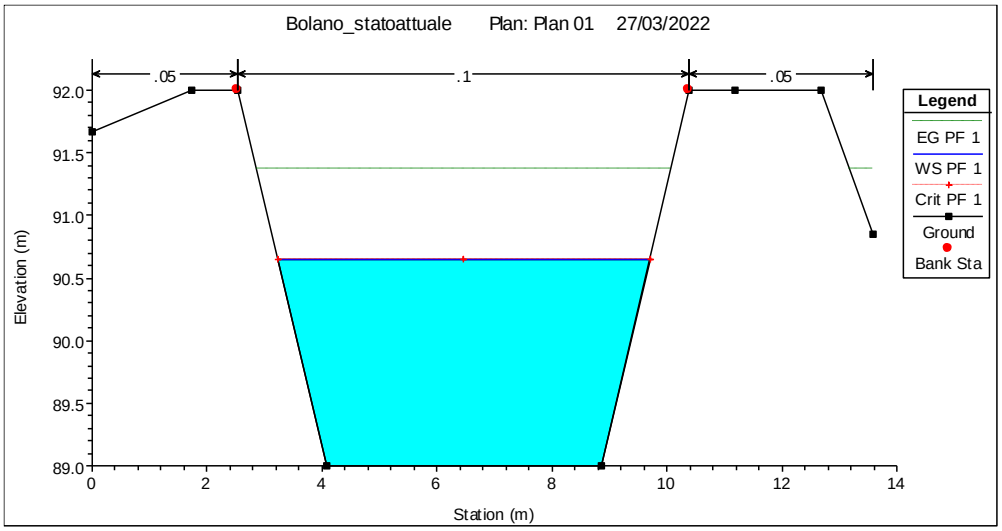
Sez. 17.8



Sez. 17.9



Sez. 18.0



Per una migliore analisi dei risultati ottenuti con HEC-RAS nelle tabelle che seguono si riportano per la simulazione con QT=200, e per ciascuna delle sezioni considerate ai fini della descrizione del Torrente Villa a seguito degli interventi di progetto, l'altezza della corrente ed i valori delle principali grandezze idrauliche:

- numero sezione;
- portata complessiva;
- quota del fondo della sezione;
- quota del profilo della corrente;
- quota del profilo critico della corrente;
- quota del profilo dell'energia della corrente;
- pendenza del profilo dell'energia della corrente;

- velocità della corrente;
- area bagnata;
- numero di Froude;

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	18	PF 1	35.00	89.00	90.65	90.65	91.38	0.126172	3.77	9.28	6.47	1.01
principale	17.9	PF 1	35.00	86.50	87.34	88.19	90.81	1.218191	8.26	4.24	5.35	2.96
principale	17.8	PF 1	35.00	83.50	85.23	85.23	85.98	0.130763	3.85	9.09	6.04	1.00
principale	17.6	PF 1	35.00	81.20	82.39	82.66	83.50	0.065968	4.66	7.51	6.30	1.36
principale	17.5		Bridge									
principale	17.4	PF 1	35.00	80.90	82.74	82.36	83.20	0.018809	3.03	11.56	6.30	0.71
principale	17	PF 1	35.00	80.80	82.22	82.22	82.93	0.035551	3.75	9.34	6.59	1.01
principale	16.9	PF 1	35.00	78.80	79.48	80.22	82.59	1.309050	7.81	4.48	6.59	3.02
principale	16	PF 1	35.00	76.50	79.17	78.34	79.48	0.036394	2.47	14.33	8.23	0.53
principale	15.5	PF 1	35.00	74.80	76.38	76.38	77.07	0.122185	3.69	9.49	6.85	1.00
principale	15.2	PF 1	35.00	72.50	73.41	73.71	74.49	0.078716	4.62	7.58	8.35	1.55
principale	15.1		Bridge									
principale	15	PF 1	35.00	71.90	73.23	73.22	73.89	0.033687	3.61	9.70	7.31	1.00
principale	14.9	PF 1	35.00	70.00	70.63	71.32	73.58	0.332234	7.61	4.60	7.31	3.07
principale	14.5	PF 1	35.00	69.00	70.79	70.28	71.12	0.012350	2.54	13.78	7.71	0.61
principale	14.2		Bridge									
principale	14	PF 1	35.00	69.00	70.28	70.28	70.92	0.033412	3.56	9.84	7.71	1.00
principale	13.9	PF 1	35.00	67.00	67.59	68.28	70.61	0.361616	7.69	4.55	7.71	3.20
principale	13.5	PF 1	35.00	64.75	66.53	66.01	66.81	0.038982	2.35	14.89	9.23	0.59
principale	13	PF 1	35.00	62.50	63.89		64.29	0.070070	2.81	12.46	9.83	0.80
principale	12.8	PF 1	59.00	60.70	63.35	62.20	63.56	0.018880	2.05	28.83	11.93	0.42
principale	12.5	PF 1	59.00	59.50	60.99	60.99	61.72	0.115044	3.78	15.61	10.74	1.00
principale	12	PF 1	59.00	58.00	59.88	59.59	60.45	0.006726	3.33	17.71	9.40	0.77
principale	11.9		Bridge									
principale	11.8	PF 1	59.00	57.70	59.29	59.29	60.08	0.011159	3.95	14.94	9.40	1.00
principale	11	PF 1	59.00	56.00	57.79	58.01	58.89	0.161585	4.65	12.70	8.42	1.21
principale	10.5	PF 1	59.00	54.50	57.20	55.95	57.34	0.011695	1.70	34.91	16.68	0.36
principale	10	PF 1	59.00	53.90	56.52		56.83	0.029439	2.46	23.94	9.89	0.51
principale	9.5	PF 1	60.50	52.25	55.56		55.92	0.032120	2.65	22.82	8.31	0.51
principale	9	PF 1	60.50	51.05	53.61		53.99	0.037003	2.73	22.19	9.76	0.58
principale	8.5	PF 1	60.50	48.74	51.91		52.27	0.032473	2.66	22.77	8.56	0.52
principale	8	PF 1	60.50	48.02	50.99		51.29	0.026210	2.43	24.92	10.53	0.50
principale	7	PF 1	60.50	44.68	47.64	46.79	48.07	0.041290	2.90	20.85	8.29	0.58
principale	6.5	PF 1	60.50	44.58	46.68	46.68	47.60	0.118135	4.23	14.29	7.82	1.00
principale	6	PF 1	60.50	43.80	46.23	45.11	46.40	0.014534	1.82	33.23	14.71	0.39
principale	5.2		Bridge									
principale	5	PF 1	60.50	42.90	45.07		45.23	0.003837	1.77	34.25	15.78	0.38
principale	4.5	PF 1	60.50	41.80	44.50		44.77	0.023587	2.29	26.43	10.89	0.47
principale	4	PF 1	60.50	41.60	44.12		44.43	0.029006	2.46	24.59	10.78	0.52
principale	3.5	PF 1	60.50	41.40	43.26	43.06	43.86	0.075671	3.42	17.69	10.28	0.83
principale	3	PF 1	60.50	41.00	42.66	42.66	43.44	0.112614	3.92	15.44	9.96	1.00
principale	2.8	PF 1	60.50	40.00	41.64	41.29	42.04	0.011448	2.78	22.14	13.91	0.69
principale	2.5	PF 1	60.50	39.60	41.07	41.07	41.74	0.025927	3.63	16.69	12.57	1.00
principale	2.45	PF 1	60.50	38.00	40.37	39.63	40.74	0.009531	2.69	22.51	9.76	0.56
principale	2.41	PF 1	60.50	37.60	40.02	39.26	40.41	0.010410	2.76	21.89	9.04	0.57
principale	2.2		Bridge									
principale	2.1	PF 1	60.50	36.50	39.02	38.88	40.01	0.032101	4.42	13.68	5.80	0.92
principale	2	PF 1	60.50	37.20	39.02	39.02	39.93	0.085319	4.22	14.33	7.88	1.00
principale	1.8	PF 1	60.50	36.40	38.76	37.67	38.94	0.010943	1.90	31.87	13.50	0.39
principale	1.5	PF 1	60.50	36.30	37.93		38.51	0.020942	3.37	17.94	11.00	0.84
principale	1.4	PF 1	60.50	35.80	37.64		38.10	0.014525	2.99	20.25	11.00	0.70
principale	1.3	PF 1	60.50	35.30	37.45		37.79	0.009445	2.59	23.35	10.87	0.56
principale	1.2	PF 1	60.50	35.20	37.32		37.68	0.010134	2.66	22.74	10.74	0.58
principale	1	PF 1	60.50	35.00	37.05		37.45	0.011467	2.78	21.76	10.60	0.62
principale	0.8	PF 1	60.50	33.70	36.38		36.89	0.014259	3.16	19.17	7.25	0.62
principale	0.6	PF 1	60.50	33.40	35.41	35.41	36.40	0.034545	4.42	13.69	6.94	1.01
principale	0.5	PF 1	60.50	33.20	35.43	34.93	35.95	0.030540	3.21	18.84	8.46	0.69
principale	0.2		Bridge									
principale	0.1	PF 1	60.50	32.96	34.77	34.62	35.47	0.048064	3.71	16.30	9.02	0.88

Conclusioni

Lo studio idraulico condotto sul tratto del Torrente Villa del Comune di Bolano, ha evidenziato che a seguito degli interventi di progetto (risagomatura con stabilizzazione del fondo e delle sponde mediante, rifacimento di n.4 attraversamenti) non si presentano condizioni di criticità rilevanti in condizioni di piena eccezionale, ovvero corrispondente ad una portata con tempo di ritorno pari a 200 anni, garantendo in ciascuna sezione il franco di sicurezza.

Si riporta, di seguito, la verifica per ogni sezione del franco di sicurezza, rispettando le Norme di Attuazione-Allegato 5 Piano Stralcio Assetto Idrogeologico.

sezione	v (m/s)	v2/2g (m)	F_{min} (m)	Quota di controllo (m s.l.m.)	Quota main channel (m s.l.m.)	Livello idrico (m s.l.m.)	h (m)	Franco (m)	Verifica
18	3.77	0.72	0.5	92	89.00	90.65	1.65	1.35	OK
17.9	8.26	3.48	0.5	91	86.50	87.34	0.84	3.66	OK
17.8	3.85	0.76	0.5	86.5	83.50	85.23	1.73	1.27	OK
17.6	4.66	1.11	0.5	84.85	81.20	82.39	1.19	2.46	OK
17.5 PONTE U	4.66	1.11	1.5	84.35	81.20	82.70	1.5	1.65	OK
17.5 PONTE D	3.03	0.47	1.5	84.35	80.90	82.75	1.85	1.60	OK
17.4	3.03	0.47	0.5	84.85	80.90	82.74	1.84	2.11	OK
17	3.75	0.72	0.5	83.79	80.80	82.22	1.42	1.57	OK
16.9	7.81	3.11	0.5	82.79	78.80	79.48	0.68	3.31	OK
16	2.47	0.31	0.5	81.55	76.50	79.17	2.67	2.38	OK
15.5	3.69	0.69	0.5	77.5	74.80	76.38	1.58	1.12	OK
15.2	4.62	1.09	0.5	75.65	72.50	73.41	0.91	2.24	OK
15 PONTE U	4.62	1.09	1.5	75.15	72.50	73.62	1.12	1.53	OK
15 PONTE D	3.61	0.66	1.5	75.15	71.90	72.90	1	2.25	OK
15	3.61	0.66	0.5	75.65	71.90	73.23	1.33	2.42	OK
14.9	7.61	2.95	0.5	74.5	70.00	70.63	0.63	3.87	OK
14.5	2.54	0.33	0.5	72.8	69.00	70.79	1.79	2.01	OK
14.2 PONTE U	2.54	0.33	1.5	72.3	69.00	70.77	1.77	1.53	OK
14.2 PONTE D	3.56	0.65	1.5	72.3	69.00	70.67	1.67	1.63	OK
14	3.56	0.65	0.5	72.8	69.00	70.28	1.28	2.52	OK
13.9	7.69	3.01	0.5	71	67.00	67.59	0.59	3.41	OK
13.5	2.35	0.28	0.5	68.5	64.75	66.53	1.78	1.97	OK
13	2.81	0.4	0.5	65.1	62.50	63.89	1.39	1.21	OK
12.8	2.05	0.21	0.5	65.1	60.70	63.35	2.65	1.75	OK
12.5	3.78	0.73	0.5	62.7	59.50	60.99	1.49	1.71	OK
12	3.33	0.57	0.5	61.6	58.00	59.88	1.88	1.72	OK
11.9 PONTE D	3.33	0.57	1.5	61.1	58.00	59.59	1.59	1.51	OK
11.9 PONTE U	3.95	0.8	1.5	61.1	57.70	58.92	1.22	2.18	OK
11.8	3.95	0.8	0.5	61.6	57.70	59.29	1.59	2.31	OK
11	4.65	1.1	0.5	59.5	56.00	57.79	1.79	1.71	OK
10.5	1.7	0.15	0.5	58.38	54.50	57.2	2.7	1.18	OK
10	2.46	0.31	0.5	57.9	53.90	56.52	2.62	1.38	OK
9,5	2.65	0.36	0.5	56.1	52.25	55.56	3.31	0.54	OK
9	2.73	0.38	0.5	54.2	51.05	53.61	2.56	0.59	OK
8,5	2.66	0.36	0.5	52.5	48.74	51.91	3.17	0.59	OK
8	2.43	0.3	0.5	51.5	48.02	50.99	2.97	0.51	OK
7	2.9	0.43	0.5	48.2	44.68	47.64	2.96	0.56	OK
6.5	4.23	0.91	0.5	47.65	44.58	46.68	2.1	0.97	OK
6	1.82	0.17	0.5	47.5	43.80	46.23	2.43	1.27	OK
5.2 PONTE D	1.82	0.17	1.5	46.9	43.80	45.11	1.31	1.79	OK
5.2 PONTE U	1.77	0.16	1.5	46.9	42.90	45.08	2.18	1.82	OK
5	1.77	0.16	0.5	47.3	42.90	45.07	2.17	2.23	OK
4.5	2.29	0.27	0.5	45.5	41.80	44.5	2.7	1.00	OK
4	2.46	0.31	0.5	45.5	41.60	44.12	2.52	1.38	OK
3.5	3.42	0.6	0.5	45.5	41.40	43.26	1.86	2.24	OK
3	3.92	0.78	0.5	45.5	41.00	42.66	1.66	2.84	OK
2.8	2.78	0.39	0.5	43.38	40.00	41.64	1.64	1.74	OK
2.5	3.63	0.67	0.5	43.37	39.60	41.07	1.47	2.30	OK
2.45	2.69	0.37	0.5	42.22	38.00	40.37	2.37	1.85	OK
2.41	2.76	0.39	0.5	42.13	37.60	40.02	2.42	2.11	OK
2.2 PONTE DANTE U	2.76	0.39	0.75	41.23	37.60	39.95	2.35	1.28	OK
2.2 PONTE DANTE U	4.42	1	0.75	41.23	36.50	39.55	3.05	1.68	OK
2.1	4.42	1	0.5	42	36.50	39.02	2.52	2.98	OK
2	4.22	0.91	0.5	41.4	37.20	38.76	1.56	2.64	OK
1.8	1.9	0.18	0.5	41	36.40	37.93	1.53	3.07	OK
1.5	3.37	0.58	0.5	40.3	36.30	37.64	1.34	2.66	OK
1.4	2.99	0.46	0.5	40.3	35.80	37.45	1.65	2.85	OK
1.3	2.59	0.34	0.5	38.53	35.30	37.32	2.02	1.21	OK
1.2	2.66	0.36	0.5	38.31	35.20	37.05	1.85	1.26	OK
1	2.78	0.39	0.5	37.96	35.00	36.38	1.38	1.58	OK
0.8	3.16	0.51	0.5	37.17	33.70	35.41	1.71	1.76	OK
0.6	4.42	1	0.5	36.6	33.40	35.43	2.03	1.17	OK
0.5	3.21	0.53	0.5	36.24	33.20	34.54	1.34	1.70	OK
0.2 PONTE PIAZZA CORRIERE U	3.21	0.53	0.75	36.24	33.20	35.07	1.87	1.17	OK
0.2 PONTE PIAZZA CORRIERE D	3.71	0.7	0.75	36.24	32.96	35.16	2.2	1.08	OK
0.1	3.71	0.7	0.5	36.24	32.96	34.77	1.81	1.47	OK
0	3.28	0.55	0.5	34.64	30.30	33.26	2.96	1.38	OK