COMUNE DI SESTRI LEVANTE

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

Committente:
Comune di Sestri Levante (GE)

Livello di Progetto:
Definitivo

Titolo:

INTERVENTI MESSA IN SICUREZZA ART. 1 COMMI DA 51 A 58 LEGGE DI BILANCIO 2020 N. 160 DEL 27/12/2019 INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO DEL TORRENTE PETRONIO

Oggetto:

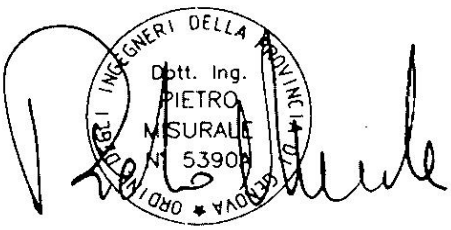
Relazione idraulica

Codice Progetto:
P052-21

Nome File:
P052-21-D-RE-IDR-001-B

Firme:





Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	Prima emissione	JL	23/12/21	DR/PM	23/12/21
B	Revisione	JL	4/02/22	DR/PM	4/02/22

ASSOCIATO oice CONFINDUSTRIA

apave certification
ISO 9001
N° SC 10-2588/IAF 34
ISO 14001
N° SCA 19-3491/IAF 34
ISO 45001
N° SCS 20-336/IAF 34

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via B. P. U. Muccini 54A
TEL. +39 0187 610532
info@itec-engineering.it

16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi 7/9-10
TEL. +39 010 5959690
www.itec-engineering.it

E' vietata a norma di legge la riproduzione, anche parziale, non autorizzata di questo documento

INDICE

1 PREMESSA 2

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 3

3 DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE 11

4 PIANO DI BACINO AMBITO 17 12

4.1 LE PORTATE DI PIENA 12
4.2 MAPPATURA DELLE AREE INONDABILI 13
4.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO 14
4.4 PIANO DEGLI INTERVENTI 15
4.5 PARAMETRI DI RIFERIMENTO PROGETTUALE 16

5 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI 18

5.1 CRITERI PROGETTUALI 18
5.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI 18

6 VERIFICHE IDRAULICHE TORRENTE PETRONIO 21

6.1 PORTATE DI PROGETTO 21
6.2 METODOLOGIA DI CALCOLO 21
6.3 CONFIGURAZIONI DI VERIFICA E PARAMETRI DI CALCOLO 21
6.4 RISULTATI 23
6.4.1 Stato attuale 23
6.4.2 Stato di progetto 24

7 ASPETTI DI MORFODINAMICA FLUVIALE 27

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 29

Allegati:

ALLEGATO A: Verifiche idrauliche stato attuale

ALLEGATO B: Verifiche idrauliche stato di progetto

Appendici:

APPENDICE 1: Software di calcolo HecRas 5.0.7

1 PREMESSA

La presente relazione fa parte del progetto degli "*Interventi di mitigazione del rischio idraulico e idrogeologico del torrente Petronio*" in comune di Sestri Levante nell'ambito degli interventi di messa in sicurezza art. 1 commi da 51 a 58 della Legge di Bilancio 2020 n. 160 del 27/12/2019.

Essa contiene la descrizione dei criteri di dimensionamento e delle verifiche idrauliche del tratto del torrente Petronio che va dalla foce sino al ponte ferroviario e dei risultati ottenuti per le diverse configurazioni esaminate, unitamente a considerazioni sugli aspetti di morfodinamica fluviale relativi al tratto di intervento.

Il progetto prevede una serie di interventi di adeguamento idraulico dell'alveo del torrente Petronio, per uno sviluppo complessivo di circa 860 m, che attualmente risulta, in molti tratti, insufficiente al deflusso della portata 200-ennale e in parte al deflusso della portata 50-ennale.

Gli interventi di sistemazione sono stati ottimizzati al fine di garantire il corretto smaltimento della portata 50-ennale con franchi adeguati nel rispetto dei vincoli di carattere urbanistico e viabilistico presenti e di mantenimento per quanto possibile delle strutture esistenti, infine, si è traguardato il mantenimento della portata 200-ennale sempre al di sotto del parapetto.

Essi consistono brevemente in una modesta riprofilatura del fondo alveo tra le sez. 1 e sez. 27, allargamento della sezione al deflusso in alcuni tratti e regolarizzazione delle sezioni.

Gli interventi sono funzionali ad un corretto regime idraulico e si inquadrano nei disposti delle Norme di Attuazione del Piano di bacino in quanto riguardano l'adeguamento di opere esistenti al fine di ovviare a situazioni di pericolo e tutela della pubblica incolumità.

Tale adeguamento è condizionato dai vincoli di carattere urbanistico e storico monumentale che non consentono per tutto il tratto il rispetto dei franchi imposti dalla norma per la portata 200-ennale, ma consente comunque un significativo miglioramento delle condizioni di deflusso e del rischio idraulico residuale per le aree adiacenti.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE

Il torrente Petronio, in corrispondenza dello sbocco a mare a Riva Trigoso, sottende un'area di circa 61 km^2; il bacino ha una forma irregolare assimilabile ad un trapezio con base minore pari a 1.2 km e base maggiore di 11 km in direzione parallela alla linea di costa (allineamento NO-SE) e altezza di 10 km disposta secondo una direttrice NE-SO.

La lunghezza complessiva dell'asta principale è di circa 15,5 km, con una pendenza media pari, nella parte alta del bacino, a circa il 17%, a circa il 6% nella parte pedemontana e a circa l'1% nel tratto terminale.

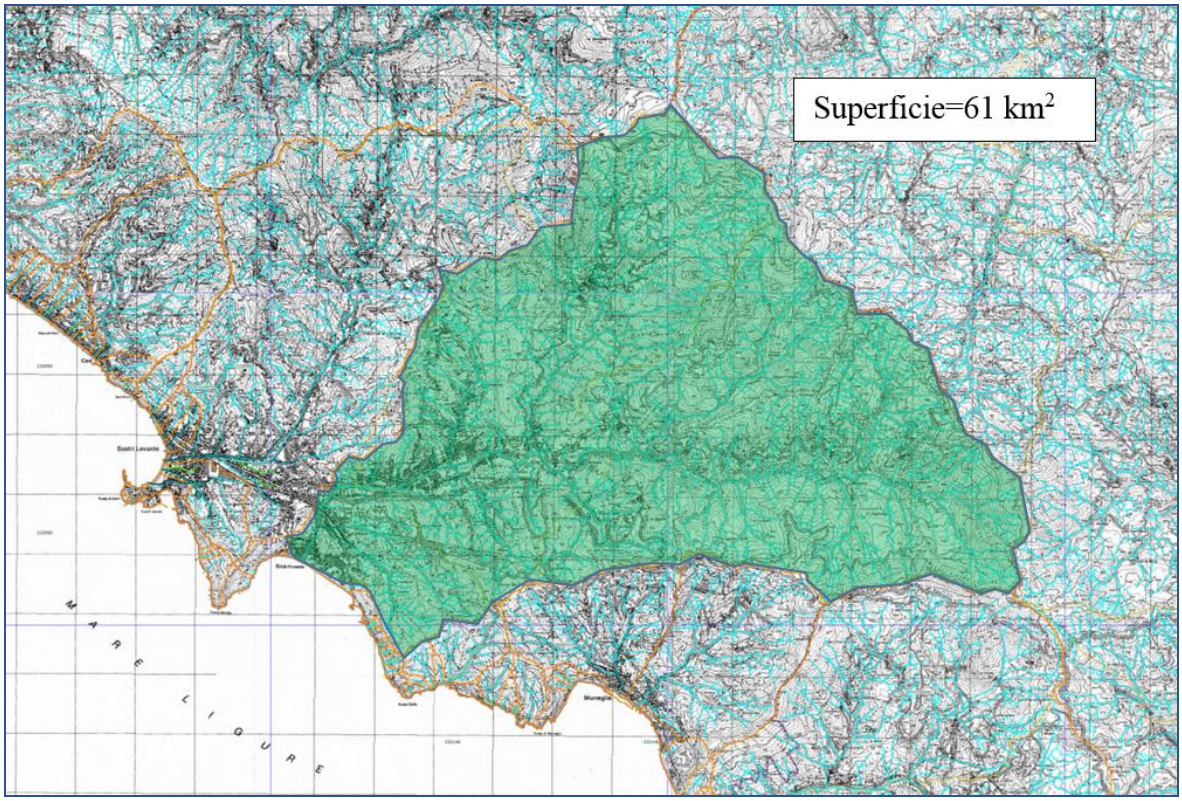


Figura 2.1: Bacino Torrente Petronio

L'alveo si presenta, nella parte alta, incassato in roccia, mentre a valle della confluenza con il Rio Frascarese, le aree adiacenti il fiume diminuiscono la loro pendenza, fino ad assumere le caratteristiche di una piana alluvionale in corrispondenza dell'abitato di Casarza Ligure.

Come già detto la quota massima del bacino è pari a 1093 m s.l.m., in corrispondenza del Monte Alpe, mentre la quota media è di circa 410 m s.l.m.

Dal punto di vista dell'assetto insediativo si può osservare come il bacino si presenta scarsamente urbanizzato nella parte medio-alta, mentre nella parte bassa il grado di

urbanizzazione è decisamente più elevato. In particolare, nella parte alta si trovano alcuni insediamenti sparsi, tra cui i principali sono Velva, Castiglione Chiavarese e Bargone. Tutti questi piccoli centri, però, non si trovano nelle immediate vicinanze del Petronio o di uno dei suoi affluenti significativi. Come si preciserà meglio nel seguito, ciò provoca una scarsità di fenomeni di rischio idraulico rilevanti nella parte medio-alta.

Nella parte bassa, soprattutto a valle della confluenza del Torrente Bargonasco, la situazione si presenta decisamente diversa. In questa zona sono infatti localizzati gli abitati di Casarza Ligure e di Riva Trigoso. In particolare, in corrispondenza dell'abitato di Casarza Ligure, la pressione antropica è decisamente rilevante, e le aree prossime al corso d'acqua risultano in gran parte insediate. In particolare la confluenza del Rio Cacarello risulta tombinata, mentre sono presenti diversi ponti di attraversamento carrabili sul Petronio.

Il tratto terminale a valle del ponte ferroviario, in corrispondenza dell'abitato di Riva Trigoso risulta arginato con continuità. L'area fociva è urbanizzata densamente sia in destra che in sinistra.

Il tratto oggetto di intervento è quello compreso tra il ponte ferroviario e lo sbocco a mare, per una lunghezza complessiva di circa 860 m.

Esso ha un andamento sinuoso con alcuni cambi di direzione (da N-S a NE-SO di nuovo N-S e ancora NE-SO).

Si distinguono tre tratti distinti in funzione delle caratteristiche geometriche della sezione di deflusso:

- Tratto tra il ponte ferroviario e la briglia in pietra circa 380 m a valle;
- Tratto tra la briglia e una sezione posta circa 20 m a valle del ponte in pietra ad arco, della lunghezza complessiva di circa 100 m;
- Tratto di valle sino al ponte carrabile allo sbocco a mare, della lunghezza di circa 310 m.

Il primo tratto ha sezioni di forma trapezia con larghezza al fondo variabile tra 20 m e 30 m circa e tra 30 m e 50 m circa in sommità, con altezza media di 4.5 m circa; la pendenza del fondo è modesta, pari allo 0.5% circa, a causa della briglia di valle che ne condiziona il profilo verso monte, il fondo è costituito principalmente da ciottoli e ghiaia.

La sponda sinistra è delimitata da un muro d'argine in c.a. e dal versante naturale, sopra il quale è ubicata un'area produttiva con piazzali e viabilità di servizio, la sponda destra è delimitata da un muro d'argine in calcestruzzo a sostegno della viabilità principale costituita da Via Petronio.

Il tratto centrale, a valle della briglia, è costituito da sezioni di forma rettangolare di larghezza variabile tra 15 m e 20 m circa e altezza delle sponde di 6 m circa, con pendenza del fondo pari all'1.1% circa; il fondo e parte delle sponde sono in roccia.

Il tratto è delimitato in sponda sinistra da un muro d'argine a protezione di un antico edificio di civile abitazione che è stato recentemente ristrutturato, in sponda destra sempre dalla sede stradale di Via Petronio.

In tale tratto è ubicato un ponte ad arco in pietra per l'accesso pedonale alla sponda opposta ed in particolare all'edificio di cui sopra; il ponte ha una larghezza di 18 m con luce libera tra fondo e intradosso variabile da 3.0 m circa sulle sponda a 5.8 m in mezzeria.

Il tratto terminale presenta sezioni di forma rettangolare di larghezza variabile tra 26 m e 42 m circa e altezza media delle sponde di 4.5 m circa, con pendenza del fondo pari allo 0.3% circa; il fondo è costituito da ciottoli e ghiaia.

Il tratto è delimitato da Via Giuseppe Verdi in sponda sinistra e da Via Petronio in sponda destra.

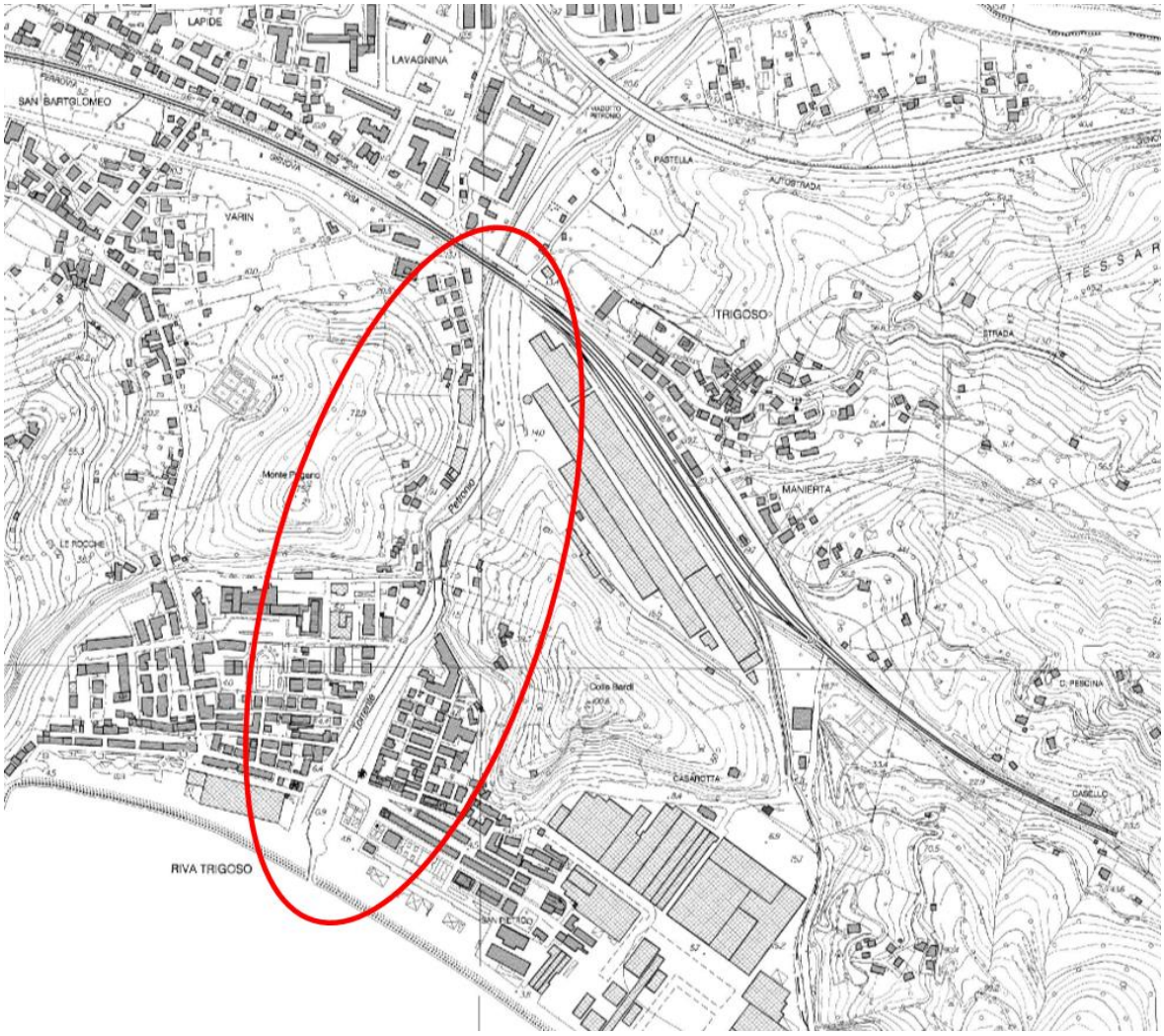


Figura 2.2: area di intervento - estratto CTR – Liguria



Figura 2.3: area di intervento - ortofoto

Nelle figure seguenti sono riportate alcune fotografie dello stato attuale dell'alveo nel tratto oggetto di intervento:



Figura 2.4: t. Petronio tratto a monte - vista da sponda destra verso monte



Figura 2.5: t. Petronio tratto a monte - vista da sponda destra verso valle



Figura 2.6: t. Petronio tratto a monte - vista da sponda sinistra verso monte



Figura 2.7: t. Petronio briglia - vista da sponda sinistra



Figura 2.8: t. Petronio tratto centrale - vista dal ponte ad arco verso monte



Figura 2.9: t. Petronio tratto centrale - vista da valle del ponte ad arco



Figura 2.10: t. Petronio tratto terminale - vista da monte



Figura 2.11: t. Petronio tratto terminale - vista dal ponte di Riva verso monte

3 DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE

Ai fini del presente progetto è stata raccolta ed analizzata la documentazione disponibile in merito a studi e progetti sul tratto terminale del torrente Petronio.

La documentazione disponibile analizzata è la seguente:

- Autorità di Bacino Regionale
  Piano di Bacino Stralcio sul rischio idrogeologico Torrente Petronio – Ambito Regionale di bacino 17; approvato con DCP n. 68 del 12/12/2002, Ultima modifica con DDG n. 121 del 18/11/2013;
- Rilievo redatto dal Dott. Geol. Denis Tassisto nel giugno 2021;
- Comune di Sestri Levante
  Progetto integrato di riqualificazione urbana del fronte mare di Riva Trigoso – II° Stralcio: opera di collegamento con ponte carrabile e passerella ciclo-pedonale
  ITEC engineering – ottobre 2014

Il Piano di Bacino costituisce la normativa idraulica di riferimento per le opere in progetto. Esso fornisce le portate di piena con assegnati tempi di ritorno da assumere nelle verifiche idrauliche, i parametri di riferimento progettuali (scabrezze, franchi idraulici) e contiene un Piano degli interventi per l'intero bacino, che costituisce un riferimento cui attenersi nella progettazione delle opere di sistemazione.

Nel tratto oggetto del presente progetto il Piano prevede gli interventi n. 3 e 4 che consistono rispettivamente nell'ampliamento in sponda sinistra del torrente nel tratto a monte del ponte comunale della strada litoranea e nella sopraelevazione dell'argine in sponda sinistra in corrispondenza del fabbricato di civile abitazione in loc. Pian del Fiume. (Carta degli interventi n. 232100).

Nel successivo capitolo sono riportati più in dettaglio i contenuti specifici del Piano.

Il rilievo è stato effettuato per la topografia superficiale aerofotogrammetrico mediante l'acquisizione sul campo di foto zenitali, obblique e di dettaglio ad altissima risoluzione uniti ai punti a terra, i cosiddetti marker e/o punti notevoli antropici sparsi nell'area oggetto di rilievo effettuati con strumentazione topografica ricevitore satellitare.

Il *"Progetto integrato di riqualificazione urbana del fronte mare di Riva Trigoso – II° Stralcio: opera di collegamento con ponte carrabile e passerella ciclo-pedonale"* ha per oggetto la descrizione degli interventi di riqualificazione del fronte mare di Riva Trigoso attraverso la variazione della viabilità esistente, la sistemazione idraulica del tratto terminale del Torrente Petronio e la costruzione di una nuova opera di attraversamento del corso d'acqua capace di garantire non solo lo scorrimento del traffico veicolare e ciclo-pedonale in sedi separate, ma anche di assicurare il deflusso della piena 200-ennale con un idoneo franco idraulico.

4 PIANO DI BACINO AMBITO 17

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano di Bacino Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico - Ambito 17[1] e dal Regolamento Regionale n° 3 del 14/07/2011[2].

4.1 LE PORTATE DI PIENA

Nel Piano di Bacino sono riportati i seguenti valori delle portate di piena per assegnato periodo di ritorno:

Tratto	Q50 [m³/s]	Q200 [m³/s]	Q500 [m³/s]
Torrente Petronio alla foce	601	734	821

Tab. 3.I

[1] Approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.68 del 12/12/2002, ultima modifica con Decreto digitale del Direttore Generale n°121 del 18/11/2013

[2] *Disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua*, attuativo della DGR 1360/2010.

4.2 MAPPATURA DELLE AREE INONDABILI

Il progetto interessa il tratto terminale del torrente Petronio, in corrispondenza del centro abitato di Riva Trigoso, comune di Sestri Levante.

Con riferimento alla Tavola n. 13 (Carta delle fasce di inondabilità) del Piano di Bacino Ambito 17 - Torrente Petronio, l'area urbana adiacente al corso d'acqua e il centro abitato di Riva Trigoso ricadono in area inondabile per tempo di ritorno 50-ennale e 200-ennale, come mostra l'estratto della figura seguente:

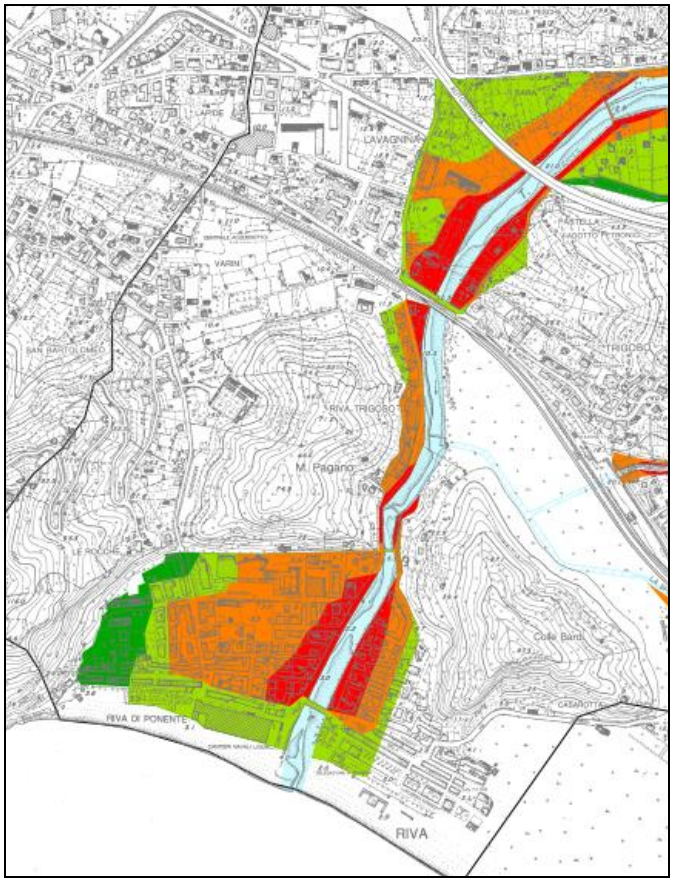


Figura 4.1 – PdB ambito 17VBP – carta del dissesto 07

4.3 SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO

Secondo la Carta della suscettività al dissesto i tratti sotto indagine del torrente Quiliano presentano una suscettività generale bassa e molto bassa (Pg1 e Pg0) attraversando aree a pendenza limitata.

Nella figura seguente sono riportati degli estratti delle carte della suscettività al dissesto delle aree interessate dal torrente Petronio.

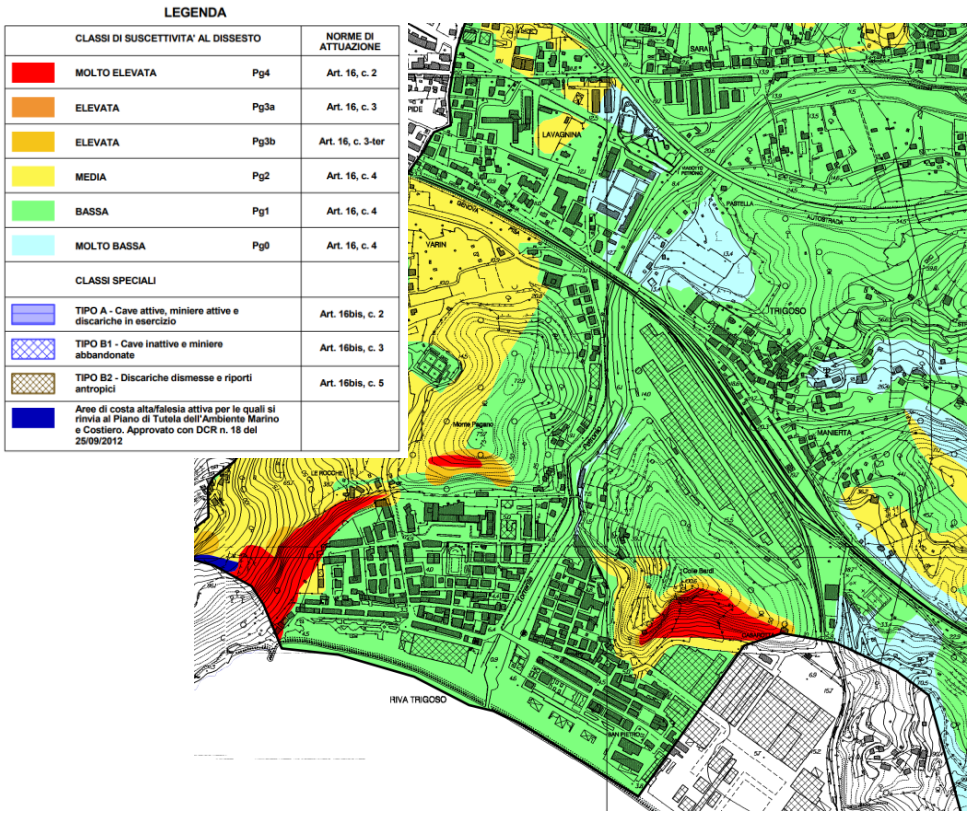


Figura 4-2: Torrente Petronio classi di suscettività al dissestro

4.4 PIANO DEGLI INTERVENTI

Per il tratto in esame il Piano di Bacino individua i seguenti interventi idraulici volti alla mitigazione del rischio idraulico.



Figura 4-3: Stralcio scheda interventi

Intervento 3

Allargamento delle sezioni di deflusso del Torrente Petronio nel tratto a monte del ponte comunale della strada litoranea a Riva Trigoso Nel tratto di circa 200 m, parte a valle e parte a monte del ponte, le attuali sezioni di deflusso sono sufficienti a smaltire la portata di piena associabile al tempo di ritorno di 50 anni, conseguentemente le aree urbanizzate circostanti, sia in sponda destra che in sponda sinistra, sono da considerarsi ad alto rischio di esondazione. Considerata la ridottissima pendenza dell'alveo, la vicinanza con lo sbocco a mare e la topografia del luogo, l'unico intervento possibile di rimodellamento delle sezioni di deflusso consiste nell'allargamento in sponda sinistra, ove l'alveo subisce un restringimento per la presenza di una strada e adiacente parcheggio. L'eventuale allargamento, mediante demolizione dell'attuale muro d'argine ed allargamento delle sezioni attualmente occupate dalla strada, potrebbe essere attuato a seguito di una ridefinizione della viabilità locale e degli accessi ai fabbricati, tuttavia consentirebbe, contestualmente all'intervento n° 2, di ridurre la pericolosità di esondazione fino a 200 anni.

Intervento 4

Modifica e sopraelevazione dell'argine in sponda sinistra del Torrente Petronio in corrispondenza del fabbricato di civile abitazione in località Pian del Fiume e adeguamento delle sezioni idrauliche per eliminare l'esondabilità in sponda destra in

corrispondenza della viabilità pubblica Il fabbricato è soggetto a rischio di esondazione con portate di piena associate a periodo di ritorno inferiore a 50 anni, mentre la viabilità in sponda destra risulta inondabile con tempo di ritorno di poco superiore ai 50 anni. L'esecuzione di lavori di sopraelevazione della muratura d'argine a difesa dell'abitazione nonché l'eventuale realizzazione di un canale aggiuntivo al di sotto della viabilità in sponda destra, si presume, potrebbero consentire la riduzione del rischio d'esondazione sino alla portata duecentennale. Sino all'esecuzione, quantomeno, dei primi interventi di messa in sicurezza, si suggerisce l'applicazione di misure di protezione civile, quali la dichiarazione di inabitabilità del piano terreno.

Gli interventi 1 e 2 relativi al ponte alla foce e alla scogliera di valle sono già stati realizzati dal comune di Sestri Levante.

Il riferimento per la progettazione da un punto di vista idraulico è costituito inoltre dal Regolamento 3/2011 come modificato dal Regolamento 1/2016 della Regione Liguria, che stabilisce i criteri progettuali (coefficienti di scabrezza, franchi idraulici).

4.5 PARAMETRI DI RIFERIMENTO PROGETTUALE

Il Regolamento stabilisce i franchi minimi tra il livello di piena, la sommità degli argini e l'intradosso dei ponti, nonché i parametri di scabrezza da assumere nelle verifiche idrauliche.

Per i corsi d'acqua principali e secondari i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra:

- il carico cinetico della corrente, determinabile come $U^2/2g$, con U[m/s] velocità della corrente e g[m/s2] è l'accelerazione di gravità;
- i valori di seguito indicati:

I	Argini e difese spondali	50/100 cm
II	Ponti e strutture di attraversamento fino ad estensioni longitudinali di 12 m	100/150 cm
III	Coperture e tombinature, ponti e strutture di attraversamento oltre 12 m	150/200 cm

Tab. 3.II

Il Regolamento fornisce inoltre le indicazioni per la scelta del coefficiente di scabrezza da utilizzare nelle verifiche idrauliche, che devono essere desunti dalla seguente tabella:

Descrizione	Coeff. di scabrezza di Gauckler-Strickler
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35

Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corso d'acqua con fondo e argini totalmente cementati in ottimo stato e assenza di manufatti o discontinuità	40-45

Tab. 3.III

5 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1 CRITERI PROGETTUALI

Gli interventi previsti nel presente progetto riguardano la sistemazione idraulica del torrente Petronio nel tratto compreso tra il ponte ferroviario e la foce per uno sviluppo complessivo di circa 860 m.

Gli interventi di sistemazione sono stati ottimizzati al fine di garantire il corretto smaltimento della portata 50-ennale con franchi adeguati e della 200-ennale con franchi minimi nel rispetto dei vincoli di carattere urbanistico e viabilistico presenti e di mantenimento per quanto possibile delle strutture esistenti.

L'intervento si inserisce in un contesto fortemente urbanizzato con numerosi vincoli dovuti alla presenza di edifici su entrambe le sponde e della viabilità principale in sponda destra (Via Petronio) lungo tutto il tratto e della viabilità secondaria (Via Giuseppe Verdi) nel tratto terminale in sponda sinistra, oltre alla presenza del ponte in pietra pedonale che deve essere comunque mantenuto in quanto monumento storico.

Tali vincoli rendono estremamente complessa la progettazione di un intervento di sistemazione idraulica dell'intero tratto.

La progettazione è stata pertanto orientata a contemperare gli aspetti legati al corretto deflusso della portata di piena con gli aspetti ambientali e paesaggistici che impongono il mantenimento per quanto possibile della naturalità dell'alveo, e il contenimento delle altezze dei muri d'argine e dei relativi parapetti.

I criteri progettuali alla base della progettazione sono sostanzialmente stati i seguenti:

- Contenimento del deflusso della portata 50-ennale al di sotto o al livello del piano viabile di Via Petronio, con franchi adeguati rispetto al parapetto (1 m e/o carico cinetico della corrente) lungo tutto il tratto;
- Contenimento della portata 200-ennale al di sotto del parapetto con franchi minimi.

5.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Essi consistono in particolare, da valle verso monte in:

- allargamento della sezione di deflusso da 7 m a 0 m mediante il rifacimento dell'argine in sponda sinistra tra le sez. 2 e 3 per una lunghezza di circa 140 m;

- allargamento della sezione di deflusso da 2 m a 0 m mediante il rifacimento dell'argine in sponda destra tra le sez. 3-5.1 per una lunghezza pari a circa 50 m;

- realizzazione di nuova soglia alla sez. 8;

- tra le sez. 8 e 10 realizzazione di una scogliera in massi naturali in sponda sinistra a protezione dei fenomeni erosivi in atto per una lunghezza pari a circa 40 m;

- allargamento della sezione di deflusso per una lunghezza di circa 100 m a cavallo del ponte ad arco in pietra, mediante il rifacimento dell'argine in sponda destra con muro a sbalzo (a sostegno della viabilità) tra le sez. 8 e 14 e ampliamento della sezione del ponte in pietra pedonale mediante apertura di un nuovo fornice di larghezza 3 m al di sotto di Via Petronio;

- allargamento della sezione di deflusso mediante la demolizione e rifacimento del muro d'argine più interno in sponda destra, realizzazione di scogliera in massi naturali e paratia di micropali a tergo tra le sez. 15 e 18.1, per una lunghezza pari a circa 30 m su entrambe le sponde;

- sottomurazione del muro esistente in sponda sinistra tra le sez. 15-18.1, per una lunghezza pari a circa 30 m;

- scapitozzamento della briglia esistente sez.16-17 e rifacimento nuova briglia poco più a monte tra le sez. 18-18.1 con salto di 1.85 m e protezione fondo alveo mediante massi cementati tra le sez. 14-18.1;

- regolarizzazione dell'alveo mediante la realizzazione di un alveo centrale per il deflusso delle portate di magra e di morbida con sezione trapezia su entrambe le sponde di larghezza costante pari a 28 m, delimitata da nuovi argini in scogliera dell'altezza di 3 m tra le sez. 18.1-27; gli argini in scogliera proteggono le aree golenali laterali interessate dalle piene con tempi di ritorno maggiori di 50 anni, per una lunghezza pari a circa 340 m;

- scapitozzamento briglia esistente tra le sez. 23-24;

- realizzazione nuova soglia alla sezione 27 (inizio intervento);

- riprofilatura del fondo su una pendenza di equilibrio pari allo 0.3% tra le sez.1 e 8 per una lunghezza di circa 300 m; pari allo 0.5% tra le sez. 8.1 e 18 per una lunghezza di 150 m e di 0.65% per la restante parte a monte.

- Nel tratto compreso tra le sez. 2 e 6, onde evitare muri troppo alti, date le quote della strada in sponda sinistra più basse rispetto alla destra, è stata fissata l'altezza del parapetto a progetto in sponda sinistra pari a 1.6 m rispetto al piano stradale sinistro. Mentre il parapetto in sponda destra raggiungerà le medesime quote del parapetto in sponda sinistra.

- Nel tratto a monte della sez. 6 la strada prosegue solamente in sponda destra, a tal proposito è previsto, ove necessario, il rifacimento del parapetto di altezza pari a 1.5 m rispetto al piano strada.

La larghezza del nuovo fornice in sponda destra del ponte ad arco potrà essere modificata e se del caso ulteriormente estesa a seguito di indagini di maggior dettaglio sulla muratura e sulla consistenza della spalla del manufatto.

Durante la serie di sopralluoghi effettuati, è stato possibile effettuare un tracciamento orientativo dei sottoservizi esistenti sulla base delle indicazioni fornite dai tecnici del Comune e degli Enti gestori.

L'andamento planimetrico dell'intervento è stato studiato in modo da ridurre al minimo gli spostamenti e mantenere una fascia di rispetto necessaria al ricollocamento dei sottoservizi.

Tuttavia, le interferenze di alcuni tratti di essi con la nuova struttura ne rendono necessario il ricollocamento.

Data la consistenza delle opere previste, il progetto può essere suddiviso in lotti funzionali anche in funzione delle risorse disponibili.

In via del tutto preliminare si possono distinguere a tale scopo tre tratti principali da valle verso monte:

- tratto di valle (sezioni 1 - 8 – L=300 m)
- tratto intermedio (sezioni 8-18.1 – L=140 m)
- tratto di monte (sezioni 181-27 – L= 370 m).

6 VERIFICHE IDRAULICHE TORRENTE PETRONIO

6.1 PORTATE DI PROGETTO

Le portate di progetto sono state valutate con riferimento ai contenuti del Piano di Bacino.

Ai fini delle verifiche idrauliche sono stati utilizzati i valori delle portate di piena 50-ennale e 200-ennale del torrente Petronio valutate alla foce, pari rispettivamente a 601 m³/s e 734 m³/s.

6.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche sono state effettuate con il software di calcolo *Hec-Ras 5.0.7*[3] .

Il software consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La metodologia è riportata più in dettaglio nell'Appendice 1 allegata alla presente relazione.

6.3 CONFIGURAZIONI DI VERIFICA E PARAMETRI DI CALCOLO

La verifica idraulica è stata effettuata nelle seguenti configurazioni:

- Stato attuale;
- Stato di progetto;

Lo stato attuale è quello relativo alla configurazione geometrica dell'alveo risultante dal rilievo topografico di dettaglio del 2021.

Lo stato di progetto è relativo alla configurazione che prevede gli interventi riportati al paragrafo precedente.

Ai fini del calcolo sono state individuate una serie di sezioni trasversali del corso d'acqua con l'aggiunta di sezioni intermedie in corrispondenza dei punti singolari quali cambi significativi di sezione e presenza di manufatti (briglie, salti, imbocchi, ecc.).

Le sezioni sono numerate in ordine decrescente da monte verso valle, partendo dalla sezione 29, circa 16 m a monte del ponte della Via Aurelia, fino ad arrivare alla sezione 1, immediatamente a valle della passerella pedonale in prossimità della foce.

I profili di rigurgito sono stati integrati per entrambe le condizioni di corrente lenta da valle verso monte e di corrente veloce da monte verso valle imponendo come condizioni al

[3] HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers

contorno la profondità critica nella sezione di estremità di monte e la quota di 1 m s.l.m. nella sezione di valle.

In accordo con le normative vigenti il coefficiente di scabrezza *n* di Manning è stato assunto pari a 0.03 lungo tutto il tratto, corrispondente alla condizione di corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo.

Le verifiche sono state effettuate nell'ipotesi di sponde infinite qualora il livello di piena superi le quote di sommità arginali.

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica in Allegato A.

6.4 RISULTATI

6.4.1 Stato attuale

Portata 200-ennale

Il deflusso della portata 200-ennale avviene prevalentemente in corrente lenta (Fr<1) con alcuni brevi tratti in corrente veloce (Fr>1).

Per semplificare l'analisi dei risultati si possono distinguere a tale scopo tre tratti principali da valle verso monte:

- tratto di valle (sezioni 1 - 8 – L=300 m)
- tratto intermedio (sezioni 8-18.1 – L=140 m)
- tratto di monte (sezioni 18.1-27 – L= 370 m).

Tratto di valle (sezioni 1 - 8 – L=300 m):

Il deflusso nel tratto compreso tra la foce e la sez. 8 avviene parzialmente in corrente lenta e parzialmente in corrente veloce con altezza media del pelo libero pari a 3.5 m circa e velocità media pari a circa 6 m/s.

In tale tratto si verifica esondazione lungo entrambe le sponde per un tratto della lunghezza di circa 130 m tra le sez. 2.1 e 5.

Tratto intermedio (sezioni 8-18.1 – L=140 m):

Nel tratto a cavallo del ponte in pietra pedonale (tra sez. 8 e sez. 18.1) la portata 200-ennale defluisce in corrente lenta a monte del ponte e veloce a valle con transizione attraverso lo stato critico nella sezione del ponte.

In tale tratto si verifica esondazione in entrambe le sponde nel tratto subito a monte del ponte pedonale in pietra (tra la sez. 11 e la sez. 18.1) con tiranti maggiori di 1 m rispetto alla sommità dell'argine.

Il pelo libero interferisce con l'impalcato del ponte pedonale (sezione 11.1).

Tratto di monte (sezioni 18.1-27 – L= 370 m):

Nel tratto di monte compreso tra la sez. 18.1 e il ponte ferroviario (sez. 27.2) la portata 200-ennale defluisce con altezza del pelo libero mediamente pari a 5.5 m e velocità media intorno a 4.6 m/s.

La corrente in quest'ultimo tratto si mantiene lenta sormontando principalmente l'argine destro e saltuariamente l'argine sinistro.

Il pelo libero scorre con un franco di circa 4 m rispetto al ponte ferroviario mentre interferisce con l'impalcato del ponte della Via Aurelia.

L'elemento di maggior criticità è rappresentato dall'insufficienza della sezione di deflusso del torrente e a tale elemento si aggiunge la ridotta pendenza del fondo e la sua forte irregolarità, tali condizioni riducono sensibilmente la capacità di deflusso dell'intero tratto.

Portata 50-ennale

Il profilo della portata 50-ennale è del tutto simile a quello della portata 200-ennale con livelli inferiori di circa 0.5 m rispetto a quest'ultima nel tratto a valle del ponte pedonale in pietra e di circa 1 m nel tratto a monte.

6.4.2 Stato di progetto

Portata 200-ennale

Il deflusso della portata 200-ennale avviene per il tratto di valle in corrente prossima alla condizione critica, il tratto centrale è caratterizzato da alternanza di corrente veloce e lenta con passaggio attraverso la profondità critica in prossimità del ponte pedonale in pietra; il deflusso nel tratto di monte avviene principalmente in corrente lenta.

Tratto di valle (sezioni 1 - 8 – L=300 m):

Il deflusso nel tratto compreso tra la foce e la sez. 8, avviene in corrente prossima alla condizione critica con altezza media del pelo libero pari a 3 m circa e velocità media pari a circa 5.8 m/s.

Per quanto riguarda la sponda destra il pelo libero della 200-ennale si mantiene al di sotto della quota stradale sino alla sez. 2.2, supera la quota del piano viabile tra la sez. 2.2 e la 8 mediamente di 0.3 m circa risultando comunque sempre contenuto al di sotto del parapetto con franchi mediamente superiori a 0.5 m.

Per quanto riguarda la sponda sinistra, caratterizzata da quote inferiori del piano viabile rispetto alla destra, il pelo libero risulta superiore alla quota della strada ma comunque sempre contenuto, con franchi minimi, dal parapetto in progetto di altezza pari ad 1.6 m.

Tratto intermedio (sezioni 8-18.1 – L=140 m):

Nel tratto a cavallo del ponte in pietra pedonale (tra sez. 8 e sez. 18.1) la portata 200-ennale defluisce in corrente lenta a monte del ponte e veloce a valle con transizione attraverso lo stato critico nella sezione del ponte.

L' altezza del pelo libero per il tratto di valle è mediamente pari a 3.7 m e velocità media intorno a 8 m/s, per il tratto di monte è mediamente pari a 5 m e velocità media intorno a 6.7 m/s.

Il pelo libero interferisce con l'impalcato del ponte pedonale (sezione 11.1) con franco di 0.5 m rispetto alla sommità dell'arco.

Nel tratto a valle del ponte in pietra il pelo libero si mantiene al di sotto del piano strada mentre a monte lo supera rimanendo contenuta dal parapetto, sia pure con franchi minimi.

Il livello di piena 200-ennale, interferisce con la struttura a sbalzo nel solo tratto di monte.

Tratto di monte (sezioni 18.1-27 – L= 370 m):

Nel tratto di monte compreso tra la sez. 18.1 e il ponte ferroviario (sez. 27.2) la portata 200-ennale defluisce con altezza del pelo libero mediamente pari a 4.6 m e velocità media intorno ai 5.5 m/s. La corrente in quest'ultimo tratto si mantiene lenta e sempre contenuta dal parapetto, sia pur con franchi minimi sino alla sez. 22, per raggiungere più a monte franchi di circa 1 m rispetto al parapetto.

La linea dei carichi supera mediamente di 0.5 m la sommità del parapetto che ha un'altezza pari ad 1.5 m rispetto al piano viabile.

Il deflusso attraverso il ponte ferroviario avviene con un franco maggiore di 4 m rispetto alla sommità degli archi, mentre interferisce con l'impalcato del ponte della Via Aurelia.

Il progetto di sistemazione è condizionato dai vincoli di carattere urbanistico e storico monumentale che non consentono per tutto il tratto il rispetto dei franchi imposti dalla norma per la portata 200-ennale, ma consente comunque un significativo miglioramento delle condizioni di deflusso e del rischio idraulico residuale per le aree adiacenti.

Portata 50-ennale

Il profilo della portata 50-ennale mostra un andamento simile a quello della portata 200-ennale con livelli inferiori di circa 0.3 m rispetto a quest'ultima nel tratto di valle sino alla sez. 6, nel tratto tra la sez. 6 ed il ponte in pietra presenta valori molto prossimi a quelli della 200-ennale e inferiori mediamente di circa 1 m nel tratto di monte.

Il livello del pelo libero si mantiene al di sotto o prossimo al piano stradale lungo tutto il tratto oggetto di intervento con un franco medio superiore ad 1 m rispetto al parapetto, e, nel breve tratto interessato dal marciapiede a sbalzo, si mantiene sempre inferiore all'intradosso della struttura.

Il carico è prossimo alla sommità del parapetto lungo tutto il tratto salvo per il tratto a valle tra le sez. 2 e 6, dove la strada forma una sorta di "corda molla" per la quale sarebbero necessari parapetti molto più alti.

Nella tabella seguente si riportano le sezioni studiate ed i franchi idraulici rispettivamente per la 50-ennale e per la 200-ennale rispetto al parapetto.

Il tratto evidenziato in azzurro è oggetto di allargamento e contestuale ripristino del marciapiede a sbalzo e realizzazione nuovo fornice.

Sezione	Franco parapetto-W.S. Elev. Q=50	Franco parapetto-W.S. Elev. Q=200	Franco intradosso sbalzo - W.S. Elev. Q=50	Franco intradosso sbalzo - W.S. Elev. Q=200
n	(m)	(m)	(m)	(m)
1	3.13	2.85		
1.1	3.21	2.87		
1.2	3.28	2.9		
2	3.33	2.93		
2.1	1.35	1		
2.2	0.8	0.48		
3	0.87	0.43		
4	0.87	0.27		
5	1.21	0.9		
5.1	1.19	0.74		
6	1.26	1.54		
7	2.01	1.81		
8	1.61	1.98		
8.1	3.38	3.34	1.38	1.14
9	3.48	3.41	1.48	1.21
10	3.28	3.15	1.29	0.96
11	2.78	2.68	1.07	0.77
11.1	2.53	2.23	0.78	0.28
11.2	2.15	1.96	0.3	0
12	1.49	0.68	0	-
13	2.04	1.14	0	-
14	1.68	0.84		
15	1.28	0.39		
16	1.01	0.13		
17	1.05	0.17		
18	1.05	0.18		
18.1	1.48	0.36		
18.2	1.54	0.43		
19	1.3	0.39		
20	1.15	0.36		
21	0.99	0.44		
22	0.87	0.41		
23	1.11	0.68		
24	1.15	0.71		
25	1.24	0.89		
26	1.4	1.18		
26.1	2.02	1.94		
27	2.76	2.58		

Figura 6-1: Franchi idraulici

7 ASPETTI DI MORFODINAMICA FLUVIALE

Per quanto riguarda la stabilità del fondo alveo la sistemazione ha mantenuto sostanzialmente le pendenze attuali senza alterazioni significative dell'assetto morfodinamico dello stesso.

Al fine di comprendere la tendenza evolutiva dell'alveo nelle diverse configurazioni di progetto, è stato identificato l'assetto di equilibrio del fondo del tratto di corso d'acqua oggetto di intervento.

La determinazione dei profili di equilibrio è stata effettuata secondo la procedura semplificata riportata nella normativa DGR 226/2009.

Tale procedura prevede il calcolo della portata solida Q_S in ingresso nella sezione di monte per i diversi valori della portata liquida Q considerati assumendo le condizioni di moto uniforme locale e mantenendo costante lungo tutto il tratto la portata solida in ingresso.

Note le portate liquida e solida, a partire dalla sezione di valle dove sono note la portata Q e il carico totale H, è stato determinato l'assetto di equilibrio integrando l'equazione del moto attraverso i seguenti passi:

- calcolo iterativo della profondità Y_i che soddisfa contemporaneamente la conservazione delle portate liquide e solide (soluzione stazionaria);
- calcolo della quota del fondo di equilibrio essendo noto il carico totale di partenza:
  $$\eta i = Hi - Yi - \frac{Q^2}{2g \cdot \Omega^2}$$
- calcolo della perdita di carico per unità di lunghezza in funzione della profondità Yi;
- calcolo del carico totale nella sezione precedente: $H_{i-1} = H_i + j_i \cdot \Delta x_i$ dove Δx_i è la distanza tra le due sezioni;
- ripetizione dei passi precedenti fino a raggiungere la sezione successiva.

Il calcolo dei profili è stato effettuato con il valore della portata "indice" che risulta, con buona approssimazione, la *portata morfodinamicamente significativa* in quanto in grado di riprodurre gli effetti morfodinamici degli eventi (idrogramma) di piena che, nel tempo, hanno condotto all'attuale configurazione del fondo alveo.

Ai fini del calcolo si è assunto quale valore rappresentativo del diametro dei granuli è stato assunto il valore d=0.01 m risultante dalle prime analisi sul materiale costituente l'alveo (ciottoli).

Il valore della portata indice del torrente Petronio alla foce è stato ricavato in base alla procedura contenuta nella DGR 357/2008 a partire dal valore della portata 200-ennale del Piano di Bacino.

Secondo la DGR 357/2008 la portata di piena con tempo di ritorno T è esprimibile come il prodotto della poprtata indice Qi per un fattore di crescita X_T:

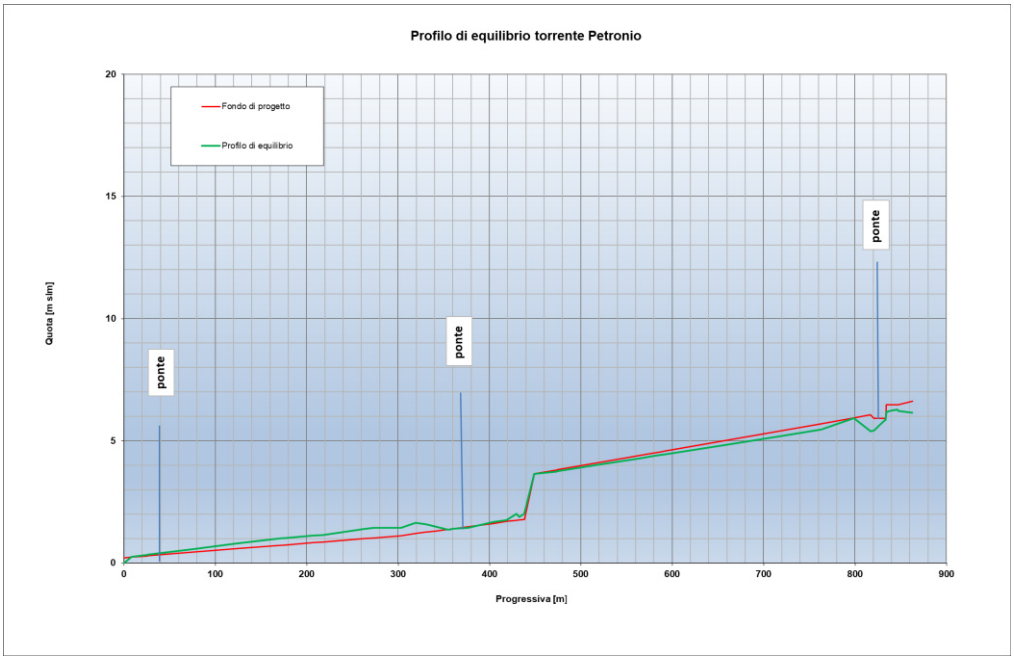
$$Q_T = Qi \cdot X_T$$

Il fattore di crescita X_T è tabellato in funzione della zona di appartenenza del bacino e del tempo di ritorno T.

Il torrente Petronio appartiene alla Regione C (appennino NO e bacini tirrenici) per la quale il fattore X_T per il priodo di ritornio di 200 anni vale 5.17.

In base a tali assunzioni, si ricava un valore di 142 m^3/s.

La tendenza evolutiva del tratto di corso d'acqua analizzato è stata sintetizzata attraverso l'elaborazione dei grafici seguenti che mostrano, per il valore della portata indice, per la configurazione di progetto, l'andamento del fondo in relazione al fondo di riferimento individuato come di equilibrio.



Il grafico mostra come la sistemazione di progetto risulti prossima al profilo di equilibrio per il tratto in esame e risulti quindi stabile nel tempo.

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'intervento di sistemazione del tratto terminale del torrente Petronio si inserisce in un contesto fortemente urbanizzato con numerosi vincoli dovuti alla presenza di edifici su entrambe le sponde e della viabilità principale in sponda destra (Via Petronio) lungo tutto il tratto e della viabilità secondaria (Via Giuseppe Verdi) nel tratto terminale in sponda sinistra, oltre alla presenza del ponte in pietra pedonale che deve essere comunque mantenuto in quanto manufatto storico.

Tali vincoli condizionano significativamente le scelte progettuali, limitando la possibilità di raggiungere i franchi indicati dalla normativa per il deflusso della portata 200-ennale.

In tale contesto gli interventi di sistemazione sono stati ottimizzati al fine di garantire il corretto smaltimento della portata 50-ennale con franchi adeguati e della portata 200-ennale con franchi minimi.

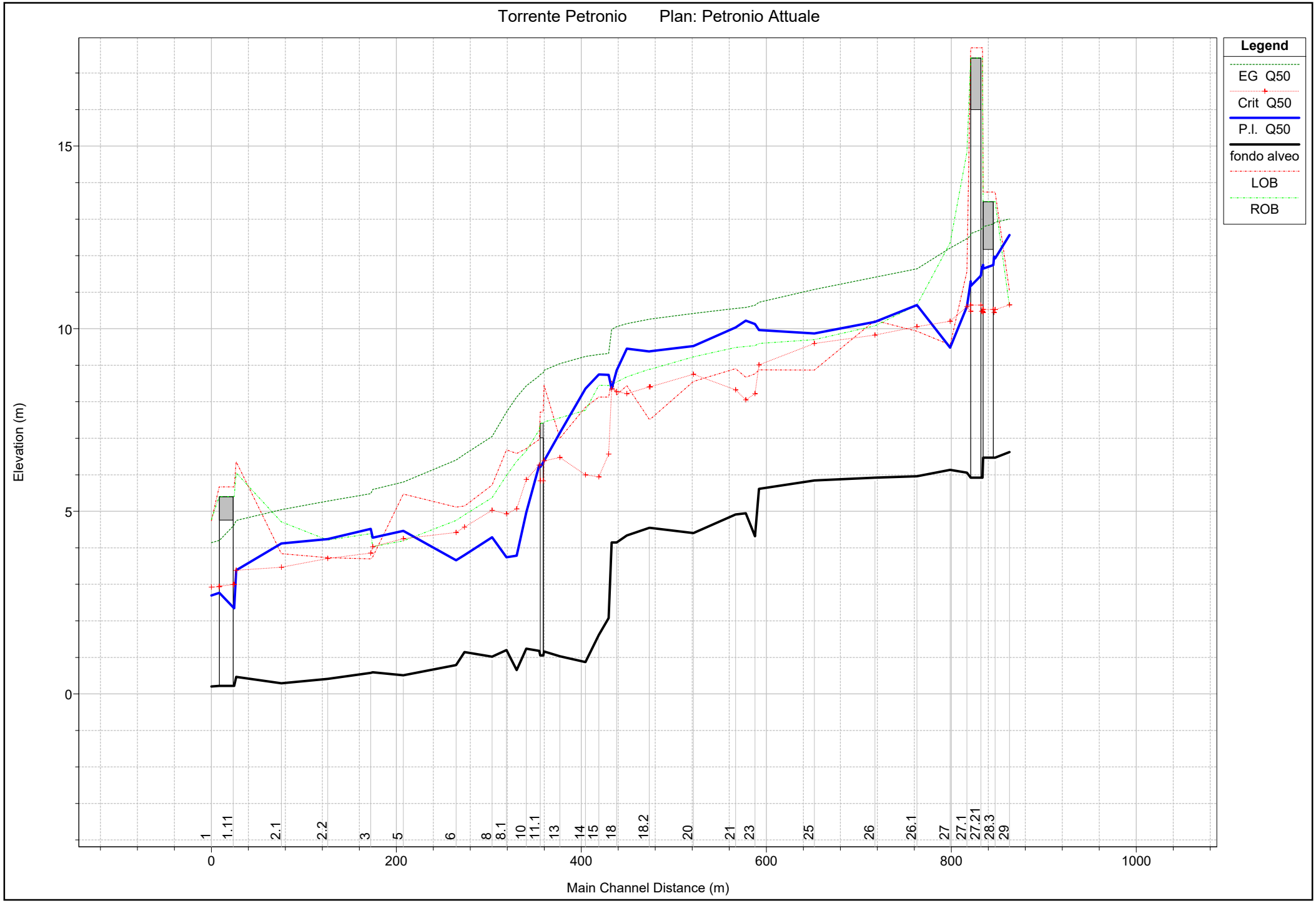
In ogni caso la sistemazione consente un sensibile miglioramento delle condizioni attuali con abbassamento di oltre un metro del pelo libero per il deflusso della portata 200-ennale e significativa riduzione del rischio residuale per le aree urbane adiacenti.

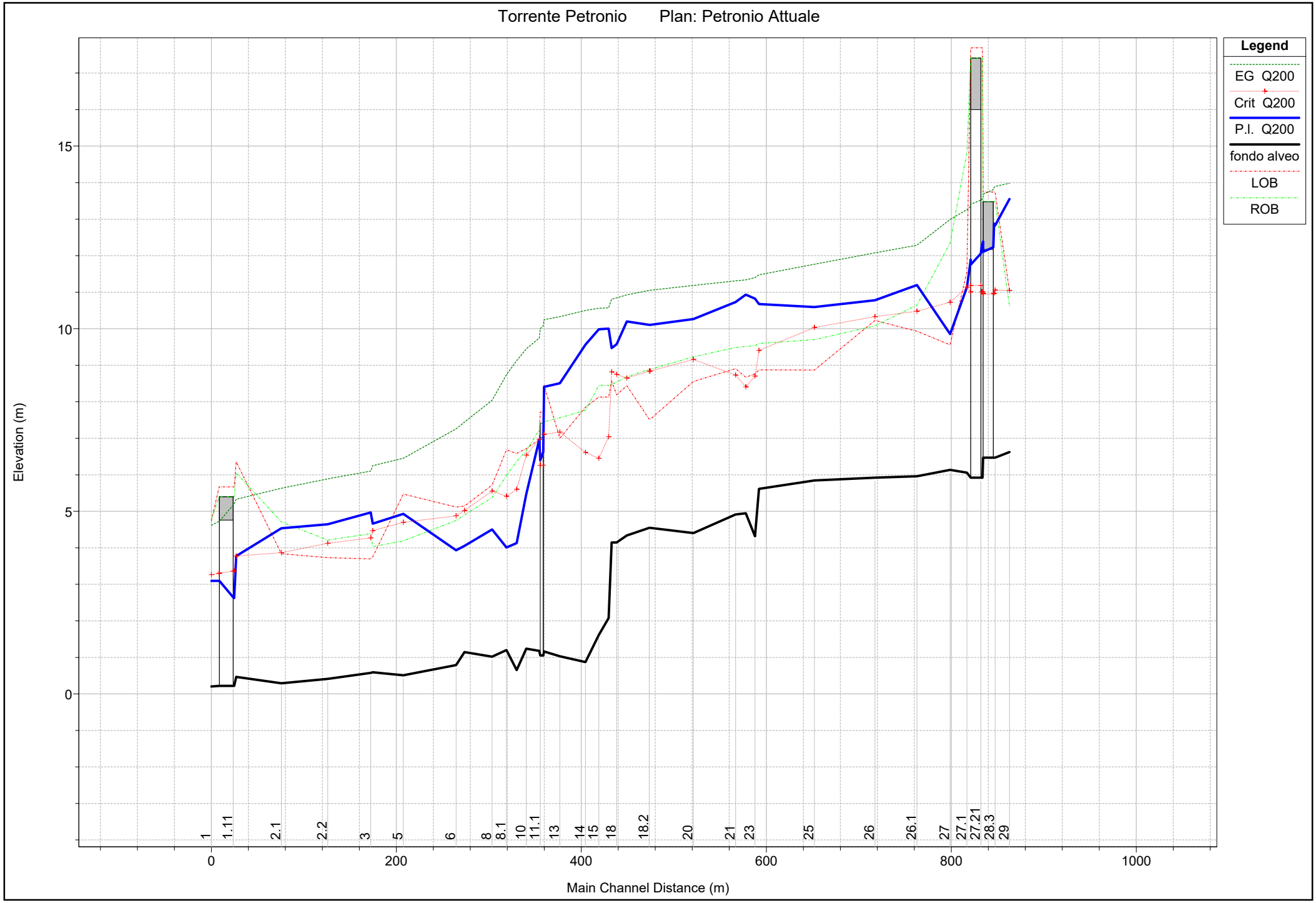
Nell'impossibilità di ulteriori allargamenti e/o approfondimenti del fondo alveo l'unico intervento per il raggiungimento dei franchi di norma sarebbe quello di rialzare ulteriormente i parapetti su entrambe le sponde nel tratto di valle e sulla sponda destra nel tratto a monte; tale soluzione peggiorerebbe la percezione scenica, panoramica e paesaggistica della zona mediante la realizzazione di opere in c.a. molto impattanti, motivo per il quale si è scelto di limitare a non più di 1.6 m rispetto al piano viabile l'altezza dei parapetti.

ALLEGATO A

VERIFICHE IDRAULICHE STATO ATTUALE

NB: Le quote a cui si riferiscono le Bank station nella configurazione di stato attuale (ROB-LOB) corrispondono alle sommità degli argini esistenti.


Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
Legend
EG Q50
Crit Q50
P.I. Q50
fondo alveo
LOB
ROB
Elevation (m)
15
10
5
0
0
200
400
600
800
1000
Main Channel Distance (m)
1
1.11
2.1
2.2
3
5
6
8
8.1
10
11.1
13
14
15
18
18.2
20
21
23
25
26
26.1
27
27.1
27.21
28.3
29


Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
Legend
EG Q200
Crit Q200
P.I. Q200
fondo alveo
LOB
ROB
Elevation (m)
15
10
5
0
0
200
400
600
800
1000
Main Channel Distance (m)
1
1.11
2.1
2.2
3
5
6
8
8.1
10
11.1
13
14
15
18
18.2
20
21
23
25
26
26.1
27
27.1
27.21
28.3
29

HEC-RAS Plan: Petronio Attuale River: Petronio Reach: Terminale Profile: Q50

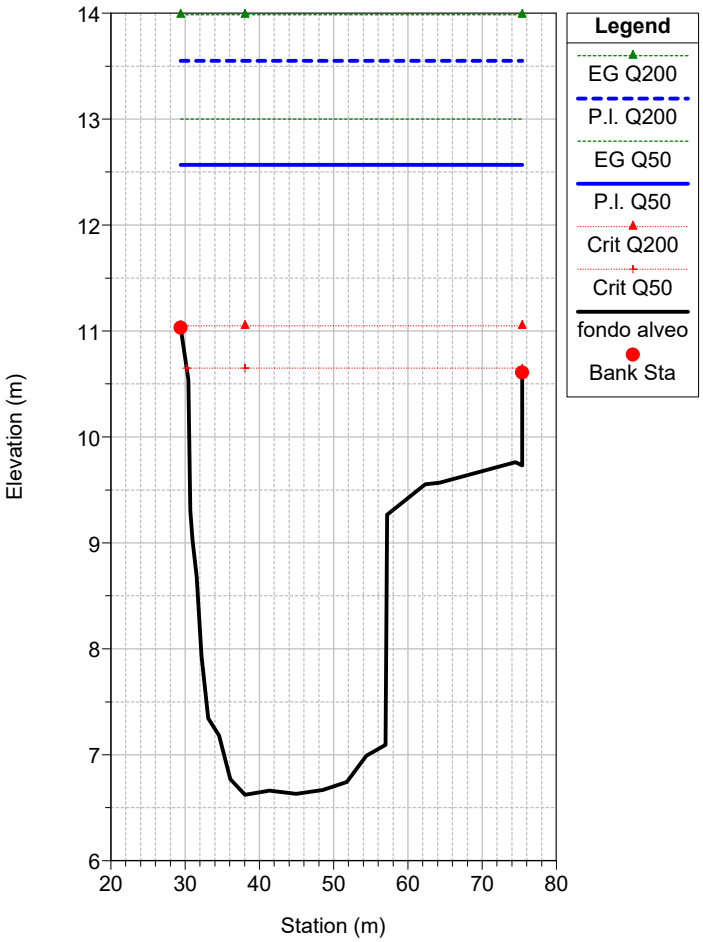
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Terminale	1	Q50	601.00	0.21	2.69	2.93	4.14	0.010252	5.33	112.83	53.42	1.17
Terminale	1.1	Q50	601.00	0.22	2.76	2.94	4.20	0.009167	5.31	113.18	49.75	1.12
Terminale	1.11		Bridge									
Terminale	1.2	Q50	601.00	0.22	2.35	3.00	4.63	0.018804	6.70	89.75	48.36	1.57
Terminale	2	Q50	601.00	0.47	3.38	3.38	4.75	0.007377	5.17	116.22	42.63	1.00
Terminale	2.1	Q50	601.00	0.29	4.12	3.47	5.04	0.003793	4.26	141.06	41.08	0.73
Terminale	2.2	Q50	601.00	0.41	4.24	3.71	5.28	0.004362	4.53	132.78	38.73	0.78
Terminale	3	Q50	601.00	0.57	4.52	3.86	5.48	0.003856	4.35	138.21	38.89	0.74
Terminale	4	Q50	601.00	0.59	4.28	4.03	5.60	0.005776	5.09	118.06	35.69	0.89
Terminale	5	Q50	601.00	0.51	4.47	4.25	5.80	0.006242	5.12	117.35	36.21	0.91
Terminale	6	Q50	601.00	0.79	3.66	4.42	6.40	0.017123	7.34	81.94	33.15	1.49
Terminale	7	Q50	601.00	1.15	3.80	4.57	6.56	0.017527	7.36	81.64	33.02	1.49
Terminale	8	Q50	601.00	1.02	4.29	5.03	7.05	0.015081	7.36	81.65	29.97	1.42
Terminale	8.1	Q50	601.00	1.20	3.74	4.93	7.72	0.026836	8.83	68.03	30.19	1.88
Terminale	9	Q50	601.00	0.66	3.79	5.07	8.13	0.028320	9.23	65.14	26.29	1.87
Terminale	10	Q50	601.00	1.24	4.97	5.87	8.43	0.016331	8.24	72.90	20.21	1.39
Terminale	11	Q50	601.00	1.18	6.27	6.27	8.71	0.009165	6.92	86.90	17.98	1.00
Terminale	11.1	Q50	601.00	1.05	6.21	5.84	8.75	0.011545	7.05	85.24	11.96	0.99
Terminale	11.2	Q50	601.00	1.05	6.35	5.84	8.79	0.011535	6.93	86.75	10.62	0.96
Terminale	12	Q50	601.00	1.16	6.38	6.38	8.86	0.009063	6.98	86.13	17.43	1.00
Terminale	13	Q50	601.00	1.03	7.15	6.47	9.04	0.005942	6.10	98.59	17.76	0.83
Terminale	14	Q50	601.00	0.87	8.36	6.00	9.24	0.002209	4.16	144.51	22.09	0.52
Terminale	15	Q50	601.00	1.62	8.75	5.94	9.30	0.001342	3.29	182.74	28.99	0.42
Terminale	16	Q50	601.00	2.07	8.74	6.57	9.32	0.001593	3.38	177.78	33.01	0.47
Terminale	17	Q50	601.00	4.15	8.35	8.35	9.98	0.007476	5.65	106.33	32.81	1.00
Terminale	18	Q50	601.00	4.15	8.86	8.28	10.05	0.004543	4.84	124.34	32.42	0.79
Terminale	18.1	Q50	601.00	4.34	9.45	8.22	10.14	0.002271	3.67	163.69	41.01	0.59
Terminale	18.2	Q50	601.00	4.55	9.38	8.41	10.26	0.003044	4.16	144.34	35.89	0.66
Terminale	19	Q50	601.00	4.55	9.38	8.41	10.26	0.003034	4.16	144.49	35.89	0.66
Terminale	20	Q50	601.00	4.40	9.52	8.75	10.42	0.003389	4.19	143.48	39.42	0.70
Terminale	21	Q50	601.00	4.91	10.03	8.33	10.55	0.001544	3.20	187.86	42.61	0.49
Terminale	22	Q50	601.00	4.95	10.22	8.05	10.58	0.000966	2.67	225.17	48.16	0.39
Terminale	23	Q50	601.00	4.32	10.13	8.22	10.64	0.001455	3.17	189.53	41.23	0.47
Terminale	24	Q50	601.00	5.61	9.96	9.01	10.72	0.002812	3.87	155.39	42.03	0.64
Terminale	25	Q50	601.00	5.84	9.87	9.59	11.07	0.004804	4.88	125.65	41.47	0.85
Terminale	26	Q50	601.00	5.92	10.19	9.82	11.41	0.005334	4.89	122.81	37.95	0.87
Terminale	26.1	Q50	601.00	5.96	10.65	10.06	11.64	0.003814	4.41	136.78	41.13	0.76
Terminale	27	Q50	601.00	6.14	9.48	10.21	12.21	0.014493	7.32	82.09	30.33	1.42
Terminale	27.1	Q50	601.00	6.06	10.61	10.61	12.47	0.006221	6.04	99.53	36.91	1.00
Terminale	27.2	Q50	601.00	5.92	11.30	10.48	12.55	0.004471	4.95	121.47	30.00	0.74
Terminale	27.21		Bridge									
Terminale	27.3	Q50	601.00	5.92	11.67	10.48	12.74	0.003524	4.57	131.51	30.00	0.66
Terminale	28	Q50	601.00	5.92	11.68	10.48	12.74	0.003515	4.57	131.62	30.00	0.66
Terminale	28.1	Q50	601.00	6.47	11.75	10.45	12.75	0.003159	4.43	135.68	30.27	0.63
Terminale	28.11		Bridge									
Terminale	28.2	Q50	601.00	6.47	11.97	10.45	12.89	0.002770	4.24	141.82	30.27	0.59
Terminale	28.3	Q50	601.00	6.47	11.92	10.52	12.92	0.003073	4.41	136.26	29.50	0.62
Terminale	29	Q50	601.00	6.62	12.57	10.65	13.00	0.001292	2.92	206.07	46.00	0.44

HEC-RAS Plan: Petronio Attuale River: Petronio Reach: Terminale Profile: Q200

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)	
Terminale	1	Q200	734.00	0.21	3.10	3.27	4.62	0.008707	5.46	134.43	53.68	1.10
Terminale	1.1	Q200	734.00	0.22	3.09	3.30	4.73	0.008890	5.67	129.54	49.93	1.12
Terminale	1.11		Bridge									
Terminale	1.2	Q200	734.00	0.22	2.62	3.36	5.21	0.017932	7.12	103.10	48.45	1.56
Terminale	2	Q200	734.00	0.47	3.77	3.77	5.33	0.007207	5.53	132.81	42.65	1.00
Terminale	2.1	Q200	734.00	0.29	4.53	3.87	5.63	0.003956	4.64	158.14	41.10	0.76
Terminale	2.2	Q200	734.00	0.41	4.64	4.13	5.89	0.004590	4.94	148.49	38.73	0.81
Terminale	3	Q200	734.00	0.57	4.97	4.27	6.10	0.003970	4.71	155.68	38.89	0.75
Terminale	4	Q200	734.00	0.59	4.66	4.47	6.25	0.006058	5.58	131.80	35.69	0.92
Terminale	5	Q200	734.00	0.51	4.93	4.70	6.45	0.006160	5.46	134.33	36.51	0.91
Terminale	6	Q200	734.00	0.79	3.93	4.88	7.26	0.018422	8.08	90.89	33.21	1.56
Terminale	7	Q200	734.00	1.15	4.05	5.03	7.45	0.019228	8.16	90.00	33.07	1.58
Terminale	8	Q200	734.00	1.02	4.50	5.56	8.04	0.017756	8.33	88.13	30.11	1.55
Terminale	8.1	Q200	734.00	1.20	4.01	5.41	8.74	0.028102	9.63	76.22	30.43	1.94
Terminale	9	Q200	734.00	0.66	4.13	5.60	9.13	0.028241	9.90	74.15	26.31	1.88
Terminale	10	Q200	734.00	1.24	5.47	6.54	9.45	0.016523	8.83	83.11	20.22	1.39
Terminale	11	Q200	734.00	1.18	6.96	6.96	9.74	0.009324	7.38	99.45	18.07	1.00
Terminale	11.1	Q200	734.00	1.05	6.40	6.26	10.00	0.017226	8.41	87.31	10.08	1.16
Terminale	11.2	Q200	734.00	1.05	6.63	6.26	10.08	0.018134	8.22	89.26	6.89	1.11
Terminale	12	Q200	734.00	1.16	8.41	7.11	10.25	0.005125	6.01	122.20	18.16	0.74
Terminale	13	Q200	734.00	1.03	8.51	7.17	10.33	0.004853	5.98	122.75	17.76	0.73
Terminale	14	Q200	734.00	0.87	9.56	6.61	10.50	0.001965	4.29	171.17	22.09	0.49
Terminale	15	Q200	734.00	1.62	9.99	6.45	10.56	0.001189	3.36	218.68	28.99	0.39
Terminale	16	Q200	734.00	2.07	10.00	7.04	10.57	0.001268	3.34	219.52	33.01	0.41
Terminale	17	Q200	734.00	4.15	9.47	8.82	10.81	0.004466	5.13	143.10	32.82	0.78
Terminale	18	Q200	734.00	4.15	9.57	8.75	10.84	0.003950	4.99	147.49	32.45	0.74
Terminale	18.1	Q200	734.00	4.34	10.20	8.65	10.93	0.001993	3.78	194.38	41.01	0.55
Terminale	18.2	Q200	734.00	4.55	10.10	8.84	11.05	0.002732	4.31	170.37	35.89	0.63
Terminale	19	Q200	734.00	4.55	10.11	8.84	11.05	0.002725	4.30	170.51	35.89	0.63
Terminale	20	Q200	734.00	4.40	10.26	9.16	11.18	0.002849	4.25	172.62	39.42	0.65
Terminale	21	Q200	734.00	4.91	10.73	8.73	11.31	0.001467	3.38	217.47	42.61	0.48
Terminale	22	Q200	734.00	4.95	10.93	8.41	11.34	0.000916	2.83	259.33	48.18	0.39
Terminale	23	Q200	734.00	4.32	10.82	8.71	11.40	0.001409	3.36	218.21	41.23	0.47
Terminale	24	Q200	734.00	5.61	10.68	9.40	11.47	0.002421	3.96	185.41	42.03	0.60
Terminale	25	Q200	734.00	5.84	10.59	10.03	11.77	0.003741	4.84	155.91	42.35	0.76
Terminale	26	Q200	734.00	5.92	10.78	10.33	12.08	0.004739	5.05	145.37	38.24	0.83
Terminale	26.1	Q200	734.00	5.96	11.19	10.48	12.28	0.003521	4.63	159.41	41.88	0.74
Terminale	27	Q200	734.00	6.14	9.85	10.73	12.99	0.014288	7.85	93.61	31.14	1.43
Terminale	27.1	Q200	734.00	6.06	11.14	11.14	13.26	0.006103	6.45	113.74	37.38	1.00
Terminale	27.2	Q200	734.00	5.92	11.89	11.01	13.35	0.004622	5.35	137.32	30.00	0.75
Terminale	27.21		Bridge									
Terminale	27.3	Q200	734.00	5.92	12.30	11.01	13.55	0.003686	4.95	148.21	30.00	0.67
Terminale	28	Q200	734.00	5.92	12.30	11.01	13.55	0.003677	4.95	148.33	30.00	0.67
Terminale	28.1	Q200	734.00	6.47	12.39	10.97	13.56	0.003294	4.79	153.10	30.27	0.65
Terminale	28.11		Bridge									
Terminale	28.2	Q200	734.00	6.47	12.88	10.97	13.87	0.002577	4.41	166.47	30.27	0.57
Terminale	28.3	Q200	734.00	6.47	12.83	11.06	13.90	0.002851	4.58	160.14	29.50	0.60
Terminale	29	Q200	734.00	6.62	13.55	11.05	13.98	0.001043	2.92	251.27	46.00	0.40

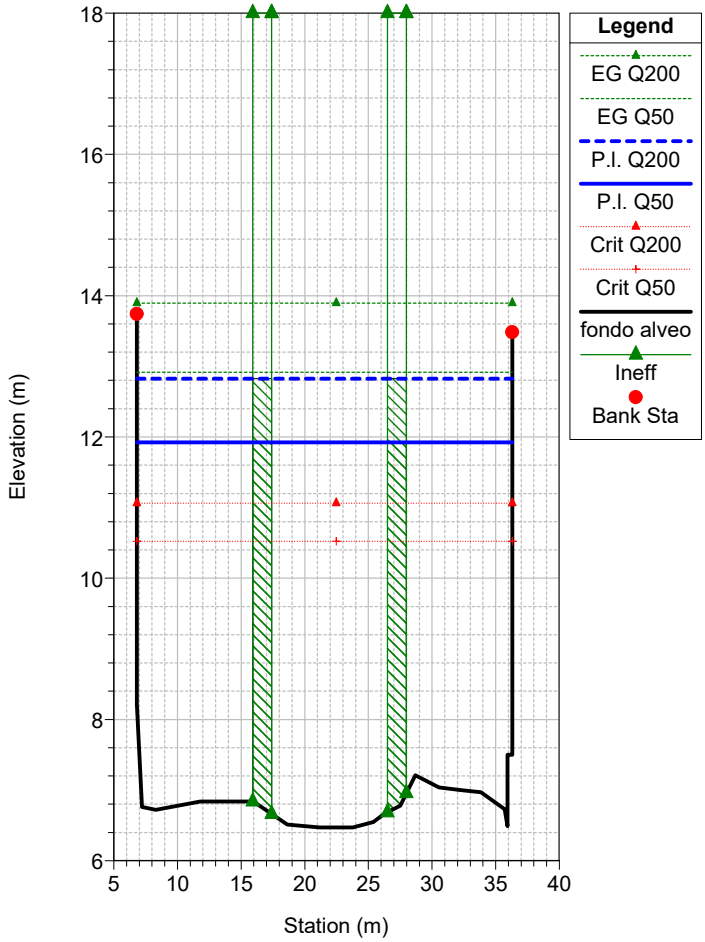
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale

RS = 29 29



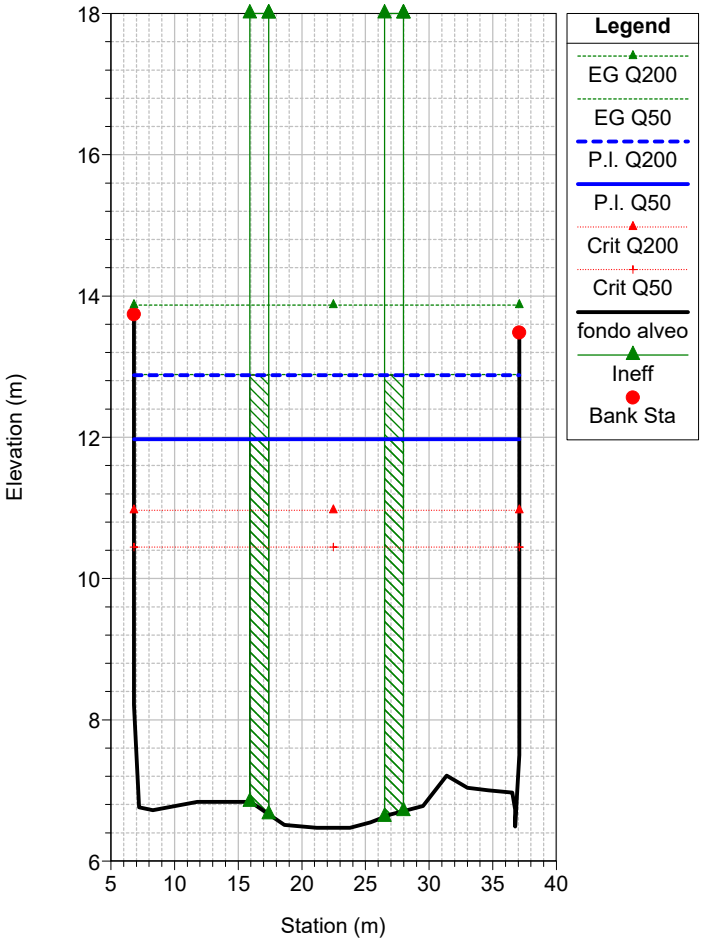
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale

RS = 28.3 28.3



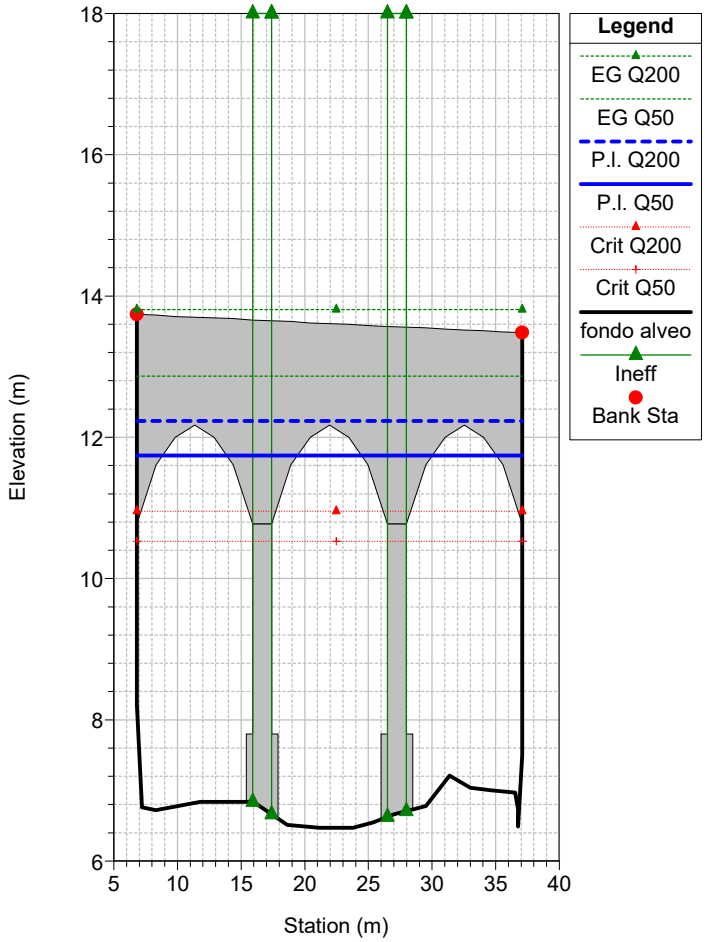
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale

RS = 28.2 28.2

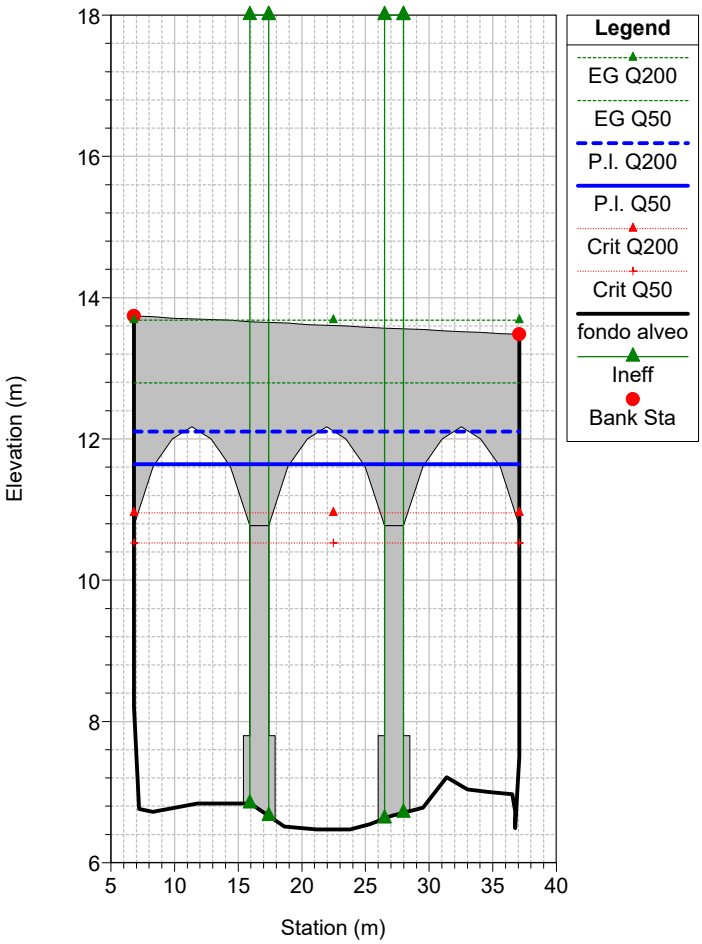


Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale

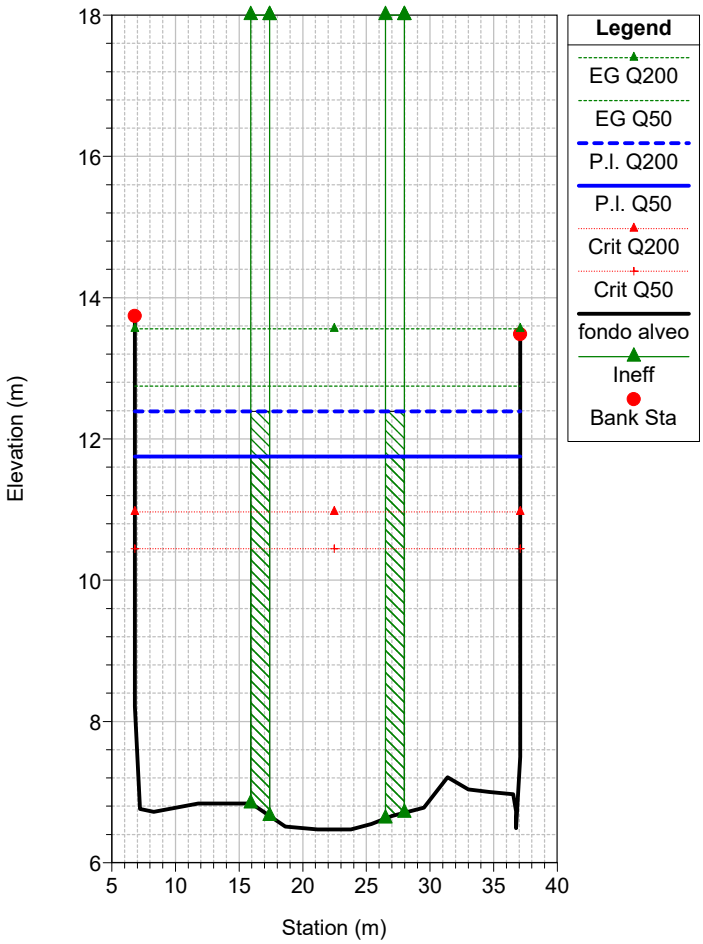
RS = 28.11 BR



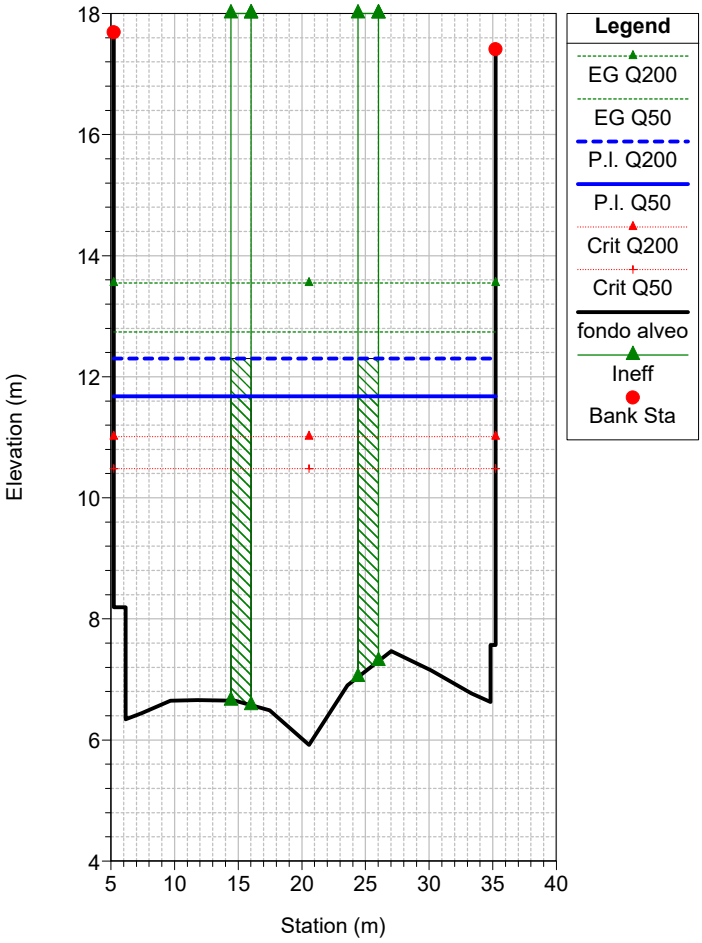
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 28.11 BR



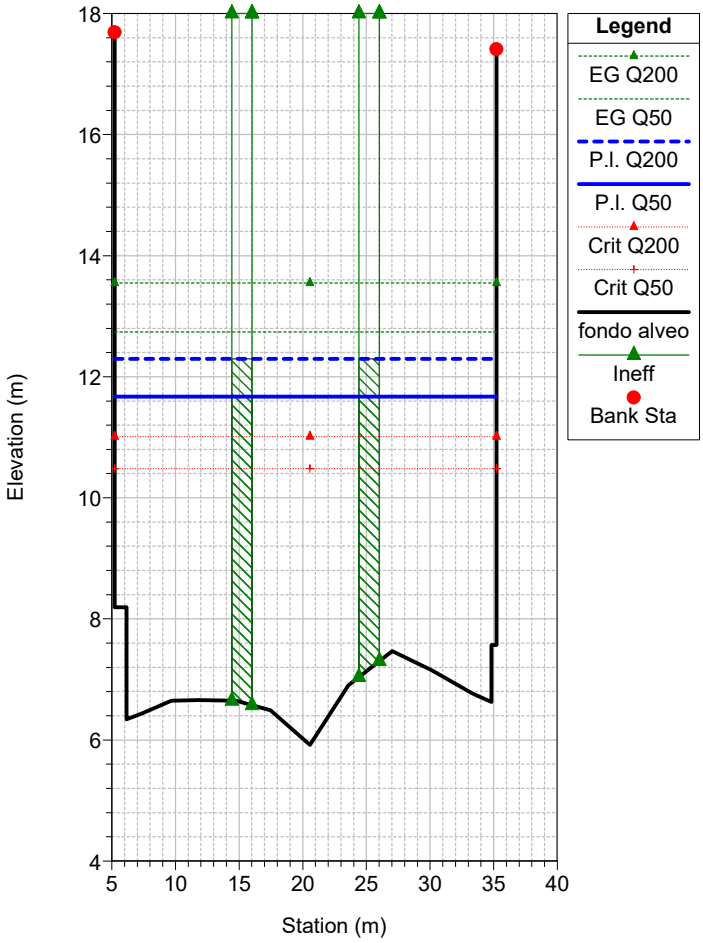
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 28.1 28.1



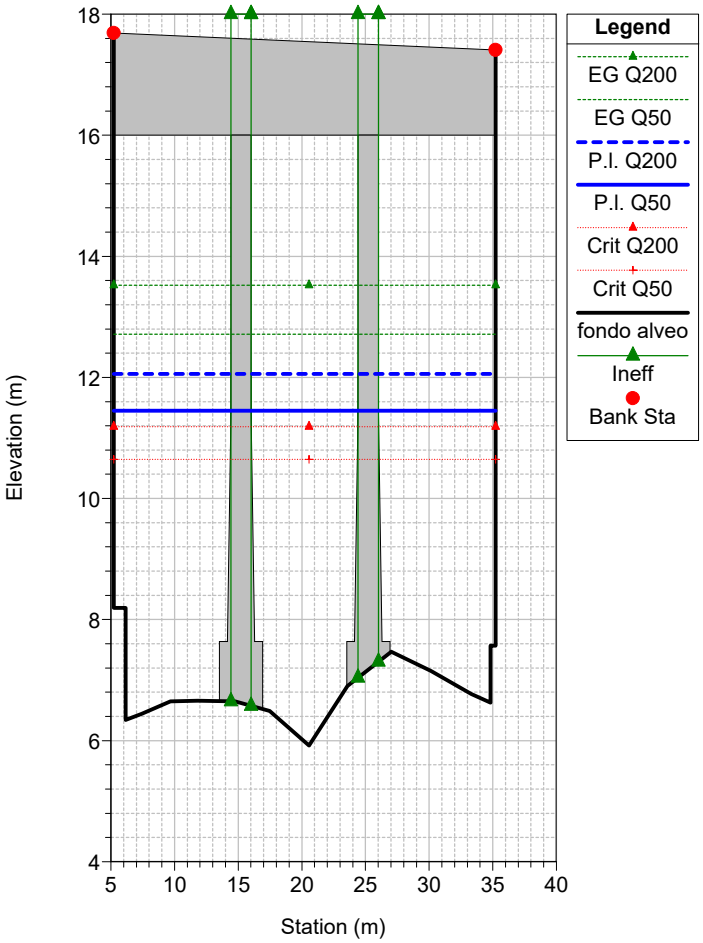
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 28 28



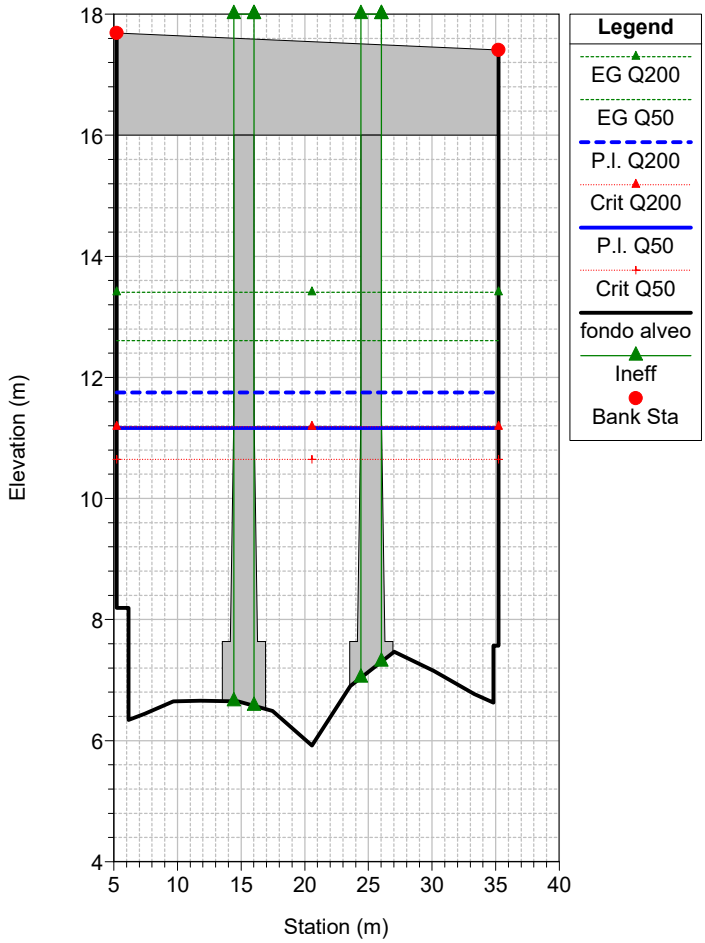
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 27.3 27.3



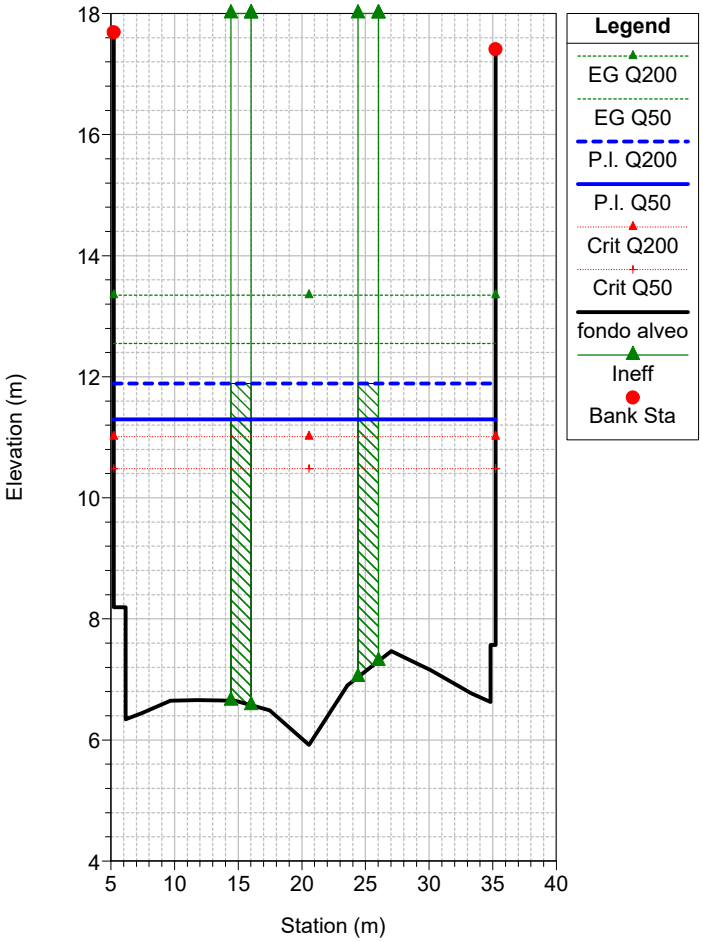
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 27.21 BR



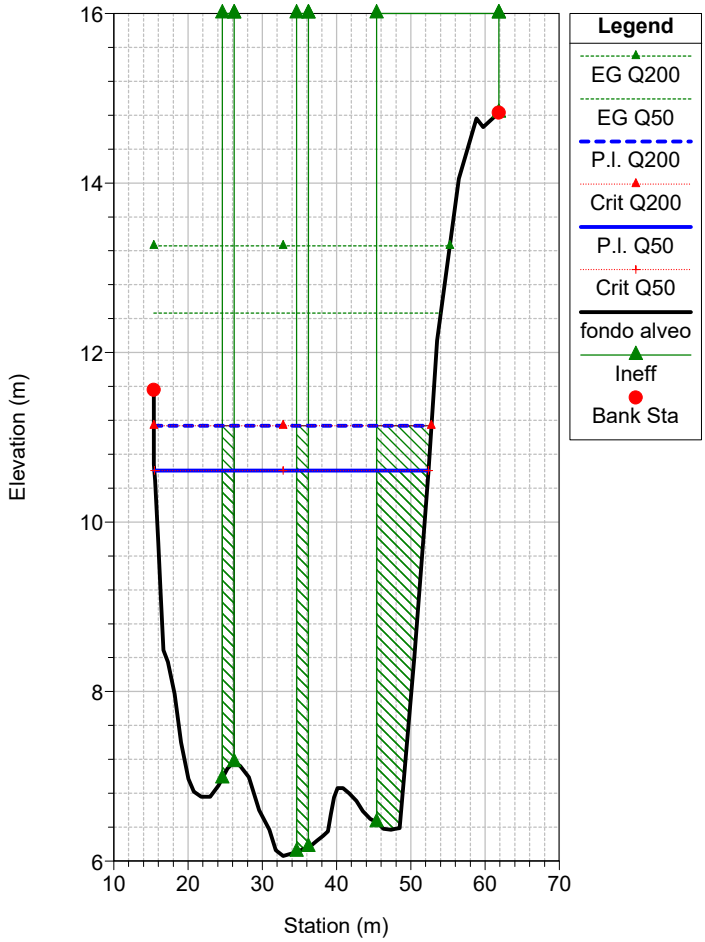
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 27.21 BR



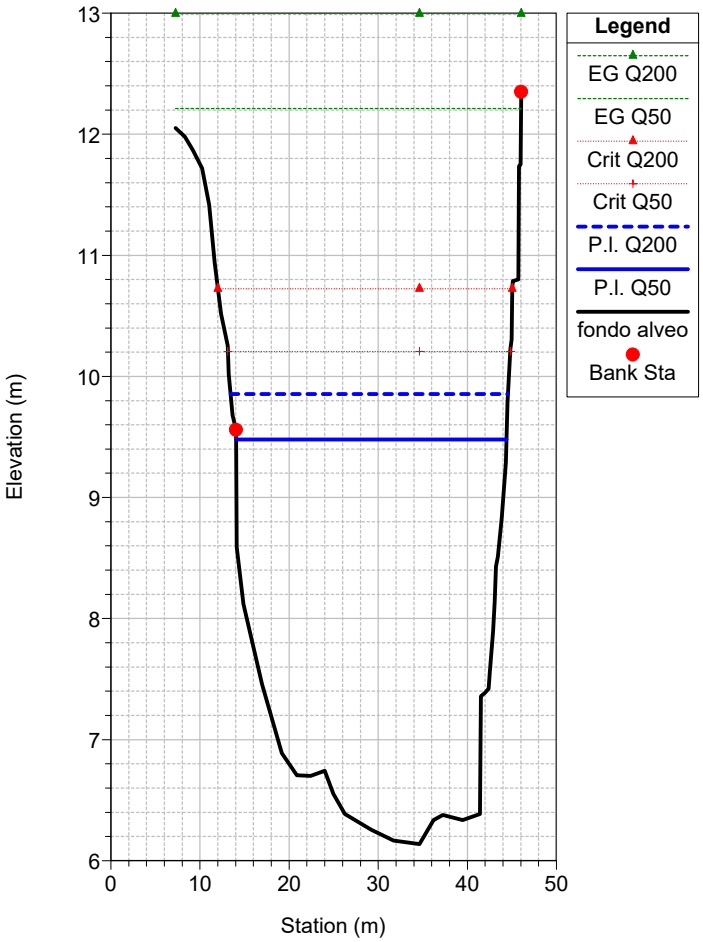
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 27.2 27.2



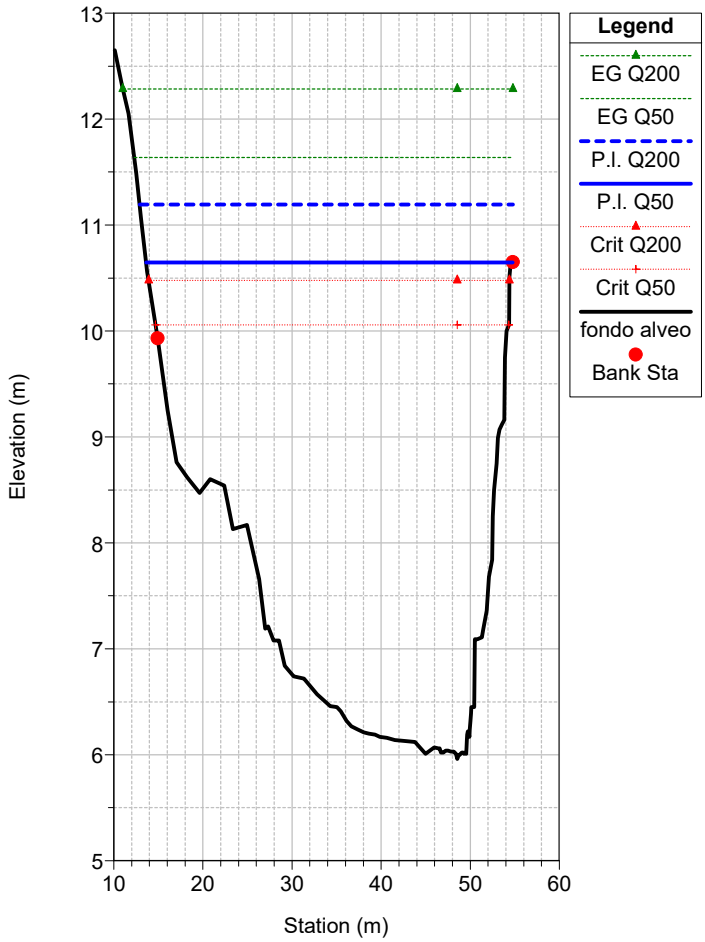
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 27.1 27.1



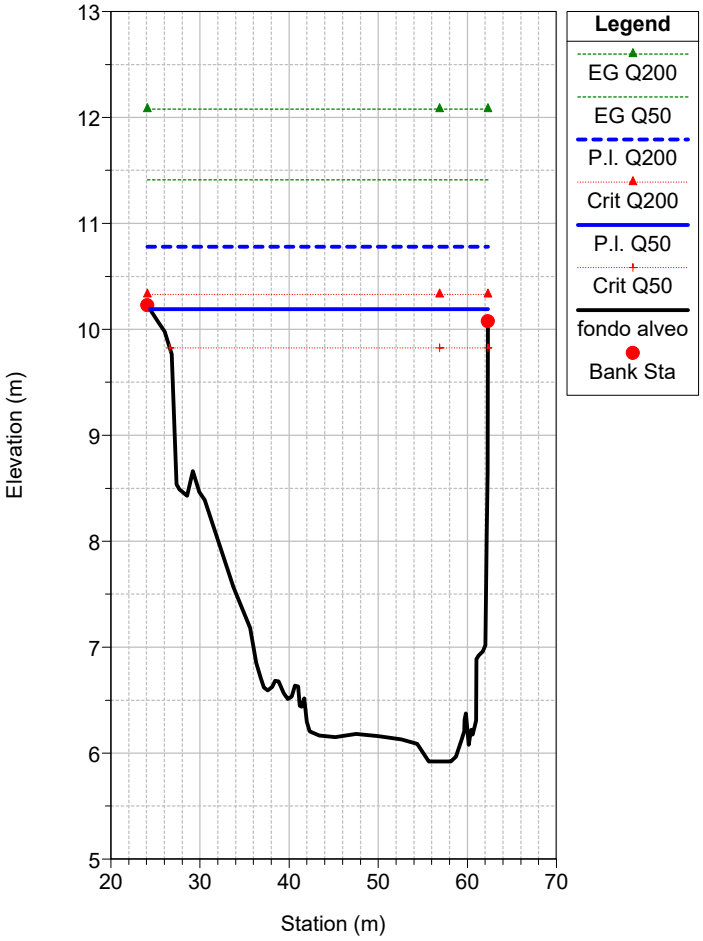
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 27 27



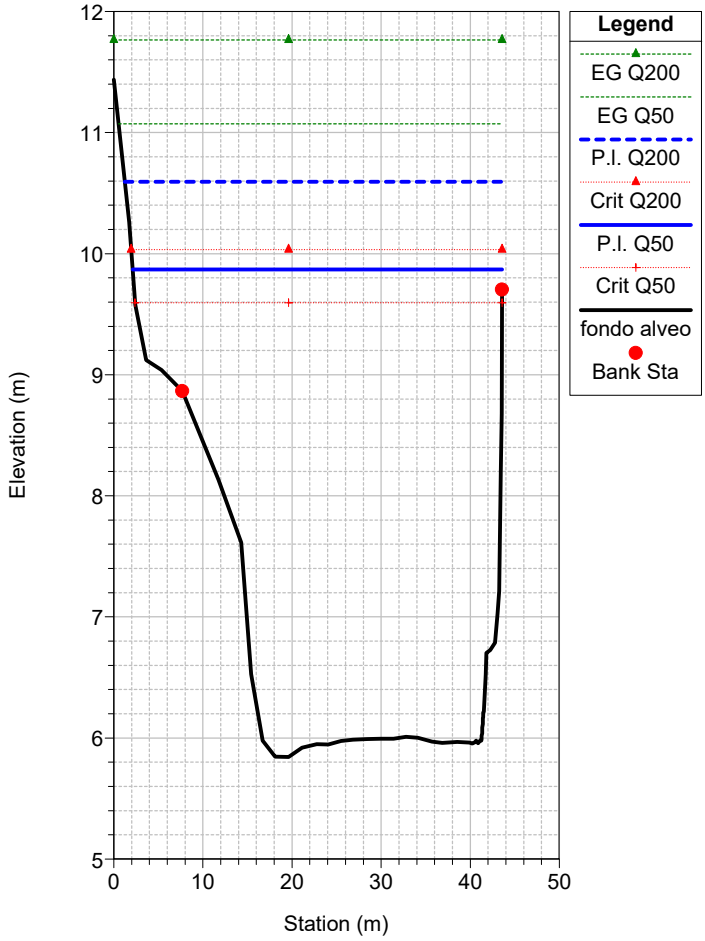
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 26.1 26.1



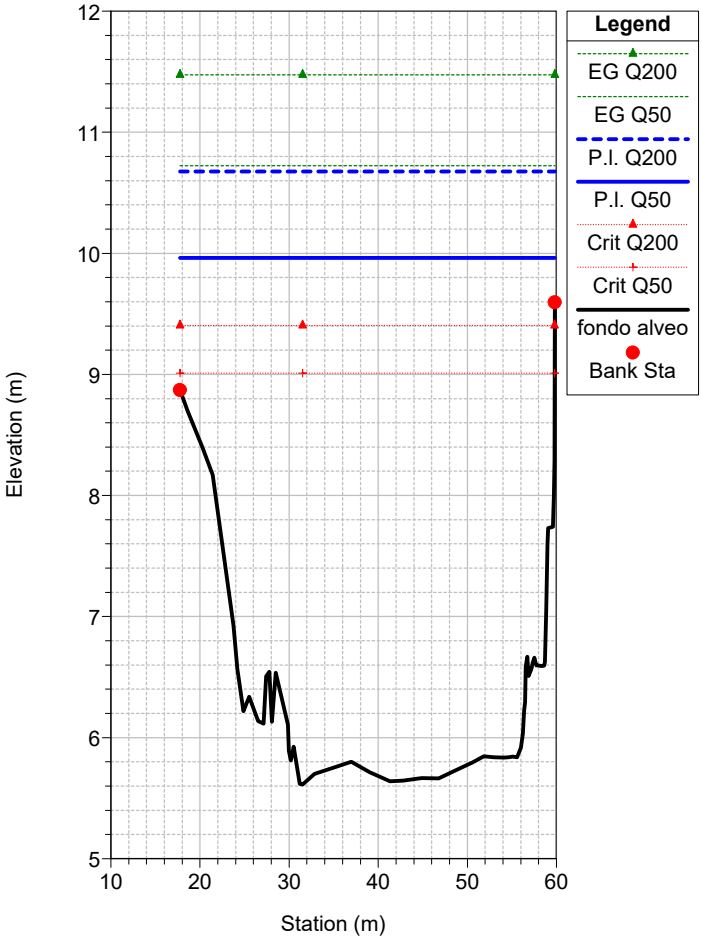
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 26 26



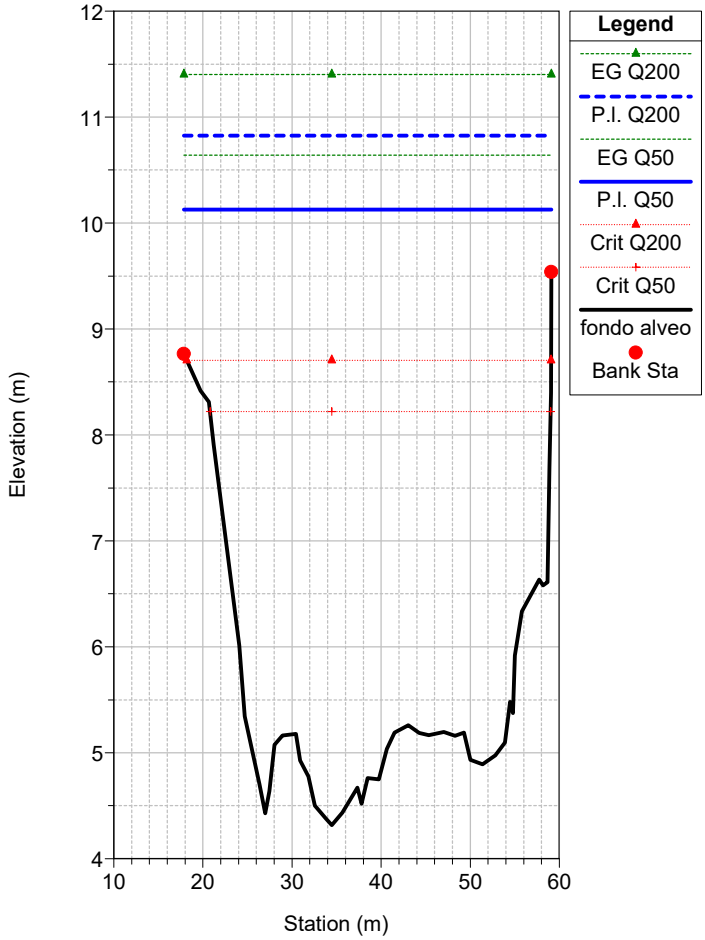
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 25 25



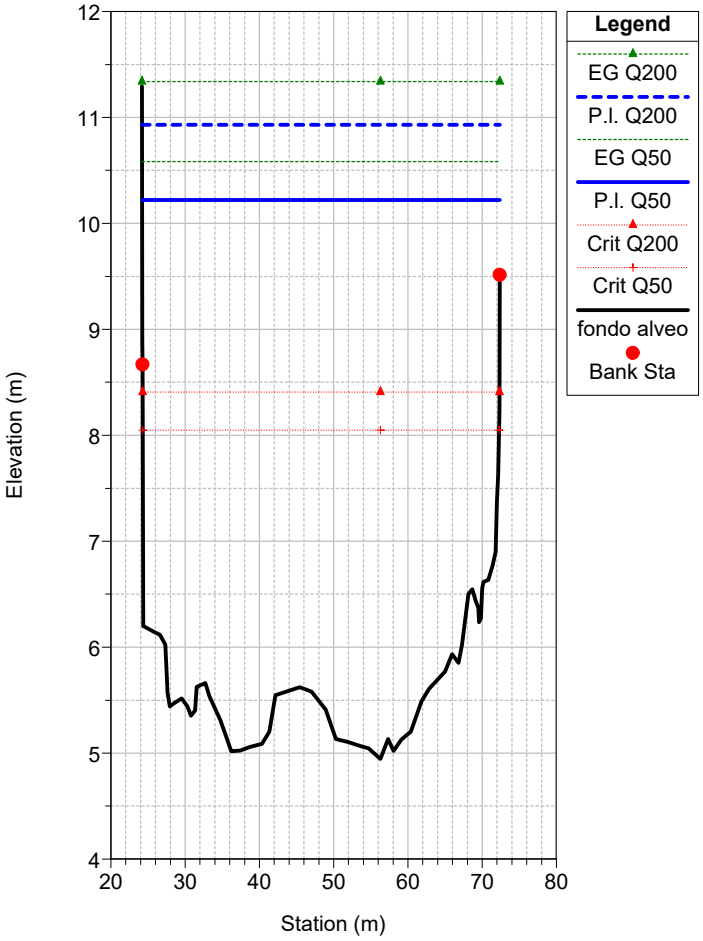
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 24 24



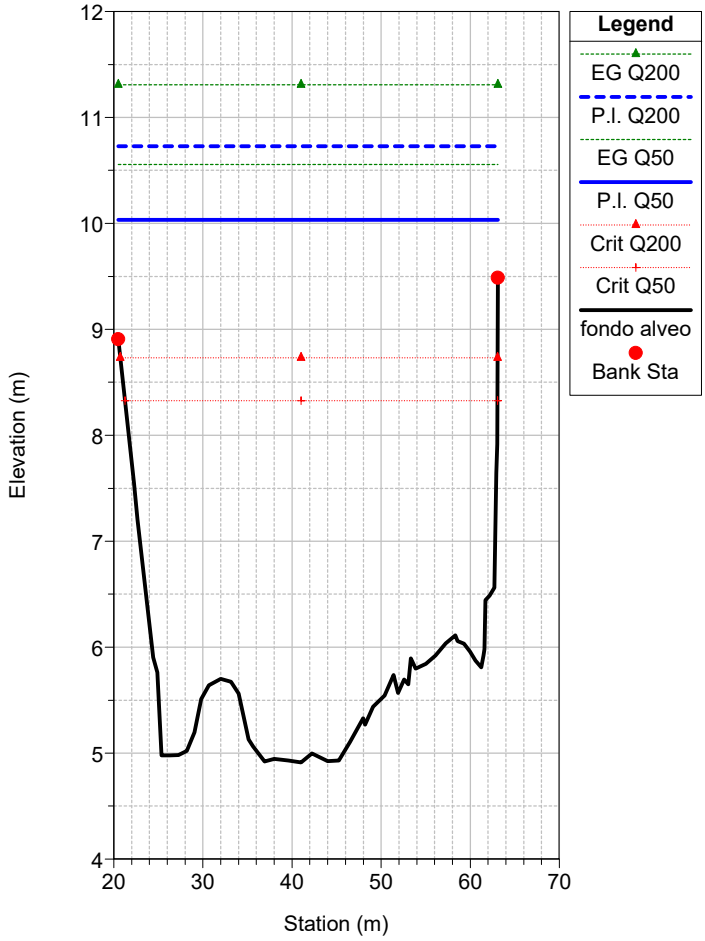
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 23 23



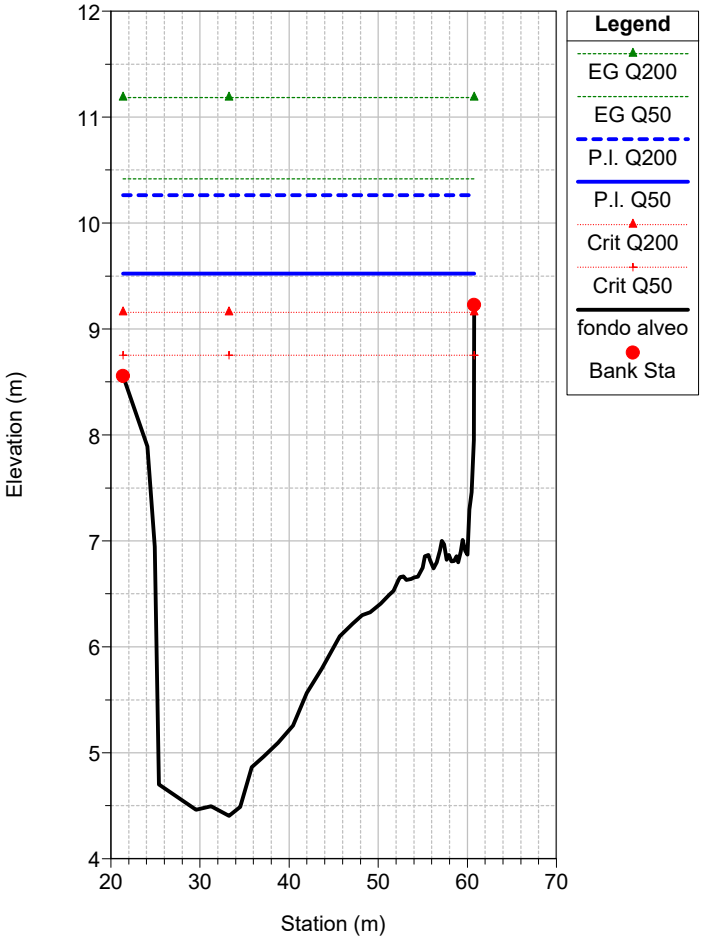
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 22 22



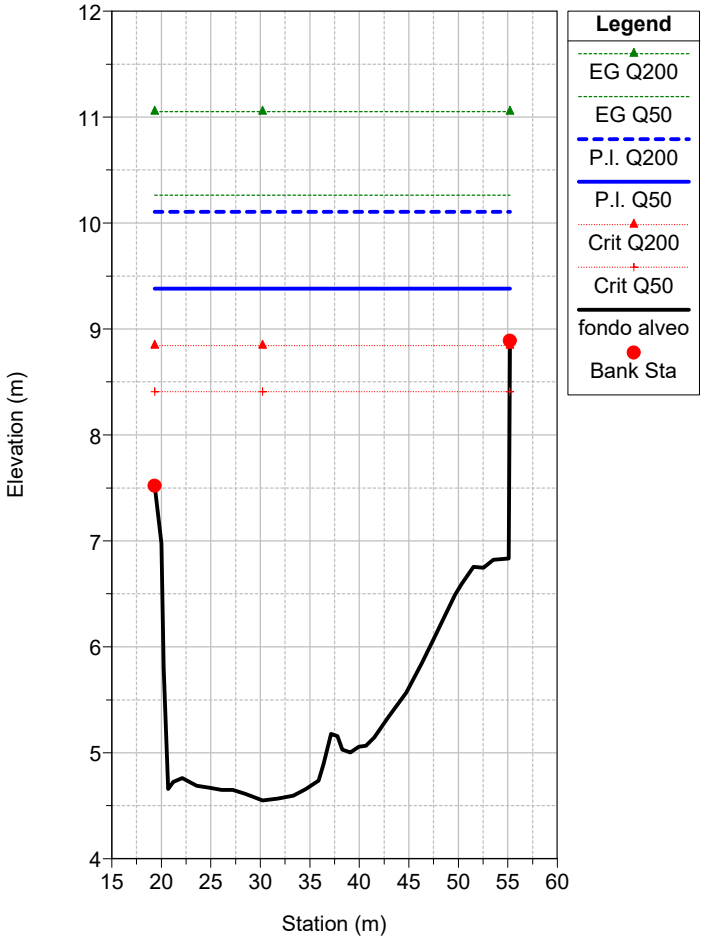
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 21 21



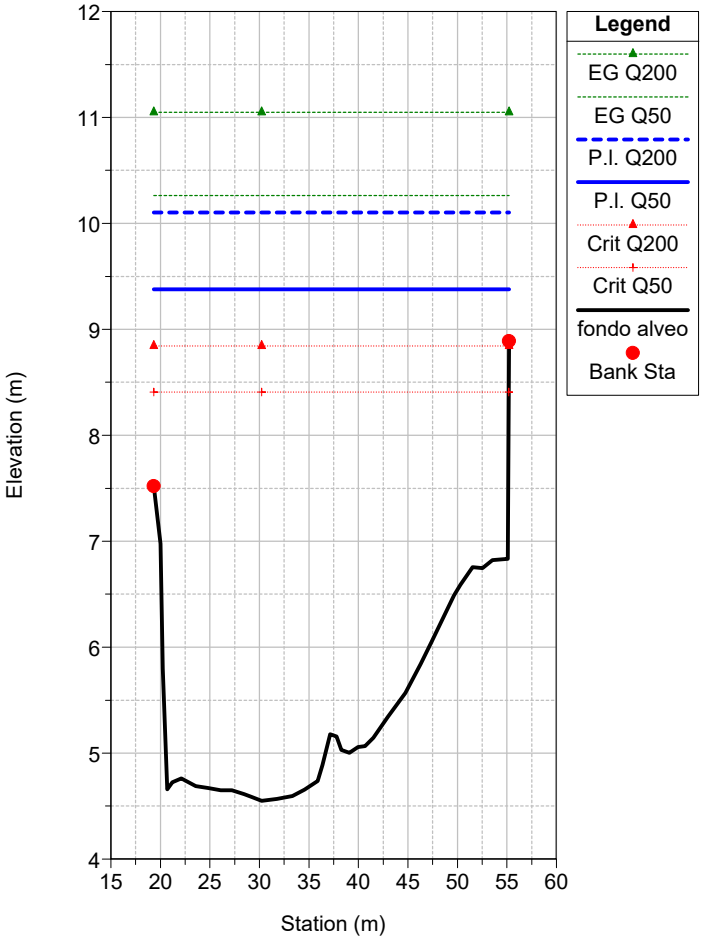
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 20 20



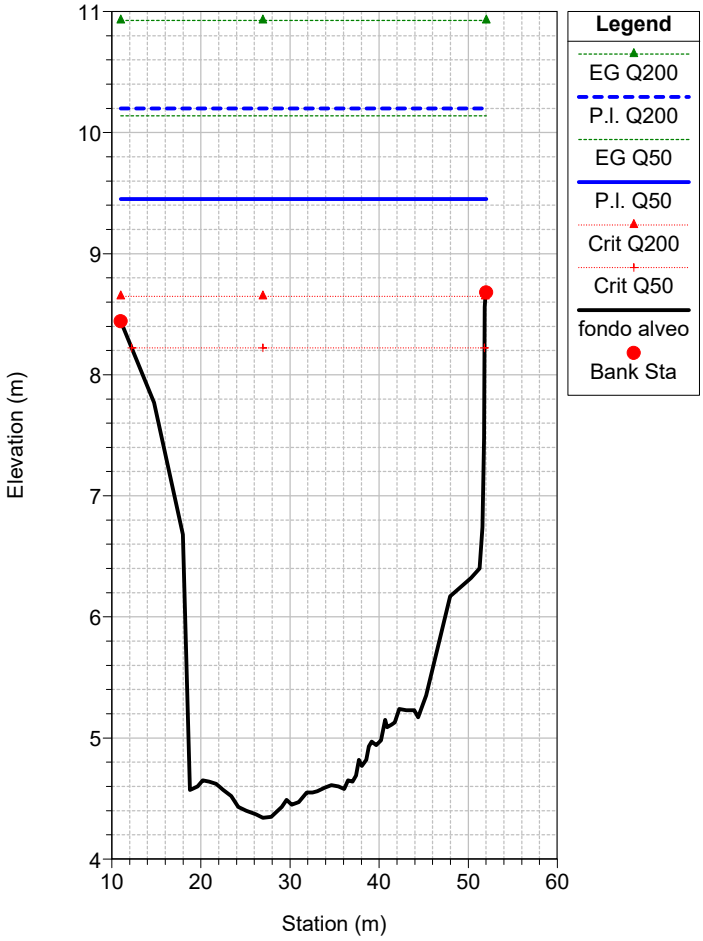
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 19 19



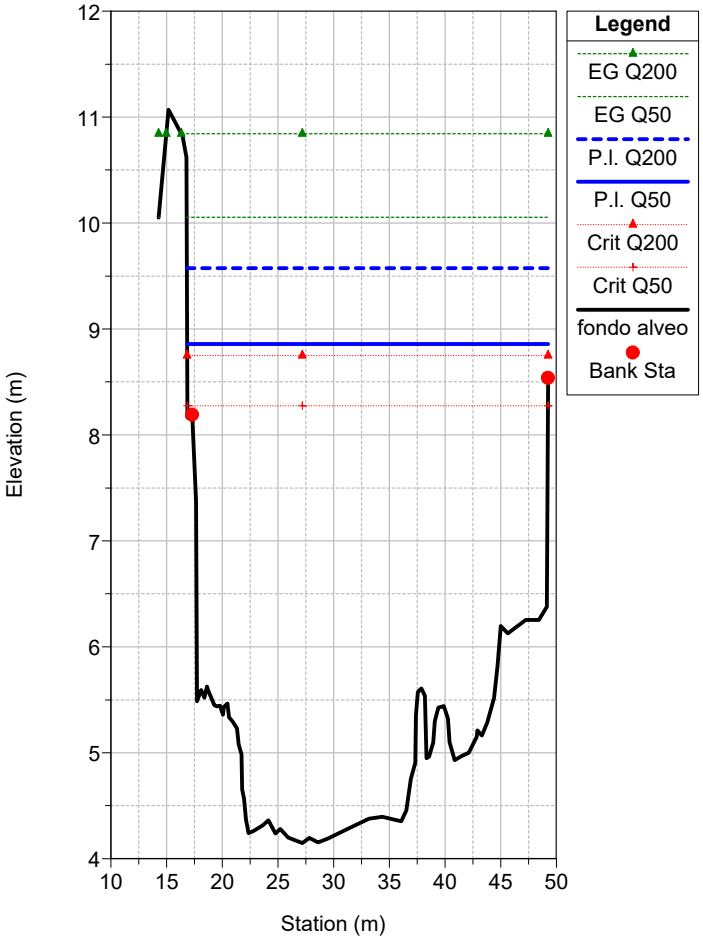
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 18.2 18.2



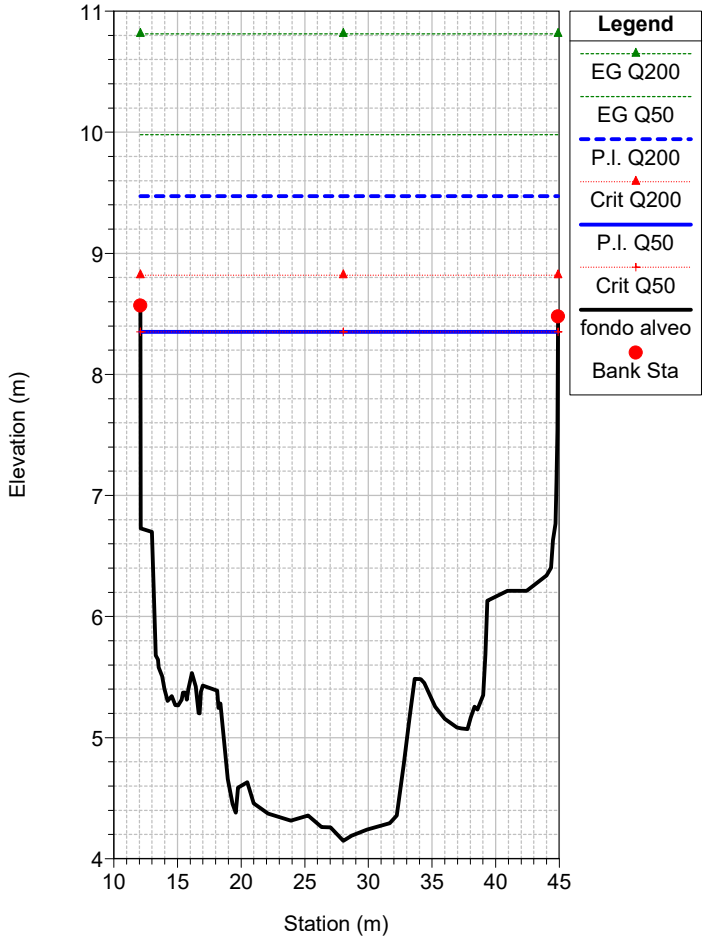
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 18.1 18.1



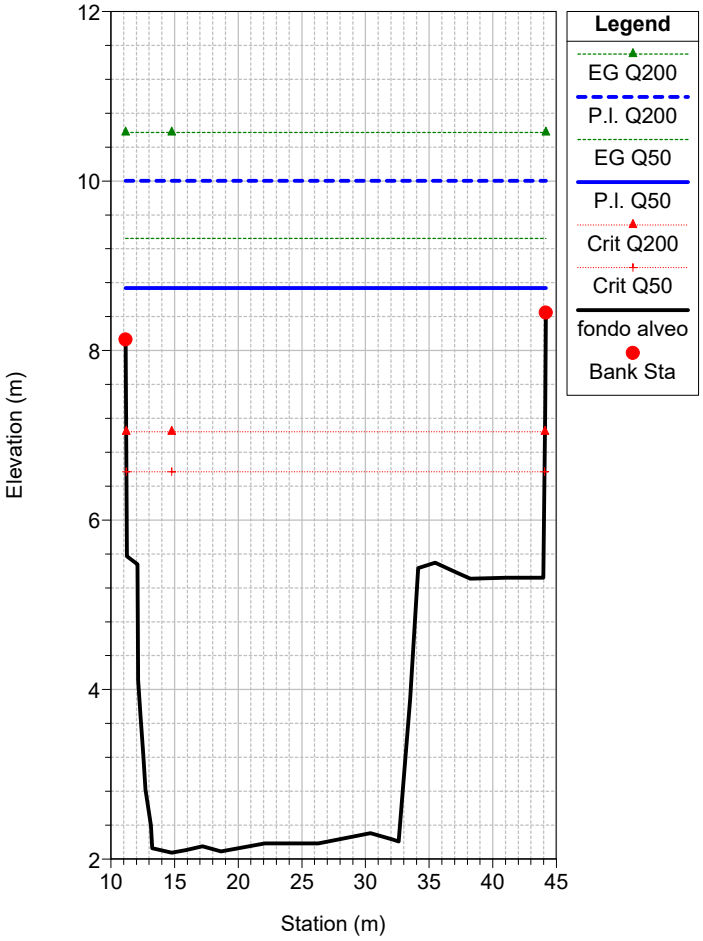
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 18 18



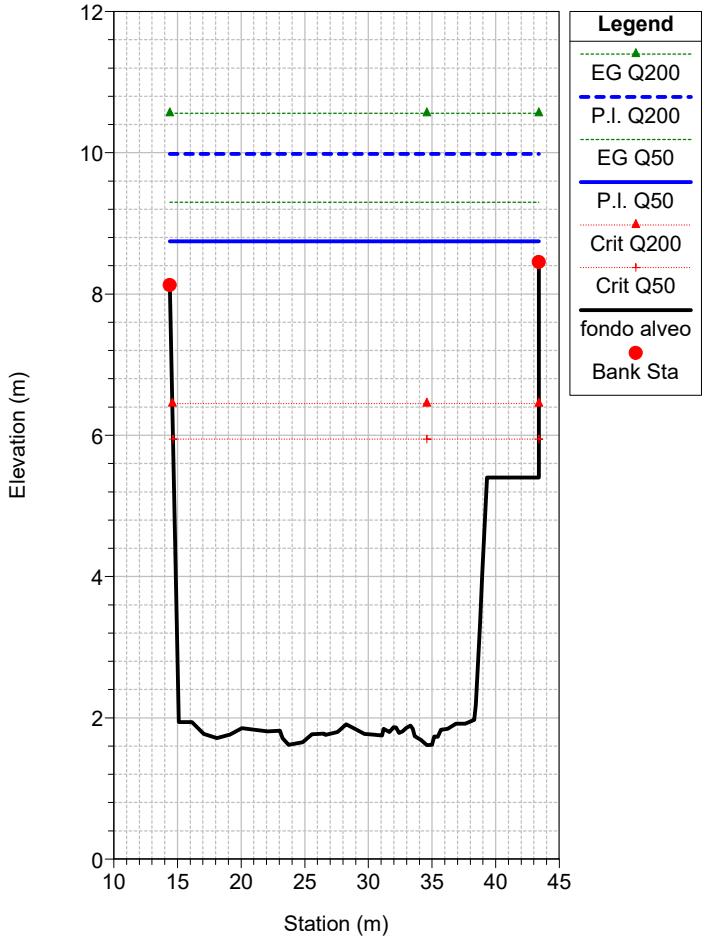
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 17 17



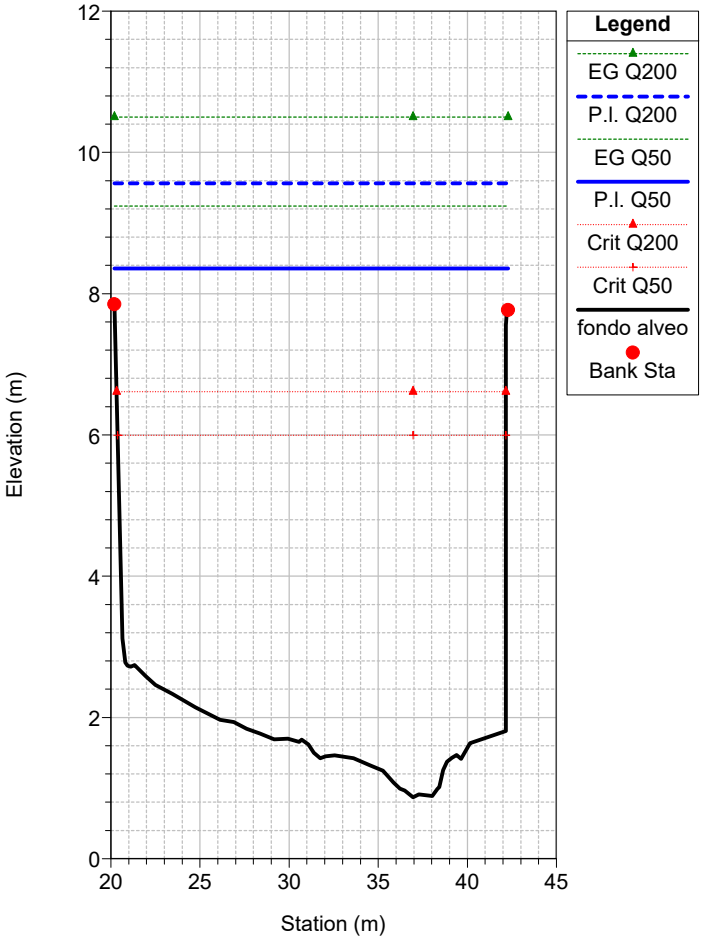
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 16 16



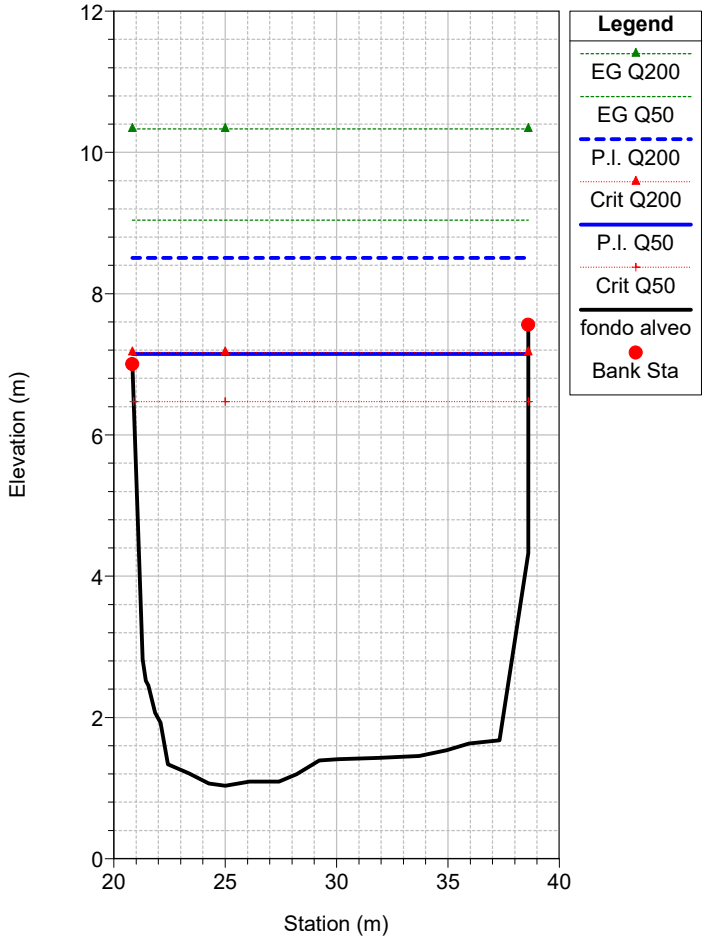
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 15 15



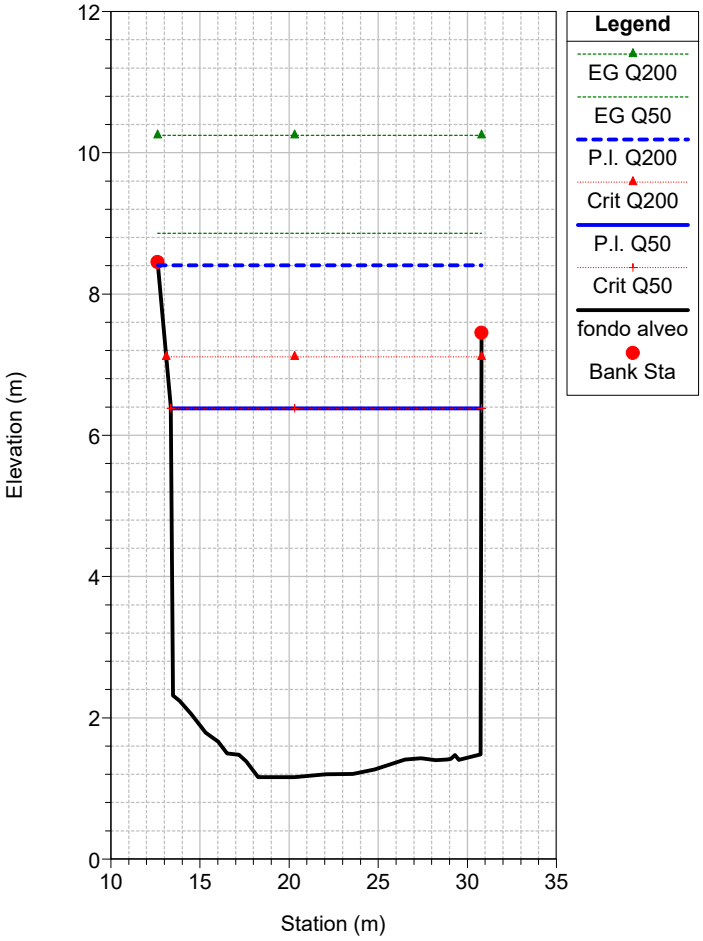
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 14 14



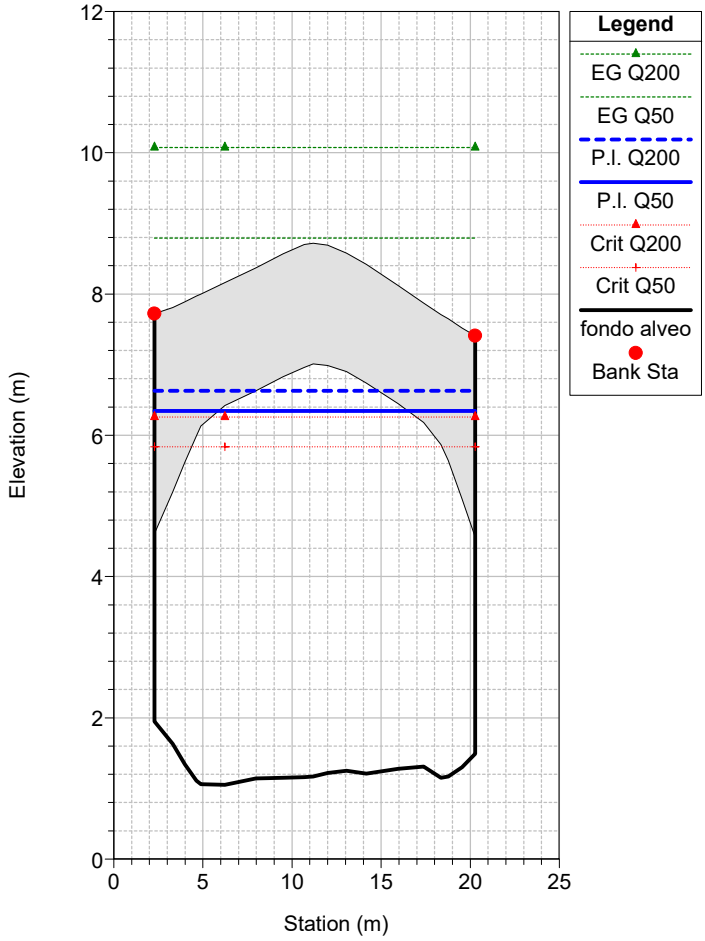
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 13 13



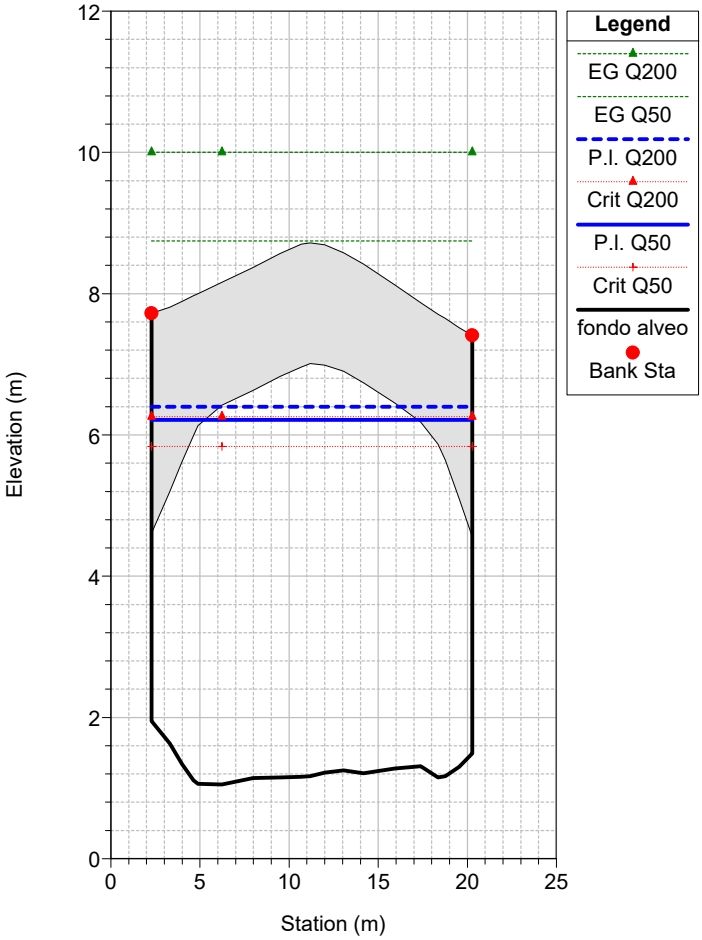
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 12 12



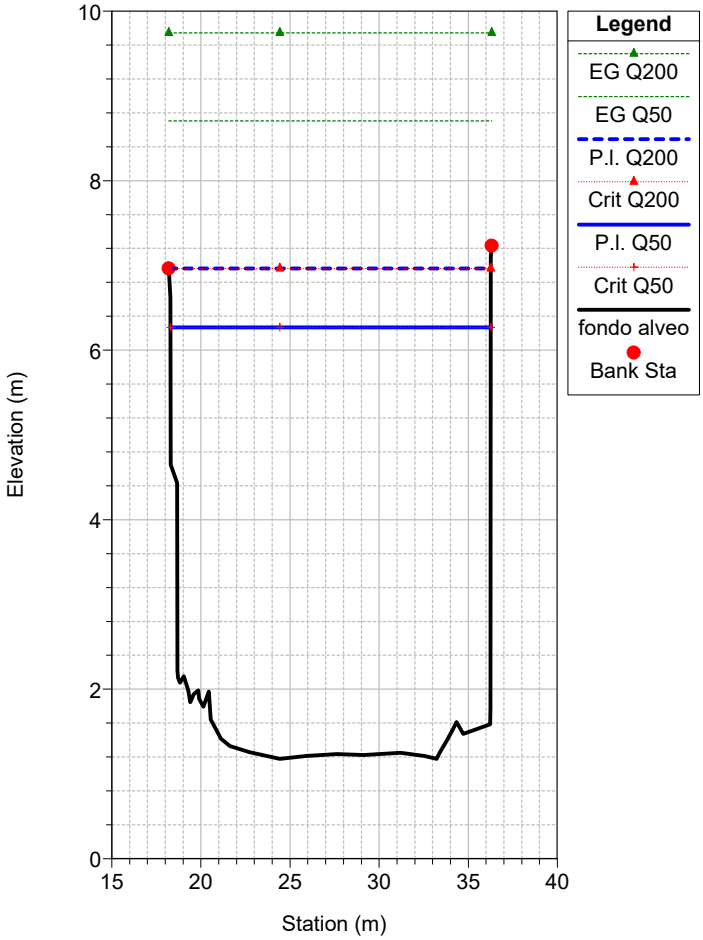
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 11.2 11.2



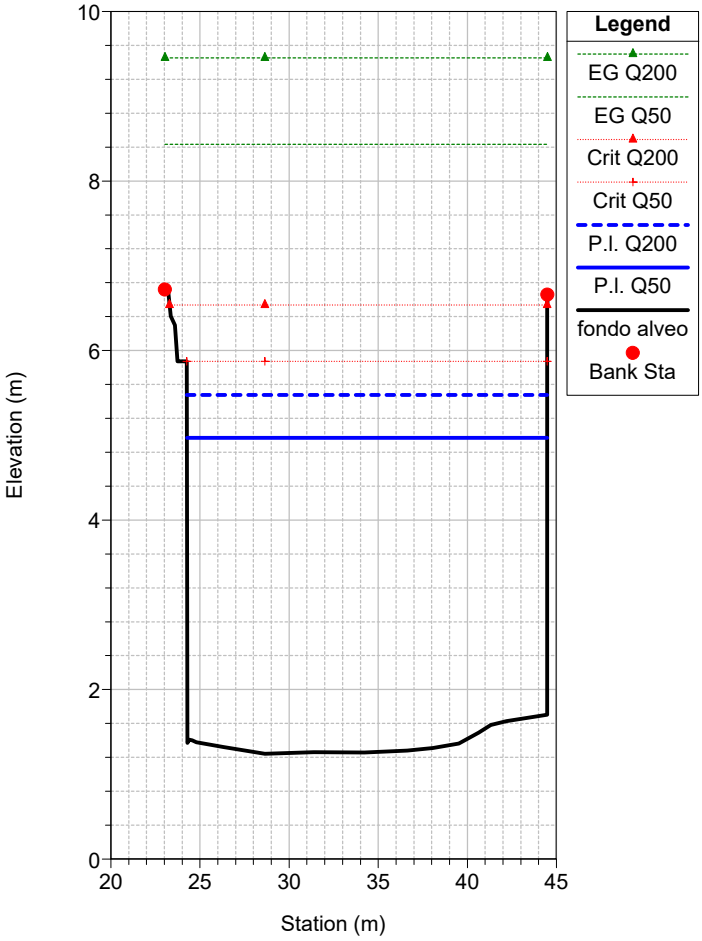
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 11.1 11.1



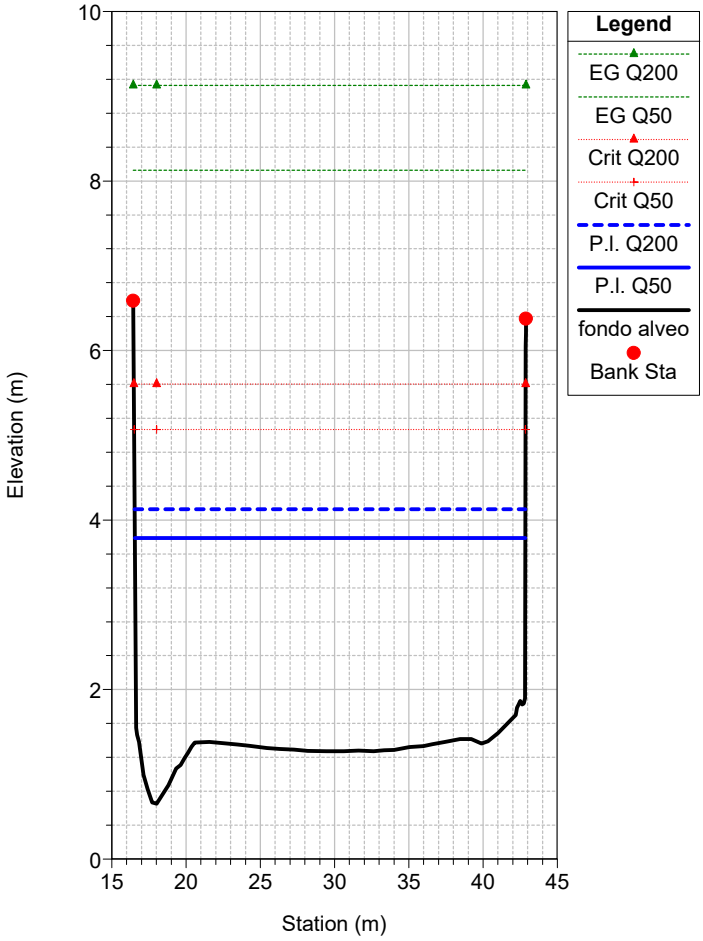
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 11 11



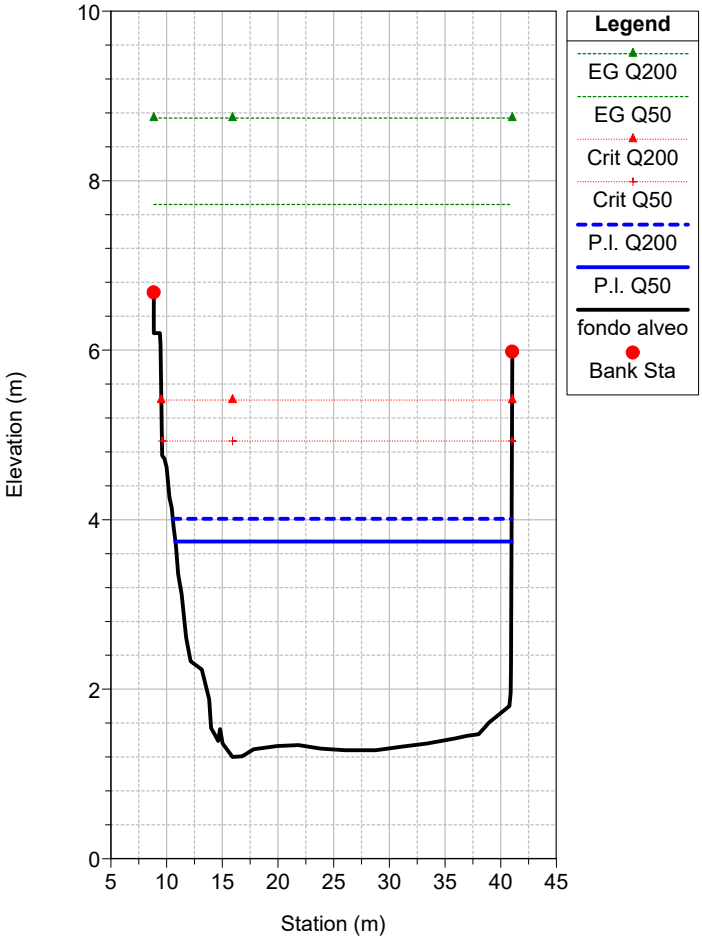
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 10 10



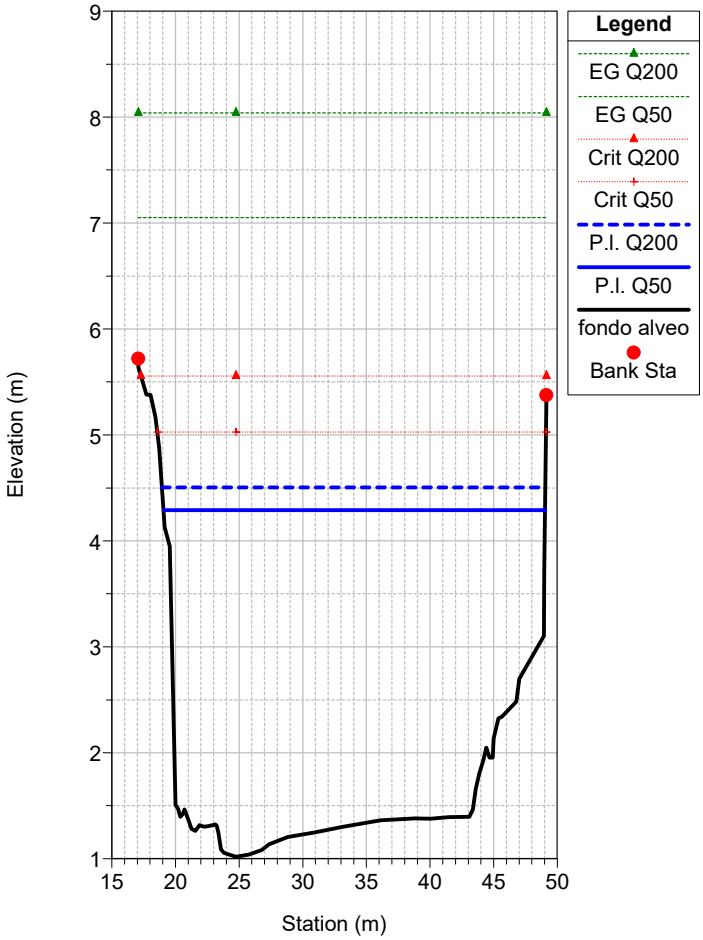
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 9 9



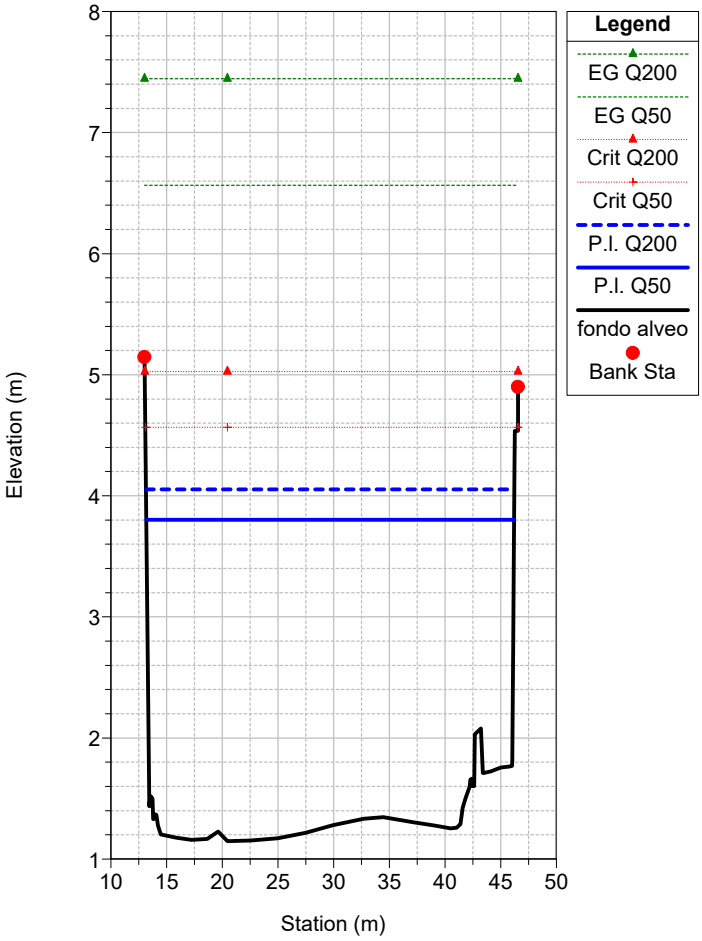
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 8.1 8.1



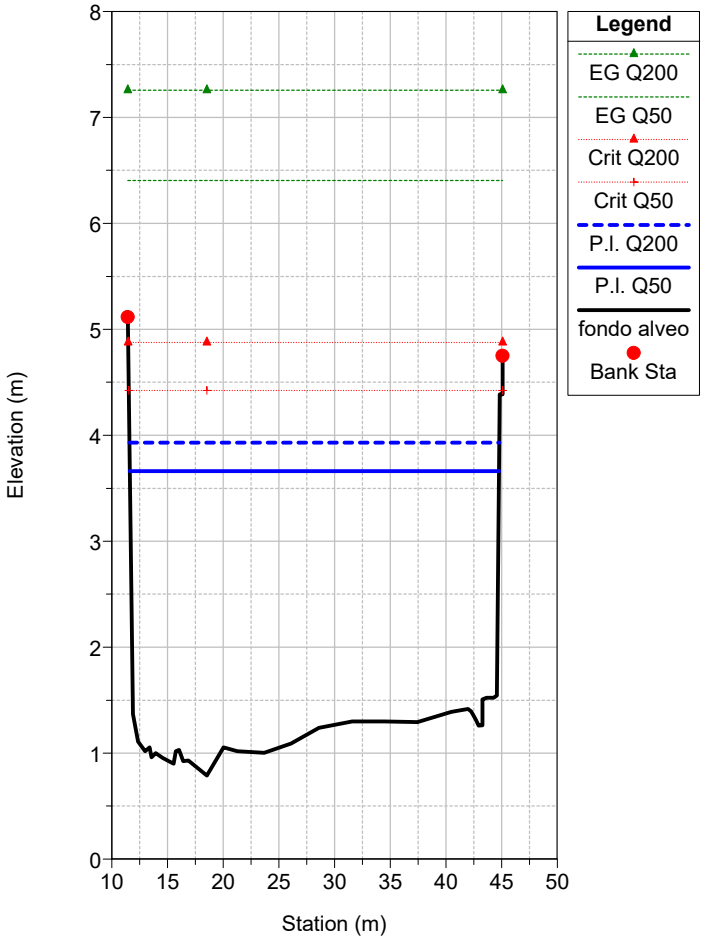
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 8 8



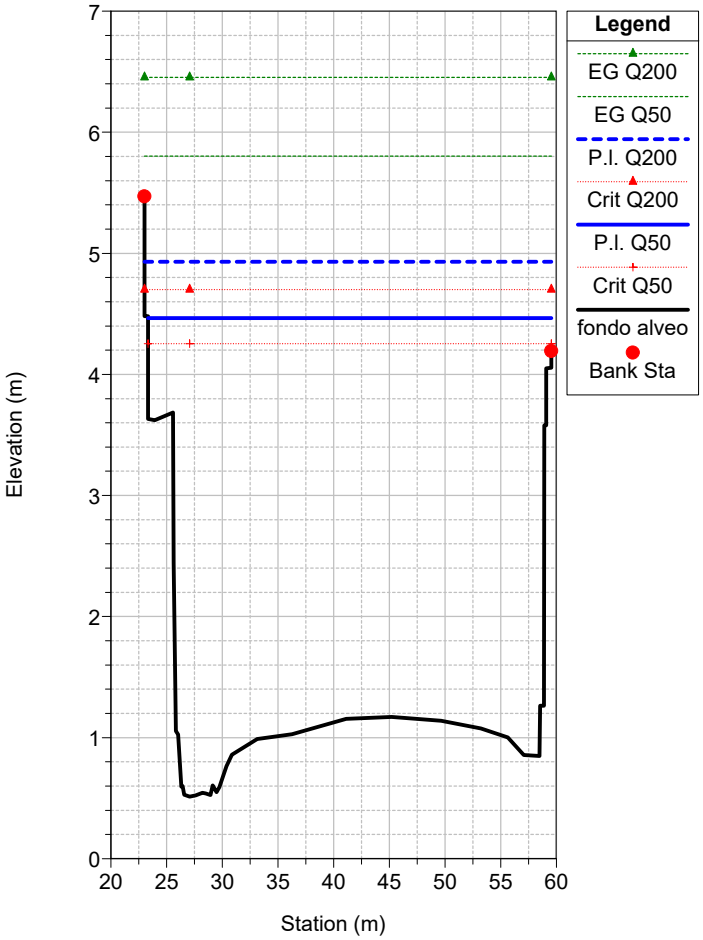
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 7 7



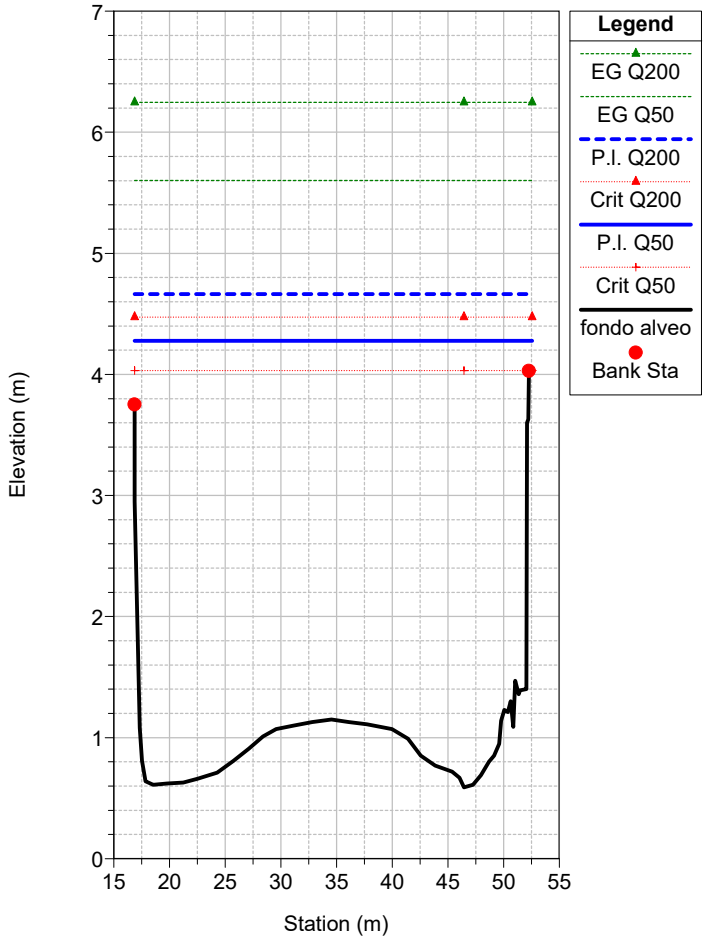
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 6 6



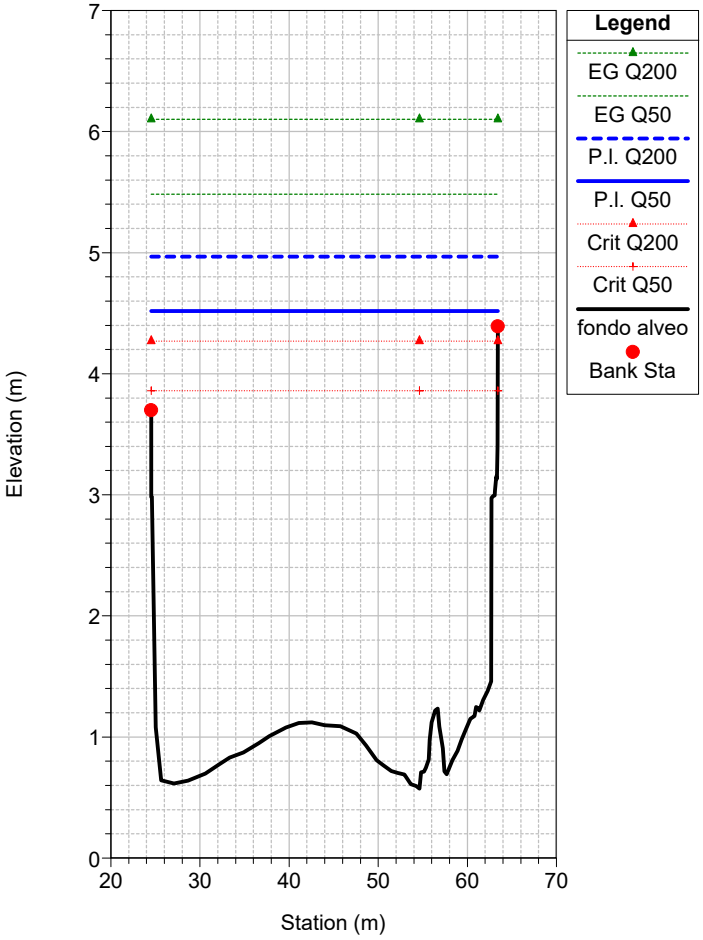
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 5 5



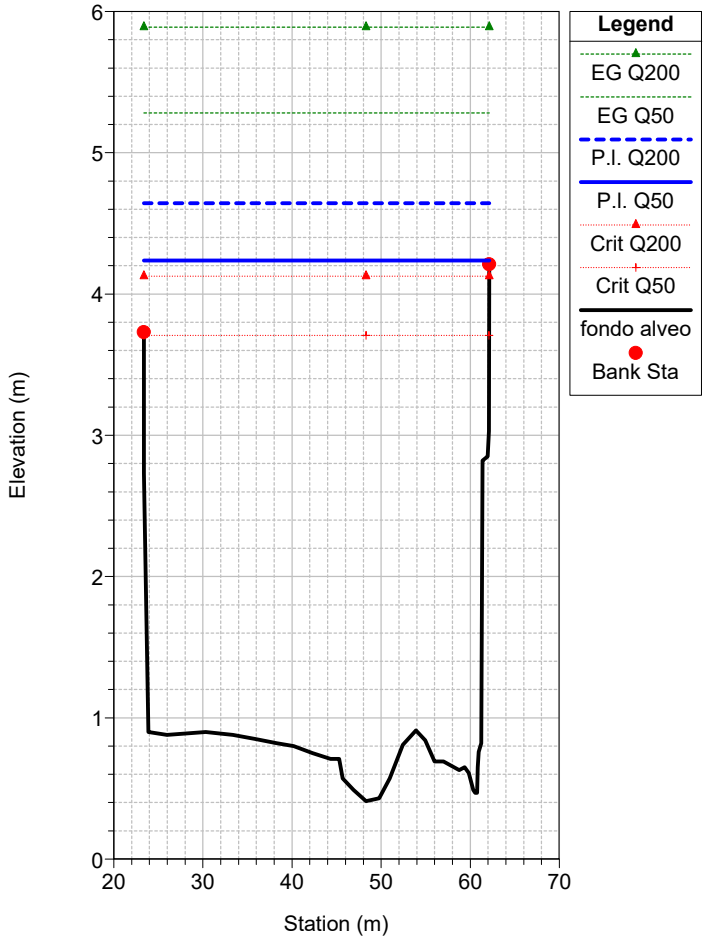
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 4 4



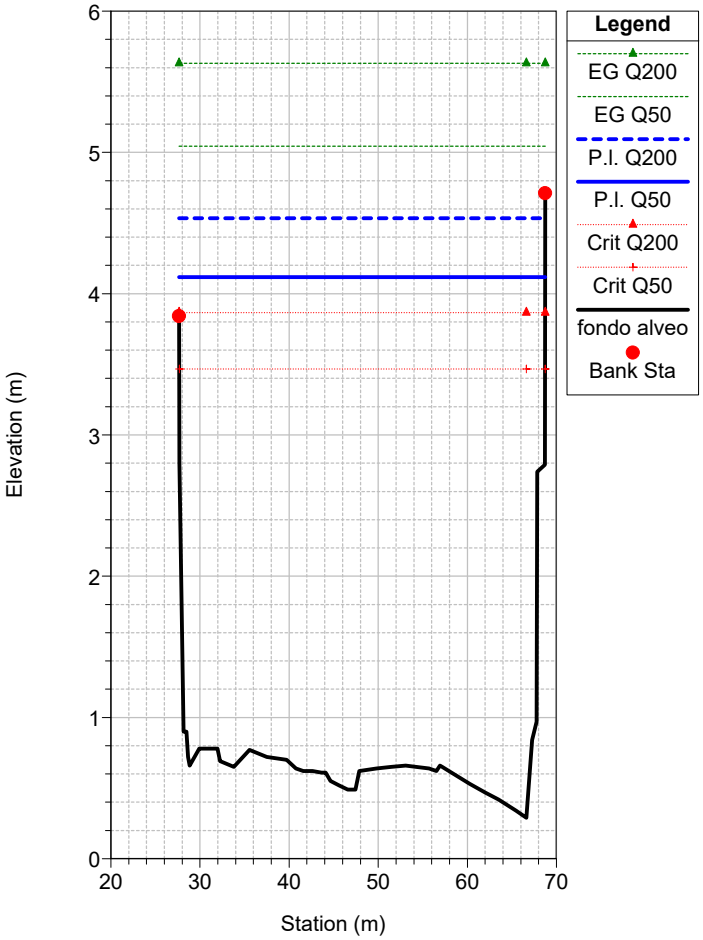
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 3 3



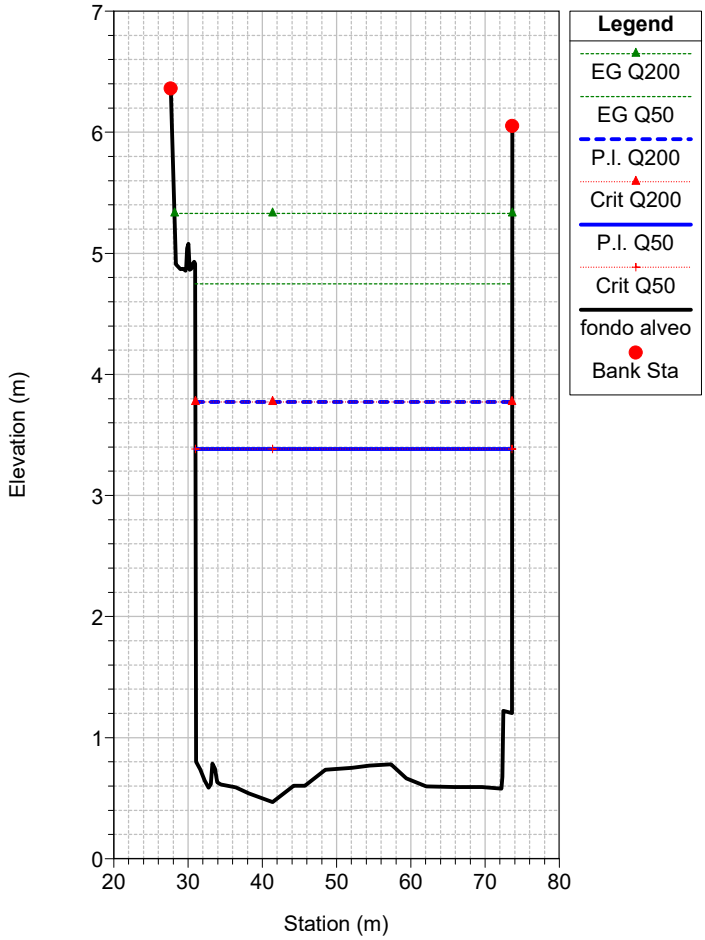
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 2.2 2.2



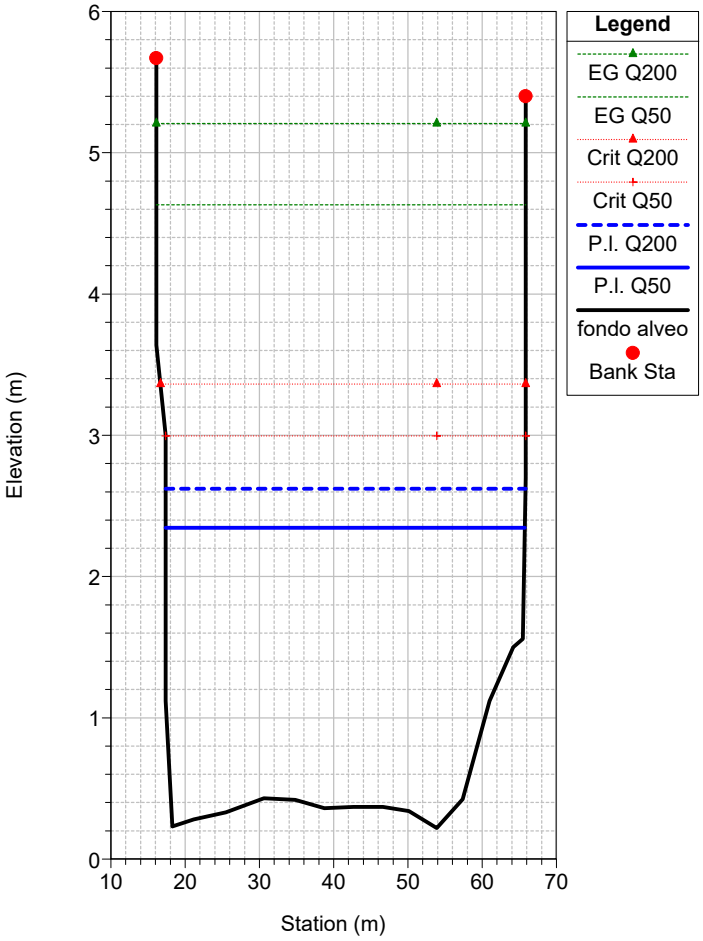
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 2.1 2.1



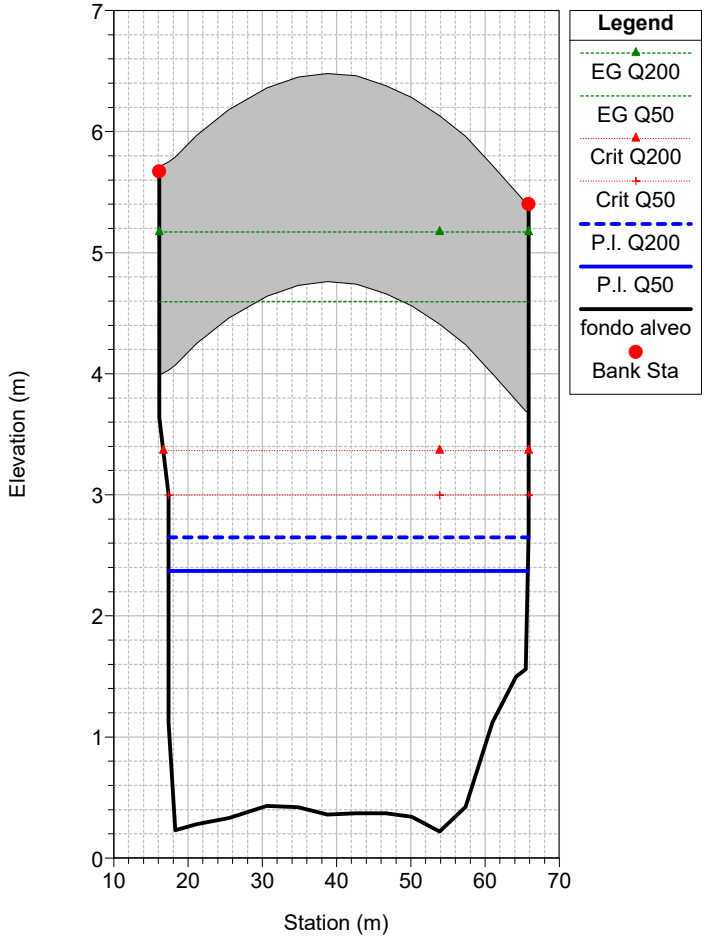
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 2 2



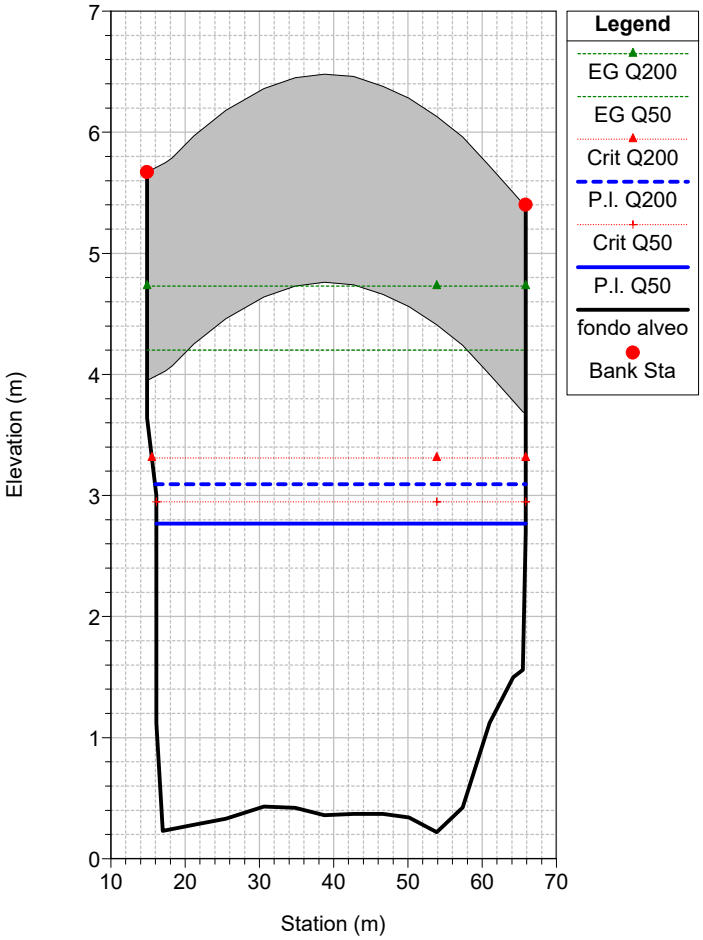
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 1.2 1.2



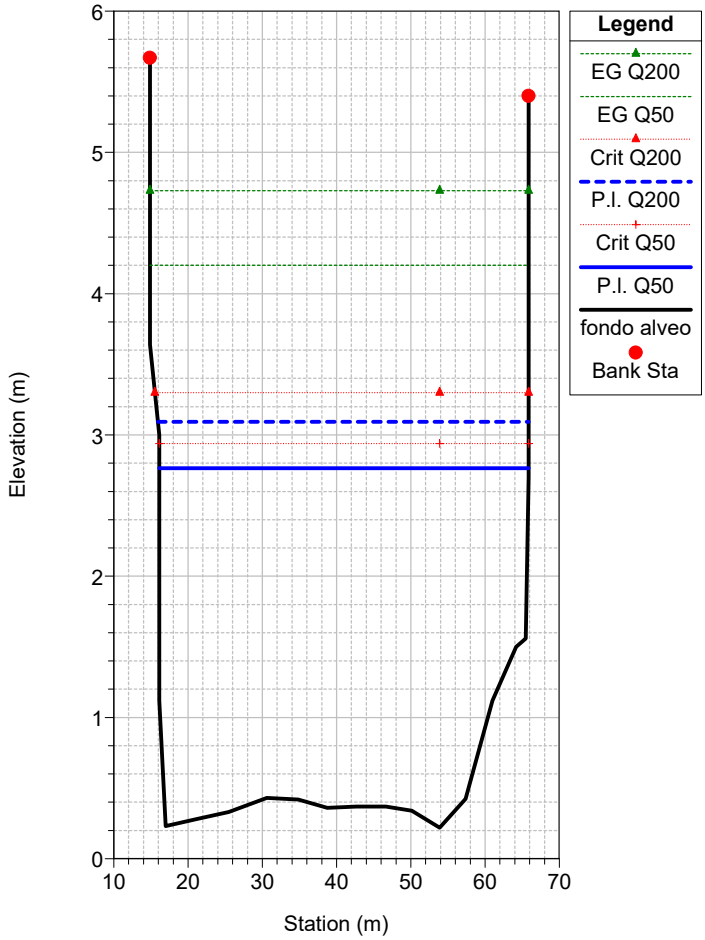
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 1.11 BR



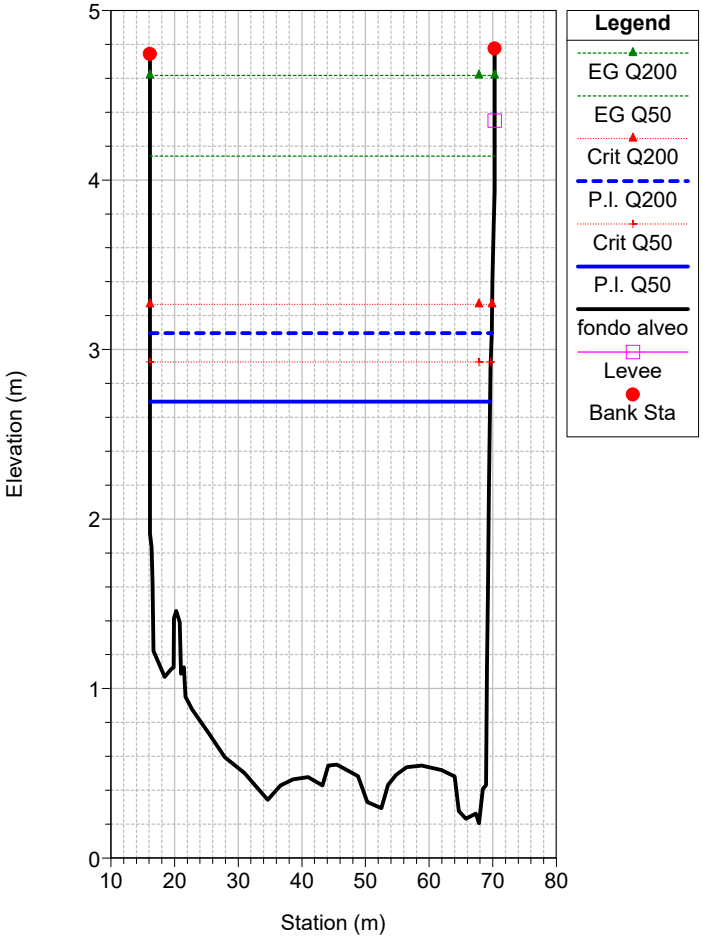
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 1.11 BR



Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 1.1 1.1



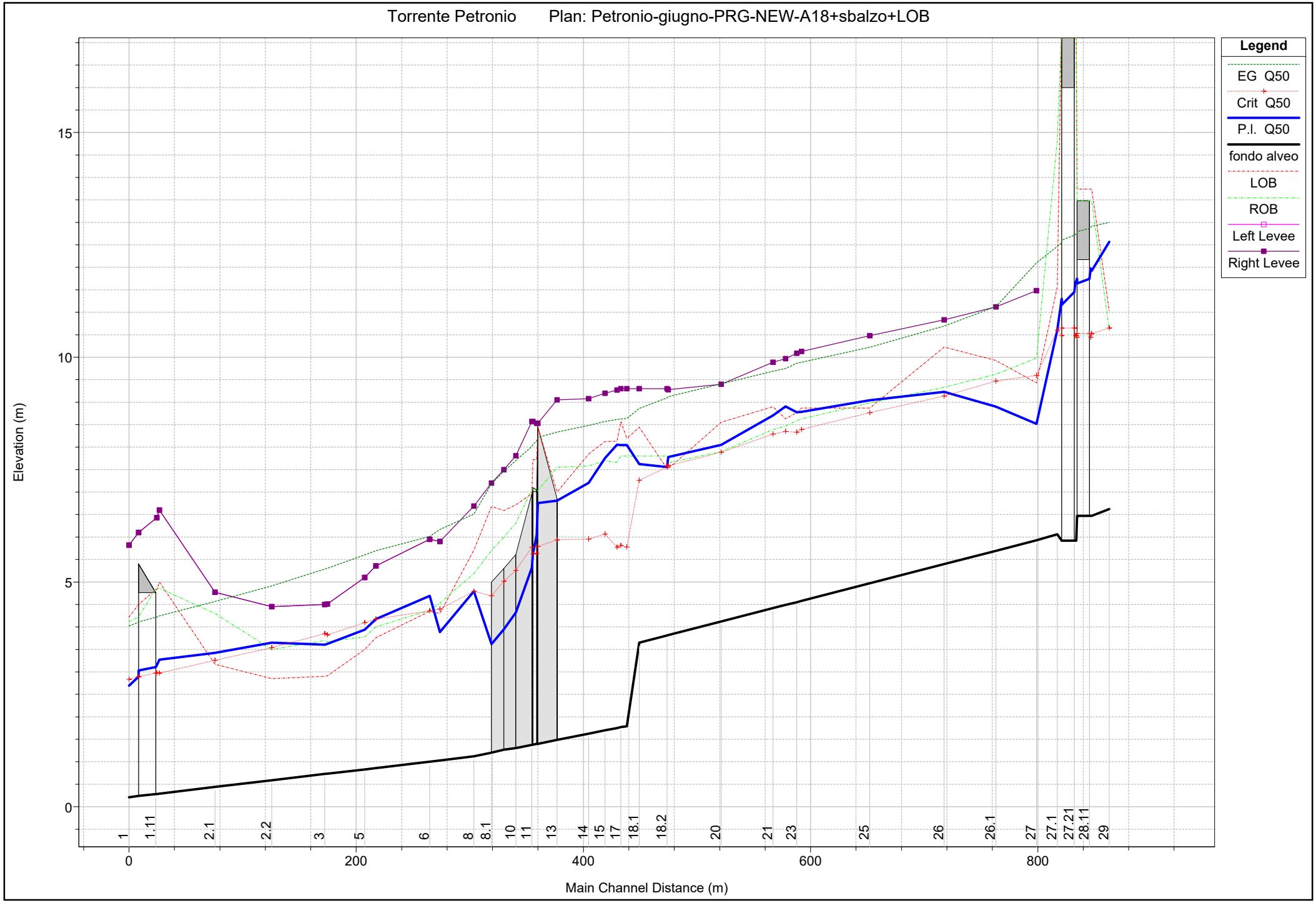
Torrente Petronio Plan: Petronio Attuale
RS = 1 1

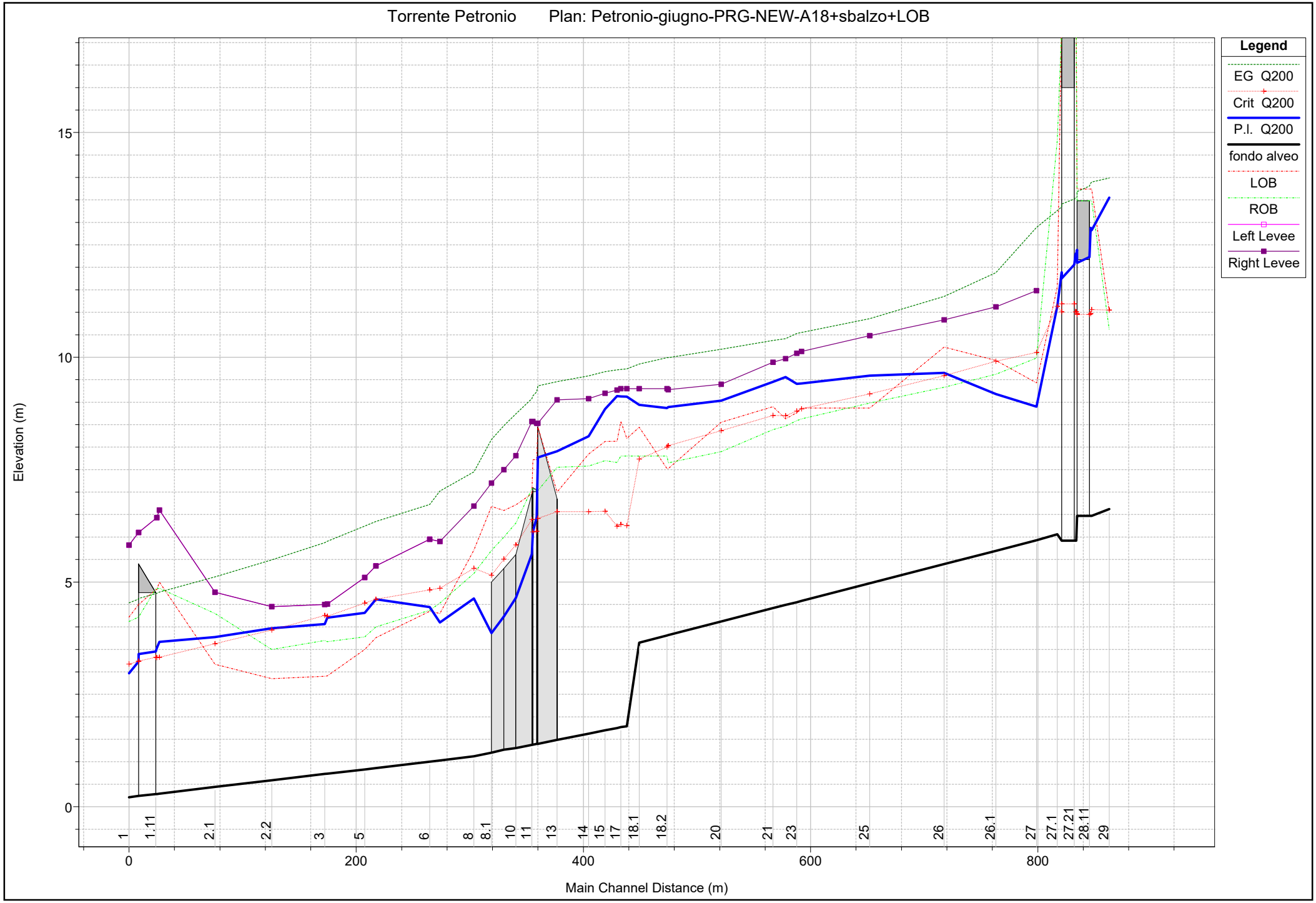


ALLEGATO B

VERIFICHE IDRAULICHE STATO DI PROGETTO

NB: La quota a cui fa riferimento la Bank Station (ROB) in sponda destra è la quota della strada. Il right levee rappresenta la sommità del parapetto a progetto.
In sponda sinistra tra le sez. 1-7 il LOB indica la quota del piano strada, nelle sezioni successive corrisponde alla sommità dell'argine esistente. Il left levee rappresenta la quota di sommità del parapetto a progetto.


Torrente Petronio
Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB
Legend
EG Q50
Crit Q50
P.I. Q50
fondo alveo
LOB
ROB
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
15
10
5
0
0
200
400
600
800
Main Channel Distance (m)
1
1.11
2.1
2.2
3
5
6
8
8.1
10
11
13
14
15
17
18.1
18.2
20
21
23
25
26
26.1
27
27.1
27.21
28.11
29


Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB
Legend
EG Q200
Crit Q200
P.I. Q200
fondo alveo
LOB
ROB
Left Levee
Right Levee
Elevation (m)
15
10
5
0
0
200
400
600
800
Main Channel Distance (m)
1
1.11
2.1
2.2
3
5
6
8
8.1
10
11
13
14
15
17
18.1
18.2
20
21
23
25
26
26.1
27
27.1
27.21
28.11
29

HEC-RAS Plan: Progetto NEWA18 River: Petronio Reach: Terminale Profile: Q50

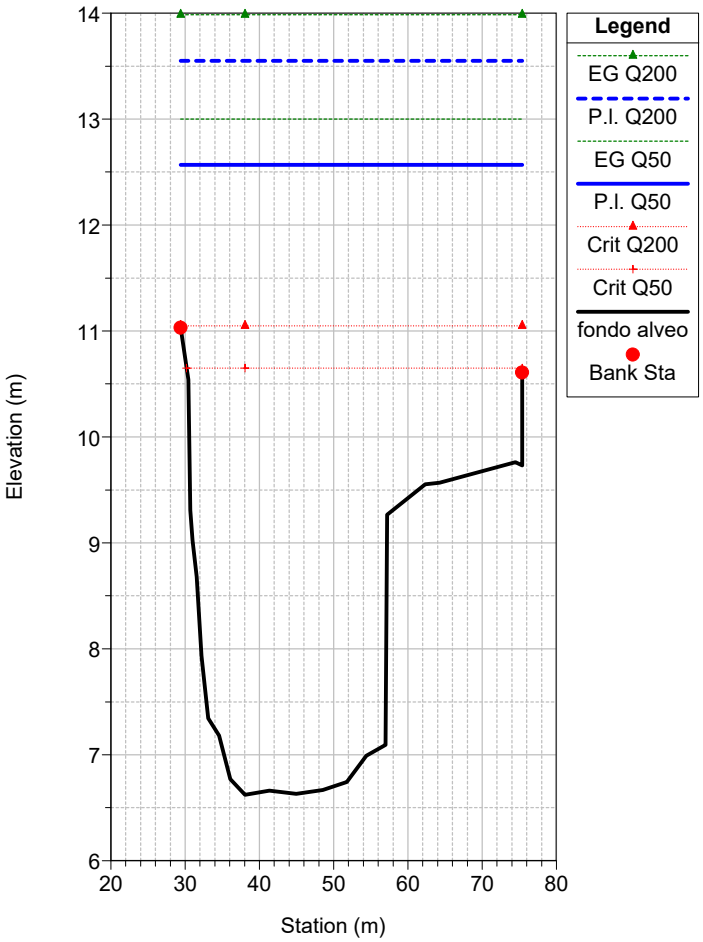
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Terminale	1	Q50	601.00	0.21	2.69	2.84	4.02	0.008802	5.11	117.62	53.42	1.10
Terminale	1.1	Q50	601.00	0.24	2.89	2.89	4.10	0.007270	4.88	123.25	51.00	1.00
Terminale	1.11		Bridge									
Terminale	1.2	Q50	601.00	0.28	3.15	2.97	4.22	0.005754	4.59	130.95	49.73	0.90
Terminale	2	Q50	601.00	0.29	3.27	2.98	4.24	0.005051	4.37	137.60	50.20	0.84
Terminale	2.1	Q50	601.00	0.44	3.42	3.26	4.57	0.006000	4.73	126.97	46.38	0.91
Terminale	2.2	Q50	601.00	0.59	3.65	3.54	4.91	0.006420	4.98	120.72	42.52	0.94
Terminale	3	Q50	601.00	0.73	3.60	3.85	5.29	0.009790	5.75	104.54	39.74	1.13
Terminale	4	Q50	601.00	0.73	3.62	3.82	5.30	0.009093	5.74	104.66	38.49	1.11
Terminale	5	Q50	601.00	0.83	3.94	4.09	5.60	0.009089	5.71	105.22	37.53	1.09
Terminale	5.1	Q50	601.00	0.86	4.17	4.17	5.70	0.007408	5.47	109.92	36.13	1.00
Terminale	6	Q50	601.00	1.00	4.69	4.36	6.01	0.005419	5.09	117.98	33.40	0.87
Terminale	7	Q50	601.00	1.03	3.89	4.40	6.17	0.012595	6.69	89.90	33.12	1.30
Terminale	8	Q50	601.00	1.12	4.79	4.79	6.51	0.007470	5.81	103.52	30.32	1.00
Terminale	8.1	Q50	601.00	1.20	3.62	4.69	7.18	0.024484	8.36	71.86	32.45	1.79
Terminale	9	Q50	601.00	1.27	3.95	5.02	7.46	0.025897	8.30	72.39	28.29	1.66
Terminale	10	Q50	601.00	1.30	4.32	5.26	7.70	0.018453	8.14	73.79	25.03	1.51
Terminale	11	Q50	601.00	1.37	5.32	5.77	8.01	0.016139	7.27	82.66	21.39	1.18
Terminale	11.1	Q50	601.00	1.38	5.62	5.62	8.06	0.015022	6.92	86.91	17.81	1.07
Terminale	11.2	Q50	601.00	1.40	6.05	5.63	8.14	0.012728	6.41	93.81	16.07	0.95
Terminale	12	Q50	601.00	1.40	6.76	5.79	8.21	0.006971	5.35	112.42	21.25	0.74
Terminale	13	Q50	601.00	1.49	6.81	5.94	8.33	0.004954	5.47	109.85	21.12	0.77
Terminale	14	Q50	601.00	1.62	7.20	5.96	8.48	0.003922	5.01	120.06	21.91	0.68
Terminale	15	Q50	601.00	1.70	7.76	6.07	8.57	0.002360	4.00	150.42	28.95	0.56
Terminale	16	Q50	601.00	1.75	8.06	5.77	8.62	0.001450	3.31	181.34	33.01	0.45
Terminale	17	Q50	601.00	1.77	8.05	5.81	8.63	0.001459	3.37	178.36	32.82	0.46
Terminale	18	Q50	601.00	1.79	8.05	5.78	8.64	0.001496	3.41	176.27	31.91	0.46
Terminale	18.1	Q50	601.00	3.65	7.62	7.26	8.86	0.005118	4.92	122.06	36.61	0.86
Terminale	18.2	Q50	601.00	3.81	7.56	7.56	9.10	0.007138	5.50	109.34	35.92	1.01
Terminale	19	Q50	601.00	3.82	7.78	7.59	9.12	0.005879	5.14	117.01	36.67	0.92
Terminale	20	Q50	601.00	4.12	8.05	7.88	9.41	0.006075	5.16	116.53	37.33	0.93
Terminale	21	Q50	601.00	4.42	8.70	8.29	9.69	0.004788	4.39	136.84	46.94	0.82
Terminale	22	Q50	601.00	4.49	8.90	8.35	9.75	0.003873	4.07	147.50	48.03	0.74
Terminale	23	Q50	601.00	4.55	8.78	8.33	9.86	0.004801	4.62	130.02	41.25	0.83
Terminale	24	Q50	601.00	4.58	8.78	8.39	9.89	0.004958	4.66	129.03	41.61	0.84
Terminale	25	Q50	601.00	4.97	9.04	8.77	10.22	0.005381	4.81	124.82	40.58	0.88
Terminale	26	Q50	601.00	5.40	9.23	9.14	10.69	0.006470	5.36	112.07	35.25	0.96
Terminale	26.1	Q50	601.00	5.69	8.90	9.47	11.13	0.011859	6.60	91.02	33.25	1.27
Terminale	27	Q50	601.00	5.93	8.52	9.59	12.10	0.022323	8.38	71.73	29.44	1.71
Terminale	27.1	Q50	601.00	6.06	10.61	10.61	12.47	0.006221	6.04	99.53	36.91	1.00
Terminale	27.2	Q50	601.00	5.92	11.30	10.48	12.55	0.004470	4.95	121.47	30.00	0.74
Terminale	27.21		Bridge									
Terminale	27.3	Q50	601.00	5.92	11.67	10.48	12.74	0.003524	4.57	131.51	30.00	0.66
Terminale	28	Q50	601.00	5.92	11.68	10.48	12.74	0.003515	4.57	131.62	30.00	0.66
Terminale	28.1	Q50	601.00	6.47	11.75	10.45	12.75	0.003159	4.43	135.68	30.27	0.63
Terminale	28.11		Bridge									
Terminale	28.2	Q50	601.00	6.47	11.97	10.45	12.89	0.002770	4.24	141.82	30.27	0.59
Terminale	28.3	Q50	601.00	6.47	11.92	10.52	12.92	0.003073	4.41	136.26	29.50	0.62
Terminale	29	Q50	601.00	6.62	12.57	10.65	13.00	0.001292	2.92	206.08	46.00	0.44

HEC-RAS Plan: Progetto NEWA18 River: Petronio Reach: Terminale Profile: Q200

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)	
Terminale	1	Q200	734.00	0.21	2.97	3.17	4.54	0.008989	5.55	132.33	53.56	1.13
Terminale	1.1	Q200	734.00	0.24	3.23	3.23	4.62	0.007092	5.22	140.69	51.00	1.00
Terminale	1.11		Bridge									
Terminale	1.2	Q200	734.00	0.28	3.53	3.32	4.75	0.005508	4.89	150.02	49.73	0.90
Terminale	2	Q200	734.00	0.29	3.67	3.32	4.77	0.004908	4.66	157.37	50.20	0.84
Terminale	2.1	Q200	734.00	0.44	3.77	3.63	5.11	0.006101	5.13	143.21	46.39	0.93
Terminale	2.2	Q200	734.00	0.59	3.97	3.93	5.49	0.006823	5.46	134.36	42.52	0.98
Terminale	3	Q200	734.00	0.73	4.06	4.25	5.87	0.009127	5.96	123.20	40.95	1.10
Terminale	4	Q200	734.00	0.73	4.20	4.24	5.91	0.007355	5.77	127.10	38.49	1.01
Terminale	5	Q200	734.00	0.83	4.31	4.53	6.24	0.009347	6.16	119.23	37.53	1.10
Terminale	5.1	Q200	734.00	0.86	4.62	4.62	6.35	0.007422	5.83	125.97	36.44	1.00
Terminale	6	Q200	734.00	1.00	4.44	4.82	6.73	0.010151	6.70	109.63	33.40	1.18
Terminale	7	Q200	734.00	1.03	4.10	4.86	7.02	0.014861	7.58	96.88	33.17	1.42
Terminale	8	Q200	734.00	1.12	4.63	5.31	7.45	0.012862	7.43	98.78	30.21	1.31
Terminale	8.1	Q200	734.00	1.20	3.86	5.15	8.17	0.026272	9.19	79.83	32.67	1.88
Terminale	9	Q200	734.00	1.27	4.23	5.51	8.48	0.028270	9.12	80.47	28.38	1.73
Terminale	10	Q200	734.00	1.30	4.65	5.83	8.74	0.019966	8.96	81.94	25.03	1.58
Terminale	11	Q200	734.00	1.37	5.62	6.39	9.08	0.019548	8.23	89.13	21.39	1.29
Terminale	11.1	Q200	734.00	1.38	6.12	6.12	9.14	0.018371	7.71	95.26	15.73	1.13
Terminale	11.2	Q200	734.00	1.40	6.44	6.13	9.23	0.019401	7.39	99.29	9.54	1.05
Terminale	12	Q200	734.00	1.40	7.77	6.41	9.36	0.007241	5.59	131.36	18.62	0.71
Terminale	13	Q200	734.00	1.49	7.91	6.56	9.46	0.004269	5.51	133.13	21.16	0.70
Terminale	14	Q200	734.00	1.62	8.24	6.57	9.59	0.003562	5.14	142.85	21.96	0.64
Terminale	15	Q200	734.00	1.70	8.85	6.57	9.68	0.002004	4.03	182.09	28.99	0.51
Terminale	16	Q200	734.00	1.75	9.14	6.24	9.72	0.001270	3.38	216.99	33.01	0.42
Terminale	17	Q200	734.00	1.77	9.13	6.28	9.73	0.001273	3.43	213.81	32.82	0.43
Terminale	18	Q200	734.00	1.79	9.12	6.25	9.74	0.001318	3.48	210.87	32.33	0.44
Terminale	18.1	Q200	734.00	3.65	8.94	7.74	9.85	0.002941	4.21	174.17	41.01	0.65
Terminale	18.2	Q200	734.00	3.81	8.87	8.00	9.99	0.003359	4.69	157.10	36.81	0.72
Terminale	19	Q200	734.00	3.82	8.89	8.03	9.99	0.003470	4.65	157.82	36.67	0.72
Terminale	20	Q200	734.00	4.12	9.04	8.37	10.18	0.003962	4.73	155.05	40.24	0.77
Terminale	21	Q200	734.00	4.42	9.45	8.70	10.37	0.003538	4.25	172.77	48.87	0.72
Terminale	22	Q200	734.00	4.49	9.56	8.70	10.42	0.003133	4.10	178.95	48.07	0.68
Terminale	23	Q200	734.00	4.55	9.41	8.80	10.53	0.004085	4.69	156.50	42.45	0.78
Terminale	24	Q200	734.00	4.58	9.42	8.85	10.55	0.004084	4.72	155.77	42.72	0.78
Terminale	25	Q200	734.00	4.97	9.59	9.18	10.86	0.004818	4.99	147.22	41.19	0.84
Terminale	26	Q200	734.00	5.40	9.65	9.59	11.35	0.006550	5.78	127.00	35.45	0.98
Terminale	26.1	Q200	734.00	5.69	9.18	9.91	11.88	0.014548	7.28	100.82	37.49	1.42
Terminale	27	Q200	734.00	5.93	8.90	10.11	12.89	0.021129	8.84	83.01	29.67	1.69
Terminale	27.1	Q200	734.00	6.06	11.14	11.14	13.26	0.006103	6.45	113.74	37.38	1.00
Terminale	27.2	Q200	734.00	5.92	11.89	11.01	13.35	0.004621	5.35	137.32	30.00	0.75
Terminale	27.21		Bridge									
Terminale	27.3	Q200	734.00	5.92	12.30	11.01	13.55	0.003686	4.95	148.21	30.00	0.67
Terminale	28	Q200	734.00	5.92	12.30	11.01	13.55	0.003677	4.95	148.33	30.00	0.67
Terminale	28.1	Q200	734.00	6.47	12.39	10.97	13.56	0.003294	4.79	153.10	30.27	0.65
Terminale	28.11		Bridge									
Terminale	28.2	Q200	734.00	6.47	12.88	10.97	13.87	0.002577	4.41	166.47	30.27	0.57
Terminale	28.3	Q200	734.00	6.47	12.83	11.06	13.90	0.002851	4.58	160.14	29.50	0.60
Terminale	29	Q200	734.00	6.62	13.55	11.05	13.98	0.001043	2.92	251.27	46.00	0.40

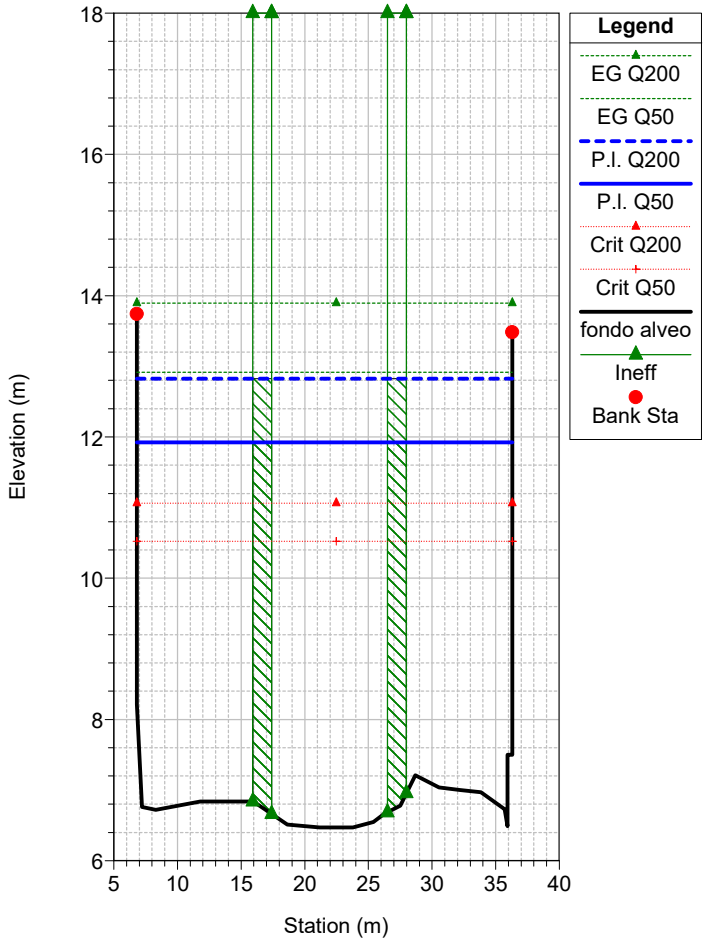
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 29 29



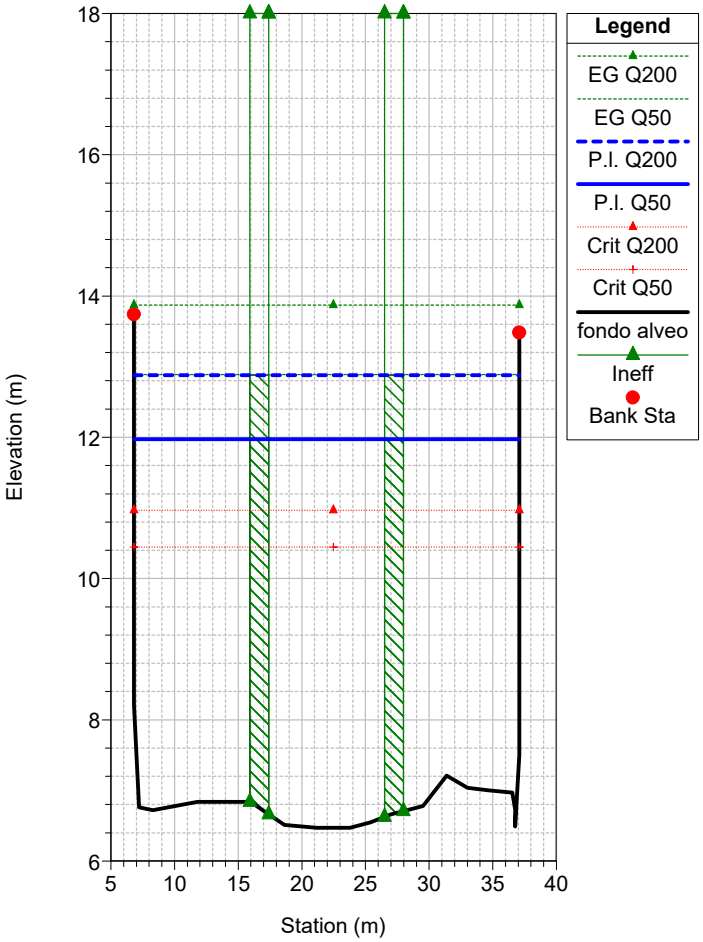
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 28.3 28.3



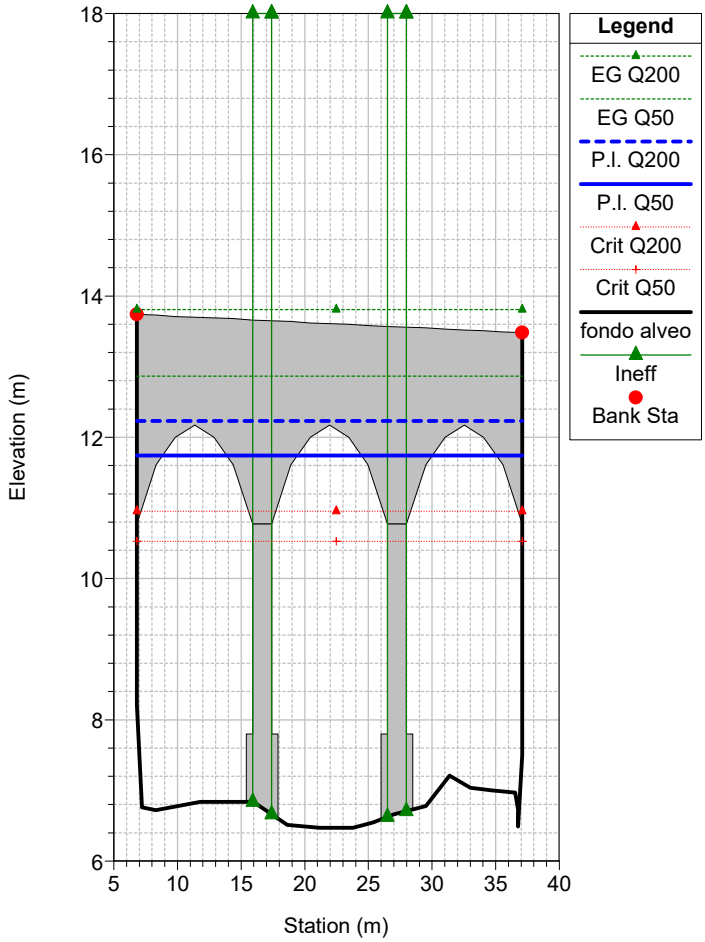
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 28.2 28.2



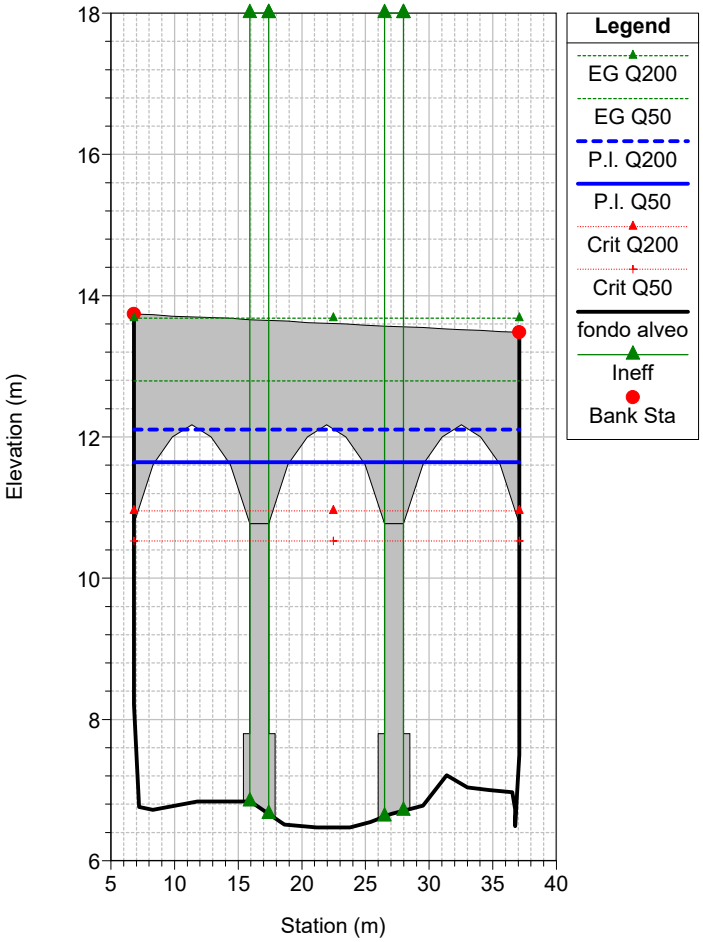
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 28.11 BR



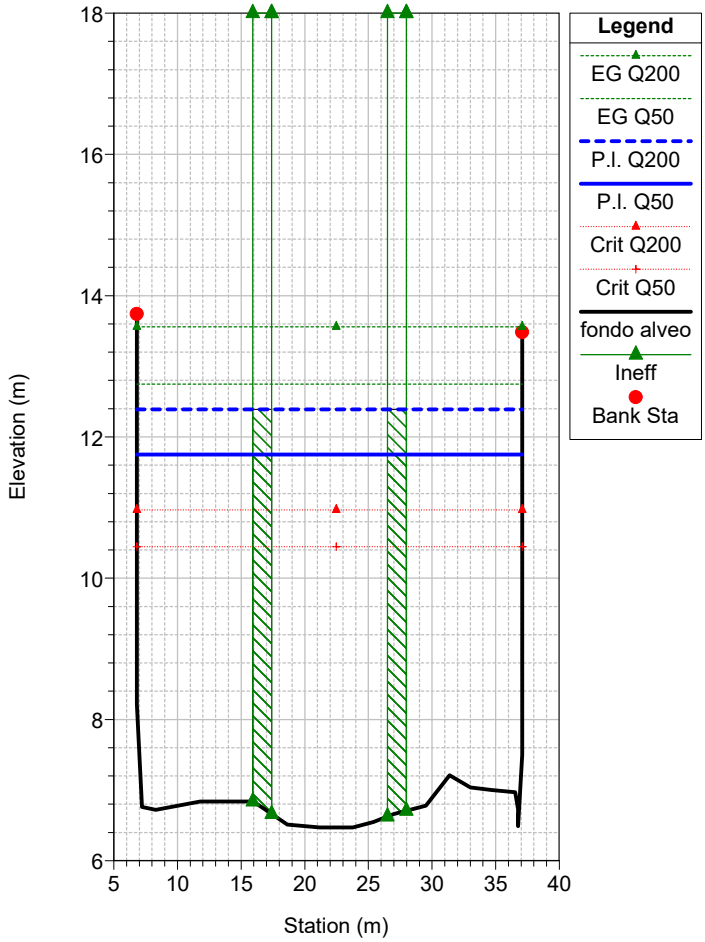
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 28.11 BR



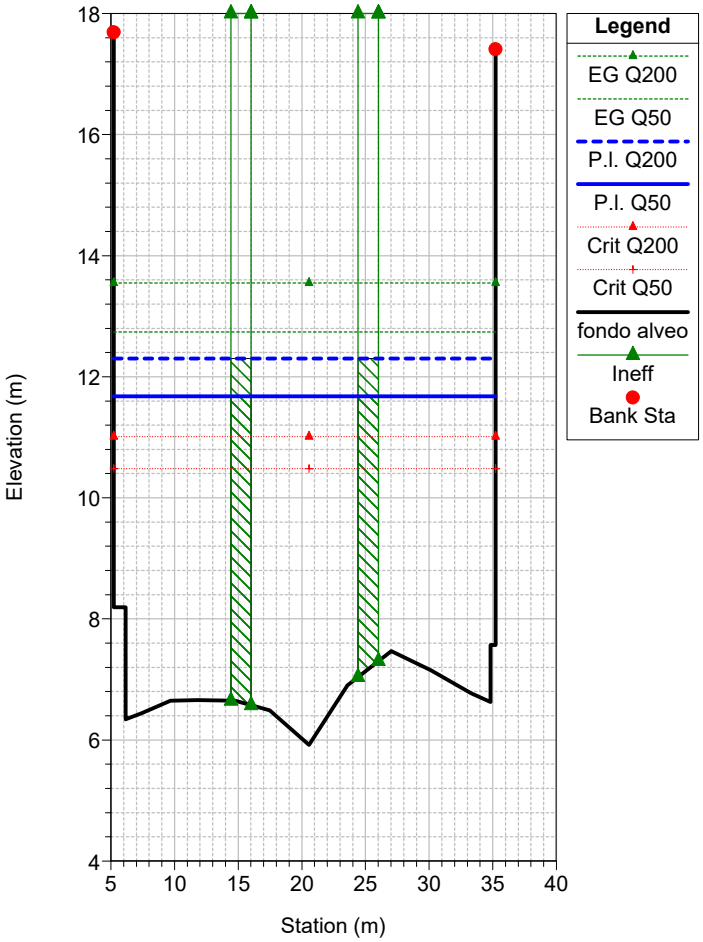
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 28.1 28.1



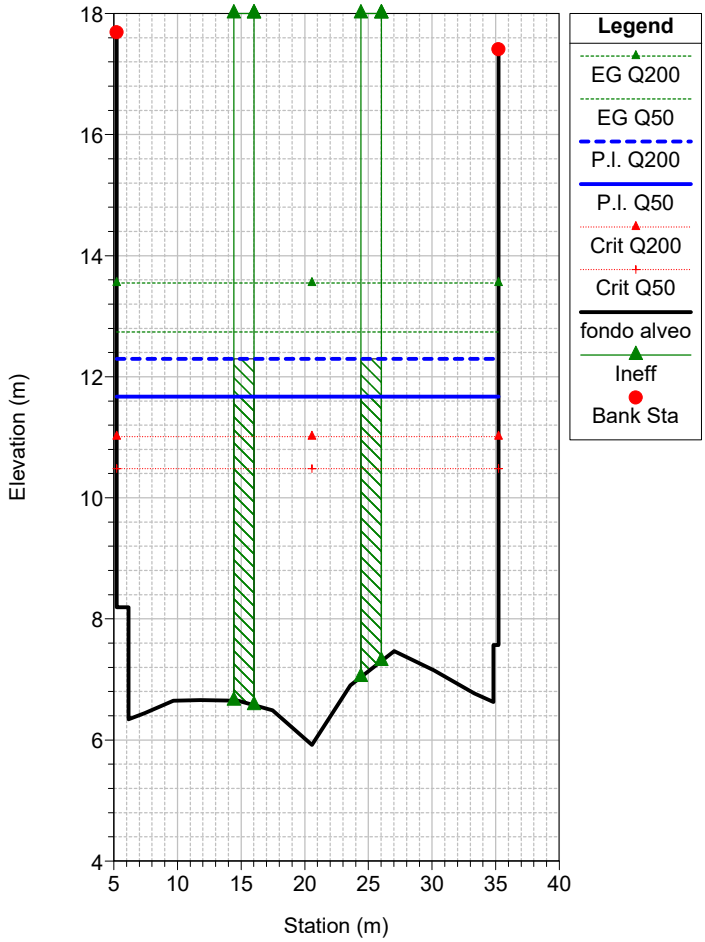
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 28 28



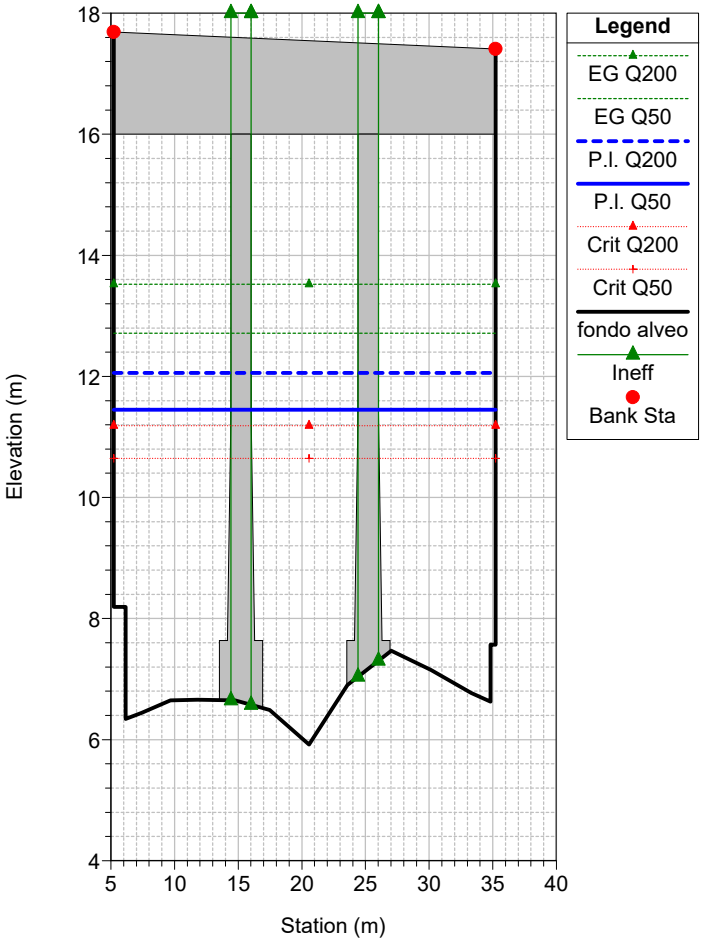
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 27.3 27.3



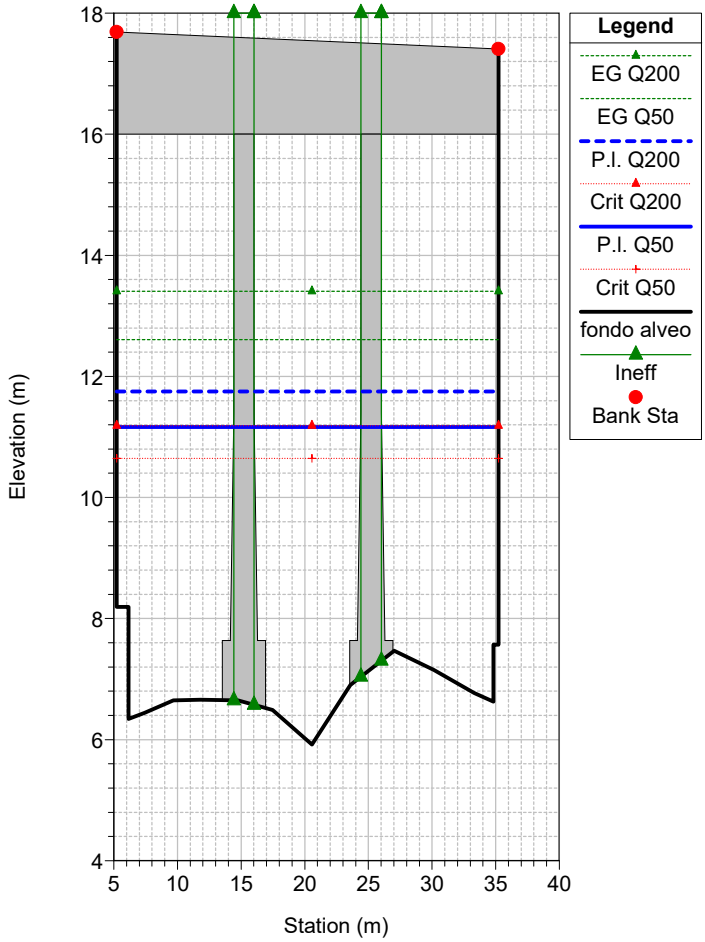
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 27.21 BR



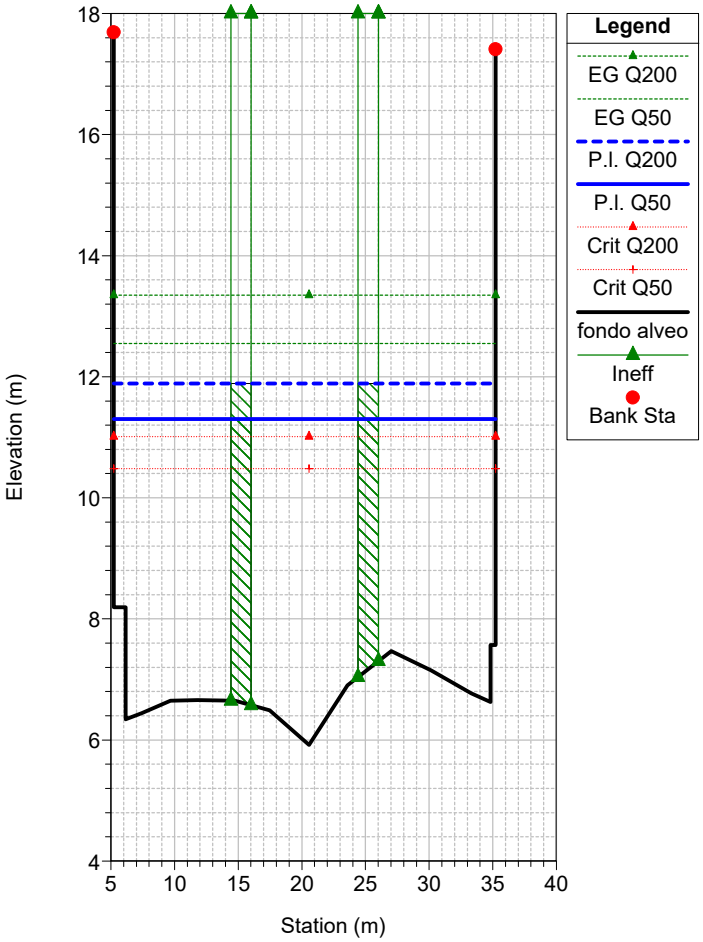
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 27.21 BR



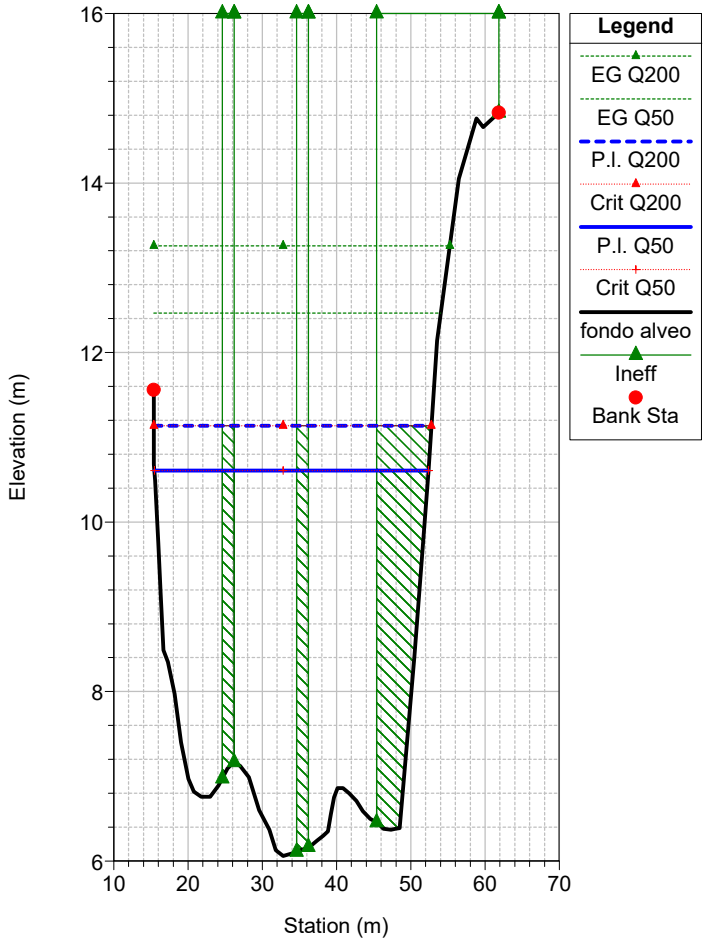
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 27.2 27.2



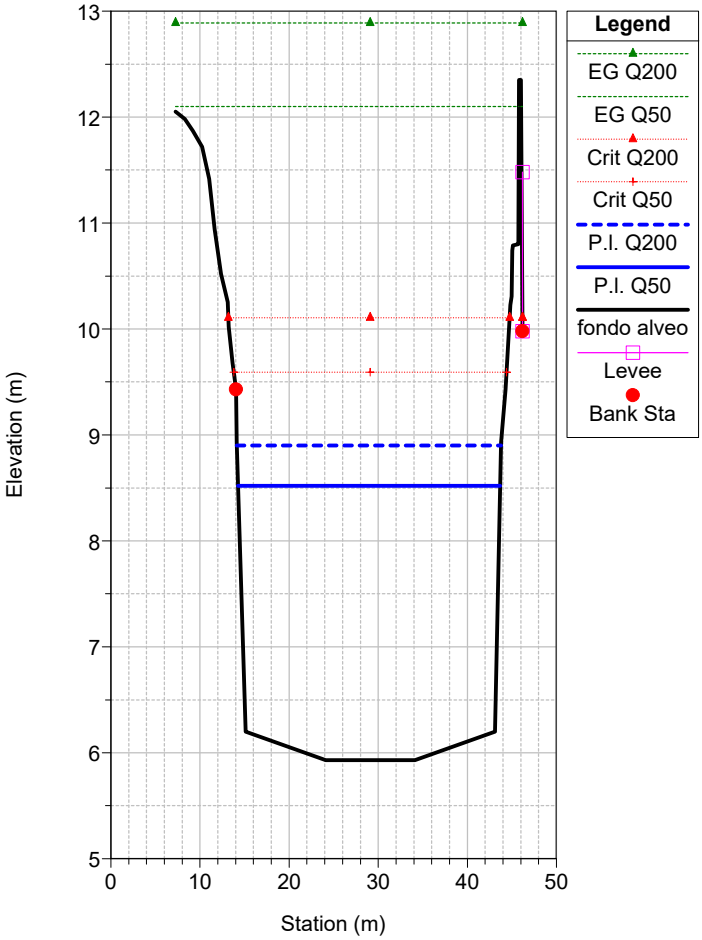
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 27.1 27.1



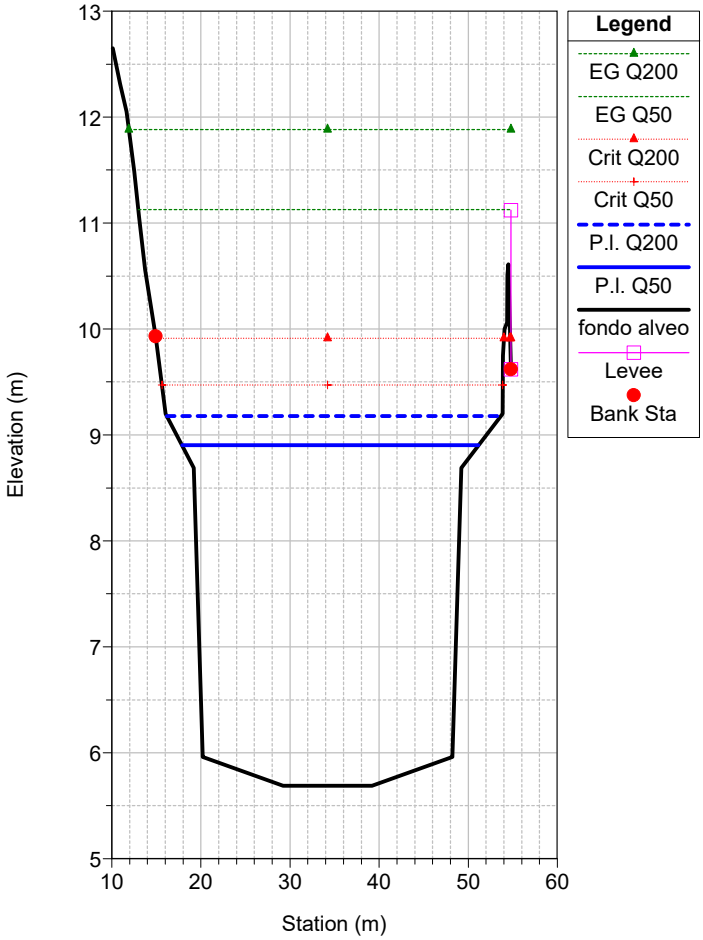
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 27 27



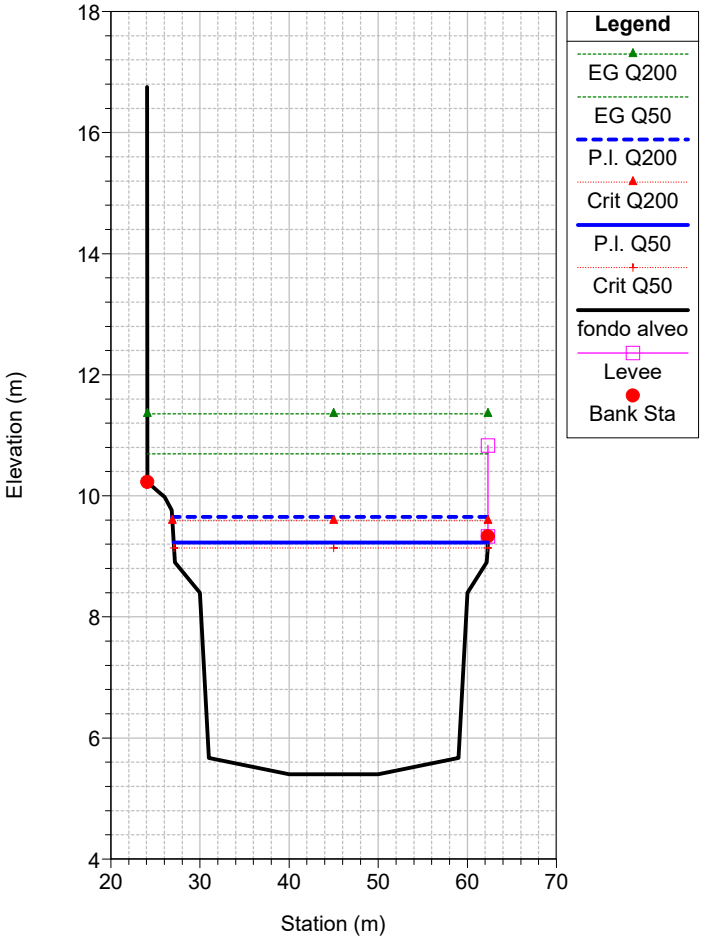
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 26.1 26.1



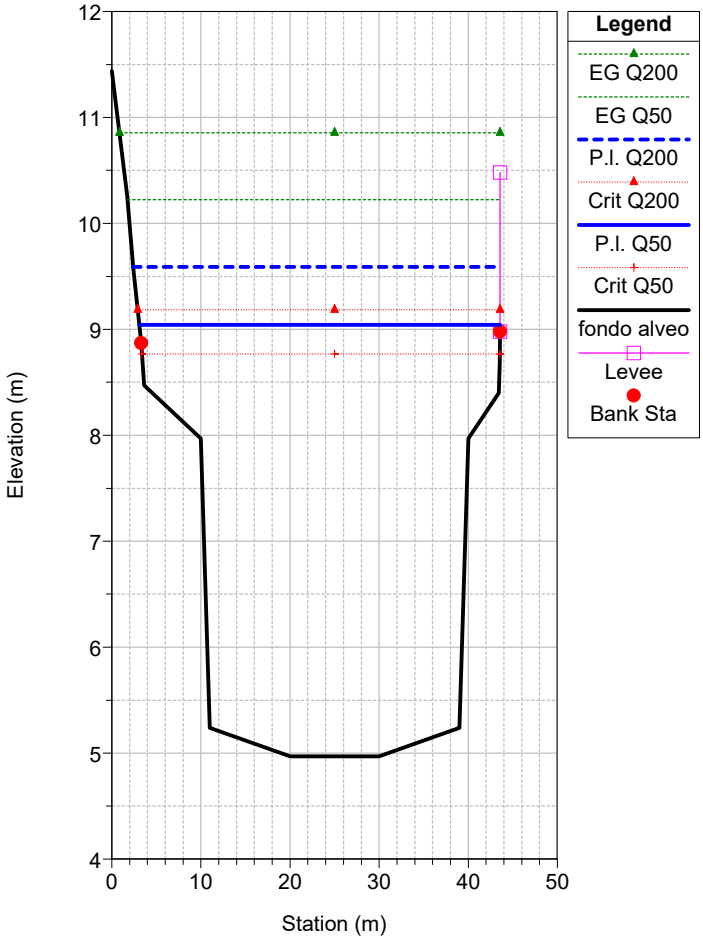
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 26 26



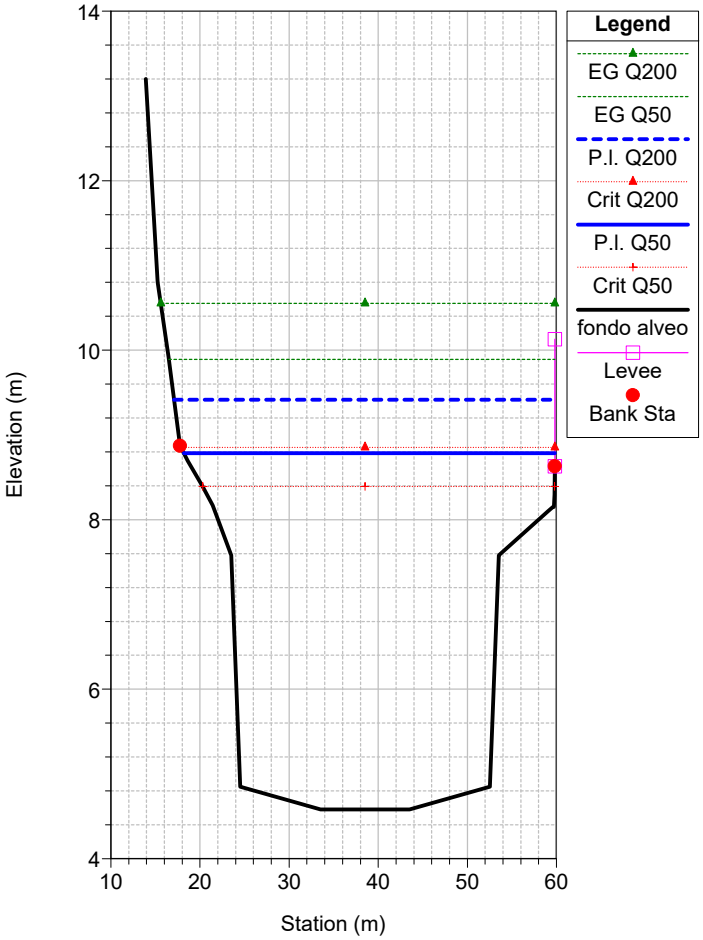
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 25 25



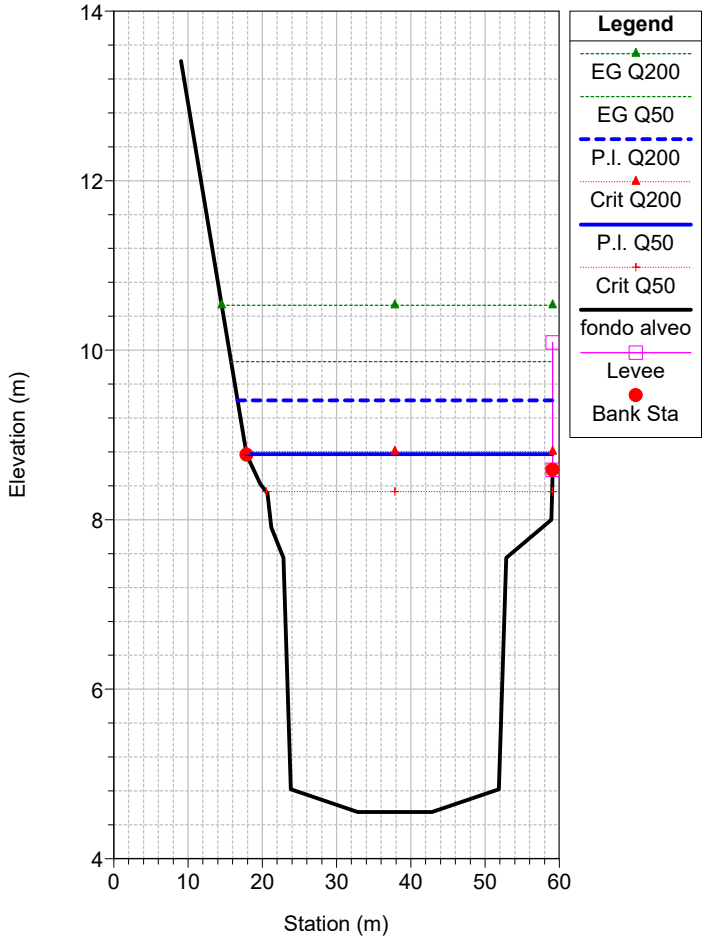
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 24 24



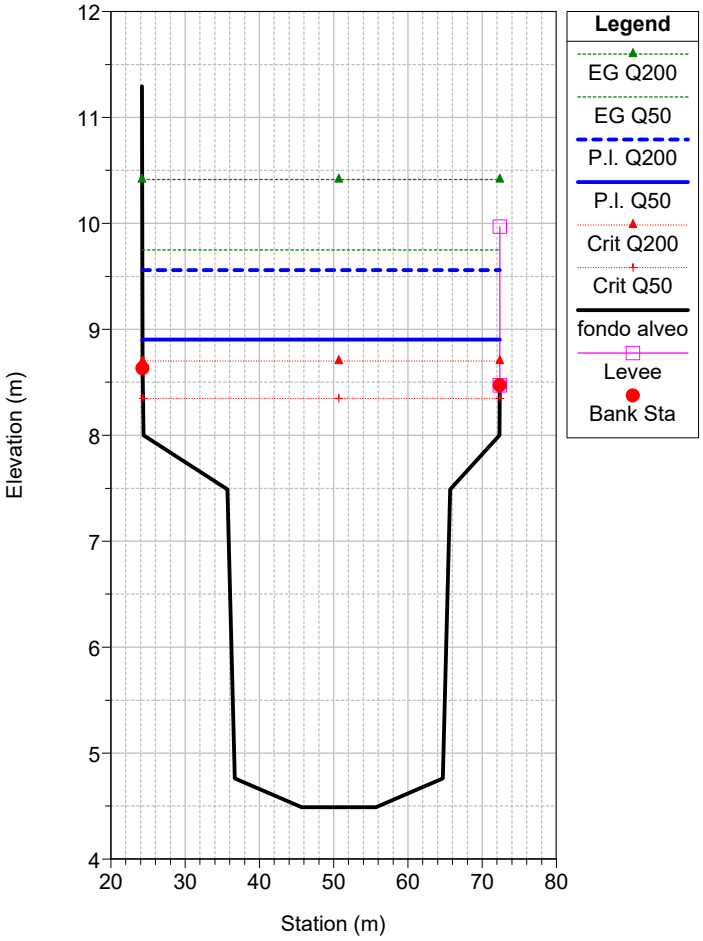
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 23 23



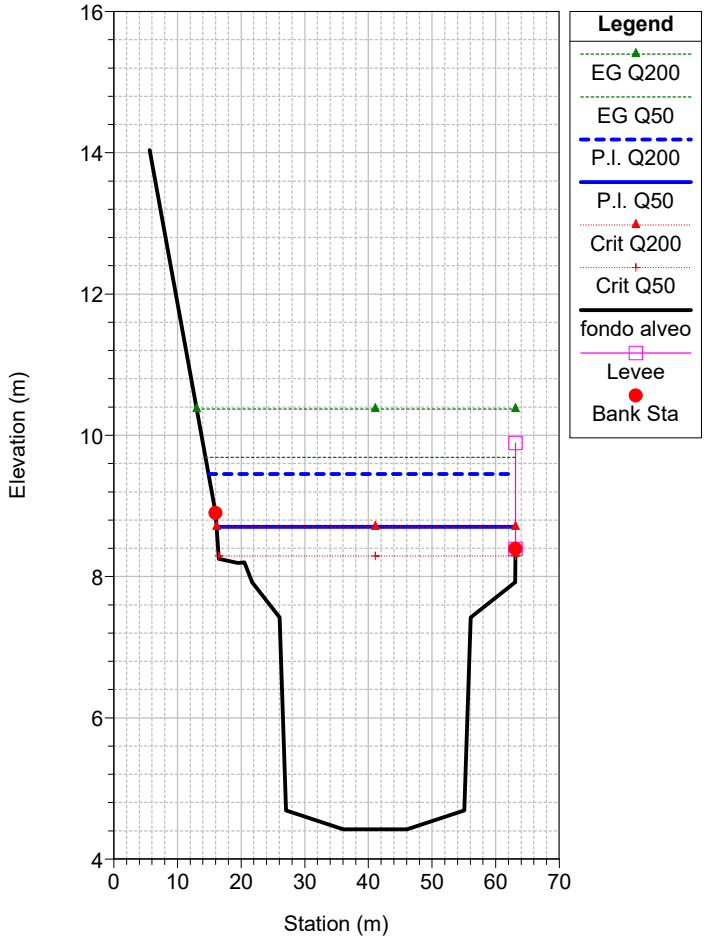
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 22 22



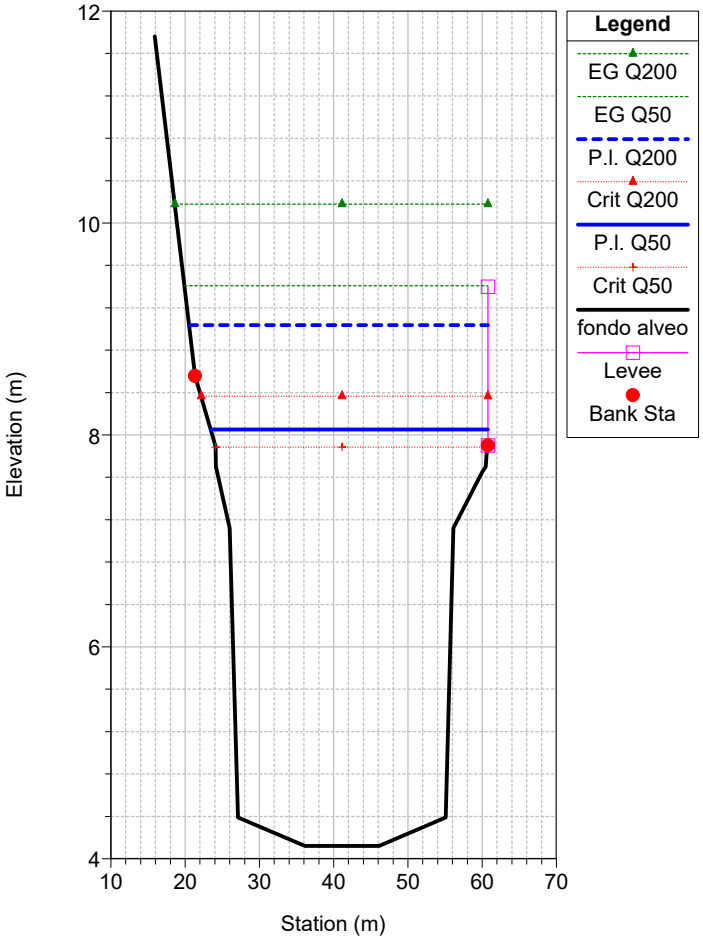
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 21 21



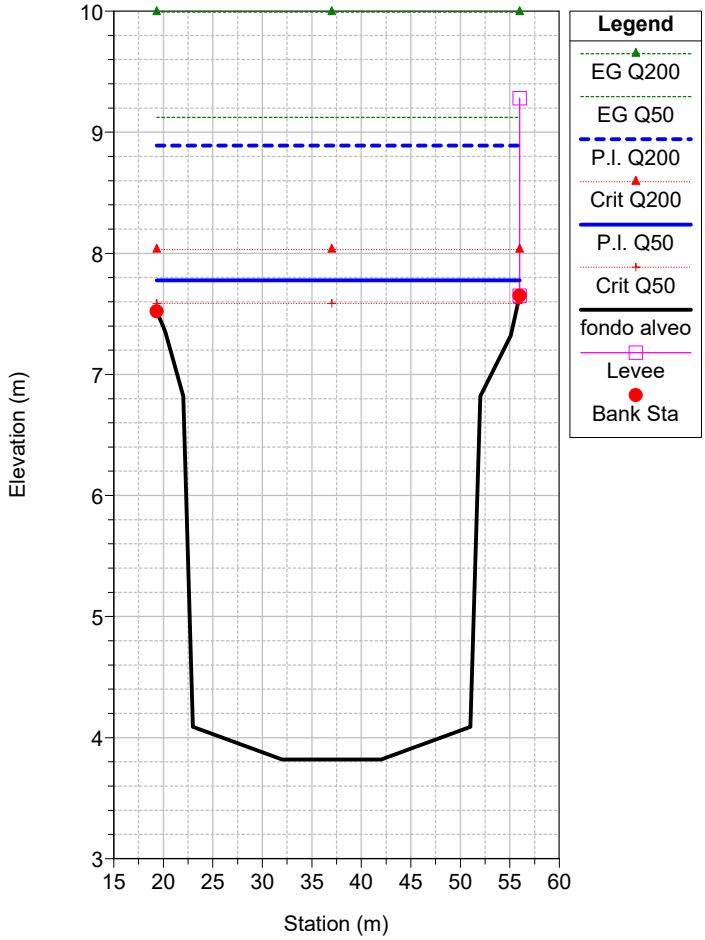
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 20 20



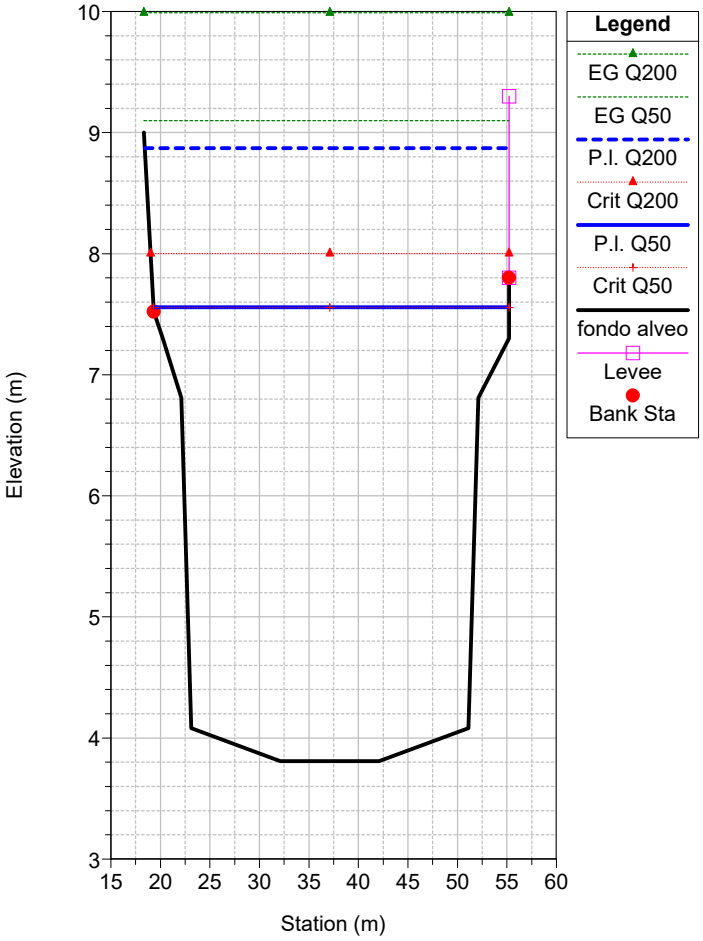
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 19 19



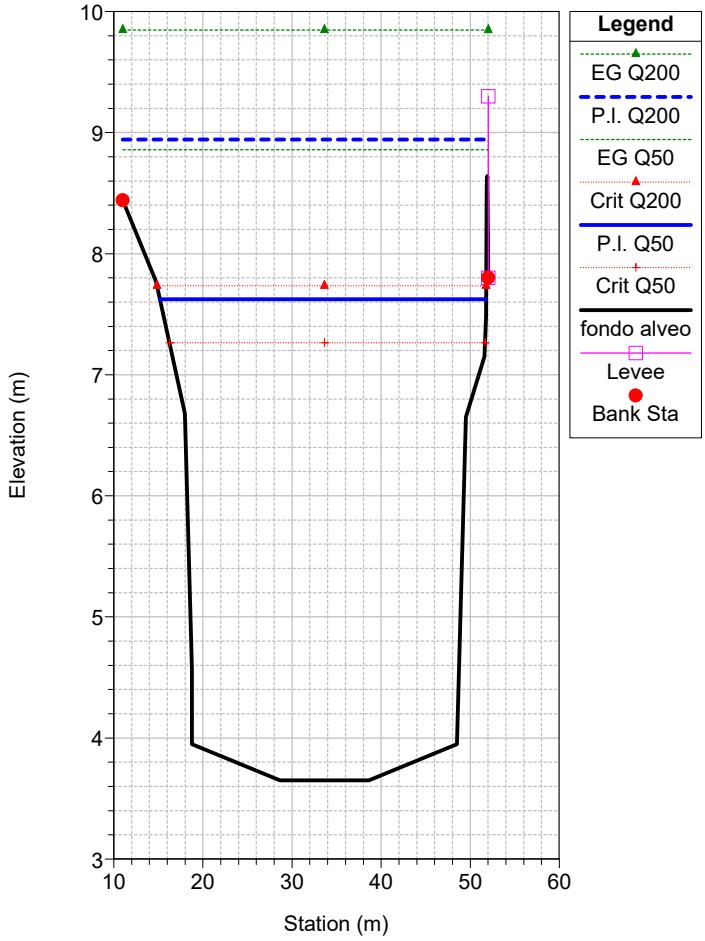
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 18.2 18.2



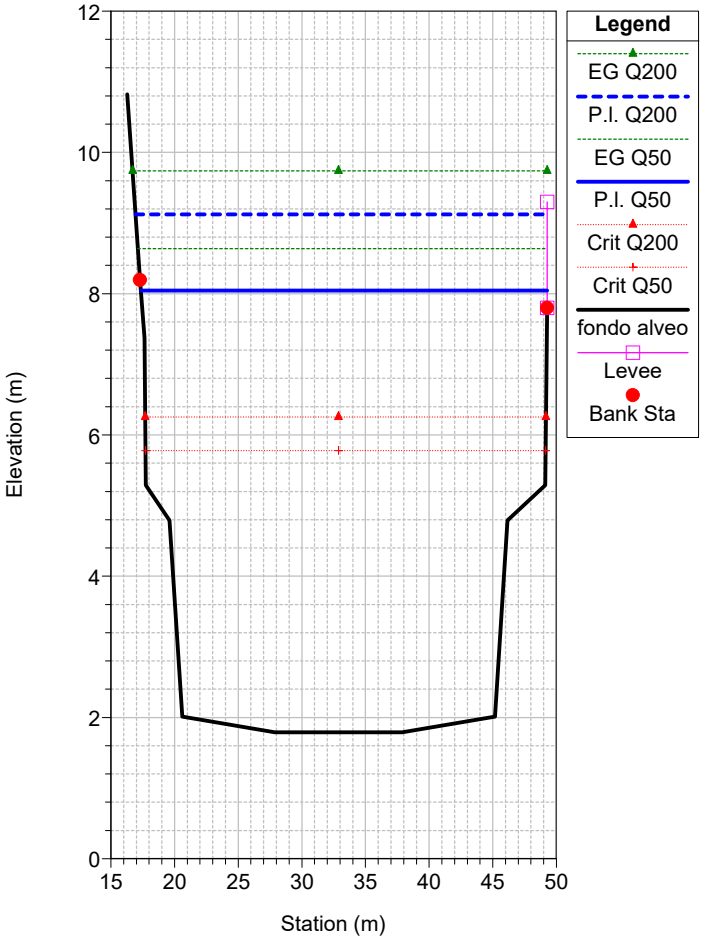
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 18.1 18.1



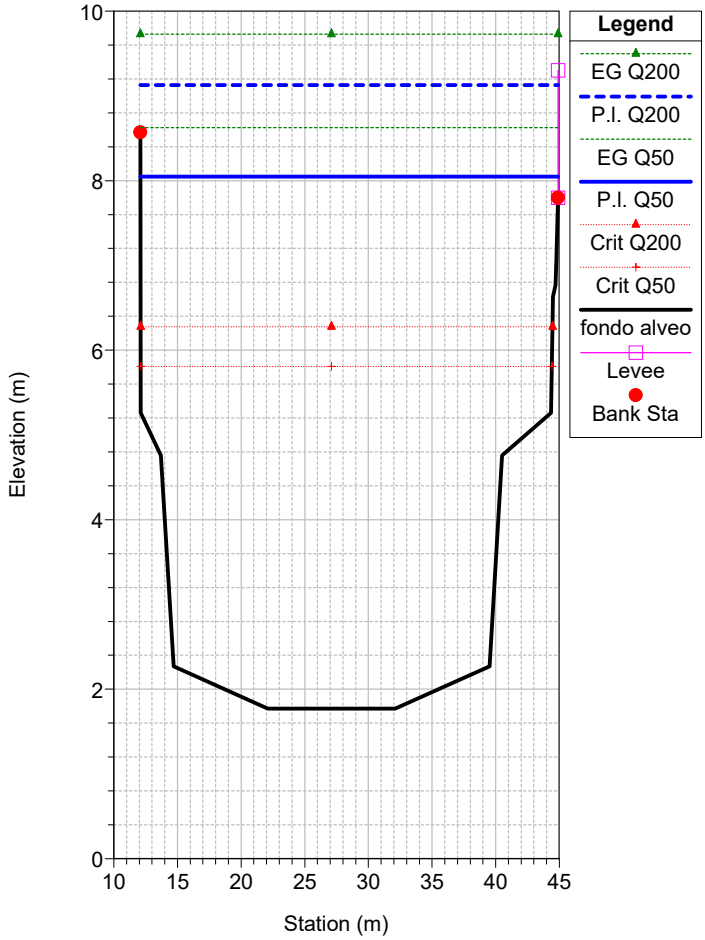
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 18 18



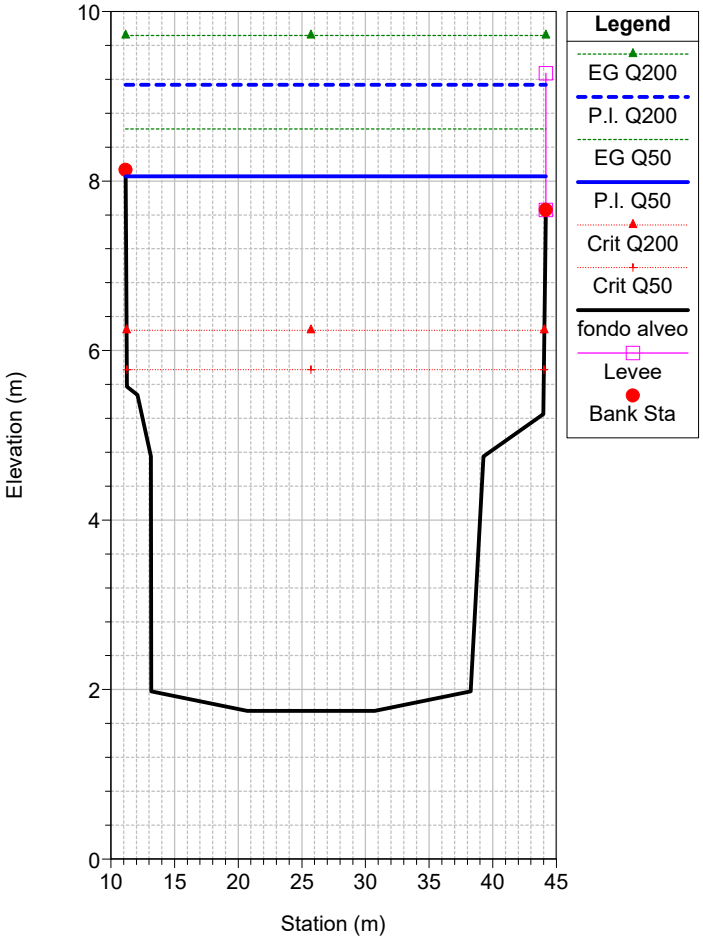
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 17 17



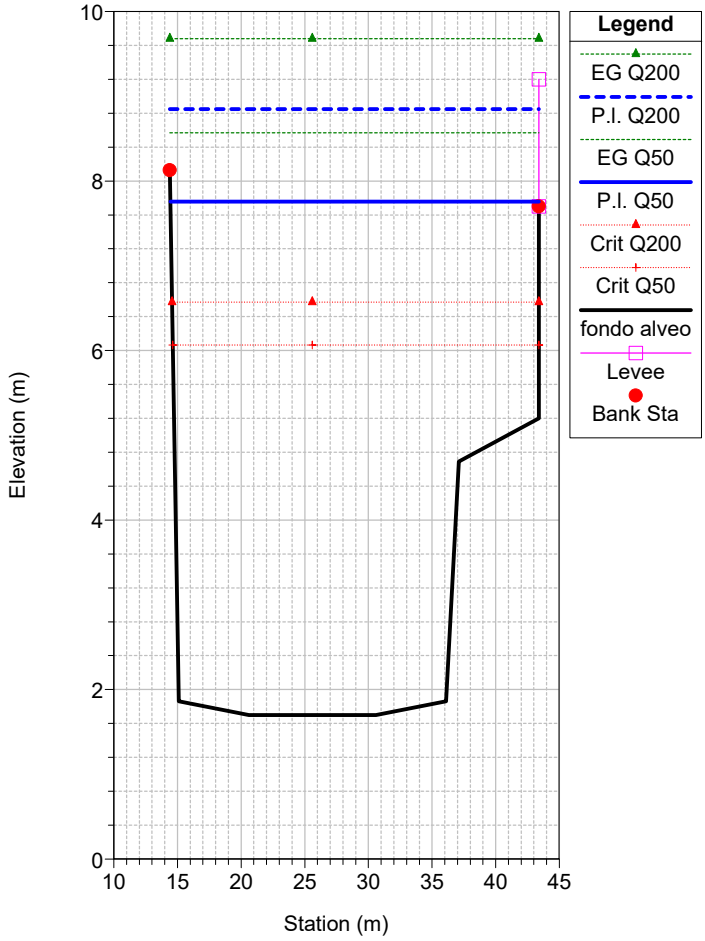
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 16 16



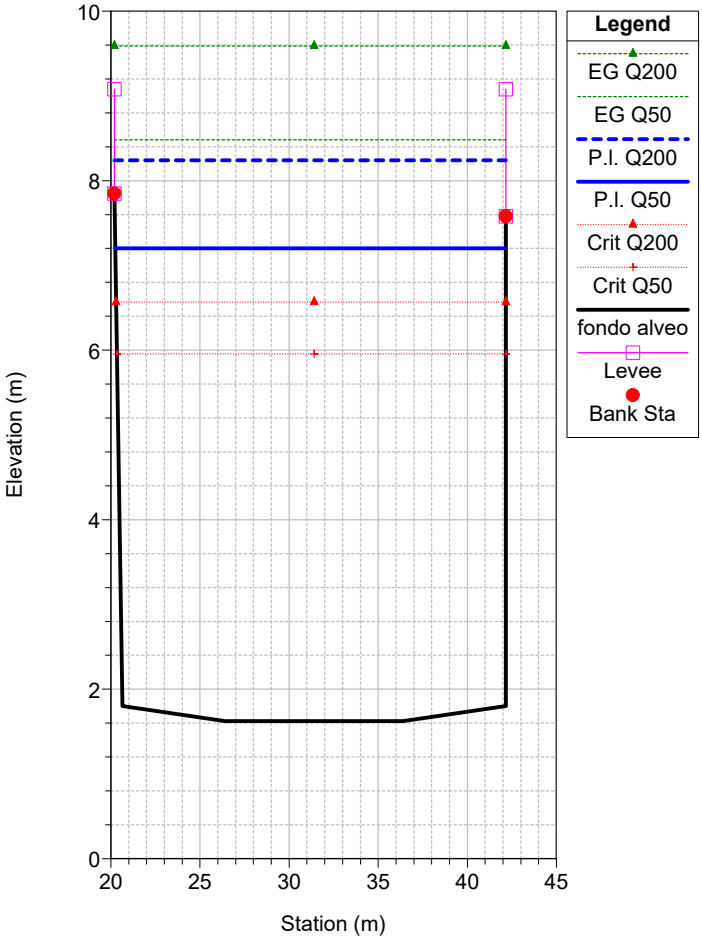
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 15 15



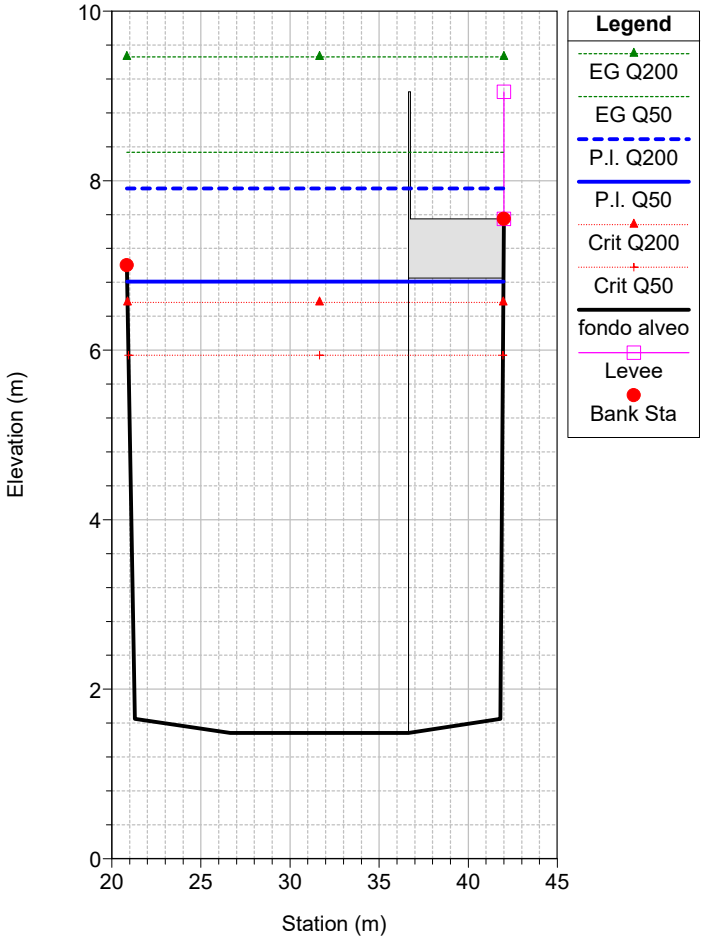
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 14 14



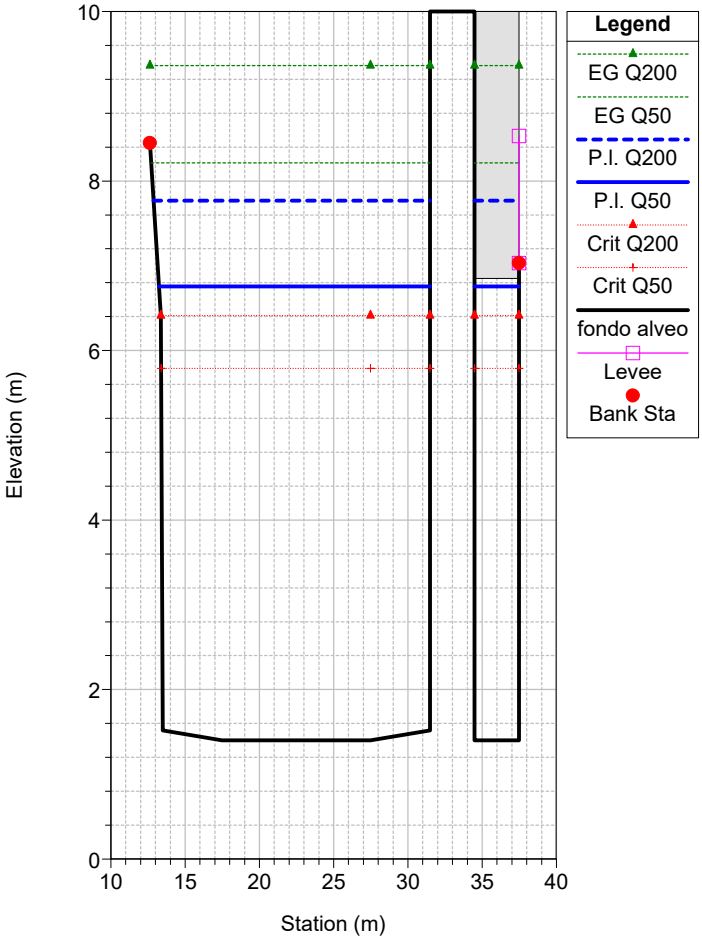
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 13 13



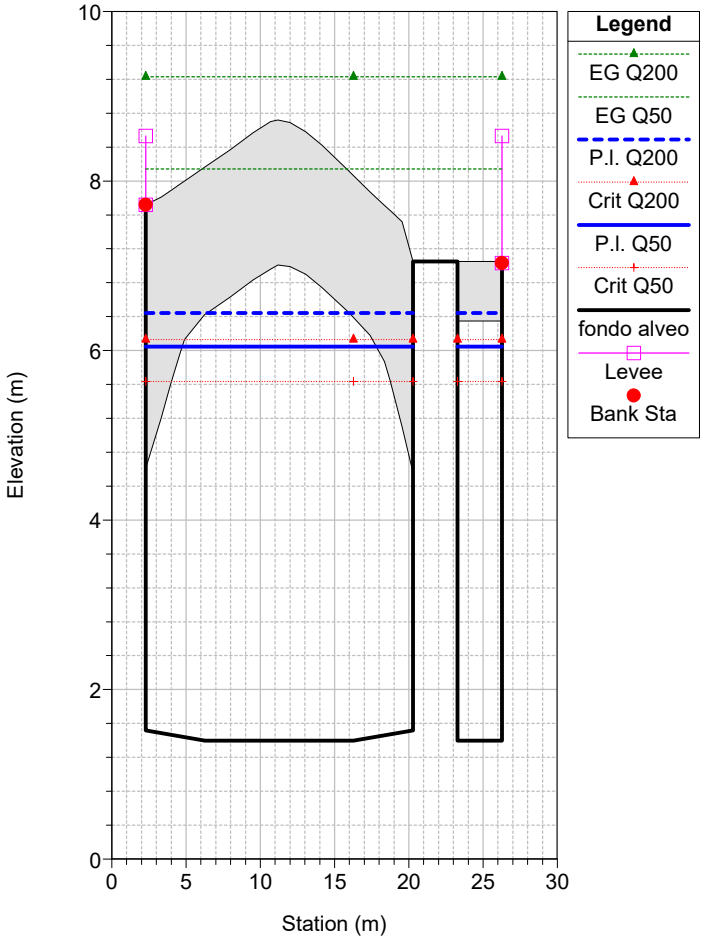
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 12 12



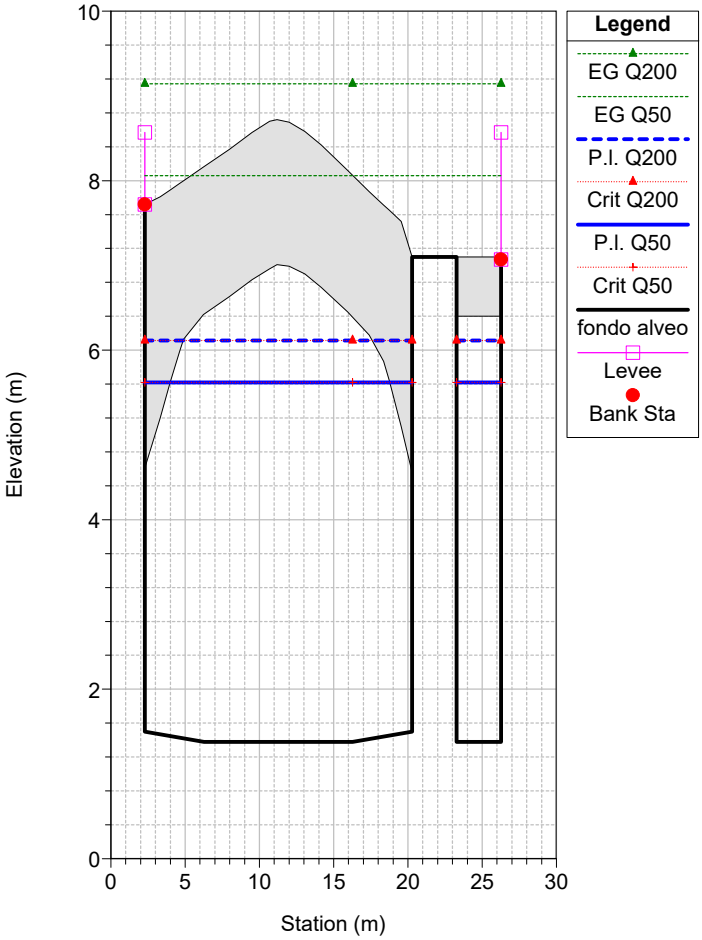
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 11.2 11.2



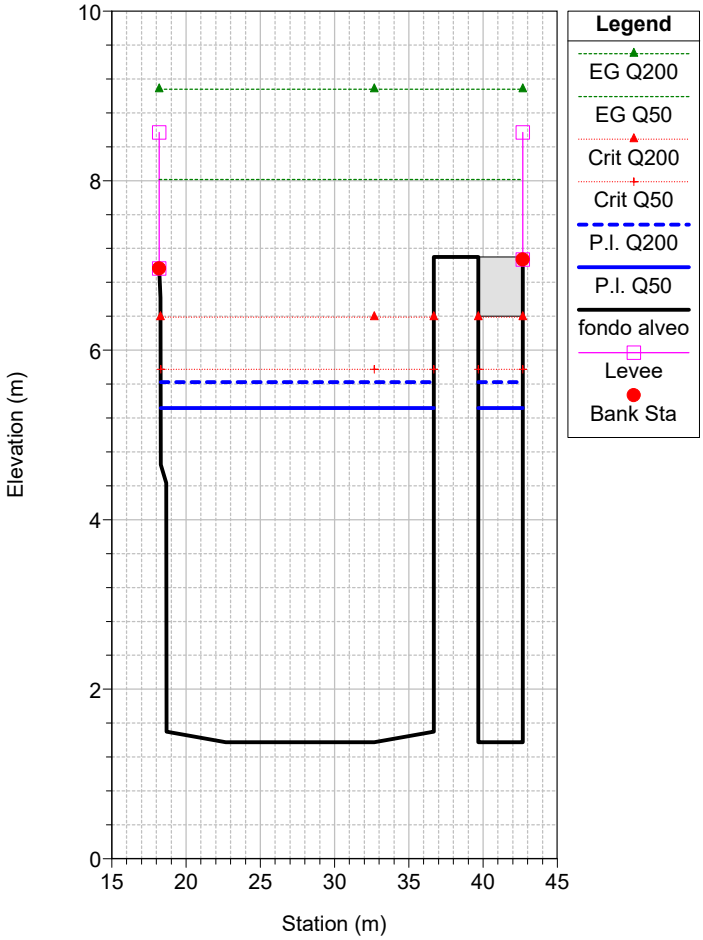
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 11.1 11.1



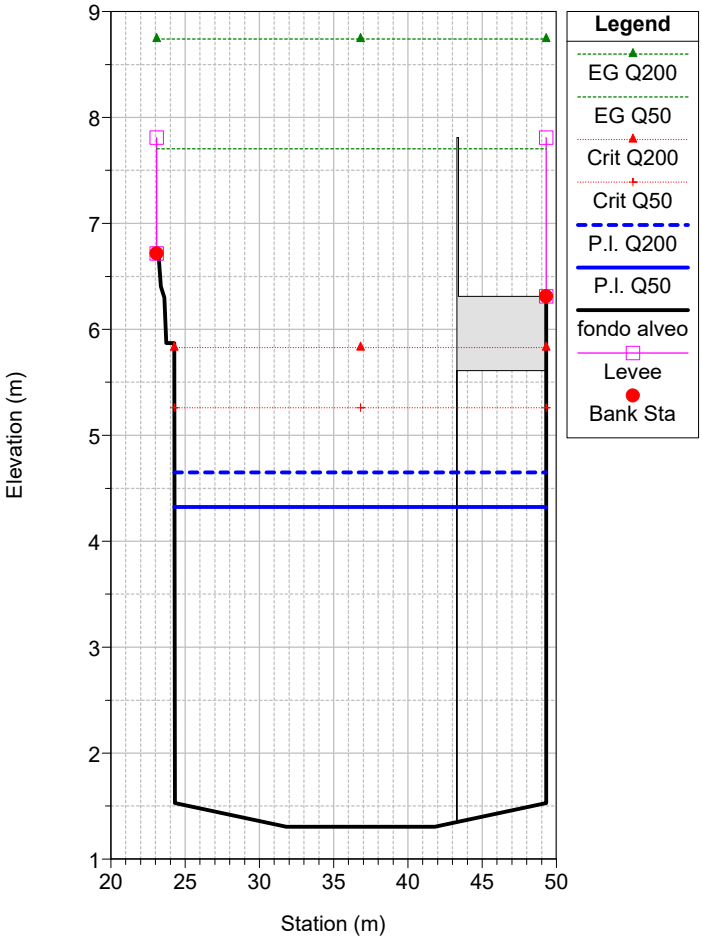
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 11 11



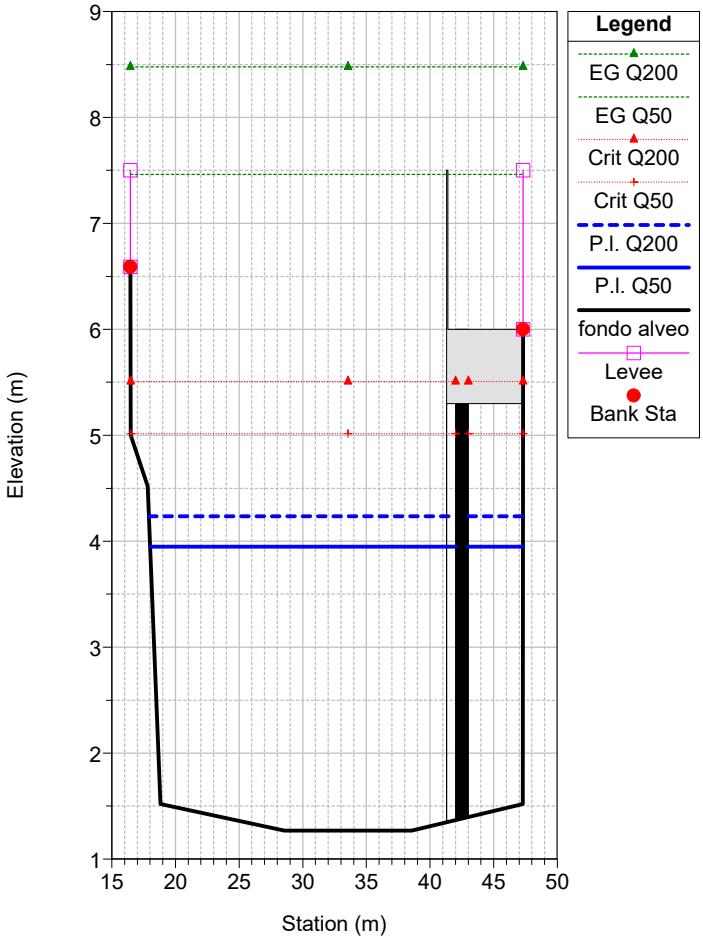
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 10 10



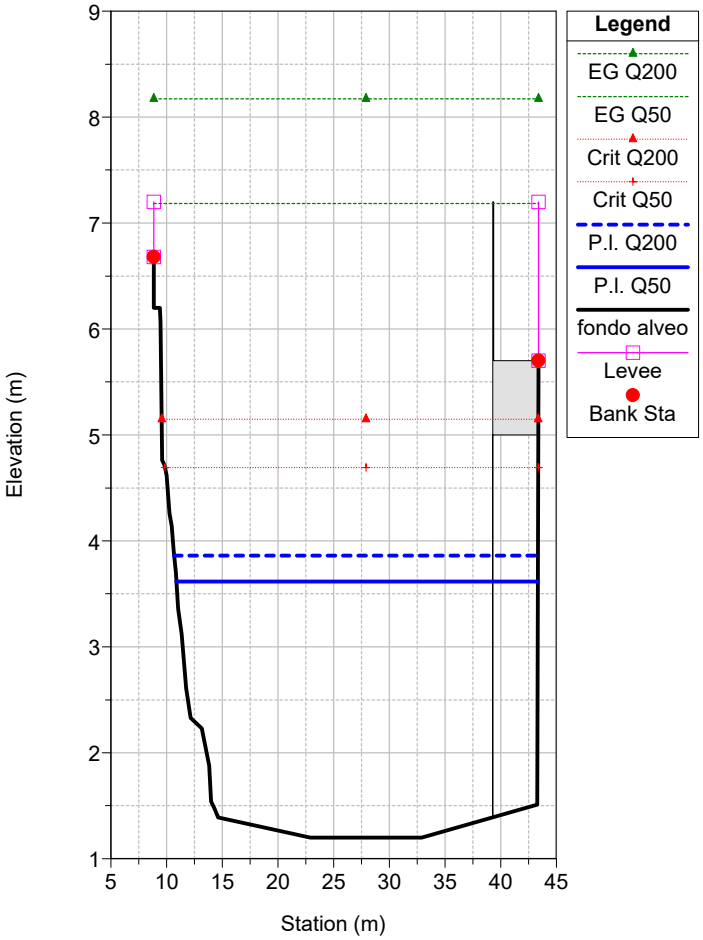
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 9 9



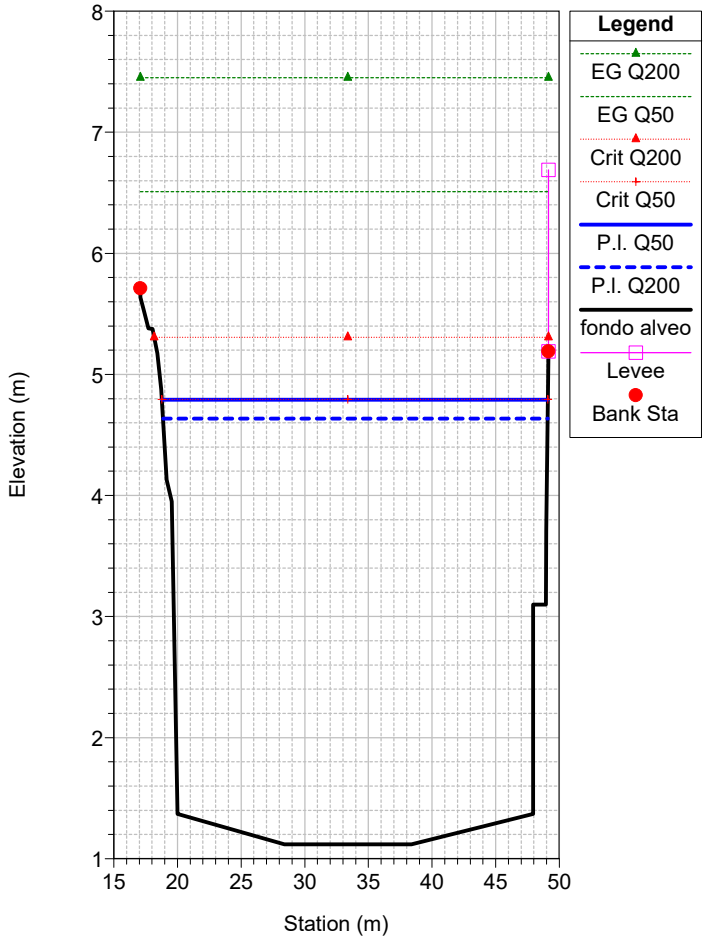
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 8.1 8.1



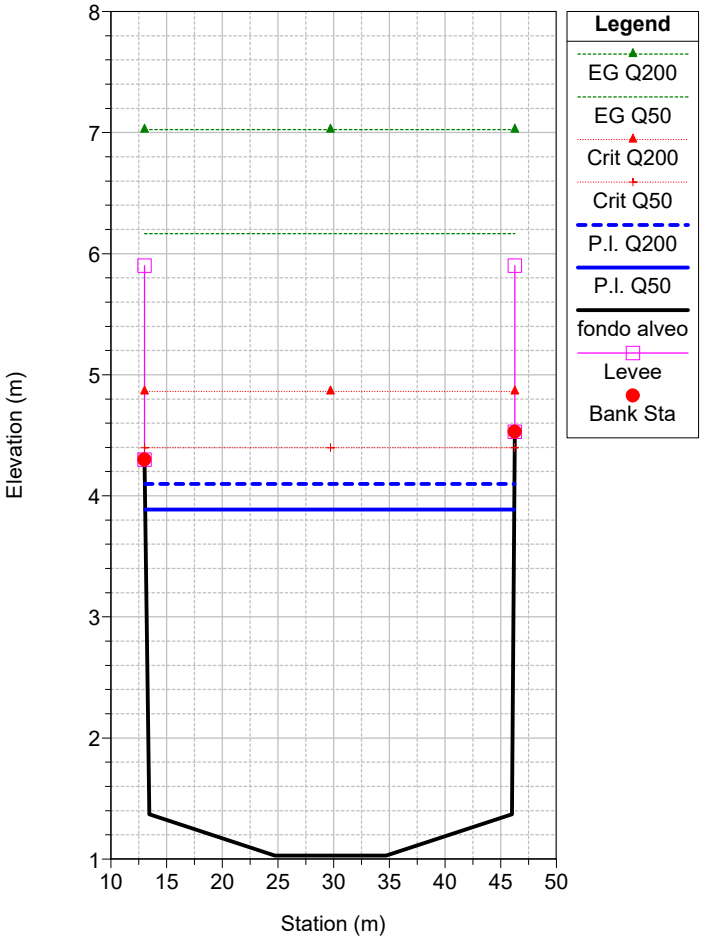
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 8 8



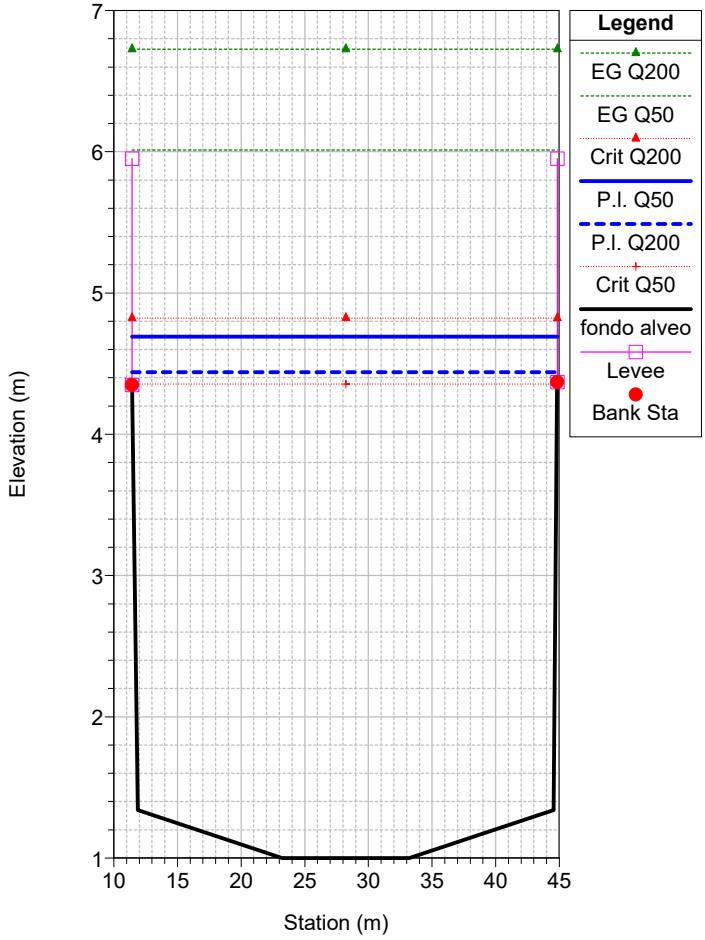
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 7 7



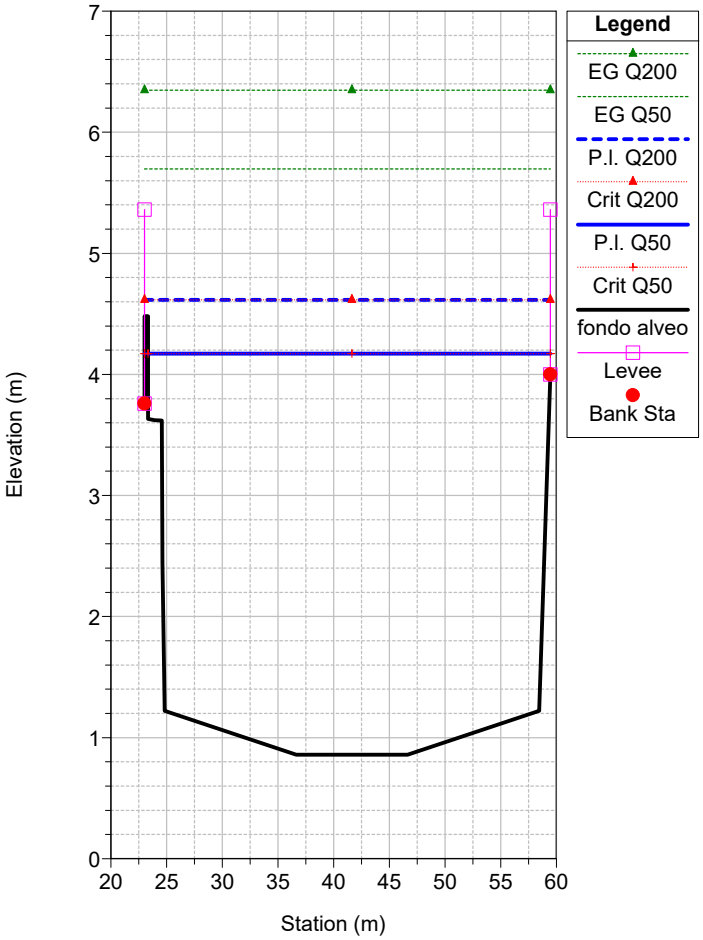
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 6 6



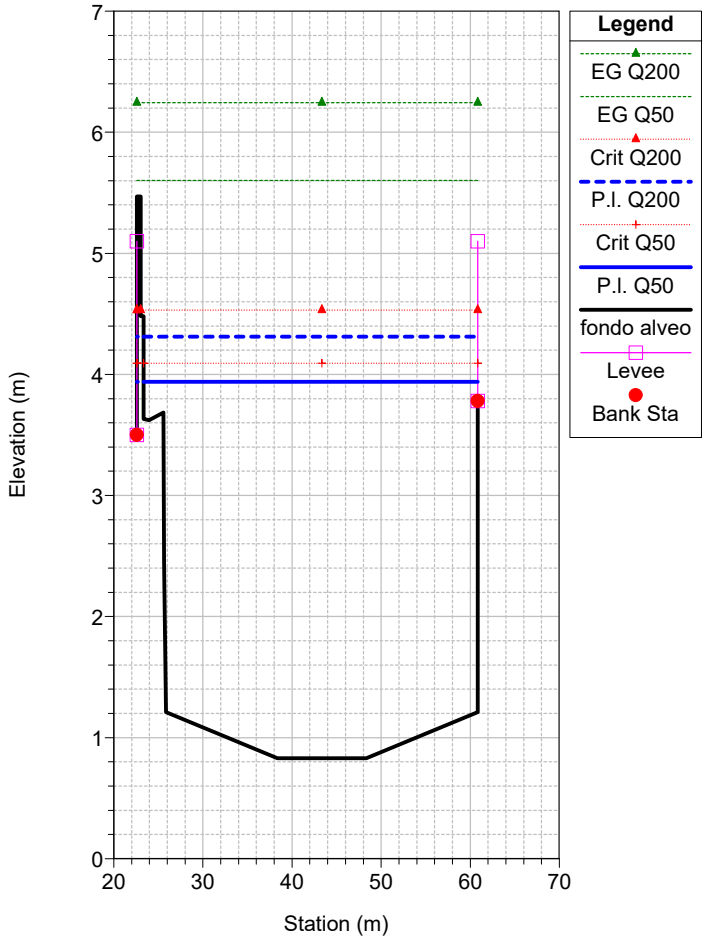
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 5.1



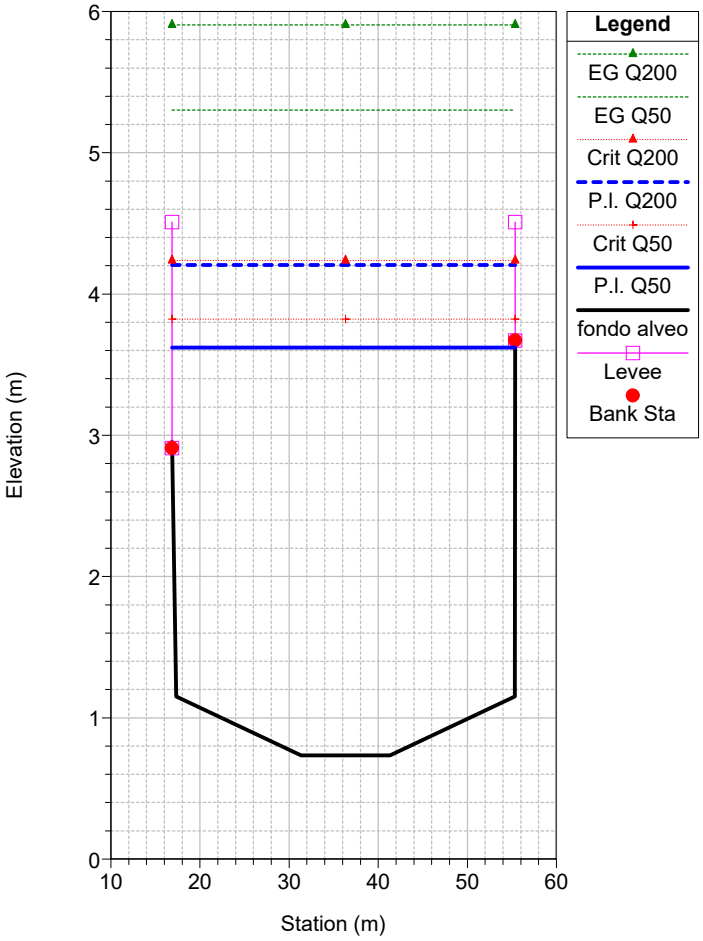
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 5 5



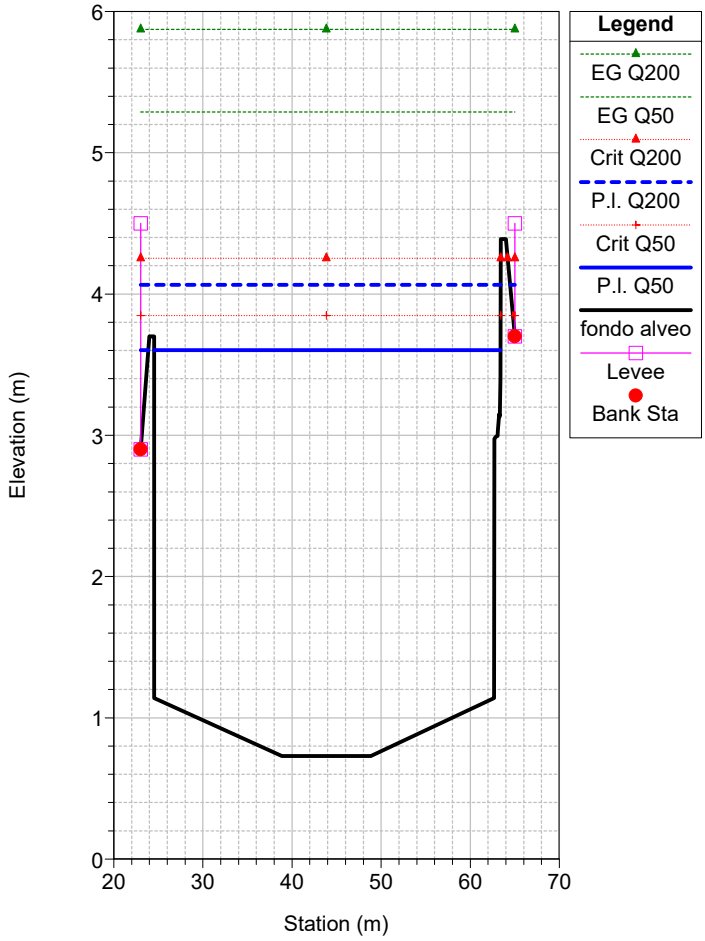
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 4 4



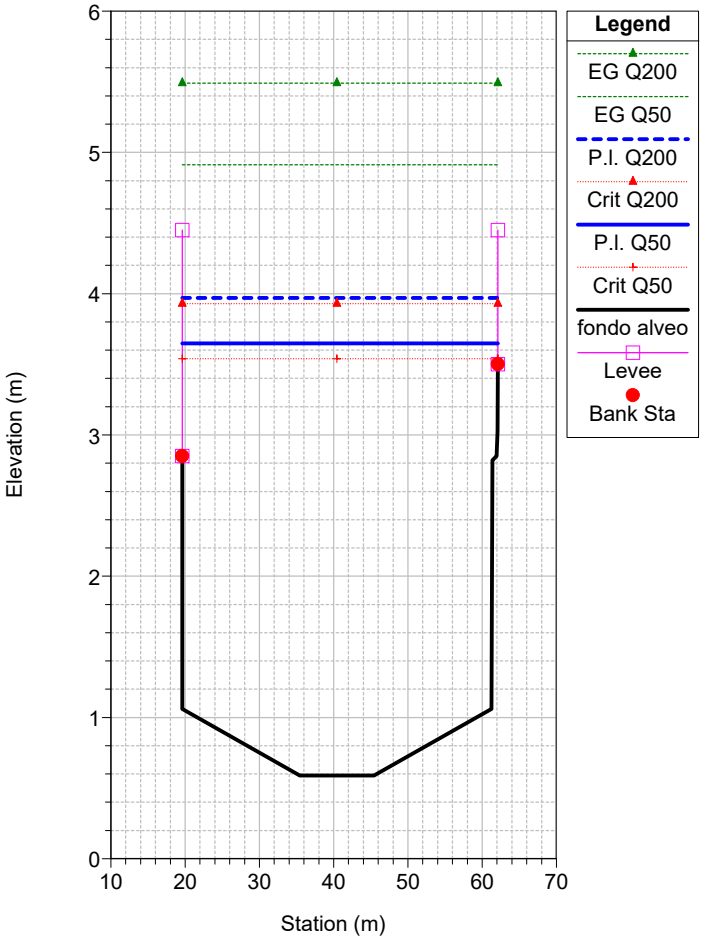
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 3 3



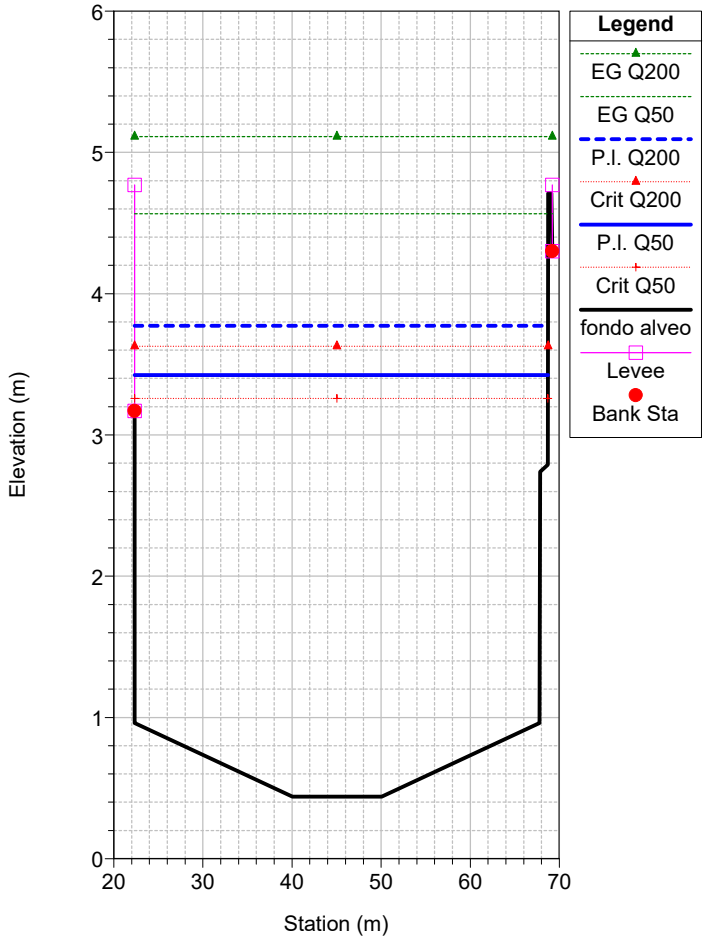
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 2.2 2.2



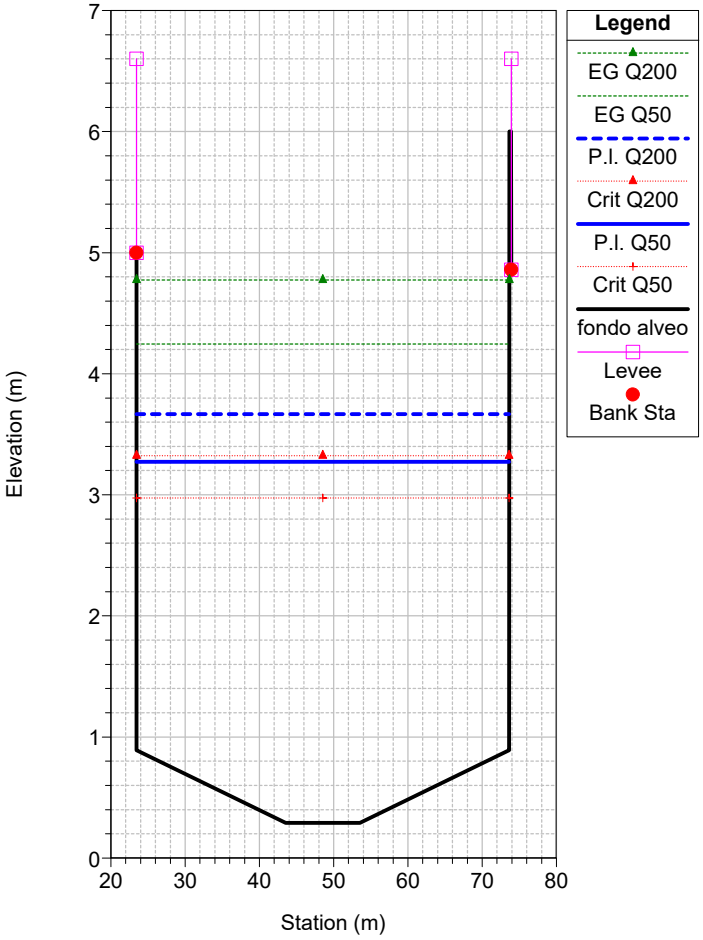
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 2.1 2.1



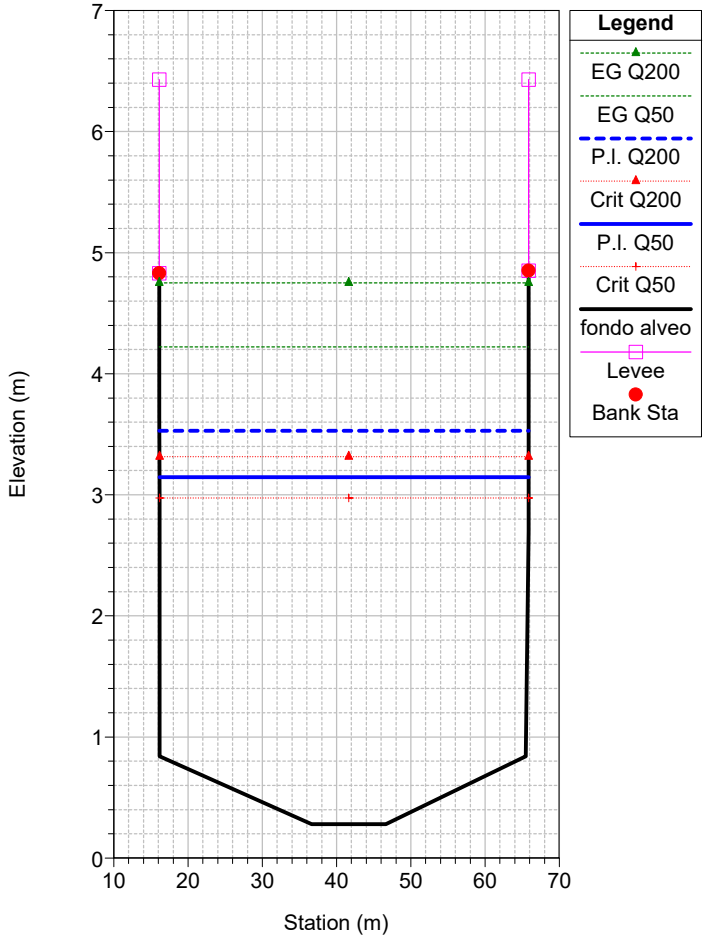
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 2 2



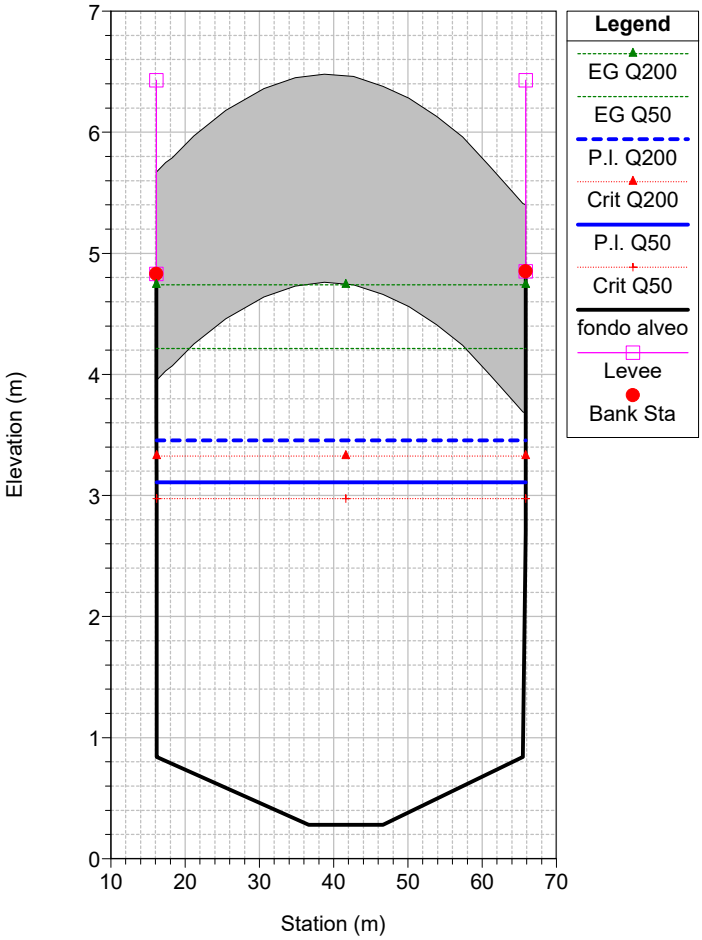
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 1.2 1.2



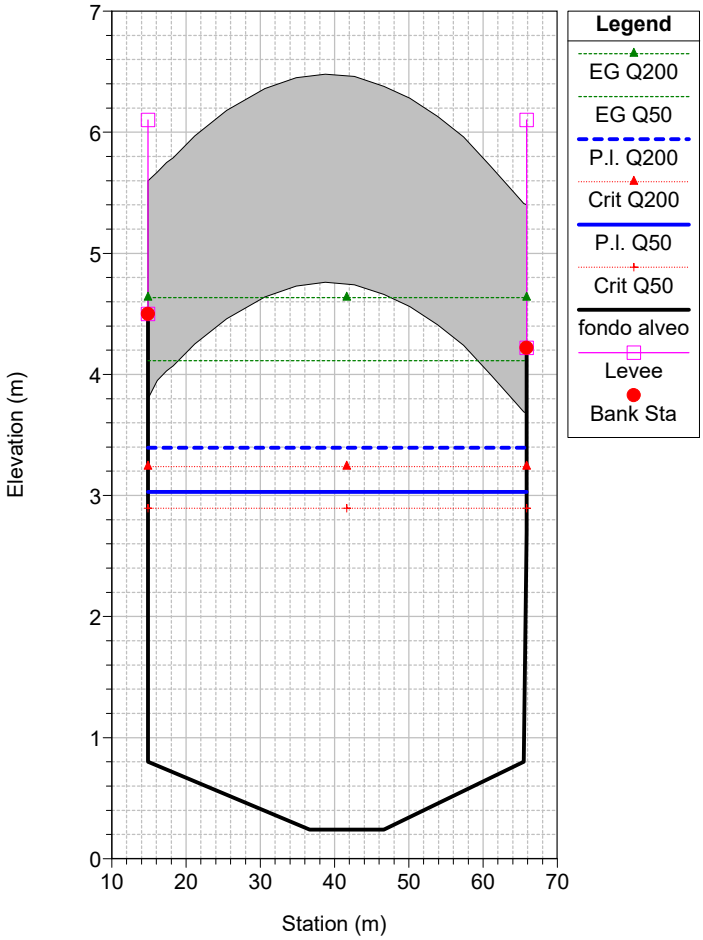
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 1.11 BR



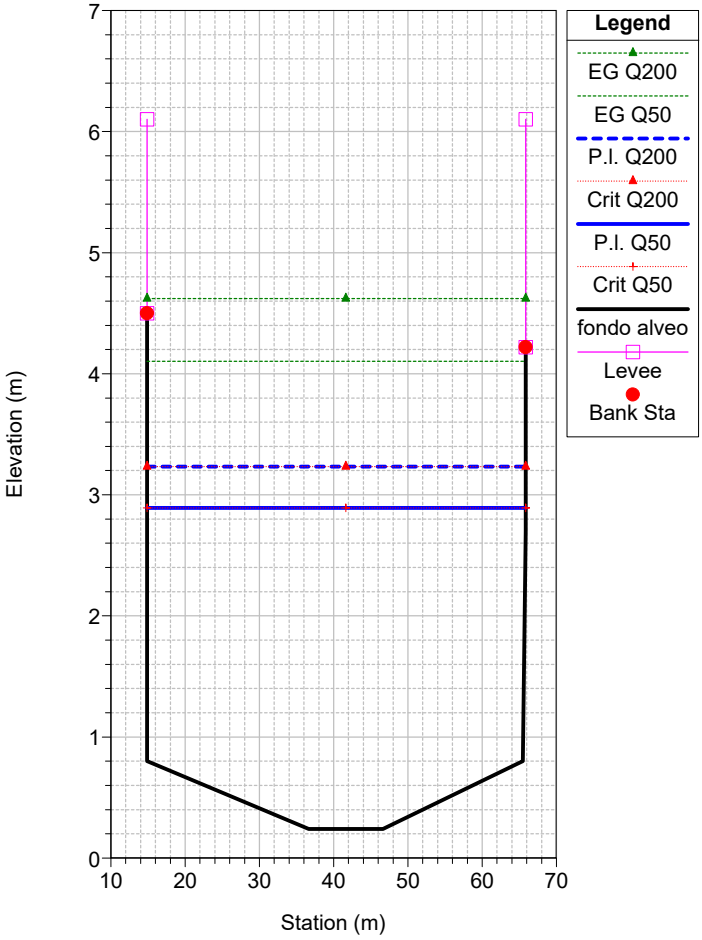
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 1.11 BR



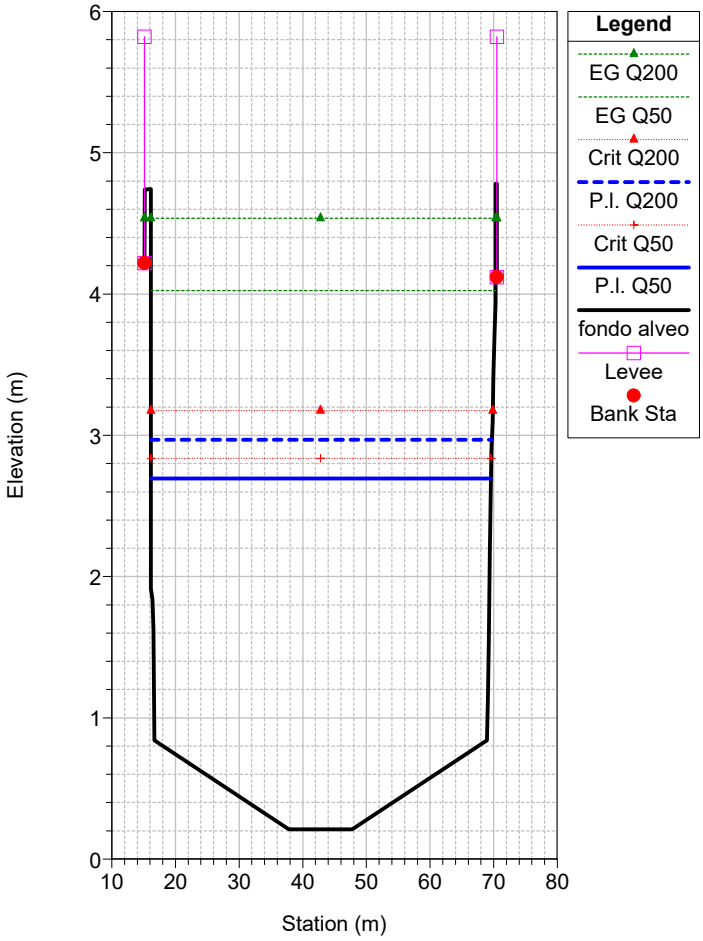
Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

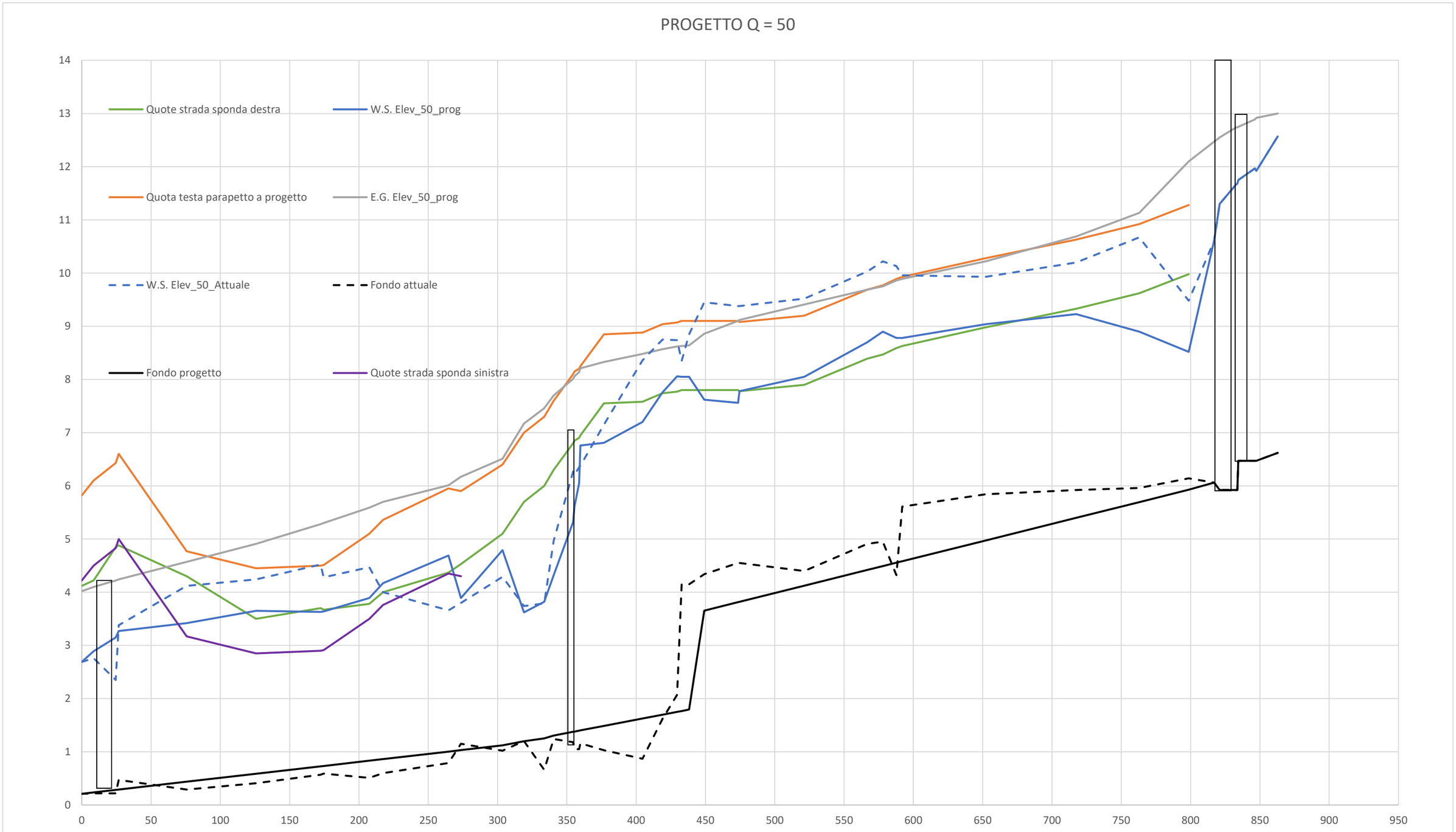
RS = 1.1 1.1

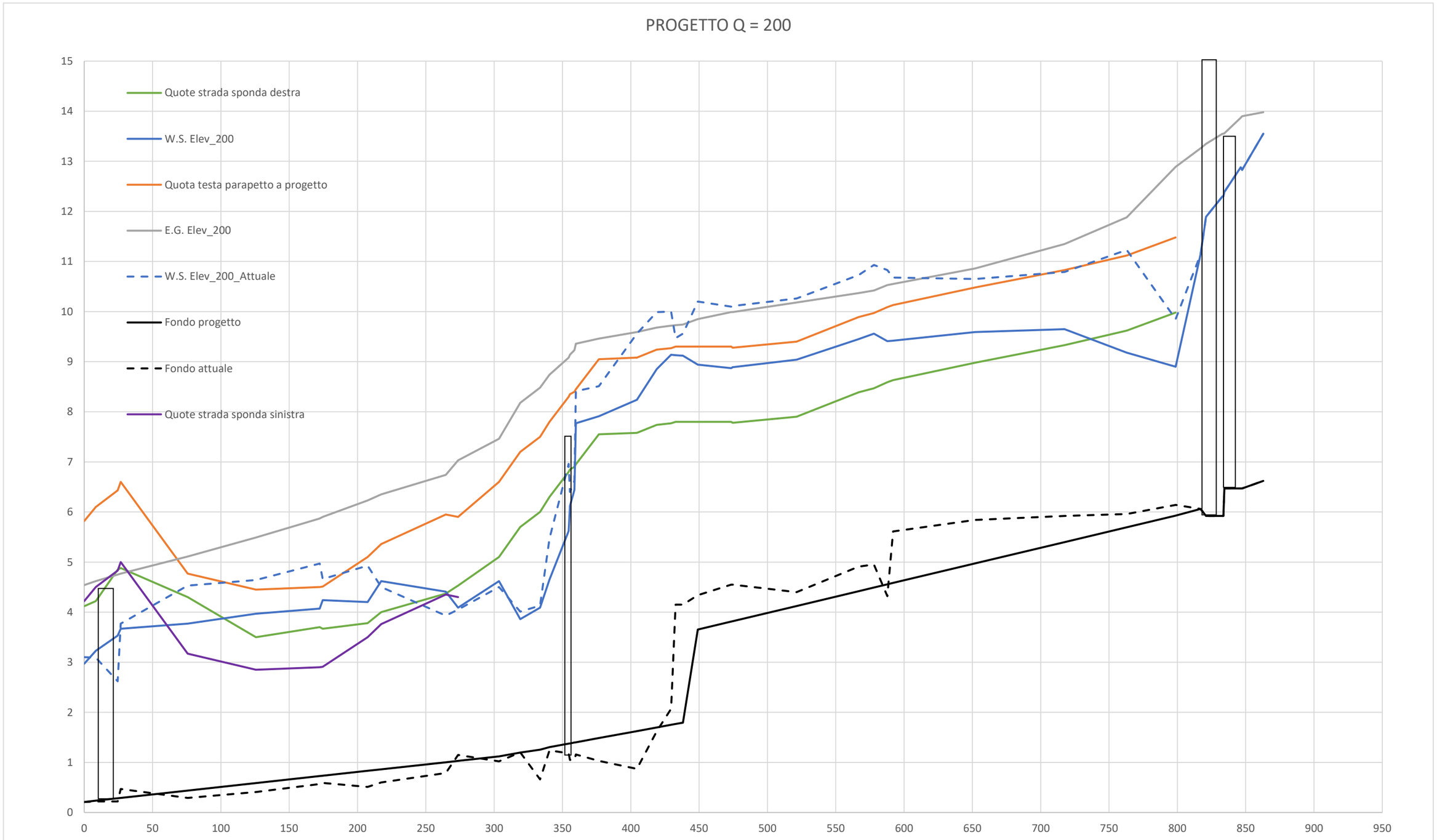


Torrente Petronio Plan: Petronio-giugno-PRG-NEW-A18+sbalzo+LOB

RS = 1 1




PROGETTO Q = 50
Quote strada sponda destra
W.S. Elev_50_prog
Quota testa parapetto a progetto
E.G. Elev_50_prog
W.S. Elev_50_Attuale
Fondo attuale
Fondo progetto
Quote strada sponda sinistra
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
950


PROGETTO Q = 200
Quote strada sponda destra
W.S. Elev_200
Quota testa parapetto a progetto
E.G. Elev_200
W.S. Elev_200_Attuale
Fondo progetto
Fondo attuale
Quote strada sponda sinistra
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
950

APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 5.0.7

Il software di calcolo *Hec-Ras 4.1* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K}\right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3}\ s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 $[m/s]$ sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro *n* di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature (*bridge* and *culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalcamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita attraverso la luce di area $A[m^2]$, $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Il modello consente inoltre il calcolo del funzionamento in pressione di coperture, scatolari, tombinature e della portata esondata lungo le sponde nei tratti a cielo aperto quando il livello superi le quote di sommità arginale (*lateral structure*).

Nel rispetto dell'equazione di continuità il programma fornisce in quest'ultimo caso per ciascuna configurazione di portata imposta da monte l'entità delle portate esondate per ciascuno stramazzo laterale e la portata residua di valle, con i rispettivi livelli.