Committente:

COMUNE DI GENOVA

Direzione Sport

Assessorato bilancio, lavori pubblici, opere strategiche infrastrutturali, rapporti con i municipi

Titolo:

Progetto di fattibilità tecnico-economica di sistemazione del Rio Villa Castagna

Oggetto:

Relazione idraulica

Gruppo di lavoro

Ing.	P. Misurale
Ing.	M. Ivaldi
Ing.	E. Misurale
Ing.	A. Porri
Geom.	F. Sciurti

Livello di progetto: PFTE

Nome File: P105-23-F-RE-IDR-001-B

Codice progetto: P105-23

Elaborato n°: IDR-001

Firme:

ORDINE INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI GENOVA
Dott. Ing. PIETRO MISURALE N° 5390

Firmato digitalmente da:
MISURALE PIETRO
Firmato il 11/07/2024 12:09
Seriale Certificato: 839192
Valido dal 19/10/2021 al 19/10/2024
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Rev:	Modifiche / Revisioni	Data	Redatto	Controllato	Approvato
A	PRIMA EMISSIONE	08/09/2023	APO	MIV	PMI
B	RICHIESTA INTEGRAZIONI DELLA REGIONE LIGURIA	28/09/2023	APO	MIV	PMI

19038 SARZANA (SP) - Via B.P.U. Muccini, 54A - T. +39 0187 610532
16129 GENOVA (GE) - Via Antonio Cecchi, 7/9-10 - T. +39 010 5959690
P. Iva 01236860118 - N.CCIAA 01236860118 - REA CCIA SP112013
Cap. Soc. € 100.000 i.v. - info@itec-engineering.it

ASSOCIATO OICE CONFINDUSTRIA efca FIDIC 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

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

INDICE

1 PREMESSA 1

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3

2.1 PIANO DI BACINO – TORRENTE BISAGNO 3
2.2 REGOLAMENTO REGIONALE N. 3 DEL 14/07/2011 7

3 RIO VILLA CASTAGNA 9

4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO 12

5 VERIFICHE IDRAULICHE STATO ATTUALE 14

5.1 PORTATE DI PIENA 14
5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO 14
5.3 PARAMETRI E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA 14
5.4 RISULTATI 15
5.5 ANALISI DI SENSITIVITÀ PER IL TRATTO TOMBINATO TERMINALE DEL RIO VILLA CASTAGNA 16

6 VERIFICHE IDRAULICHE STATO DI PROGETTO 18

6.1 METODOLOGIA DI CALCOLO 18
6.2 PARAMETRI E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA 20
6.3 RISULTATI 21
6.4 ANALISI DI SENSITIVITÀ PER IL TRATTO TOMBINATO TERMINALE DEL RIO VILLA CASTAGNA 27
6.4.1 Ostruzione del fondo alveo 27
6.4.2 Ostruzione imbocco 28
6.4.3 Scabrezza del fondo alveo 29
6.5 MODELLO BIDIMENSIONALE 31
6.5.1 Metodologia di calcolo 31
6.5.2 Geometria del nodo e schematizzazione del dominio di calcolo 31
6.5.3 Parametri di calcolo e condizioni al contorno 33
6.5.4 Risultati 37

7 MAPPATURA AREE INONDABILI STATO DI PROGETTO 42

Allegati:

ALLEGATO 1: Proposta mappatura aree inondabili stato di progetto

ALLEGATO A: Verifiche idrauliche

Appendici:

APPENDICE 1: Software di calcolo HEC-RAS

APPENDICE 2: Software di calcolo InfoWorks ICM

APPENDICE 3: Calcolo dell'idrogramma di piena secondo i criteri della DGR 357/2008

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto di fattibilità tecnico-economica relativo alla sistemazione del Rio Villa Castagna, a Genova (GE).

Ad oggi il rio Villa Castagna, affluente in sponda sinistra del torrente Bisagno, presenta delle criticità nello smaltimento della portata 50-ennale, sia nel tratto della tombinatura di valle, al di sotto del parcheggio della Sciorba, sia nel tratto tombinato a monte, al di sotto di via Inferiore Fameiano.
Scopo del presente progetto è valutare gli interventi necessari alla risoluzione di tali criticità.

Al fine di individuare gli interventi necessari alla risoluzione di tali criticità si è proceduto alla realizzazione di uno specifico rilievo topografico di dettaglio del corso d'acqua e delle aree adiacenti.

L'intervento nel suo complesso consiste nell'adeguamento del tratto di tombinatura di monte del rio Villa Castagna lungo via Inferiore Fameiano in corrispondenza di una accesso privato ,mediante un allargamento sostanziale della sezione di deflusso e la realizzazione di una vasca di sedimentazione e ripartizione da cui parte un canale scolmatore.
Tali interventi sono stati definiti al fine di non dover intervenire sul tratto di tombinatura esistente ubicata al di sotto dell'impianto sportivo.

Sulla base delle verifiche idrauliche e delle analisi riportate nella presente relazione è stata redatta una proposta della mappatura delle aree inondabili per lo stato di progetto per la zona interessata dal complesso sportivo Sciorba tenendo conto del torrente Bisagno e dei suoi affluenti minori il rio Tagliate, il rio Villa Castagna e il rio Sciorba, secondo i criteri della DGR 91/13.

La presente relazione, in particolare, è stata redatta a seguito della Richiesta di integrazioni ricevuta da parte della Regione Liguria (Pratica GNO003960 Prot-2023-1315024 del 21/09/2023) la quale riporta di integrare la documentazione progettuale come segue:

- Planimetria del corso d'acqua con indicazione delle sezioni idrauliche utilizzate nel modello idraulico;
- Revisione della relazione idraulica, in quanto il profilo di rigurgito, nello stato di progetto, in corrispondenza della vasca di ripartizione, non risulta coerente con la modellazione idraulica effettuata;

- Rappresentazione, in scala di adeguato dettaglio, del profilo di rigurgito, delle sezioni idrauliche, ivi compreso il tratto del rio a cielo aperto e dello scolmatore, stato attuale, di progetto e raffronto, con indicazione del livello idrico e della metà del carico cinetico, riferiti alle portate con tempo di ritorno cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale;
- Revisione della tavola strutturale relativa alla vasca di ripartizione, in quanto non coerente con l'architettonico;
- Tavola di dettaglio relativa al grigliato posto in corrispondenza dell'accesso al piazzale privato, in prossimità della sezione 31, precisando che l'estensione dello stesso dovrà essere limitata al tratto strettamente necessario a garantire il transito;
- File di hec-ras.

Inoltre, sentito il Settore Assetto del Territorio, che legge per conoscenza, considerato che il progetto di che trattasi è anche alla base della richiesta di riperimetrazione preventiva delle fasce fluviali presentata con nota 411861 del 13.set.2023, registrata al Prot-2023-1274787, poiché, dall'esame del profilo di rigurgito, sembrano permanere criticità nel tratto a monte della vasca di ripartizione, si richiede di rivedere il progetto per assicurare il contenimento della portate di piena con tempo di ritorno duecentennale. Si ricorda, infine, che nella riperimetrazione preventiva delle fasce fluviali, dovrà essere individuata anche la fascia fluviale di tipo C, ove non fosse garantito il transito della portata con tempo di ritorno cinquecentennale.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico – torrente Bisagno[1] e dal Regolamento Regionale n°3 del 14/07/2011[2] e dalle modifiche introdotte dalla DGR n°181 del 11/03/2016.

2.1 PIANO DI BACINO – TORRENTE BISAGNO

Come riportato nel Piano di Bacino il rio Villa Castagna non è stato indagato dal Piano di Bacino.

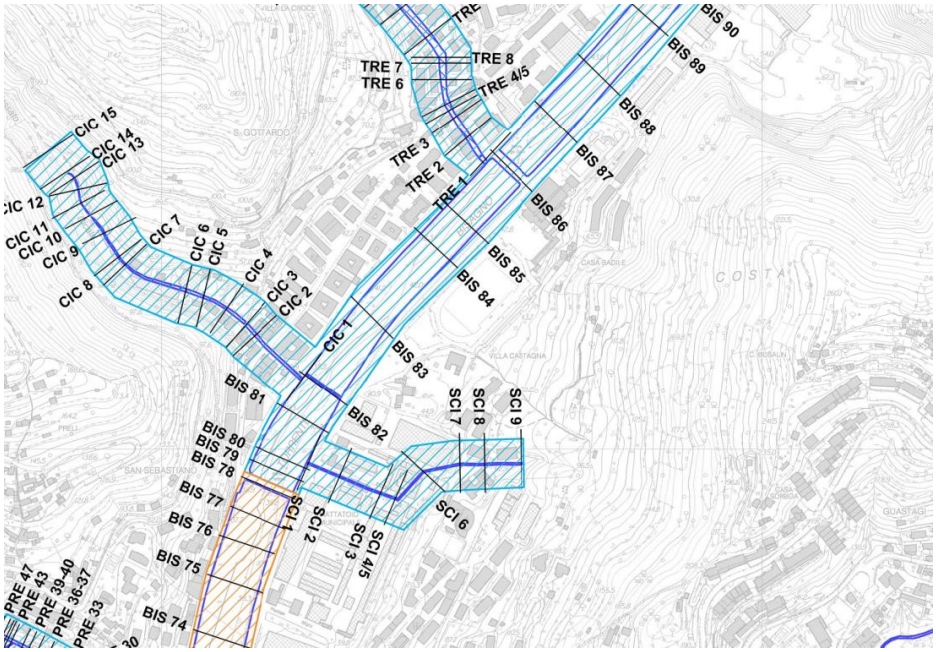


Figura 2-1 - Estratto Carta delle tracce delle sezioni idrauliche e dei tratti indagati

Nella figura seguente è riportato un estratto della Carta delle fasce di inondabilità.

[1] Approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n. 62 del 04/12/2001. Ultima variante approvata: DSG n. 22 del 29/03/2023 entrata in vigore il 26/04/2023

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



Figura 2-2 - Estratto Carta delle fasce di inondabilità

Inoltre è stata adottata, con DSG n. 52 del 25 luglio 2023 dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, la variante non sostanziale relativa alle fasce di inondabilità del torrente Bisagno in località Sciorba.

Nelle figure seguenti si riporta il confronto tra le mappature vigenti e quelle della variante.

Nella variante è stato analizzato il tratto del torrente Bisagno in zona Sciorba e i rivi affluenti in sinistra: rio Tagliate, rio Villa Castagna e rio Sciorba. Nel Piano di Bacino vigenti i suddetti rivi affluenti non fanno parte del reticolo indagato.

I risultati delle verifiche idrauliche allegati alla variante hanno evidenziato che la portata di piena 200-ennale del torrente Bisagno risulta contenuta all'interno degli argini con franco, anche il tratto terminale tombinato del rio Tagliate risulta in grado di smaltire la portata 200-ennale.
La portata 200-ennale del rio Villa Castagna, posto sul lato sud del centro sportivo, esonda lungo Via Inferiore Fameiano andando ad interessare parte dell'area prospiciente le tribune lato monte, il parcheggio sud e via Adamoli.
La portata 50-ennale del rio Villa Castagna esonda lungo Via Inferiore Fameiano andando ad interessare la viabilità stessa, parte dell'area in corrispondenza della rampa dell'ingresso sud-est e il parcheggio sud.
Il rio Sciorba è ubicato a Sud, esterno rispetto al centro sportivo e la sua portata 200-ennale esondata defluisce verso l'area degli ex-macelli.

PAI – Carta delle fasce di inondabilità e degli ambiti normativi

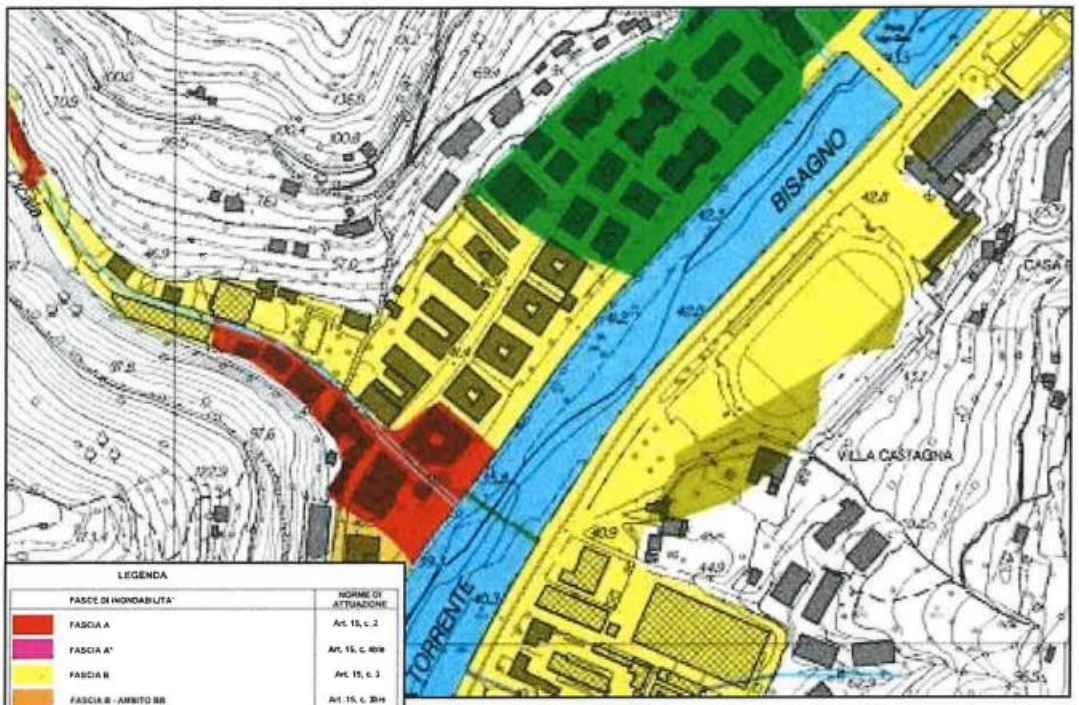


Figura 1: piano vigente

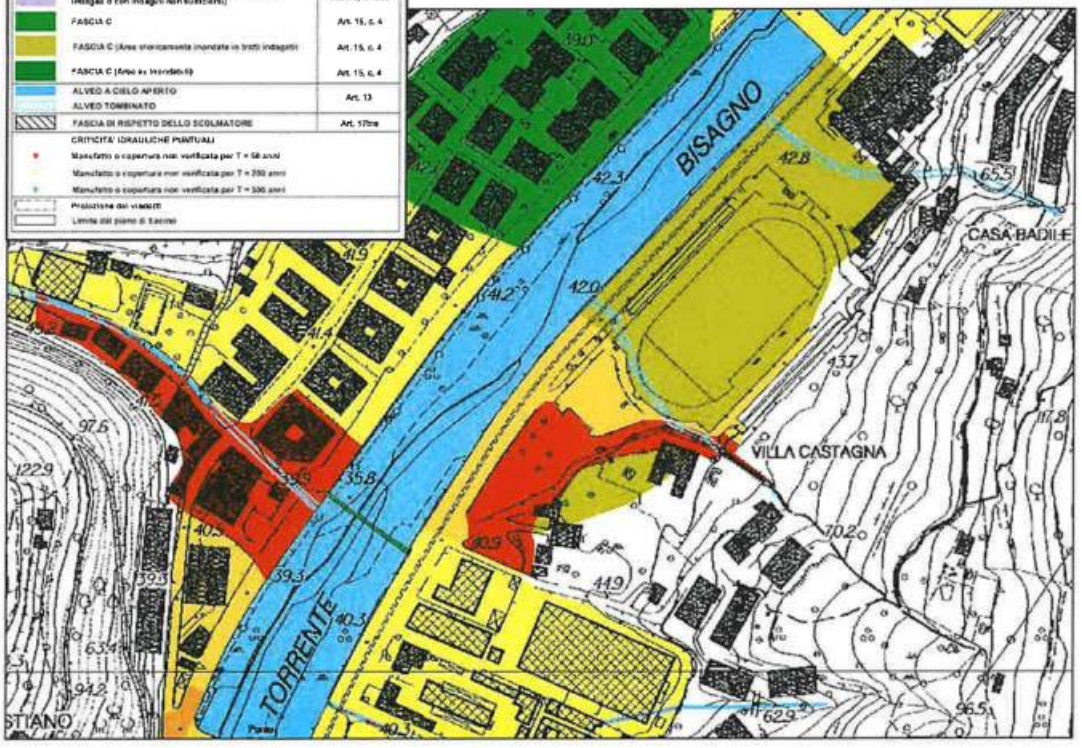


Figura 2: variante

Figura 2-3 - Estratto Variante Carta delle fasce di inondabilità

PGRA – Alluvioni fluviali – reticolo principale

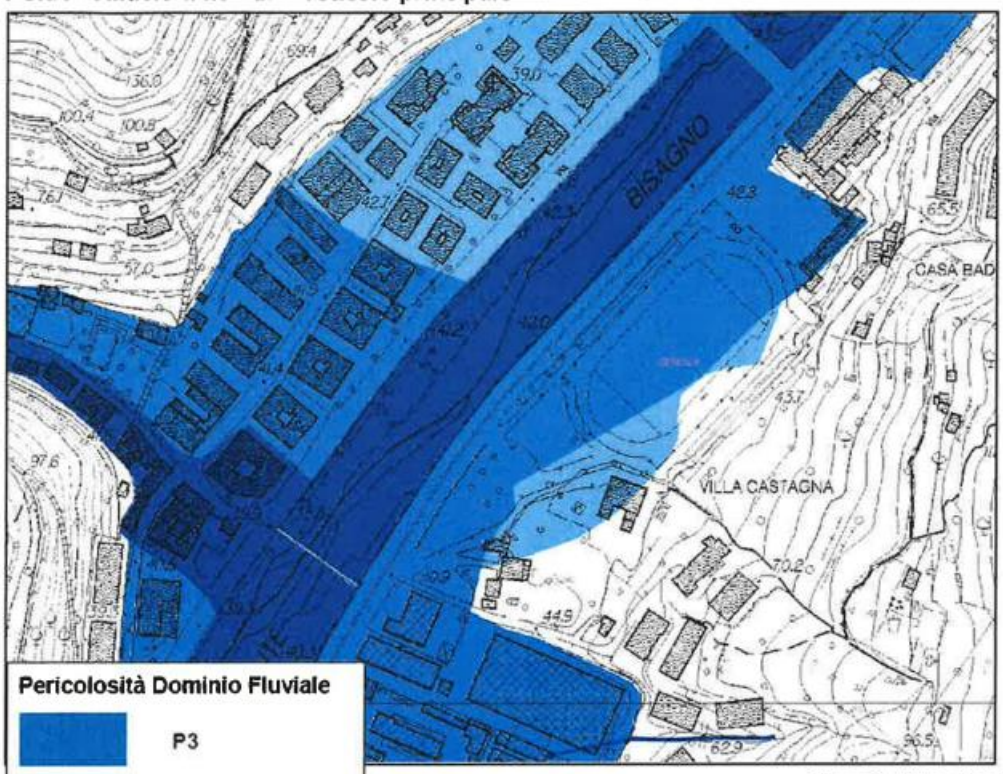


Figura 3: piano vigente

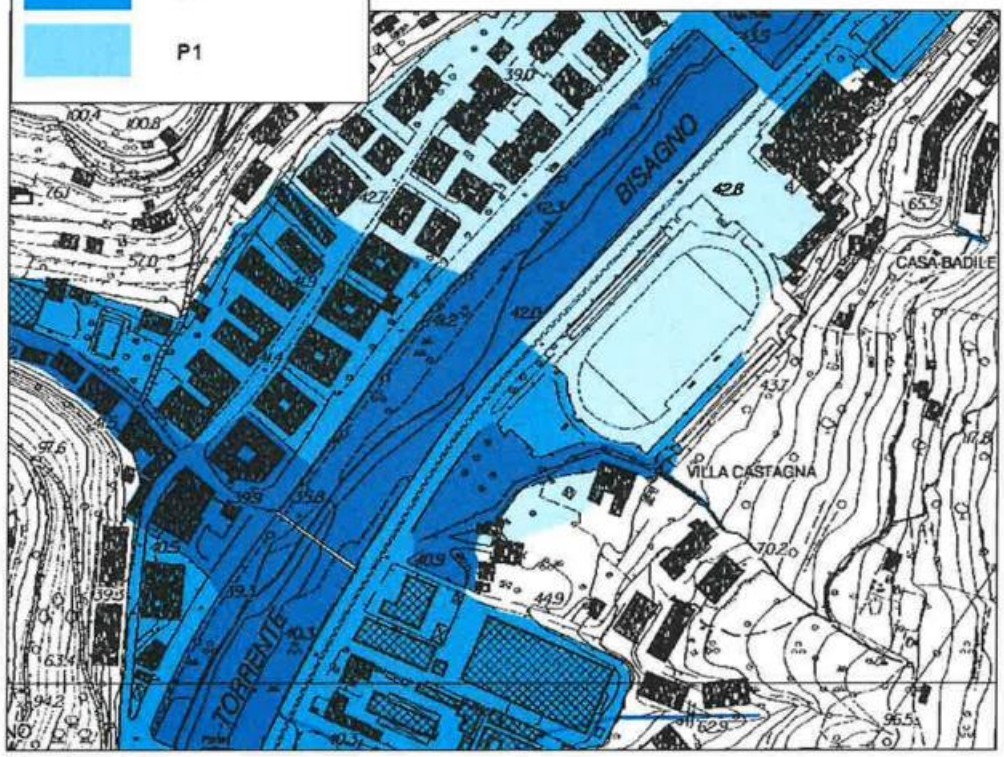


Figura 4: variante

Figura 2-4 - Estratto Variante PRGA Alluvioni fluviali

2.2 REGOLAMENTO REGIONALE N. 3 DEL 14/07/2011

Il Regolamento suddivide i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico in classi in funzione dell'estensione dei bacini sottesi secondo il seguente schema.

Superficie sottesa [km²]	Classificazione
S > 1	Corso d'acqua di 1° livello
0.25 ≤ S ≤ 1	Corso d'acqua di 2° livello
0.25 < S < 0.1	Corso d'acqua di 3° livello
S ≤ 0.1	Corso d'acqua minuto

Tabella I

Il rio Villa Castagna è classificato come corso d'acqua di 3° livello, dal momento che è caratterizzato da un bacino di 0.1 km².
Per quanto riguarda i limiti di inedificabilità dai corsi d'acqua la DGR n°181 del 11/03/2016 stabilisce una fascia di inedificabilità assoluta pari a 10 m per i corsi d'acqua ricadenti nel reticolo idrografico di primo, secondo e terzo livello.
Per i corsi d'acqua ricadenti nel reticolo minuto è stabilita una fascia di inedificabilità assoluta dai limiti dell'alveo pari a 3 metri.
Nella fascia dei 3 m dai corsi d'acqua sono inoltre vietate le piantagioni di alberi e siepi e le movimentazioni di terreno superiori a 50 cm.

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza e i franchi idraulici di sicurezza da adottare nelle verifiche idrauliche il Regolamento indica i seguenti parametri.

Descrizione corso d'acqua	Ks ($m^{1/3}s^{-1}$)
Alvei naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Alvei 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
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubo, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque.	40-45

Tabella II

Per i corsi d'acqua del reticolo minuto il franco idraulico da adottare può essere determinato in funzione della tipologia dell'opera, considerando un valore minimo di 0.3 m per le arginature e 0.5 m per ponti, attraversamenti e tombinature.
Per i corsi d'acqua di terzo livello il franco idraulico da adottare deve essere il maggiore tra:

- 0.5 volte il carico cinetico della corrente determinabile come $U^2/2g$, dove U (m/s) è la velocità media della corrente e g (m/s^2) è l'accelerazione di gravità
- i valori della tabella seguente:

I	Argini e difese spondali	cm 50
II	Ponti e strutture di attraversamento fino ad estensioni longitudinali di 12 m	cm 75
III	Coperture e tombinature, ponti e strutture di attraversamento oltre 12 m	cm 100

Tabella III

ove i due valori estremi corrispondono rispettivamente a bacini poco dissestati con previsione di modesto trasporto solido ed a bacini molto dissestati con previsione di forte trasporto solido in caso di piena, e/o a bacini di maggiore o minore estensione.

Per il reticolo minuto i più adeguati franchi idraulici potranno essere determinati in base alla tipologia dell'opera, al suo inserimento territoriale, alle caratteristiche della corrente, prevedendo un valore minimo di 30 cm per le arginature e di 50 cm per ponti, attraversamenti e tombinature.

3 RIO VILLA CASTAGNA

Il rio Villa Castagna sfocia nel torrente Bisagno lungo il lato Sud dell'impianto polisportivo Sciorba e drena una superficie pari a 0.1 km².

Esso è caratterizzato da un tratto terminale tombinato in corrispondenza dell'impianto polisportivo lungo circa 150 m.
A partire dallo sbocco in Bisagno, per i primi 20 m, la tombinatura ha sezione rettangolare di dimensioni interne nette di 1.7x1.7 m circa, mentre il restante tratto, ha una sezione rettangolare di dimensioni interne nette di 1.0 m circa, con altezza variabile da 1.0 m a 1.5 m circa. La pendenza minima è pari all'1.5%.

Il collegamento tra il tratto a cielo aperto di monte e il tratto tombinato avviene attraverso un pozzo in c.a. alto 6.50 m circa.

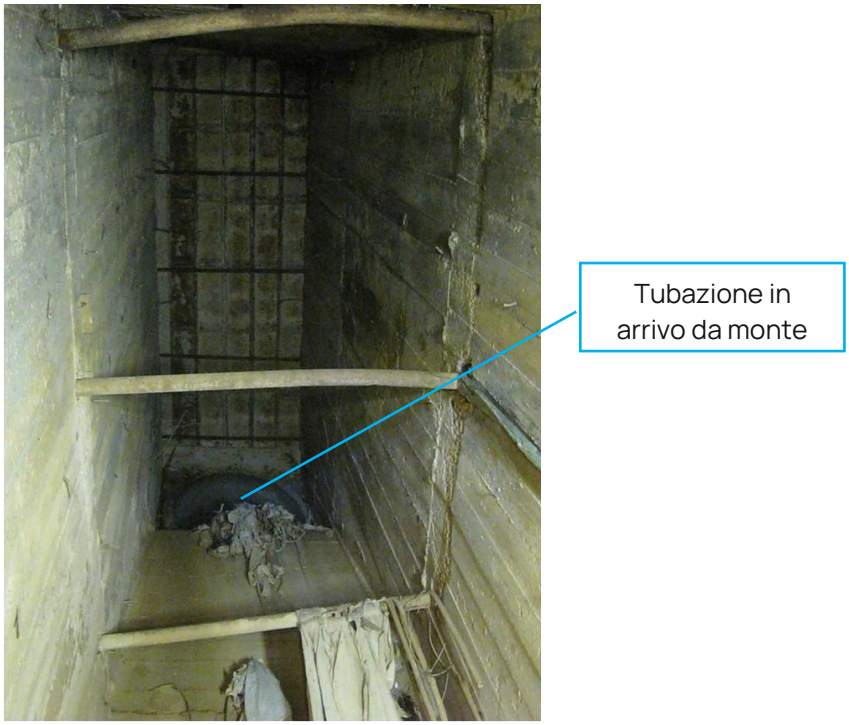


Figura 3-1 - Rio Villa Castagna - pozzo di imbocco vista dal basso verso l'alto

L'imbocco del tratto tombinato di valle avviene in corrispondenza di via Inferiore Fameiano in corrispondenza di Villa Castagna.

Il rio a monte di Villa Castagna scorre tombinato al di sotto di via Inferiore Fameiano per un tratto di circa 30 m fino ad un accesso a un edificio.



Figura 3-2 - Rio Villa Castagna – imbocco tratto tombinato di valle

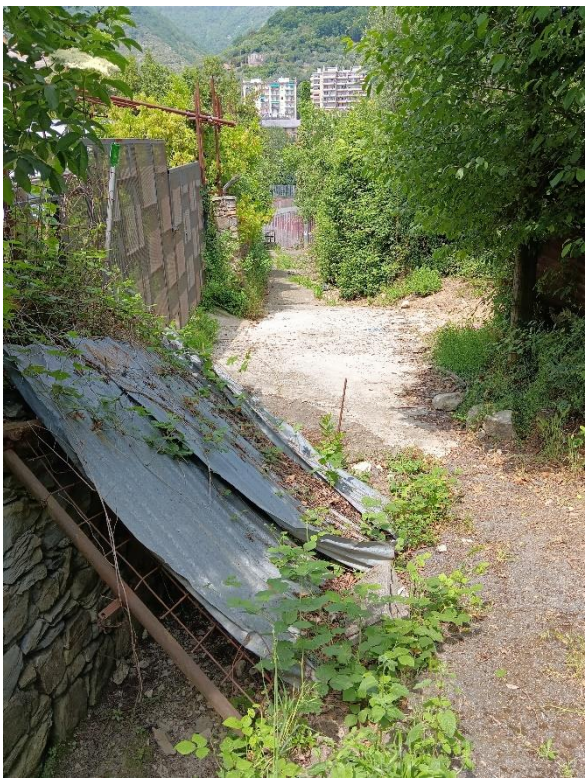


Figura 3-3 - Rio Villa Castagna – imbocco tratto tombinato di monte



Figura 3-4 - Rio Villa Castagna – tratto parallelo a via Inferiore Fameiano



Figura 3-5 - Rio Villa Castagna – tratto parallelo a via Inferiore Fameiano

Procedendo verso monte il rio scorre, con sezione rettangolare, parallelo a via Inferiore Fameiano, che diventa una mulattiera in pietre e mattoni.

4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO

A seguito delle verifiche idrauliche effettuate si è potuto riscontrare che il rio Villa Castagna presenta ad oggi delle criticità a smaltire la portata 200-ennale con adeguato franco in corrispondenza sia del tratto tombinato di valle sia della tombinatura di monte, al di sotto di via Inferiore Fameiano.

Pertanto, sono stati previsti alcuni interventi al fine di garantire il corretto smaltimento della portata 200-ennale con franchi adeguati.

L'intervento nel suo complesso è costituito principalmente nella realizzazione di una vasca di sedimentazione e di partizione delle portate e di un canale scolmatore finalizzato allo smaltimento della portata residua rispetto a quella smaltibile dalla canalizzazione attuale in condizioni di sicurezza.
Le acque provenienti da monte verranno convogliate all'interno della vasca mediante alcune canalette grigliate trasversali e ortogonali.

L'intervento prevede la realizzazione di uno scolmatore al fine di non intervenire sul rivo esistente, dal momento che il tratto tombinato terminale è situato a profondità elevate rispetto al piano campagna e scorre in corrispondenza della pista di atletica e un intervento sul rio comporterebbe la sospensione e chiusura della pista di atletica e del campo sportivo con conseguente interruzione di tutte le attività con conseguenti disagi per i cittadini.
Inoltre è già presente una tubazione ϕ1000 che attraversa via Adamoli inutilizzata e non collegata a nessuna rete di smaltimento delle acque superficiali.

Di seguito si riportano gli interventi previsti, partendo da monte verso valle si prevede la realizzazione di:

- Un parapetto avente altezza pari a 0.8 m dalla sezione 42 alla 39 per uno sviluppo di circa 15 m e dell'altezza di 0.5 m dalla sezione 38 alla 34 per uno sviluppo di circa 26 m;
- Canale grigliato in luogo del tratto tombinato di monte (sez. 32-33.9) avente sezione rettangolare di dimensioni pari a 2.0 m x 0.8 m per uno sviluppo di circa 33 m;
- Vasca di sedimentazione e di ripartizione della lunghezza di 7 m e larghezza interna di 2.4 m, con relativa briglia a monte di altezza pari a 1.5 m e una soglia a valle di altezza pari a 0.5 m per la trattenuta del materiale più grossolano trasportato dalla corrente;
- Partitore delle portate nei due canali esistente e di progetto, i quali sono posizionati alla stessa quota, entrambi caratterizzati da sezione circolare di diametro pari a 1 m, questo permette la suddivisione della portata 200-ennale pari a 4 m^3/s in due;

- Canale scolmatore avente sezione circolare di diametro pari a 1 m, pendenza variabile tra il 2% e il 10% e lunghezza di 170 m circa. Il canale si sviluppa inizialmente lungo via Inferiore Fameiano, successivamente scorre sotto al parcheggio del complesso polisportivo della Sciorba per poi collegarsi ad un canale circolare esistente avente diametro pari a 1 m il quale scorre sotto a via Adamoli fino a confluire nel torrente Bisagno.

Tale tubazione esistente risulta lunga circa 21 m e col fondo interrotto in corrispondenza dell'aiuola di separazione tra via Adamoli e il parcheggio.
Essa riceve il contributo di una sola caditoia del parcheggio del centro sportivo.

Laddove il canale scolmatore non presenta il ricoprimento minimo di 0.6 m, è prevista la realizzazione di un bauletto in calcestruzzo di protezione della tubazione.

Il collegamento tra il nuovo canale scolmatore e la tubazione esistente avviene tramite un pozzetto di disconnessione, situato al di sotto del parcheggio, dove lo scolmatore si immette con un salto di circa 1.6 m.
La tubazione esistente sfocia nel torrente Bisagno a quota 37.0 m s.l.m. con pendenza dell'1% circa, lo scolmatore arriva in corrispondenza del pozzetto a quota 38.8 m s.l.m.
Tale differenza di quota permette di disconnettere idraulicamente il collettore in arrivo da monte dal tratto di tubazione esistente che sfocia nel Bisagno.

5 VERIFICHE IDRAULICHE STATO ATTUALE

5.1 PORTATE DI PIENA

Il valore della portata 200-ennale è stato ricavato, in ottemperanza alle norme di attuazione del Piano di Bacino, considerando un contributo unitario di 40 $m^3/(s \cdot km^2)$.
Le portate 50-ennale e 500-ennale sono state invece calcolate utilizzando il contributo unitario riportato nella metodologia del C.I.M.A.[3] rispettivamente pari a 28 e 48 $m^3/(s \cdot km^2)$.
In base a tali parametri risultano i seguenti valori delle portate di piena:

Sezione	Area [km^2]	T= 50 anni [m^3/s]	T= 200 anni [m^3/s]	T= 500 anni [m^3/s]
Rio Villa Castagna	0.1	2.8	4.0	4.8

Tabella IV

5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

La verifica nella configurazione di stato attuale è stata eseguita mediante l'ausilio di un *software*[4] per il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.

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

5.3 PARAMETRI E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA

Sono state condotte le verifiche idrauliche nelle condizioni di stato attuale del rio Villa Castagna per un tratto della lunghezza di circa 250 m.

Lungo l'asta del corso d'acqua sono state individuate una serie di sezioni trasversali sulla base del rilievo topografico di dettaglio disponibile; esse sono numerate in funzione delle

[3] Centro di ricerca In Monitoraggio Ambientale: Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena dei bacini liguri - luglio 1999

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

caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, depositi al fondo, salti di quota, ecc.), con l'aggiunta di sezioni di calcolo intermedie in corrispondenza di significative variazioni di sezione e manufatti presenti. Le sezioni dalla 30 alla 47 sono quelle relative al tratto di monte oggetto di integrazione.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate nella configurazione di stato attuale utilizzando un coefficiente di Manning pari a 0.025 $m^{-1/3}$ s per il tratto tombinato di valle e pari a 0.03 $m^{-1/3}$ s per il tratto di monte.
I profili sono stati integrati per entrambe le condizioni di corrente lenta (Fr < 1) da valle verso monte e di corrente veloce da monte verso valle (Fr > 1), imponendo quali condizioni al contorno la profondità critica nella sezione di monte e in quella di valle sia la profondità critica che l'altezza del pelo libero della corrente con la piena sul torrente Bisagno per i tempi di ritorno 50-ennale, 200-ennale e 500-ennale, ottenuta dal modello bidimensionale riportato nella relazione idraulica P193-22-I-RE-IDR-001-A.
Le verifiche sono state effettuate nell'ipotesi di sponde infinite qualora il livello di piena superi le quote di sommità arginali.

5.4 RISULTATI

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica nell'Allegato A, di seguito se ne riporta una descrizione sintetica per le configurazioni analizzate.

Tratto di monte in corrispondenza di via Inferiore di Fameiano (da sez. 30 a sez. 47)
Nel tratto a cielo aperto lungo via Inferiore di Fameiano del rio Villa Castagna il deflusso della portata 50-ennale avviene in corrente veloce, con altezza del pelo libero variabile tra 0.2 e 0.5 m e velocità abbastanza sostenute, vista la pendenza dell'alveo, variabili tra 3 e 6 m/s e franchi variabili da 0.15 a 1 m circa ad esclusione delle sezioni in corrispondenza della briglia (sez. 40) dove la quota del pelo libero risulta pressoché coincidente con la viabilità pedonale. Il carico cinetico risulta pressoché coincidente con la viabilità pedonale.

Il tratto tombinato lungo via Inferiore di Fameiano ha imbocco con sezione rettangolare e lo sbocco circolare, la sezione circolare risulta insufficiente al deflusso della portata 50-ennale.

Il deflusso delle portate 200-ennale e 500-ennale avvengono con le stesse caratteristiche di quella 50-ennale con un innalzamento medio del pelo libero rispettivamente di circa 0.13 m e di 0.25 m rispetto alla 50-ennale.

La portata massima smaltibile di tale tratto in condizioni di incipiente pressione (franco nullo) è pari a circa 1.5 m³/s.

Tratto tombinato terminale (da sez. 1 a sez. 26)

Nel tratto terminale del rio Villa Castagna, compreso tra il torrente Bisagno e la tribuna Nord Est dell'impianto sportivo, il deflusso della portata 50-ennale avviene in corrente lenta per quasi tutto il tratto con alcuni passaggi attraverso lo stato critico, con franchi variabili da 0.1 a 1 m circa.
L'imbocco della copertura del rio per la portata 50-ennale avviene a pelo libero, con un franco di circa 0.95 m rispetto all'intradosso e carico totale contenuto al di sotto dell'intradosso.

Il deflusso delle portate 200-ennale e 500-ennale avviene in corrente lenta con la messa in pressione del tratto tombinato.

La portata massima smaltibile a pelo libero in condizioni di incipiente pressione (franco nullo) è pari a circa 3 m³/s, di poco superiore alla portata 50-ennale.

5.5 ANALISI DI SENSITIVITÀ PER IL TRATTO TOMBINATO TERMINALE DEL RIO VILLA CASTAGNA

Per il tratto terminale tombinato del rio Villa Castagna, sono state considerate le seguenti configurazioni, al fine di valutare il reale rischio idraulico residuale a seguito della mancanza di franco idraulico per la portata 50-ennale in alcune sezioni e/o tratti limitati del corso d'acqua in oggetto:

- Presenza di ostruzione generalizzata del fondo;
- Presenza di ostruzioni all'imbocco.

La portata massima che transita a pelo libero nel rio Villa Castagna è pari a 3 m³/s, la quale è maggiore del 15% circa della portata 50-ennale.

La verifica idraulica è stata effettuata nell'ipotesi di ostruzione generalizzata di tutte le sezioni di deflusso; in particolare si è considerato un grado di ostruzione pari al 10% lungo tutto il tratto, corrispondente ad una sopraelevazione del fondo alveo di circa 20 cm in tutte le sezioni.
Tale grado di ostruzione è stato scelto dal momento che il corso d'acqua in esame non presenta manufatti in alveo o ostruzioni né afflussi laterali naturali, inoltre, è totalmente cementato, con fondo e sponde in buono stato di conservazione.

In tal caso il deflusso della portata 50-ennale avviene in corrente lenta, con un innalzamento del pelo libero mediamente pari a 0.2 m.

Inoltre, è stata fatta un'ulteriore verifica andando a determinare l'ostruzione massima dell'imbocco necessaria affinché l'imbocco stesso vada in pressione. È risultata necessaria un'ostruzione superiore al 50 %.

Si riportano nell'Allegato A della presente relazione gli output del software HEC-RAS in termini di profili di rigurgito e tabelle con i dati di riepilogo per le diverse configurazioni analizzate.

6 VERIFICHE IDRAULICHE STATO DI PROGETTO

Nel presente capitolo si riportano le verifiche idrauliche dello stato di progetto degli interventi sul rio Villa Castagna, illustrati nel Capitolo 4.

Le verifiche idrauliche in moto permanente gradualmente variato sono state effettuate con la stessa metodologia, gli stessi parametri e gli stessi dati e configurazioni dello stato attuale.

6.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Moto uniforme

La verifica idraulica del canale scolmatore è stata effettuata in condizione di moto uniforme mediante la formulazione di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \sqrt{R \cdot i_f}$$

dove Q [m³/s] è la portata, χ [m$^{1/2}$ s^{-1}] il coefficiente di attrito, A [m²] l'area della sezione liquida, R [m] il raggio idraulico, i_f la pendenza del canale.

Per il calcolo di χ è stata adottata la formula di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$$

dove n [m$^{-1/3}$ s] è il coefficiente dimensionale di scabrezza definito in funzione del materiale della condotta e del suo stato di conservazione.

In presenza di restringimenti, si è ipotizzato il moto con transizione attraverso lo stato critico all'interno della sezione ristretta ed è stata calcolata la profondità nella sezione di monte dovuta al rigurgito in corrente lenta.

Il calcolo è stato eseguito mediante l'utilizzo della formula di Marchi, valida per sezioni rettangolari:

$$Y_m = K \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b_m^2 \cdot {F_L}^2}}$$

dove K è un fattore di forma, b_m $[m]$ è la larghezza della sezione di monte e F_L è il valore del numero di Froude limite tabulato in funzione del rapporto di restringimento.

Il valore di *K* è stato assunto uguale a 1.05, corrispondente alla situazione con pile o restringimenti con fronti squadrati.

Condizioni critiche

Le condizioni critiche sono determinabili imponendo uguale a 1 il numero di Froude della corrente:

$$\frac{Q}{A} = \sqrt{g \cdot \frac{A}{b}}$$

dove *Q[m³/s]* è la portata, *A[m²]* l'area e *b[m]* la larghezza della sezione, *g[m/s²]* l'accelerazione di gravità.

Nel caso di sezioni rettangolari è possibile calcolare direttamente la profondità critica *Yc[m]* mediante la

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \cdot \left(\frac{Q}{b}\right)^2}$$

Vasca di sedimentazione

La verifica della vasca di sedimentazione e raccordo (sia essa di imbocco o di sbocco) è stata effettuata ricercando la profondità coniugata del risalto idraulico a valle del salto di fondo e verificando che fosse minore della profondità di corrente lenta dovuta al deflusso sopra la soglia di valle.
Il calcolo del deflusso a valle del salto è stato effettuato tramite la formulazione del "Drop Number"[5] che consente di valutare le grandezze idrauliche del moto a valle di un salto in funzione di un parametro adimensionale D definito come:

$$D = \frac{q^2}{g \cdot h^3}$$

dove *q [m³/s m]* è la portata per unità di larghezza del canale, *h [m]* è l'altezza del salto e *g [m/s²]* è l'accelerazione di gravità.
La profondità Y_1 della corrente a valle del salto e la distanza L_D a cui si verifica sono ricavabili tramite le relazioni:

$$y_1 = 0.54 \cdot h \cdot D^{0.425}$$

$$L_D = 4.3 \cdot h \cdot D^{0.27}$$

[5] Ven Te Chow:, 1973, "Open Channel Hydraulics" McGraw-Hill

La profondità coniugata di corrente lenta di valle è stata calcolata mediante l'applicazione del principio di conservazione della quantità di moto tra la sezione *1* a valle del salto di fondo (corrente veloce), e la sezione *2* a valle del risalto idraulico (corrente lenta), così espressa:

$$y_{G1} \cdot A_1 + \frac{Q^2}{g \cdot A_1} = y_{G2} \cdot A_2 + \frac{Q^2}{g \cdot A_2}$$

dove y_{gi} *[m]* è la profondità del baricentro della sezione liquida, A_i *[m²]* è l'area della sezione liquida, *Q [m³/s]* è la portata e *g [m/s²]* è l'accelerazione di gravità.

La profondità sulla soglia di valle è calcolabile risolvendo secondo *h* la formulazione dello stramazzo in parete grossa:

$$Q = 0.385 \cdot b \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

dove *Q[m³/s]* è la portata, *b[m]* è la larghezza dello stramazzo, *h[m]* è l'altezza del pelo libero rispetto alla soglia a monte dello stramazzo e *g [m/s²]* è l'accelerazione di gravità.

6.2 PARAMETRI E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA

Le verifiche idrauliche del tratto del rio Villa Castagna esistente con gli interventi a progetto di monte e valle e del canale scolmatore sono state condotte per le portate 50-ennale, 200-ennale e 500-ennale.
Le verifiche della vasca di sedimentazione a progetto sono state effettuate nei riguardi delle portate 50-ennale e 200-ennale.

In considerazione della natura del fondo e delle pareti del nuovo canale scolmatore, il valore del coefficiente dimensionale di scabrezza n è stato assunto pari a 0.02 $m^{-1/3}$ s, corrispondente a condotte in PEAD in servizio corrente da più anni.

Il tratto di tubazione ϕ1000 di collegamento tra la vasca di ripartizione e il canale esistente è caratterizzato da una pendenza pari al 10%, mentre, la pendenza del fondo del nuovo canale scolmatore risulta variabile tra il 2% e il 10% circa.

6.3 RISULTATI

Di seguito si riporta la descrizione dei risultati per i vari tratti e manufatti da monte verso valle.

Tratto monte rio Villa Castagna

Nel nuovo tratto a cielo aperto a progetto del rio Villa Castagna lungo via Inferiore di Fameiano il deflusso della portata 50-ennale avviene in corrente veloce, con altezza del pelo libero medio di circa 0.5 m e velocità abbastanza sostenute, vista la pendenza dell'alveo, variabili tra 5 e 6 m/s e franchi variabili da 0.15 a 0.25 m circa.

Il deflusso delle portate 200-ennale e 500-ennale avviene con le stesse caratteristiche di quella 50-ennale con un innalzamento medio del pelo libero rispettivamente di circa 0.15 m e 0.25 m.

A progetto si prevede, inoltre, la realizzazione di un parapetto avente altezza pari a 0.8 m dalla sezione 42 alla 39 e dell'altezza di 0.5 m dalla sezione 38 alla 34, al fine di avere un franco idraulico di almeno 0.5 m rispetto al pelo libero della portata 200-ennale.

Nell'Allegato A sono riportati in forma grafica e tabellare i risultati.

Vasca di sedimentazione e ripartitore

La verifica del nodo di imbocco della nuova tombinatura è stata effettuata ricercando la profondità coniugata del risalto idraulico a valle del salto di fondo e verificando che la spinta associata a tale profondità fosse minore di quella associata alla profondità di corrente lenta dovuta al deflusso sopra la soglia di valle.

Il calcolo del deflusso a valle del salto di fondo è stato effettuato tramite la metodologia riportata ai paragrafi precedenti considerando i seguenti dati per la portata 200-ennale:
Q_{200} = 4.00 m³/s
B = 2.00 m
h = 1.50 m
y_c = 0.74 m

Pertanto la profondità Y_1 della corrente a valle del salto e la corrispondente profondità coniugata Y_2 risultano:
Y_1 = 0.33 m
Y_2 = 1.50 m

Pertanto, il valore di spinta associata alla profondità sulla soglia di valle risulta maggiore di quello associato alla profondità a valle del salto.

In tali condizioni la soglia di valle è in grado di generare un rigurgito in corrente lenta che rimane contenuto all'interno della vasca, favorendo la deposizione del materiale più grossolano e garantendo l'immissione nel canale di valle con l'energia minima generata dalla transizione attraverso lo stato critico.

La profondità di valle in corrispondenza dell'imbocco delle tubazioni ϕ1000 è stata calcolata ipotizzando il moto con transizione attraverso lo stato critico all'interno della sezione ristretta ed è stata calcolata la profondità nella sezione di monte dovuta al rigurgito in corrente lenta mediante la formula di Marchi da cui si ottiene:

Q_{200} = 4.00 m^3/s
B = 2.40 m
B_0 = 2.00 m
r = 0.86
Fl = 0.59
Y_m = 0.98 m

La vasca ha un'altezza massima di 2.3 m in modo da garantire ovunque un franco di almeno 0.5 m.
In corrispondenza della soglia (avente altezza di +0.5 m rispetto al fondo della vasca) il franco è pari a 0.8 m circa.

Il deflusso della portata 50-ennale all'interno della vasca di sedimentazione avviene con le stesse caratteristiche di quella 200-ennale con una riduzione del pelo libero di circa 0.1 m.
In corrispondenza dell'imbocco delle tubazioni ϕ1000 il calcolo della profondità di monte è stato fatto in maniera analoga alla portata 200-ennale, da cui risulta:

Q_{50} = 2.80 m^3/s
B = 2.40 m
B_0 = 2.00 m
r = 0.86
Fl = 0.59
Y_m = 0.77 m

Il partitore al termine della vasca di sedimentazione suddivide la portata 200-ennale in circa 2 m^3/s nel ramo di destra (canale esistente) e 2 m^3/s in quello di sinistra (nuovo canale scolmatore).

Il calcolo è stato eseguito nell'ipotesi di passaggio attraverso la profondità critica nelle rispettive sezioni di imbocco, imponendo lo stesso carico totale nella sezione di monte; in particolare:

Canale esistente

dati: $Q = 2\ m^3/s$, $B = 1\ m$

risulta $Y_c = 0.74\ m$ $h_c = 0.74 \cdot 1.5 = 1.1\ m$

Dalle verifiche idrauliche la portata 200-ennale residua pari a 2 m^3/s scorre con un franco minimo pari a 0.55 m nel breve tratto di canale caratterizzato da diametro 1000 mm, avente una pendenza del 10%. Tale canale si immette tramite un pozzo dell'altezza di 6 m circa nel tratto tombinato terminale.

Nuovo canale scolmatore

dati: $Q = 2\ m^3/s$, $B = 1\ m$

risulta $Y_c = 0.74\ m$ $h_c = 0.74 \cdot 1.5 = 1.1\ m$

Nella configurazione caratterizzata da pendenza minore pari a 2%, lungo il canale scolmatore il deflusso della portata di progetto di 2 m^3/s avviene a pelo libero prevalentemente in corrente veloce con grado di riempimento pari all'80%, altezza del pelo libero pari a 0.8 m circa, franco idraulico minimo pari a 0.2 m e velocità pari a 3.2 m/s circa.

Nel caso di pendenza massima del 10%, la portata residua pari a 2 m^3/s scorre con un franco minimo pari a 0.55 m e velocità pari a 6 m/s circa.

Per quanto concerne la portata 500-ennale residua pari a 2.4 m^3/s, essa defluisce in corrente veloce con un riempimento pari al 50% nel caso di pendenza massima del 10% e in incipiente pressione nel caso di pendenza minore pari al 2%.

Nella tabella seguente si riportano le scale di deflusso del nuovo canale scolmatore e della tubazione di collegamento tra la vasca di ripartizione e il canale esistente nelle due configurazioni aventi pendenza pari al 2% e al 10%, con indicazione del tirante, del grado di riempimento, della portata smaltibile, della velocità e del numero di Froude.

Tabella :	**Scala di deflusso sezione circolare**										
Diametro			D	=	1000	mm					
Raggio			R	=	0.50	m					
Coefficiente di scabrezza di Manning			n	=	0.0200	$m^{-1/3}s$	50				
Pendenza fondo			if	=	0.0200	m/m					
Altezza	Rapporto	Angolo	Perimetro	Area	Raggio	Larghezza	Portata	Velocità	Carico	Carico	Numero
pelo libero	d'invaso	al centro	bagnato		idraulico	pelo libero			cinetico	specifico	di Froude
Y	Y/D	alfa	P	A	R	b	Q	V	Hc	H	Fr
[m]	[-]	[rad]	[m]	[m^2]	[m]	[m]	[m^3/s]	[m/s]	[m]	[m]	[-]
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000	0.14
0.100	0.10	1.29	0.64	0.04	0.06	0.60	0.046	1.13	0.065	0.165	1.38
0.200	0.20	1.85	0.93	0.11	0.12	0.80	0.193	1.73	0.152	0.352	1.47
0.300	0.30	2.32	1.16	0.20	0.17	0.92	0.432	2.18	0.242	0.542	1.50
0.400	0.40	2.74	1.37	0.29	0.21	0.98	0.743	2.53	0.327	0.727	1.48
0.500	0.50	3.14	1.57	0.39	0.25	1.00	1.102	2.81	0.401	0.901	1.43
0.600	0.60	3.54	1.77	0.49	0.28	0.98	1.481	3.01	0.462	1.062	1.36
0.700	0.70	3.96	1.98	0.59	0.30	0.92	1.845	3.14	0.503	1.203	1.25
0.800	0.80	4.43	2.21	0.67	0.30	0.80	2.154	3.20	0.521	1.321	1.11
0.900	0.90	5.00	2.50	0.74	0.30	0.60	2.349	3.15	0.507	1.407	0.90
1.000	1.00	6.24	3.12	0.79	0.25	0.02	2.213	2.82	0.405	1.405	0.14

Tabella V

Tabella :	**Scala di deflusso sezione circolare**										
Diametro			D	=	1000	mm					
Raggio			R	=	0.50	m					
Coefficiente di scabrezza di Manning			n	=	0.0200	$m^{-1/3}s$	50				
Pendenza fondo			if	=	0.1000	m/m					
Altezza pelo libero	Rapporto d'invaso	Angolo al centro	Perimetro bagnato	Area	Raggio idraulico	Larghezza pelo libero	Portata	Velocità	Carico cinetico	Carico specifico	Numero di Froude
Y	Y/D	alfa	P	A	R	b	Q	V	Hc	H	Fr
[m]	[-]	[rad]	[m]	[m^2]	[m]	[m]	[m^3/s]	[m/s]	[m]	[m]	[-]
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.000	0.000	0.32
0.100	0.10	1.29	0.64	0.04	0.06	0.60	0.103	2.52	0.323	0.423	3.08
0.200	0.20	1.85	0.93	0.11	0.12	0.80	0.432	3.86	0.759	0.959	3.30
0.300	0.30	2.32	1.16	0.20	0.17	0.92	0.965	4.87	1.209	1.509	3.34
0.400	0.40	2.74	1.37	0.29	0.21	0.98	1.661	5.66	1.633	2.033	3.30
0.500	0.50	3.14	1.57	0.39	0.25	1.00	2.464	6.27	2.007	2.507	3.20
0.600	0.60	3.54	1.77	0.49	0.28	0.98	3.311	6.73	2.308	2.908	3.03
0.700	0.70	3.96	1.98	0.59	0.30	0.92	4.126	7.03	2.516	3.216	2.80
0.800	0.80	4.43	2.21	0.67	0.30	0.80	4.817	7.15	2.607	3.407	2.49
0.900	0.90	5.00	2.50	0.74	0.30	0.60	5.252	7.05	2.537	3.437	2.02
0.990	0.99	5.88	2.94	0.78	0.27	0.20	5.135	6.55	2.186	3.176	1.05

Tabella VI

Tombinatura terminale rio Villa Castagna

Nel tratto terminale del rio Villa Castagna, compreso tra il torrente Bisagno e la tribuna Nord Est dell'impianto sportivo, il deflusso della portata 50-ennale residua pari a 1.4 m^3/s, avviene in corrente lenta prossima allo stato critico per quasi tutto il tratto con alcuni passaggi attraverso la profondità critica, con franchi variabili da 0.5 a 1.3 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale residua, pari a 2 m^3/s, avviene con le stesse caratteristiche di quella 50-ennale con un innalzamento del pelo libero medio di circa 0.15 m e franco idraulico è variabile tra 0.3 e 1.3 m.
Il carico risulta inferiore rispetto all'intradosso.

Il deflusso della portata 500-ennale residua, pari a 2.4 m^3/s, presenta le stesse caratteristiche della portata 50-ennale con incremento medio del pelo libero di circa 0.20 m.

Nell'Allegato A sono riportati in forma grafica e tabellare i risultati.

Nell'Allegato è riportato anche il confronto con la condizione di valle di piena sul torrente Bisagno.
In questa configurazione nel tratto terminale prima dello sbocco nel Bisagno la portata 50-ennale rimane inferiore rispetto all'intradosso, mentre la portata 200-ennale provoca un rigurgito per un tratto di circa 20 m, corrispondente al tratto di via Adamoli. Il deflusso della portata 500-ennale è rigurgitato per un tratto della tombinatura pari a 95 m circa.

6.4 ANALISI DI SENSITIVITÀ PER IL TRATTO TOMBINATO TERMINALE DEL RIO VILLA CASTAGNA

Dato che il tratto tombinato terminale nello stato di progetto per la portata 200-ennale non garantisce il franco di norma in tutta la tombinatura, analogamente allo stato attuale, è stata condotta l'analisi di sensitività per la portata 200-ennale del tratto tombinato di valle del rio Villa Castagna per lo stato di progetto, ossia considerando il valore di portata residua transitante pari a 2 m^3/s con lo scolmatore in funzione.

L'analisi di sensitività è stata condotta andando a determinare diversi scenari di ostruzioni che potrebbero determinare la messa in pressione della tombinatura, anche se tra l'intradosso della tombinatura e piano viabile ci sono dai 3 ai 5 m di dislivello.

Sono state considerate le seguenti configurazioni, al fine di valutare il reale rischio idraulico residuale a seguito della mancanza di franco idraulico per la portata 200-ennale in alcune sezioni e/o tratti limitati del corso d'acqua in oggetto:

- Presenza di ostruzione generalizzata del fondo;
- Presenza di ostruzione all'imbocco;
- Variazione dei coefficienti di scabrezza in alveo.

6.4.1 Ostruzione del fondo alveo

È stata effettuata la verifica idraulica nell'ipotesi di ostruzione generalizzata di tutte le sezioni di deflusso; in particolare si è considerato un grado di ostruzione pari al 10% circa lungo tutto il tratto come nello stato attuale, corrispondente ad una sopraelevazione del fondo alveo di circa 0.2 m in tutte le sezioni.
Tale grado di ostruzione è stato scelto dal momento che il corso d'acqua in esame non presenta manufatti in alveo o ostruzioni né afflussi laterali naturali, inoltre, è totalmente cementato, con fondo e sponde in buono stato di conservazione.

Con tale ostruzione il deflusso della portata 200-ennale di progetto avviene in corrente lenta, con un innalzamento del pelo libero mediamente pari a 0.2 m.
Anche in tale caso il pelo libero rimane inferiore all'intradosso e il carico pressoché coincidente con l'intradosso stesso.

Per la messa in pressione del tratto tombinato è necessaria un'ostruzione di tutte le sezioni di deflusso superiore al 45%, che corrisponde ad un innalzamento del fondo alveo di oltre 0.6 m.

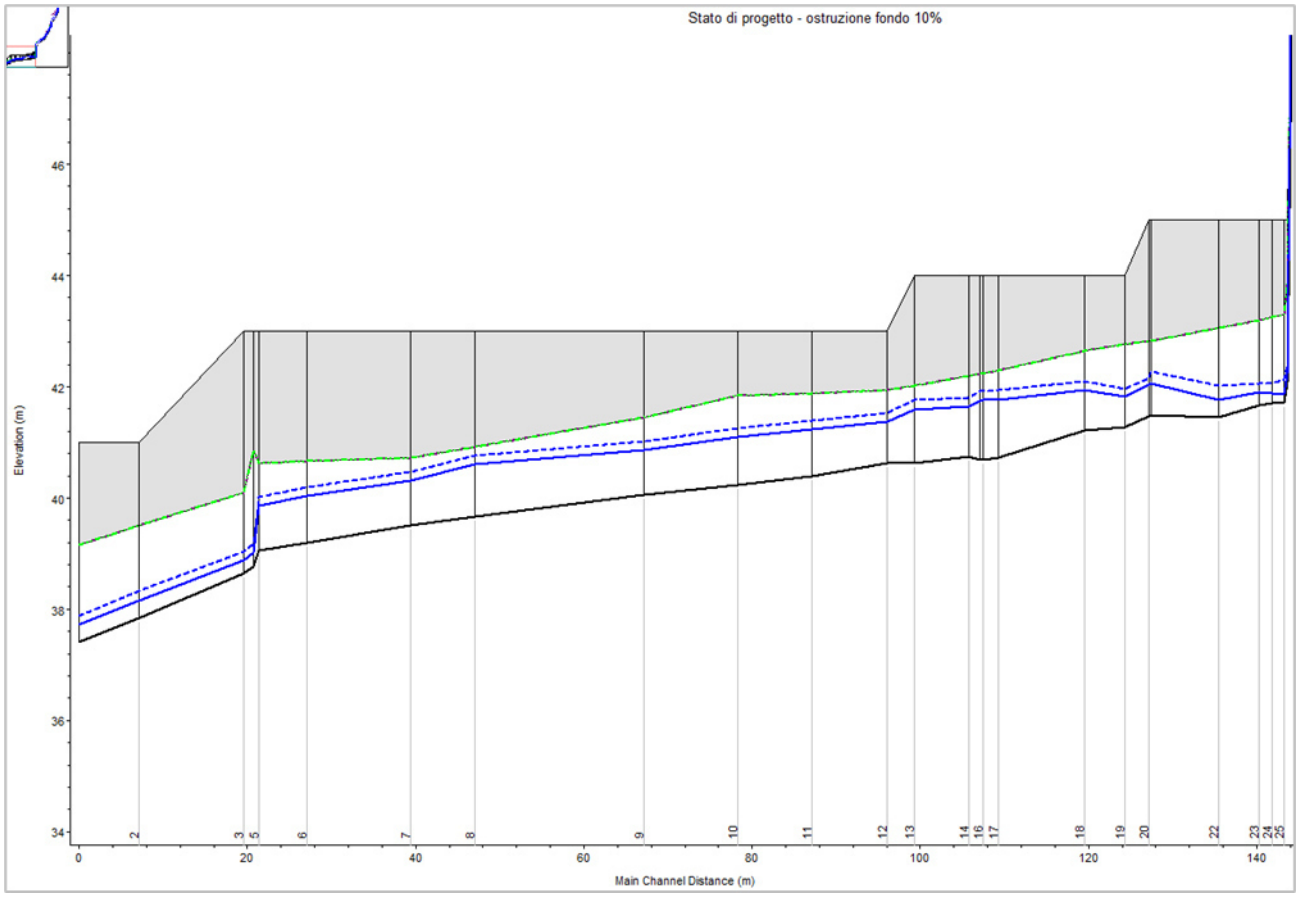


Figura 6-1 - Rio Villa Castagna – profilo T200 confronto con e senza ostruzioni

6.4.2 Ostruzione imbocco

È stata fatta un'ulteriore verifica andando a determinare l'ostruzione massima dell'imbocco necessaria affinché l'imbocco stesso vada in pressione. È risultata necessaria un'ostruzione superiore al 75 %.

Di seguitosi riporta la sezione di imbocco con la massima ostruzione necessaria per far si che il pelo libero interessi l'intradosso.

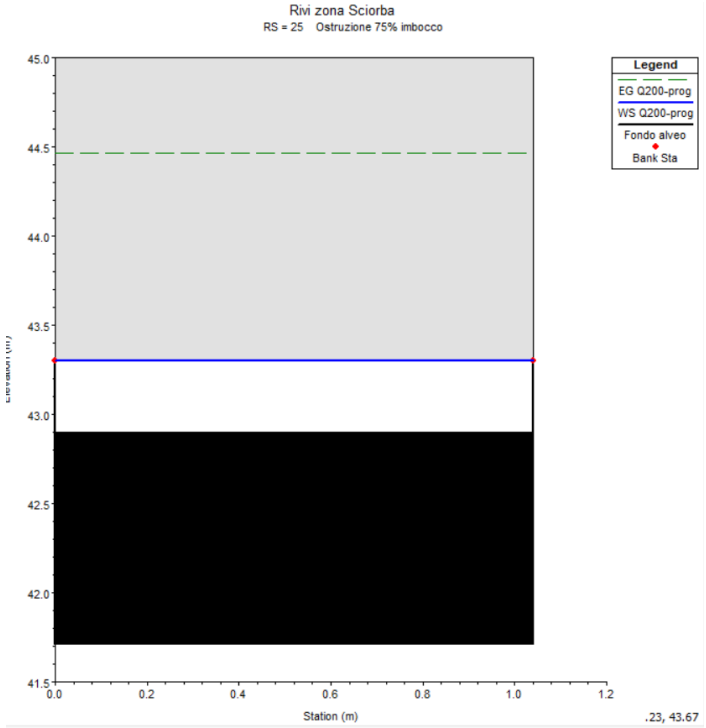


Figura 6-2 - Rio Villa Castagna – T200 ostruzione 75% sezione imbocco tratto tombinato di valle

6.4.3 Scabrezza del fondo alveo

Inoltre, in coerenza con i valori di riferimento indicati nelle Norme di Attuazione del Piano di Bacino, la condizione naturale del corso d'acqua è quella caratterizzata dai valori di scabrezza di Manning adottati per le verifiche in moto permanente descritte ai paragrafi precedenti e precisamente:

Condizione 1 (base)

n=0.025 (k=40 di Strickler) per il tratto tombinato corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato.

Al fine di analizzare la possibile variazione dello stato dell'alveo con maggiori o minori irregolarità del fondo e delle sponde dovute a più o meno interventi di manutenzione o condizioni di deposito o erosione localizzata non facilmente prevedibili, la modellazione è stata effettuata anche con diversi valori di scabrezza in alveo, in particolare:

Condizione 2 (condizione peggiore, alveo più scabro)

n=0.028 (k=25 di Strickler) per il tratto tombinato corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato .

Tale valore tiene conto dei limiti superiori delle diverse "fasce" di applicabilità dei coefficienti riportate nelle norme di attuazione del Piano di Bacino.

Si osserva che la corrente scorre a pelo libero nella tombinatura di valle, senza intersecare l'intradosso, anche nella configurazione caratterizzata da un aumento della scabrezza.

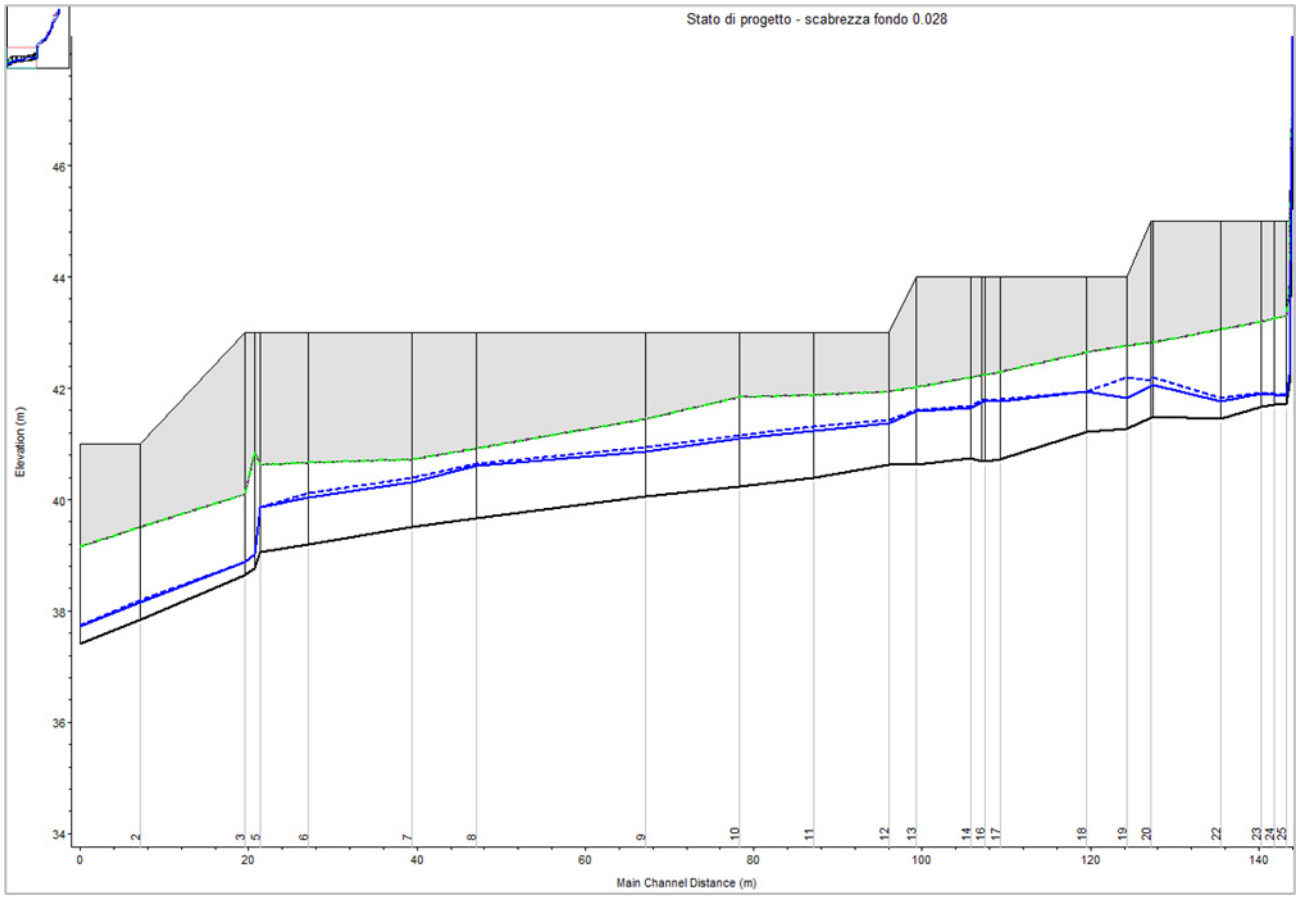


Figura 6-3 - Rio Villa Castagna – profilo T200 confronto diverse scabrezze

6.5 MODELLO BIDIMENSIONALE

Al fine di confrontare i risultati riportati nel capitolo precedente relativi alla vasca di imbocco si è provveduto a svolgere un'ulteriore verifica idraulica mediante apposita modellazione bidimensionale del tratto interessato dalla derivazione.

6.5.1 Metodologia di calcolo

Lo studio del tratto del Rio Villa Castagna interessato dalla sezione di derivazione dello scolmatore è stato effettuato implementando un modello idraulico bidimensionale con il software *Infoworks ICM*[6].

Il software consente il calcolo in moto vario monodimensionale e bidimensionale di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane utilizzando la metodologia dei volumi finiti.

Tra i principali risultati fornisce per ciascun dominio di calcolo (maglia di discretizzazione) i massimi tiranti idrici e la massima velocità di scorrimento.

Per maggiori approfondimenti teorici a riguardo si rimanda all'Appendice 2 allegata alla presente relazione.

6.5.2 Geometria del nodo e schematizzazione del dominio di calcolo

Il dominio di studio è stato schematizzato utilizzando i dati del progetto e del rilievo di stato attuale.

Lo schema di calcolo è quindi quello riportato nella figura seguente in cui sono evidenziate le quote del fondo.

[6] *Infoworks ICM 10.7 HR Wallingford Innovyze*.

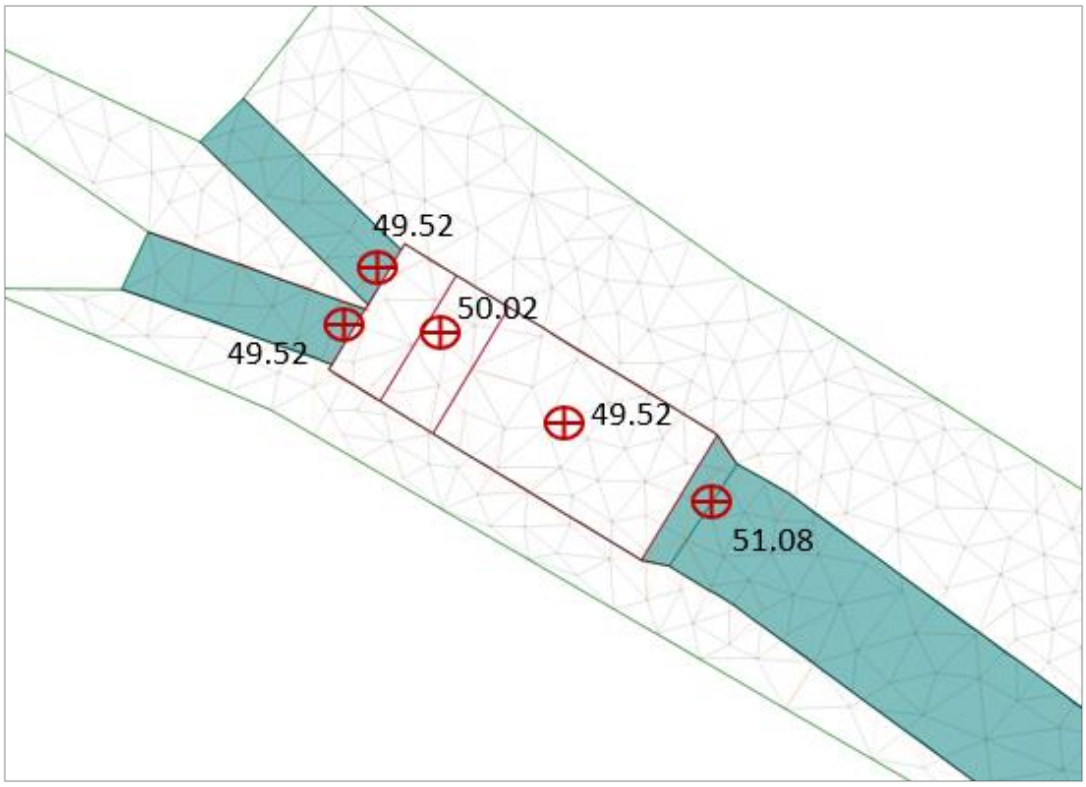


Figura 6-4 - Planimetria nodo di derivazione

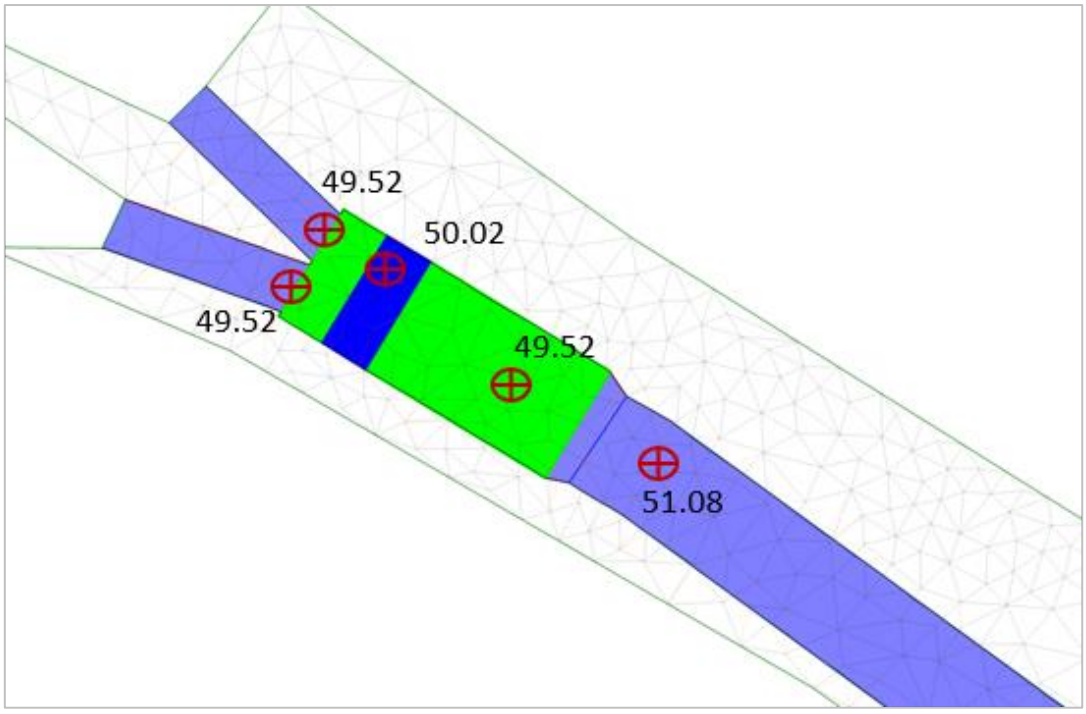


Figura 6-5 - Planimetria nodo di derivazione

Ai fini del calcolo il dominio è stato esteso per un tratto congruo a monte e a valle dell'imbocco dello scolmatore in modo da rendere non significativi gli eventuali effetti di distorsione dovuti alle condizioni al contorno.

Il dominio 2D individuato ha un'estensione di circa 0.24 km².

6.5.3 Parametri di calcolo e condizioni al contorno

Il dominio di calcolo è stato discretizzato generando una *mesh* triangolare a differente superficie, allo scopo di seguire il più fedelmente possibile la geometria dei luoghi.

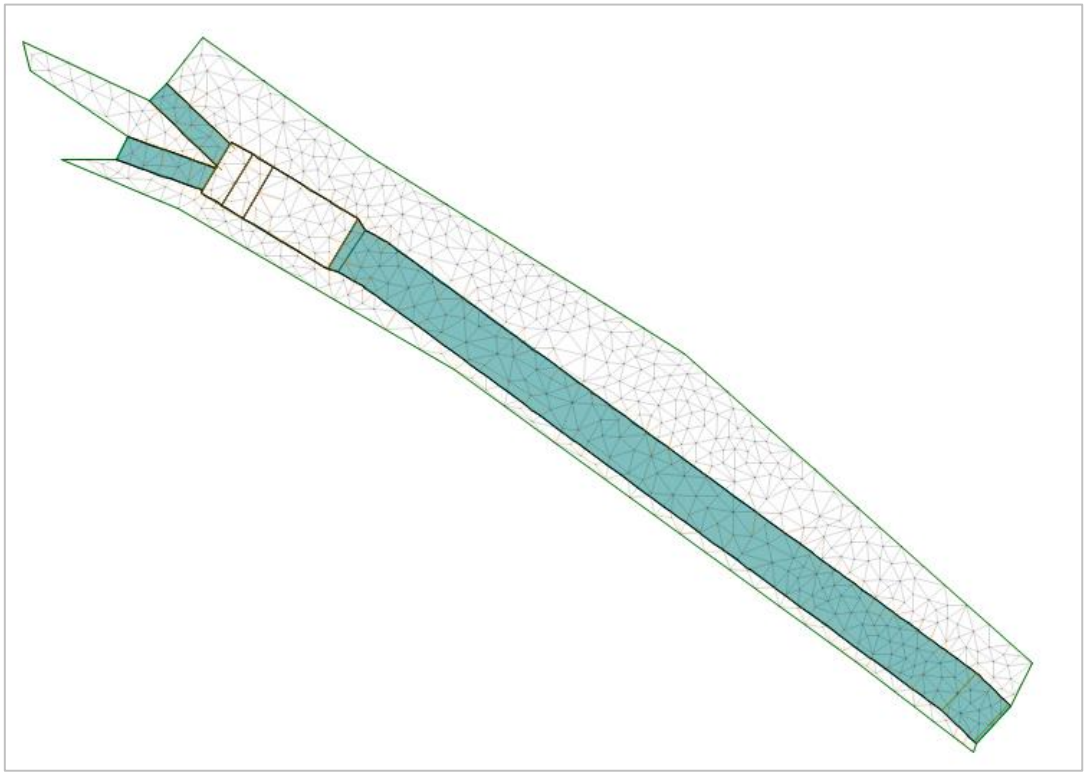


Figura 6-6 - Dominio di calcolo modello 2D

I parametri principali relativi alla magliatura assunti nella modellazione sono i seguenti:

- dimensione massima dell'area dei triangoli generati pari a 0.5 m²;
- dimensione minima dell'area dei triangoli generati paria a 0.1 m²;
- magliatura variabile in funzione dell'andamento del terreno in modo che la variazione di quota tra i tre vertici non superi il valore di 0.10 m;

Il numero totale di triangoli generati dal software è pari a 1970 circa, ognuno dei quali presenta un valore di quota univoco determinato sulla base della triangolazione dei punti del modello.

Al dominio di calcolo sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno:

- *Condizioni di input:* sono costituite dagli idrogrammi di piena del rio Villa Castagna per il tempo di ritorno di 200 anni e 50 anni, di seguito riportato.

- *Condizioni di output:* in corrispondenza della sezione di valle dello scolmatore e del rio è stata imposta la quota del moto uniforme con la pendenza del 10%, come da progetto e da verifiche puntuali.
- *Condizioni generali della maglia:* nei restanti tratti del dominio di calcolo non interessati dalle condizioni di Input e di Output si è assunta, a favore di sicurezza, la condizione al contorno di "*Vertical Wall*" che corrisponde all'inserimento di una barriera verticale impermeabile infinitamente alta che non lascia uscire l'acqua dal dominio di calcolo qualora in simulazione si verificasse presenza d'acqua al suo perimetro.

Sono stati infine adottati i seguenti passi temporali:

- Passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo (*Timestep)* pari a 1 s.
- *Durata della simulazione* pari a 200 min corrispondente a circa 3 volte la durata degli idrogrammi in input.

La determinazione degli idrogrammi è stata effettuata secondo le procedure previste dalle linee guida della DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

In particolare, si è utilizzato il *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzato alla valutazione degli idrogrammi di riferimento condizionati dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, se non diversamente specificato, pari a quella del Piano di Bacino. La metodologia di calcolo è riportata in Appendice 3.

Ai fini del calcolo sono stati ricostruiti i relativi idrogrammi di piena attraverso l'uso di un modello seriale di trasformazione afflussi-deflussi.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

La determinazione dei parametri caratteristici del bacino quali superficie, tempo di corrivazione e valore di CN è stata effettuata sulla base dei contenuti del Piano di Bacino e della stessa DGR 357/2008.

L'asta principale ha una lunghezza di circa 0.7 km con pendenza minima superiore al 2%. Il bacino è caratterizzato da versanti con pendenze elevate, prevalentemente urbanizzato nella parte inferiore e non nella parte superiore.

Il tempo di corrivazione t_c *[min]* è stato stimato attraverso la media dei valori ricavati tramite l'applicazione delle seguenti metodologie:

CIMA: $t_c = 0.25 \cdot 0.27 \cdot A^{0.5}$

Viparelli: $t_c = t_i + 16.667 \cdot \frac{L}{v}$

dove *L [km]* è la lunghezza dell'asta principale, *v [m/s]* è la velocità media di percorrenza dell'asta e t_i *[min]* è il tempo di ingresso in rete.

La velocità media di percorrenza *v* è stata assunta pari a 1 m/s in funzione delle caratteristiche del corso d'acqua e del bacino sotteso e il tempo di ingresso in rete pari a 10 min.

In tali condizioni il valore del tempo di corrivazione risulta pari a 24 minuti.
Per il rivo si è assunto un CN (condizione III) = 92.

I risultati dei calcoli sono riassunti nella tabella seguente.

	A [km²]	**a(*) [mm/h]**	**n**	**t_p [min]**	**Q_{max} [m³/s]**
T200	0.1	125	0.38	25	4
T50	0.1	95	0.38	25	4

Tabella VII

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogramma di piena 200-ennale e 50-ennale risultanti.

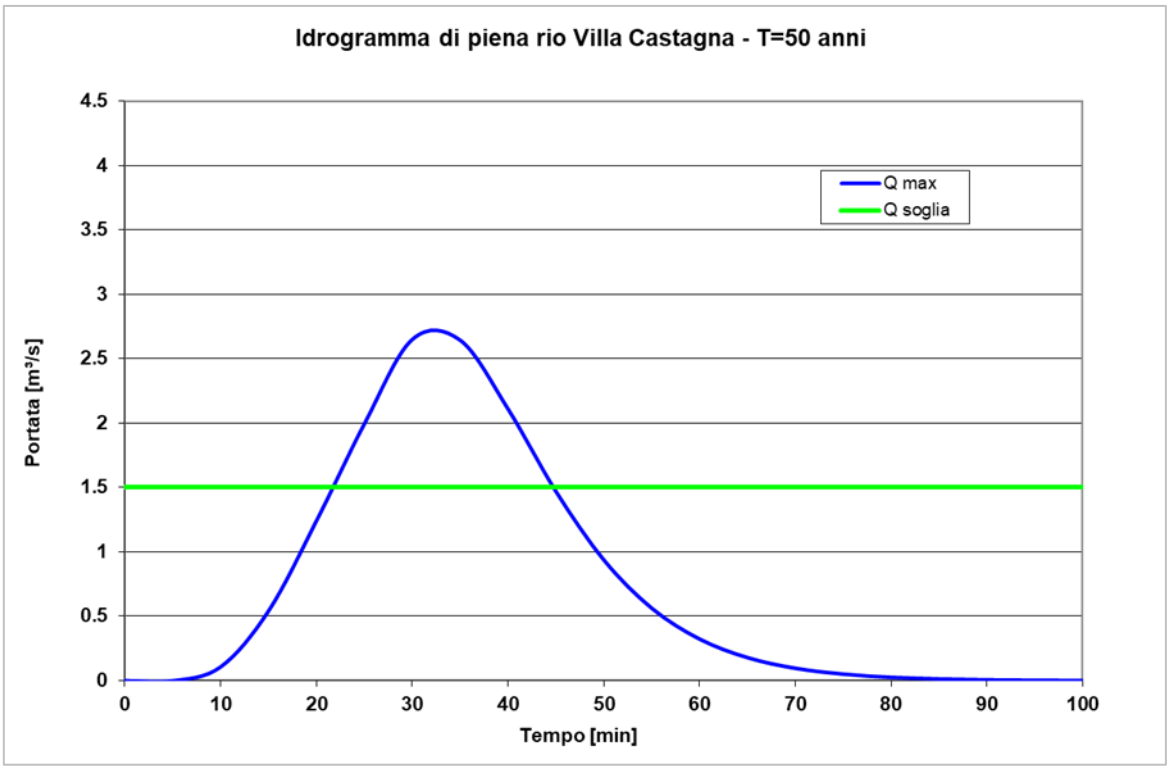


Figura 6-7 - Idrogramma di piena rio Villa Castagna T = 50 anni

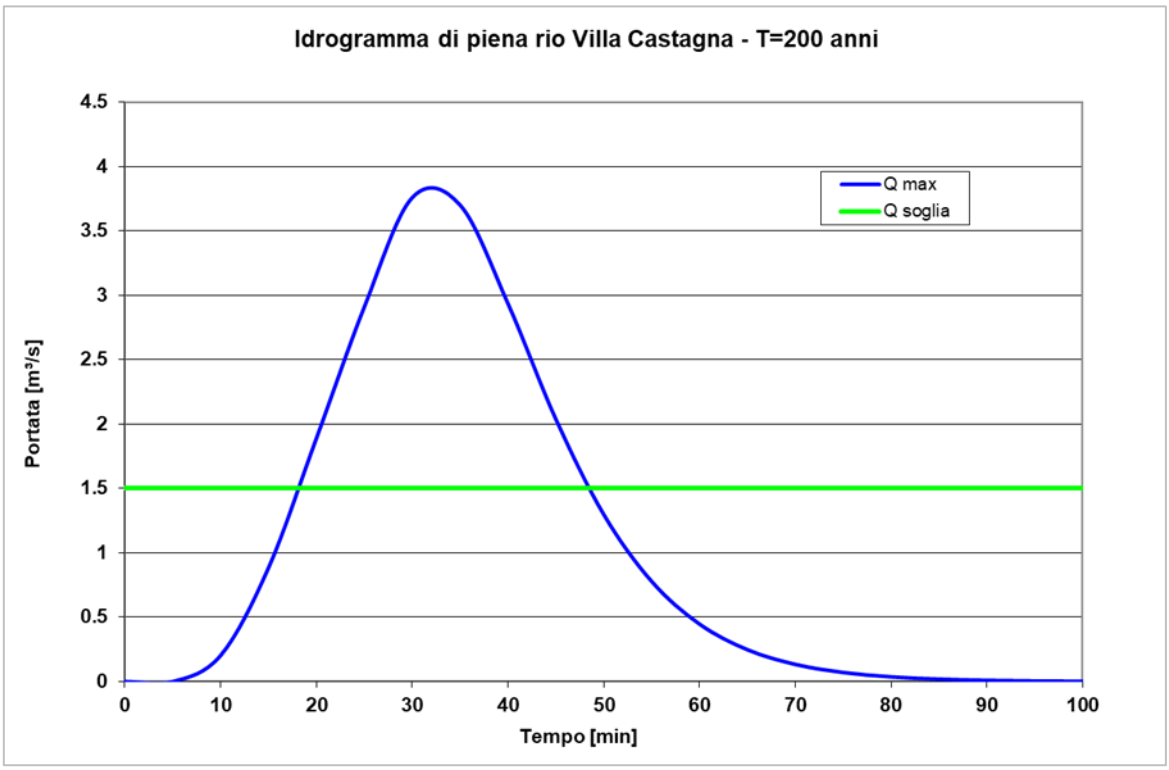


Figura 6-8 - Idrogramma di piena rio Villa Castagna T = 200 anni

6.5.4 Risultati

Il modello bidimensionale ha permesso di definire con maggior grado di dettaglio le condizioni di derivazione dello scolmatore e del tratto di tombinatura del rio a valle della vasca sia in termini di velocità di deflusso che dei valori di portata scolmata e residua a valle del nodo di derivazione.

Nelle figure seguenti è riportato uno schema con l'indicazione dei risultati del calcolo per entrambi i tempi di ritorno.

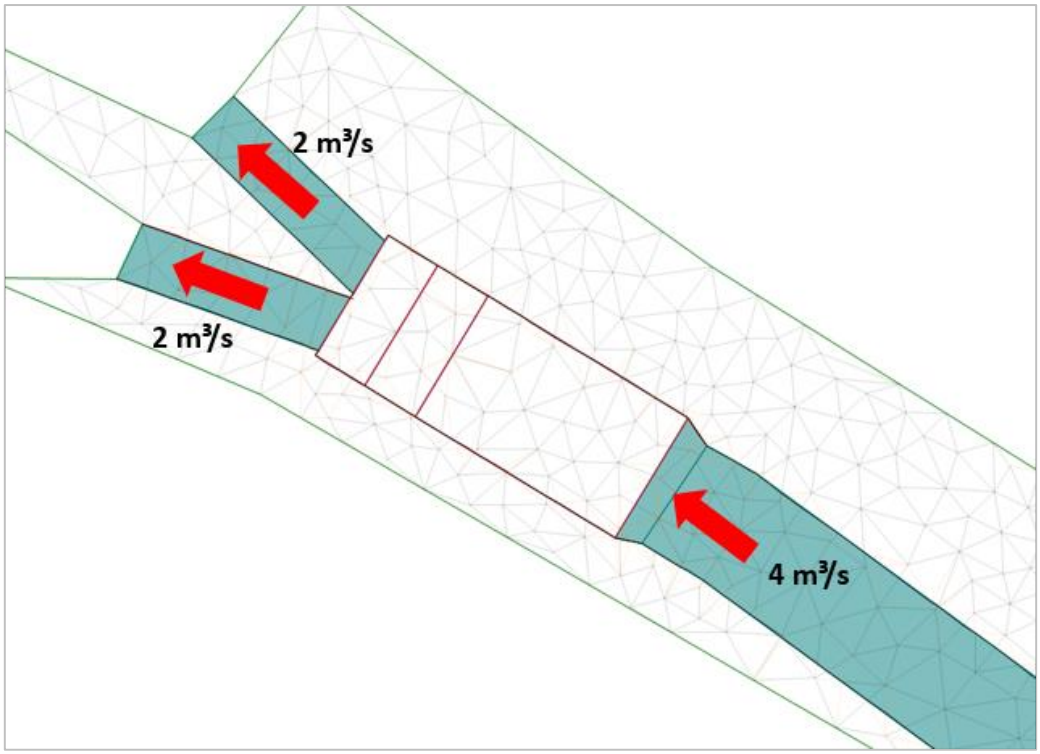


Figura 6-9 - Schema dei risultati delle portate T = 200 anni

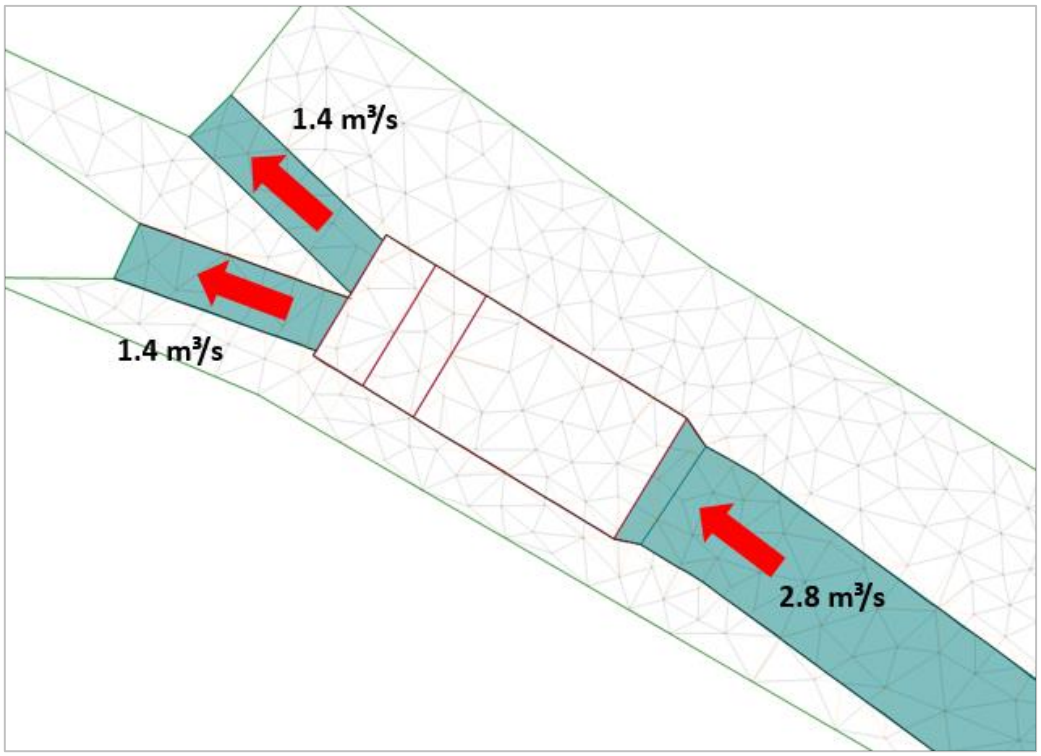


Figura 6-10 - Schema dei risultati delle portate T = 50 anni

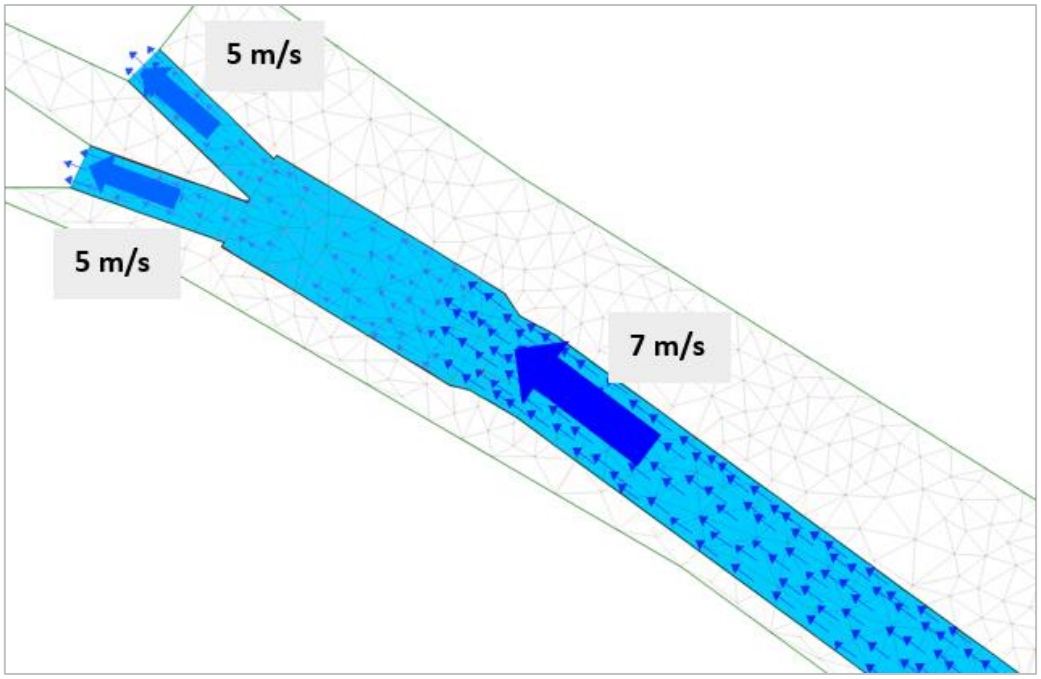


Figura 6-11 Schema dei risultati dell'andamento delle velocità T = 200 anni

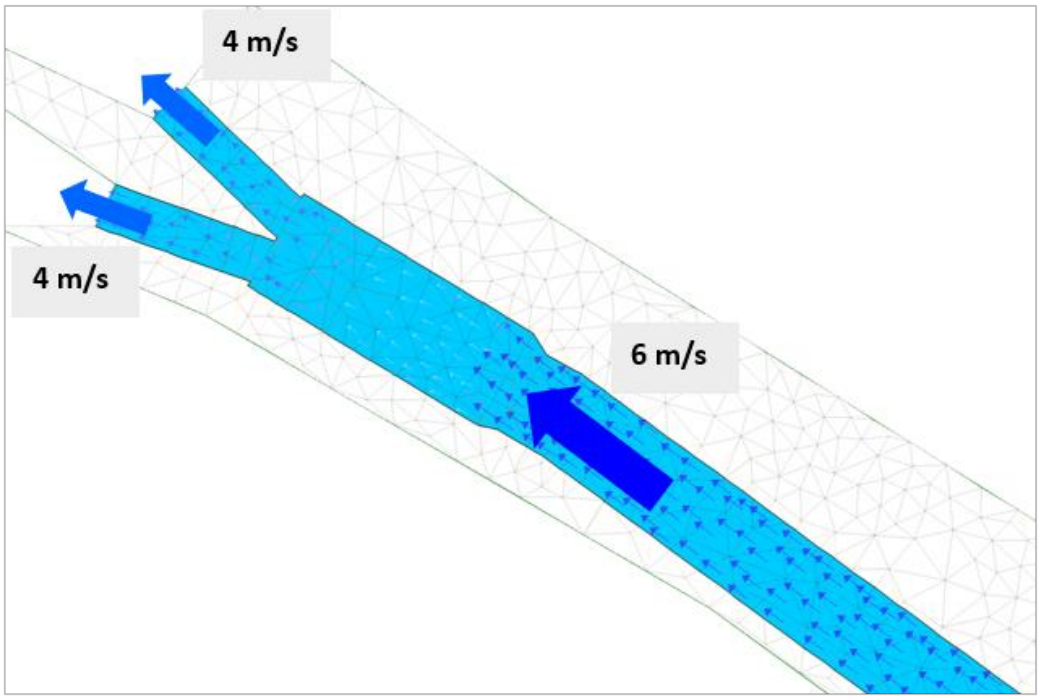


Figura 6-12 Schema dei risultati dell'andamento delle velocità T = 50 anni

	Value (m/s) [Linear]	Fix	Line Color
	AutoScale	Toggle All	Auto-Theme
	<	☒	
	1	☒	
	2	☒	
	3	☒	
	4	☒	
	6	☒	
	7	☒	

Figura 6-13 Legenda velocità di deflusso

I risultati evidenziano una sostanziale congruenza con i risultati riportati nei precedenti capitoli.

Le portate del rio Villa Castagna complessive della sezione di monte dopo la presa dello scolmatore si suddividono parte nel rio a valle della presa e parte nello scolmatore, secondo il seguente schema.

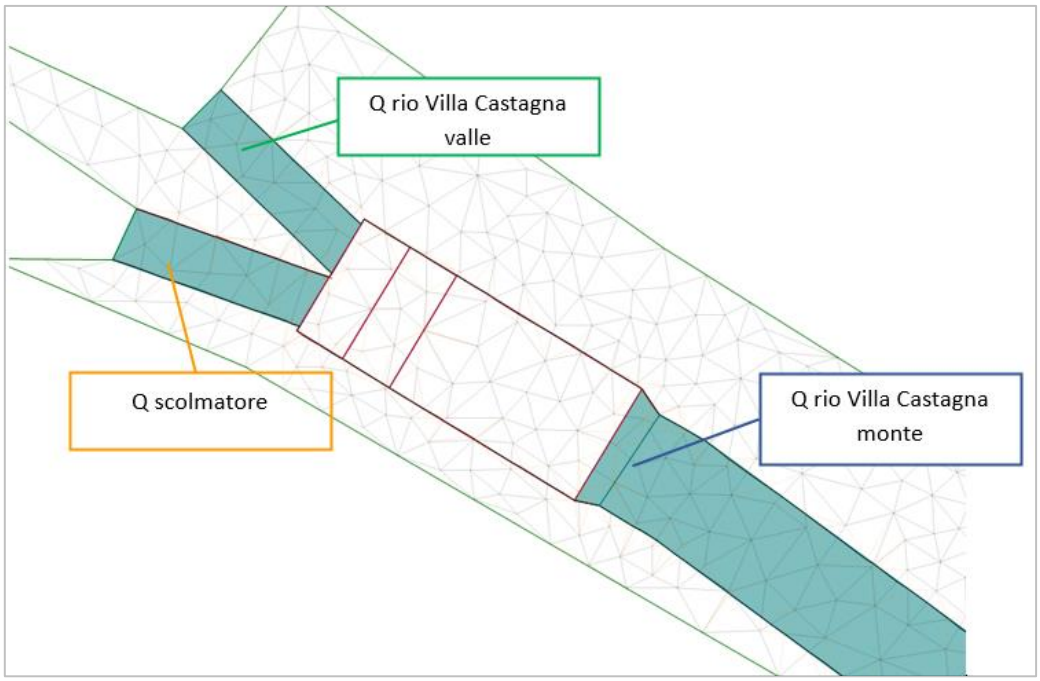


Figura 6-14 Schema ripartizione portate

La portata derivata in concomitanza del picco di piena del rio per l'evento 200-ennale è pari a 2 m^3/s, pari al 50% della portata massima in arrivo da monte (4 m^3/s), e la portata residua di valle del rio è pari a 2 m^3/s, concordanti con i dati riportati nei capitoli precedenti.
Analogo comportamento per la portata 50-ennale, dove la portata di monte si suddivide equamente, grazie alla conformazione della vasca e dei due canali, tra le due tubazioni di valle.

Le verifiche hanno mostrato che i risultati non si discostano da quelli riportati nella modellazione idraulica monodimensionale riportata nel capitolo precedente.

Nella figura seguente sono riportati gli idrogrammi per T200 e T50 anni del rio a monte e a valle della presa e nel canale scolmatore risultanti dalla modellazione idraulica bidimensionale.

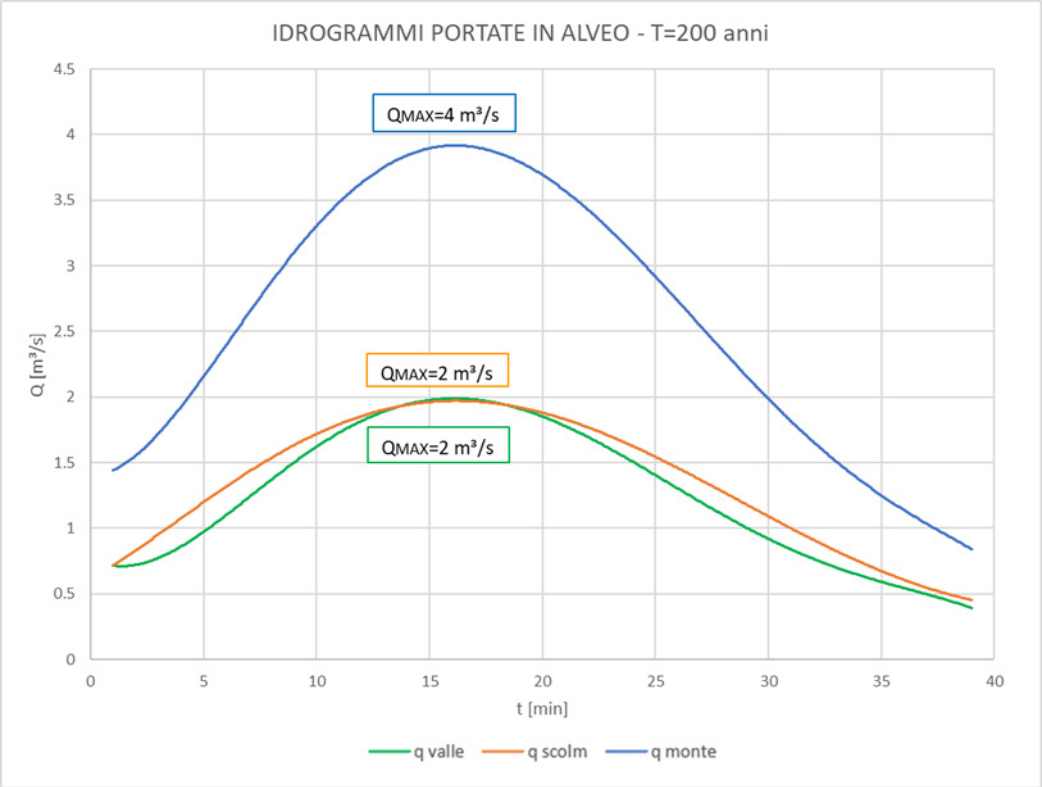


Figura 6-15 – Idrogramma portate T200 del rio Villa Castagna e dello scolmatore

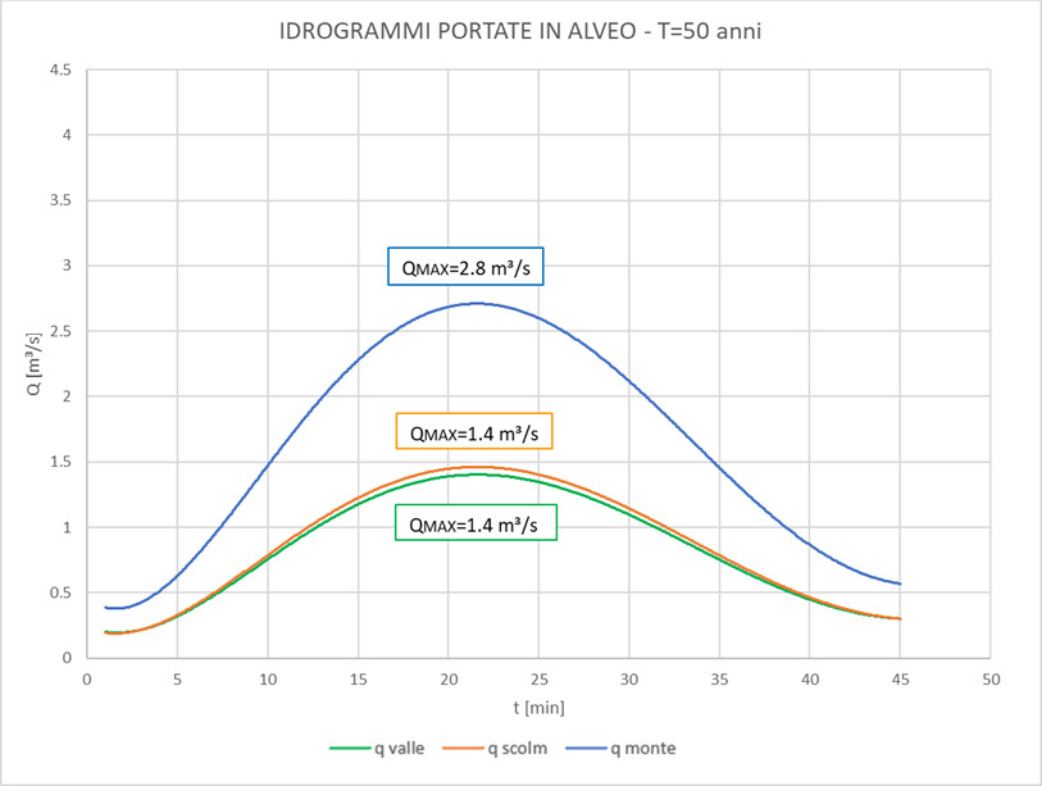


Figura 6-16 – Idrogramma portate T50 del rio Villa Castagna e dello scolmatore

7 MAPPATURA AREE INONDABILI STATO DI PROGETTO

Sulla base delle verifiche e delle analisi riportate nei precedenti paragrafi, è stata redatta una proposta di mappatura delle aree inondabili per la zona interessata dal complesso sportivo Sciorba tenendo conto del torrente Bisagno e dei suoi affluenti minori il rio Tagliate, il rio Villa Castagna e il rio Sciorba, secondo i criteri della DGR 91/13 e degli interventi previsti sul rio Villa Castagna.

Secondo la variante in adozione del Piano di Bacino la portata di piena 200-ennale del torrente Bisagno risulta contenuta all'interno degli argini con franco adeguato, anche il tratto terminale tombinato del rio Tagliate risulta in grado di smaltire la portata 200-ennale.

Gli interventi previsti sul rio Villa Castagna permettono il transito della portata 50-ennale e 200-ennale nel tratto tombinato di valle del rio a pelo libero.
I franchi per la portata 200-ennale risultano variabili tra 0.3 e 1.3 m, con carico inferiore all'intradosso.
La portata 500-ennale scorre senza franco nel tratto di monte a cielo aperto e nella tombinatura di valle del rio Villa Castagna. Per quanto concerne il canale scolmatore la portata 500-ennale residua pari a 2.4 m^3/s defluisce in corrente veloce con un riempimento pari al 50% nel caso di pendenza massima pari al 10% e in incipiente pressione nel caso di pendenza minore pari al 2%.

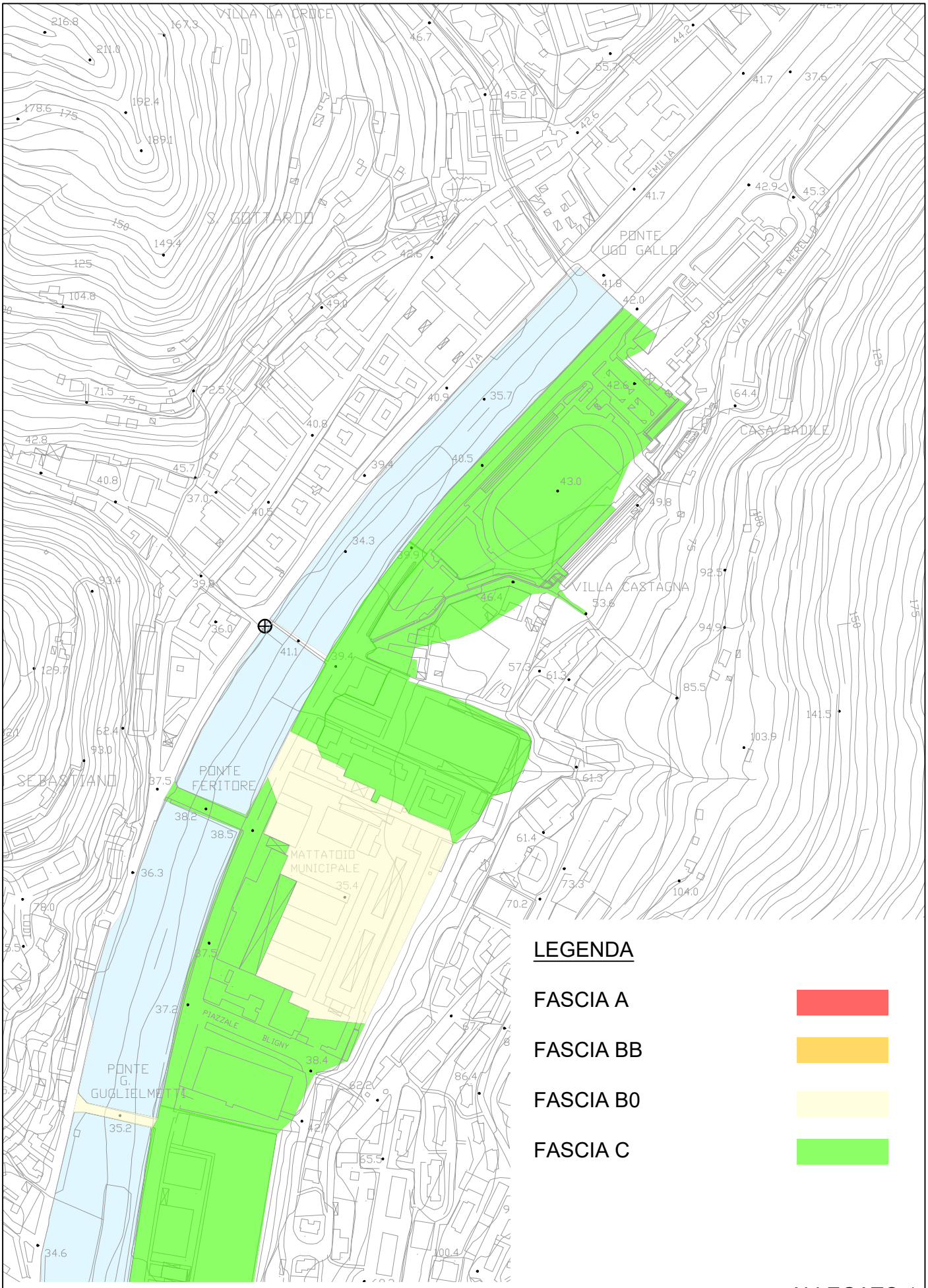
Al fine di determinare il rischio residuale del tratto tombinato si sono analizzati diversi scenari di ostruzione (fondo alveo generalizzato e puntuale della sezione di imbocco) o diverse scabrezze dell'alveo. In tutte le configurazioni esaminate la portata 200-ennale scolmata transita sempre a pelo libero senza mettere in pressione la tombinatura. Inoltre la tombinatura si trova ad una quota mediamente di circa 5 m sotto il piano di calpestio superficiale.

Pertanto rimane la sola criticità del rio Sciorba, ubicato a Sud ed esternamente rispetto al complesso sportivo e la sua portata esondata defluisce verso valle verso l'area degli ex-macelli.

Nell'Allegato 1 è riportata la proposta di mappatura delle aree inondabili nello stato di progetto in scala 1:5000, che tiene conto degli interventi sul rio Villa Castagna

Rispetto alla mappatura della variante adottata al piano di Bacino non è più presente la Fascia A che interessava in particolare Via Inferiore Fameiano e il parcheggio sud e la Fascia B che interessava il parcheggio e parte dell'area del complesso sportivo.

Come riportato nei capitoli precedenti, dal momento che la portata 500-ennale non presenta gli opportuni franchi idraulici, tutta l'area in sponda sinistra del torrente Bisagno è caratterizzata dalla Fascia C.



ALLEGATO 1
PROPOSTA MAPPATURA AREE INONDABILI
Stato di progetto
scala 1:5000

ALLEGATO A

Verifiche idrauliche

LEGENDA

Sezioni Architettoniche

Sezioni Idrauliche

Rio Villa Castagna

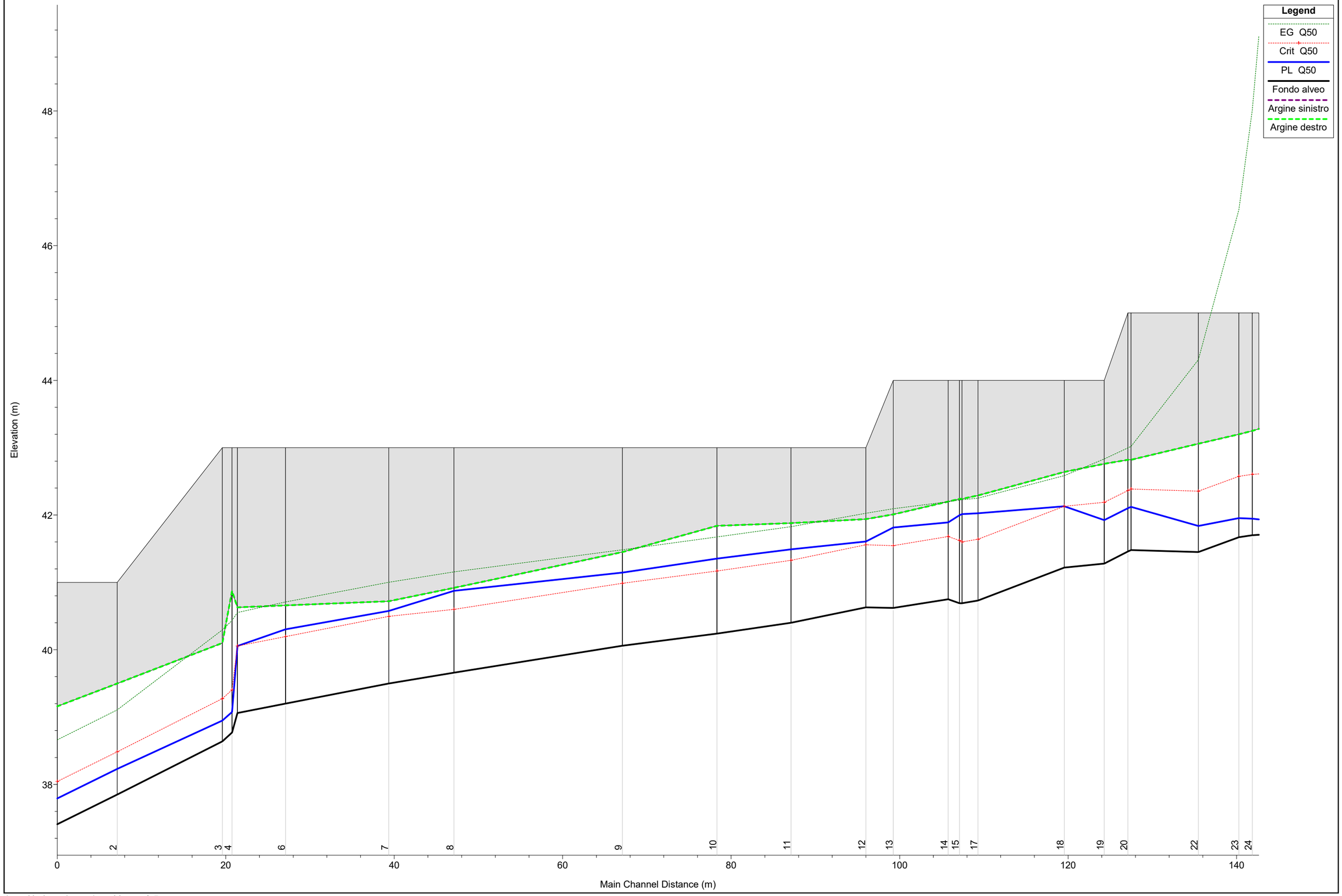
VILLA CASTAGNA

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE SEZIONI IDRAULICHE

Scala 1:2000

Rio Villa Castagna

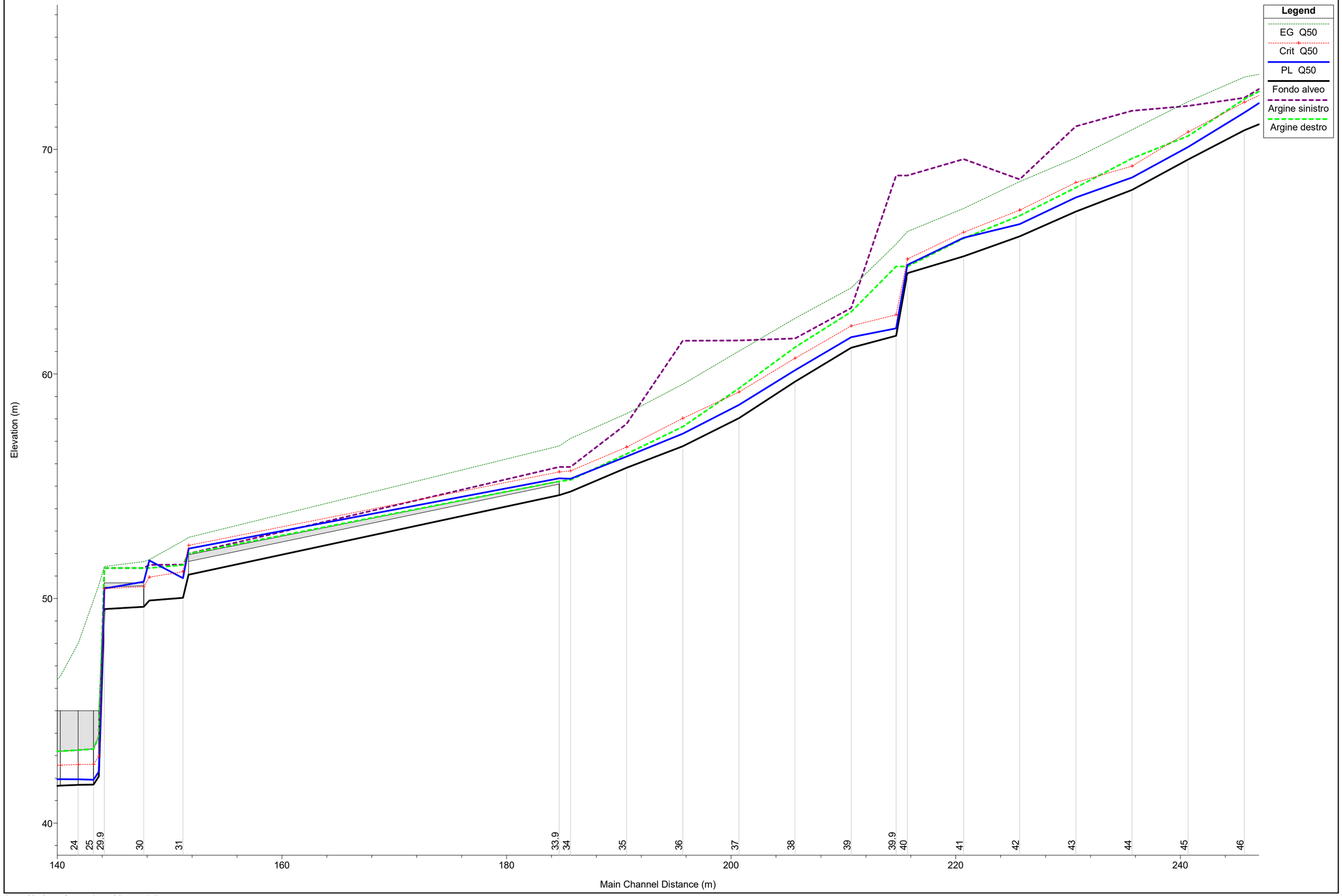
Geom: Stato attuale Q50 = 2.8 m³/s



1 cm Horiz. = 4 m 1 cm Vert. = 0.5 m

Rio Villa Castagna

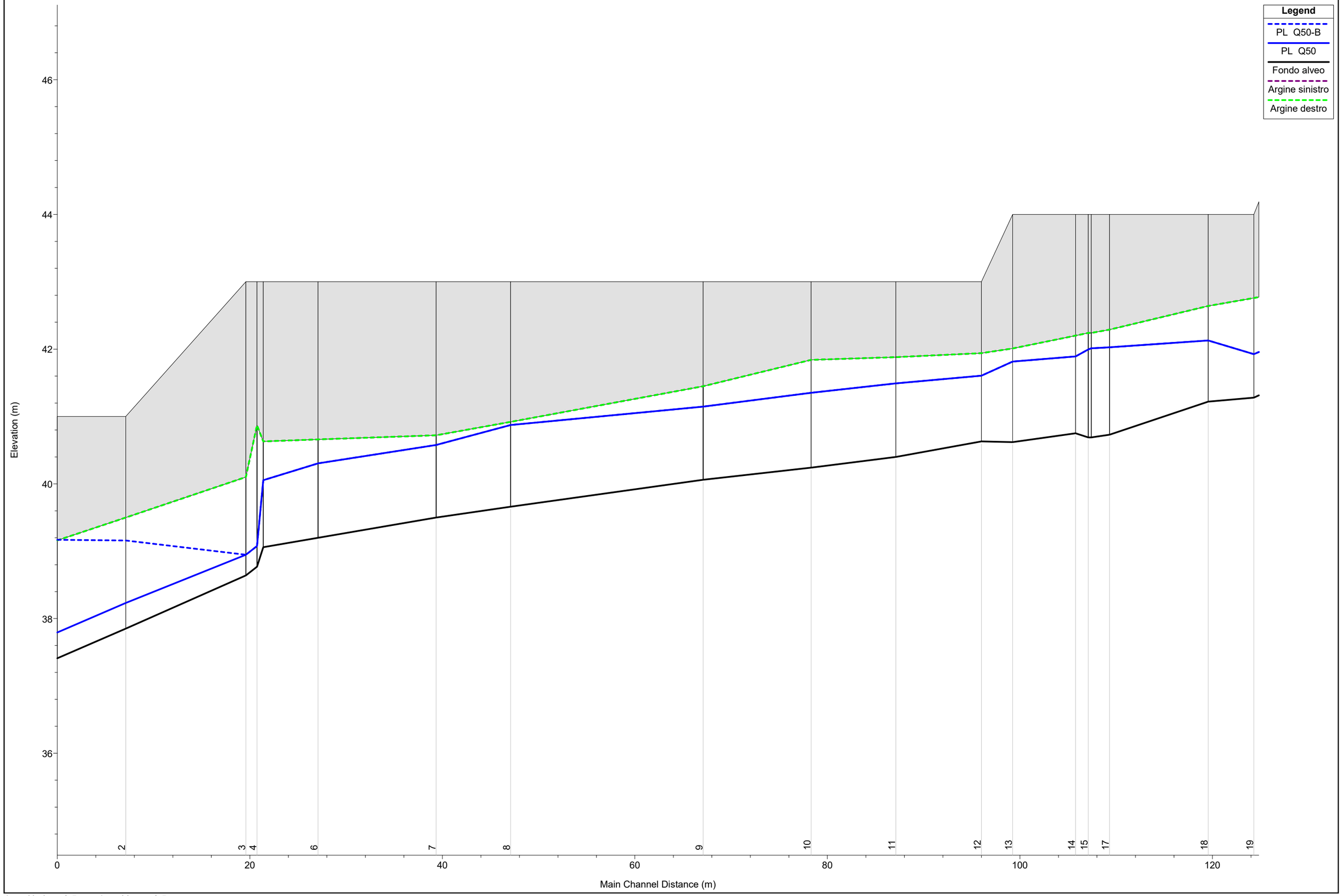
Geom: Stato attuale Q50 = 2.8 m³/s



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato attuale Raffronto con e senza piena sul t. Bisagno

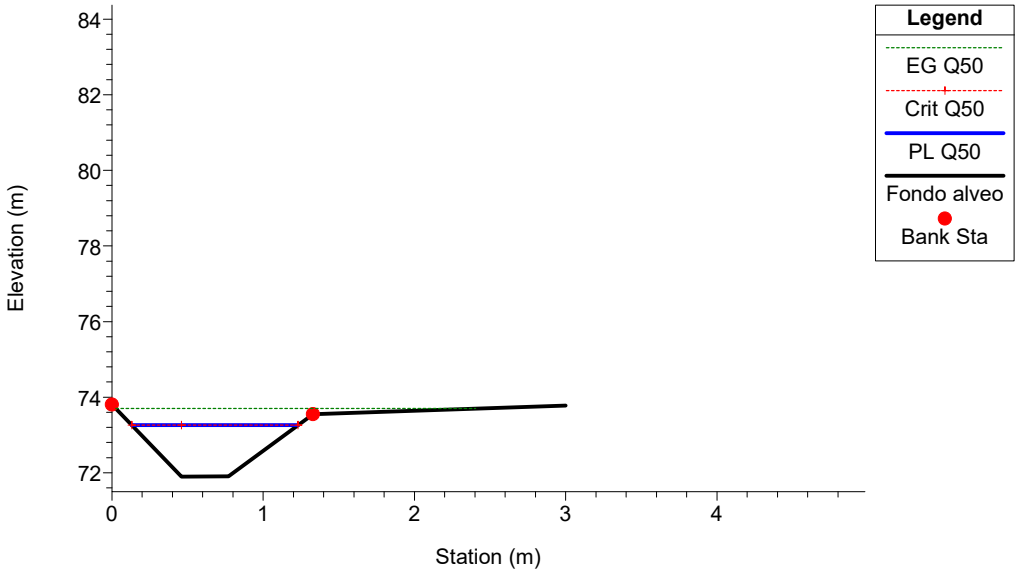


1 cm Horiz. = 3.5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

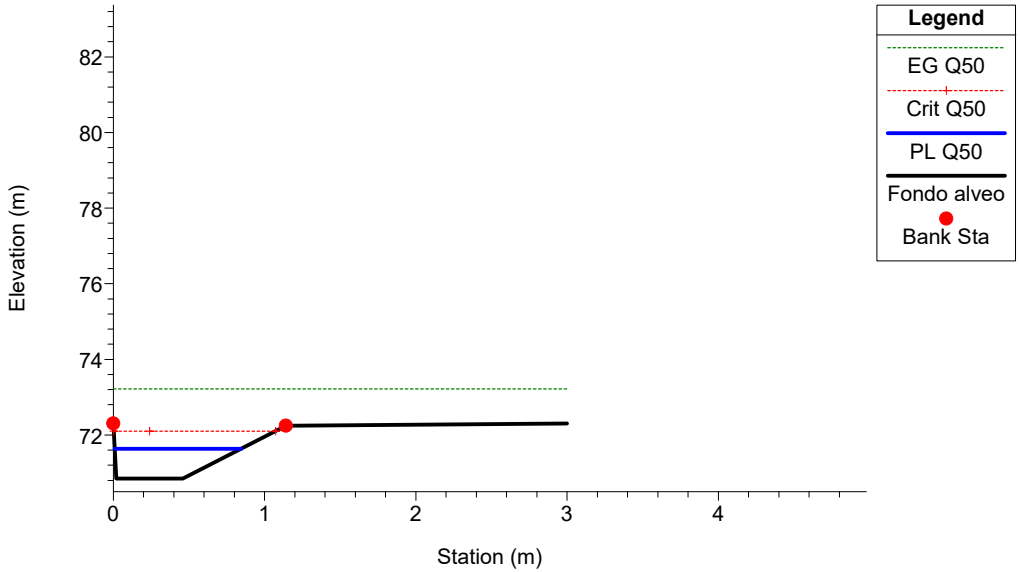
HEC-RAS Plan: Stato attuale River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	47	Q50	250.69	2.80	71.90	73.80	73.55	73.26	1.36	0.87	73.70	2.94	0.95	1.10	1.01
Rio Villa castag	46	Q50	245.69	2.80	70.85	72.30	72.24	71.64	0.79	0.60	73.22	5.57	0.50	0.84	2.30
Rio Villa castag	45	Q50	240.69	2.80	69.55	71.94	70.60	70.11	0.56	0.49	72.13	6.29	0.45	0.90	2.86
Rio Villa castag	44	Q50	235.69	2.80	68.20	71.72	69.60	68.75	0.55	0.46	70.88	6.46	0.43	0.94	3.03
Rio Villa castag	43	Q50	230.69	2.80	67.23	71.03	68.30	67.86	0.63	0.54	69.63	5.88	0.48	0.89	2.56
Rio Villa castag	42	Q50	225.69	2.80	66.13	68.67	67.05	66.67	0.54	0.50	68.57	6.09	0.46	0.91	2.74
Rio Villa castag	41	Q50	220.69	2.80	65.24	69.57	66.04	66.07	0.83	0.18	67.37	5.11	0.59	3.25	2.53
Rio Villa castag	40	Q50	215.69	2.80	64.49	68.84	64.79	64.86	0.37	0.18	66.34	5.84	0.58	3.19	3.15
Rio Villa castag	39.9	Q50	214.69	2.80	61.70	68.84	64.79	62.03	0.33	0.33	65.79	8.58	0.33	0.99	4.78
Rio Villa castag	39	Q50	210.69	2.80	61.17	62.94	62.77	61.64	0.47	0.43	63.83	6.56	0.43	1.00	3.21
Rio Villa castag	38	Q50	205.69	2.80	59.66	61.58	61.19	60.17	0.51	0.45	62.48	6.73	0.42	0.92	3.19
Rio Villa castag	37	Q50	200.69	2.80	58.03	61.49	59.36	58.62	0.59	0.52	61.01	6.85	0.41	0.79	3.04
Rio Villa castag	36	Q50	195.69	2.80	56.78	61.48	57.65	57.34	0.56	0.48	59.54	6.57	0.43	0.89	3.02
Rio Villa castag	35	Q50	190.69	2.80	55.82	57.78	56.44	56.32	0.50	0.49	58.24	6.13	0.46	0.92	2.78
Rio Villa castag	34	Q50	185.69	2.80	54.76	55.86	55.28	55.33	0.57	0.35	57.13	5.96	0.48	1.37	2.60
Rio Villa castag	33.9	Q50	184.69	2.80	54.60	55.10	55.05	55.35	0.75	0.29	56.79	5.45	0.54	1.83	1.96
Rio Villa castag	32	Q50	151.69	2.80	51.06	51.46	51.45	52.22	1.16	0.32	52.72	2.94	0.90	2.80	0.93
Rio Villa castag	31	Q50	151.19	2.80	50.03	51.51	51.49	50.91	0.88	0.19	52.56	5.71	0.50	2.70	2.19
Rio Villa castag	30.1	Q50	148.19	2.80	49.91	51.50	51.36	51.70	1.79	1.16	51.73	0.73	3.48	3.00	0.18
Rio Villa castag	30	Q50	147.69	2.80	49.63	50.10	50.10	50.75	1.12	0.54	51.64	4.25	0.70	1.30	1.27
Rio Villa castag	29.9	Q50	144.19	2.80	49.53	50.00	50.00	50.44	0.91	1.99	51.43	4.39	0.64	0.32	1.47
Rio Villa castag	26	Q50	143.69	2.80	42.08	43.87	43.87	42.29	0.21	0.21	50.59	12.76	0.22	1.04	8.87
Rio Villa castag	25	Q50	143.23	2.80	41.71	43.30	43.30	41.93	0.22	0.21	49.93	12.53	0.22	1.04	8.63
Rio Villa castag	24	Q50	141.86	2.80	41.70	43.25	43.25	41.95	0.25	0.25	48.01	10.91	0.26	1.04	7.01
Rio Villa castag	23	Q50	140.27	2.80	41.67	43.20	43.20	41.95	0.28	0.28	46.53	9.48	0.30	1.04	5.68
Rio Villa castag	22	Q50	135.47	2.80	41.45	43.06	43.06	41.84	0.39	0.39	44.31	6.96	0.40	1.04	3.57
Rio Villa castag	21	Q50	127.47	2.80	41.48	42.82	42.82	42.12	0.64	0.64	43.02	4.19	0.67	1.04	1.67
Rio Villa castag	20	Q50	127.11	2.80	41.46	42.82	42.82	42.10	0.64	0.64	43.00	4.19	0.67	1.04	1.67
Rio Villa castag	19	Q50	124.29	2.80	41.28	42.76	42.76	41.92	0.64	0.64	42.83	4.22	0.66	1.03	1.68
Rio Villa castag	18	Q50	119.55	2.80	41.22	42.64	42.64	42.13	0.91	0.91	42.59	2.99	0.94	1.03	1.00
Rio Villa castag	17	Q50	109.30	2.80	40.73	42.29	42.29	42.03	1.30	1.29	42.25	2.10	1.33	1.03	0.59
Rio Villa castag	16	Q50	107.40	2.80	40.69	42.24	42.24	42.01	1.32	1.32	42.23	2.05	1.36	1.03	0.57
Rio Villa castag	15	Q50	107.10	2.80	40.69	42.24	42.24	42.00	1.31	1.28	42.22	2.11	1.32	1.03	0.60
Rio Villa castag	14	Q50	105.77	2.80	40.75	42.20	42.20	41.89	1.14	1.14	42.20	2.45	1.14	1.00	0.73
Rio Villa castag	13	Q50	99.24	2.80	40.62	42.01	42.01	41.82	1.20	1.19	42.10	2.34	1.19	1.00	0.68
Rio Villa castag	12	Q50	96.00	2.80	40.63	41.94	41.94	41.61	0.98	0.98	42.03	2.87	0.98	1.00	0.93
Rio Villa castag	11	Q50	87.10	2.80	40.40	41.88	41.88	41.49	1.09	1.09	41.83	2.57	1.09	1.00	0.79
Rio Villa castag	10	Q50	78.31	2.80	40.24	41.84	41.84	41.35	1.11	1.11	41.68	2.52	1.11	1.00	0.76
Rio Villa castag	9	Q50	67.09	2.80	40.06	41.45	41.45	41.15	1.09	1.09	41.48	2.58	1.09	1.00	0.79
Rio Villa castag	8	Q50	47.09	2.80	39.66	40.92	40.92	40.87	1.21	1.21	41.16	2.35	1.19	0.98	0.68
Rio Villa castag	7	Q50	39.35	2.80	39.50	40.72	40.72	40.58	1.08	1.08	41.00	2.89	0.97	0.90	0.89
Rio Villa castag	6	Q50	27.09	2.80	39.20	40.66	40.66	40.30	1.10	1.10	40.71	2.82	0.99	0.90	0.86
Rio Villa castag	5	Q50	21.39	2.80	39.06	40.63	40.63	40.06	1.00	0.99	40.55	3.13	0.90	0.90	1.00
Rio Villa castag	4	Q50	20.74	2.80	38.77	40.87	40.87	39.08	0.31	0.31	40.43	5.16	0.54	1.77	2.97
Rio Villa castag	3	Q50	19.59	2.80	38.64	40.10	40.10	38.95	0.31	0.31	40.29	5.14	0.54	1.77	2.96
Rio Villa castag	2	Q50	7.11	2.80	37.85	39.50	39.50	38.23	0.38	0.38	39.11	4.15	0.68	1.77	2.14
Rio Villa castag	1	Q50		2.80	37.41	39.16	39.16	37.79	0.38	0.38	38.66	4.13	0.68	1.77	2.13

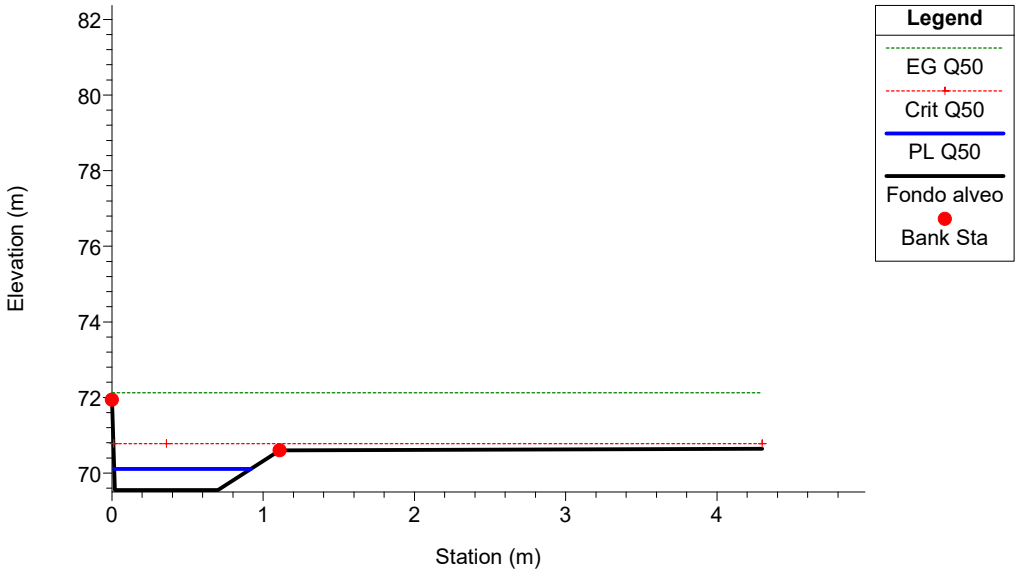
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 47 Q50 = 2.8 m³/s



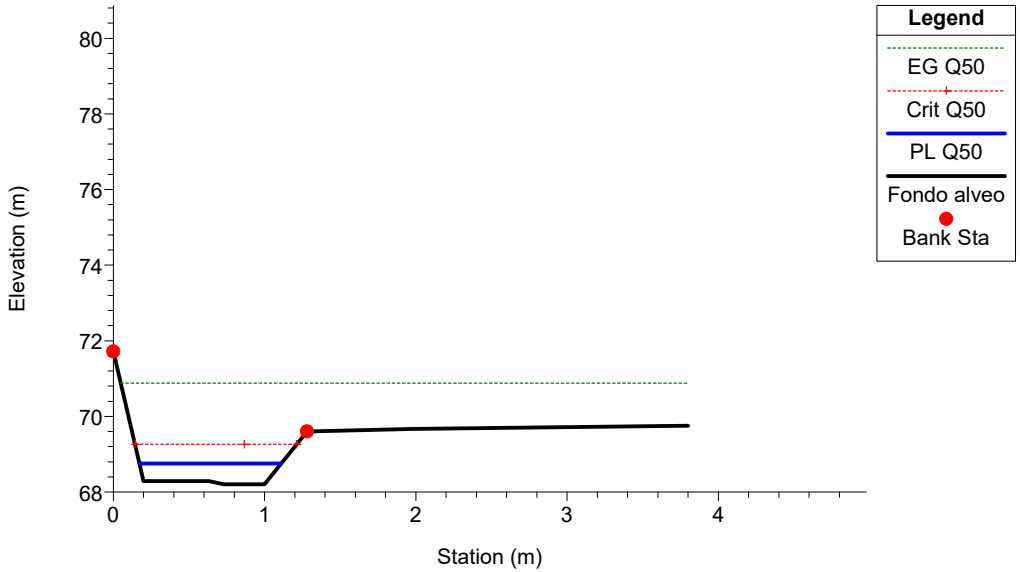
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 46 Q50 = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 45 Q50 = 2.8 m³/s

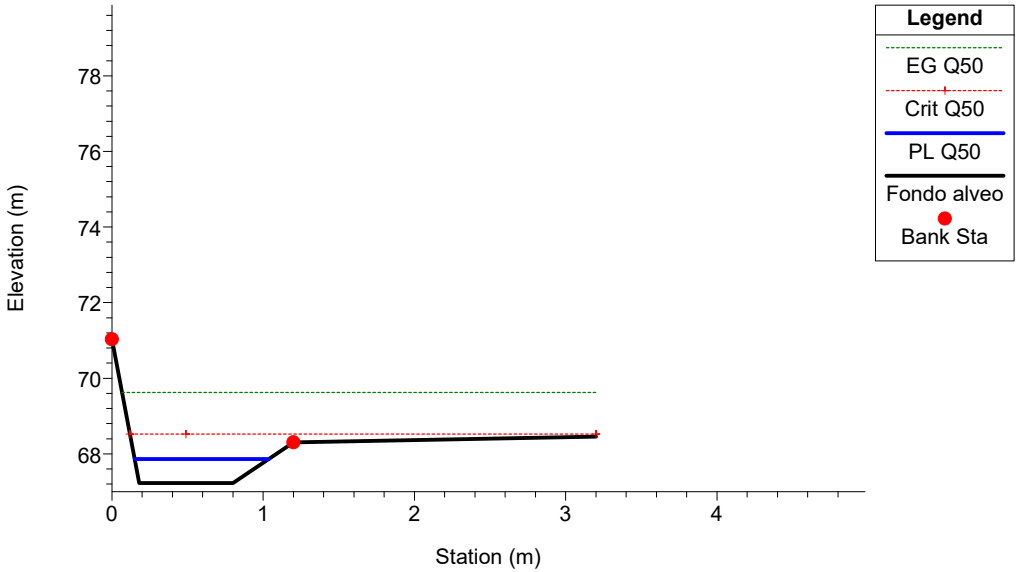


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 44 Q50 = 2.8 m³/s

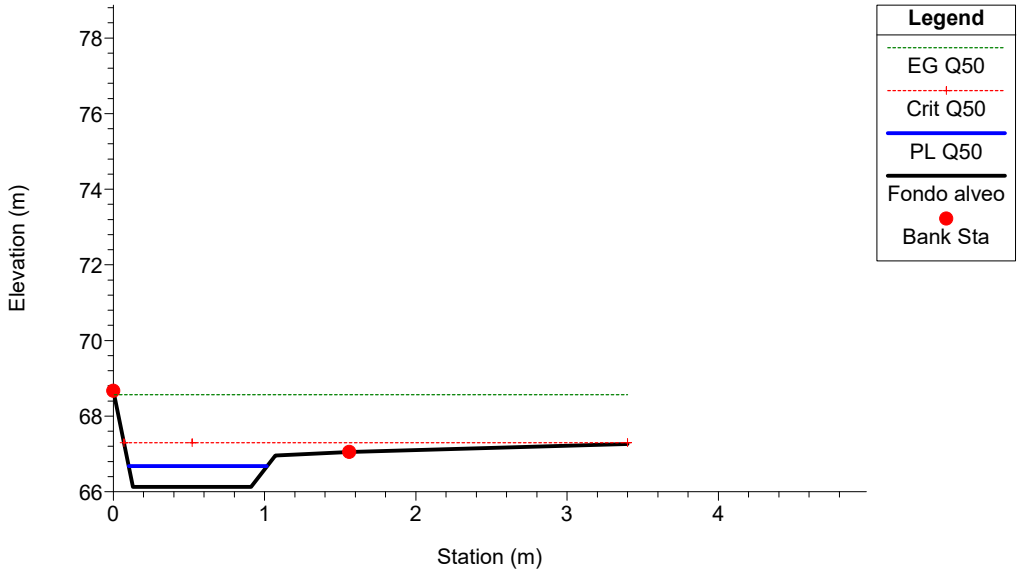


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

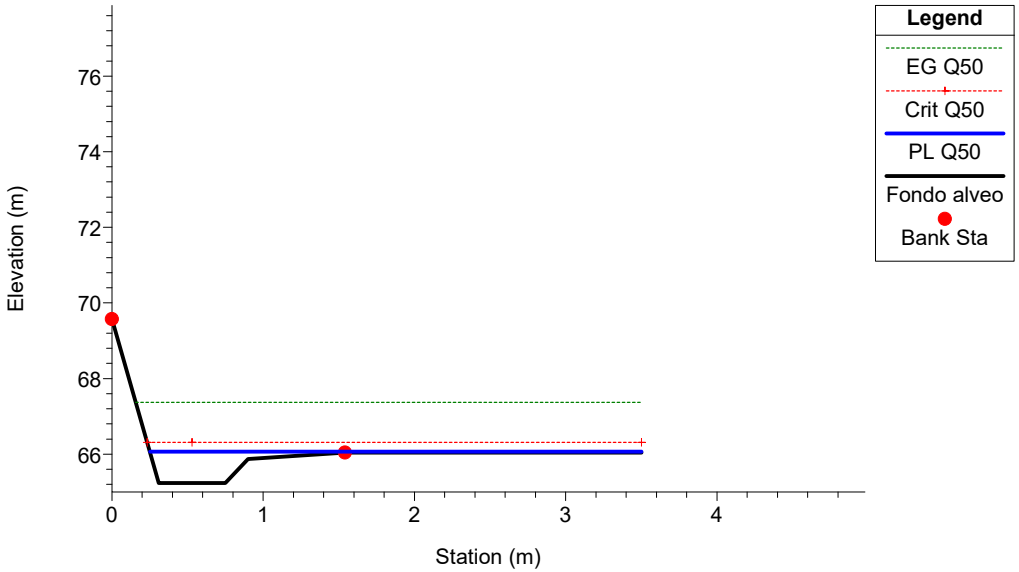
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 43 Q50 = 2.8 m³/s



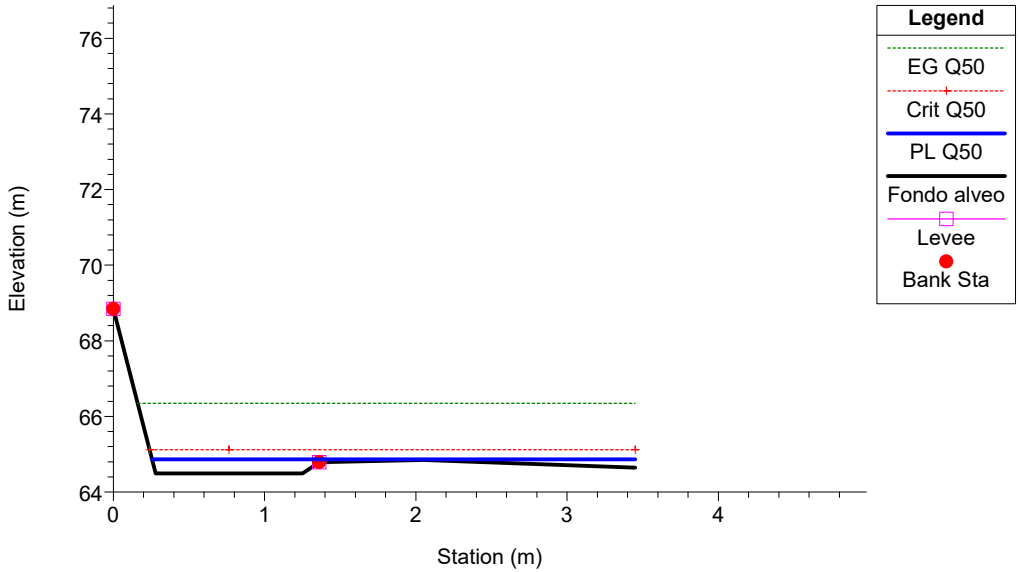
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 42 Q50 = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 41 Q50 = 2.8 m³/s

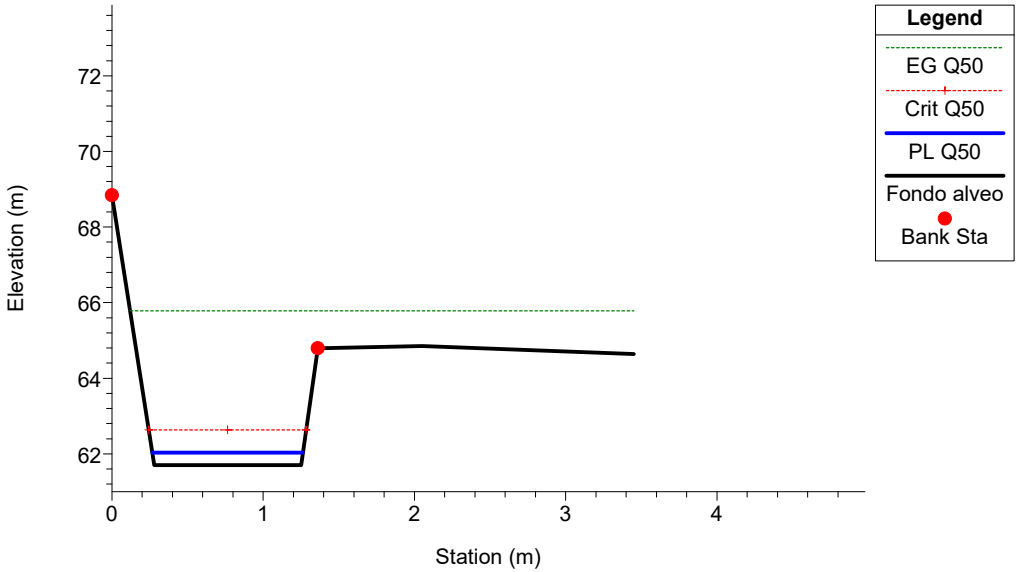


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 40 Q50 = 2.8 m³/s

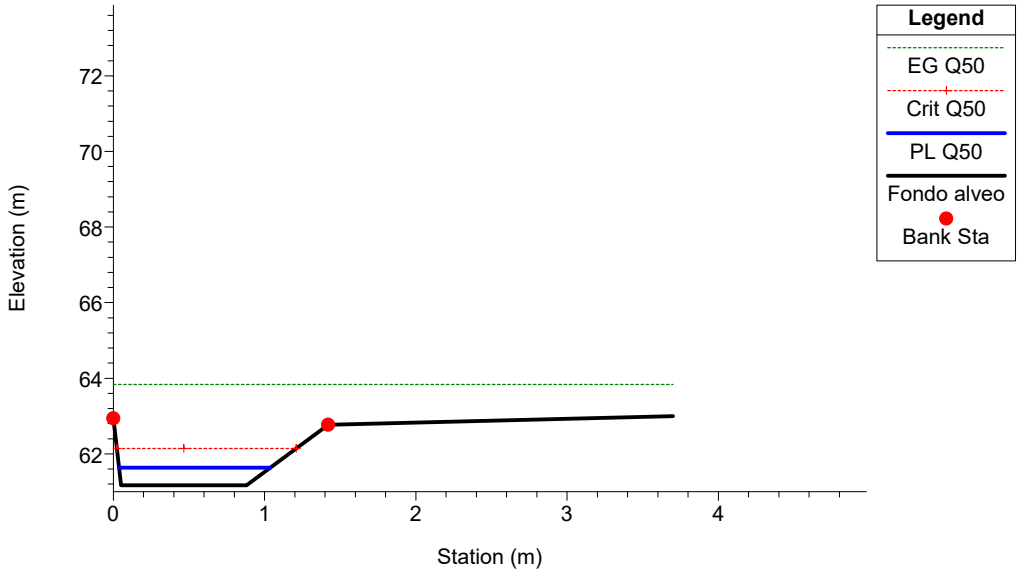


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

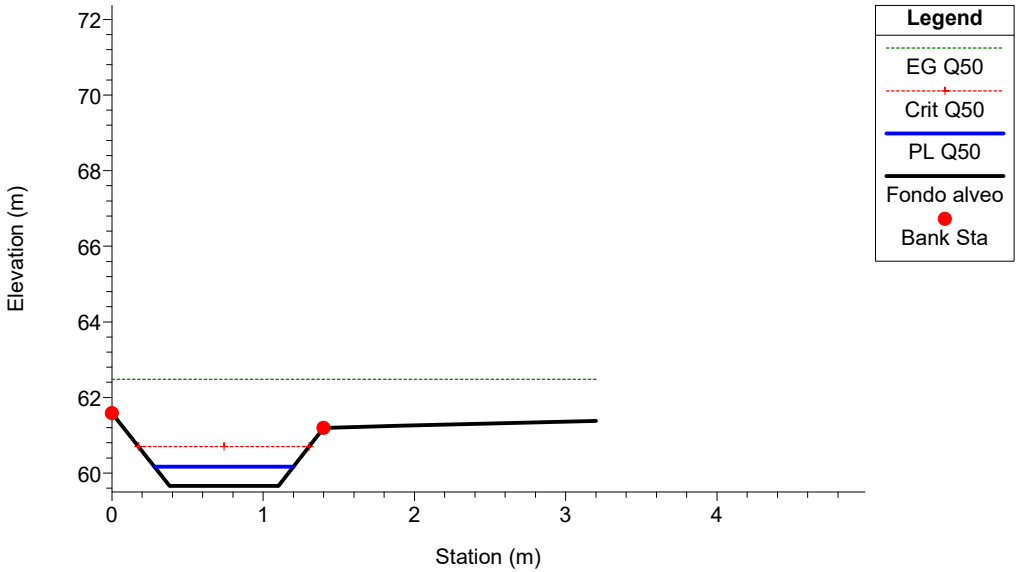
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 39.9 Q50 = 2.8 m³/s



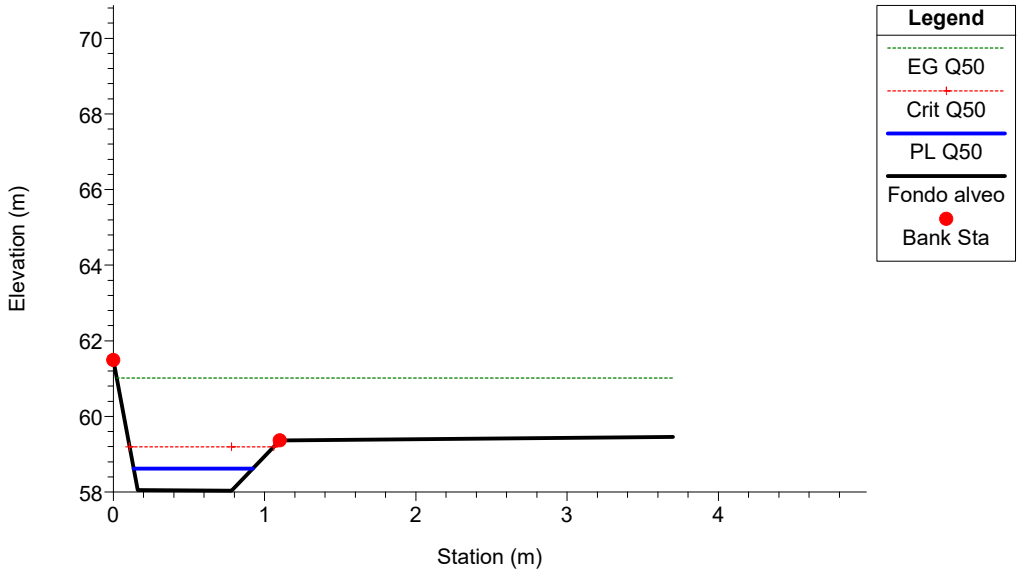
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 39 Q50 = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 38 Q50 = 2.8 m³/s

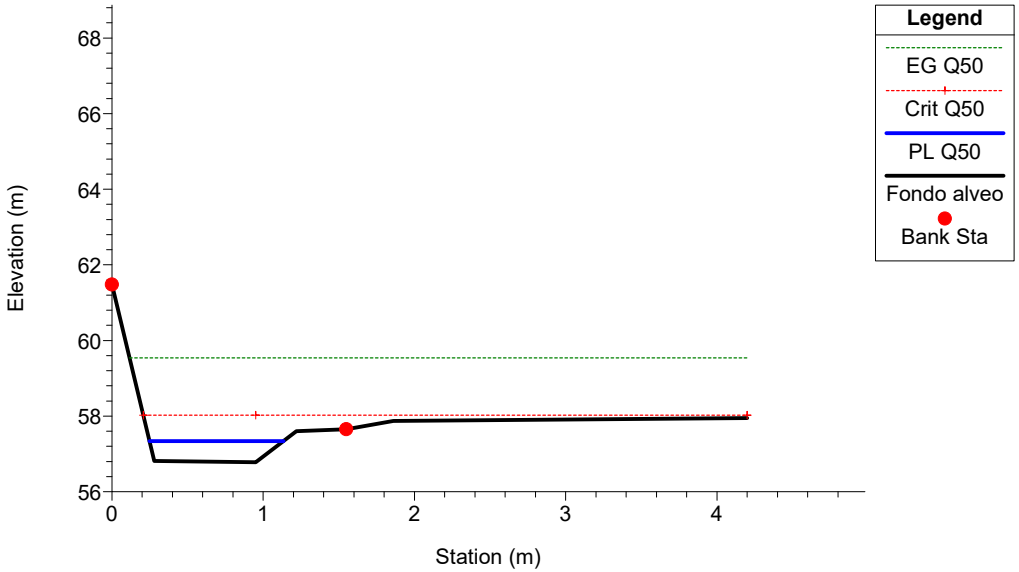


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 37 Q50 = 2.8 m³/s

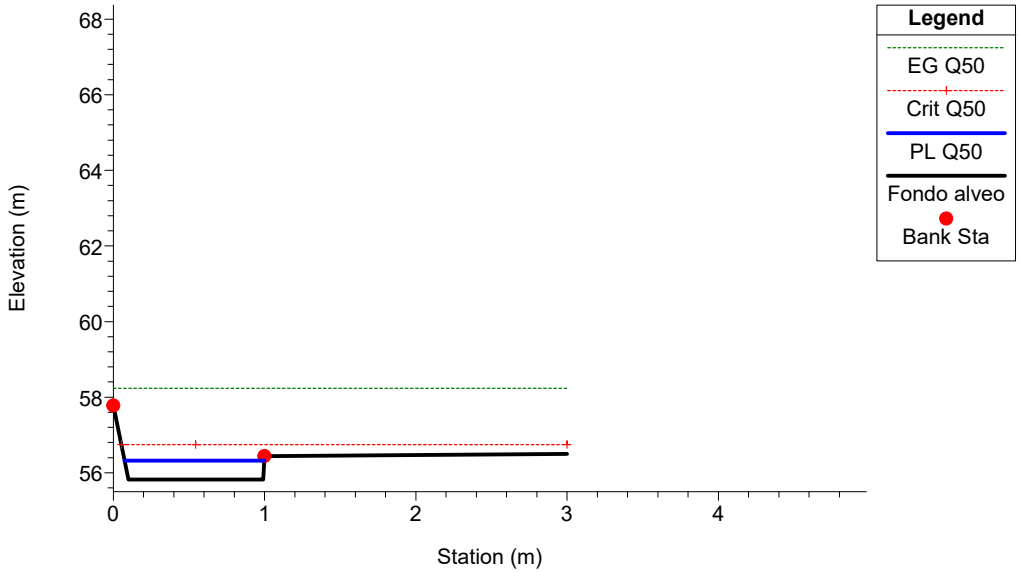


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

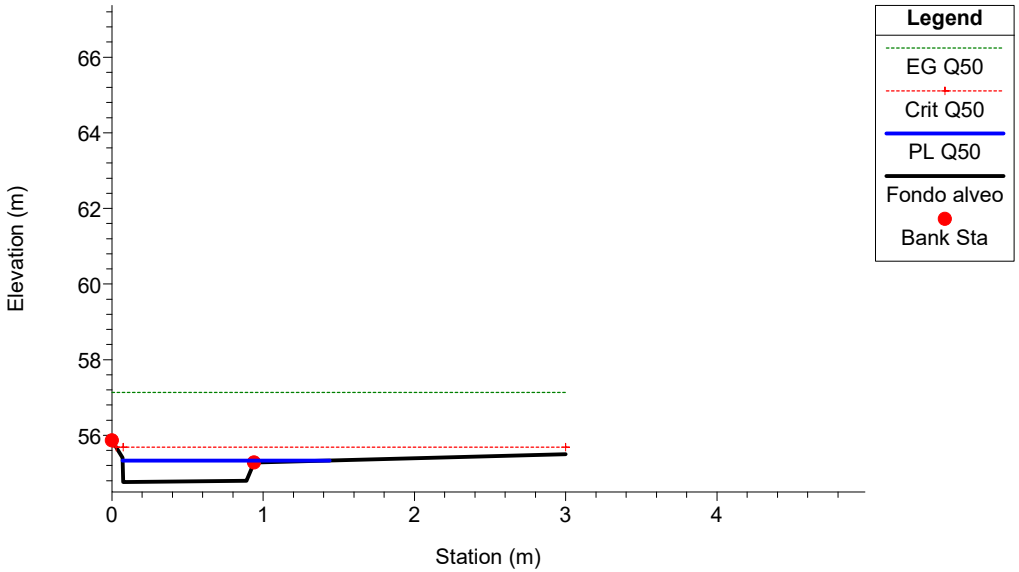
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 36 Q50 = 2.8 m³/s



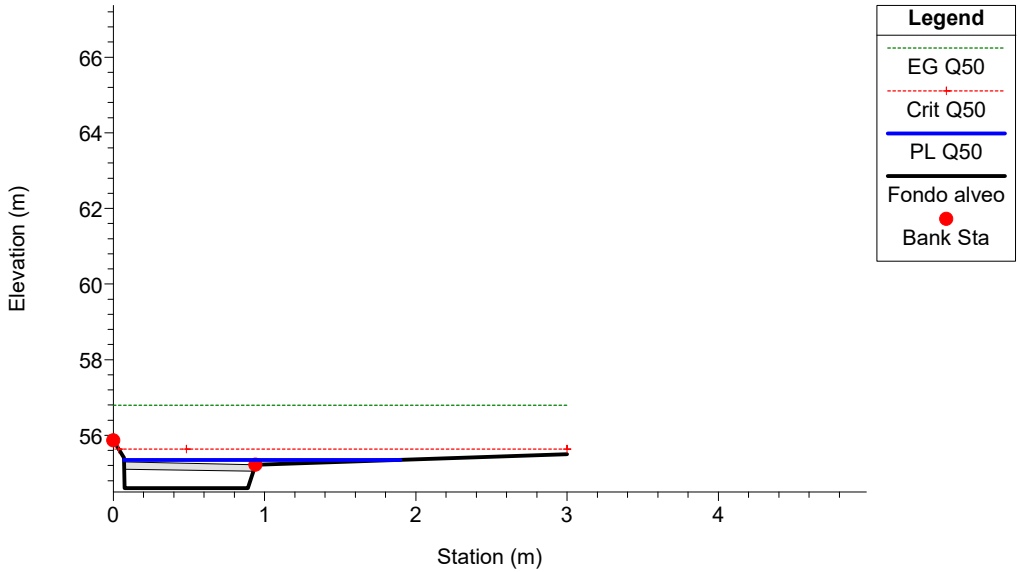
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 35 Q50 = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 34 Q50 = 2.8 m³/s

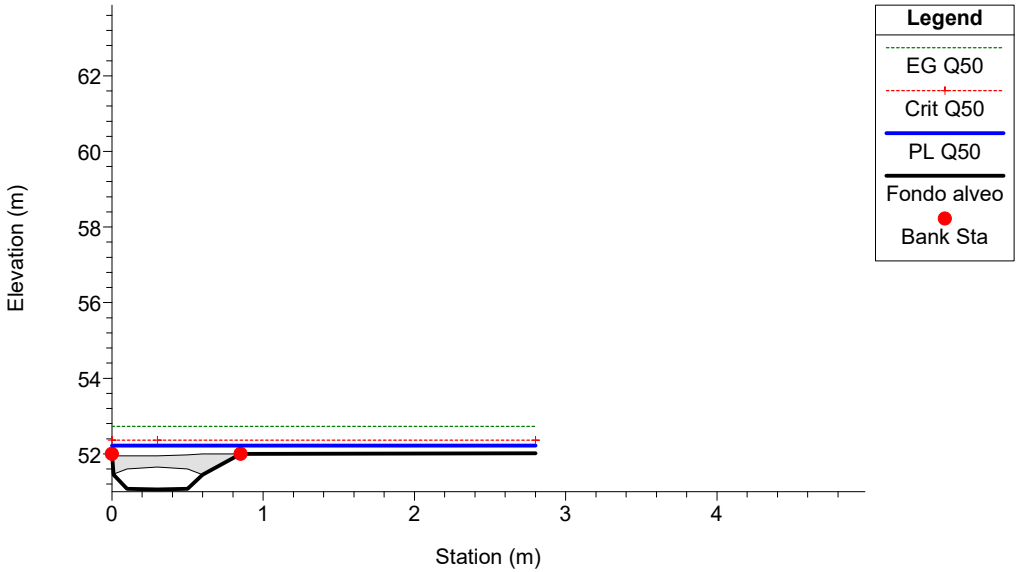


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 33.9 Q50 = 2.8 m³/s

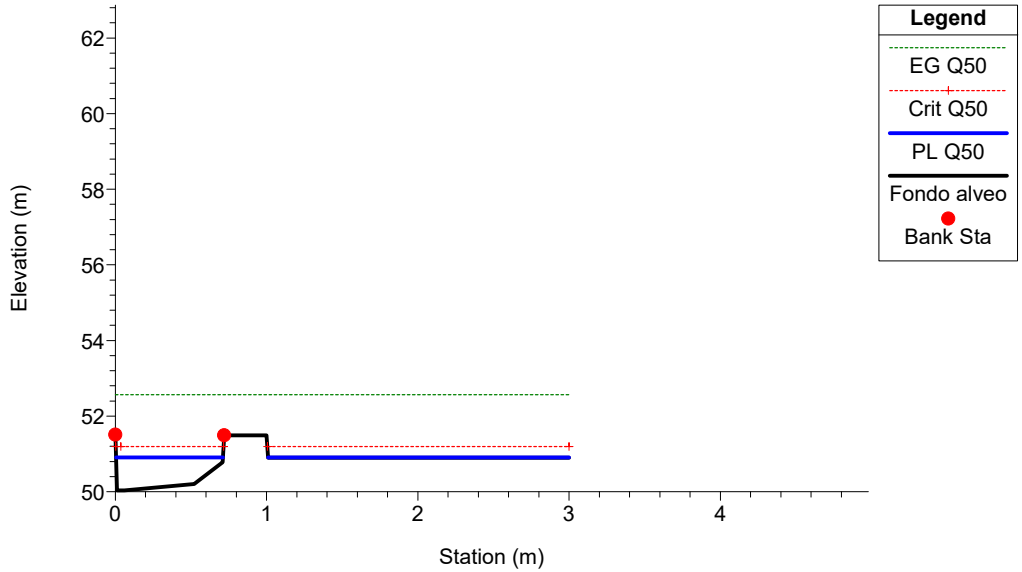


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

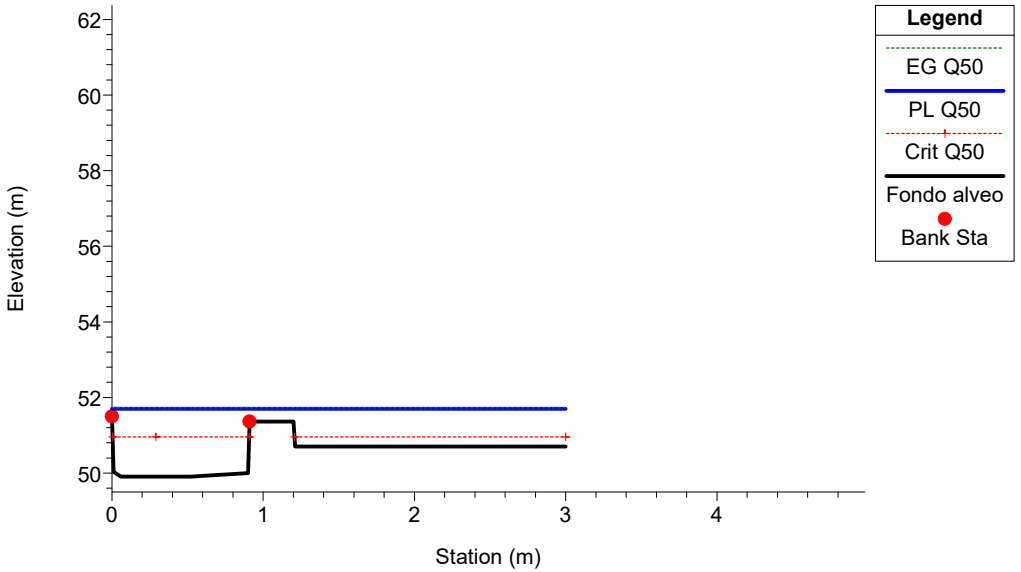
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 32 Q50 = 2.8 m³/s



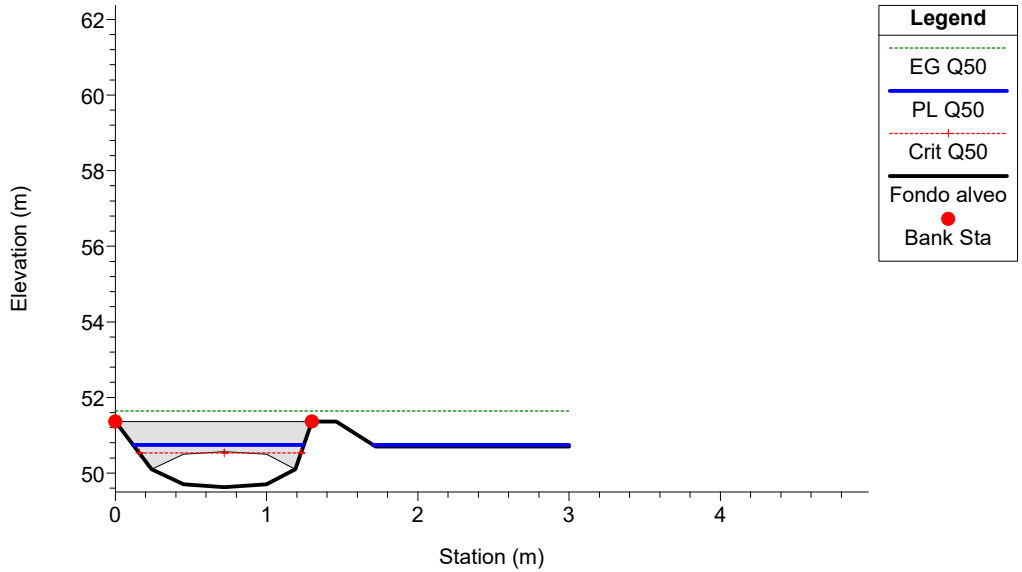
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 31 Q50 = 2.8 m³/s



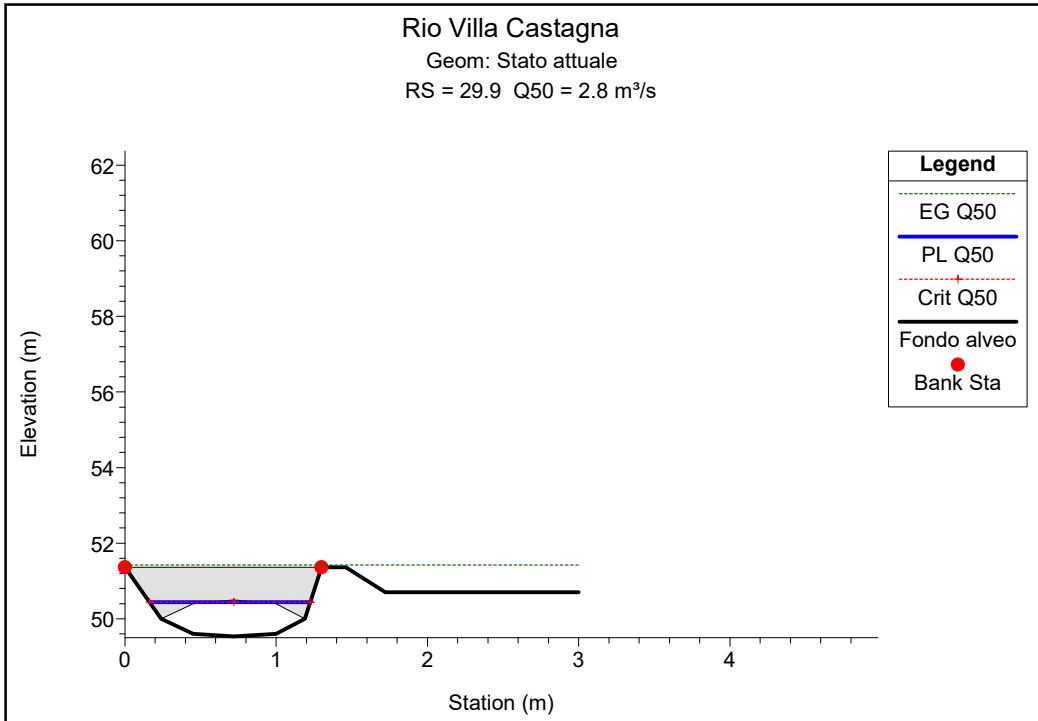
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 30.1 Q50 = 2.8 m³/s

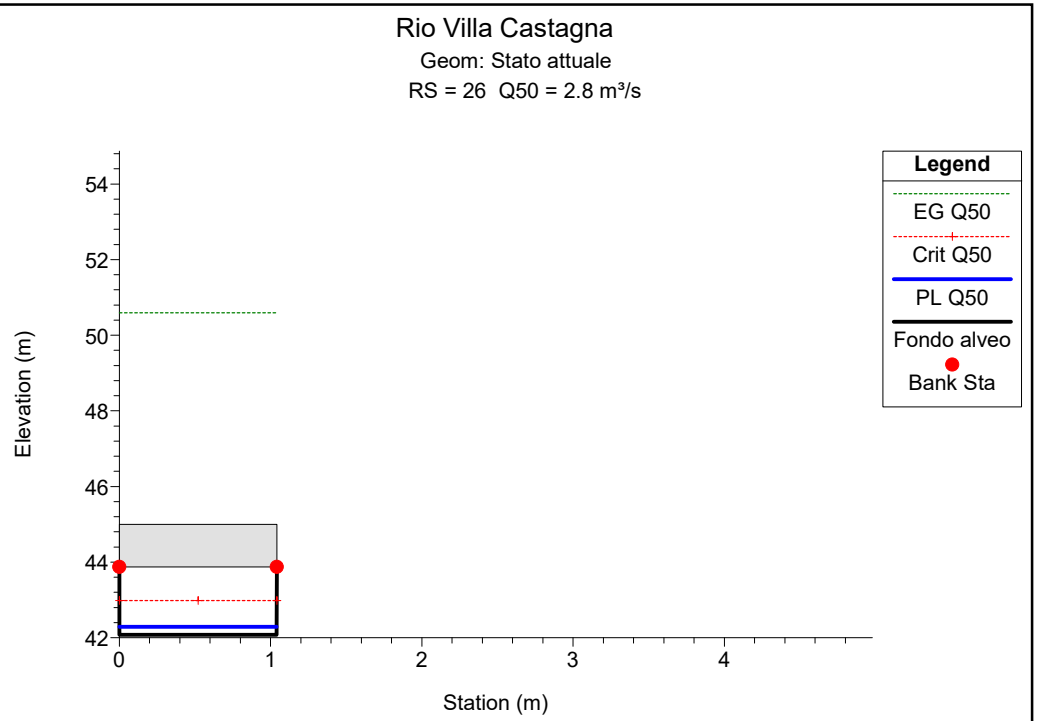


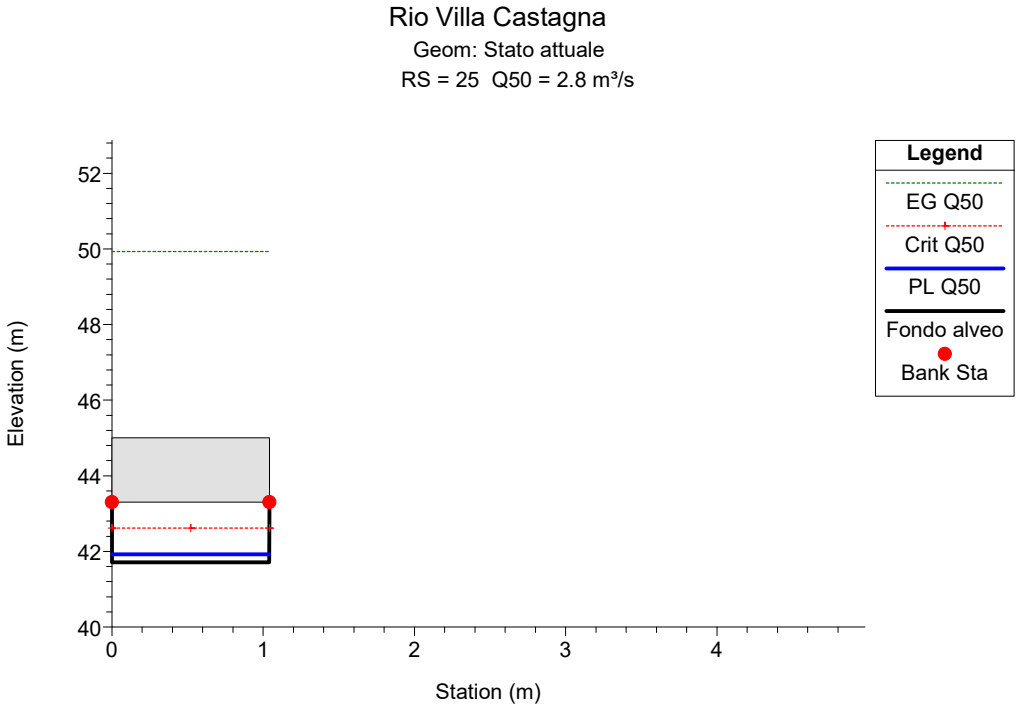
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 30 Q50 = 2.8 m³/s

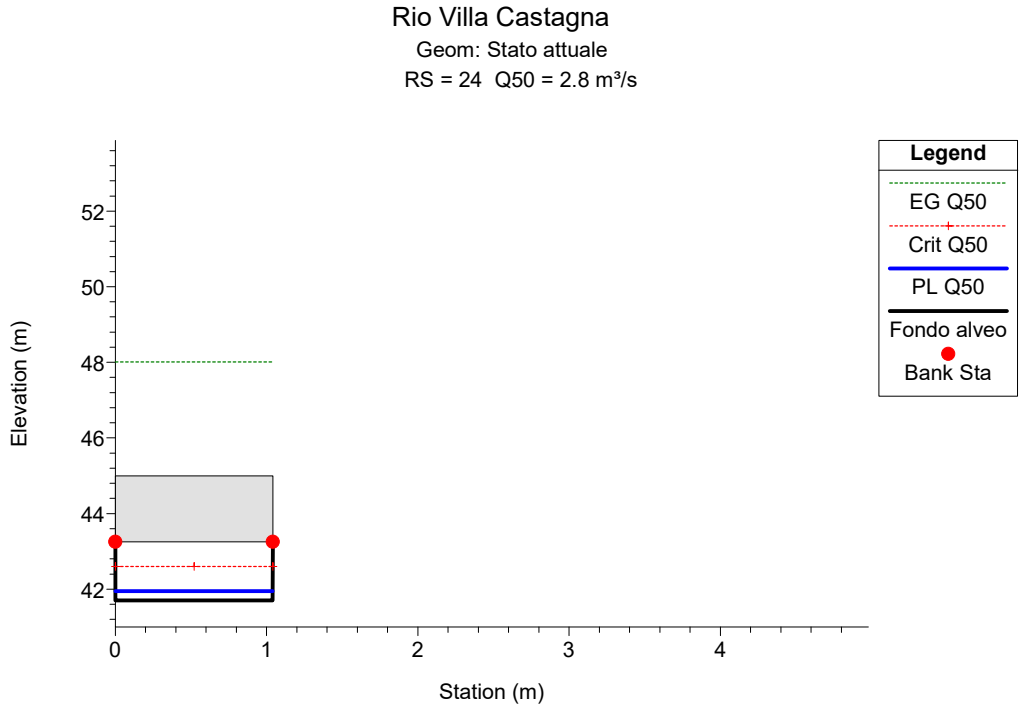


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

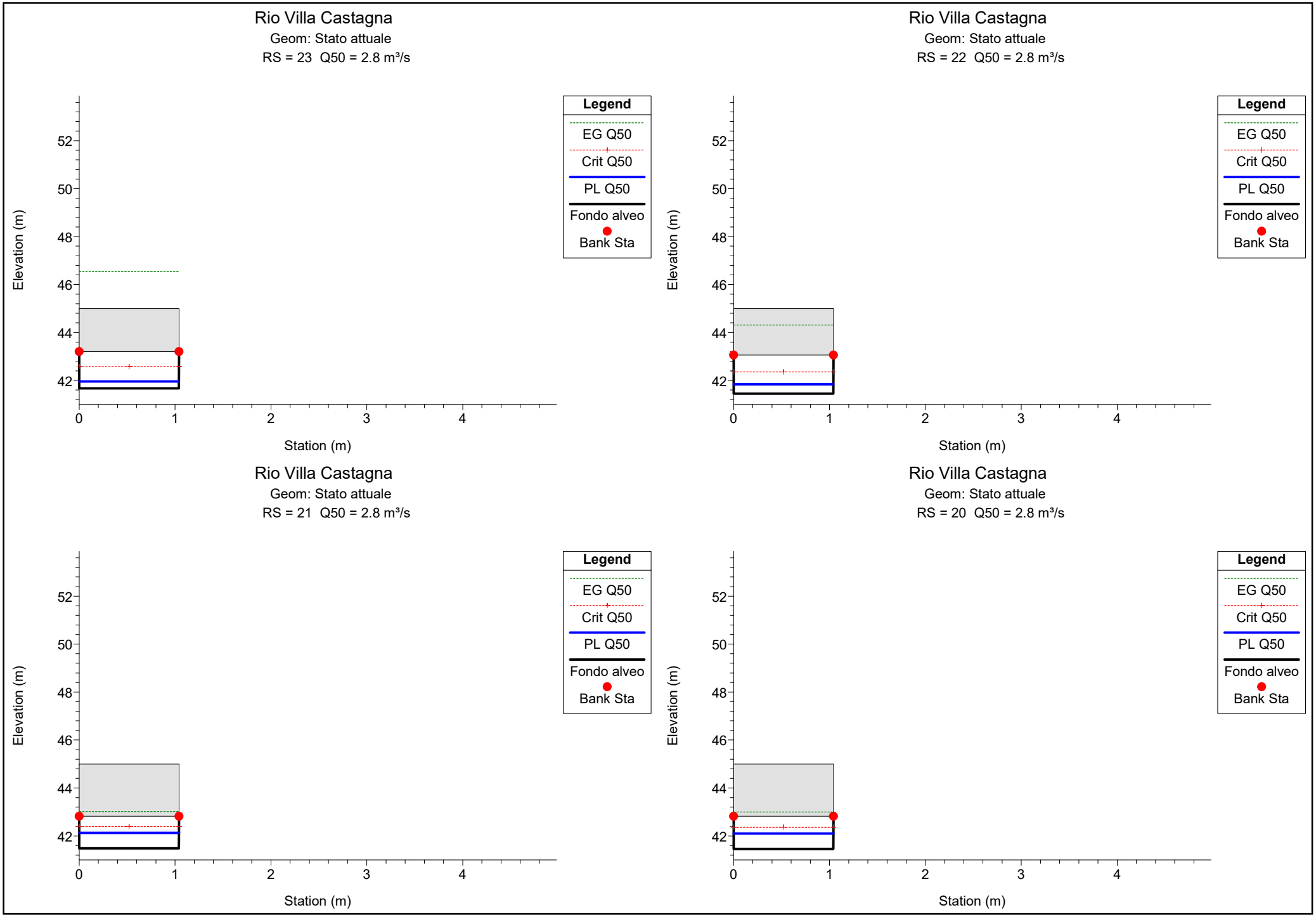






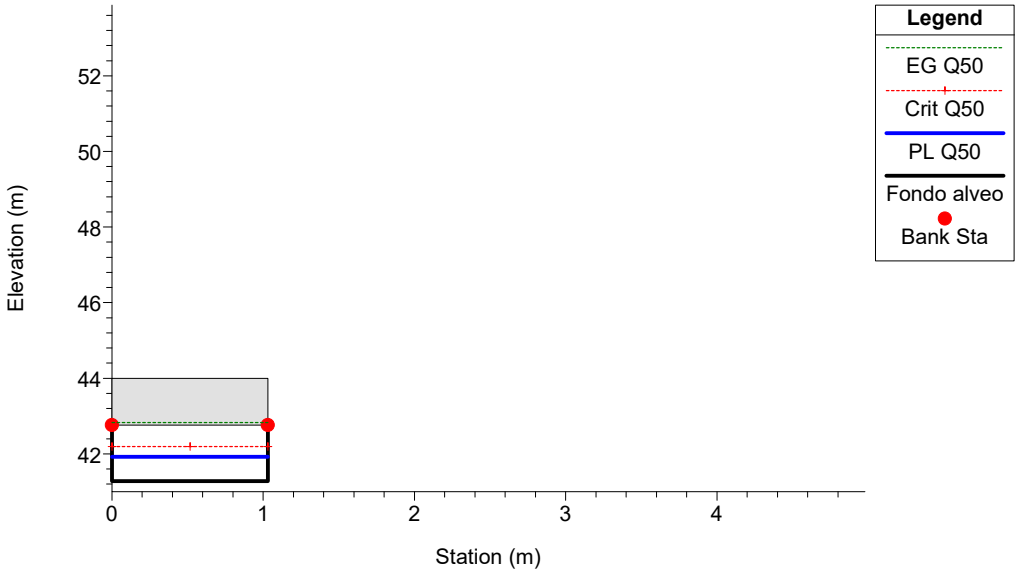


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

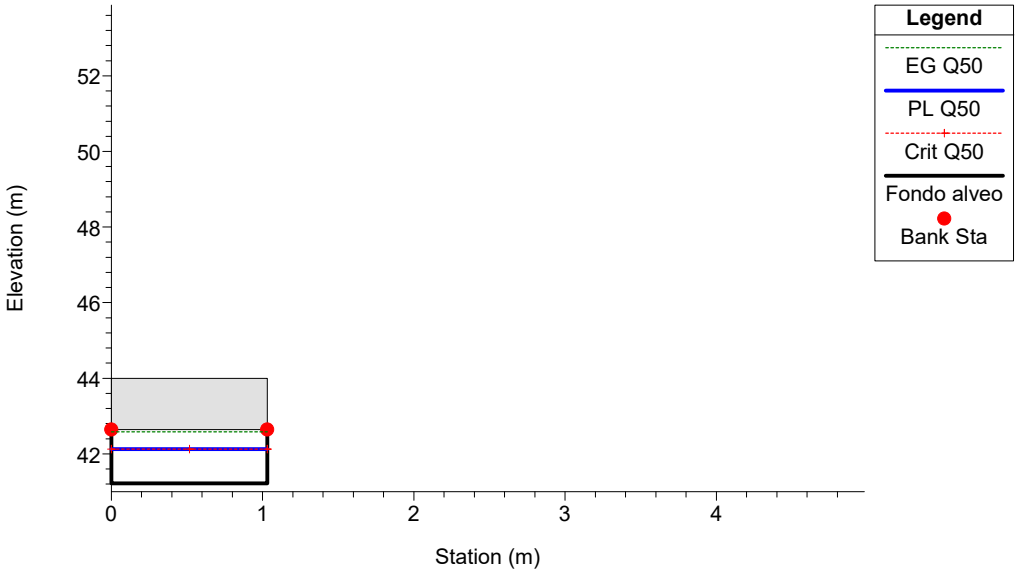


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

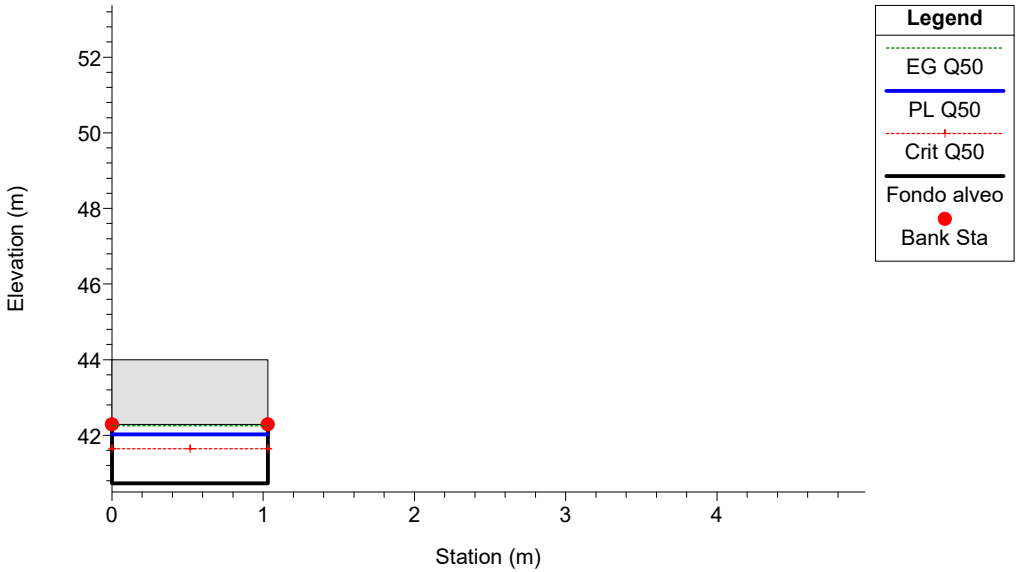
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 19 Q50 = 2.8 m³/s



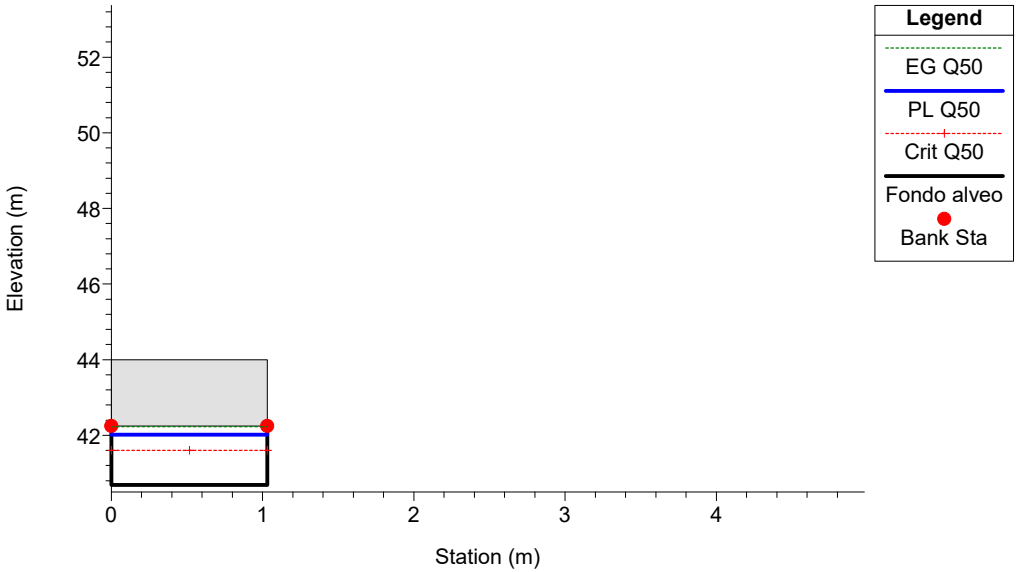
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 18 Q50 = 2.8 m³/s



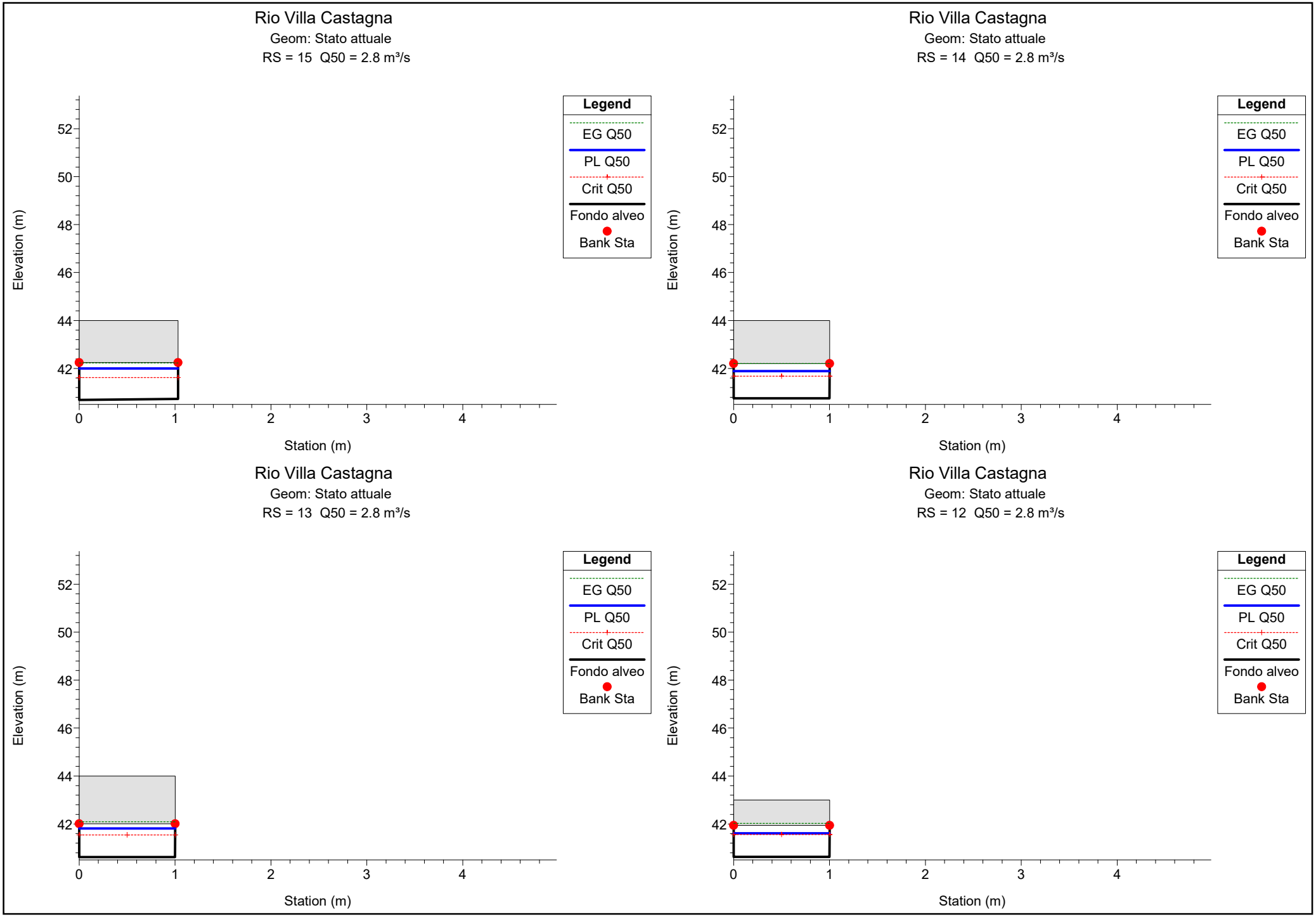
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 17 Q50 = 2.8 m³/s



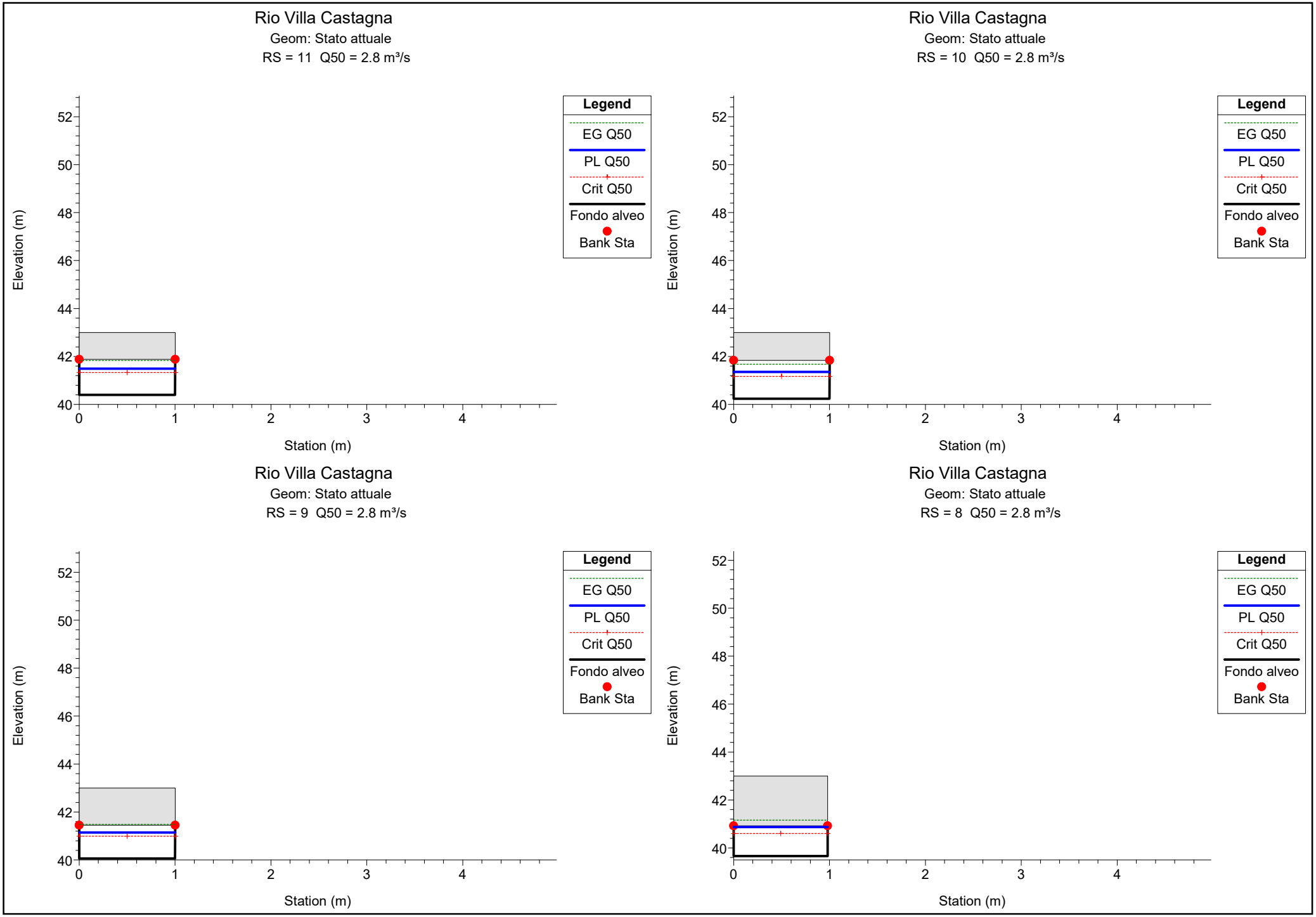
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 16 Q50 = 2.8 m³/s



1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

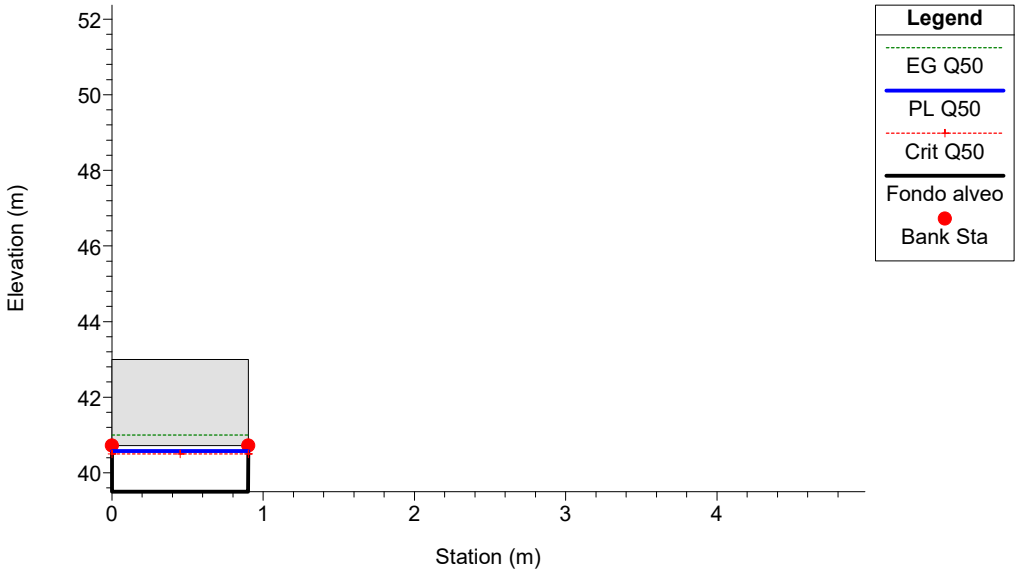


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

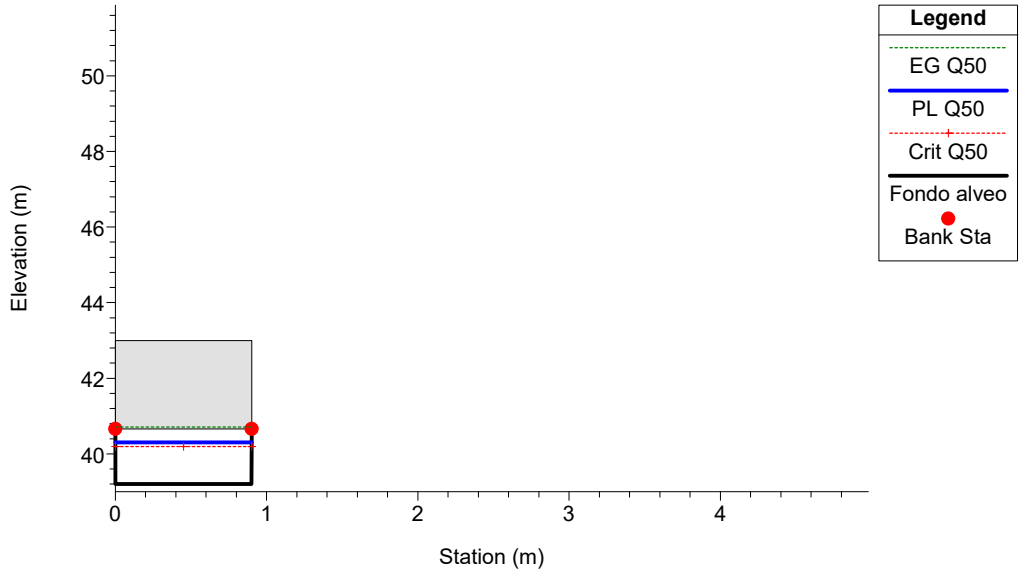


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

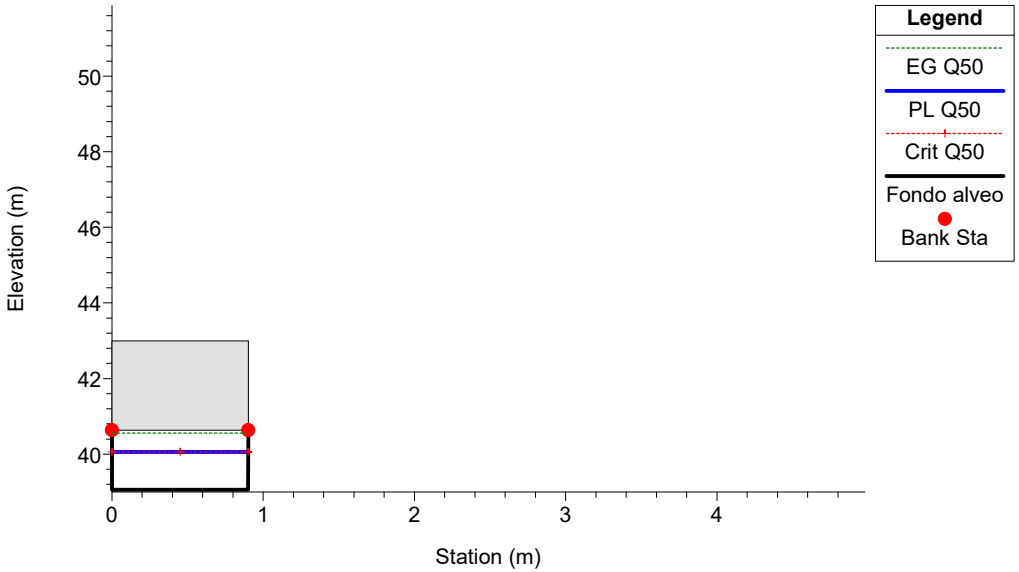
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 7 Q50 = 2.8 m³/s



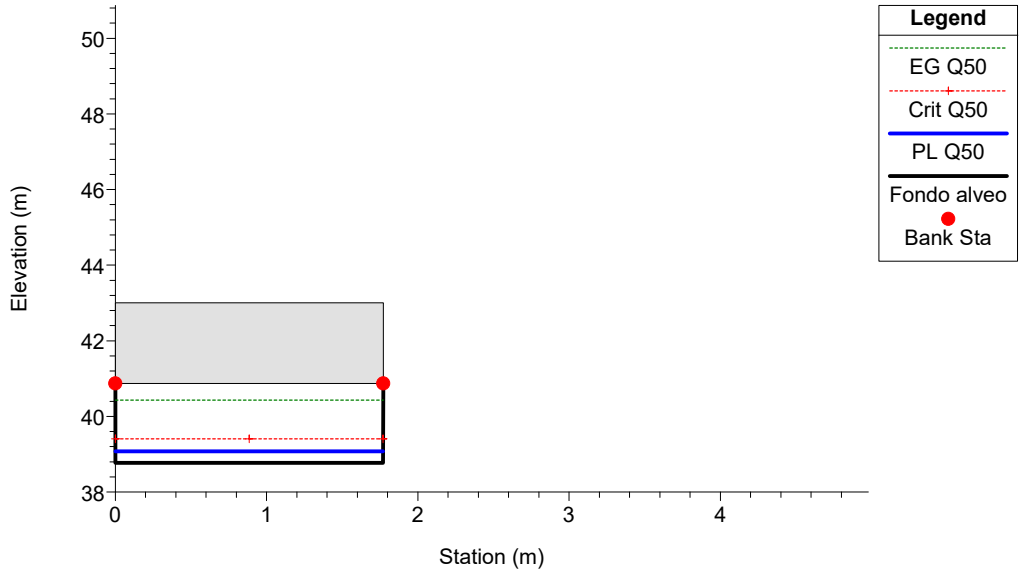
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 6 Q50 = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 5 Q50 = 2.8 m³/s

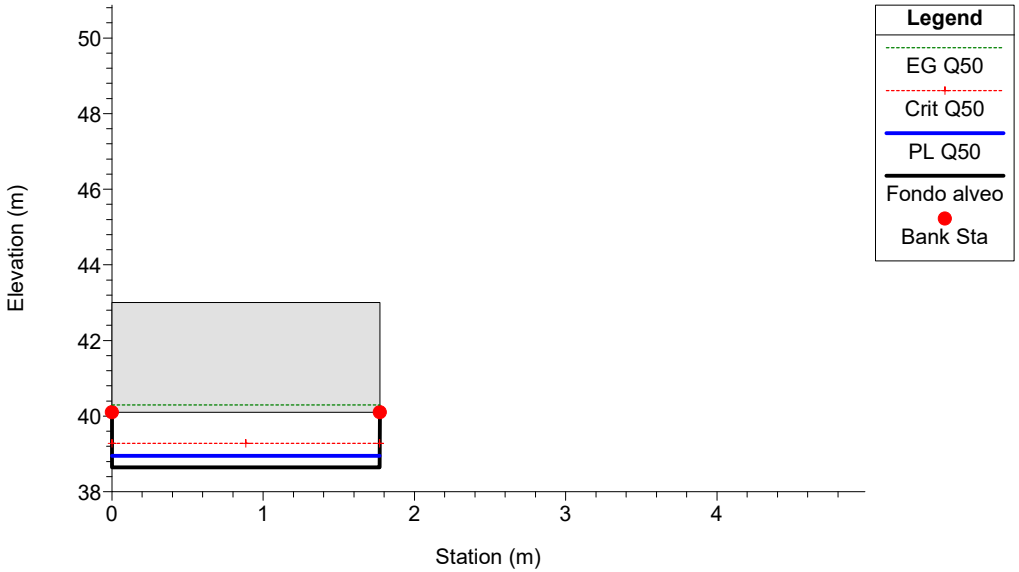


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 4 Q50 = 2.8 m³/s

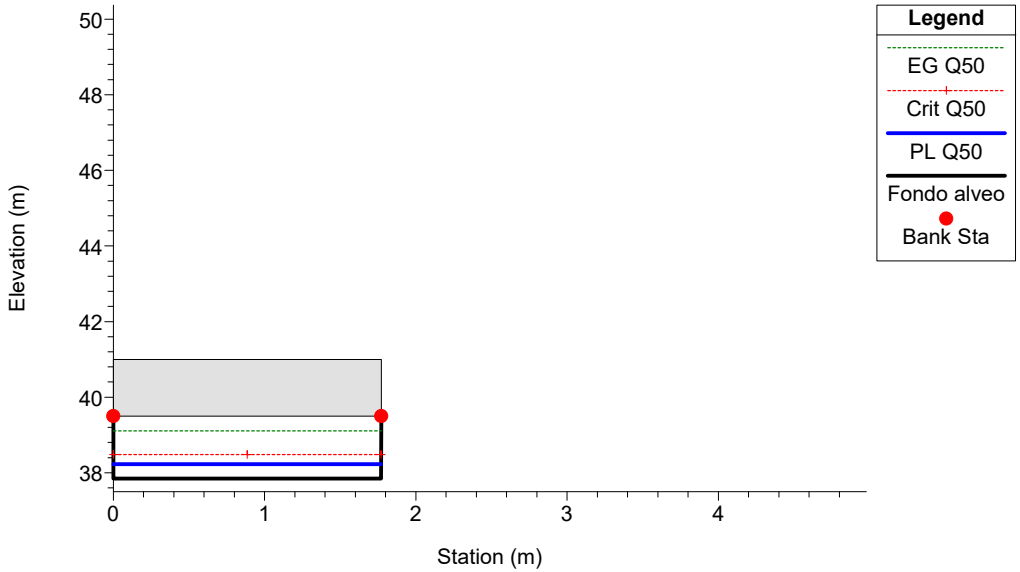


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

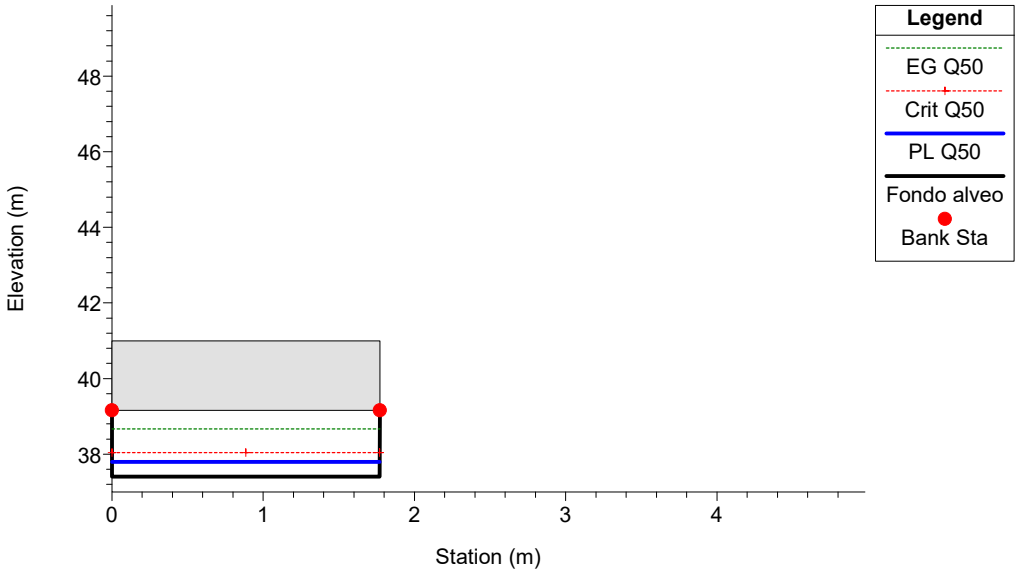
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 3 Q50 = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 2 Q50 = 2.8 m³/s



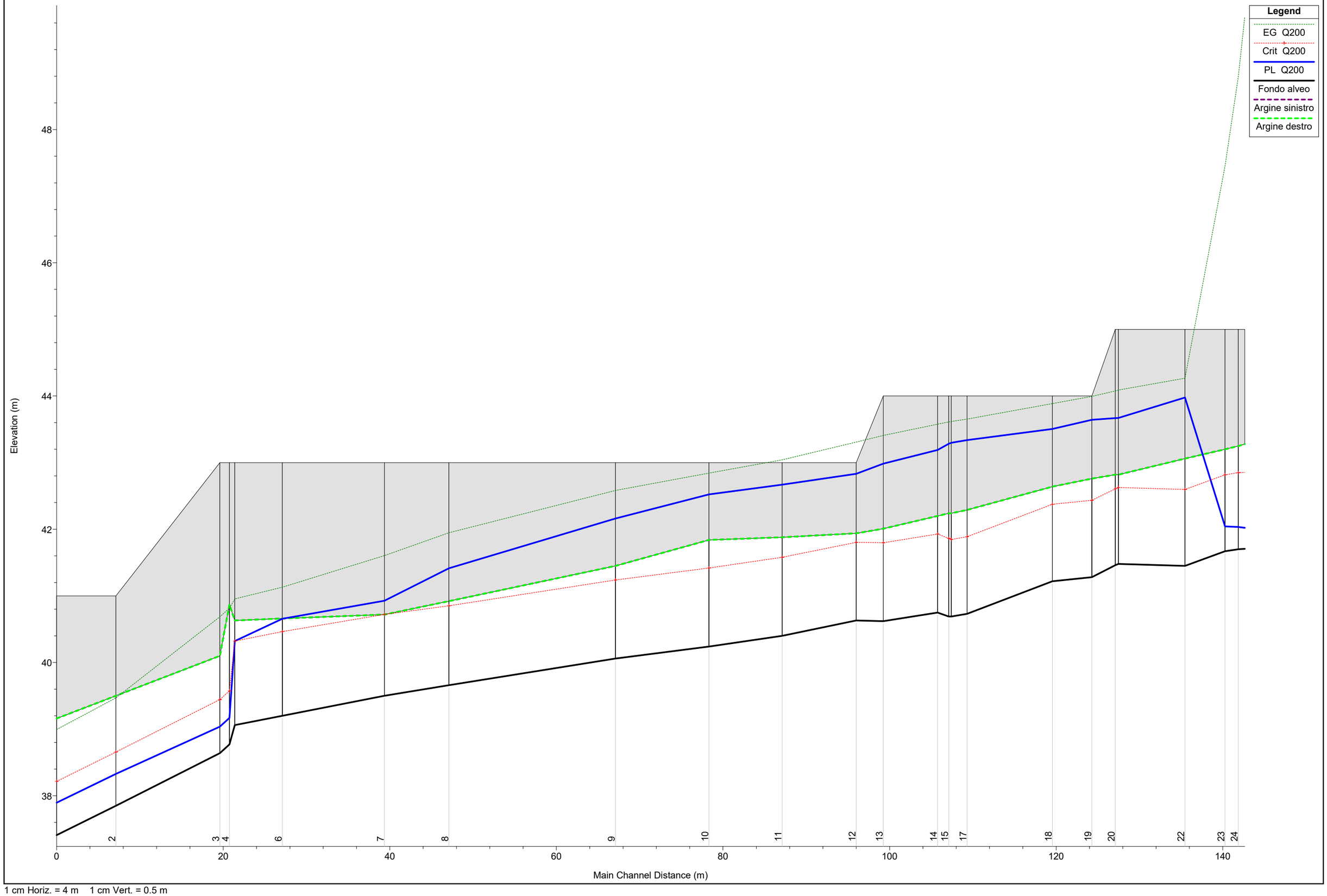
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 1 Q50 = 2.8 m³/s



1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

Rio Villa Castagna

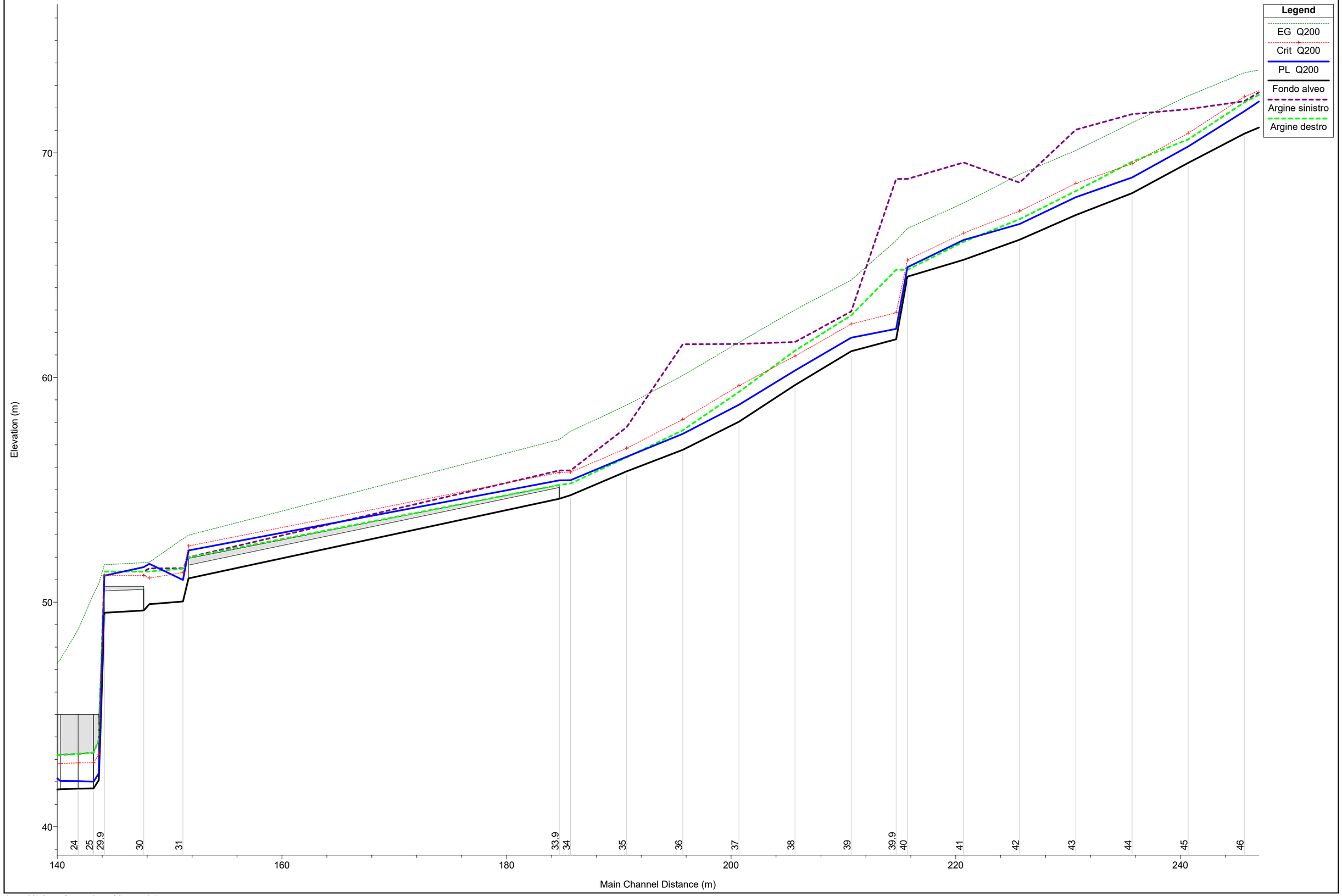
Geom: Stato attuale Q200 = 4.0 m³/s



1 cm Horiz. = 4 m 1 cm Vert. = 0.5 m

Rio Villa Castagna

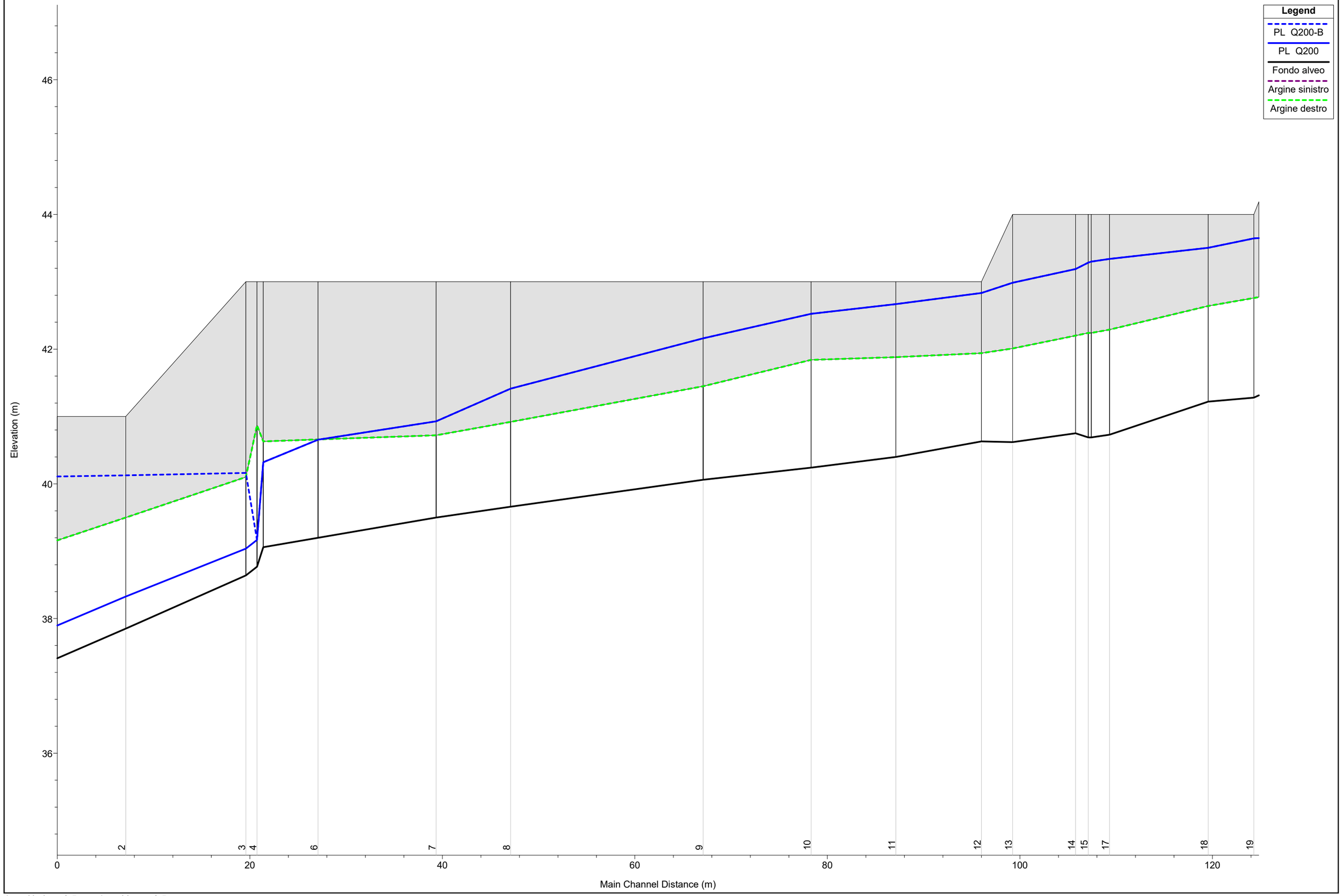
Geom: Stato attuale Q200 = 4.0 m³/s



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato attuale Raffronto con e senza piena sul t. Bisagno

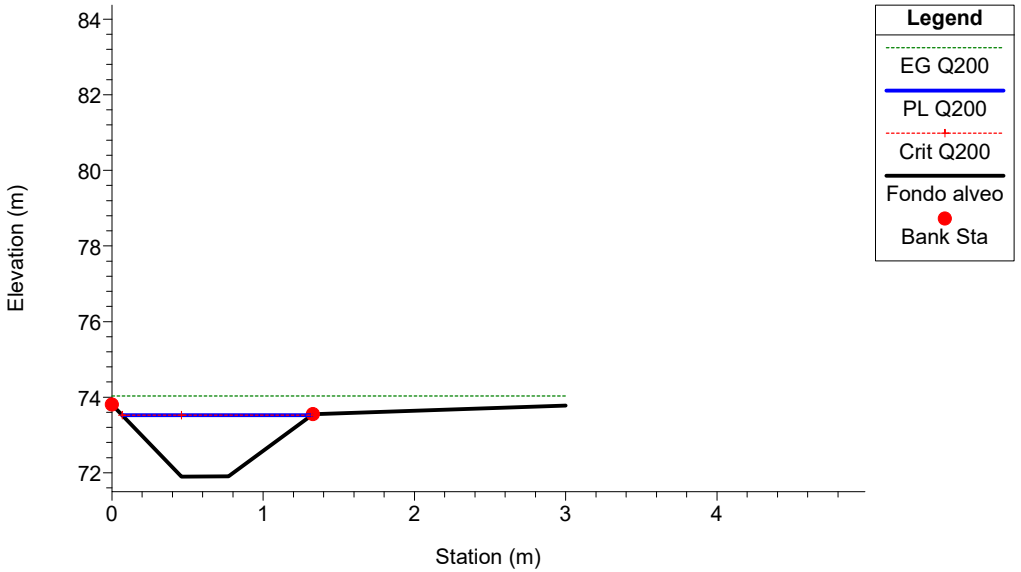


1 cm Horiz. = 3.5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

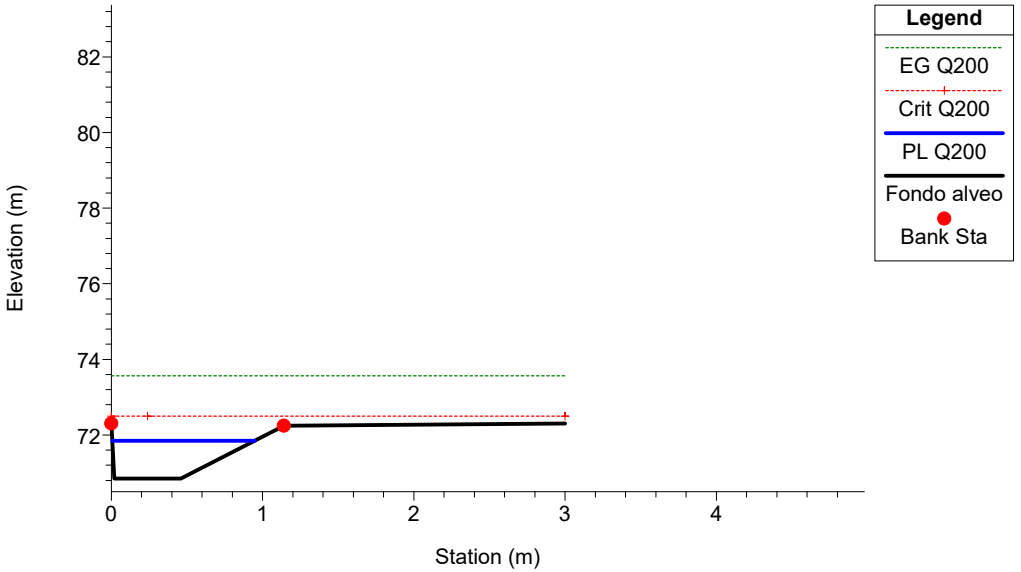
HEC-RAS Plan: Stato attuale River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	47	Q200	250.69	4.00	71.90	73.80	73.55	73.52	1.62	1.01	74.03	3.17	1.26	1.25	1.01
Rio Villa castag	46	Q200	245.69	4.00	70.85	72.30	72.24	71.85	1.00	0.73	73.56	5.80	0.69	0.94	2.17
Rio Villa castag	45	Q200	240.69	4.00	69.55	71.94	70.60	70.28	0.73	0.62	72.53	6.65	0.60	0.97	2.70
Rio Villa castag	44	Q200	235.69	4.00	68.20	71.72	69.60	68.90	0.70	0.59	71.34	6.91	0.58	0.98	2.87
Rio Villa castag	43	Q200	230.69	4.00	67.23	71.03	68.30	68.03	0.80	0.66	70.11	6.39	0.63	0.95	2.52
Rio Villa castag	42	Q200	225.69	4.00	66.13	68.67	67.05	66.83	0.70	0.64	69.04	6.58	0.61	0.95	2.63
Rio Villa castag	41	Q200	220.69	4.00	65.24	69.57	66.04	66.12	0.88	0.23	67.77	5.94	0.75	3.25	2.78
Rio Villa castag	40	Q200	215.69	4.00	64.49	68.84	64.79	64.91	0.42	0.23	66.63	6.42	0.74	3.20	3.24
Rio Villa castag	39.9	Q200	214.69	4.00	61.70	68.84	64.79	62.16	0.46	0.45	66.10	8.79	0.46	1.00	4.17
Rio Villa castag	39	Q200	210.69	4.00	61.17	62.94	62.77	61.77	0.60	0.54	64.34	7.10	0.56	1.05	3.09
Rio Villa castag	38	Q200	205.69	4.00	59.66	61.58	61.19	60.31	0.65	0.56	63.01	7.27	0.55	0.98	3.09
Rio Villa castag	37	Q200	200.69	4.00	58.03	61.49	59.36	58.78	0.75	0.65	61.56	7.38	0.54	0.84	2.92
Rio Villa castag	36	Q200	195.69	4.00	56.78	61.48	57.65	57.49	0.71	0.59	60.09	7.14	0.56	0.94	2.96
Rio Villa castag	35	Q200	190.69	4.00	55.82	57.78	56.44	56.47	0.65	0.31	58.76	6.72	0.61	1.94	2.69
Rio Villa castag	34	Q200	185.69	4.00	54.76	55.86	55.28	55.43	0.67	0.29	57.60	6.73	0.66	2.27	2.71
Rio Villa castag	33.9	Q200	184.69	4.00	54.60	55.10	55.05	55.42	0.82	0.29	57.24	6.20	0.68	2.33	2.11
Rio Villa castag	32	Q200	151.69	4.00	51.06	51.46	51.45	52.30	1.24	0.40	52.98	3.14	1.12	2.80	1.05
Rio Villa castag	31	Q200	151.19	4.00	50.03	51.51	51.49	50.99	0.96	0.27	52.82	6.33	0.72	2.70	2.30
Rio Villa castag	30.1	Q200	148.19	4.00	49.91	51.50	51.36	51.71	1.80	1.17	51.77	1.04	3.51	3.00	0.25
Rio Villa castag	30	Q200	147.69	4.00	49.63	50.10	50.10	51.56	1.93	0.72	51.76	1.35	2.16	3.00	0.46
Rio Villa castag	29.9	Q200	144.19	4.00	49.53	50.00	50.00	51.18	1.65	0.89	51.67	2.79	1.30	1.47	0.77
Rio Villa castag	26	Q200	143.69	4.00	42.08	43.87	43.87	42.38	0.30	0.30	50.82	12.87	0.31	1.04	7.52
Rio Villa castag	25	Q200	143.23	4.00	41.71	43.30	43.30	42.01	0.30	0.30	50.36	12.80	0.31	1.04	7.45
Rio Villa castag	24	Q200	141.86	4.00	41.70	43.25	43.25	42.03	0.33	0.33	48.79	11.51	0.35	1.04	6.36
Rio Villa castag	23	Q200	140.27	4.00	41.67	43.20	43.20	42.04	0.37	0.37	47.45	10.30	0.39	1.04	5.38
Rio Villa castag	22	Q200	135.47	4.00	41.45	43.06	43.06	43.98	2.53		44.27	2.39	1.67		0.48
Rio Villa castag	21	Q200	127.47	4.00	41.48	42.82	42.82	43.67	2.19		44.09	2.87	1.39		0.62
Rio Villa castag	20	Q200	127.11	4.00	41.46	42.82	42.82	43.67	2.21		44.08	2.83	1.41		0.61
Rio Villa castag	19	Q200	124.29	4.00	41.28	42.76	42.76	43.64	2.36		43.99	2.62	1.52		0.54
Rio Villa castag	18	Q200	119.55	4.00	41.22	42.64	42.64	43.50	2.28		43.89	2.73	1.46		0.58
Rio Villa castag	17	Q200	109.30	4.00	40.73	42.29	42.29	43.34	2.61		43.65	2.49	1.61		0.49
Rio Villa castag	16	Q200	107.40	4.00	40.69	42.24	42.24	43.30	2.61		43.62	2.50	1.60		0.50
Rio Villa castag	15	Q200	107.10	4.00	40.69	42.24	42.24	43.28	2.59		43.61	2.54	1.58		0.50
Rio Villa castag	14	Q200	105.77	4.00	40.75	42.20	42.20	43.19	2.44		43.58	2.76	1.45		0.56
Rio Villa castag	13	Q200	99.24	4.00	40.62	42.01	42.01	42.99	2.37		43.41	2.88	1.39		0.60
Rio Villa castag	12	Q200	96.00	4.00	40.63	41.94	41.94	42.83	2.20		43.31	3.05	1.31		0.66
Rio Villa castag	11	Q200	87.10	4.00	40.40	41.88	41.88	42.67	2.27		43.04	2.70	1.48		0.57
Rio Villa castag	10	Q200	78.31	4.00	40.24	41.84	41.84	42.52	2.28		42.84	2.50	1.60		0.53
Rio Villa castag	9	Q200	67.09	4.00	40.06	41.45	41.45	42.16	2.10		42.58	2.88	1.39		0.63
Rio Villa castag	8	Q200	47.09	4.00	39.66	40.92	40.92	41.41	1.75		41.95	3.24	1.23		0.78
Rio Villa castag	7	Q200	39.35	4.00	39.50	40.72	40.72	40.93	1.43		41.60	3.64	1.10		0.97
Rio Villa castag	6	Q200	27.09	4.00	39.20	40.66	40.66	40.66	1.46	1.45	41.13	3.05	1.31	0.90	0.81
Rio Villa castag	5	Q200	21.39	4.00	39.06	40.63	40.63	40.32	1.26	1.26	40.95	3.53	1.13	0.90	1.00
Rio Villa castag	4	Q200	20.74	4.00	38.77	40.87	40.87	39.17	0.40	0.40	40.82	5.69	0.70	1.77	2.88
Rio Villa castag	3	Q200	19.59	4.00	38.64	40.10	40.10	39.04	0.40	0.40	40.69	5.69	0.70	1.77	2.88
Rio Villa castag	2	Q200	7.11	4.00	37.85	39.50	39.50	38.33	0.48	0.48	39.47	4.73	0.85	1.77	2.19
Rio Villa castag	1	Q200		4.00	37.41	39.16	39.16	37.90	0.49	0.49	39.00	4.64	0.86	1.77	2.12

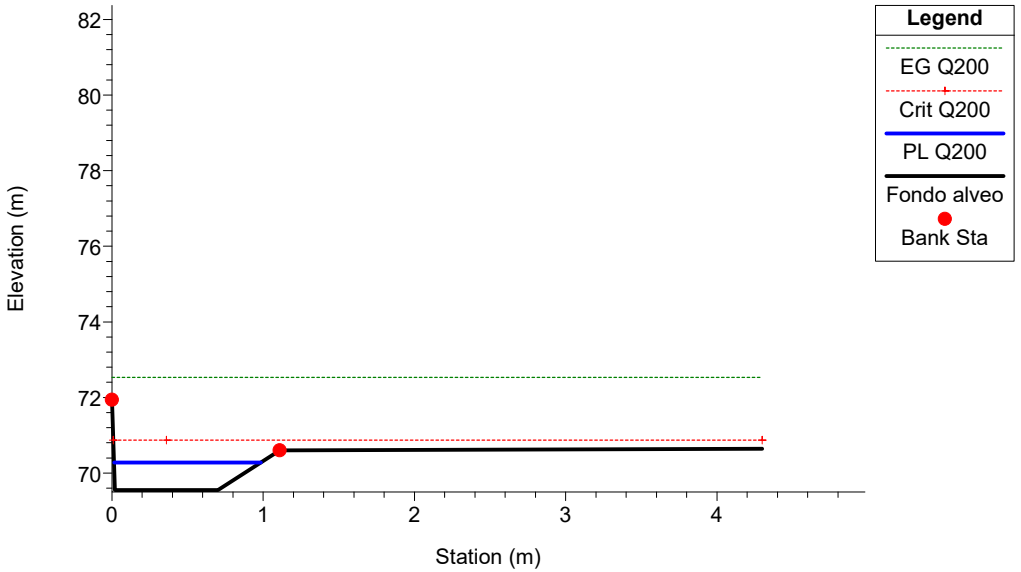
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 47 Q200 = 4.0 m³/s



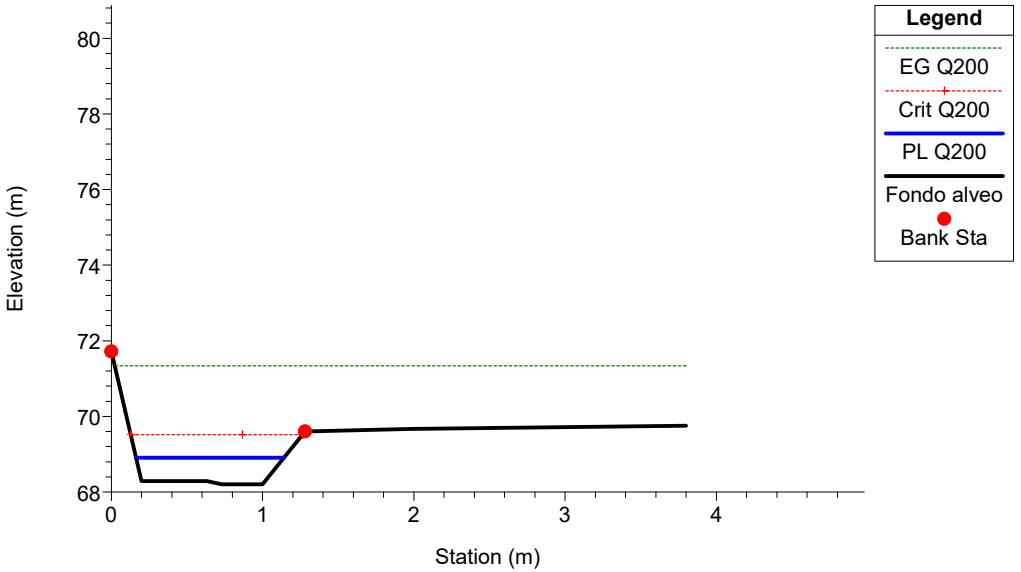
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 46 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 45 Q200 = 4.0 m³/s

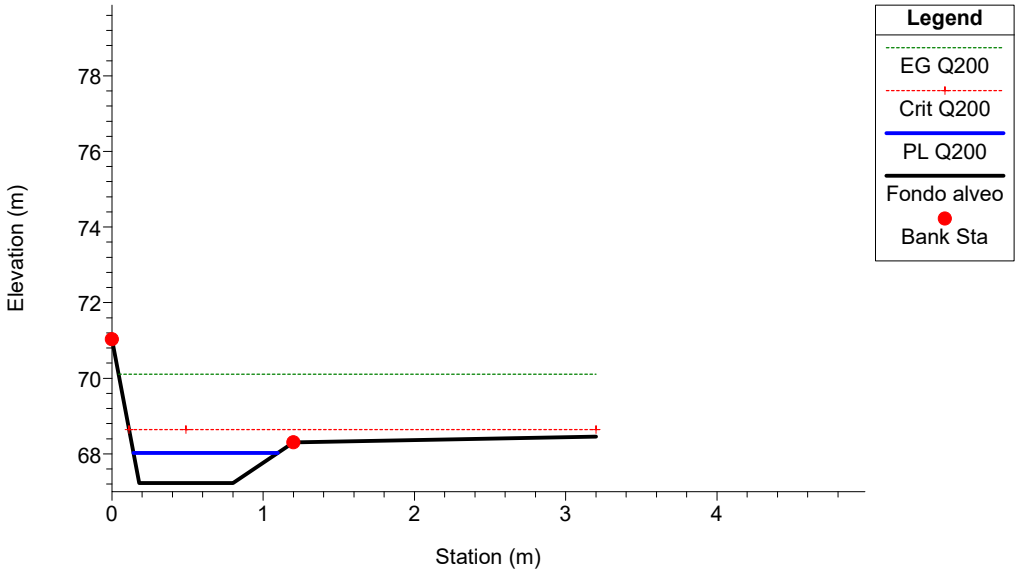


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 44 Q200 = 4.0 m³/s

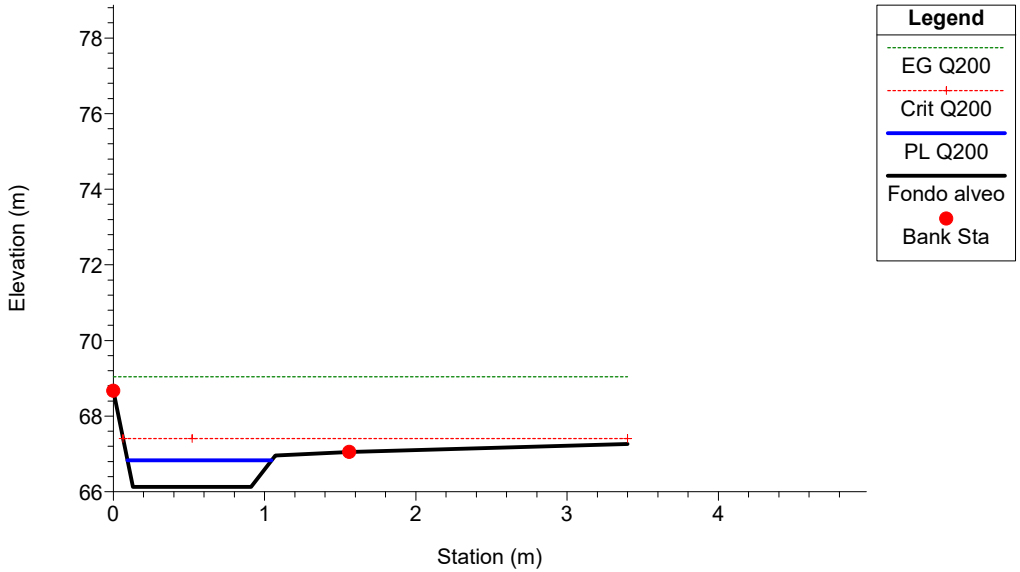


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

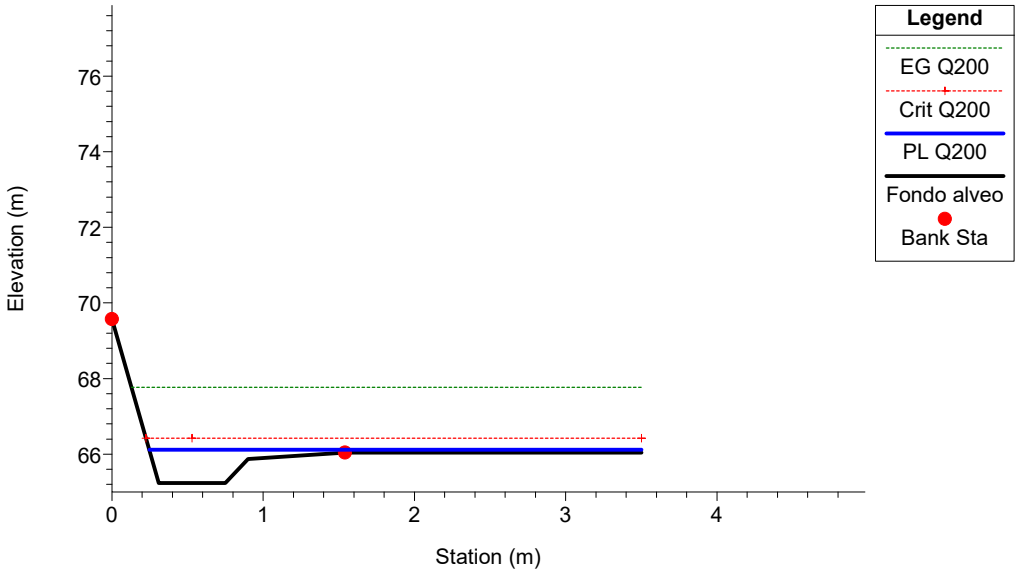
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 43 Q200 = 4.0 m³/s



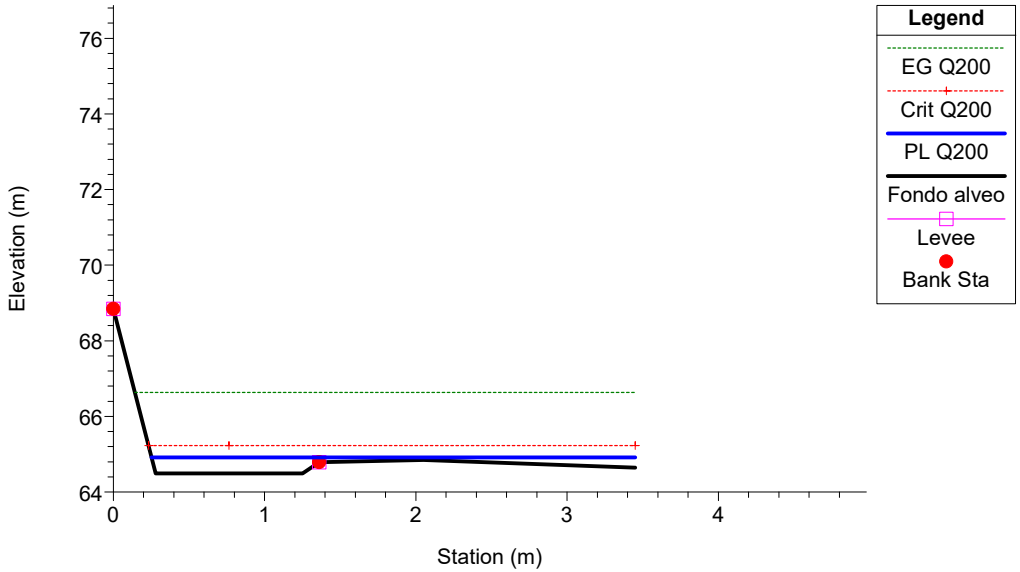
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 42 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 41 Q200 = 4.0 m³/s

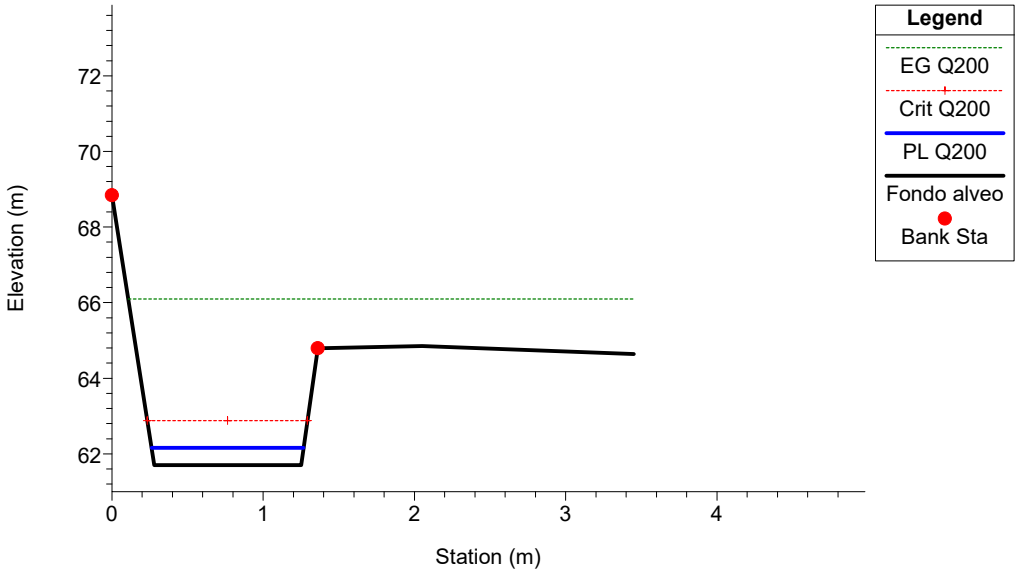


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 40 Q200 = 4.0 m³/s

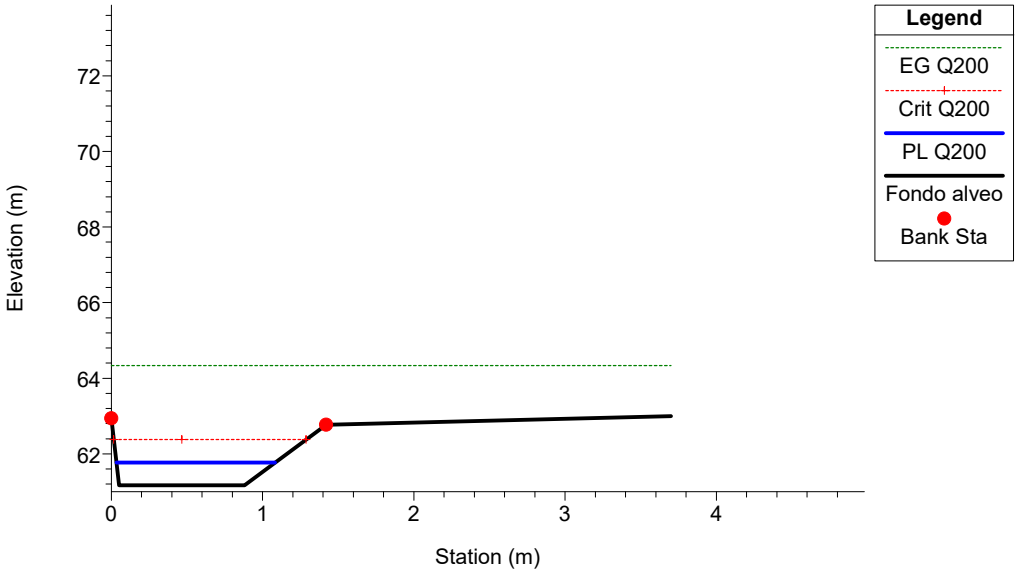


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

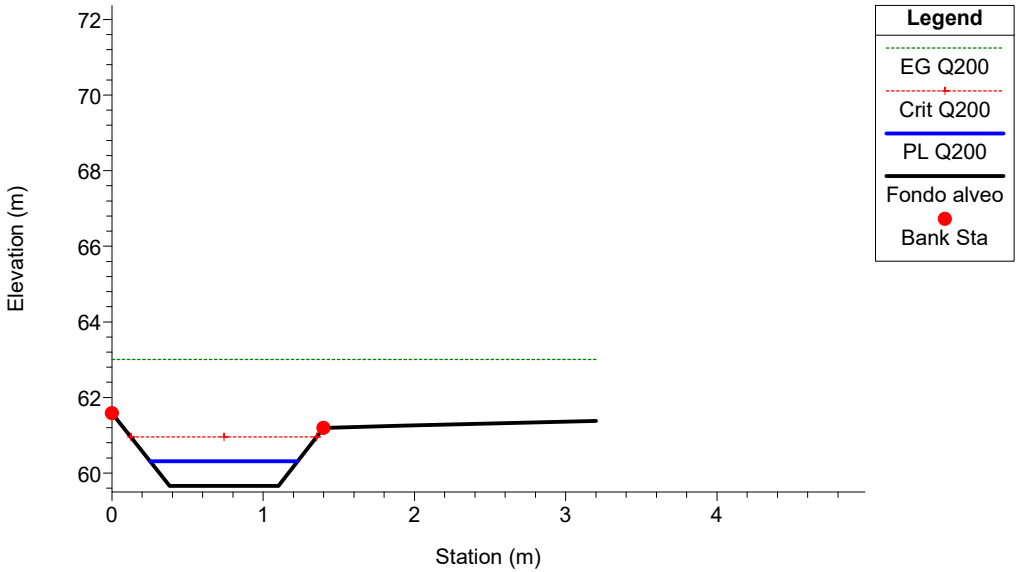
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 39.9 Q200 = 4.0 m³/s



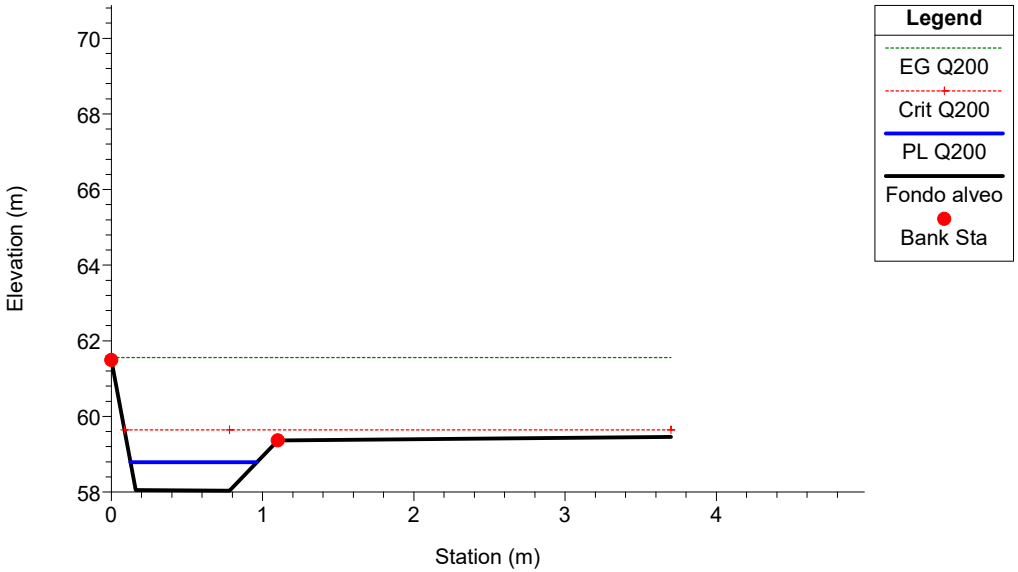
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 39 Q200 = 4.0 m³/s



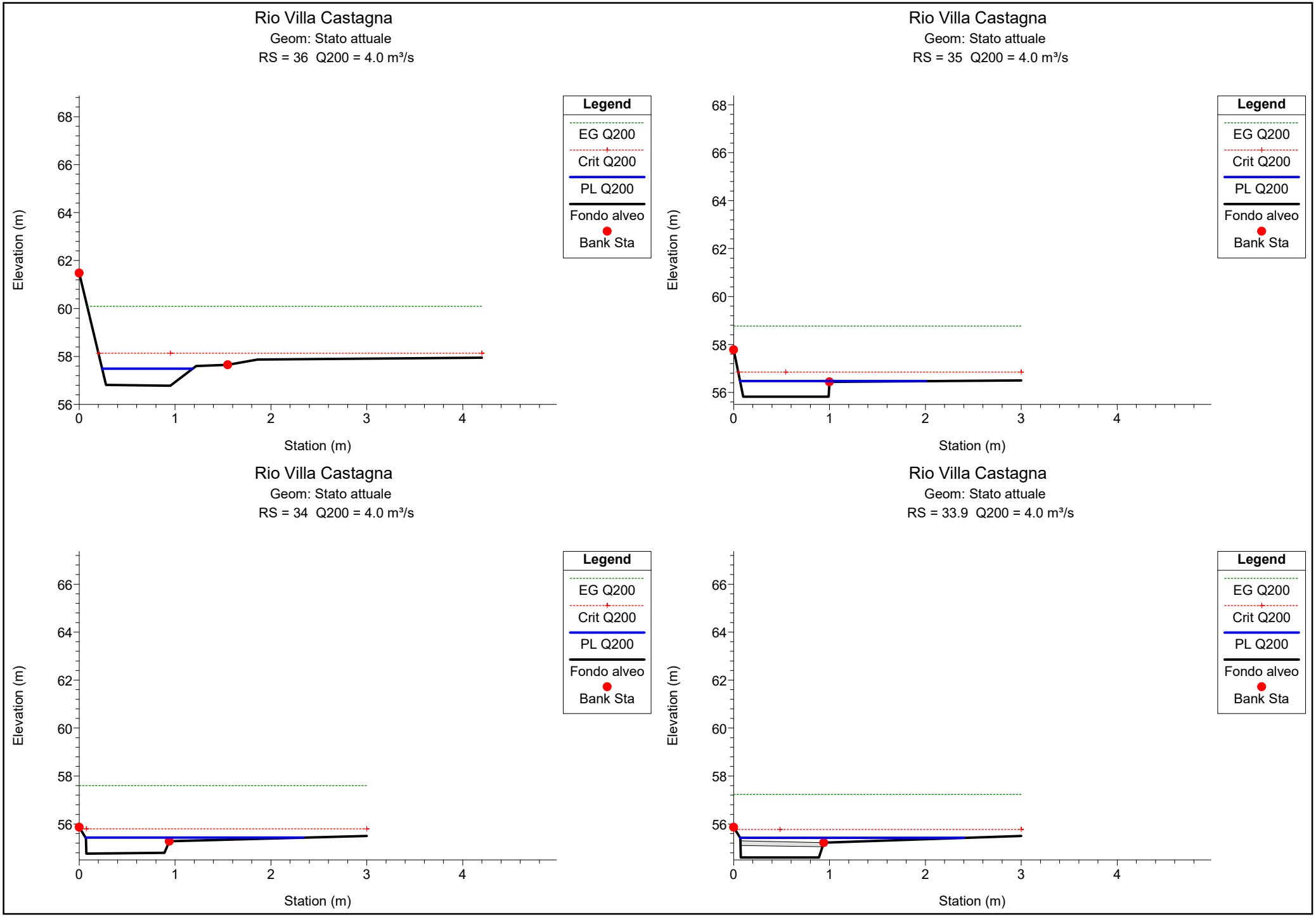
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 38 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 37 Q200 = 4.0 m³/s

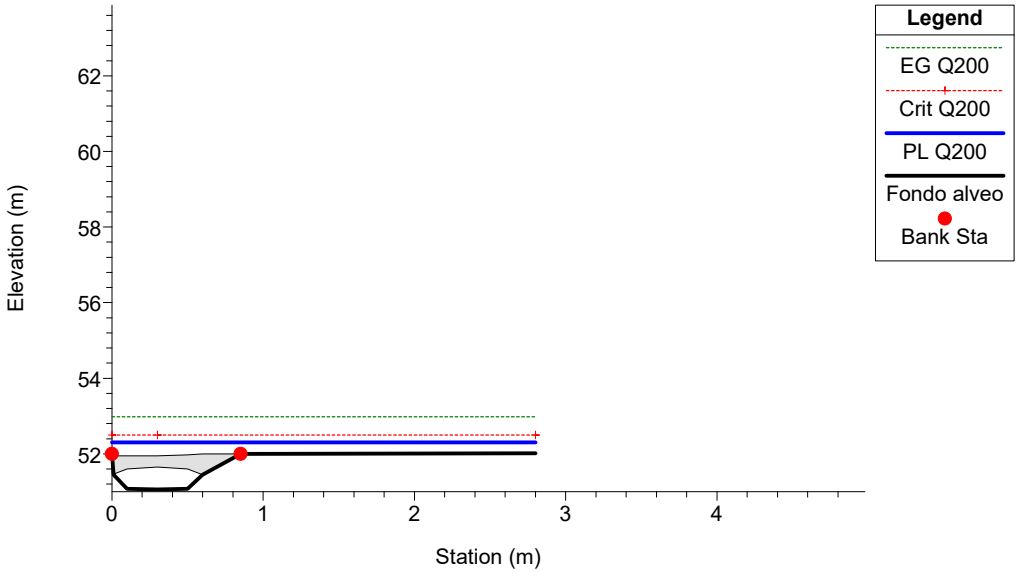


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

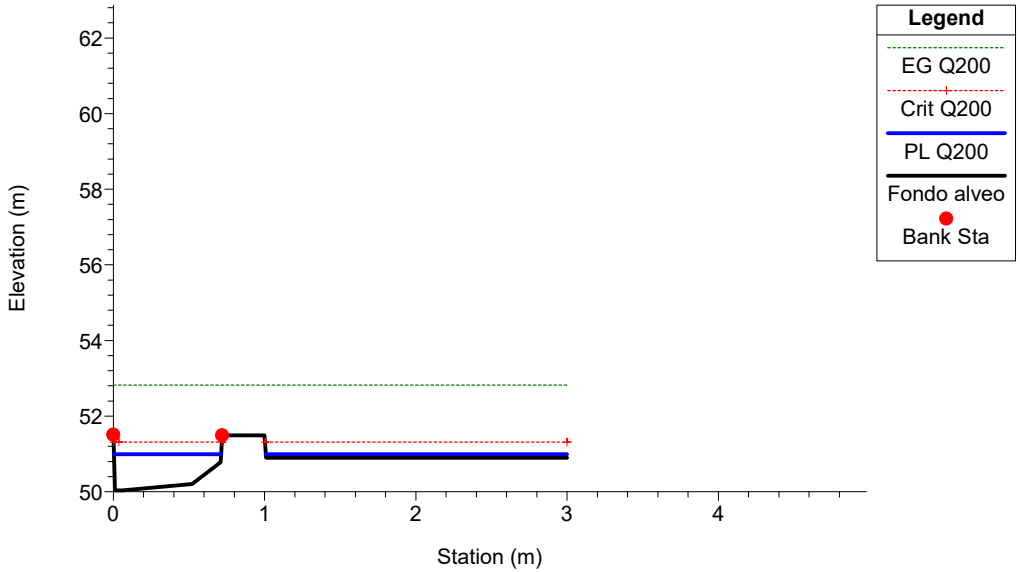


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

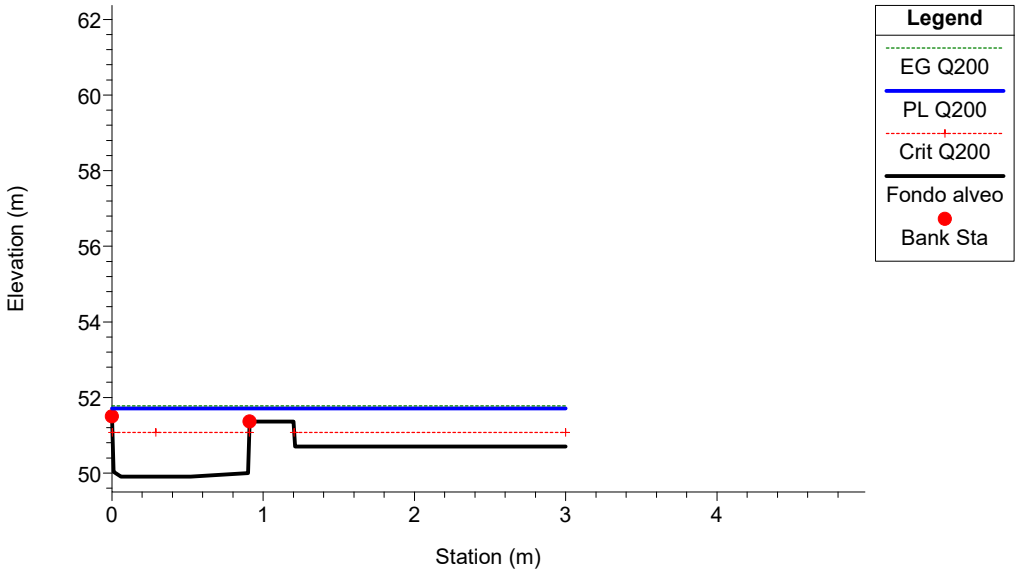
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 32 Q200 = 4.0 m³/s



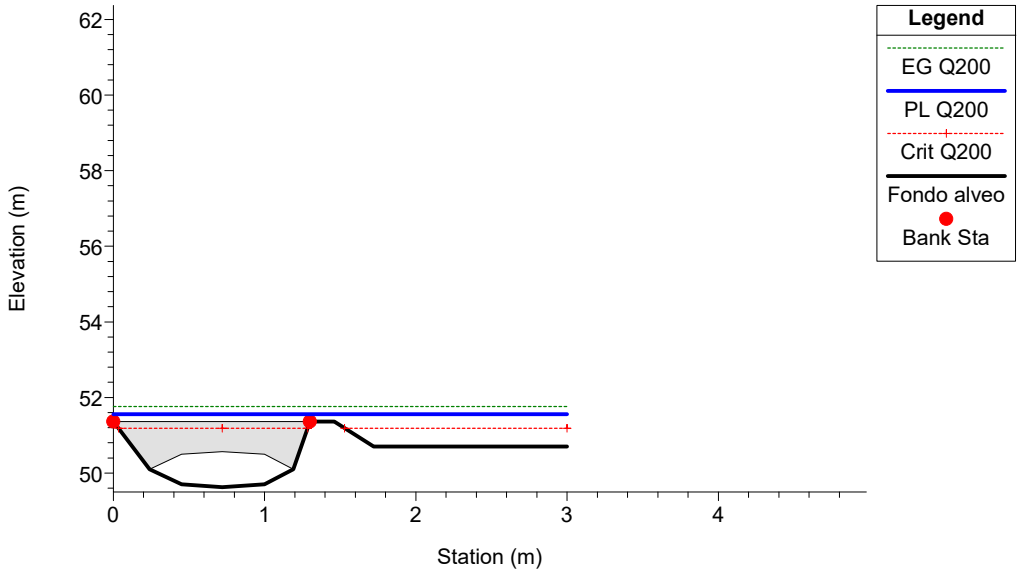
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 31 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 30.1 Q200 = 4.0 m³/s

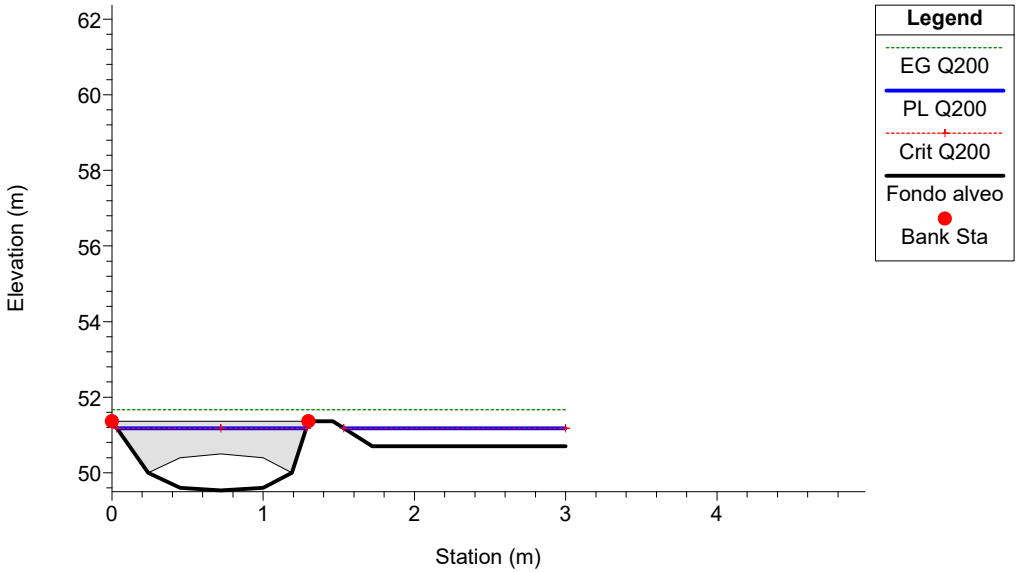


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 30 Q200 = 4.0 m³/s

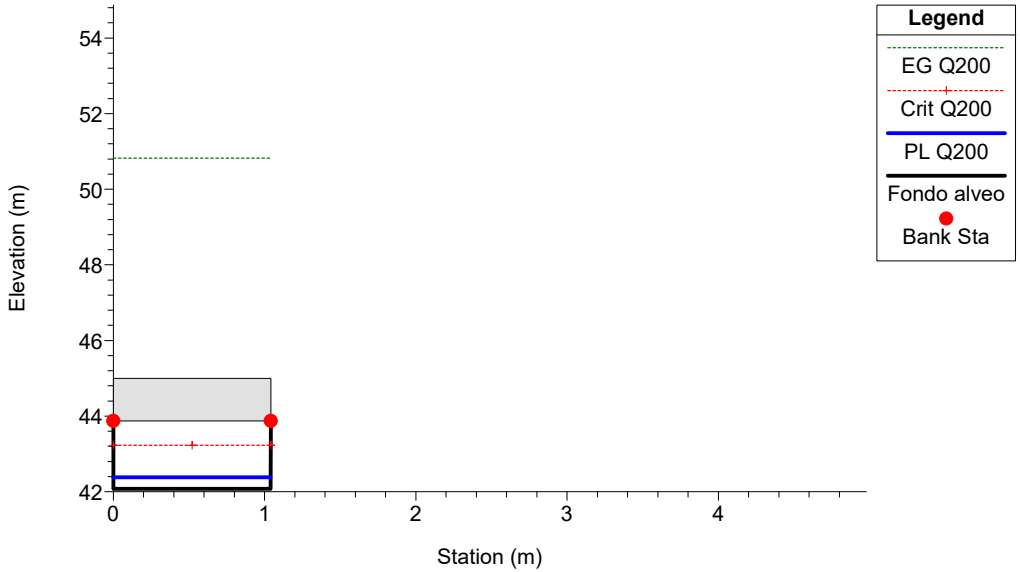


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

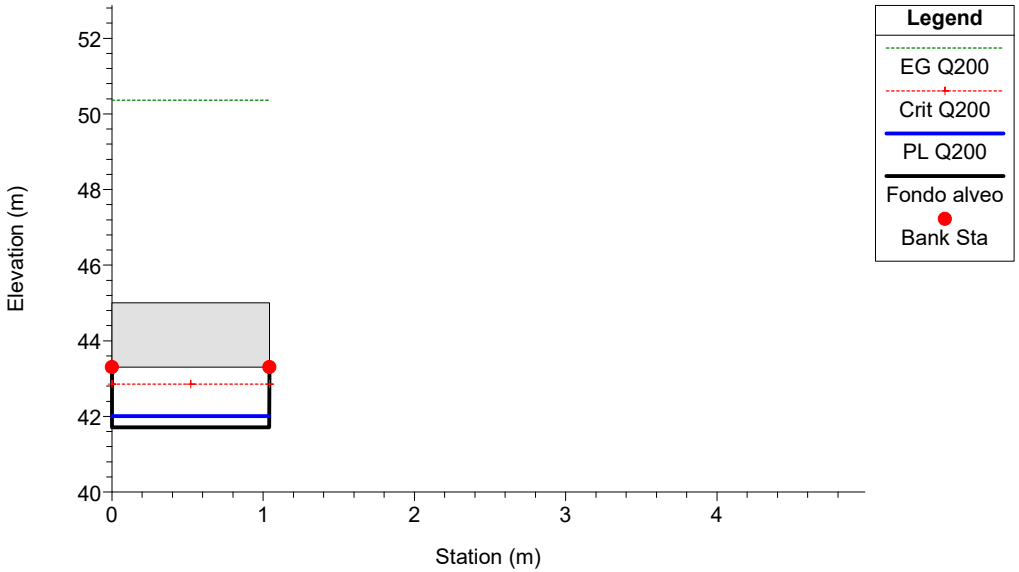
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 29.9 Q200 = 4.0 m³/s



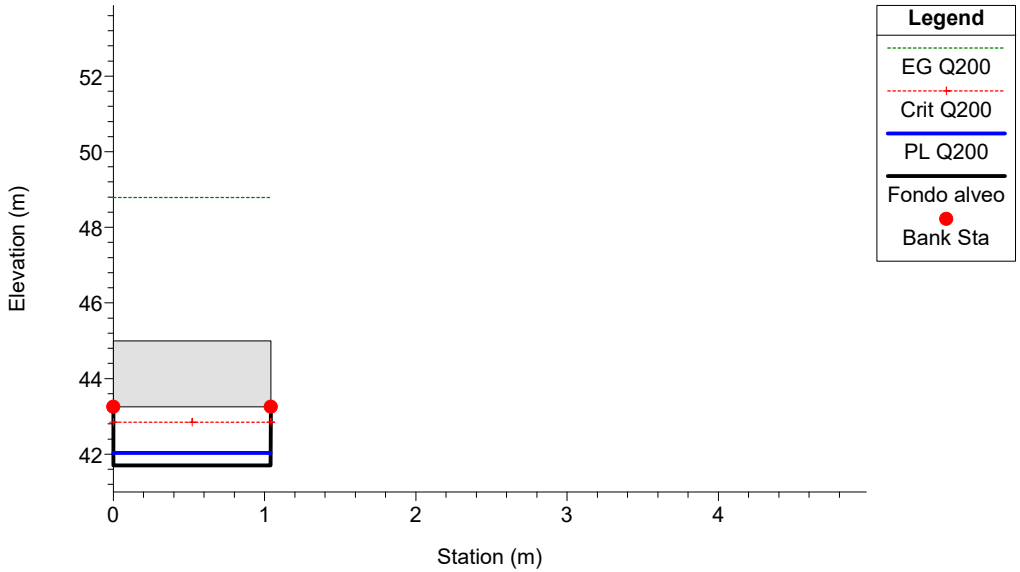
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 26 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 25 Q200 = 4.0 m³/s

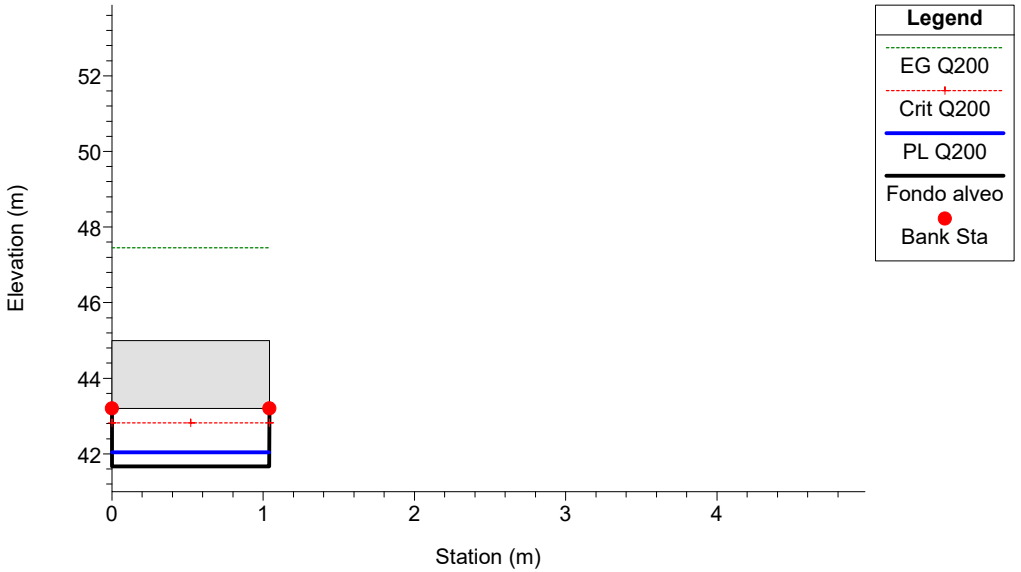


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 24 Q200 = 4.0 m³/s

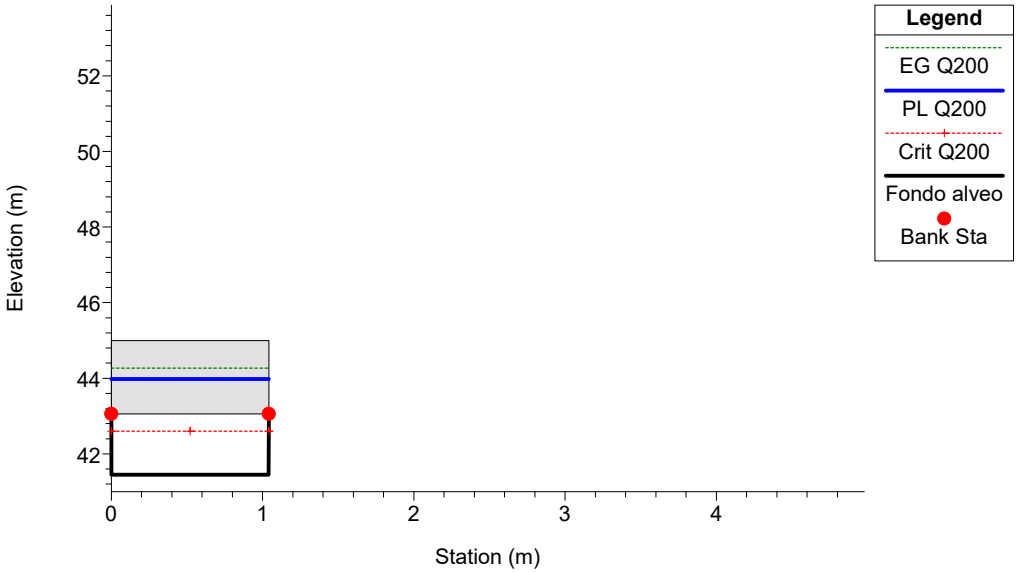


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

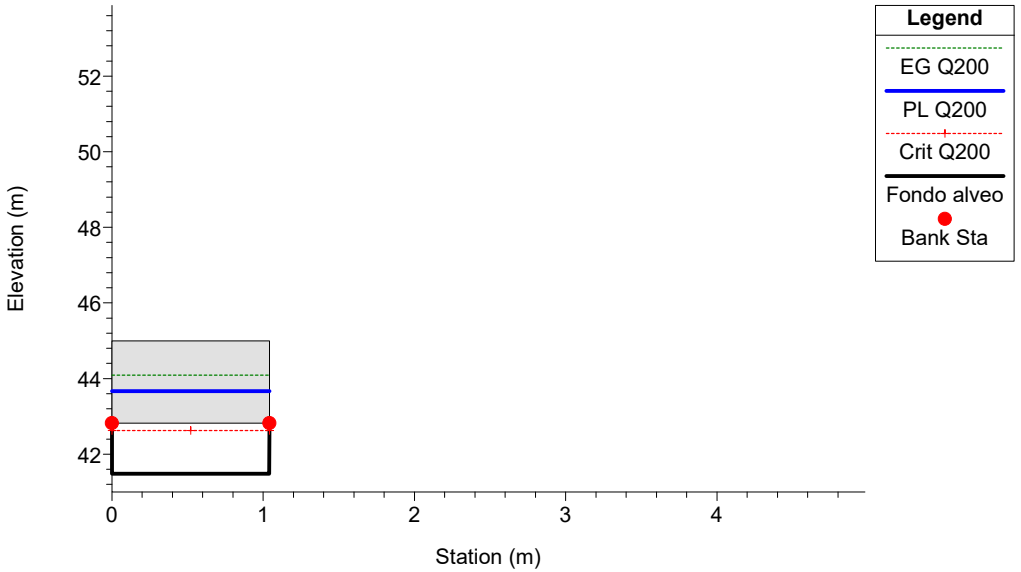
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 23 Q200 = 4.0 m³/s



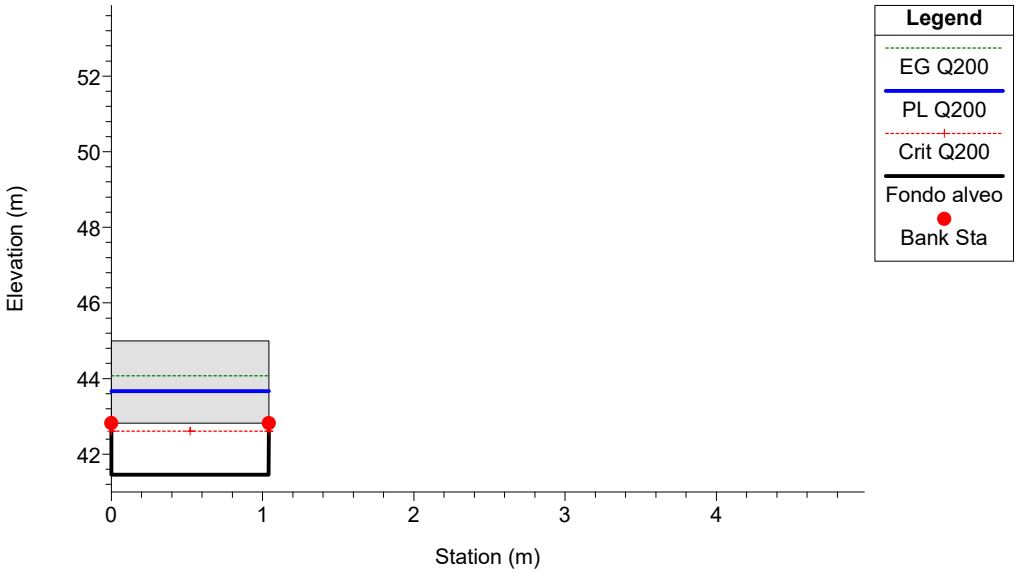
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 22 Q200 = 4.0 m³/s



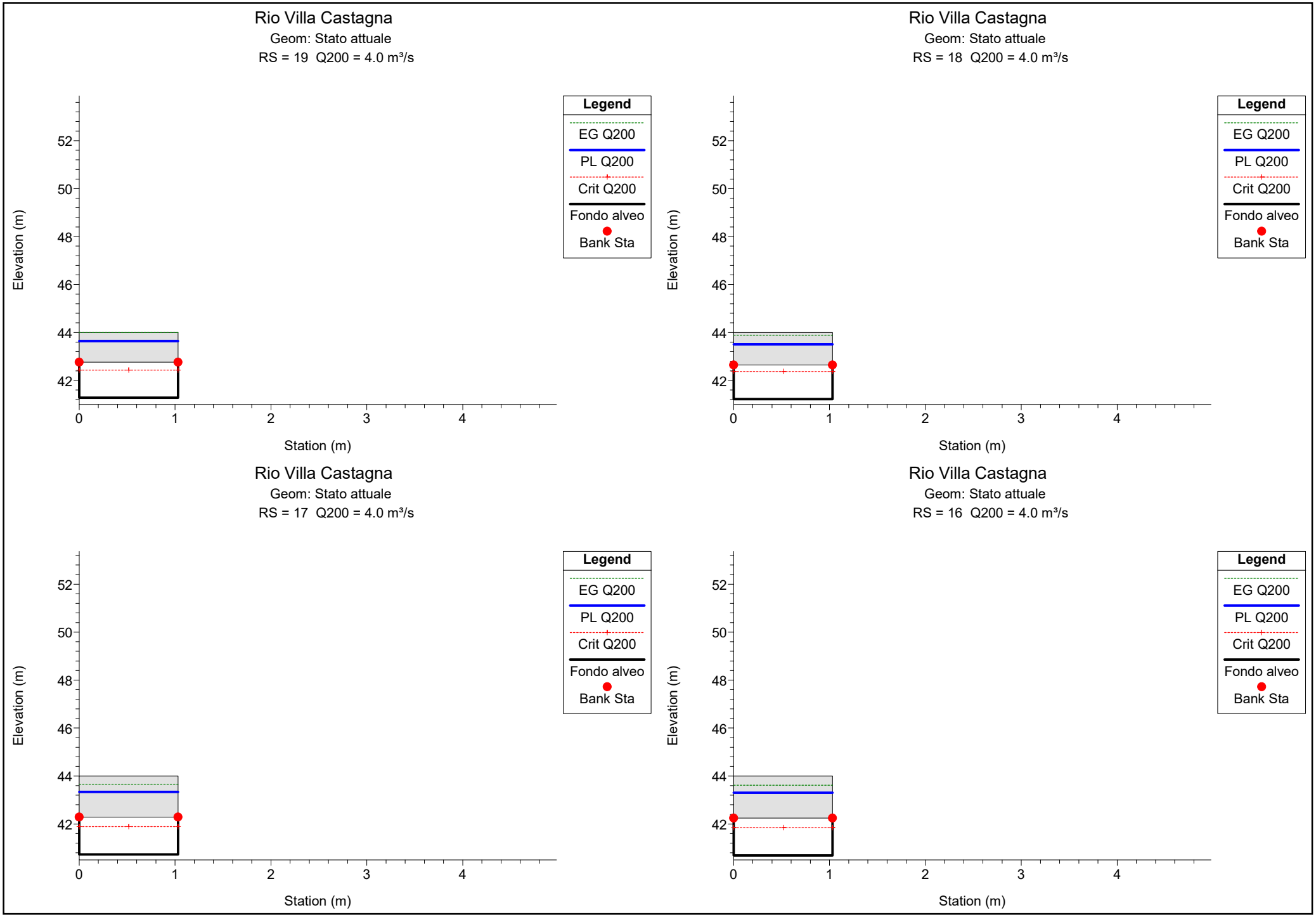
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 21 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 20 Q200 = 4.0 m³/s

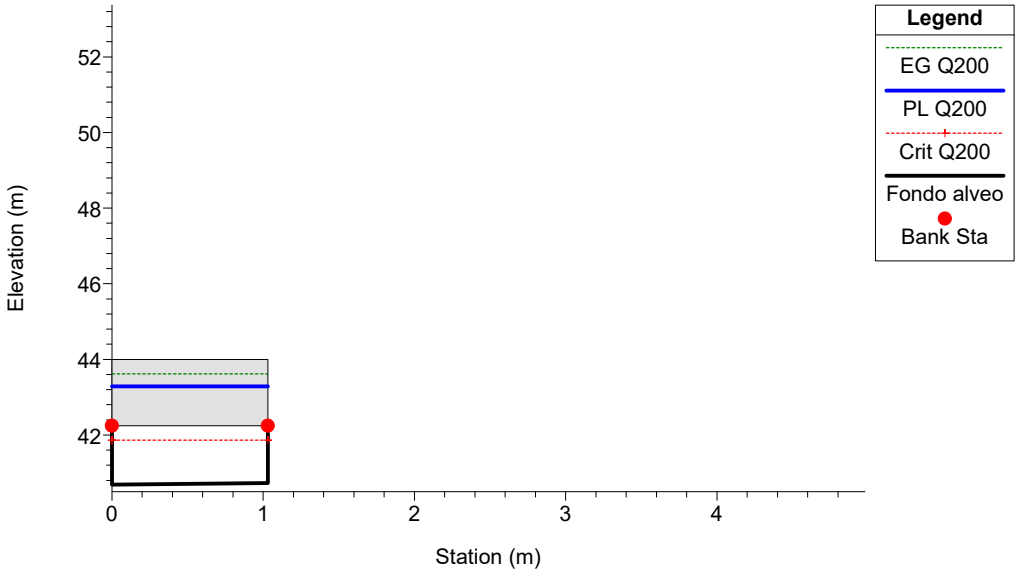


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

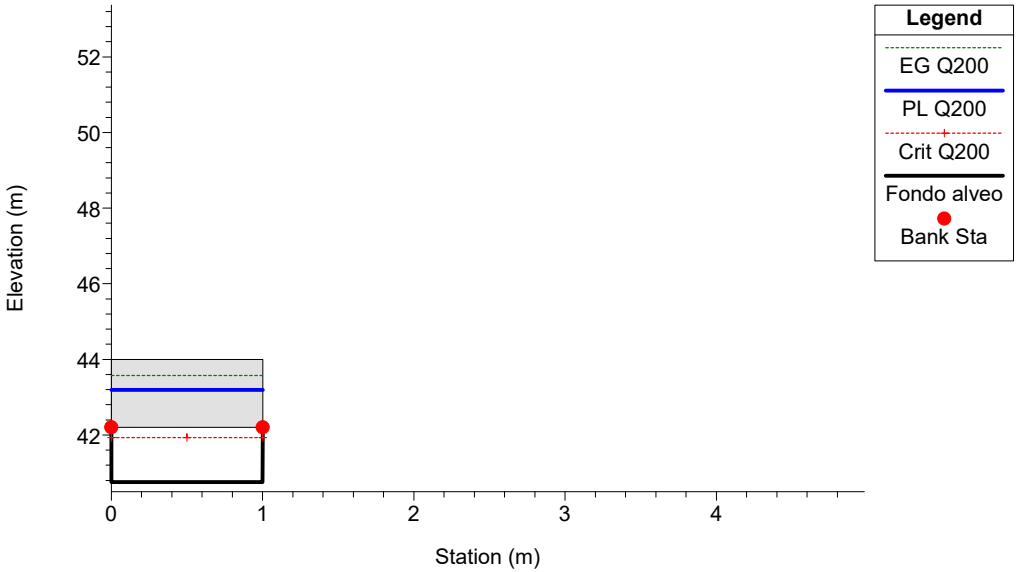


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

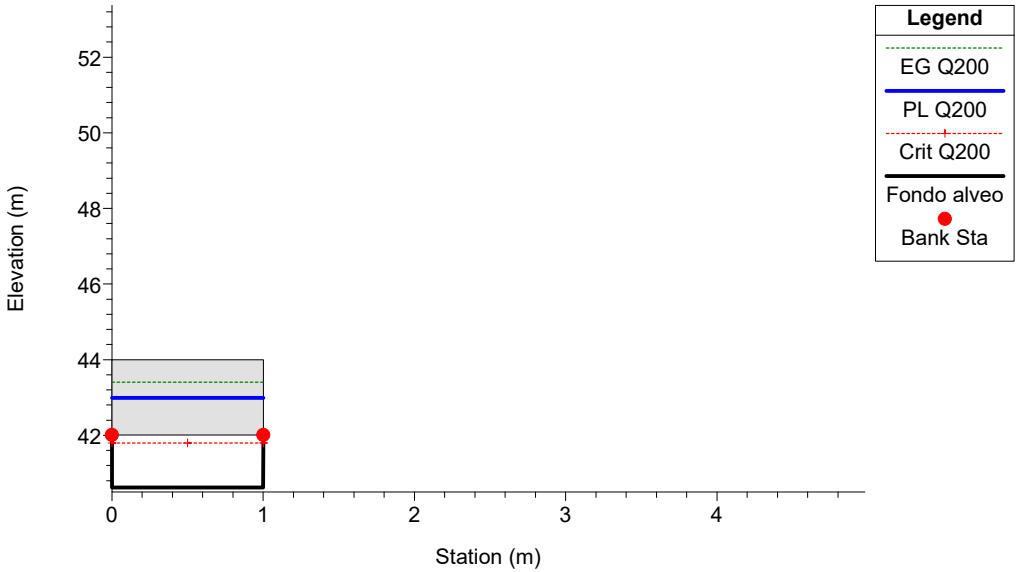
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 15 Q200 = 4.0 m³/s



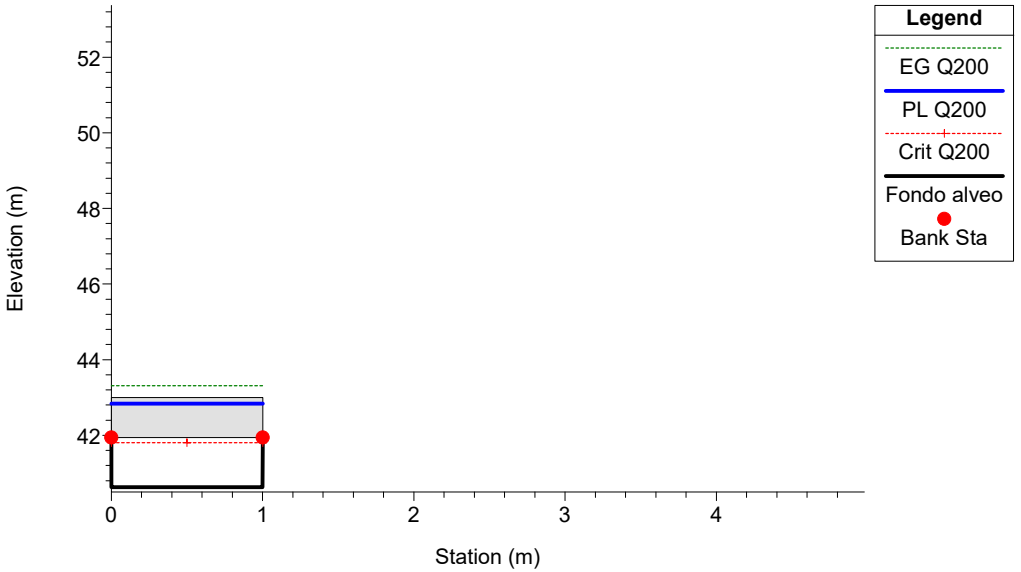
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 14 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 13 Q200 = 4.0 m³/s

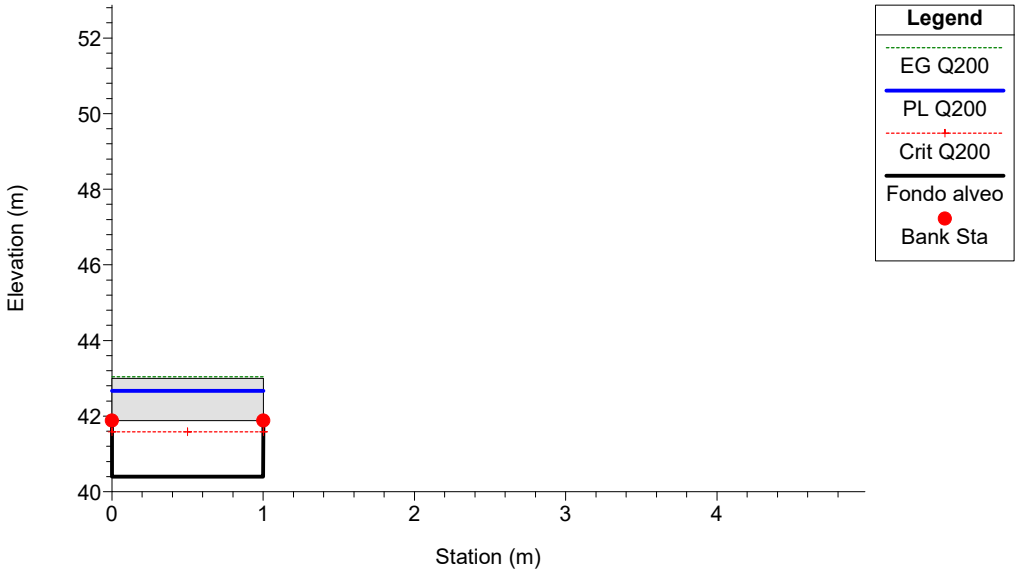


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 12 Q200 = 4.0 m³/s

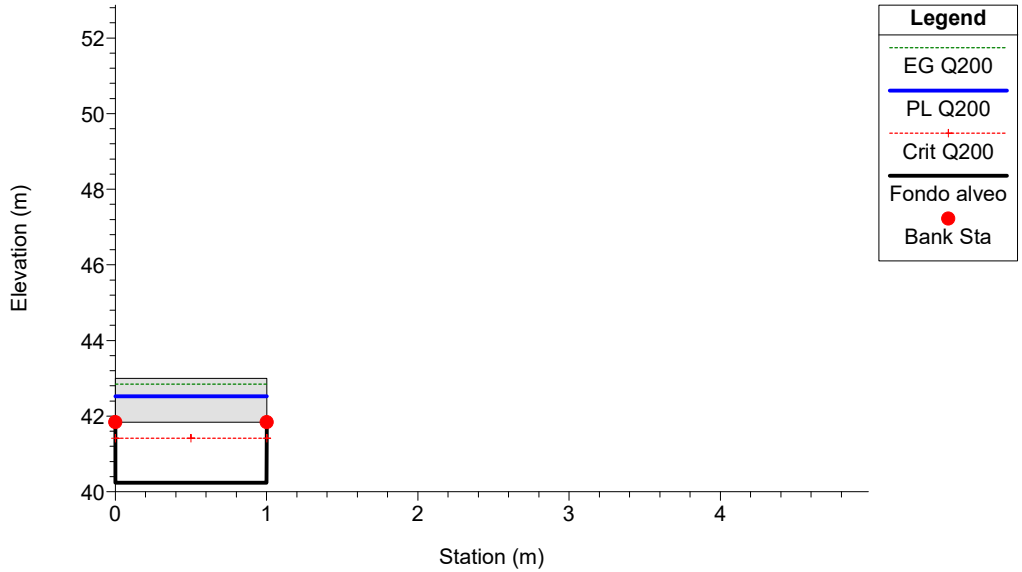


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

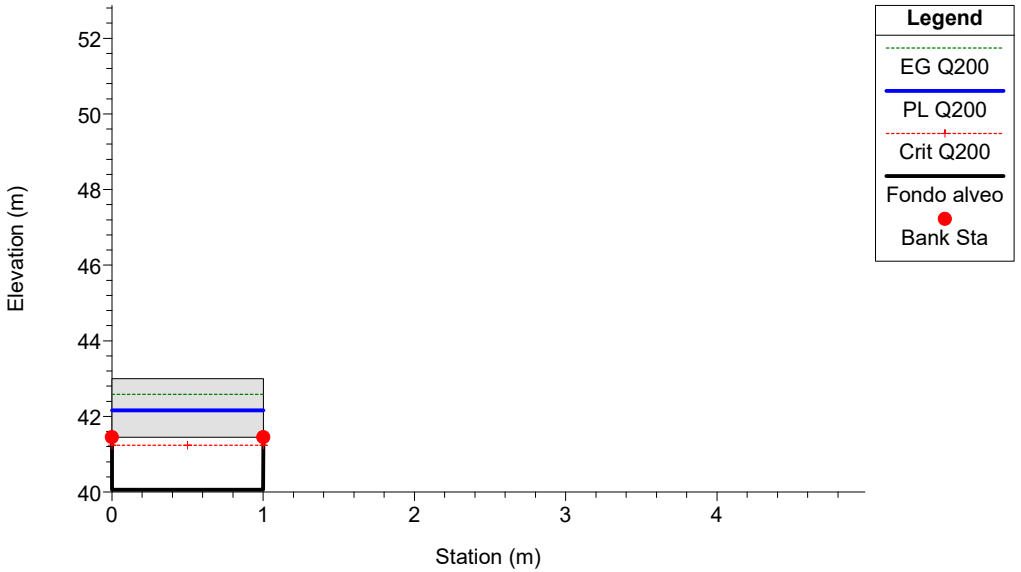
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 11 Q200 = 4.0 m³/s



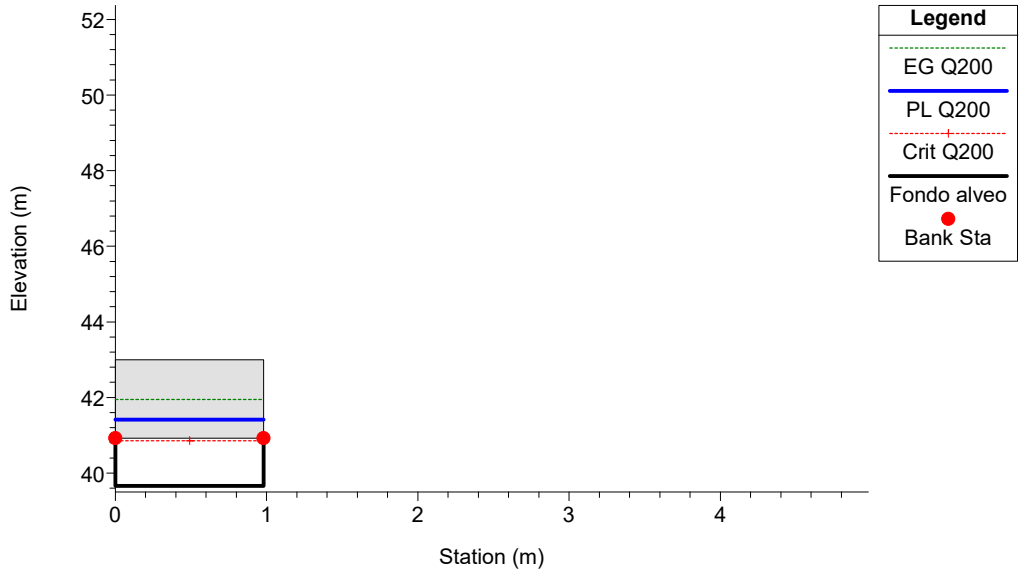
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 10 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 9 Q200 = 4.0 m³/s

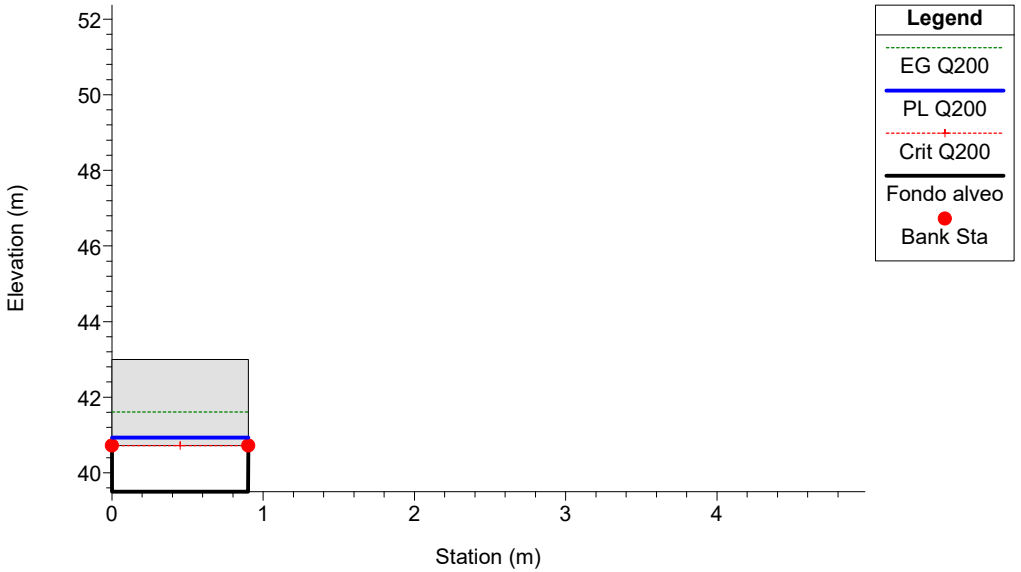


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 8 Q200 = 4.0 m³/s

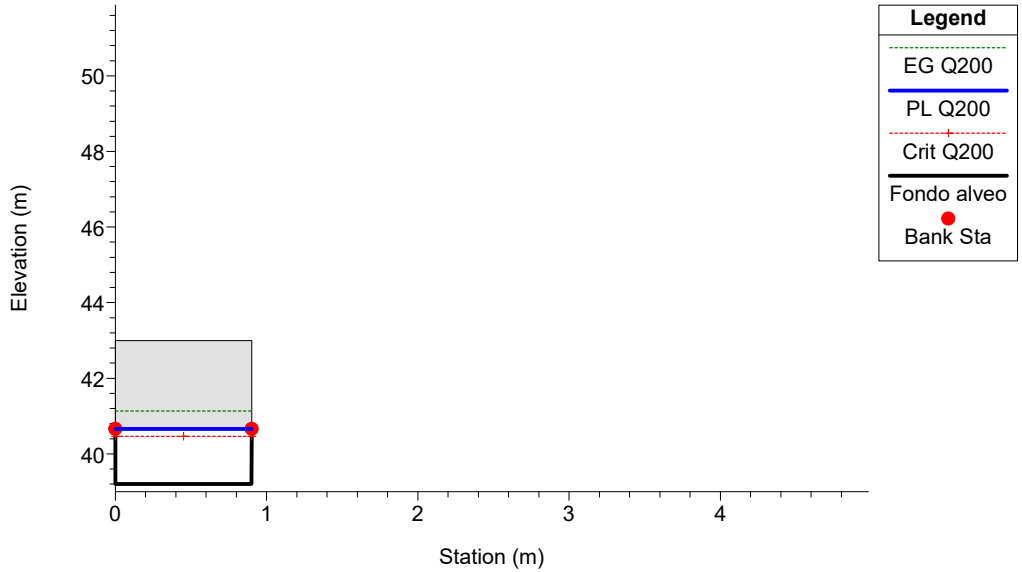


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

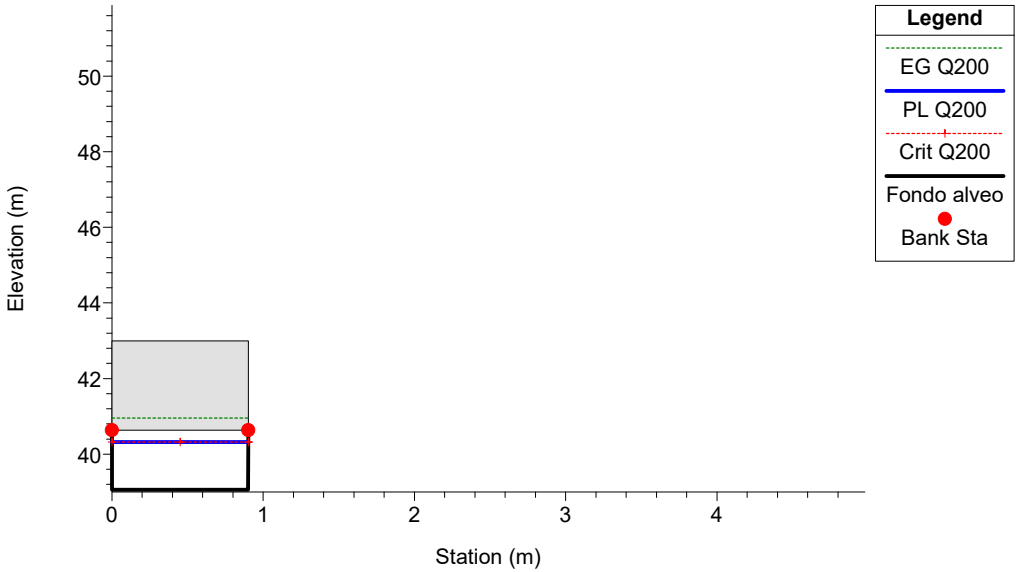
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 7 Q200 = 4.0 m³/s



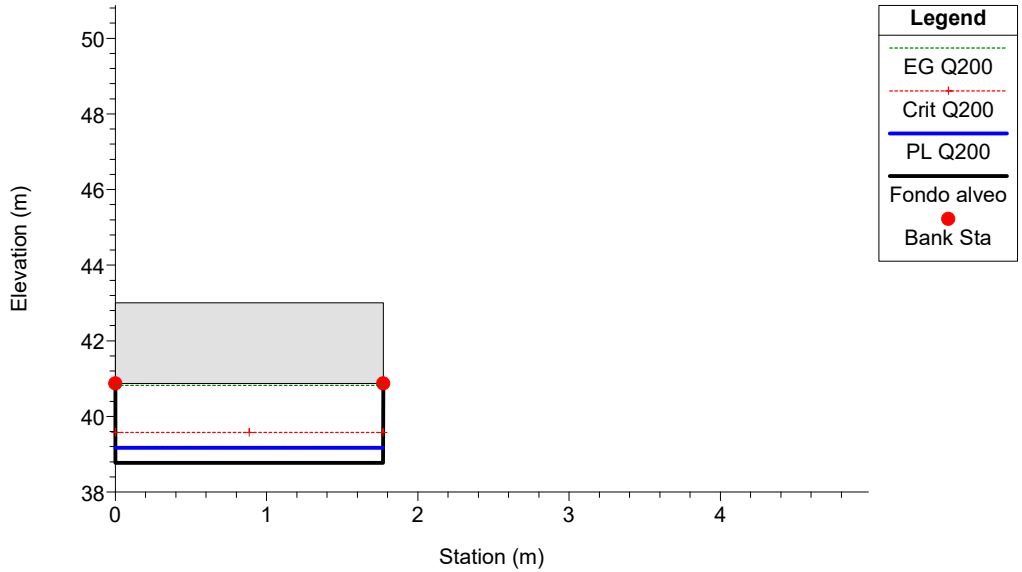
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 6 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 5 Q200 = 4.0 m³/s

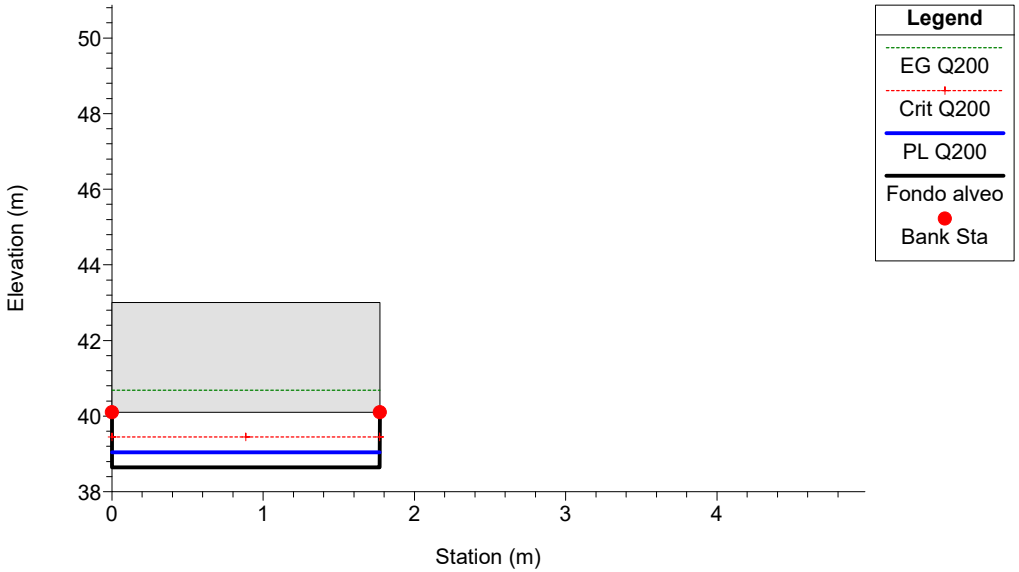


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 4 Q200 = 4.0 m³/s

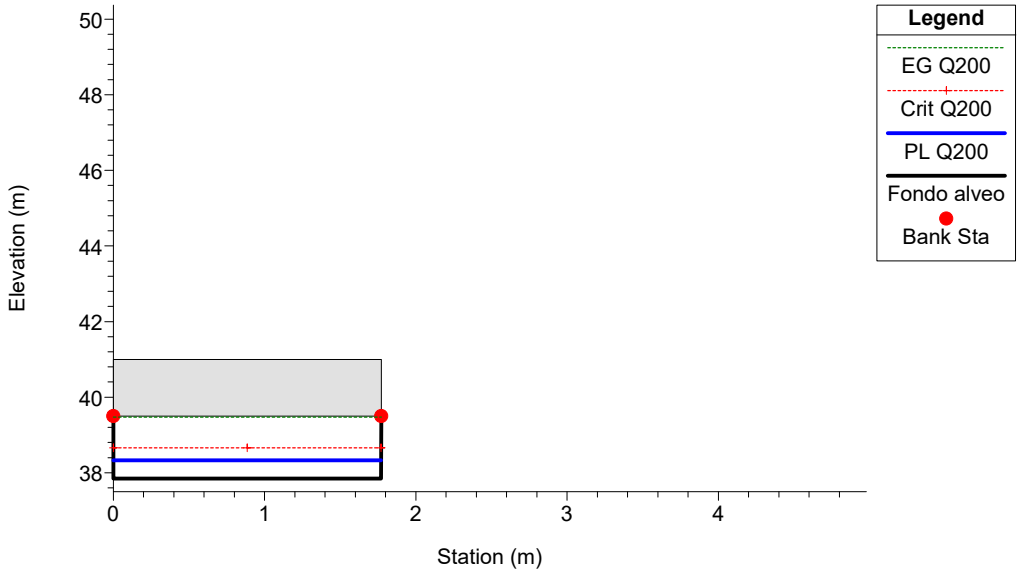


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

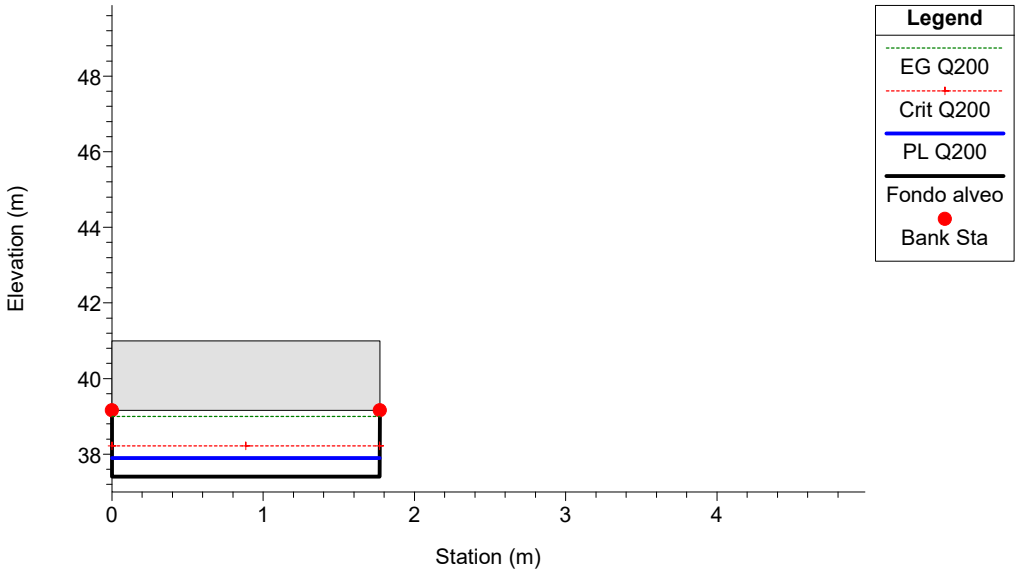
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 3 Q200 = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 2 Q200 = 4.0 m³/s



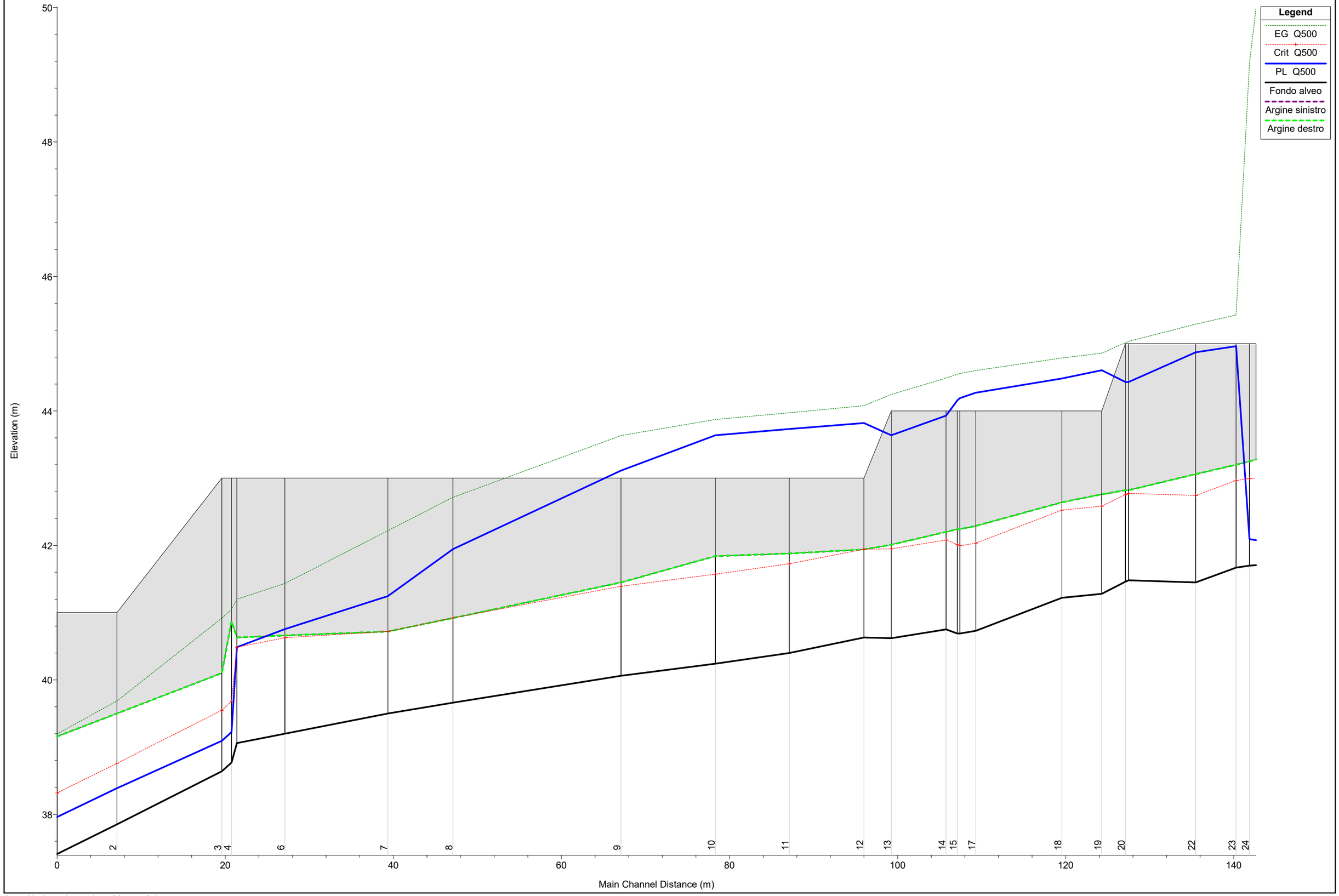
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 1 Q200 = 4.0 m³/s



1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

Rio Villa Castagna

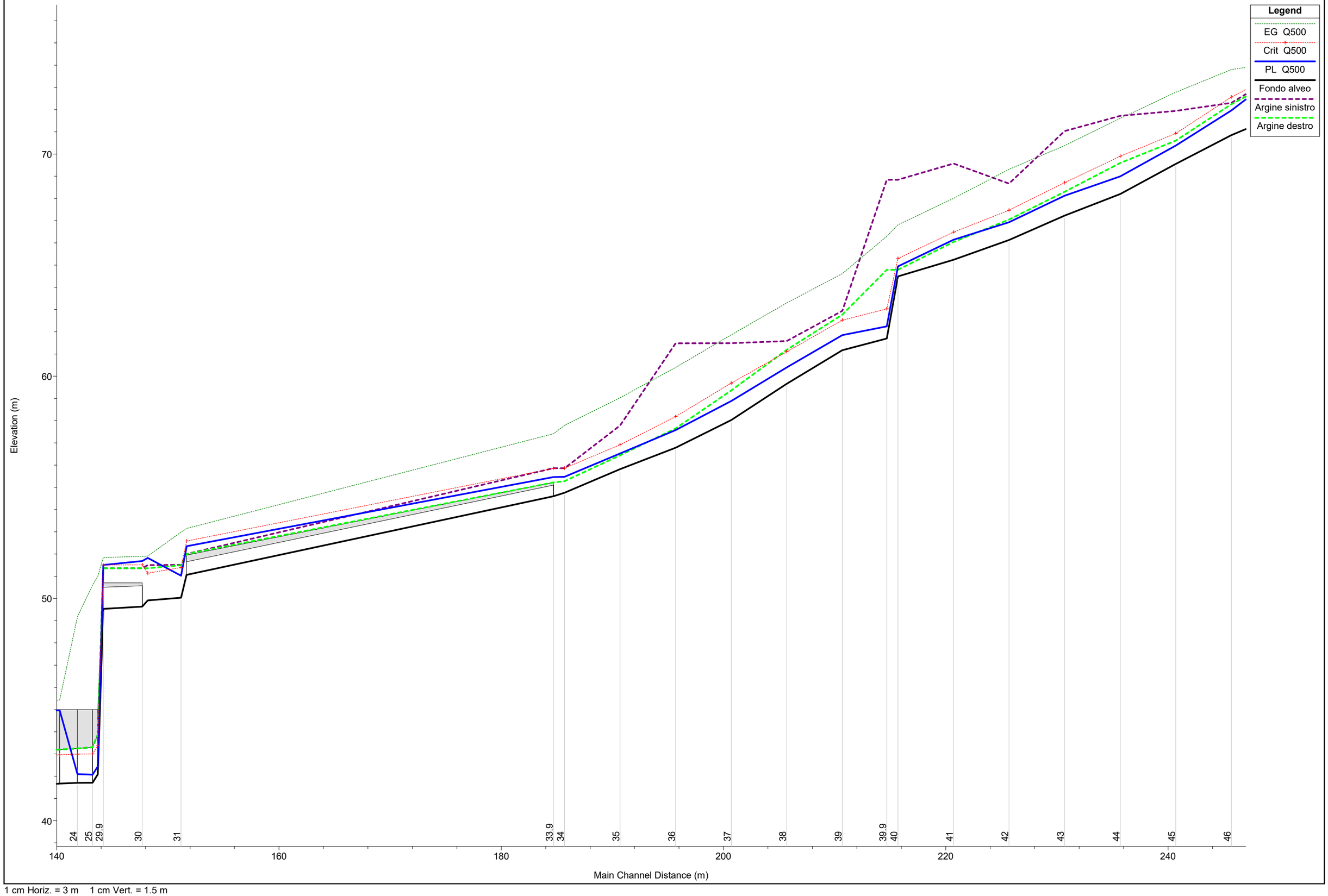
Geom: Stato attuale Q500 = 4.8 m³/s



1 cm Horiz. = 4 m 1 cm Vert. = 0.5 m

Rio Villa Castagna

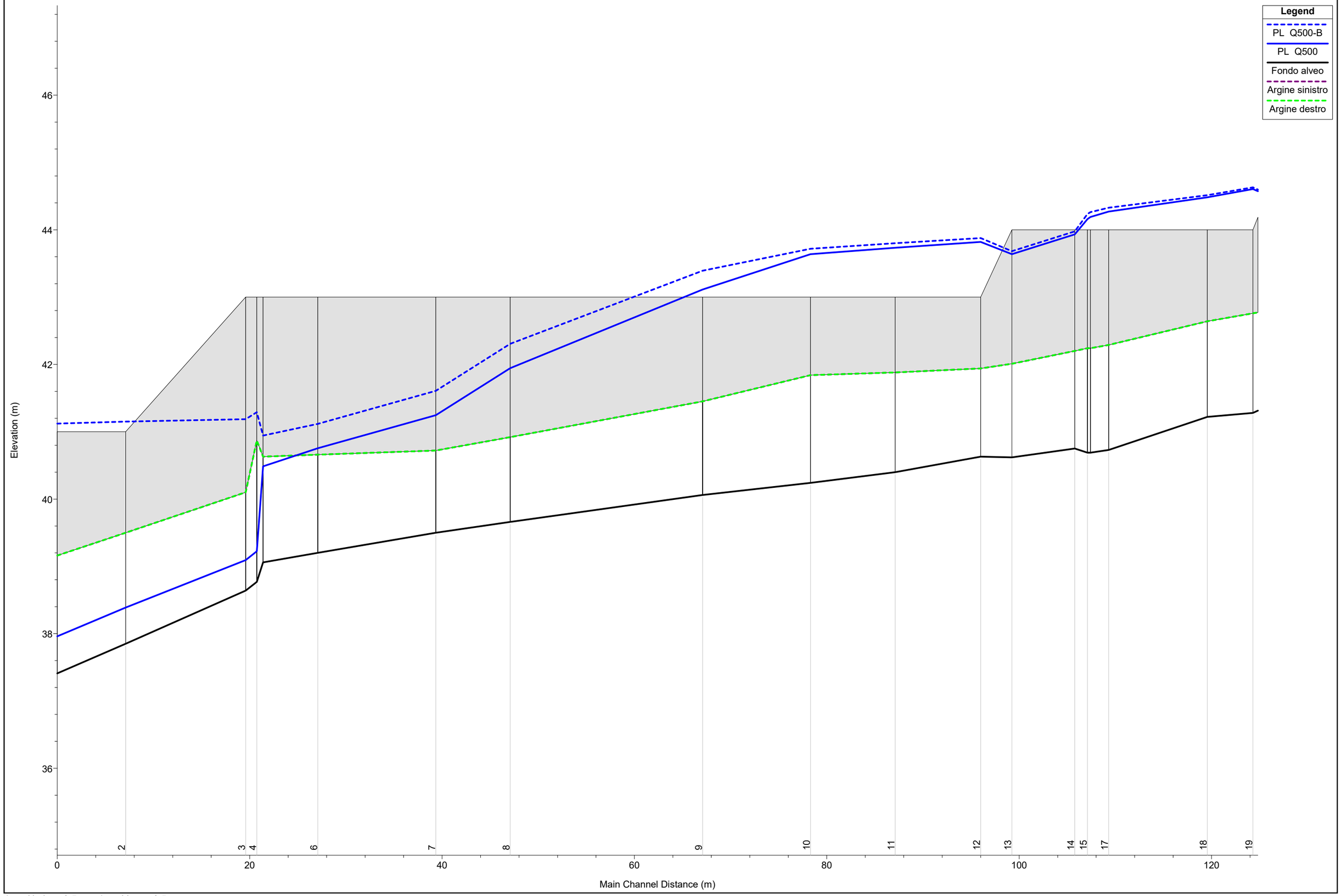
Geom: Stato attuale Q500 = 4.8 m³/s



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato attuale Raffronto con e senza piena sul t. Bisagno

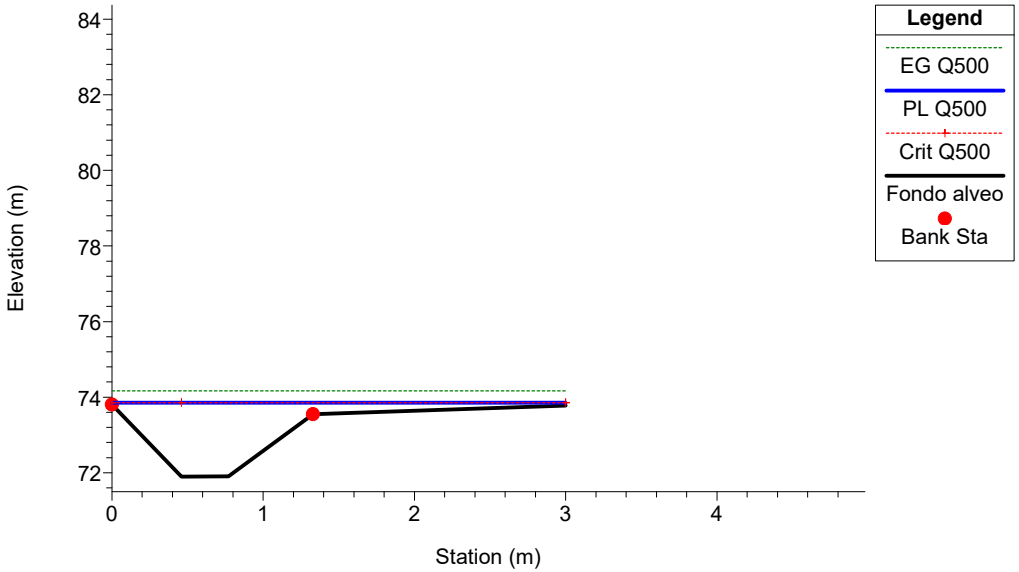


1 cm Horiz. = 3.5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

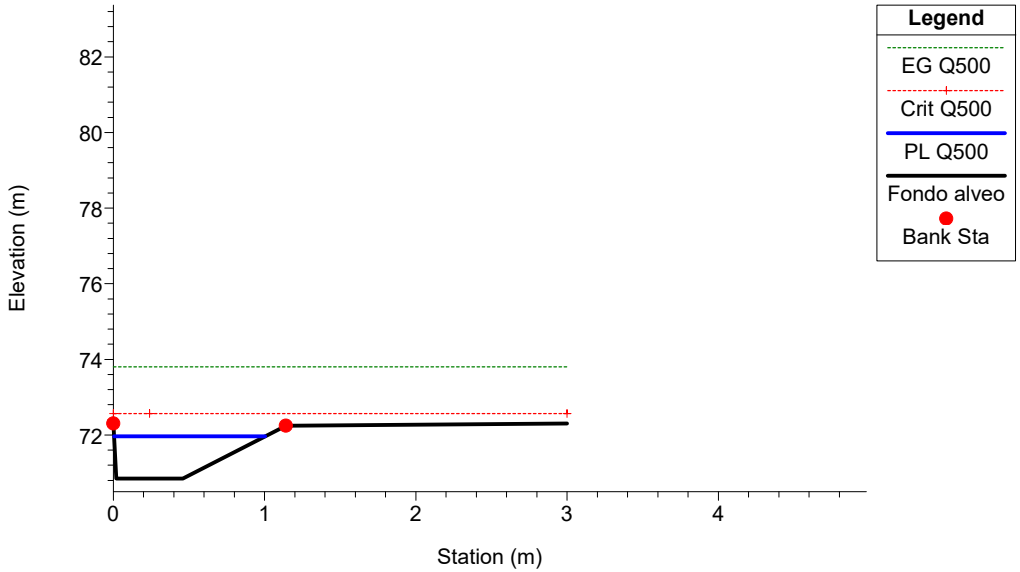
HEC-RAS Plan: Stato attuale River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q500

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	47	Q500	250.69	4.80	71.90	73.80	73.55	73.86	1.96	0.67	74.17	2.55	2.02	3.00	0.72
Rio Villa castag	46	Q500	245.69	4.80	70.85	72.30	72.24	71.96	1.11	0.80	73.80	6.01	0.80	1.00	2.14
Rio Villa castag	45	Q500	240.69	4.80	69.55	71.94	70.60	70.38	0.83	0.69	72.78	6.86	0.70	1.01	2.63
Rio Villa castag	44	Q500	235.69	4.80	68.20	71.72	69.60	69.00	0.80	0.67	71.60	7.15	0.67	1.00	2.79
Rio Villa castag	43	Q500	230.69	4.80	67.23	71.03	68.30	68.12	0.89	0.72	70.38	6.65	0.72	1.00	2.50
Rio Villa castag	42	Q500	225.69	4.80	66.13	68.67	67.05	66.93	0.80	0.72	69.31	6.84	0.70	0.97	2.57
Rio Villa castag	41	Q500	220.69	4.80	65.24	69.57	66.04	66.15	0.91	0.26	68.00	6.38	0.84	3.25	2.90
Rio Villa castag	40	Q500	215.69	4.80	64.49	68.84	64.79	64.94	0.45	0.26	66.82	6.72	0.83	3.20	3.27
Rio Villa castag	39.9	Q500	214.69	4.80	61.70	68.84	64.79	62.24	0.54	0.53	66.29	8.91	0.54	1.01	3.90
Rio Villa castag	39	Q500	210.69	4.80	61.17	62.94	62.77	61.85	0.68	0.60	64.62	7.37	0.65	1.08	3.03
Rio Villa castag	38	Q500	205.69	4.80	59.66	61.58	61.19	60.40	0.74	0.63	63.30	7.55	0.64	1.01	3.04
Rio Villa castag	37	Q500	200.69	4.80	58.03	61.49	59.36	58.89	0.86	0.73	61.86	7.64	0.63	0.86	2.86
Rio Villa castag	36	Q500	195.69	4.80	56.78	61.48	57.65	57.58	0.80	0.66	60.39	7.43	0.65	0.98	2.92
Rio Villa castag	35	Q500	190.69	4.80	55.82	57.78	56.44	56.52	0.70	0.25	59.03	7.17	0.74	2.94	2.77
Rio Villa castag	34	Q500	185.69	4.80	54.76	55.86	55.28	55.48	0.72	0.28	57.79	7.09	0.77	2.71	2.76
Rio Villa castag	33.9	Q500	184.69	4.80	54.60	55.10	55.05	55.46	0.86	0.30	57.41	6.42	0.78	2.64	2.13
Rio Villa castag	32	Q500	151.69	4.80	51.06	51.46	51.45	52.35	1.29	0.45	53.15	3.26	1.25	2.80	1.11
Rio Villa castag	31	Q500	151.19	4.80	50.03	51.51	51.49	51.02	0.99	0.30	52.98	6.65	0.82	2.70	2.36
Rio Villa castag	30.1	Q500	148.19	4.80	49.91	51.50	51.36	51.83	1.92	1.29	51.91	1.10	3.87	3.00	0.26
Rio Villa castag	30	Q500	147.69	4.80	49.63	50.10	50.10	51.69	2.06	0.85	51.89	1.40	2.54	3.00	0.45
Rio Villa castag	29.9	Q500	144.19	4.80	49.53	50.00	50.00	51.51	1.98	0.67	51.84	1.73	2.02	3.00	0.58
Rio Villa castag	26	Q500	143.69	4.80	42.08	43.87	43.87	42.44	0.36	0.36	50.99	12.95	0.37	1.04	6.93
Rio Villa castag	25	Q500	143.23	4.80	41.71	43.30	43.30	42.07	0.36	0.36	50.61	12.94	0.37	1.04	6.92
Rio Villa castag	24	Q500	141.86	4.80	41.70	43.25	43.25	42.09	0.39	0.39	49.17	11.79	0.41	1.04	6.01
Rio Villa castag	23	Q500	140.27	4.80	41.67	43.20	43.20	44.96	3.29		45.43	3.02	1.59		0.53
Rio Villa castag	22	Q500	135.47	4.80	41.45	43.06	43.06	44.87	3.42		45.29	2.87	1.67		0.49
Rio Villa castag	21	Q500	127.47	4.80	41.48	42.82	42.82	44.43	2.95		45.03	3.44	1.39		0.64
Rio Villa castag	20	Q500	127.11	4.80	41.46	42.82	42.82	44.43	2.97		45.02	3.39	1.41		0.63
Rio Villa castag	19	Q500	124.29	4.80	41.28	42.76	42.76	44.61	3.33	2.08	44.86	2.23	2.15	1.03	0.39
Rio Villa castag	18	Q500	119.55	4.80	41.22	42.64	42.64	44.48	3.26	1.90	44.79	2.45	1.96	1.03	0.43
Rio Villa castag	17	Q500	109.30	4.80	40.73	42.29	42.29	44.27	3.54	1.83	44.60	2.55	1.88	1.03	0.43
Rio Villa castag	16	Q500	107.40	4.80	40.69	42.24	42.24	44.19	3.50	1.74	44.56	2.68	1.79	1.03	0.46
Rio Villa castag	15	Q500	107.10	4.80	40.69	42.24	42.24	44.16	3.47	1.69	44.55	2.76	1.74	1.03	0.47
Rio Villa castag	14	Q500	105.77	4.80	40.75	42.20	42.20	43.93	3.18		44.49	3.31	1.45		0.59
Rio Villa castag	13	Q500	99.24	4.80	40.62	42.01	42.01	43.64	3.02		44.25	3.45	1.39		0.63
Rio Villa castag	12	Q500	96.00	4.80	40.63	41.94	41.94	43.82	3.19	2.13	44.08	2.25	2.13	1.00	0.40
Rio Villa castag	11	Q500	87.10	4.80	40.40	41.88	41.88	43.73	3.33	2.21	43.97	2.17	2.21	1.00	0.38
Rio Villa castag	10	Q500	78.31	4.80	40.24	41.84	41.84	43.64	3.40	2.24	43.87	2.14	2.24	1.00	0.37
Rio Villa castag	9	Q500	67.09	4.80	40.06	41.45	41.45	43.11	3.05	1.50	43.63	3.19	1.50	1.00	0.58
Rio Villa castag	8	Q500	47.09	4.80	39.66	40.92	40.92	41.94	2.28		42.72	3.89	1.23		0.82
Rio Villa castag	7	Q500	39.35	4.80	39.50	40.72	40.72	41.25	1.75		42.22	4.37	1.10		1.06
Rio Villa castag	6	Q500	27.09	4.80	39.20	40.66	40.66	40.75	1.55		41.44	3.65	1.31		0.94
Rio Villa castag	5	Q500	21.39	4.80	39.06	40.63	40.63	40.49	1.43	1.43	41.20	3.74	1.28	0.90	1.00
Rio Villa castag	4	Q500	20.74	4.80	38.77	40.87	40.87	39.22	0.45	0.45	41.05	5.98	0.80	1.77	2.84
Rio Villa castag	3	Q500	19.59	4.80	38.64	40.10	40.10	39.09	0.45	0.45	40.92	5.98	0.80	1.77	2.84
Rio Villa castag	2	Q500	7.11	4.80	37.85	39.50	39.50	38.39	0.54	0.54	39.69	5.05	0.95	1.77	2.20
Rio Villa castag	1	Q500		4.80	37.41	39.16	39.16	37.96	0.55	0.55	39.20	4.92	0.97	1.77	2.12

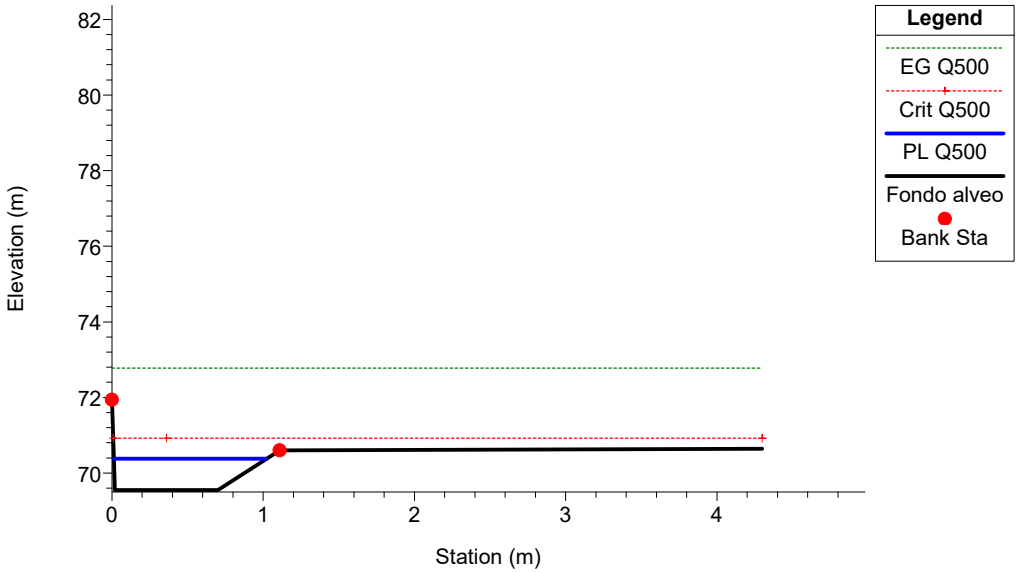
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 47 Q500 = 4.8 m³/s



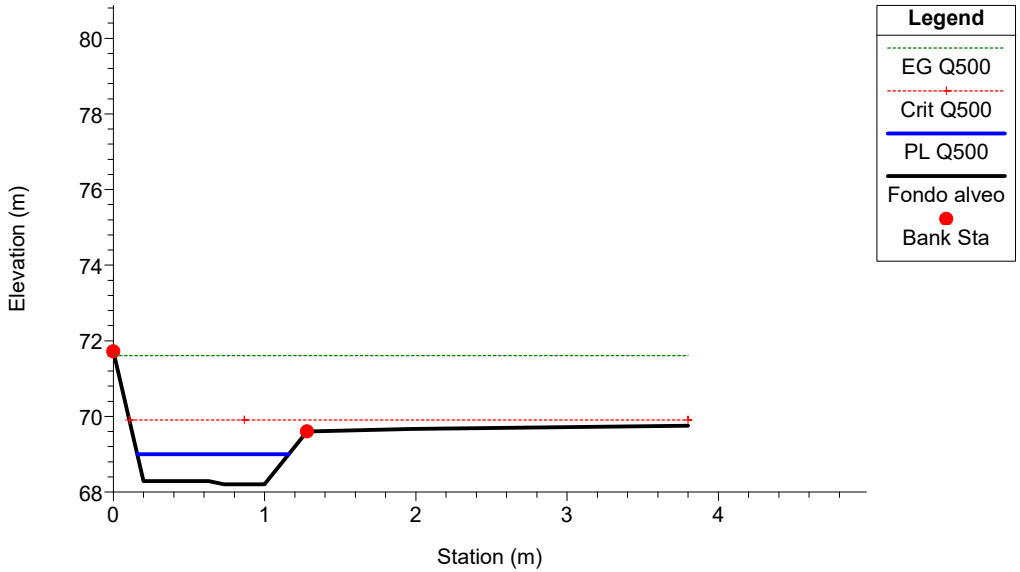
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 46 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 45 Q500 = 4.8 m³/s

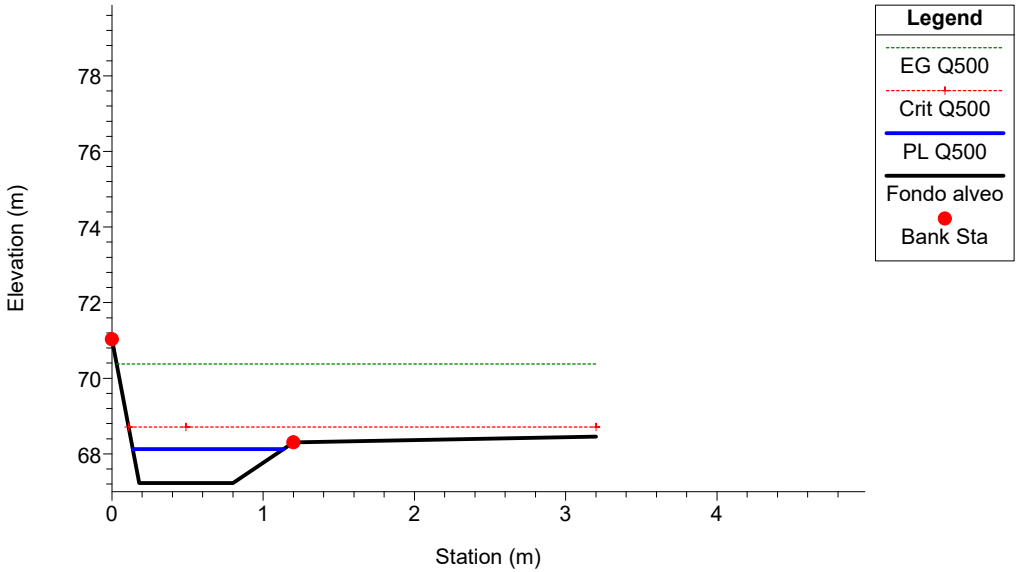


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 44 Q500 = 4.8 m³/s

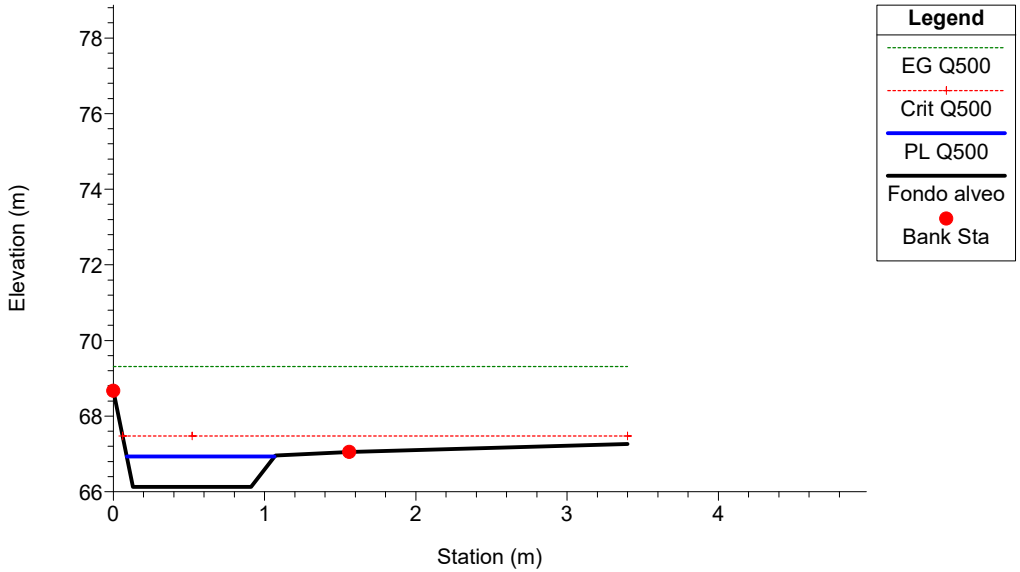


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

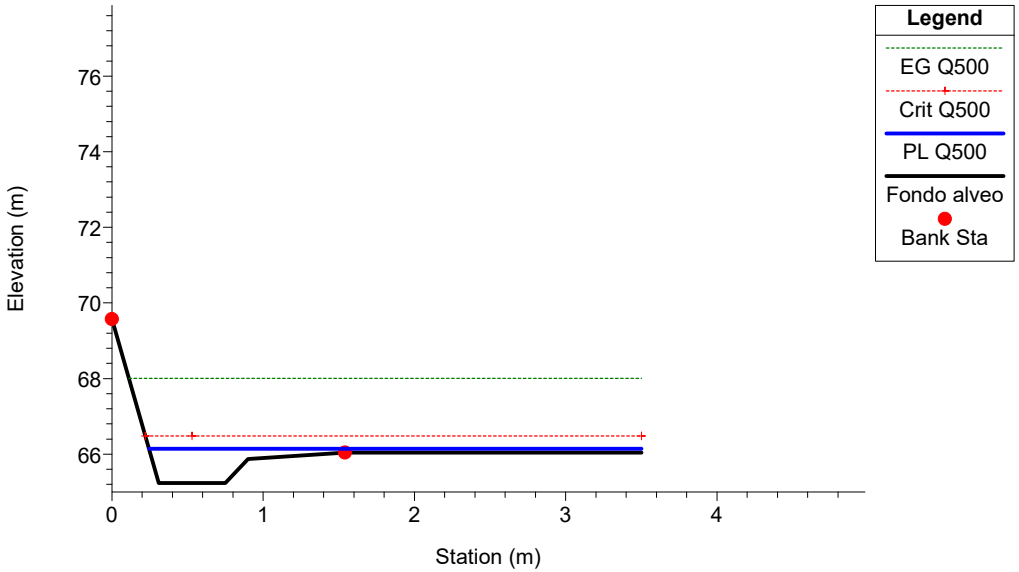
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 43 Q500 = 4.8 m³/s



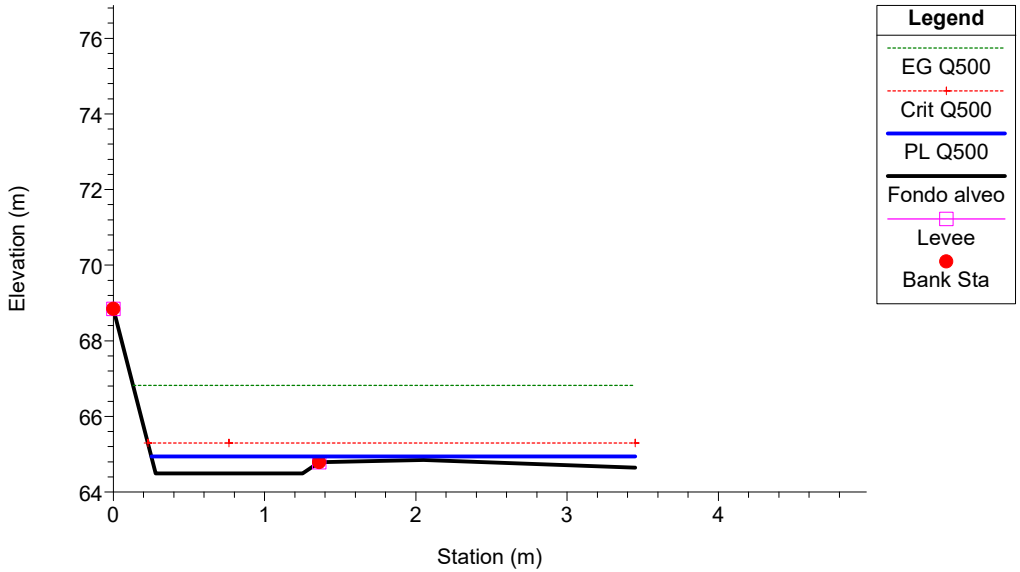
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 42 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 41 Q500 = 4.8 m³/s

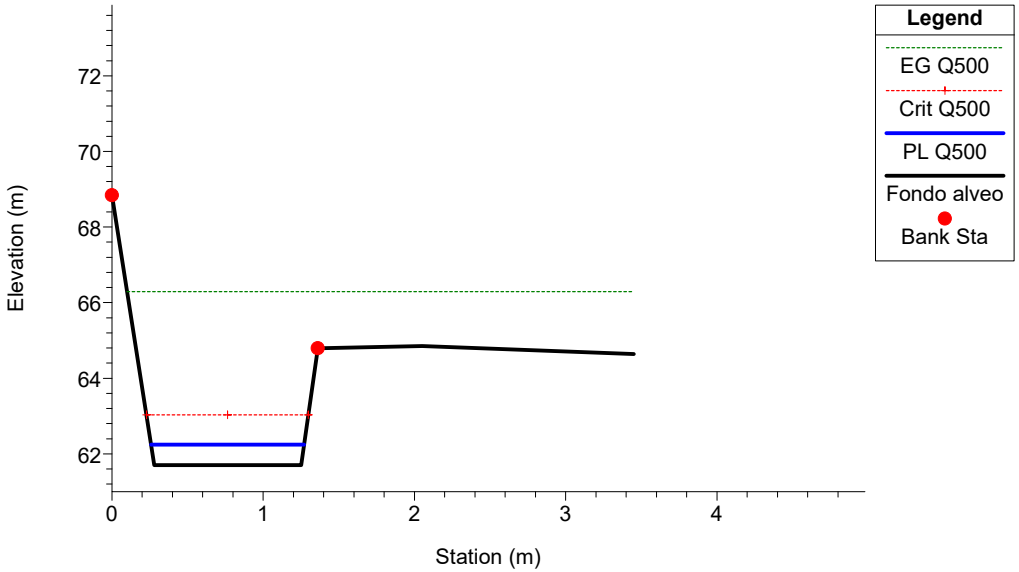


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 40 Q500 = 4.8 m³/s

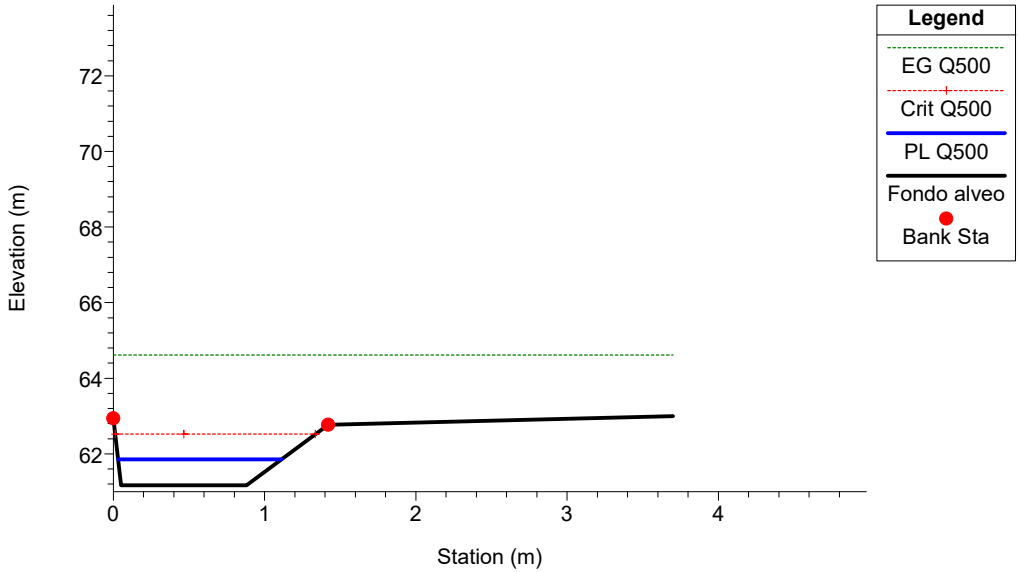


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

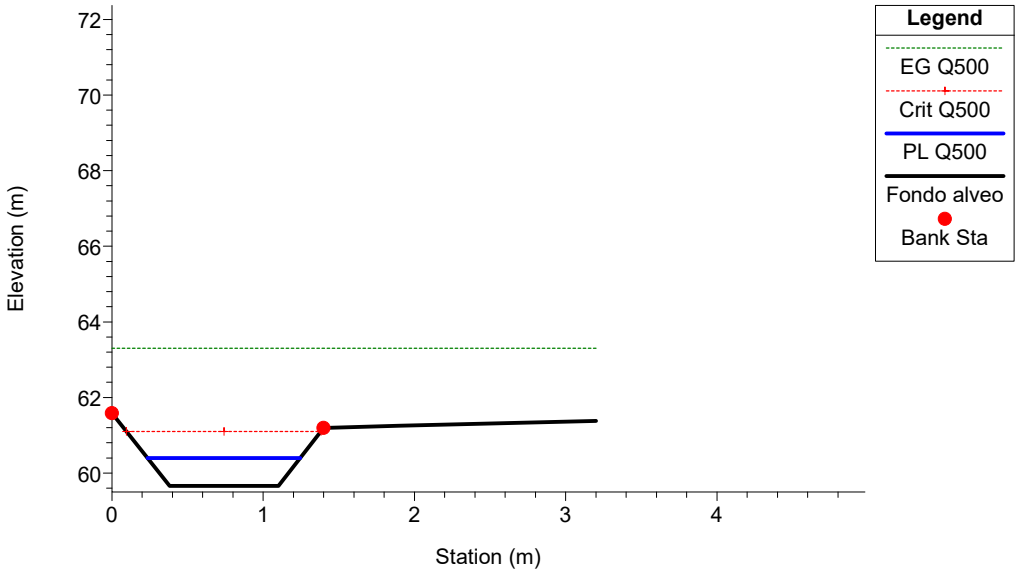
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 39.9 Q500 = 4.8 m³/s



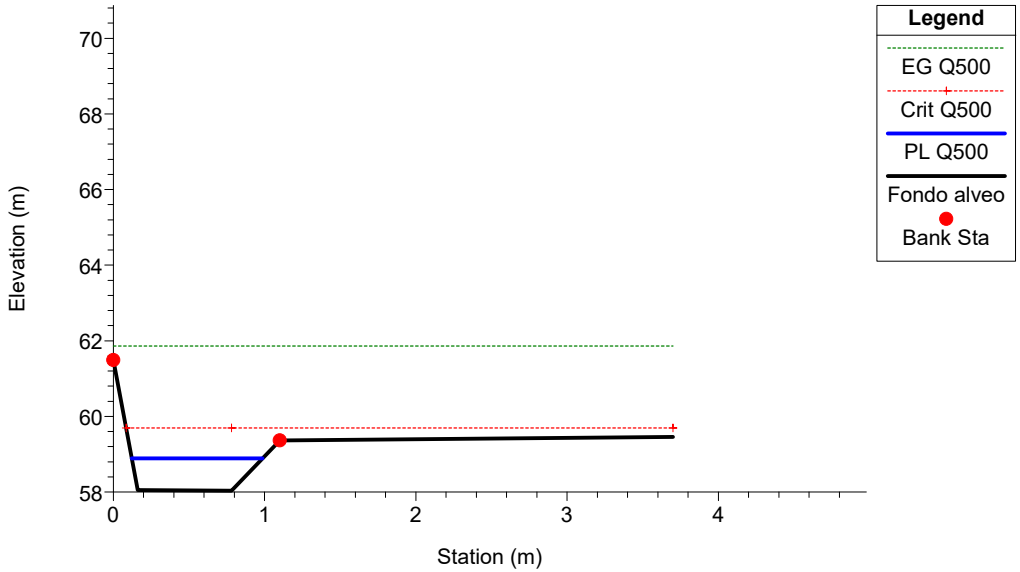
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 39 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 38 Q500 = 4.8 m³/s

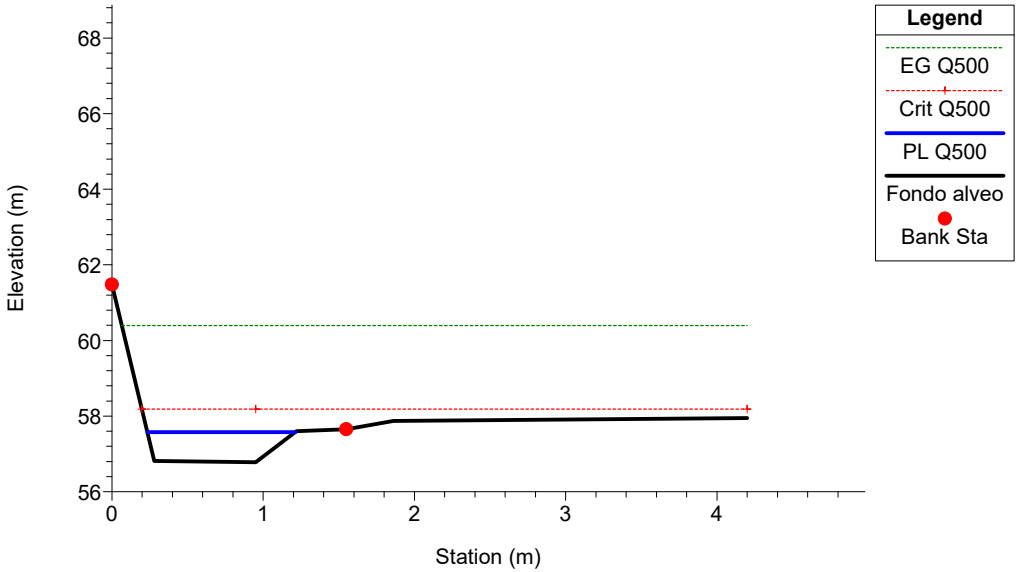


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 37 Q500 = 4.8 m³/s

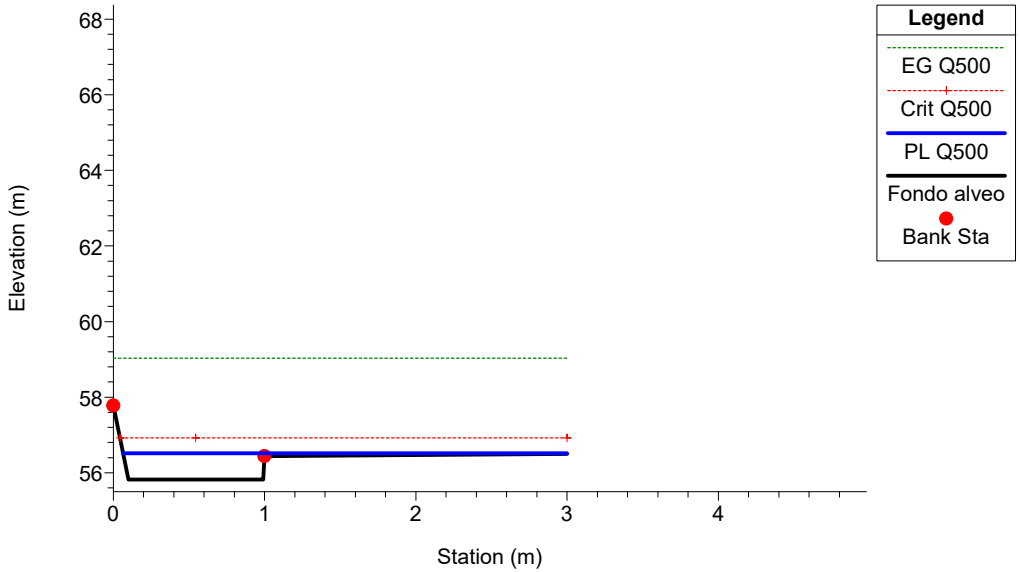


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

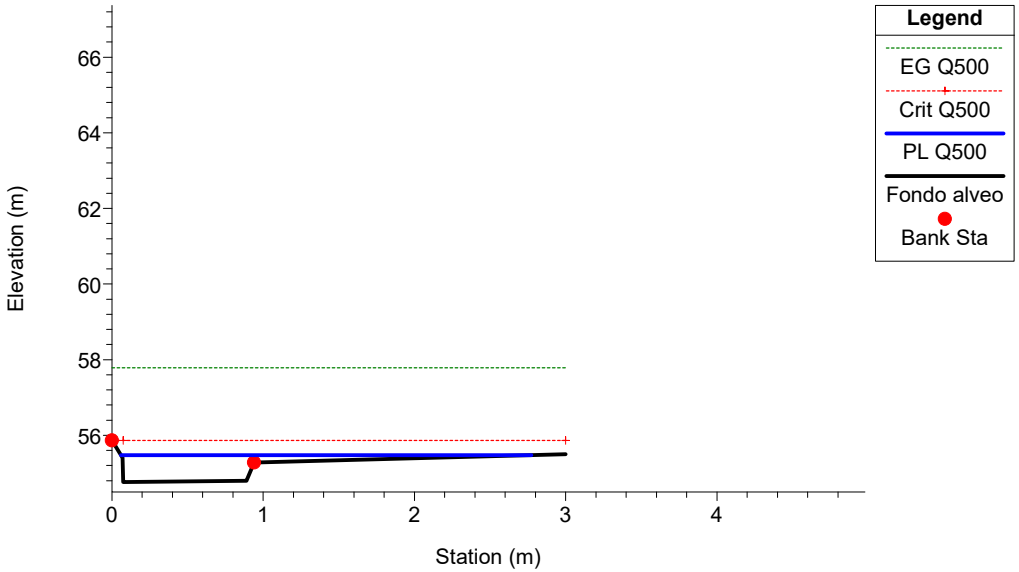
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 36 Q500 = 4.8 m³/s



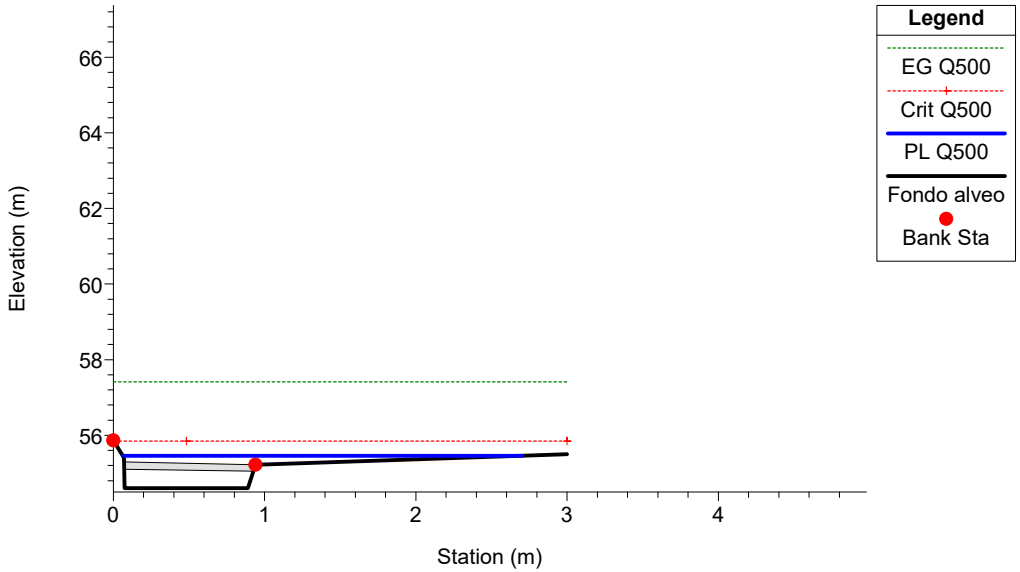
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 35 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 34 Q500 = 4.8 m³/s

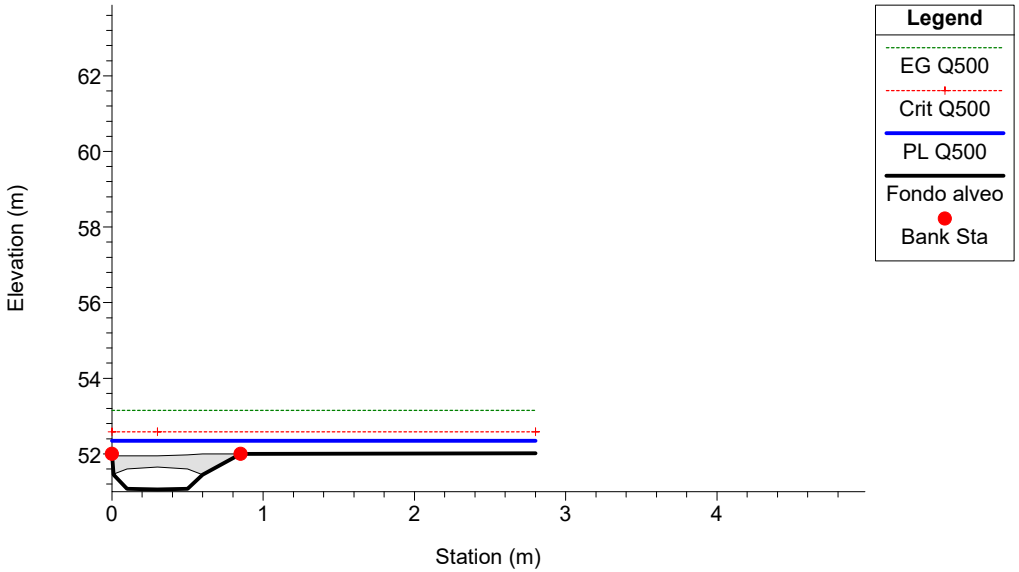


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 33.9 Q500 = 4.8 m³/s

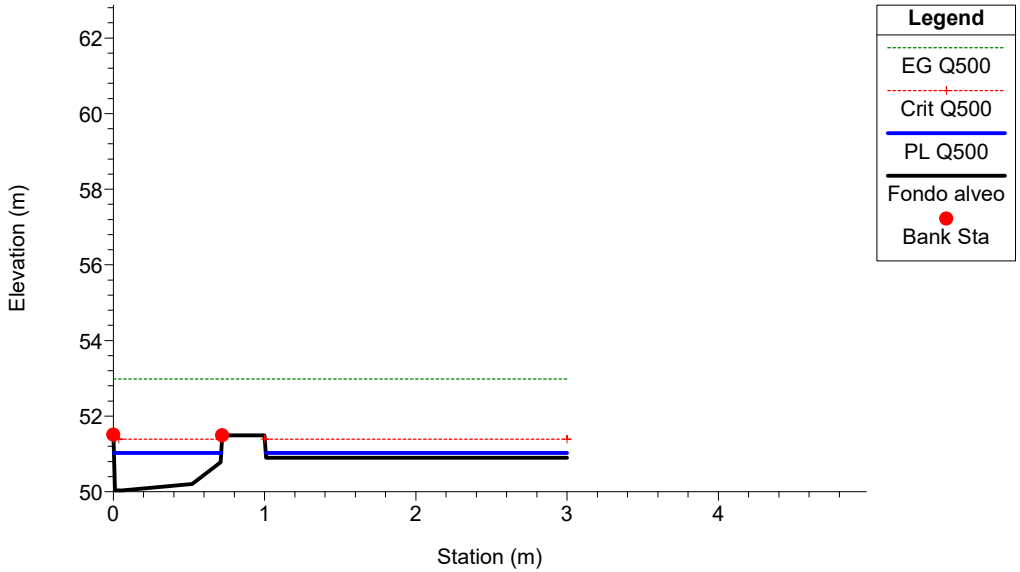


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

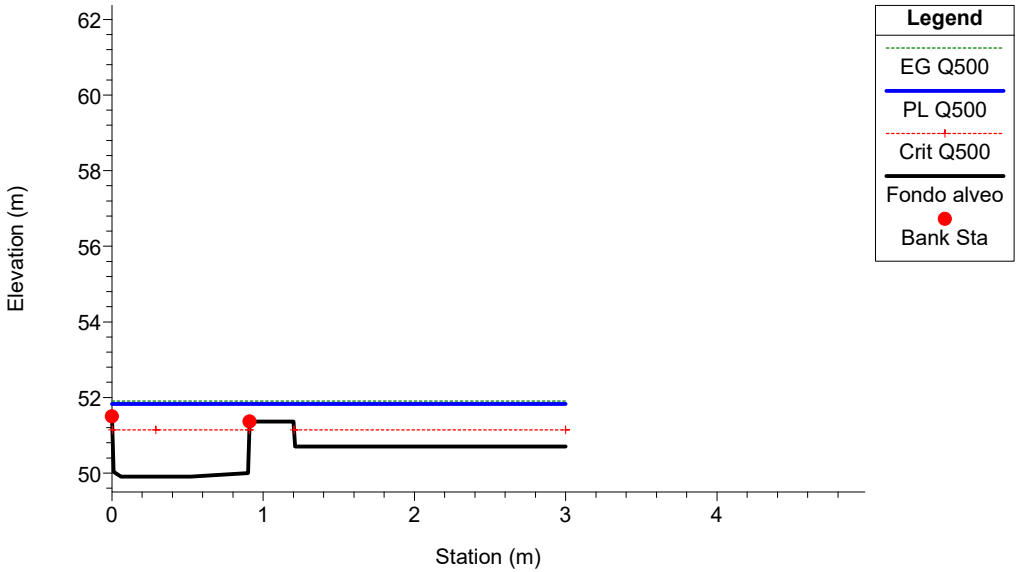
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 32 Q500 = 4.8 m³/s



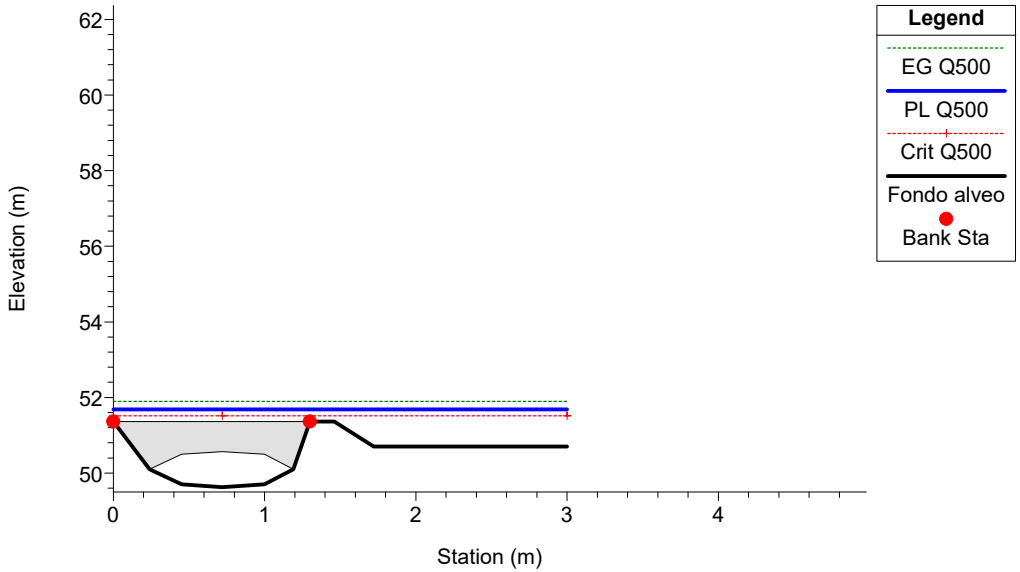
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 31 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 30.1 Q500 = 4.8 m³/s

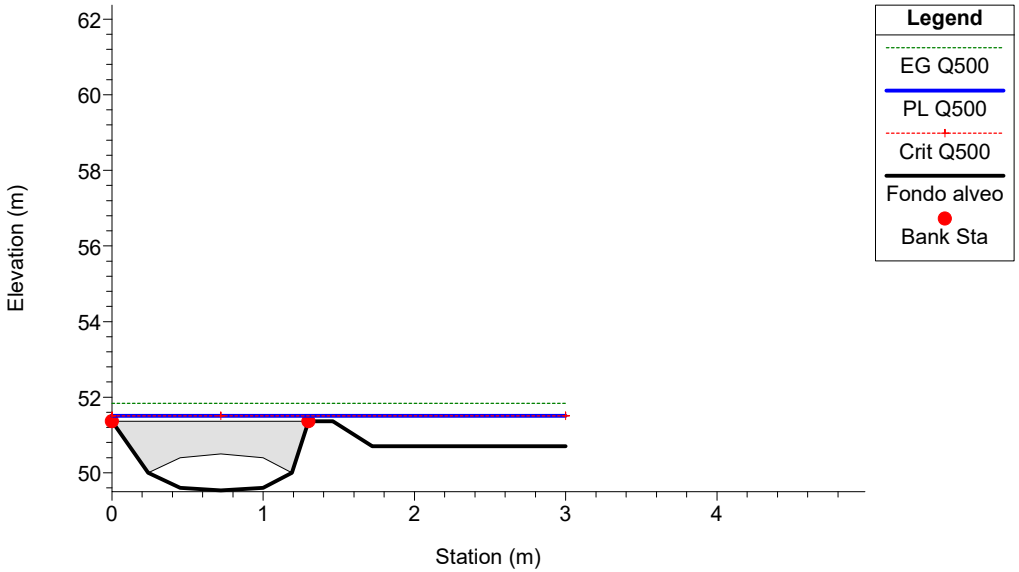


Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 30 Q500 = 4.8 m³/s

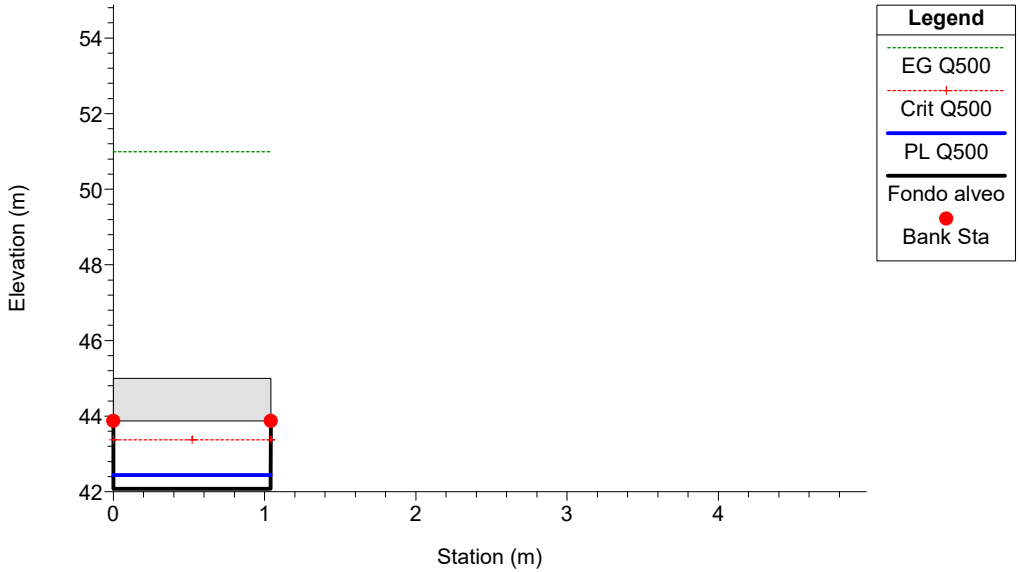


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

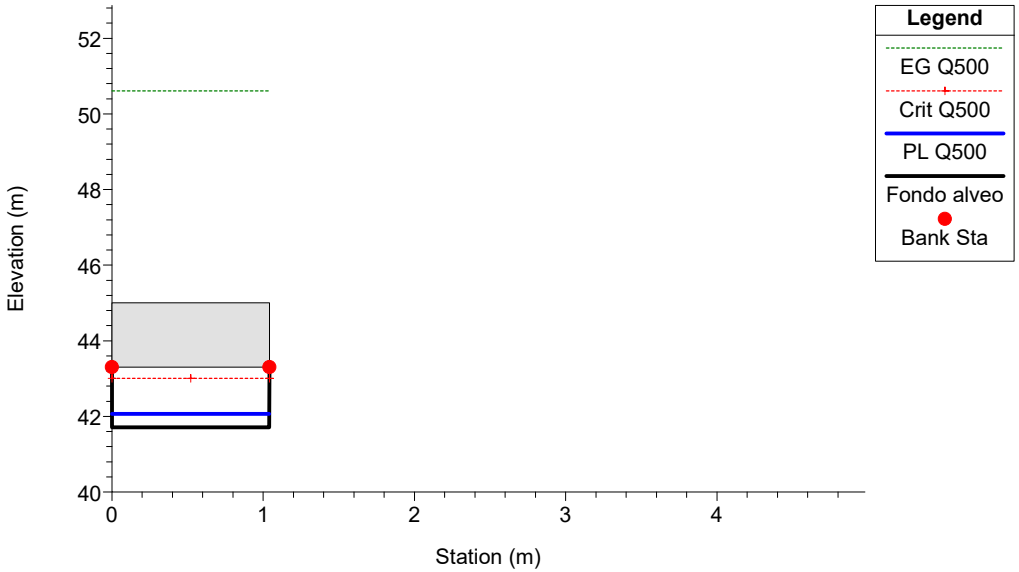
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 29.9 Q500 = 4.8 m³/s



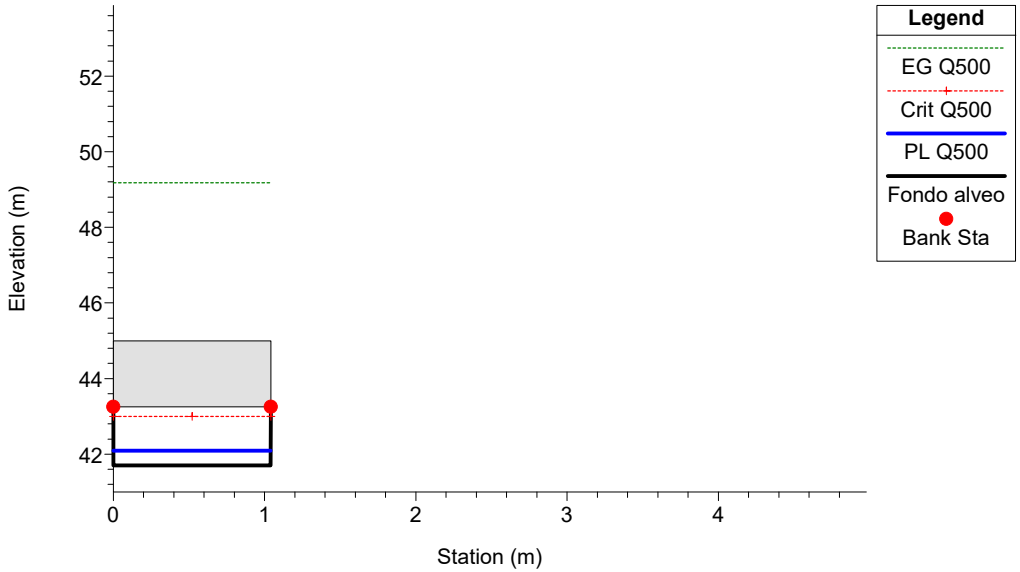
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 26 Q500 = 4.8 m³/s



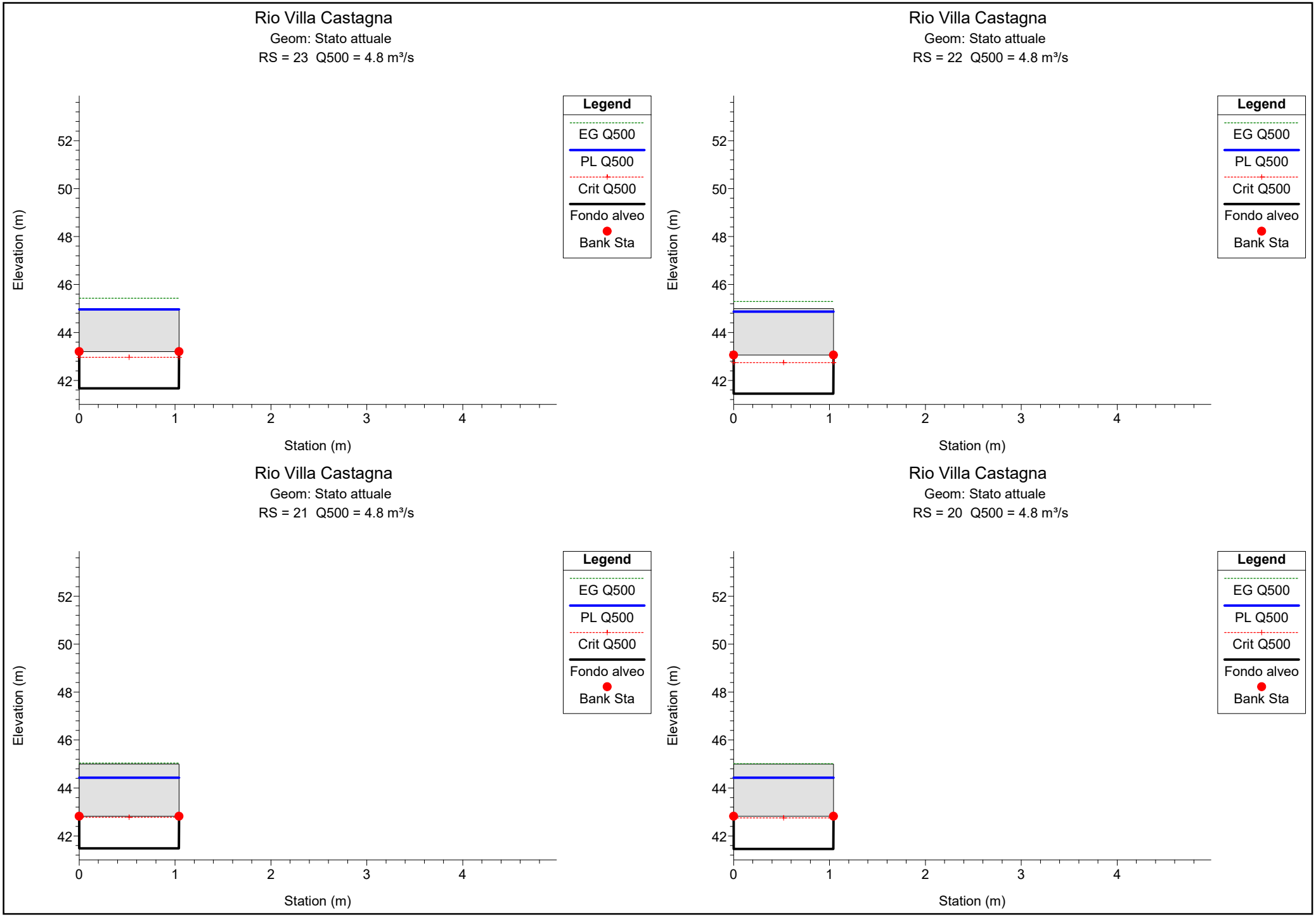
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 25 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 24 Q500 = 4.8 m³/s

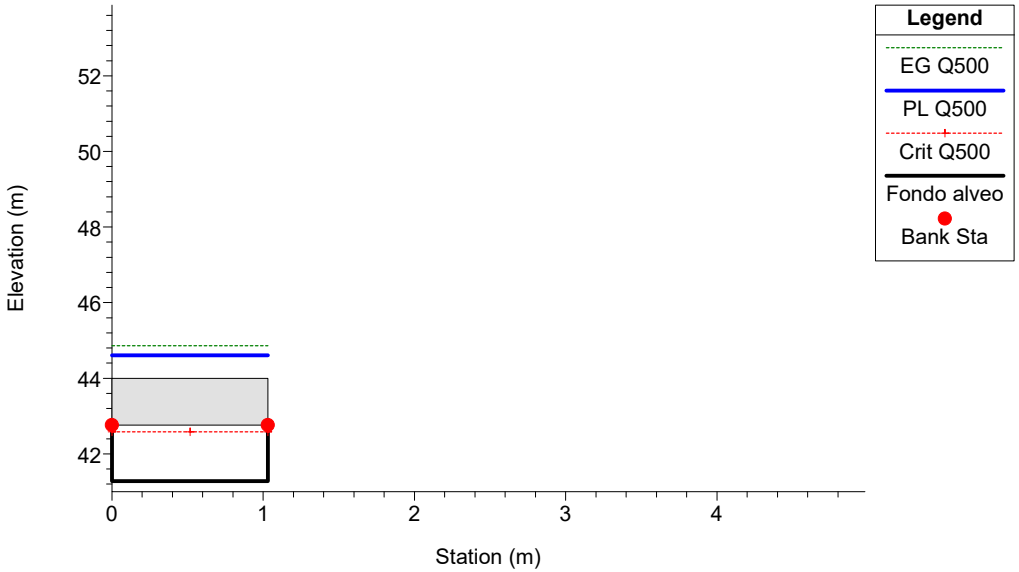


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

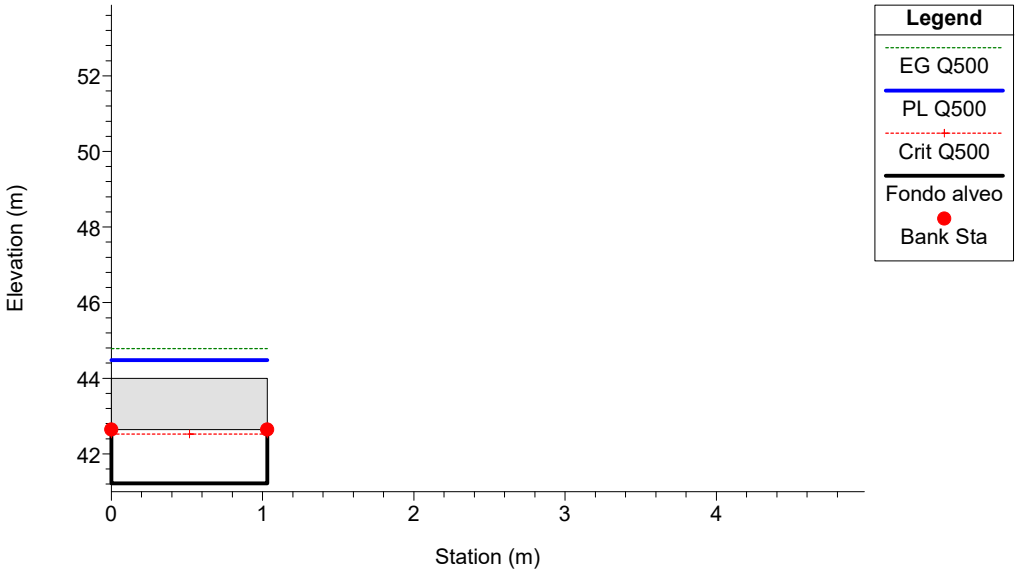


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

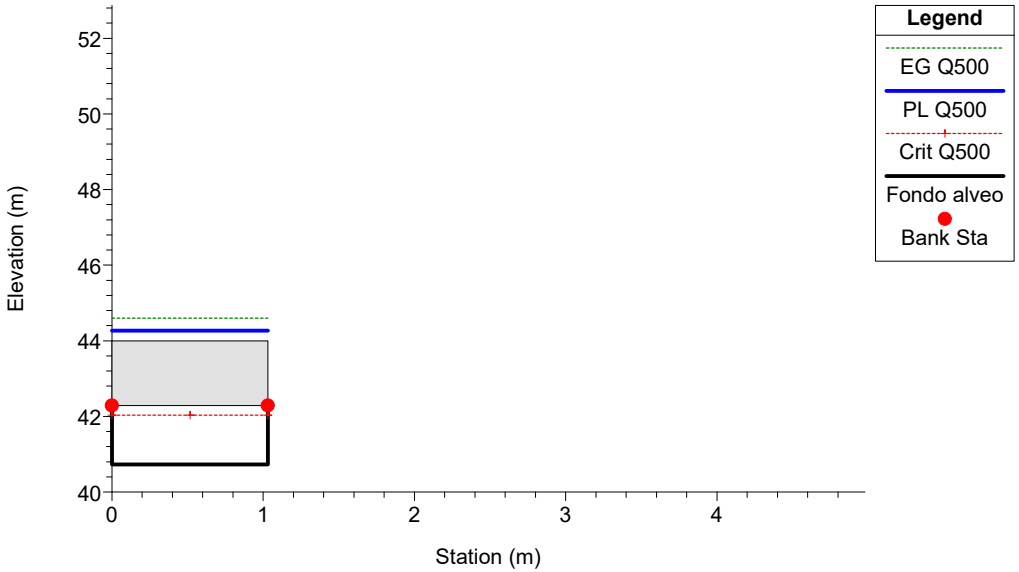
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 19 Q500 = 4.8 m³/s



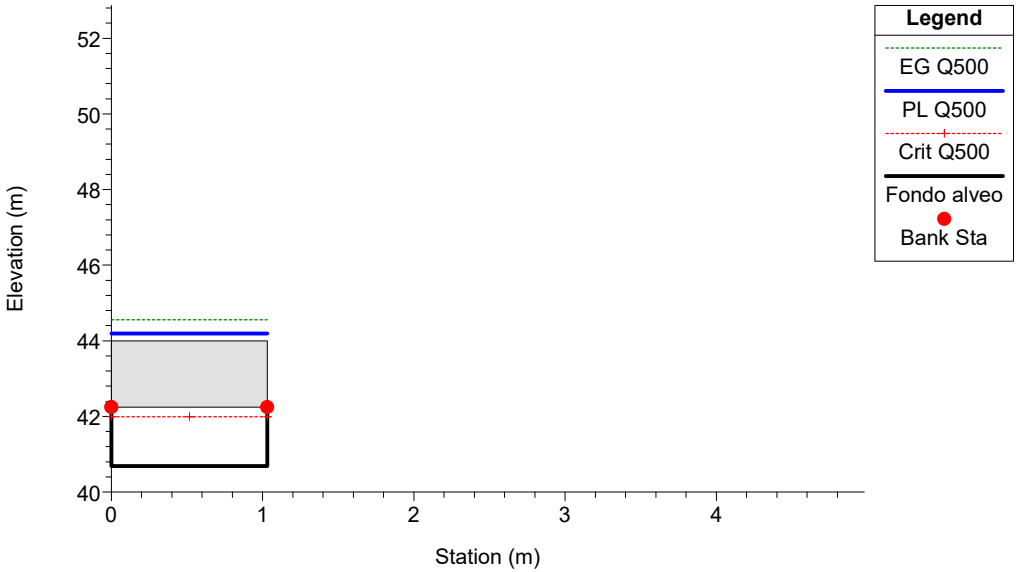
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 18 Q500 = 4.8 m³/s



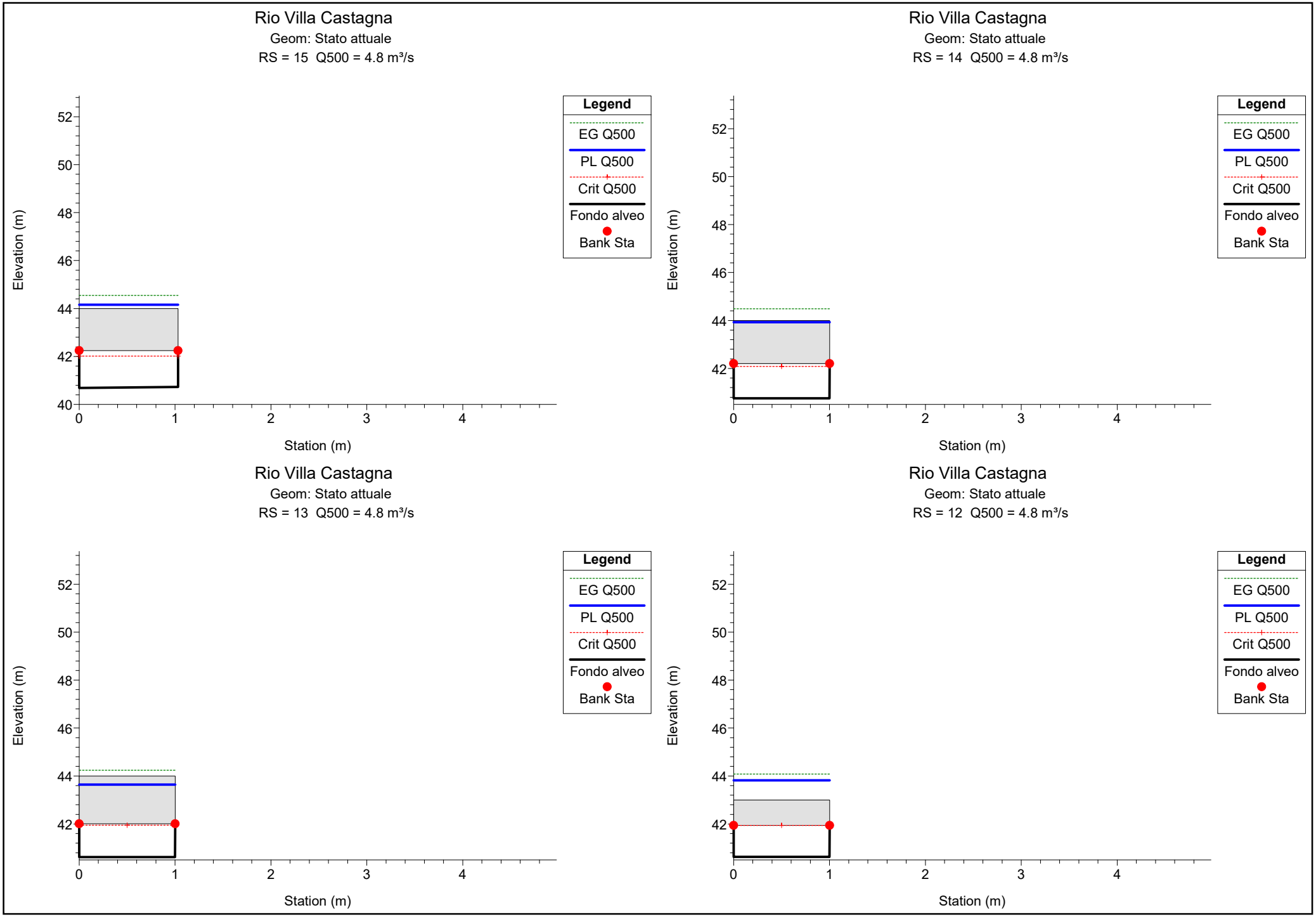
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 17 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 16 Q500 = 4.8 m³/s

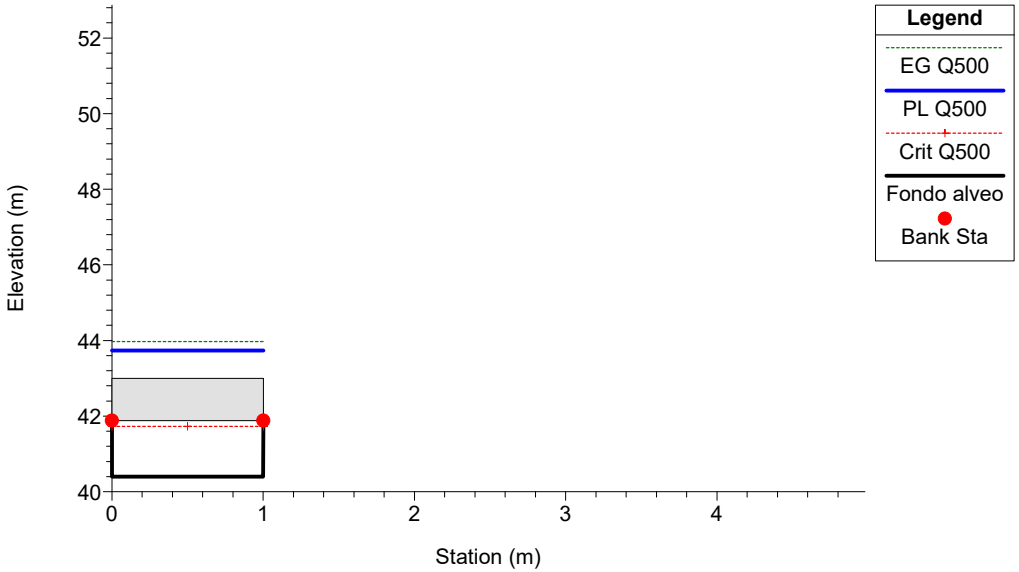


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

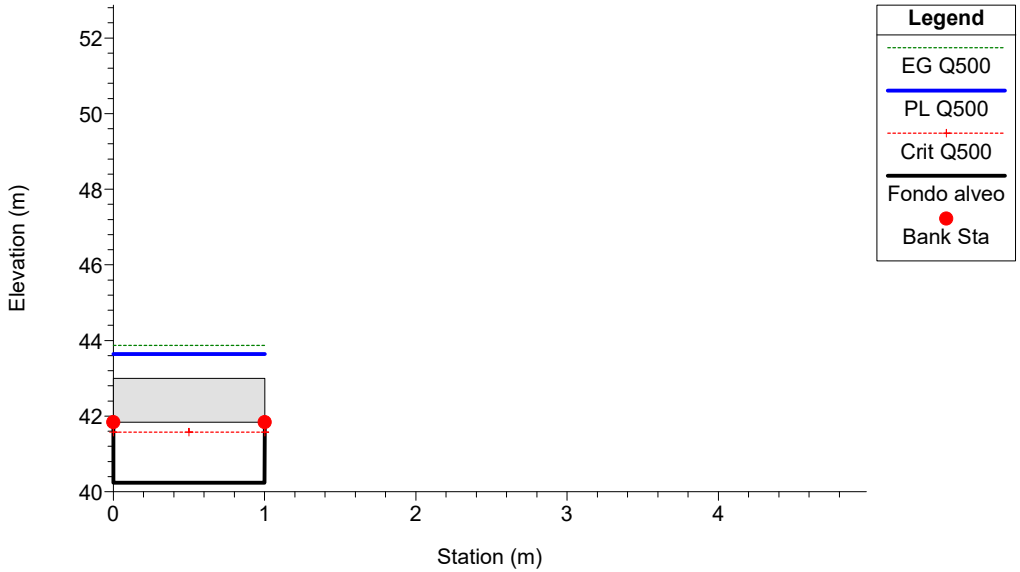


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

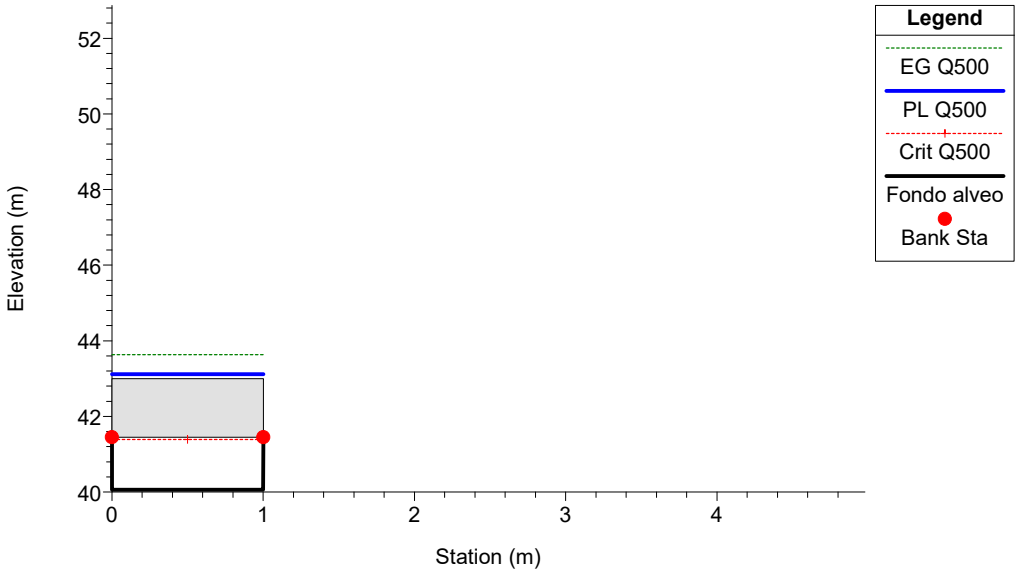
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 11 Q500 = 4.8 m³/s



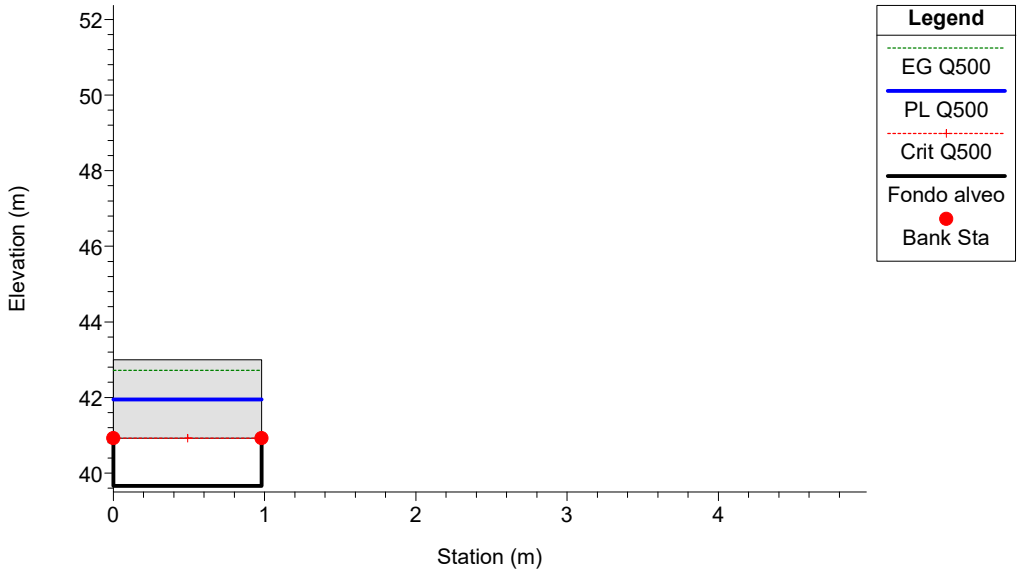
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 10 Q500 = 4.8 m³/s



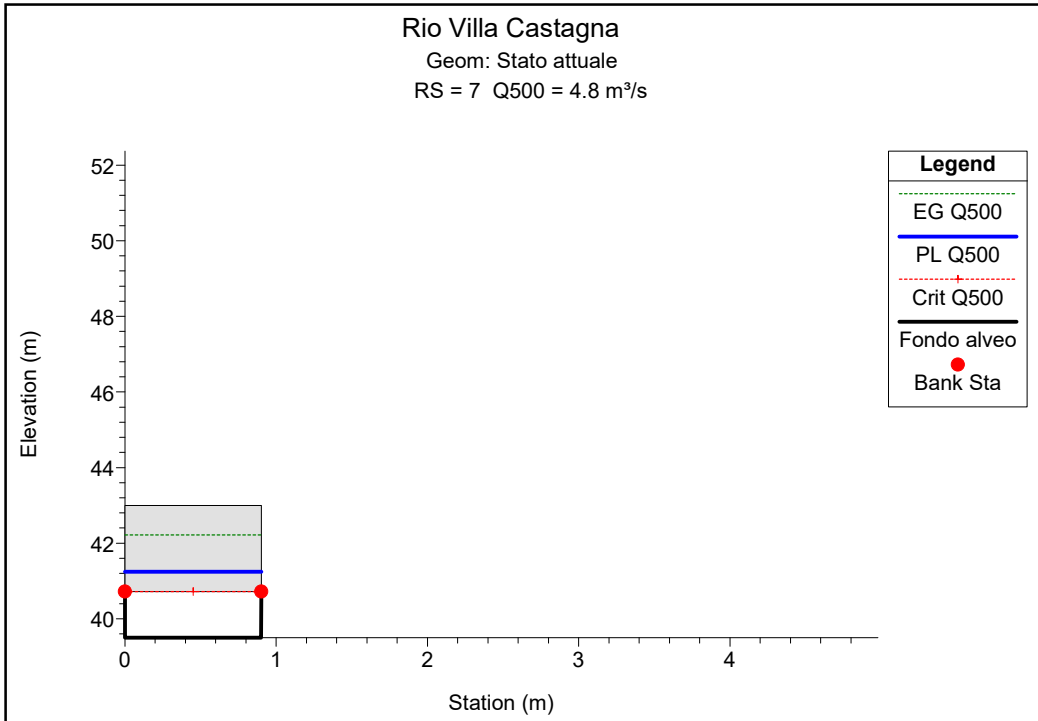
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 9 Q500 = 4.8 m³/s

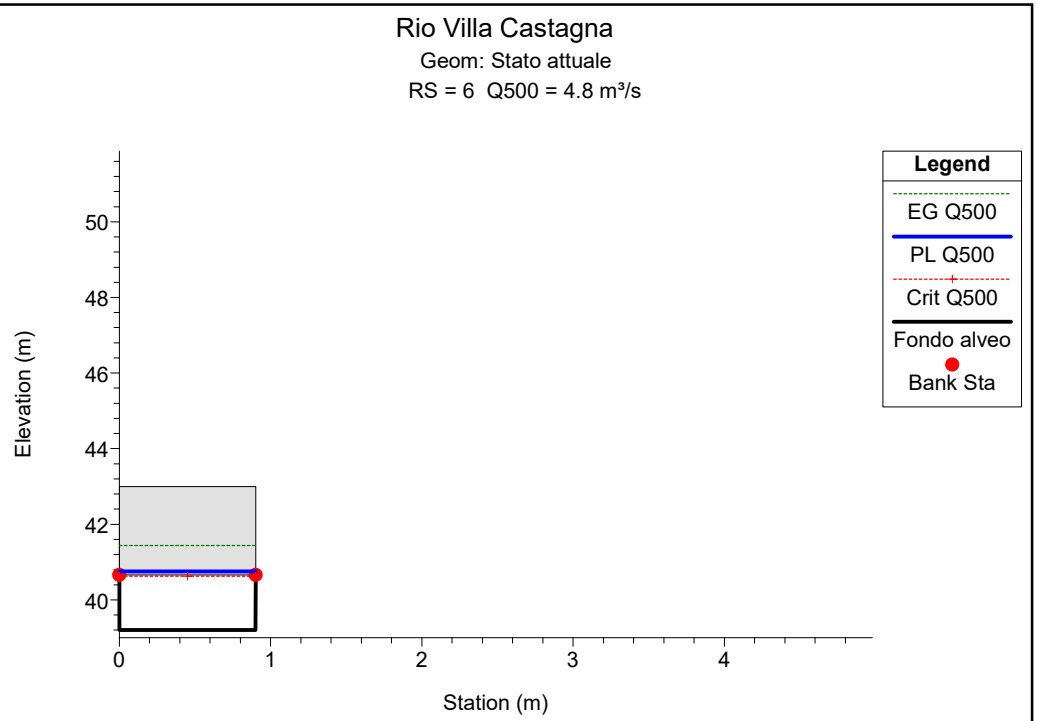


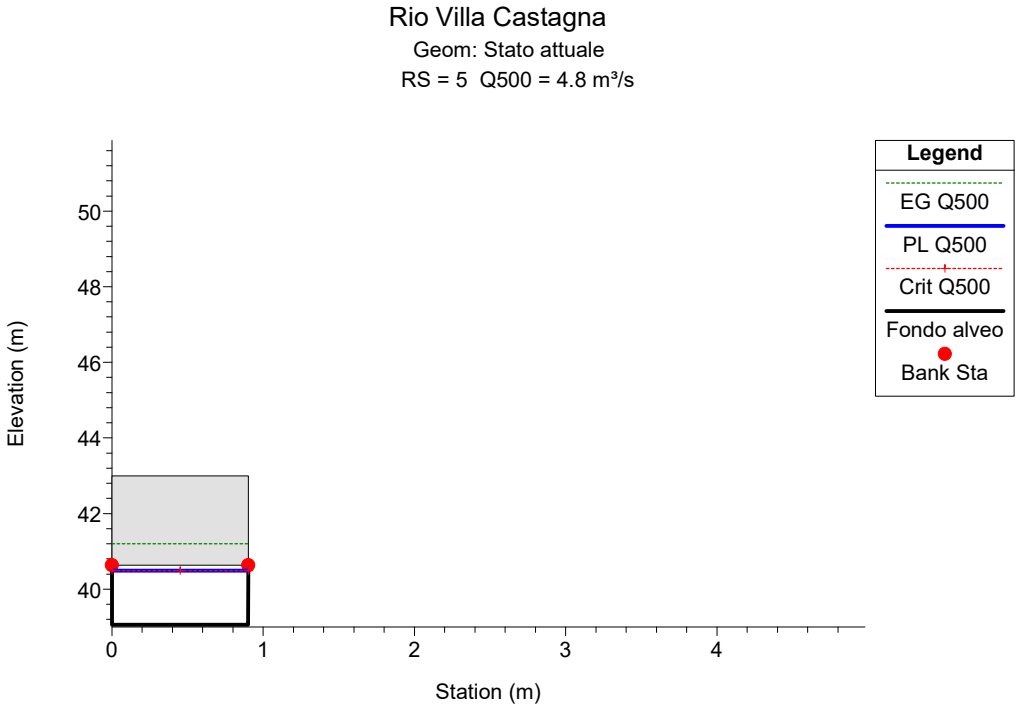
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 8 Q500 = 4.8 m³/s

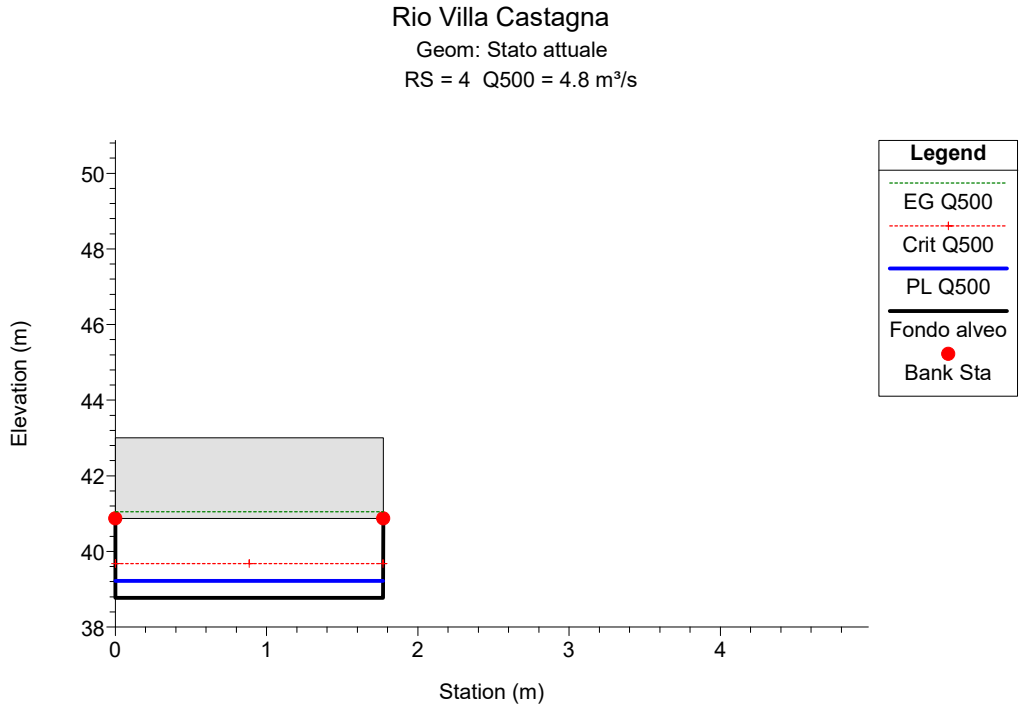


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m



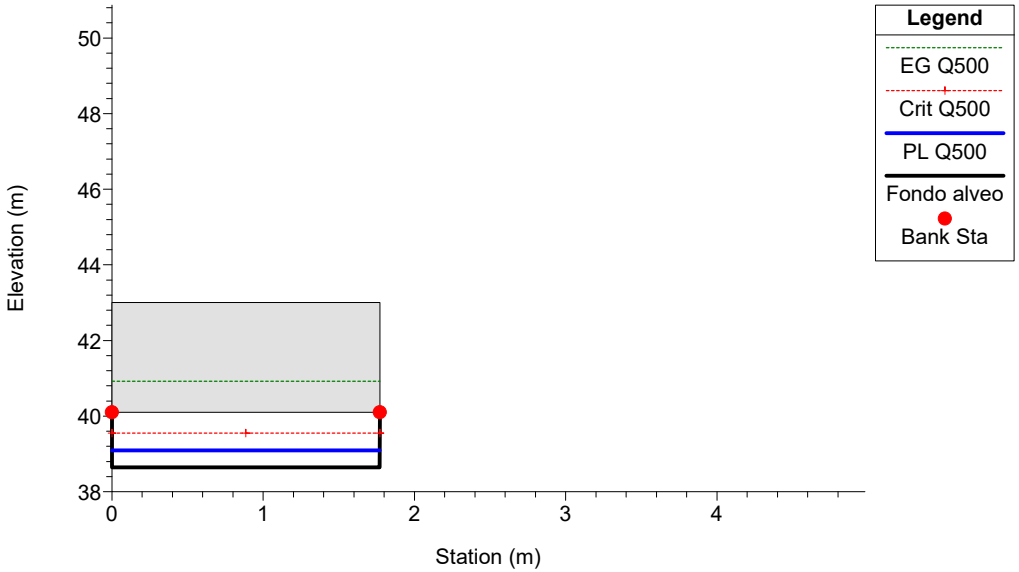




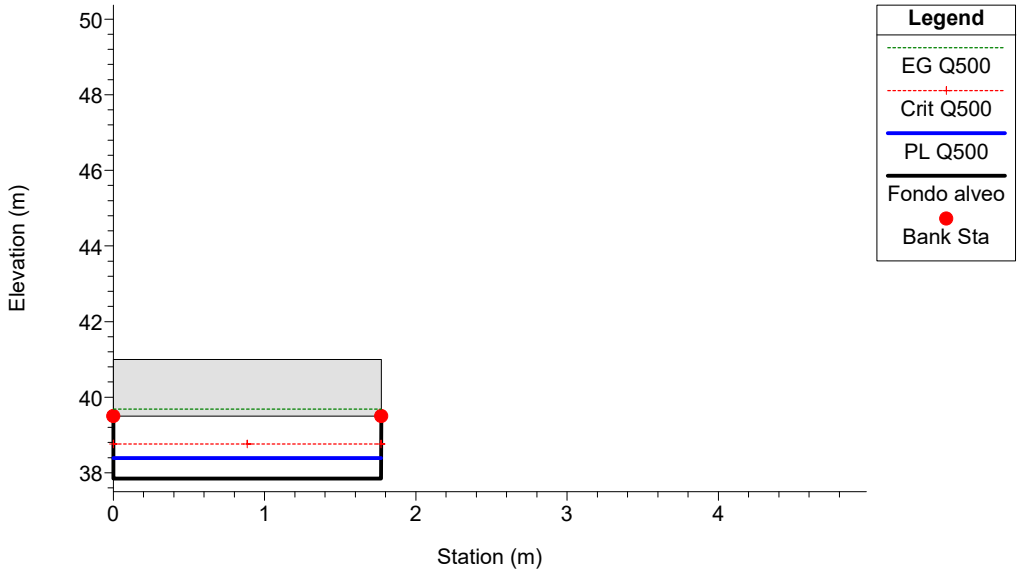


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

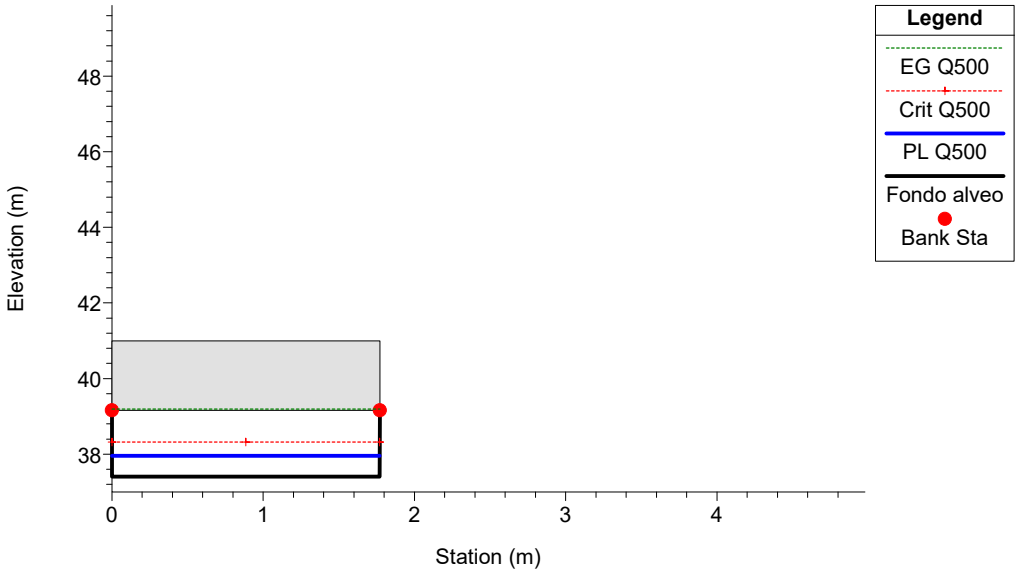
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 3 Q500 = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 2 Q500 = 4.8 m³/s



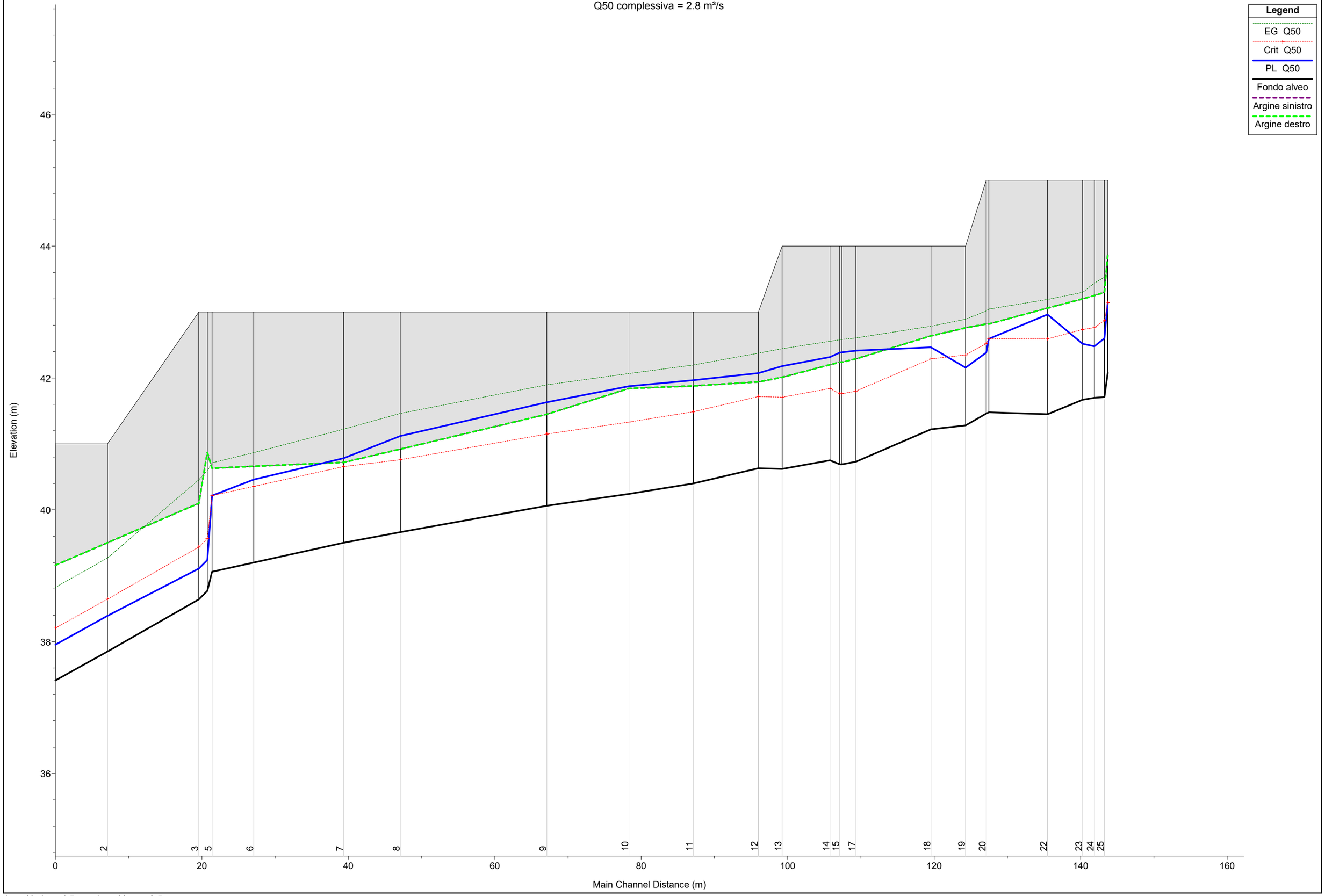
Rio Villa Castagna
Geom: Stato attuale
RS = 1 Q500 = 4.8 m³/s



1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 2 m

Rio Villa Castagna - Ostruzione fondo

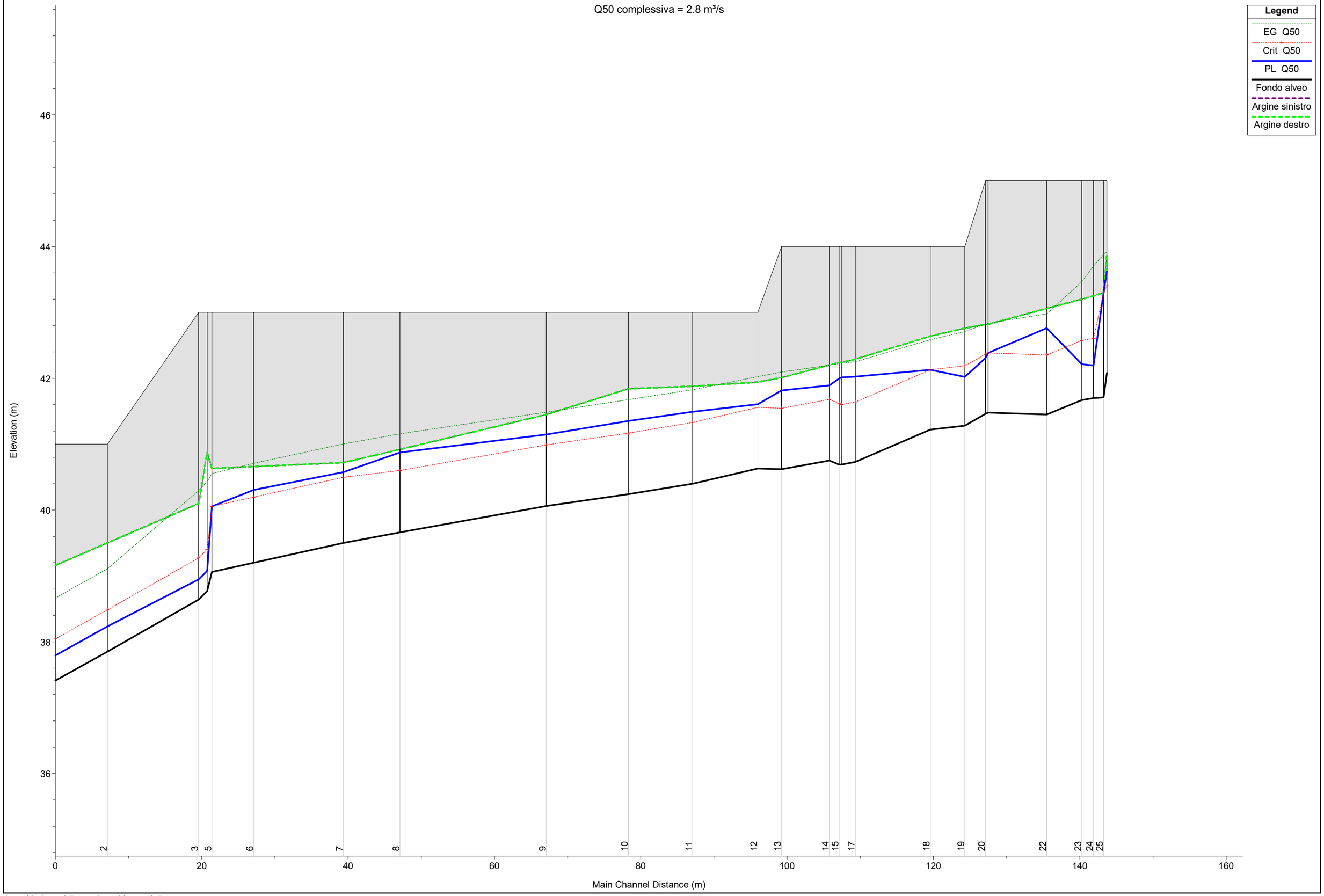
Q50 complessiva = 2.8 m³/s



1 cm Horiz. = 4.5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

Rio Villa Castagna - Ostruzione imbocco

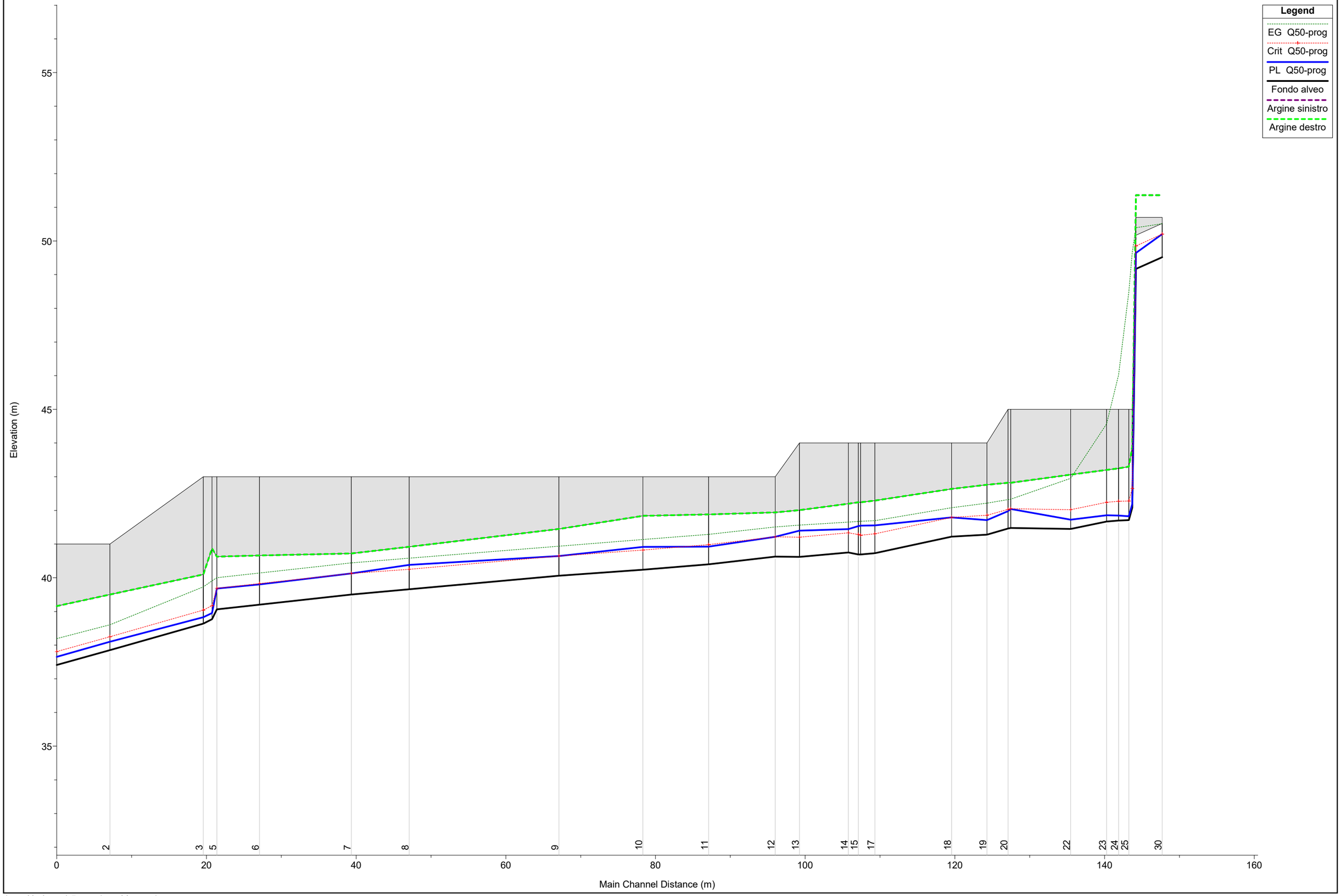
Q50 complessiva = 2.8 m³/s



1 cm Horiz. = 4.5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

Rio Villa Castagna

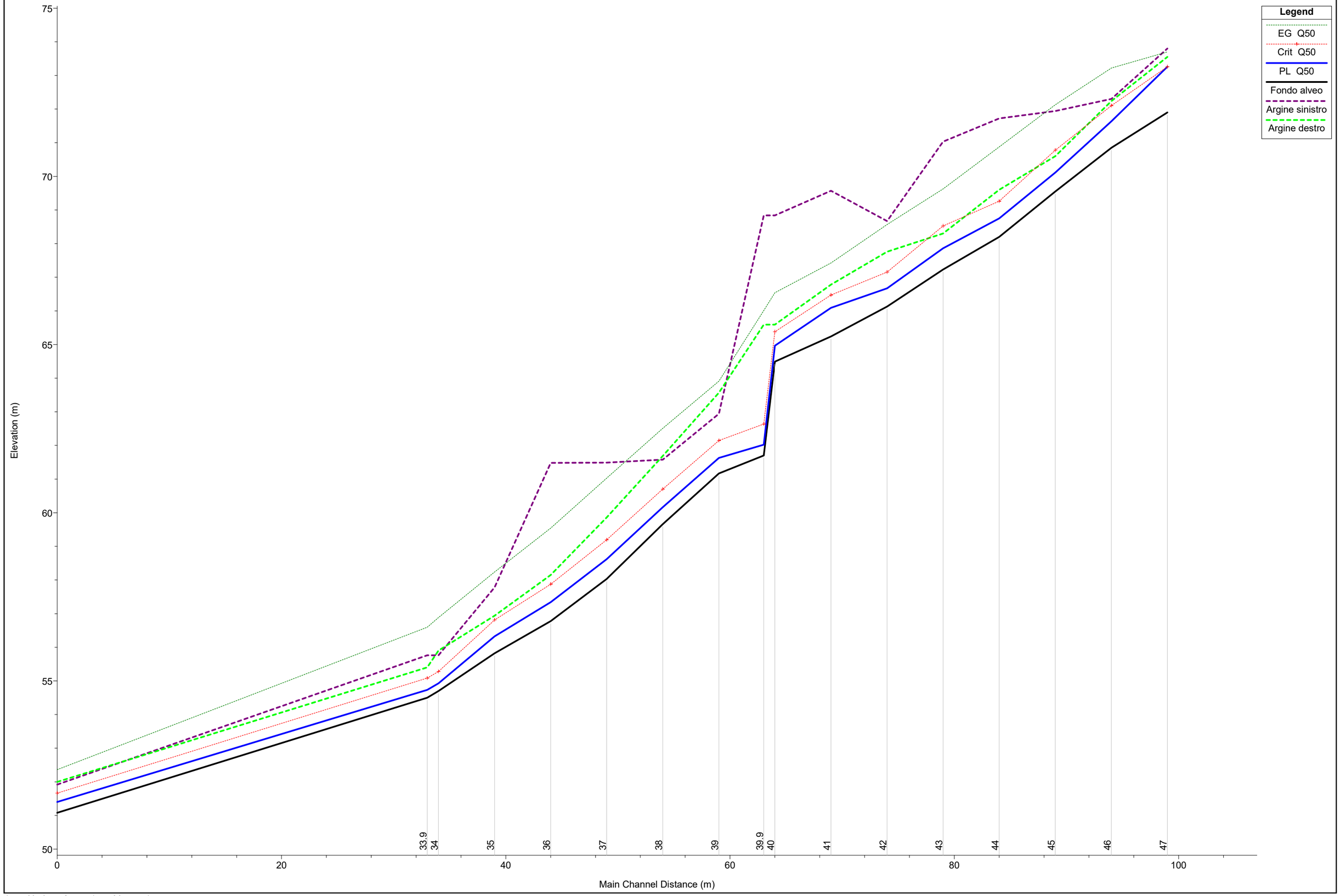
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente Q50 residua = 1.4 m³/s



1 cm Horiz. = 4.5 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Villa Castagna

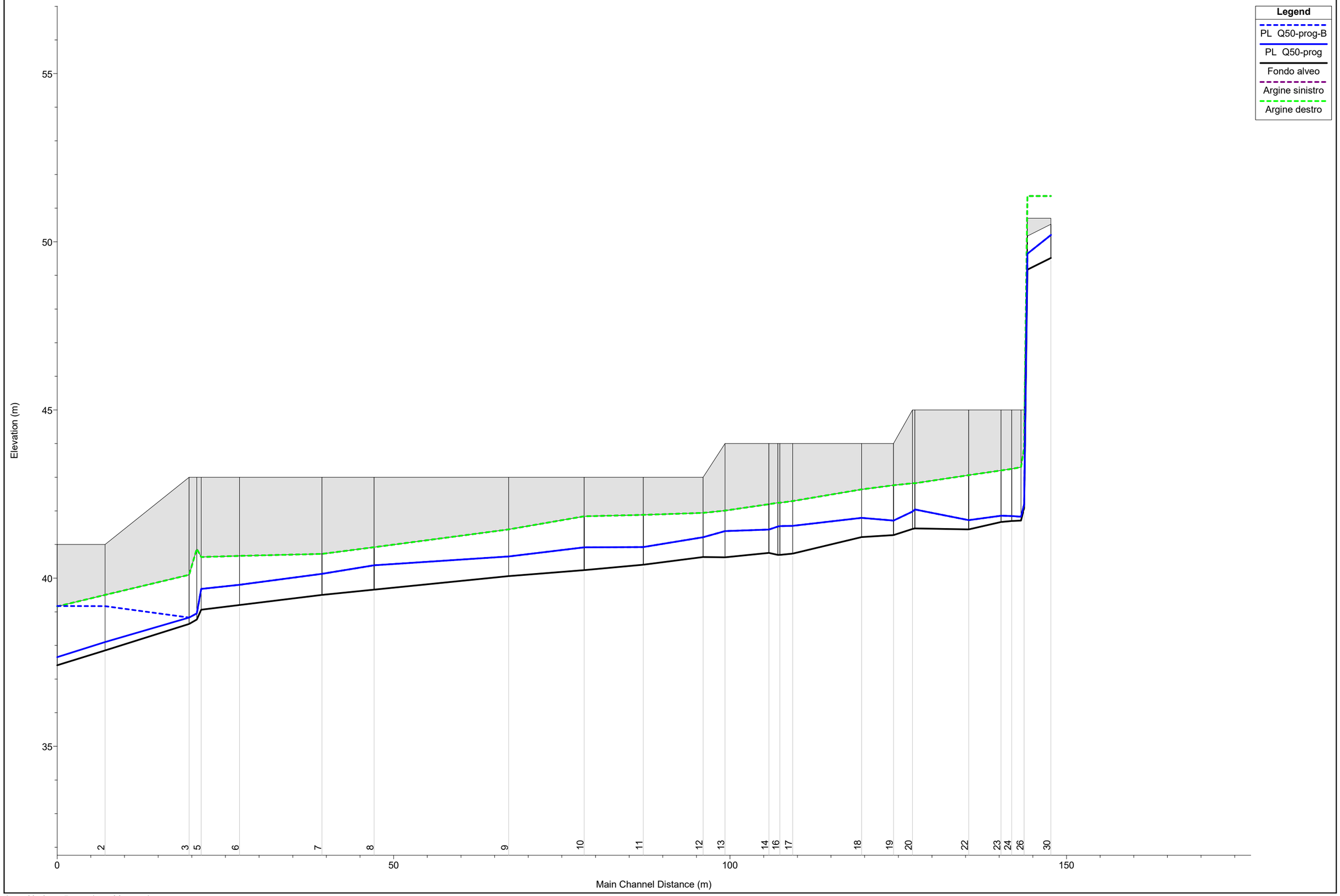
Geom: Stato di progetto-tratto di monte Q50 complessiva = 2.8 m³/s



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente Raffronto con e senza piena su t Bisagno Q50 residua = 1.4 m³/s



1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 1 m

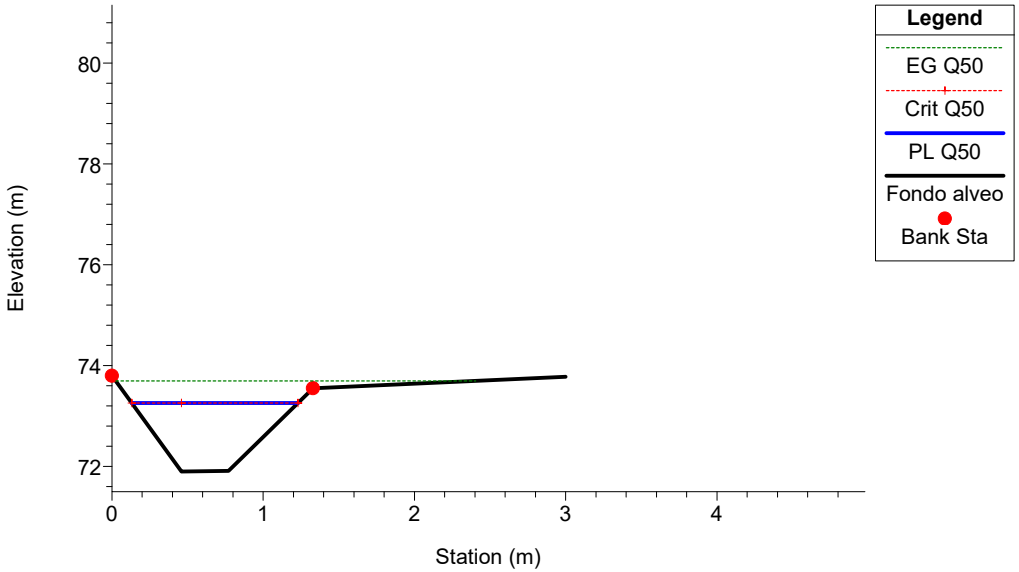
HEC-RAS Plan: Stato di progetto-monte River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	47	Q50	99.00	2.80	71.90	73.80	73.55	73.26	1.36	0.87	73.70	2.94	0.95	1.10	1.01
Rio Villa castag	46	Q50	94.00	2.80	70.85	72.30	72.24	71.64	0.79	0.60	73.22	5.57	0.50	0.84	2.30
Rio Villa castag	45	Q50	89.00	2.80	69.55	71.94	70.60	70.11	0.56	0.49	72.13	6.29	0.45	0.90	2.86
Rio Villa castag	44	Q50	84.00	2.80	68.20	71.72	69.60	68.75	0.55	0.46	70.88	6.46	0.43	0.94	3.03
Rio Villa castag	43	Q50	79.00	2.80	67.23	71.03	68.30	67.86	0.63	0.54	69.63	5.88	0.48	0.89	2.56
Rio Villa castag	42	Q50	74.00	2.80	66.13	68.67	67.76	66.67	0.54	0.50	68.57	6.09	0.46	0.91	2.74
Rio Villa castag	41	Q50	69.00	2.80	65.24	69.57	66.78	66.09	0.85	0.52	67.42	5.11	0.55	1.05	2.26
Rio Villa castag	40	Q50	64.00	2.80	64.49	68.84	65.59	64.96	0.47	0.45	66.54	5.56	0.50	1.11	2.64
Rio Villa castag	39.9	Q50	63.00	2.80	61.70	68.84	65.59	62.02	0.32	0.32	66.01	8.84	0.32	0.99	5.00
Rio Villa castag	39	Q50	59.00	2.80	61.17	62.94	63.57	61.63	0.46	0.42	63.91	6.69	0.42	1.00	3.30
Rio Villa castag	38	Q50	54.00	2.80	59.66	61.58	61.69	60.16	0.50	0.45	62.51	6.78	0.41	0.92	3.23
Rio Villa castag	37	Q50	49.00	2.80	58.03	61.49	59.86	58.62	0.59	0.52	61.03	6.88	0.41	0.79	3.05
Rio Villa castag	36	Q50	44.00	2.80	56.78	61.48	58.15	57.34	0.56	0.48	59.54	6.57	0.43	0.89	3.03
Rio Villa castag	35	Q50	39.00	2.80	55.82	57.78	56.94	56.32	0.50	0.49	58.24	6.13	0.46	0.92	2.78
Rio Villa castag	34	Q50	34.00	2.80	54.70	55.76	55.90	54.93	0.23	0.23	56.88	6.20	0.45	2.00	4.16
Rio Villa castag	33.9	Q50	33.00	2.80	54.50	55.76	55.40	54.73	0.23	0.23	56.60	6.05	0.46	2.00	4.01
Rio Villa castag	32	Q50		2.80	51.08	51.92	52.00	51.40	0.32	0.32	52.36	4.34	0.64	2.00	2.44

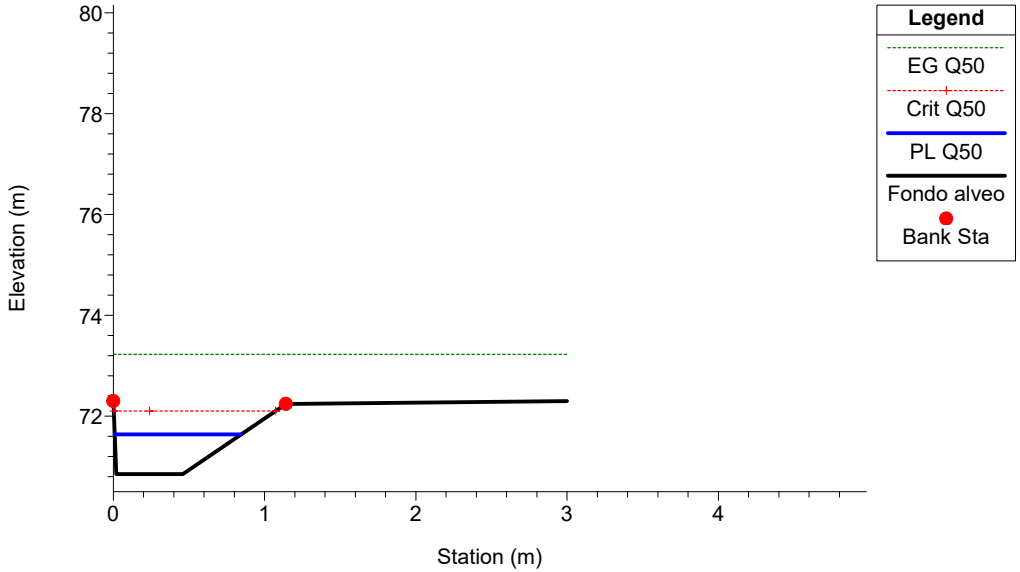
HEC-RAS Plan: Stato di progetto-valle River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q50-prog

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	30	Q50-prog	147.69	1.40	49.52	50.02	50.02	50.20	0.68	0.61	50.51	2.46	0.57	0.93	0.95
Rio Villa castag	29.9	Q50-prog	144.19	1.40	49.17	49.67	49.67	49.64	0.47	0.37	50.39	3.84	0.36	0.99	2.02
Rio Villa castag	26	Q50-prog	143.69	1.40	42.08	43.87	43.87	42.19	0.11	0.11	49.66	12.10	0.12	1.04	11.59
Rio Villa castag	25	Q50-prog	143.23	1.40	41.71	43.30	43.30	41.83	0.12	0.12	48.49	11.43	0.12	1.04	10.63
Rio Villa castag	24	Q50-prog	141.86	1.40	41.70	43.25	43.25	41.85	0.15	0.15	46.02	9.05	0.15	1.04	7.48
Rio Villa castag	23	Q50-prog	140.27	1.40	41.67	43.20	43.20	41.85	0.18	0.18	44.57	7.29	0.19	1.04	5.42
Rio Villa castag	22	Q50-prog	135.47	1.40	41.45	43.06	43.06	41.72	0.27	0.27	42.95	4.90	0.29	1.04	2.99
Rio Villa castag	21	Q50-prog	127.47	1.40	41.48	42.82	42.82	42.04	0.56	0.56	42.33	2.39	0.59	1.04	1.02
Rio Villa castag	20	Q50-prog	127.11	1.40	41.46	42.82	42.82	41.98	0.52	0.52	42.32	2.61	0.54	1.04	1.16
Rio Villa castag	19	Q50-prog	124.29	1.40	41.28	42.76	42.76	41.71	0.43	0.43	42.22	3.15	0.44	1.03	1.53
Rio Villa castag	18	Q50-prog	119.55	1.40	41.22	42.64	42.64	41.79	0.57	0.57	42.08	2.37	0.59	1.03	1.00
Rio Villa castag	17	Q50-prog	109.30	1.40	40.73	42.29	42.29	41.55	0.82	0.82	41.69	1.65	0.85	1.03	0.58
Rio Villa castag	16	Q50-prog	107.40	1.40	40.69	42.24	42.24	41.55	0.86	0.86	41.68	1.58	0.88	1.03	0.55
Rio Villa castag	15	Q50-prog	107.10	1.40	40.69	42.24	42.24	41.53	0.84	0.82	41.67	1.65	0.85	1.03	0.58
Rio Villa castag	14	Q50-prog	105.77	1.40	40.75	42.20	42.20	41.44	0.69	0.69	41.65	2.02	0.69	1.00	0.77
Rio Villa castag	13	Q50-prog	99.24	1.40	40.62	42.01	42.01	41.40	0.78	0.78	41.56	1.80	0.78	1.00	0.65
Rio Villa castag	12	Q50-prog	96.00	1.40	40.63	41.94	41.94	41.22	0.59	0.59	41.51	2.39	0.59	1.00	1.00
Rio Villa castag	11	Q50-prog	87.10	1.40	40.40	41.88	41.88	40.92	0.52	0.52	41.29	2.68	0.52	1.00	1.19
Rio Villa castag	10	Q50-prog	78.31	1.40	40.24	41.84	41.84	40.92	0.68	0.67	41.13	2.07	0.67	1.00	0.81
Rio Villa castag	9	Q50-prog	67.09	1.40	40.06	41.45	41.45	40.64	0.58	0.58	40.94	2.40	0.58	1.00	1.00
Rio Villa castag	8	Q50-prog	47.09	1.40	39.66	40.92	40.92	40.38	0.72	0.72	40.58	1.98	0.71	0.98	0.75
Rio Villa castag	7	Q50-prog	39.35	1.40	39.50	40.72	40.72	40.13	0.63	0.63	40.44	2.48	0.56	0.90	1.00
Rio Villa castag	6	Q50-prog	27.09	1.40	39.20	40.66	40.66	39.80	0.60	0.60	40.14	2.59	0.54	0.90	1.07
Rio Villa castag	5	Q50-prog	21.39	1.40	39.06	40.63	40.63	39.68	0.62	0.62	40.00	2.52	0.56	0.90	1.02
Rio Villa castag	4	Q50-prog	20.74	1.40	38.77	40.87	40.87	38.95	0.18	0.18	39.91	4.33	0.32	1.77	3.23
Rio Villa castag	3	Q50-prog	19.59	1.40	38.64	40.10	40.10	38.83	0.19	0.19	39.73	4.21	0.33	1.77	3.10
Rio Villa castag	2	Q50-prog	7.11	1.40	37.85	39.50	39.50	38.10	0.25	0.25	38.61	3.14	0.45	1.77	2.00
Rio Villa castag	1	Q50-prog		1.40	37.41	39.16	39.16	37.65	0.24	0.24	38.19	3.26	0.43	1.77	2.11

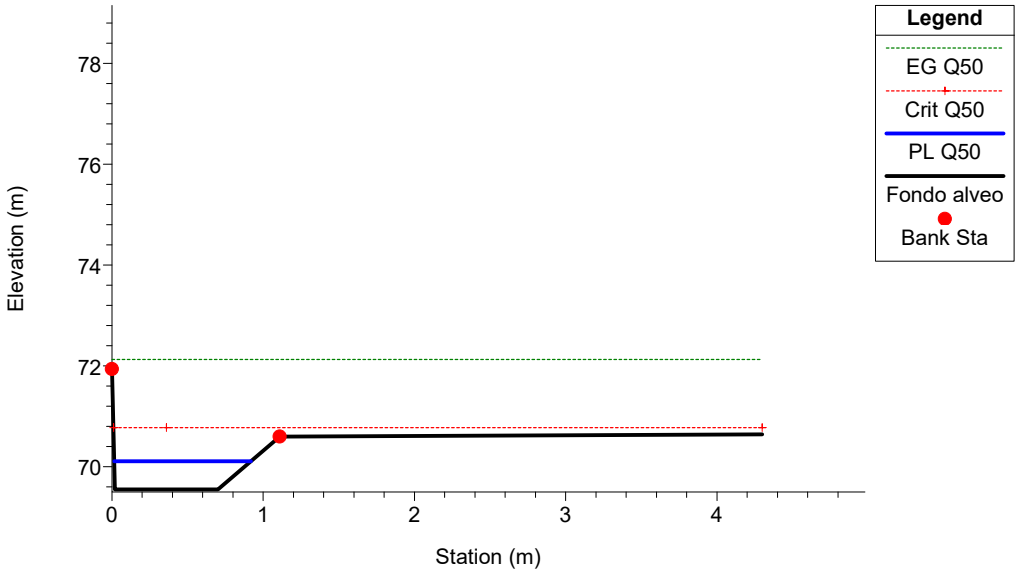
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 47 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



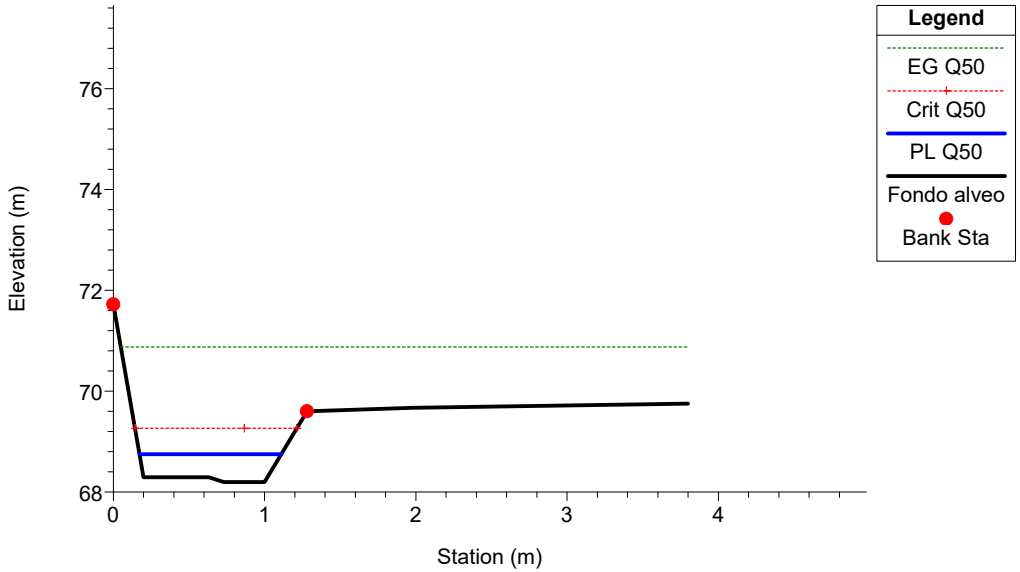
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 46 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 45 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 44 Q50 complessiva = 2.8 m³/s

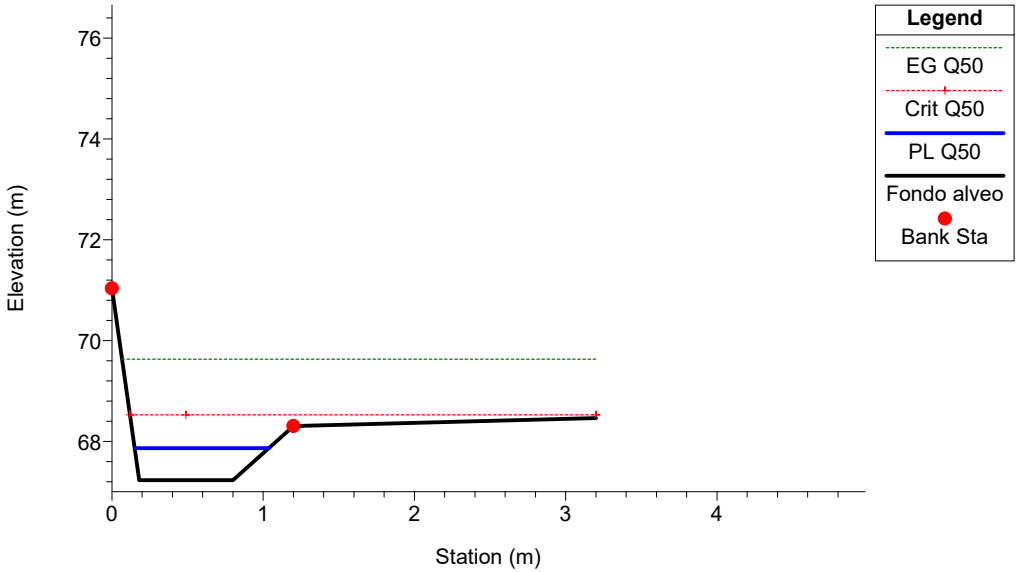


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

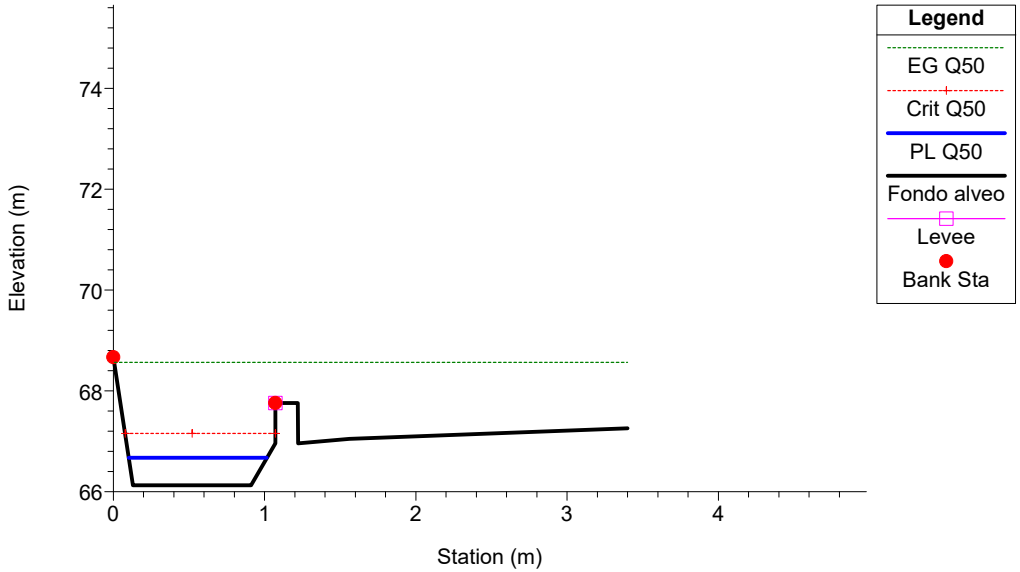
RS = 43 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

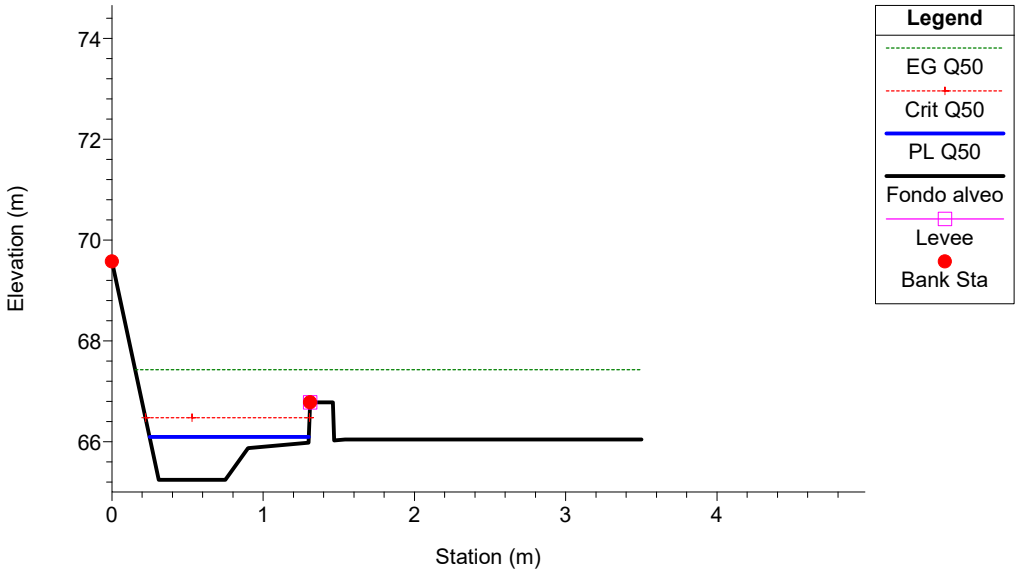
RS = 42 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

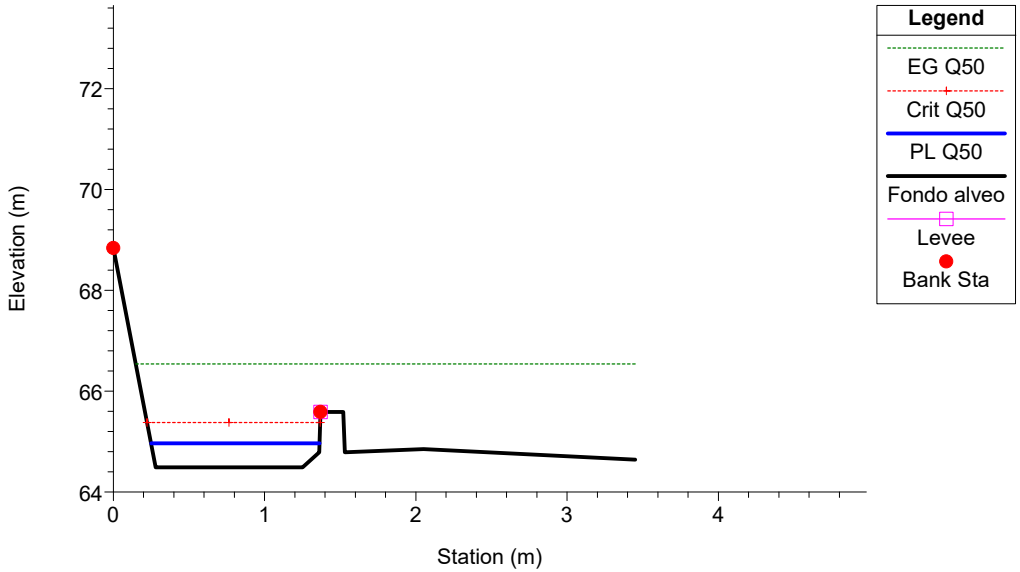
RS = 41 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 40 Q50 complessiva = 2.8 m³/s

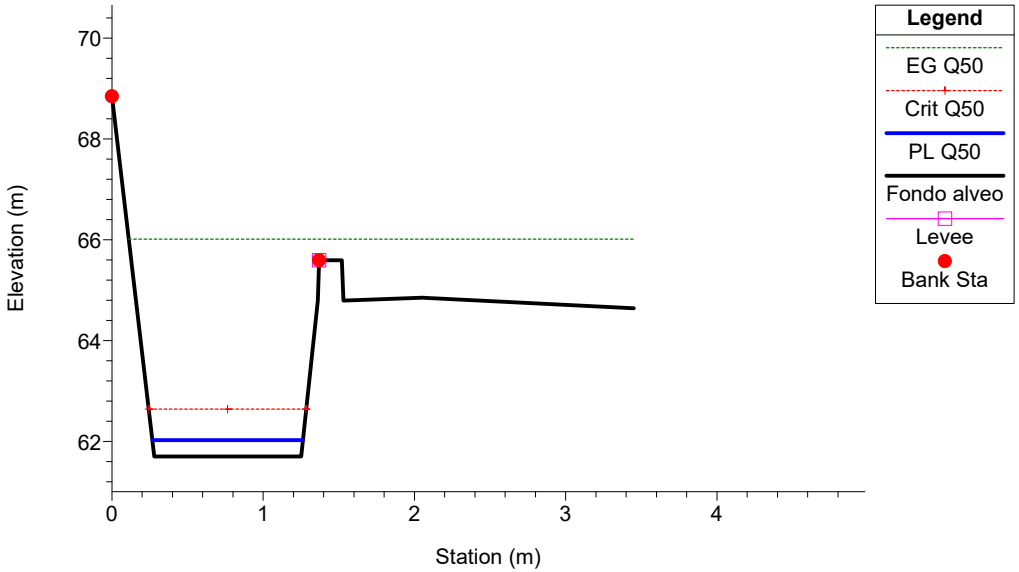


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

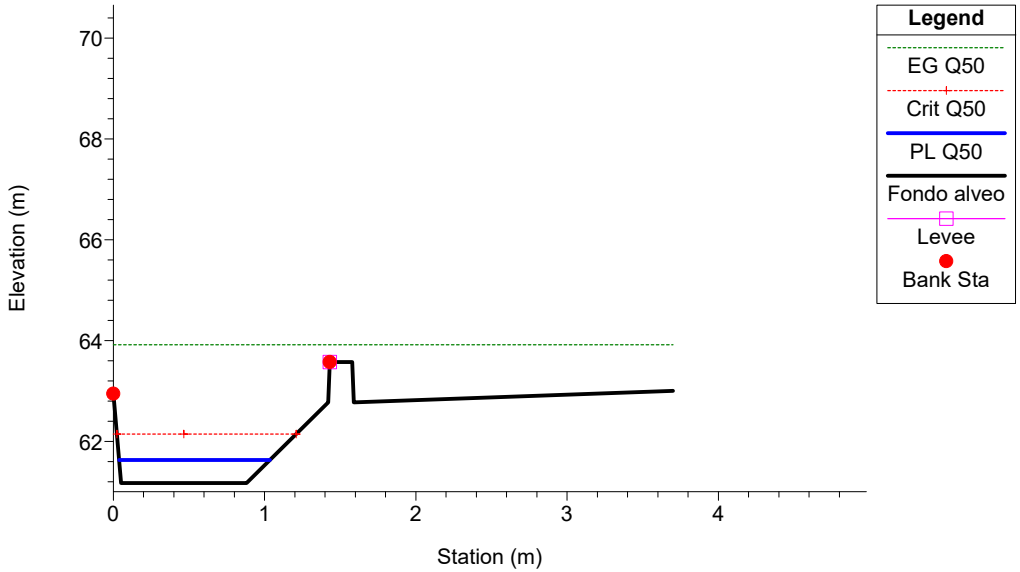
RS = 39.9 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

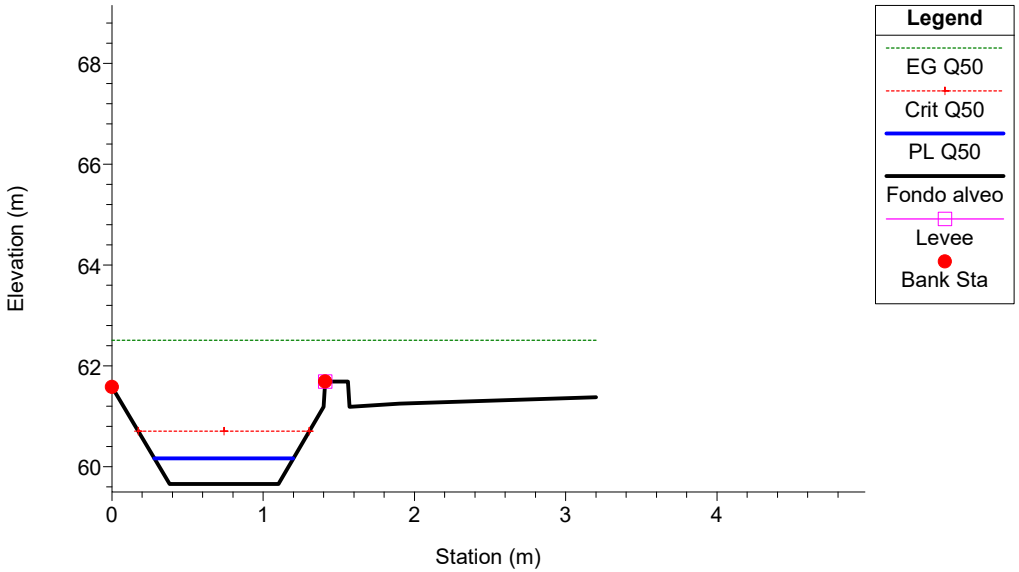
RS = 39 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

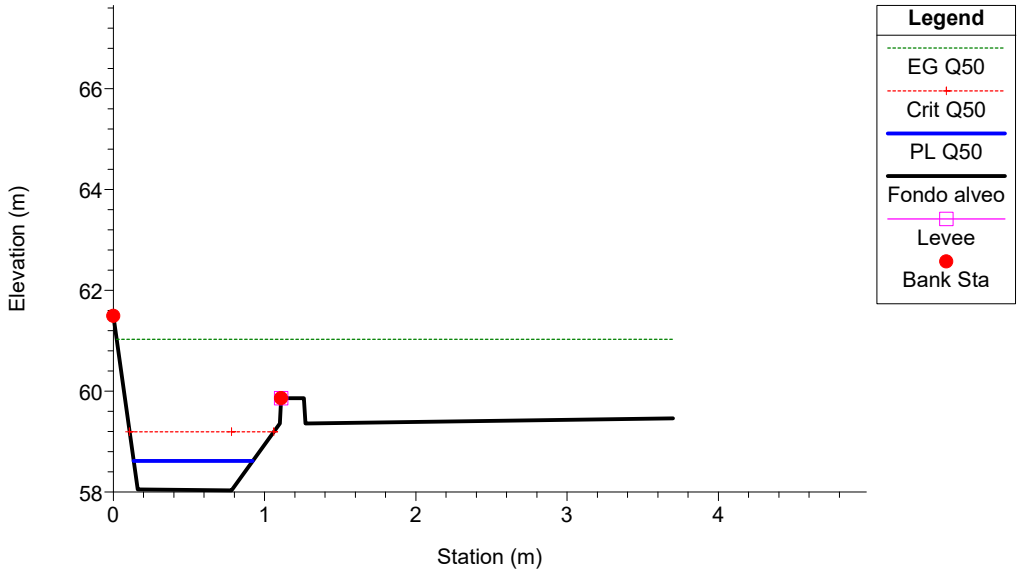
RS = 38 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 37 Q50 complessiva = 2.8 m³/s

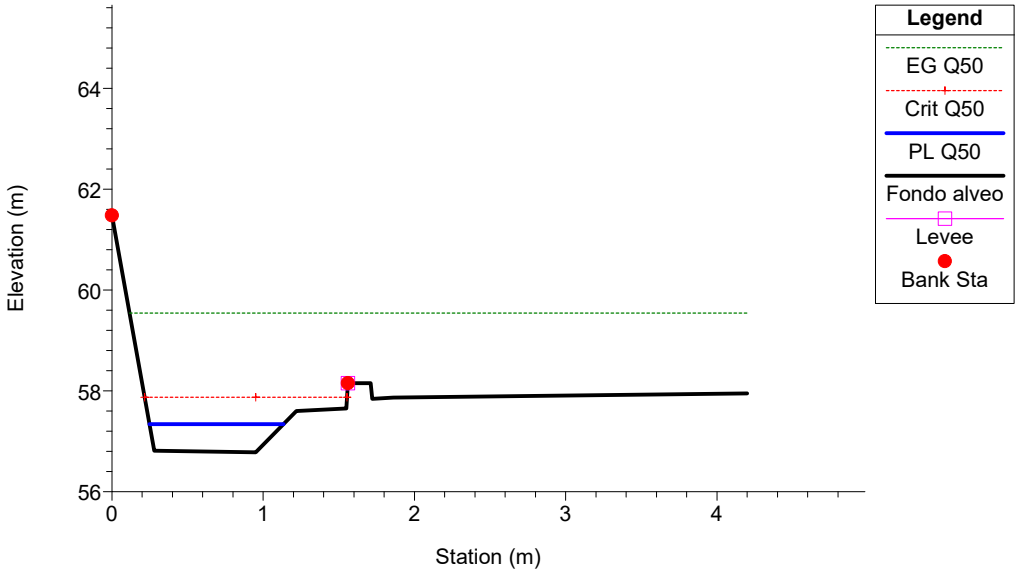


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

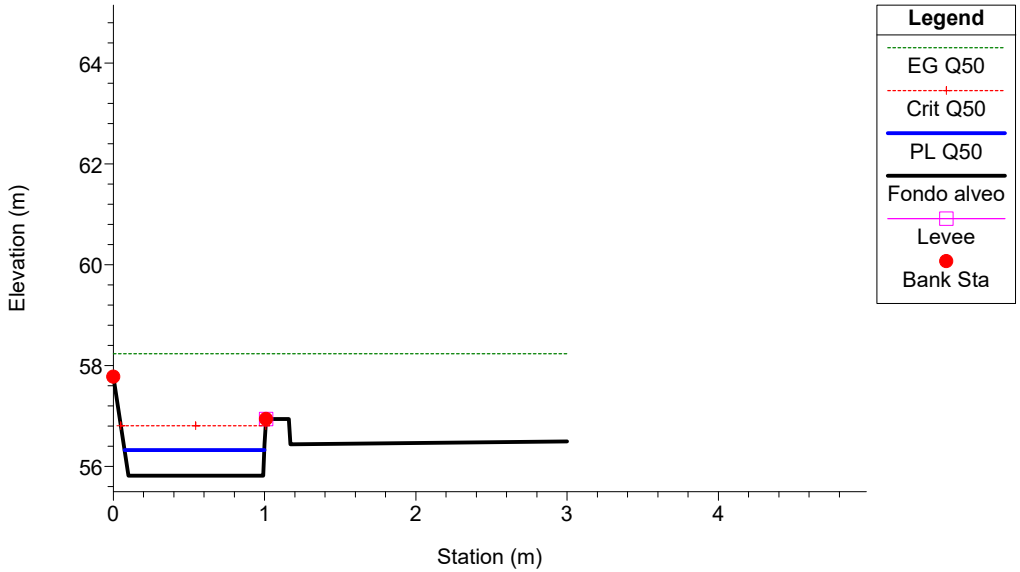
RS = 36 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

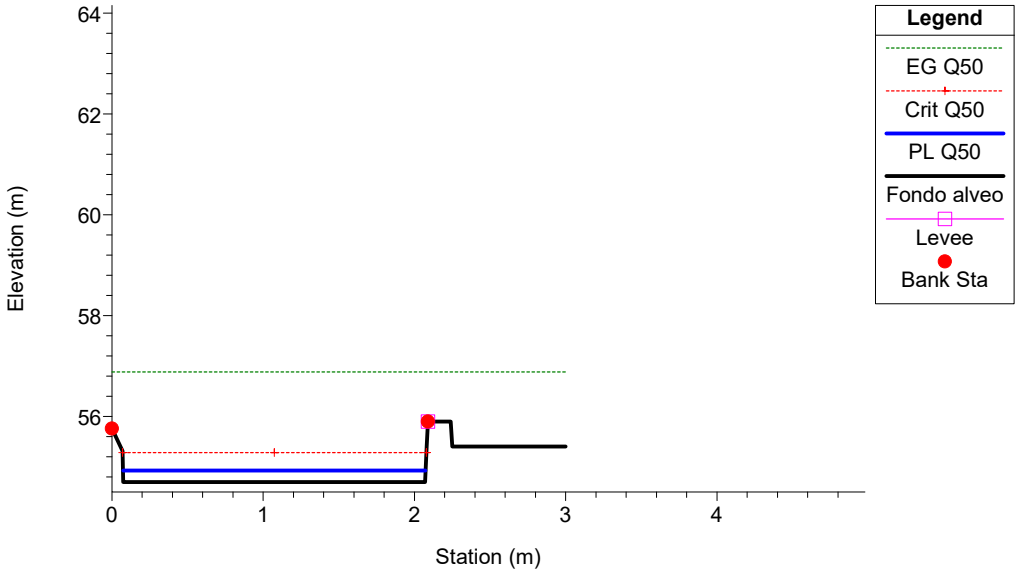
RS = 35 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

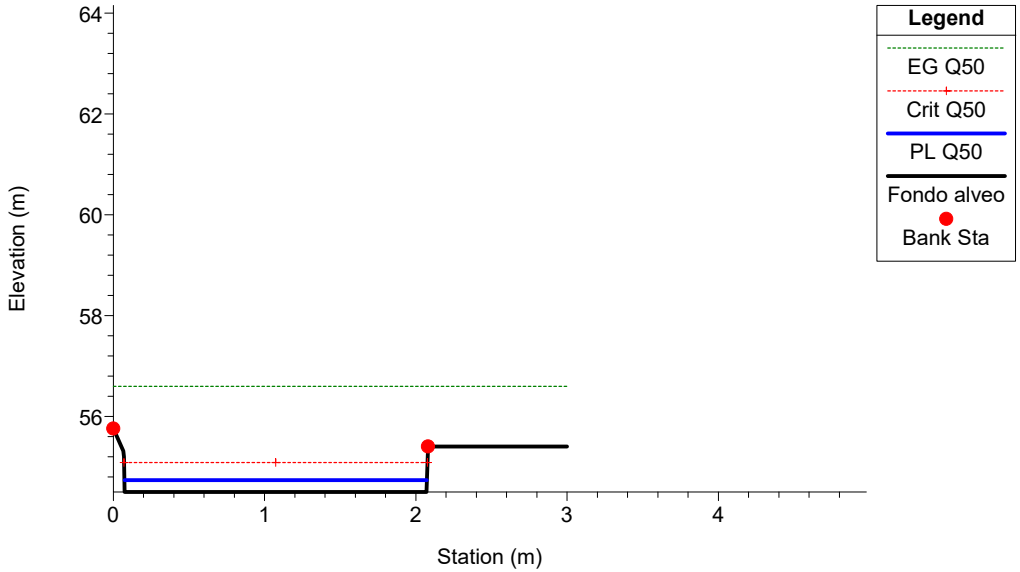
RS = 34 Q50 complessiva = 2.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 33.9 Q50 complessiva = 2.8 m³/s

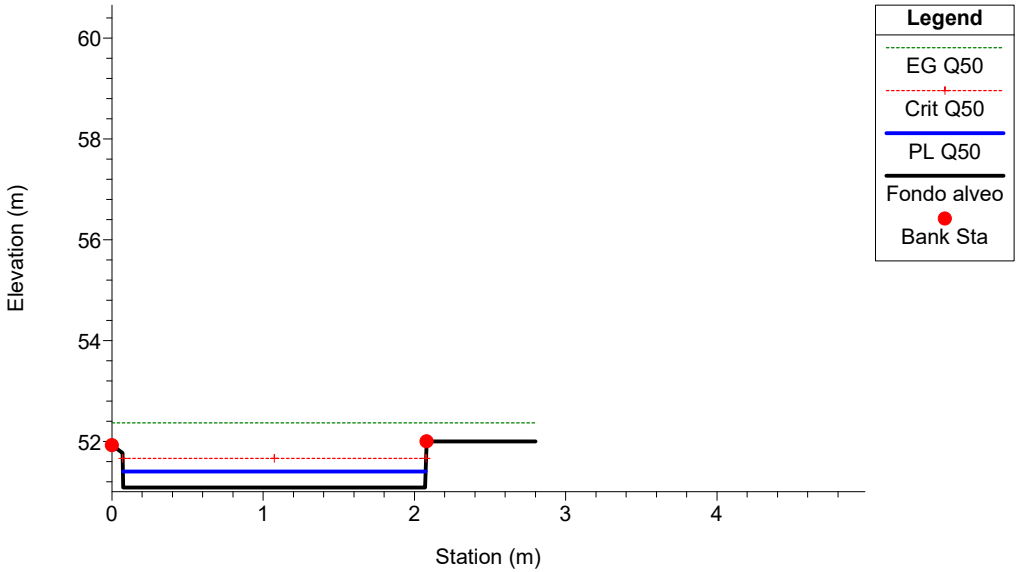


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 32 Q50 complessiva = 2.8 m³/s

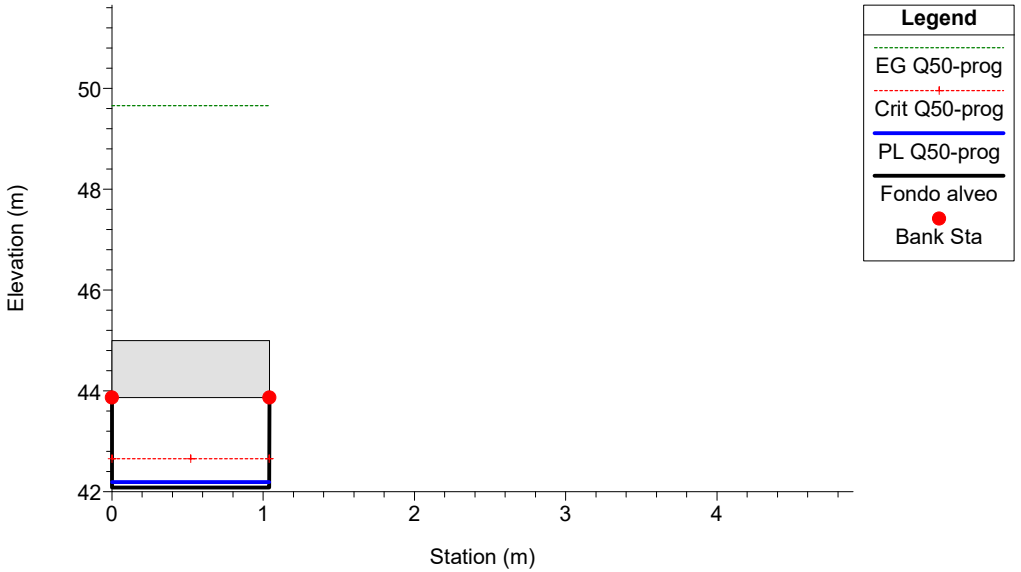


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

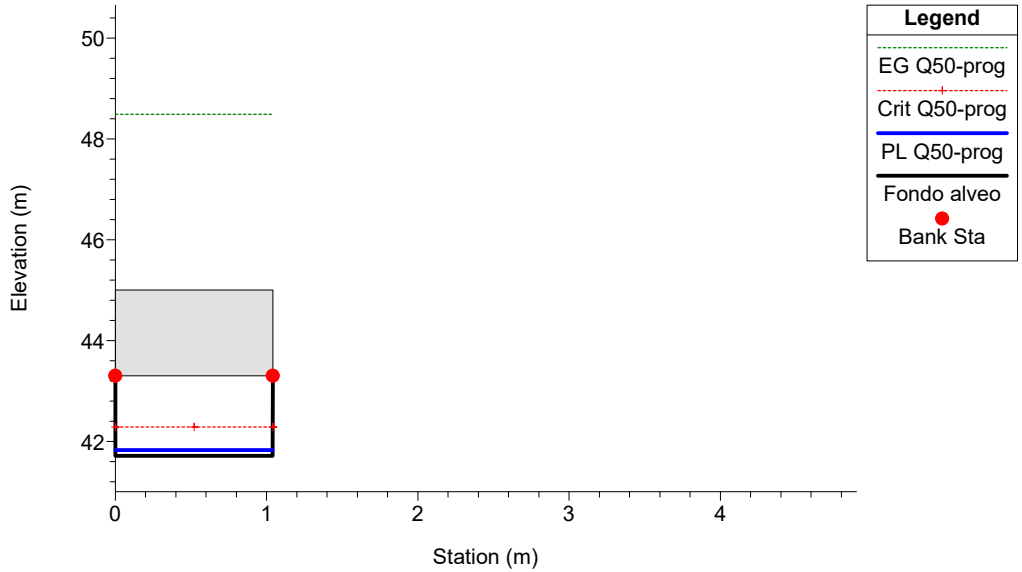
RS = 26 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

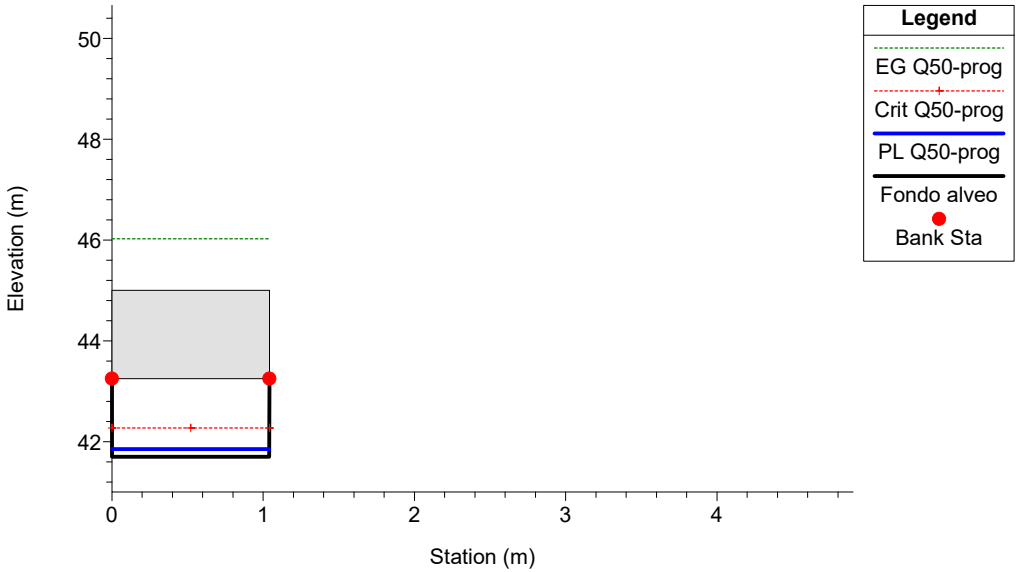
RS = 25 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

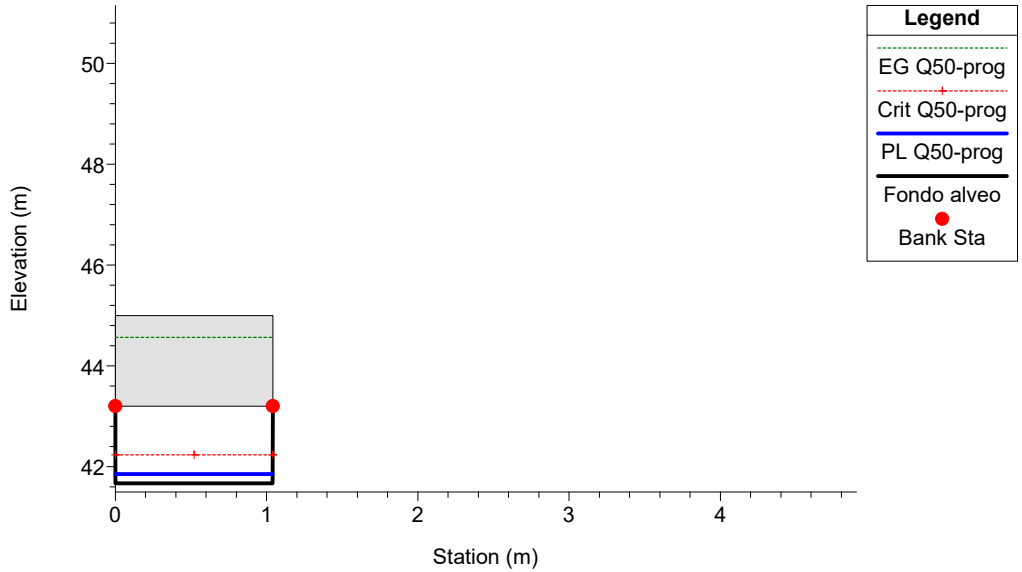
RS = 24 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

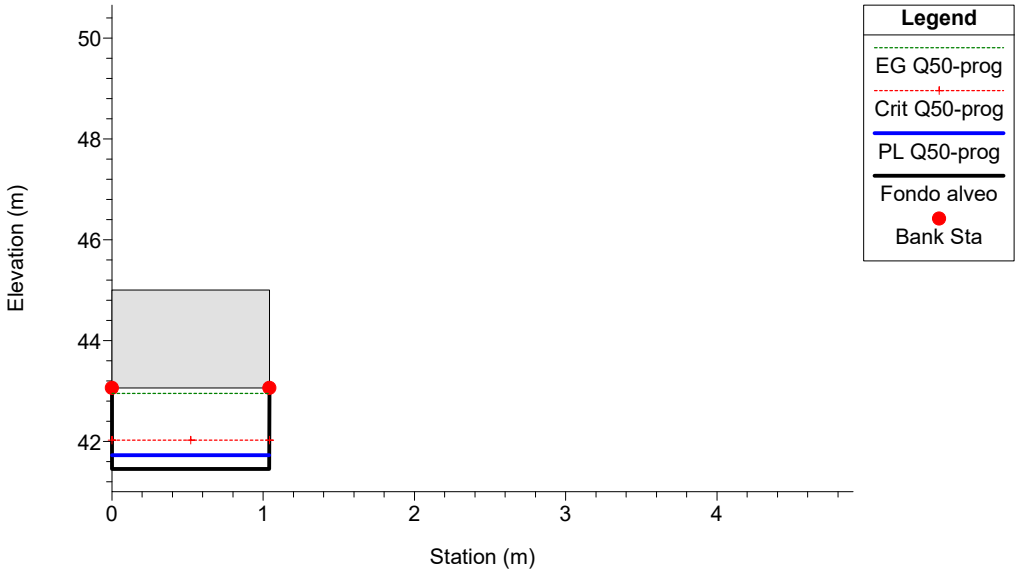
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

RS = 23 Q50 residua = 1.4 m³/s

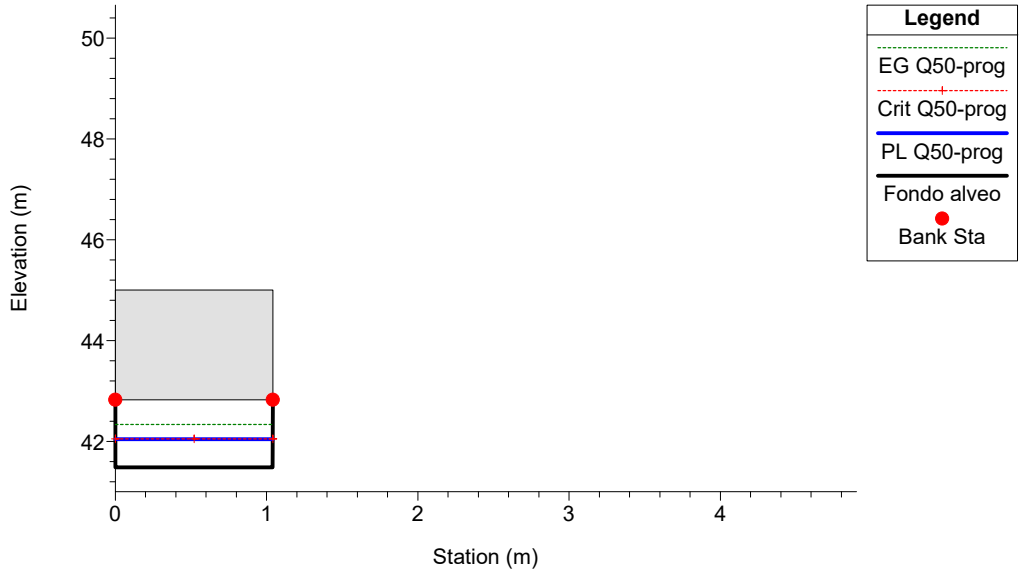


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

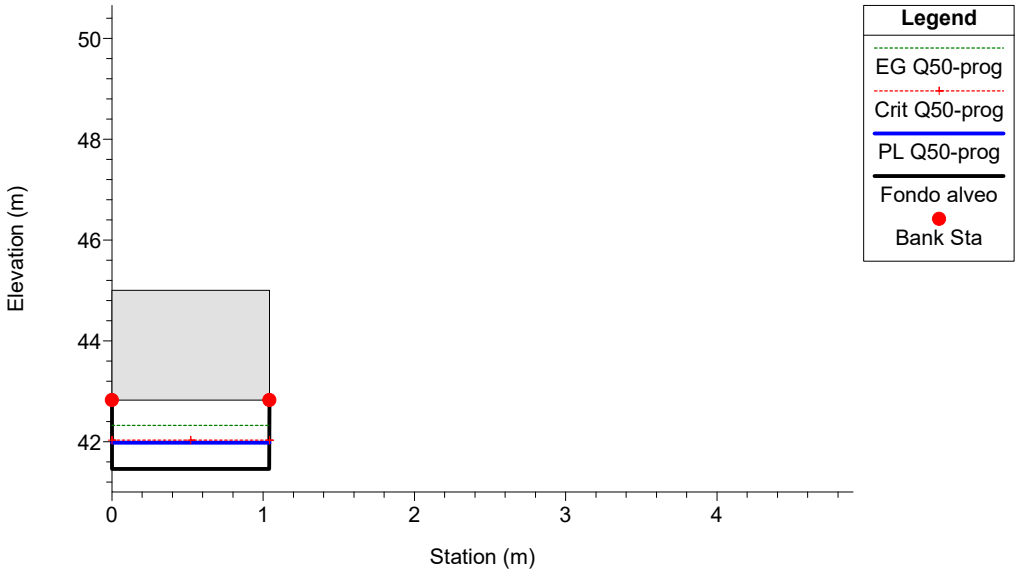
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 22 Q50 residua = 1.4 m³/s



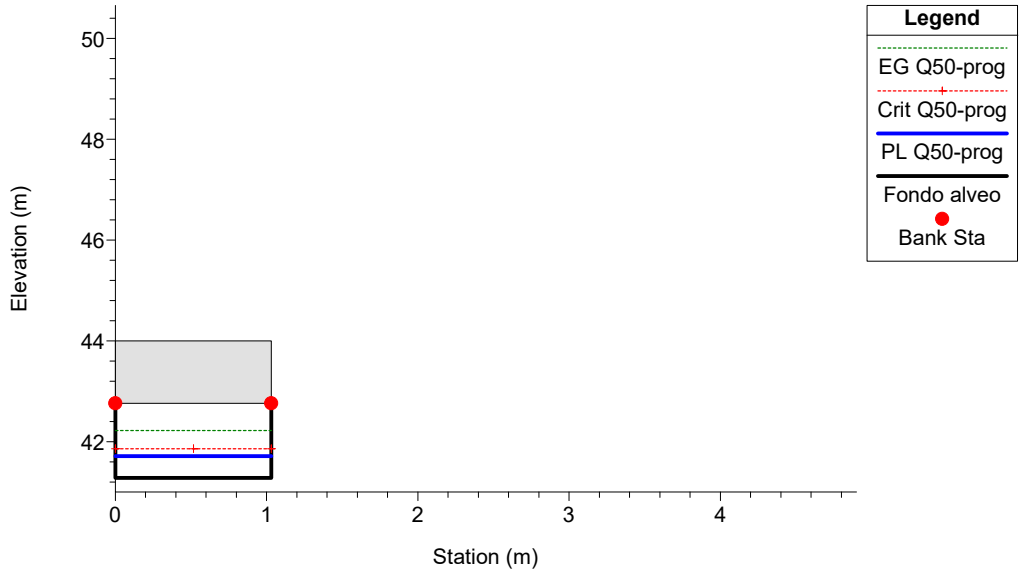
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 21 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 20 Q50 residua = 1.4 m³/s

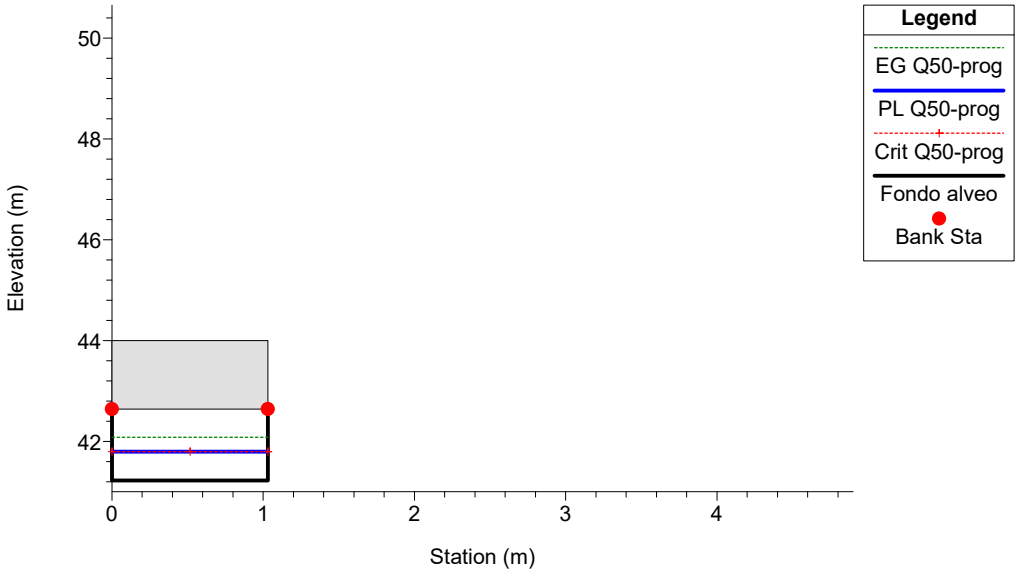


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 19 Q50 residua = 1.4 m³/s

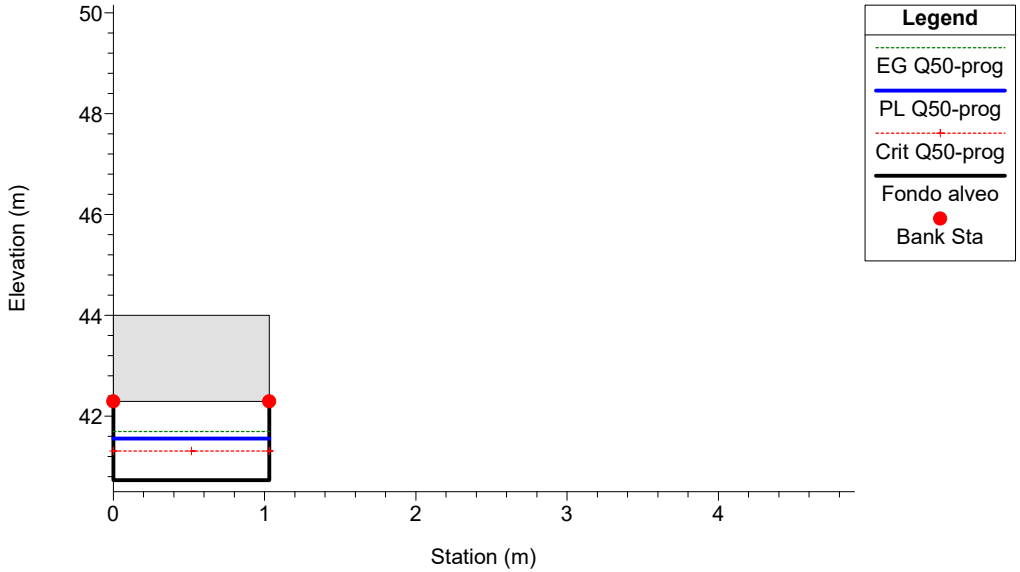


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

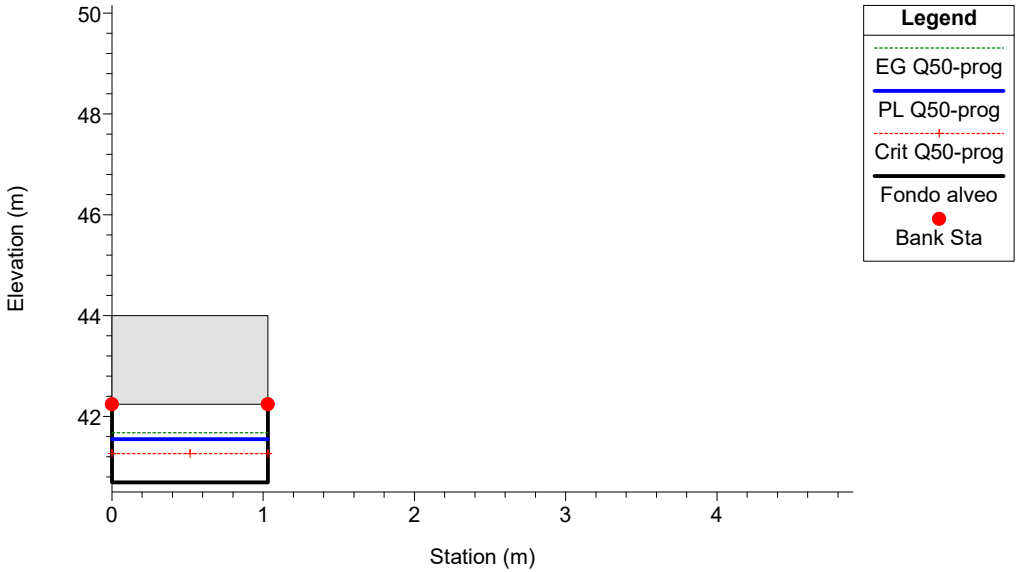
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 18 Q50 residua = 1.4 m³/s



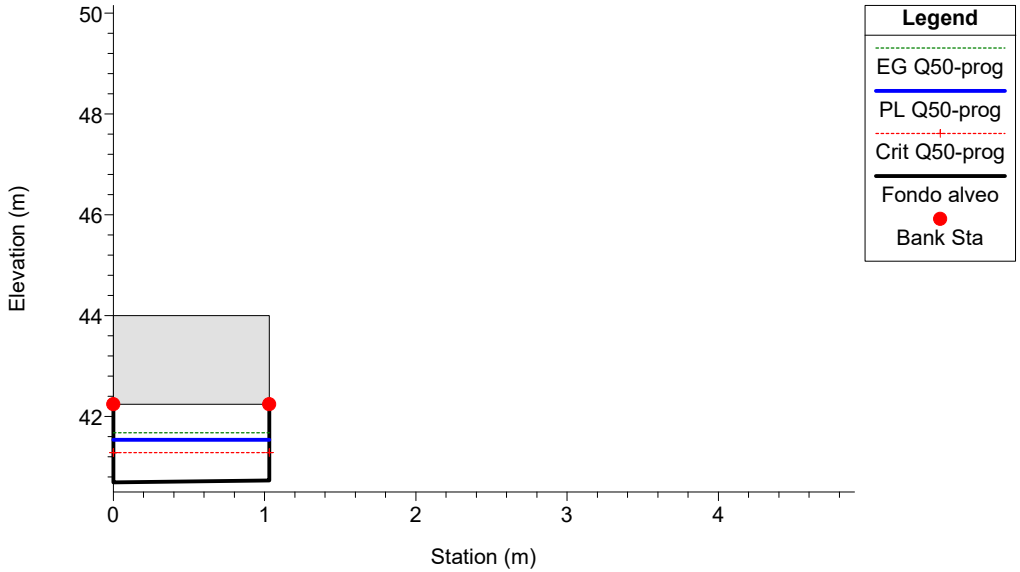
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 17 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 16 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 15 Q50 residua = 1.4 m³/s

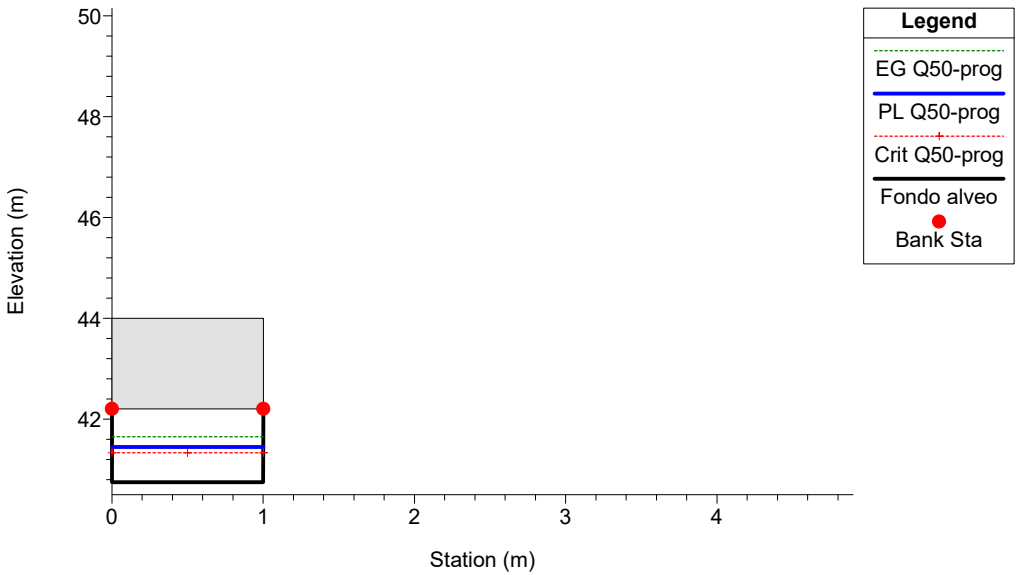


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

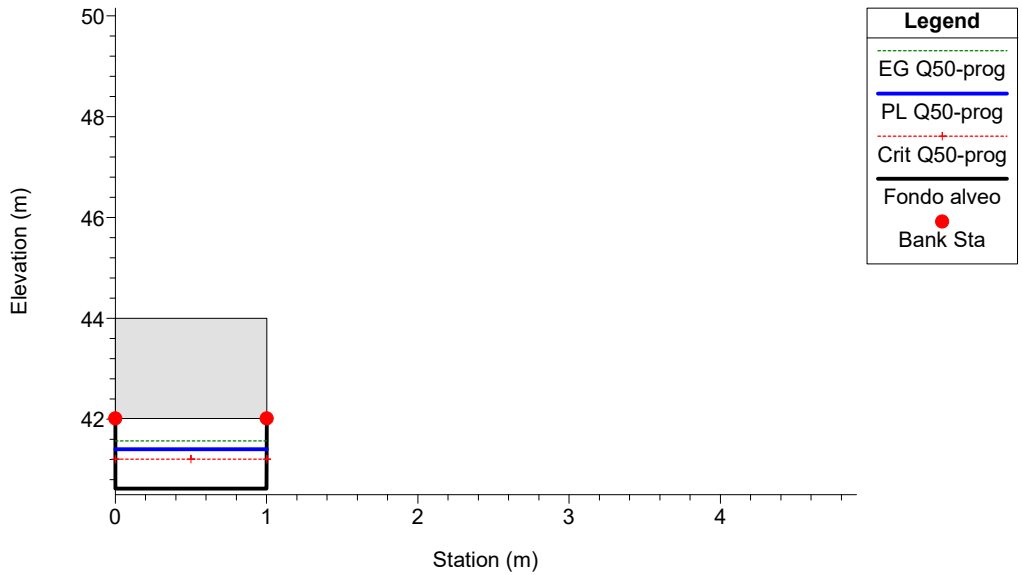
RS = 14 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

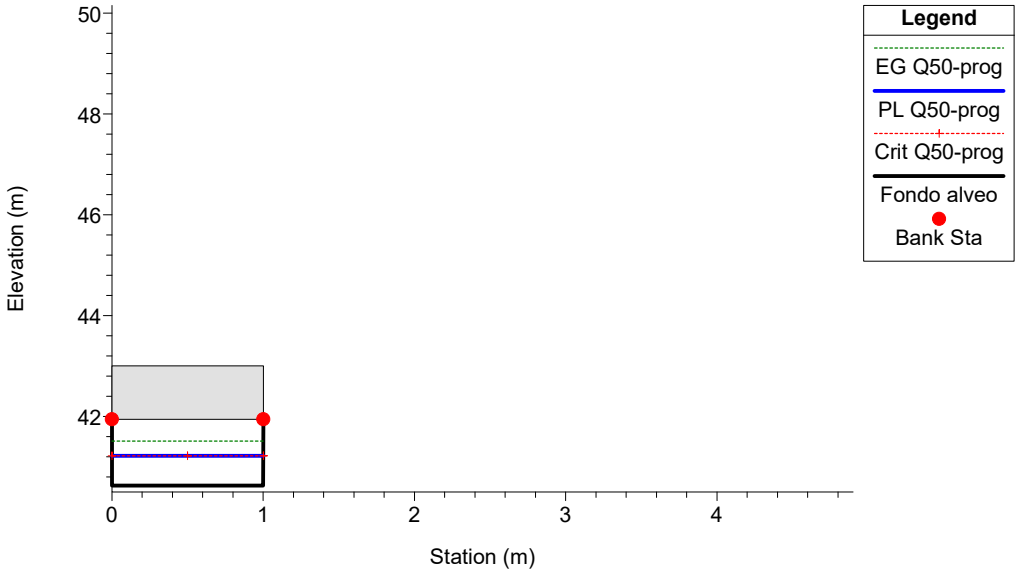
RS = 13 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

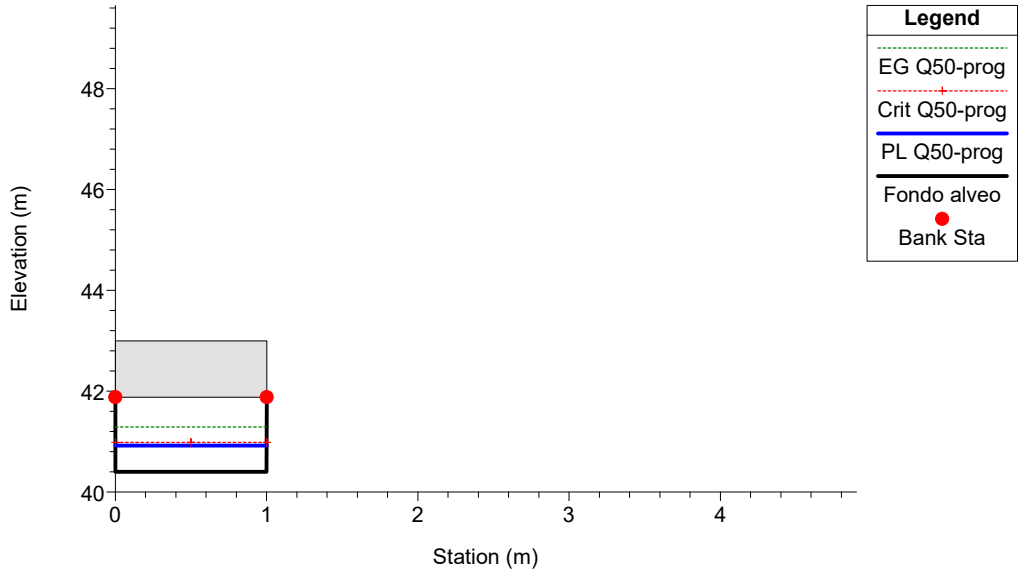
RS = 12 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

RS = 11 Q50 residua = 1.4 m³/s

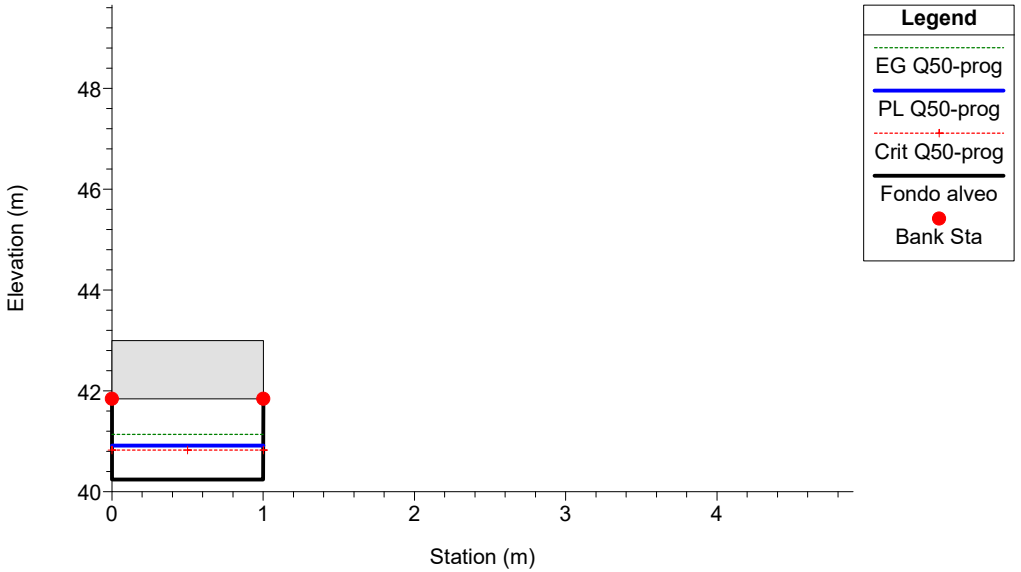


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

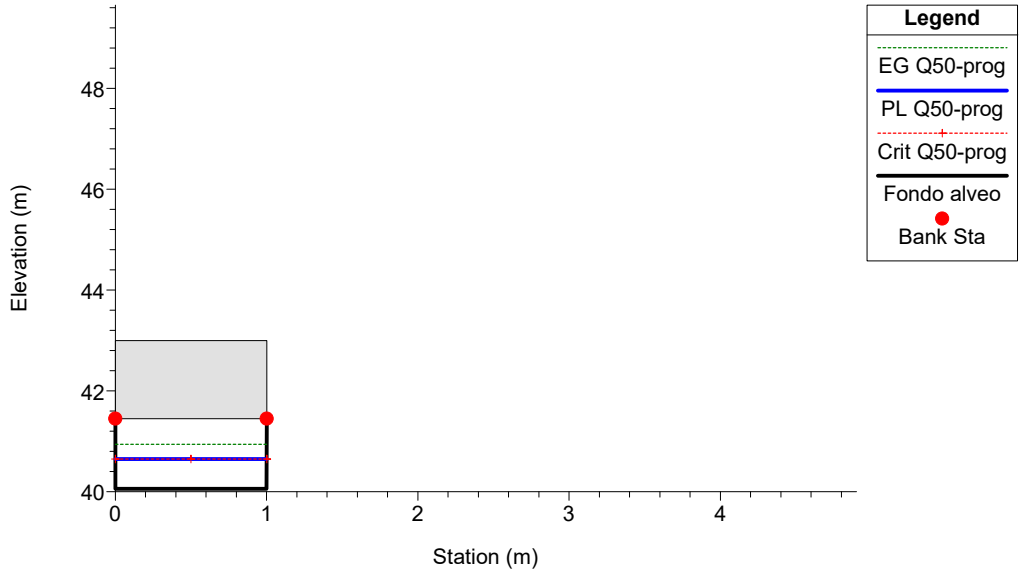
RS = 10 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

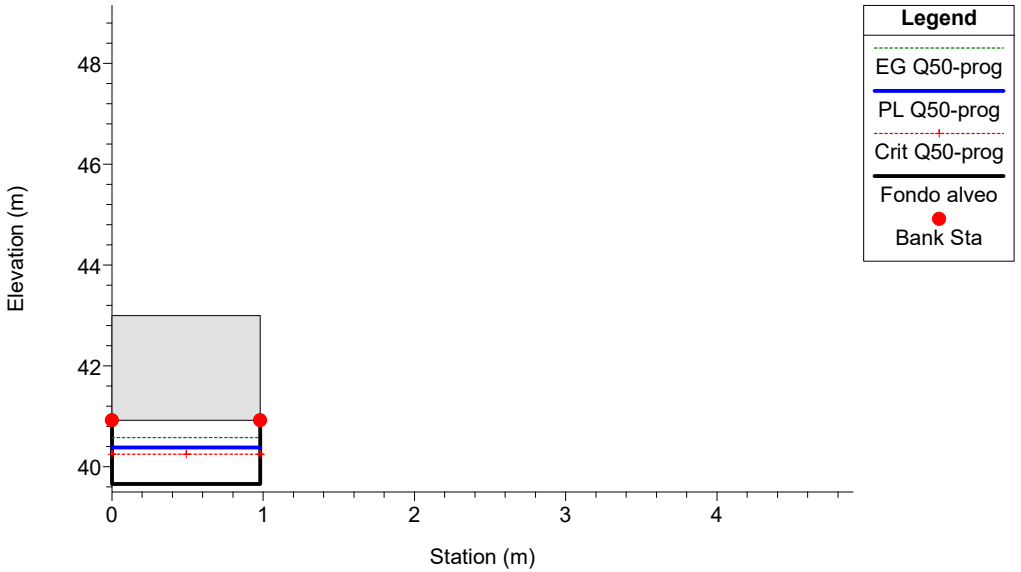
RS = 9 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

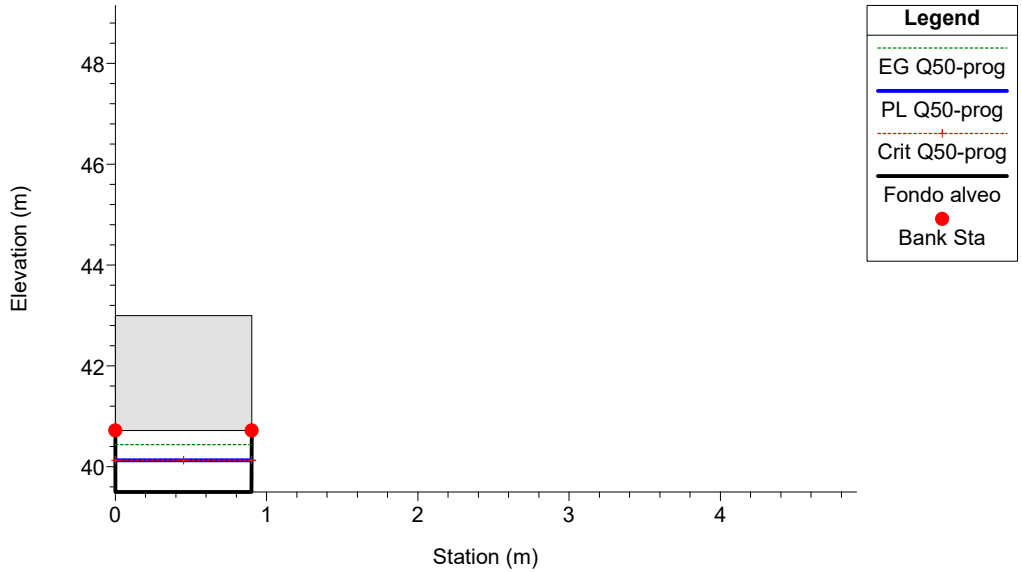
RS = 8 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

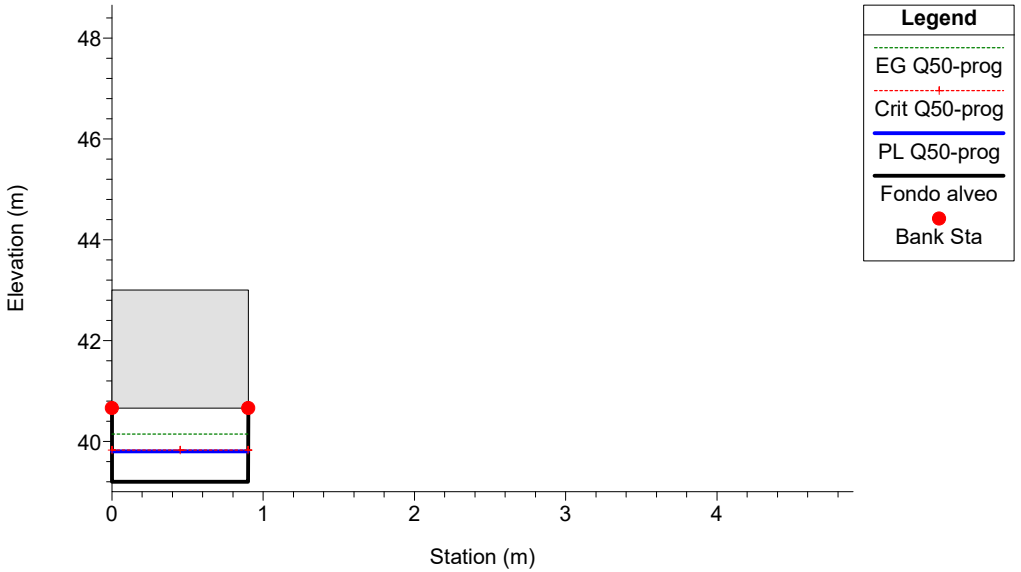
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

RS = 7 Q50 residua = 1.4 m³/s

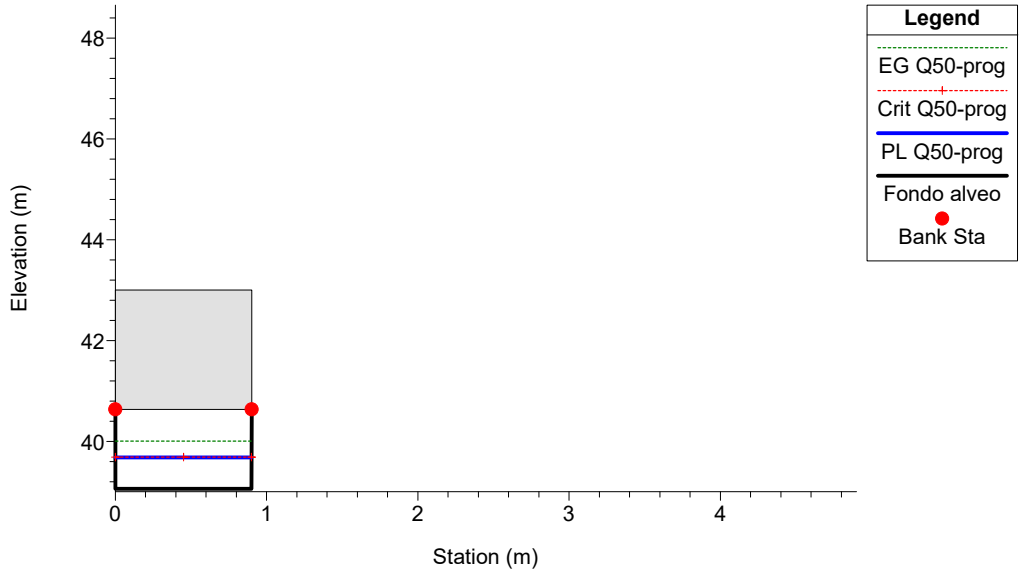


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

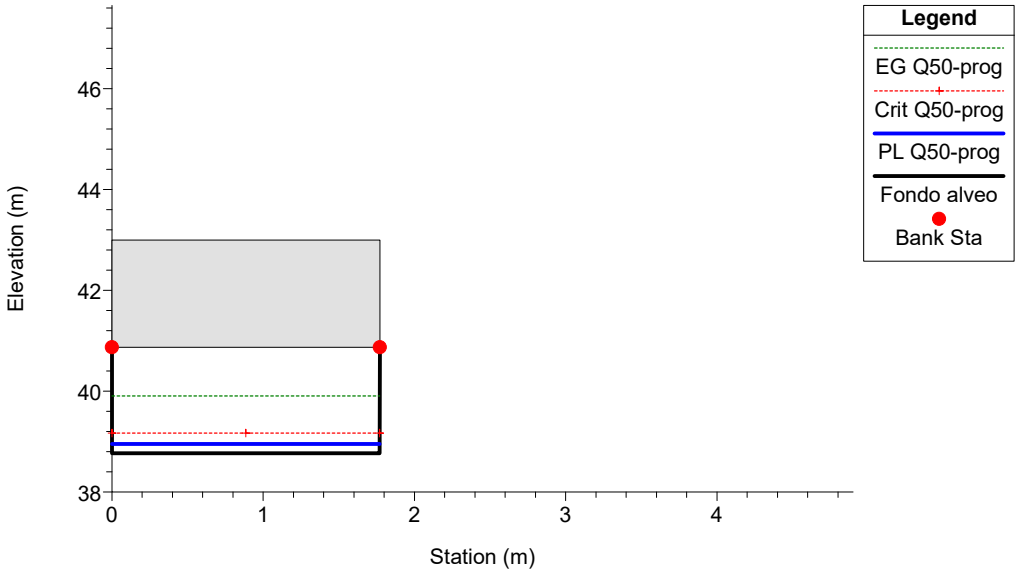
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 6 Q50 residua = 1.4 m³/s



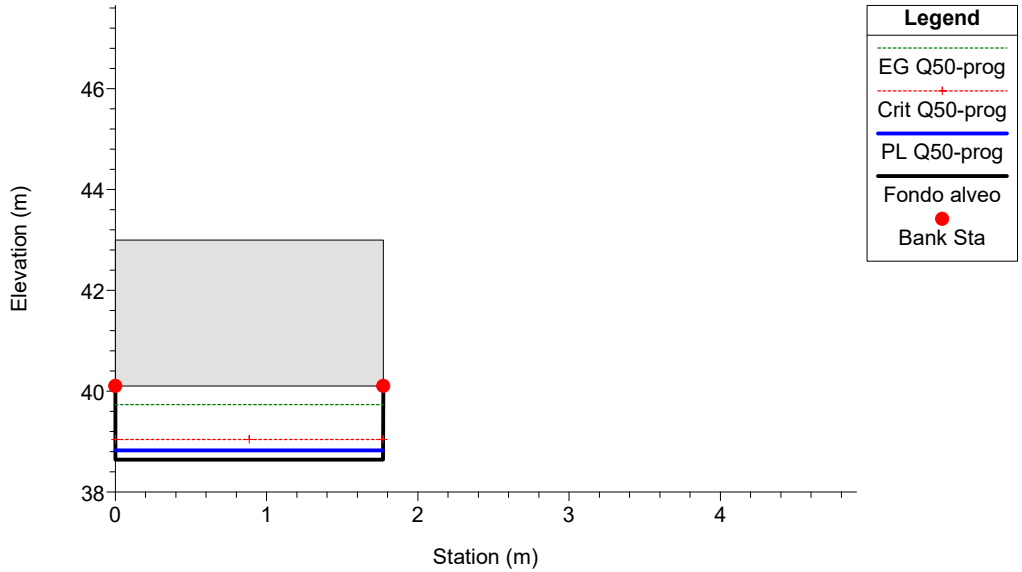
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 5 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 4 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 3 Q50 residua = 1.4 m³/s

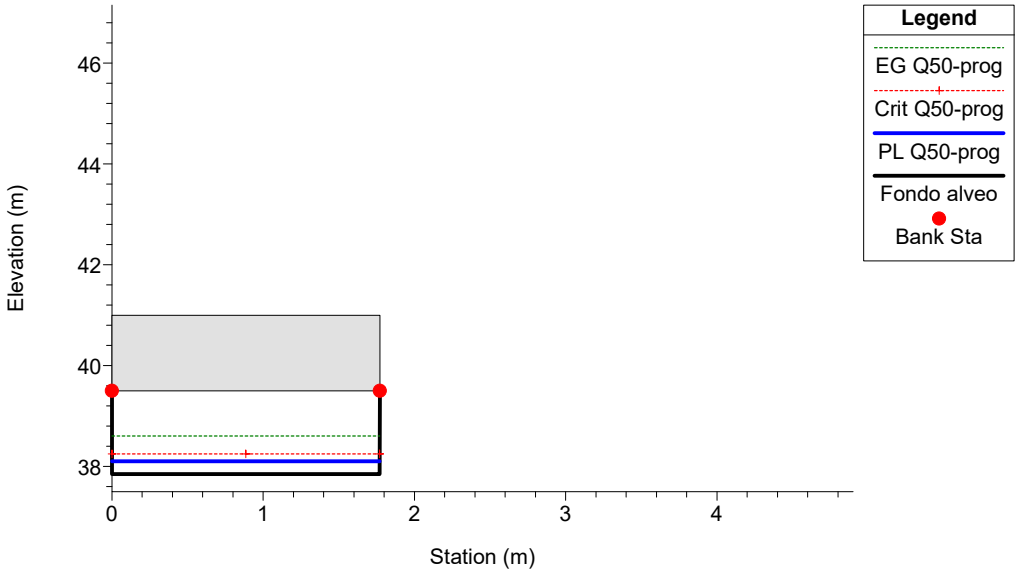


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

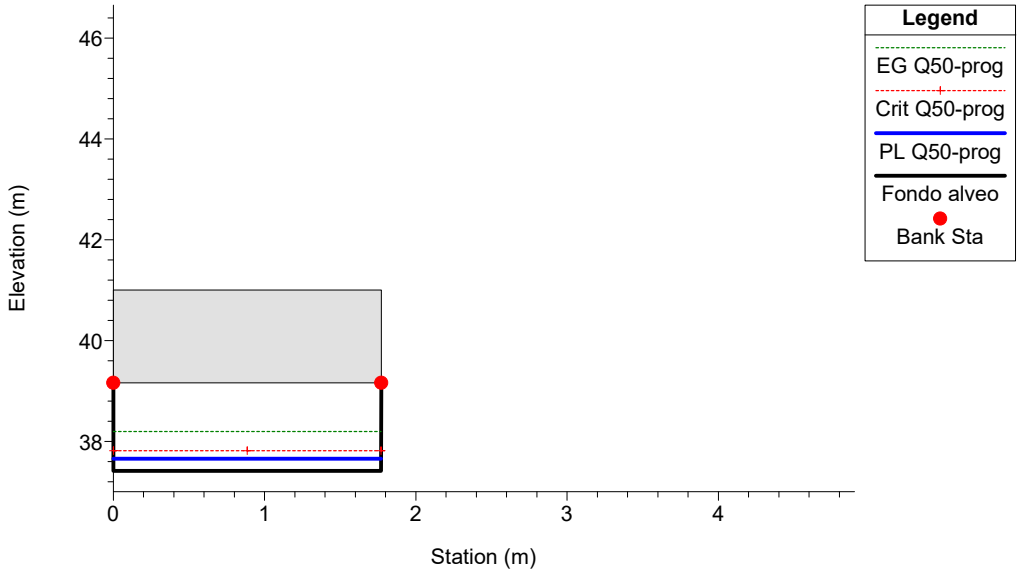
RS = 2 Q50 residua = 1.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

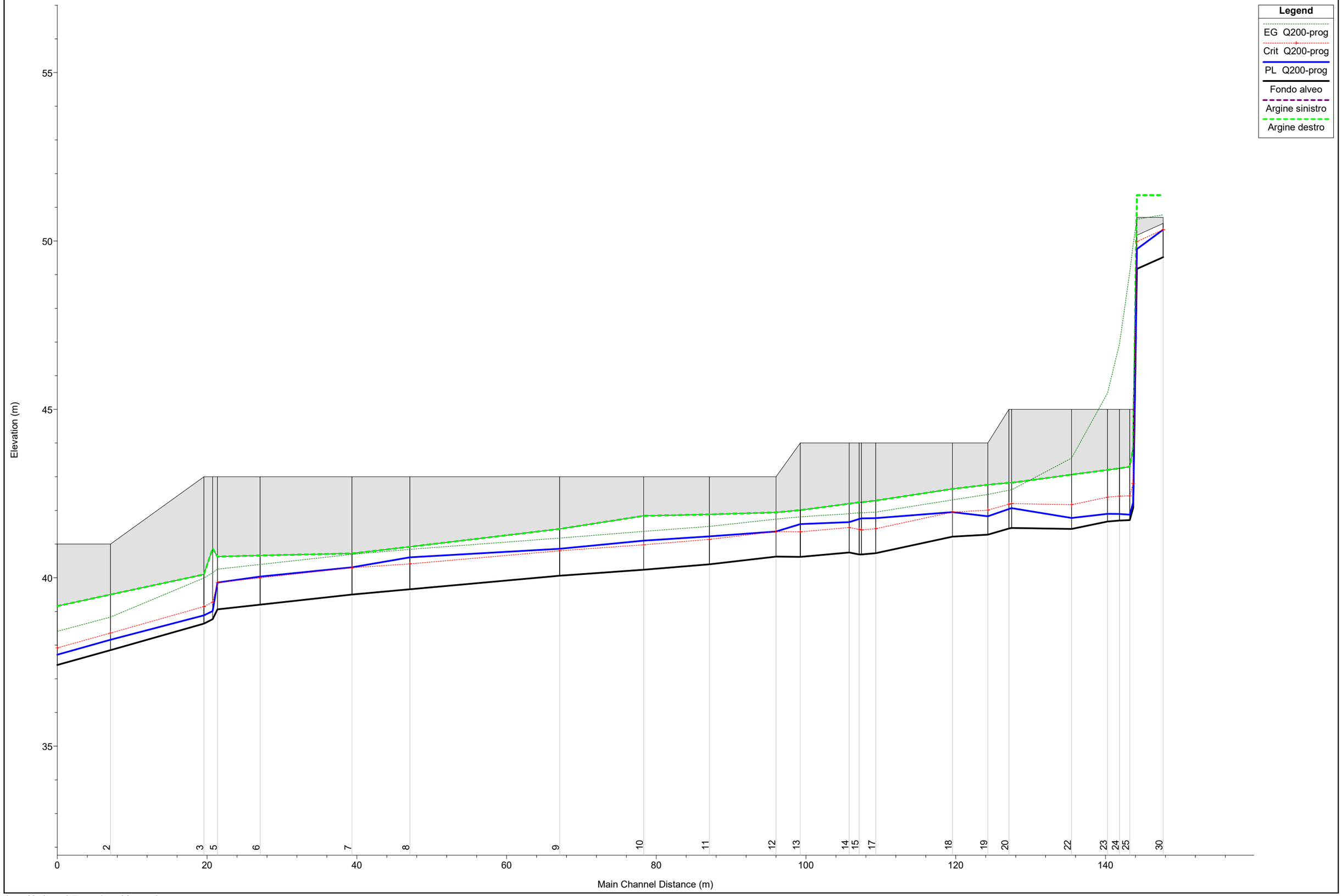
RS = 1 Q50 residua = 1.4 m³/s



1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

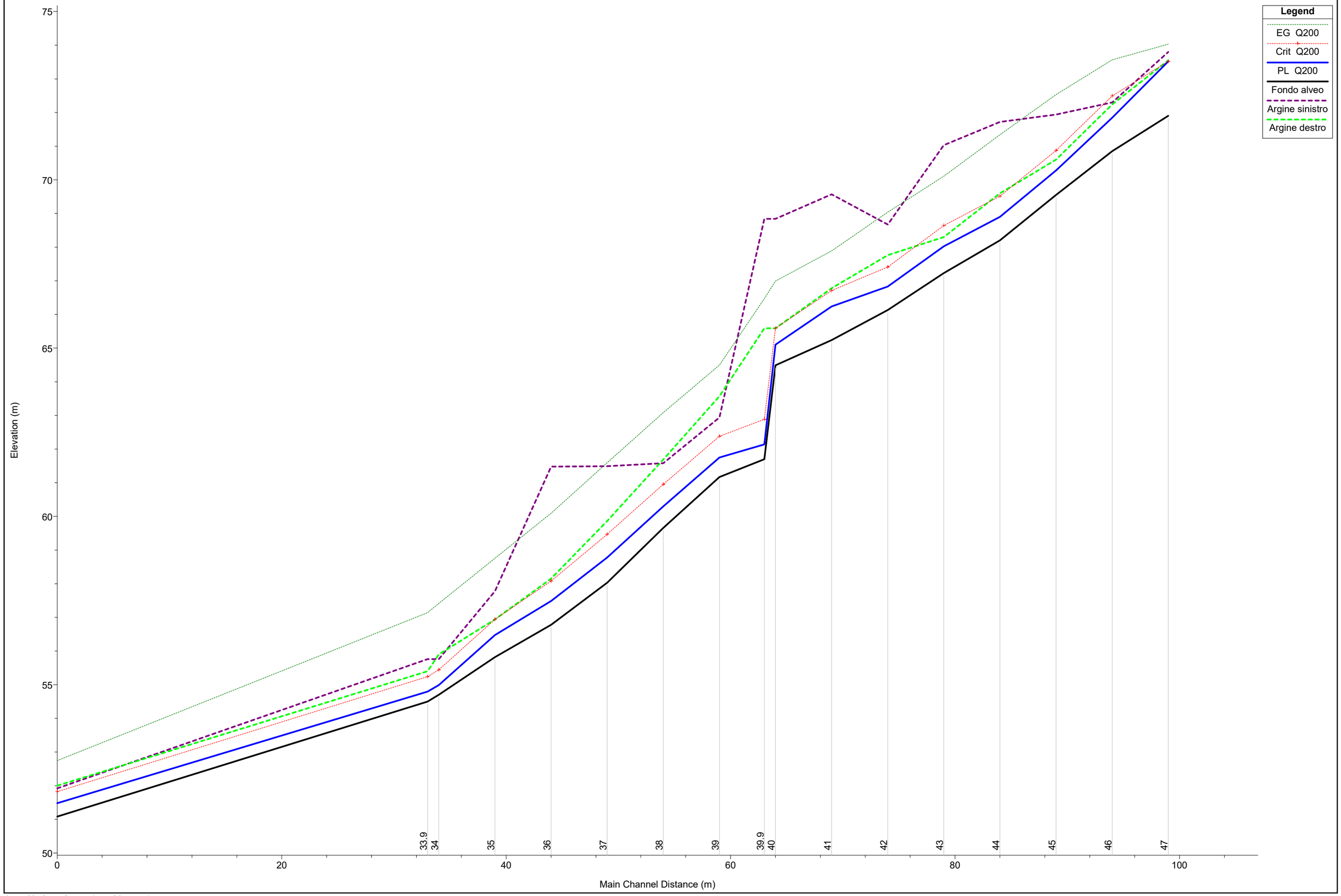
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente Q200 residua = 2.0 m³/s



1 cm Horiz. = 4.5 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Villa Castagna

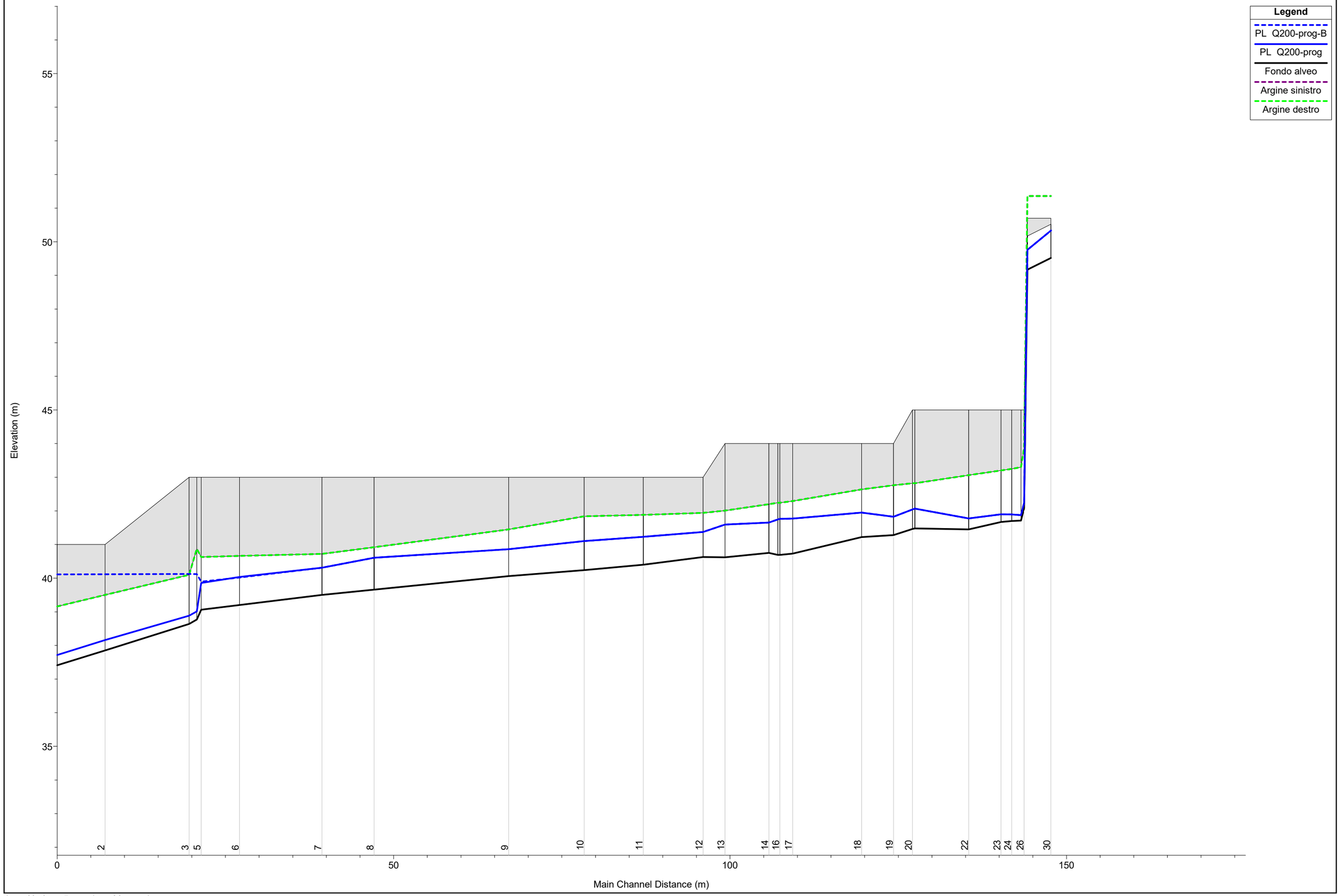
Geom: Stato di progetto-tratto di monte Q200 complessiva = 4.0 m³/s



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente Raffronto con e senza piena su t Bisagno Q200 residua = 2.0 m³/s



1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: Stato di progetto-monte River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	47	Q200	99.00	4.00	71.90	73.80	73.55	73.52	1.62	1.01	74.03	3.17	1.26	1.25	1.01
Rio Villa castag	46	Q200	94.00	4.00	70.85	72.30	72.24	71.85	1.00	0.73	73.56	5.80	0.69	0.94	2.17
Rio Villa castag	45	Q200	89.00	4.00	69.55	71.94	70.60	70.28	0.73	0.62	72.53	6.65	0.60	0.97	2.70
Rio Villa castag	44	Q200	84.00	4.00	68.20	71.72	69.60	68.90	0.70	0.59	71.34	6.91	0.58	0.98	2.87
Rio Villa castag	43	Q200	79.00	4.00	67.23	71.03	68.30	68.03	0.80	0.66	70.11	6.39	0.63	0.95	2.52
Rio Villa castag	42	Q200	74.00	4.00	66.13	68.67	67.76	66.83	0.70	0.64	69.04	6.58	0.61	0.95	2.63
Rio Villa castag	41	Q200	69.00	4.00	65.24	69.57	66.78	66.24	1.00	0.66	67.89	5.69	0.70	1.06	2.24
Rio Villa castag	40	Q200	64.00	4.00	64.49	68.84	65.59	65.10	0.61	0.58	66.99	6.09	0.66	1.12	2.54
Rio Villa castag	39.9	Q200	63.00	4.00	61.70	68.84	65.59	62.14	0.44	0.43	66.47	9.22	0.43	1.00	4.47
Rio Villa castag	39	Q200	59.00	4.00	61.17	62.94	63.57	61.75	0.58	0.52	64.50	7.34	0.55	1.04	3.24
Rio Villa castag	38	Q200	54.00	4.00	59.66	61.58	61.69	60.30	0.64	0.56	63.08	7.39	0.54	0.97	3.16
Rio Villa castag	37	Q200	49.00	4.00	58.03	61.49	59.86	58.78	0.75	0.65	61.59	7.43	0.54	0.83	2.95
Rio Villa castag	36	Q200	44.00	4.00	56.78	61.48	58.15	57.49	0.71	0.59	60.09	7.15	0.56	0.94	2.97
Rio Villa castag	35	Q200	39.00	4.00	55.82	57.78	56.94	56.48	0.66	0.64	58.76	6.69	0.60	0.93	2.67
Rio Villa castag	34	Q200	34.00	4.00	54.70	55.76	55.90	54.99	0.29	0.29	57.41	6.90	0.58	2.00	4.09
Rio Villa castag	33.9	Q200	33.00	4.00	54.50	55.76	55.40	54.80	0.30	0.29	57.14	6.78	0.59	2.00	3.99
Rio Villa castag	32	Q200		4.00	51.08	51.92	52.00	51.48	0.40	0.40	52.75	4.98	0.80	2.00	2.51

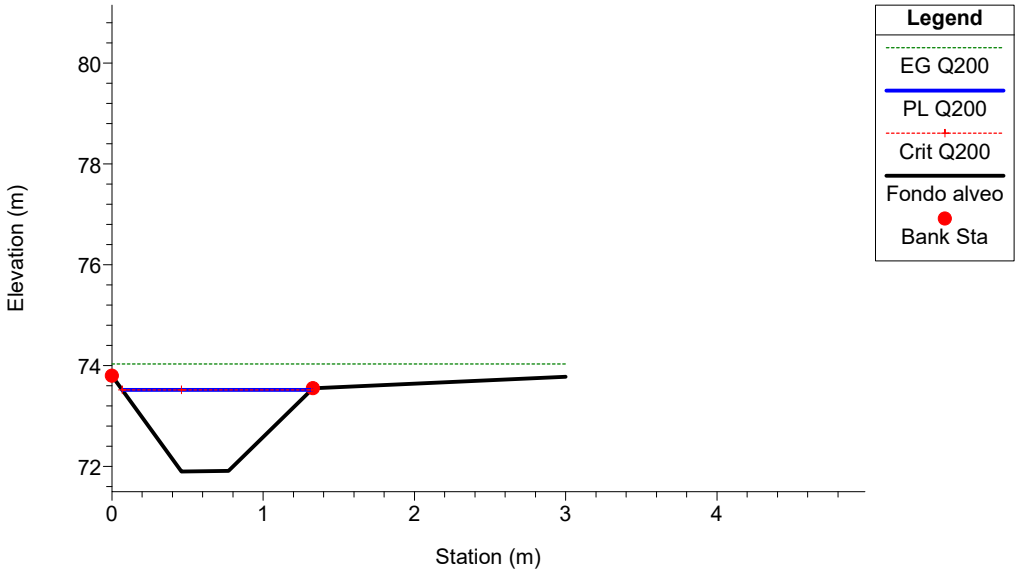
HEC-RAS Plan: Stato di progetto-valle River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q200-prog

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	30	Q200-prog	147.69	2.00	49.52	50.02	50.02	50.33	0.81	0.88	50.77	2.94	0.68	0.77	1.04
Rio Villa castag	29.9	Q200-prog	144.19	2.00	49.17	49.67	49.67	49.76	0.59	0.49	50.64	4.16	0.48	0.98	1.73
Rio Villa castag	26	Q200-prog	143.69	2.00	42.08	43.87	43.87	42.24	0.16	0.16	49.91	12.26	0.16	1.04	9.89
Rio Villa castag	25	Q200-prog	143.23	2.00	41.71	43.30	43.30	41.87	0.16	0.16	49.07	11.89	0.17	1.04	9.43
Rio Villa castag	24	Q200-prog	141.86	2.00	41.70	43.25	43.25	41.89	0.19	0.19	46.95	9.96	0.20	1.04	7.23
Rio Villa castag	23	Q200-prog	140.27	2.00	41.67	43.20	43.20	41.90	0.23	0.23	45.48	8.38	0.24	1.04	5.59
Rio Villa castag	22	Q200-prog	135.47	2.00	41.45	43.06	43.06	41.78	0.33	0.33	43.55	5.91	0.34	1.04	3.30
Rio Villa castag	21	Q200-prog	127.47	2.00	41.48	42.82	42.82	42.07	0.59	0.59	42.61	3.28	0.61	1.04	1.37
Rio Villa castag	20	Q200-prog	127.11	2.00	41.46	42.82	42.82	42.04	0.58	0.58	42.60	3.31	0.60	1.04	1.38
Rio Villa castag	19	Q200-prog	124.29	2.00	41.28	42.76	42.76	41.83	0.55	0.55	42.47	3.56	0.56	1.03	1.54
Rio Villa castag	18	Q200-prog	119.55	2.00	41.22	42.64	42.64	41.95	0.73	0.73	42.31	2.67	0.75	1.03	1.00
Rio Villa castag	17	Q200-prog	109.30	2.00	40.73	42.29	42.29	41.77	1.04	1.04	41.95	1.86	1.07	1.03	0.58
Rio Villa castag	16	Q200-prog	107.40	2.00	40.69	42.24	42.24	41.76	1.07	1.07	41.93	1.81	1.10	1.03	0.56
Rio Villa castag	15	Q200-prog	107.10	2.00	40.69	42.24	42.24	41.75	1.06	1.04	41.93	1.87	1.07	1.03	0.59
Rio Villa castag	14	Q200-prog	105.77	2.00	40.75	42.20	42.20	41.65	0.90	0.90	41.90	2.22	0.90	1.00	0.75
Rio Villa castag	13	Q200-prog	99.24	2.00	40.62	42.01	42.01	41.59	0.97	0.97	41.81	2.05	0.97	1.00	0.66
Rio Villa castag	12	Q200-prog	96.00	2.00	40.63	41.94	41.94	41.37	0.74	0.74	41.74	2.69	0.74	1.00	1.00
Rio Villa castag	11	Q200-prog	87.10	2.00	40.40	41.88	41.88	41.23	0.83	0.83	41.53	2.41	0.83	1.00	0.84
Rio Villa castag	10	Q200-prog	78.31	2.00	40.24	41.84	41.84	41.10	0.86	0.86	41.38	2.32	0.86	1.00	0.80
Rio Villa castag	9	Q200-prog	67.09	2.00	40.06	41.45	41.45	40.86	0.80	0.80	41.18	2.50	0.80	1.00	0.89
Rio Villa castag	8	Q200-prog	47.09	2.00	39.66	40.92	40.92	40.61	0.95	0.95	40.84	2.15	0.93	0.98	0.71
Rio Villa castag	7	Q200-prog	39.35	2.00	39.50	40.72	40.72	40.31	0.81	0.81	40.69	2.75	0.73	0.90	0.98
Rio Villa castag	6	Q200-prog	27.09	2.00	39.20	40.66	40.66	40.03	0.83	0.83	40.40	2.66	0.75	0.90	0.93
Rio Villa castag	5	Q200-prog	21.39	2.00	39.06	40.63	40.63	39.86	0.80	0.80	40.25	2.79	0.72	0.90	1.00
Rio Villa castag	4	Q200-prog	20.74	2.00	38.77	40.87	40.87	39.01	0.24	0.24	40.15	4.73	0.42	1.77	3.09
Rio Villa castag	3	Q200-prog	19.59	2.00	38.64	40.10	40.10	38.88	0.24	0.24	39.99	4.67	0.43	1.77	3.03
Rio Villa castag	2	Q200-prog	7.11	2.00	37.85	39.50	39.50	38.16	0.31	0.31	38.83	3.63	0.55	1.77	2.08
Rio Villa castag	1	Q200-prog		2.00	37.41	39.16	39.16	37.72	0.31	0.31	38.41	3.68	0.54	1.77	2.12

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

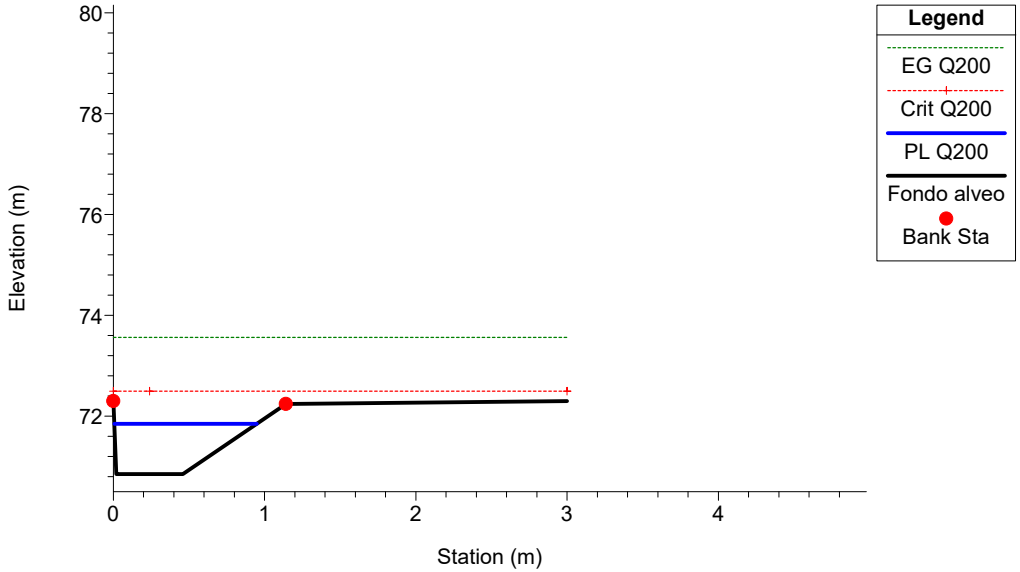
RS = 47 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

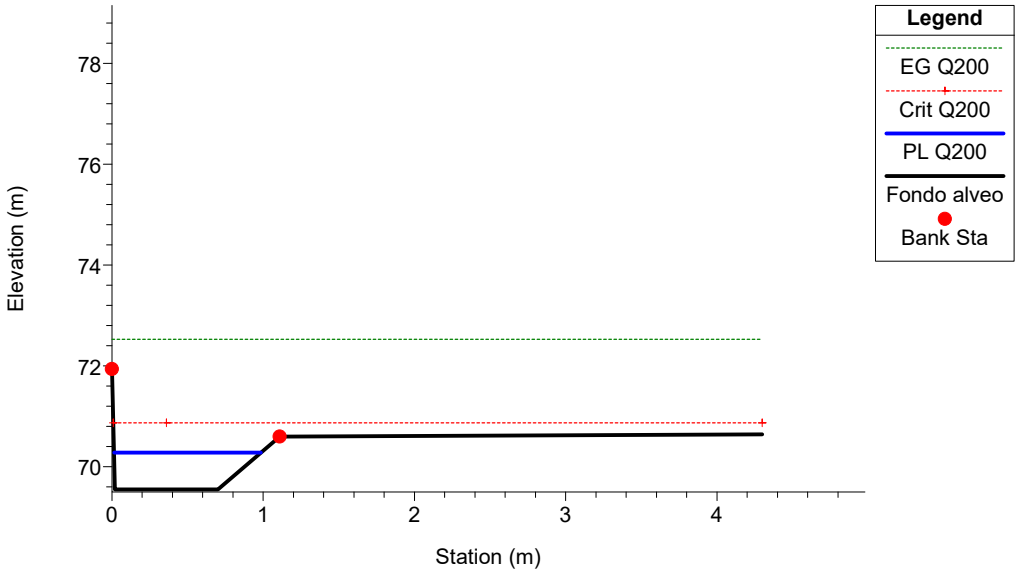
RS = 46 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

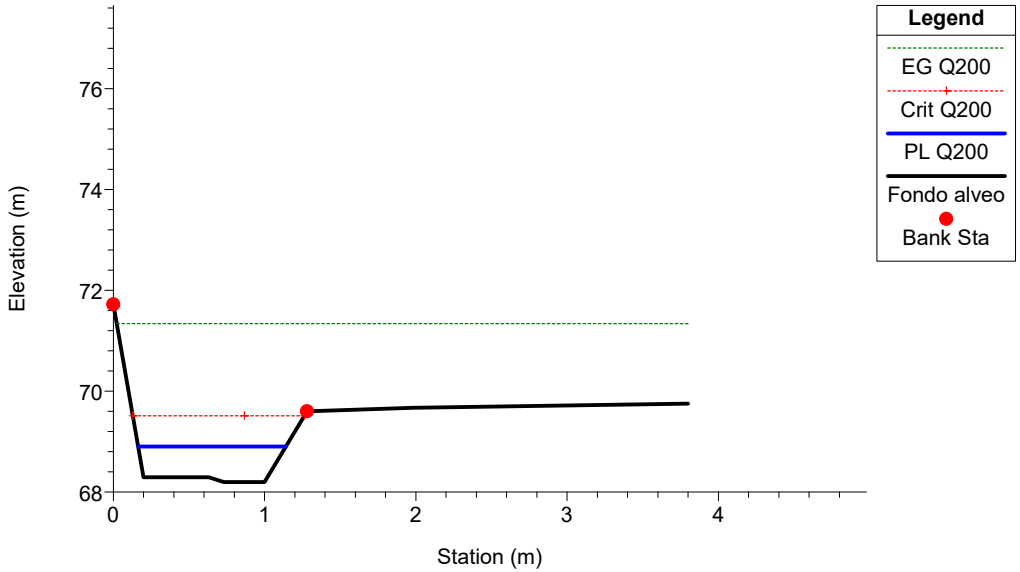
RS = 45 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 44 Q200 complessiva = 4.0 m³/s

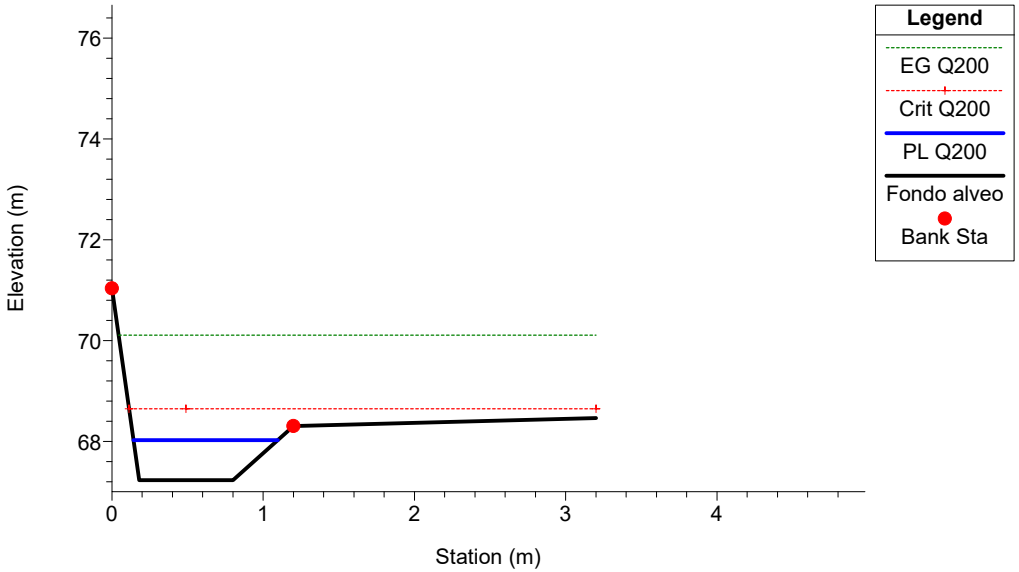


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

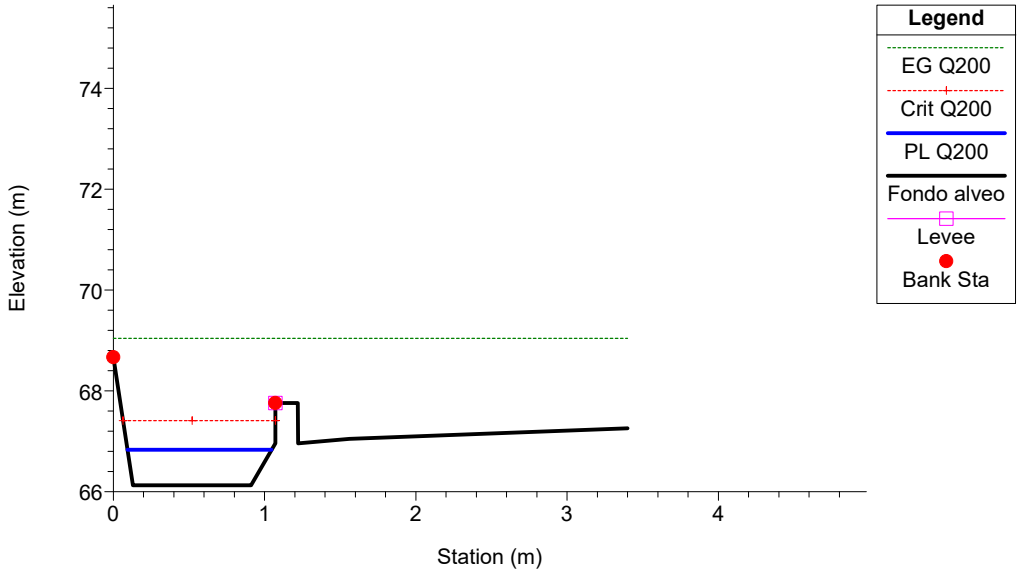
RS = 43 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

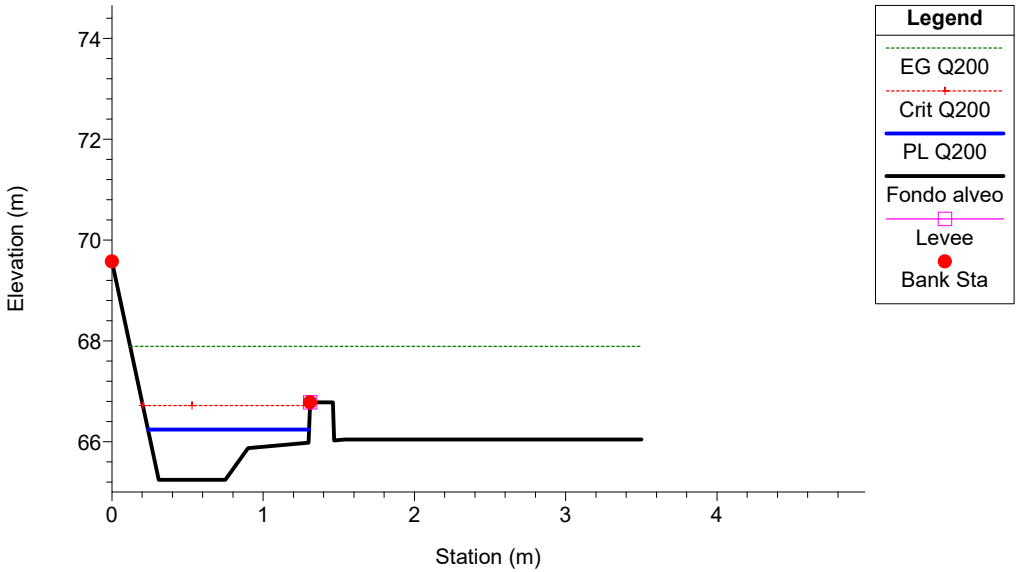
RS = 42 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

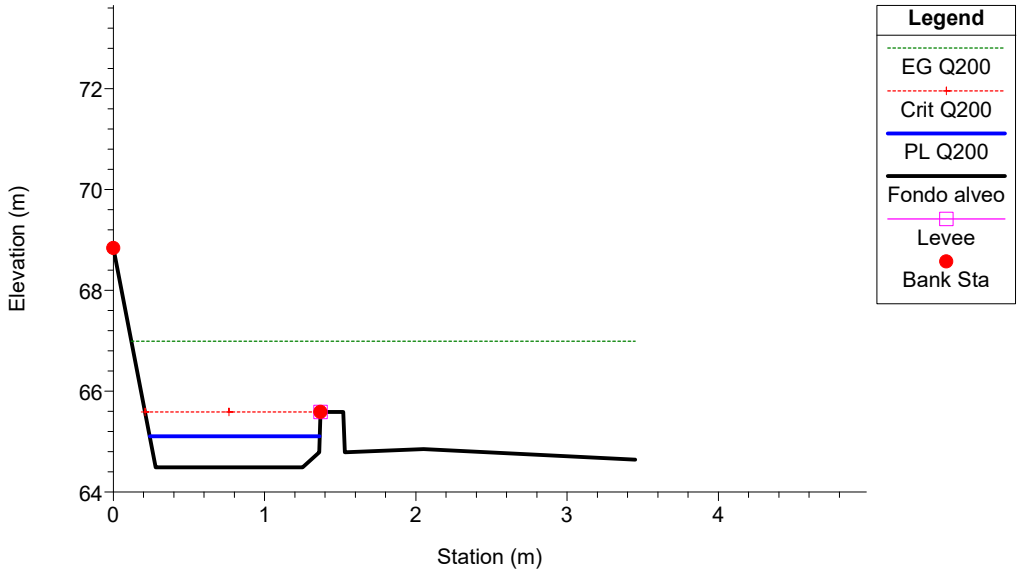
RS = 41 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 40 Q200 complessiva = 4.0 m³/s

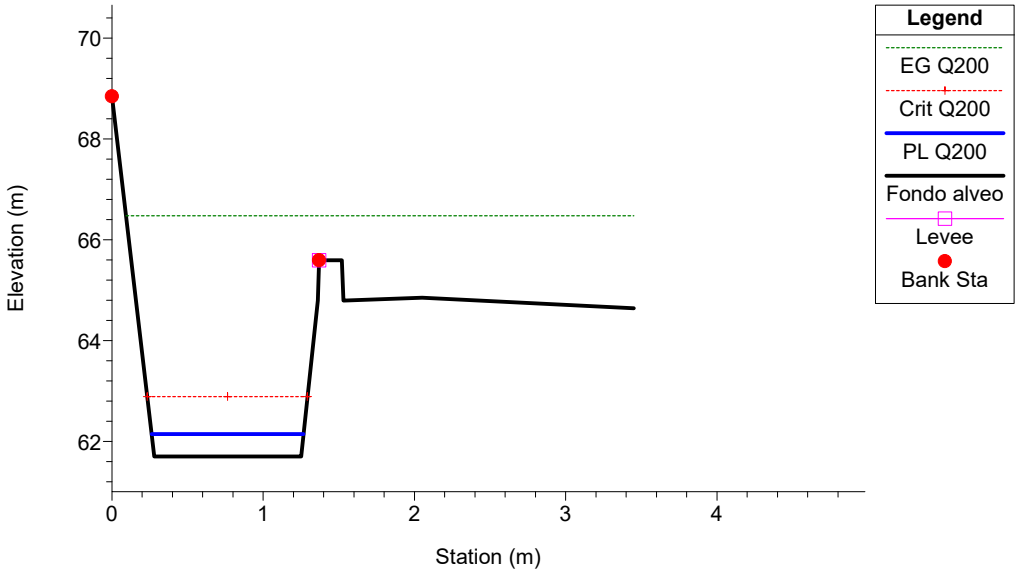


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

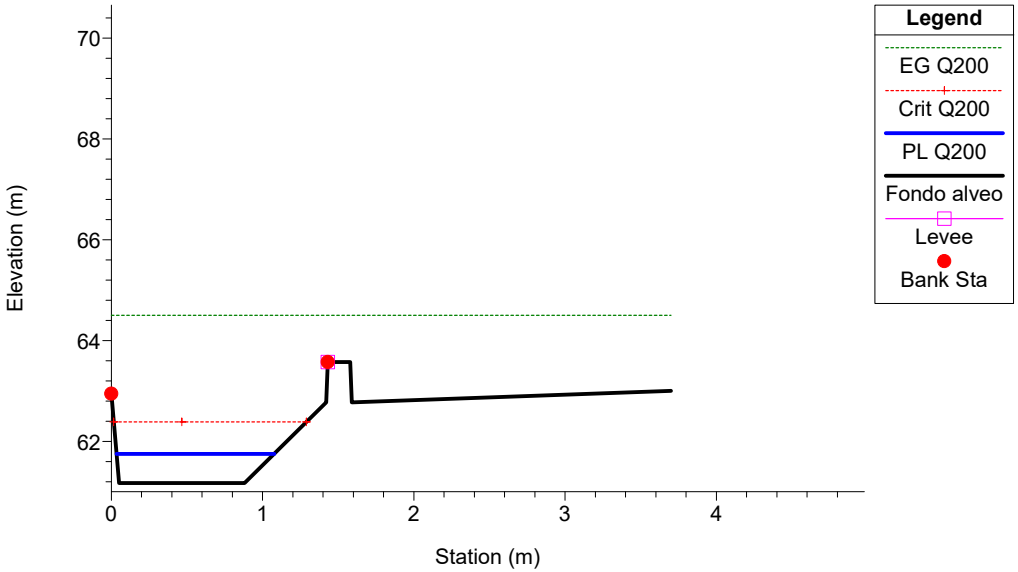
RS = 39.9 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

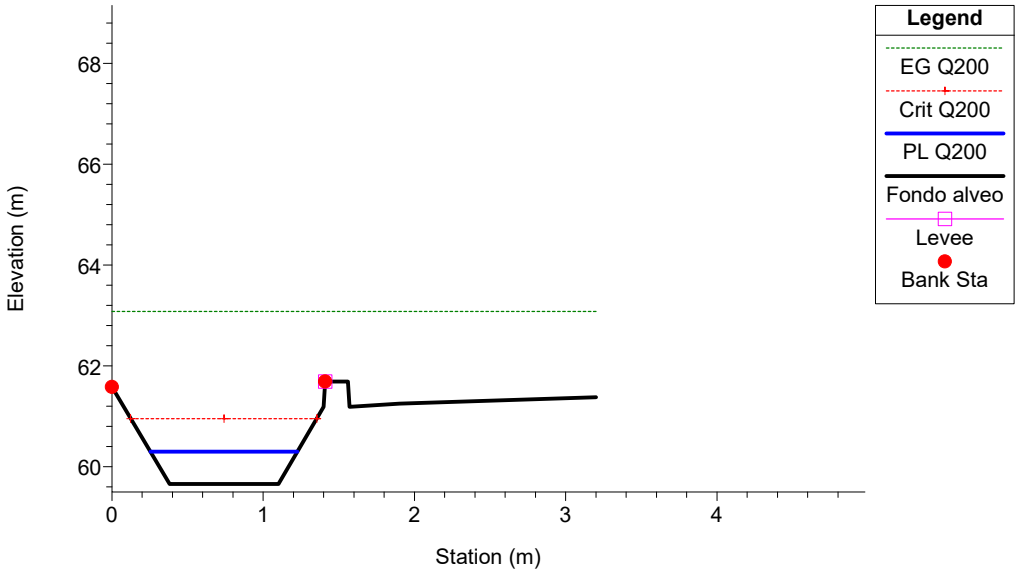
RS = 39 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

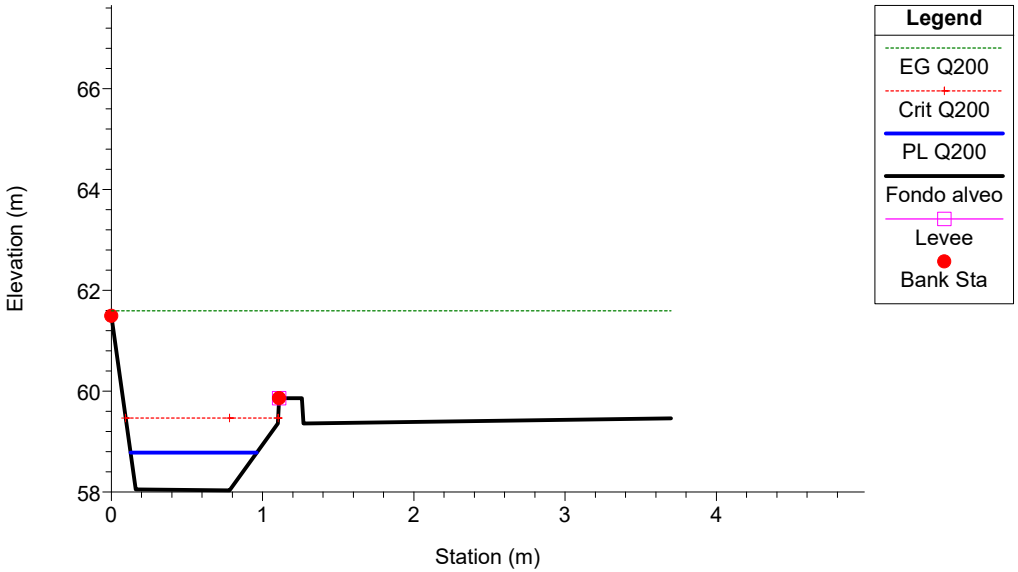
RS = 38 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 37 Q200 complessiva = 4.0 m³/s

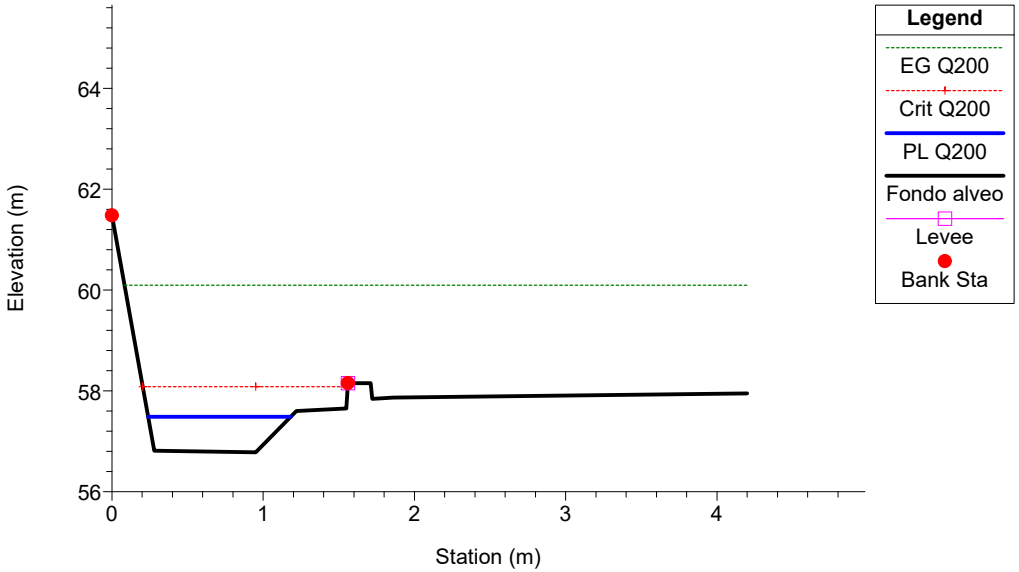


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

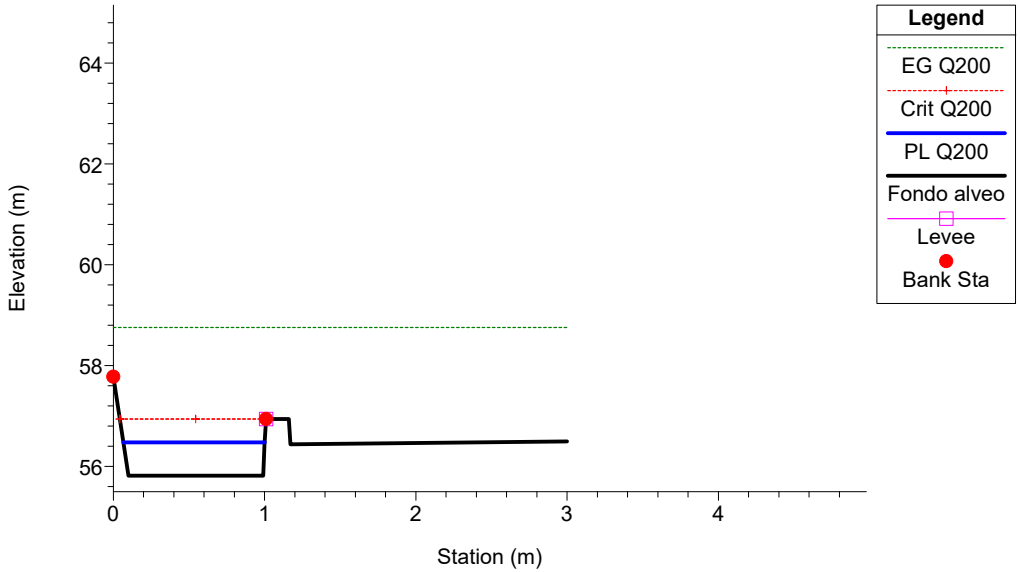
RS = 36 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

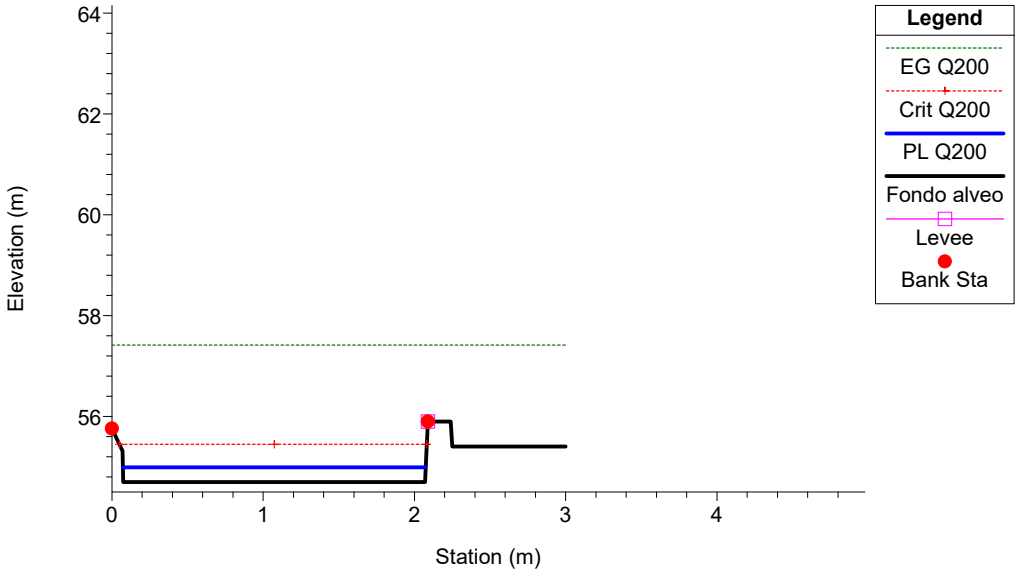
RS = 35 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

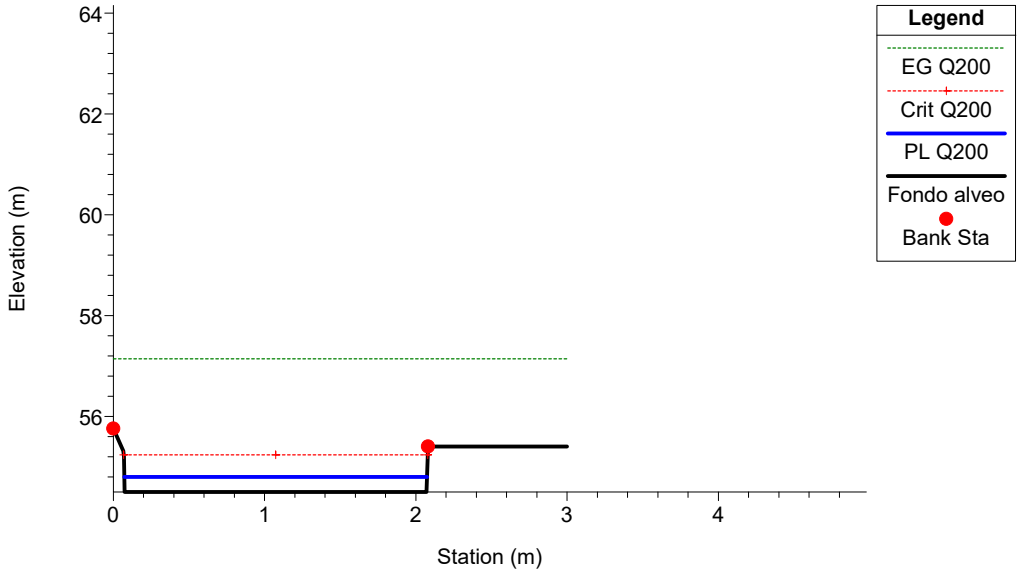
RS = 34 Q200 complessiva = 4.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 33.9 Q200 complessiva = 4.0 m³/s

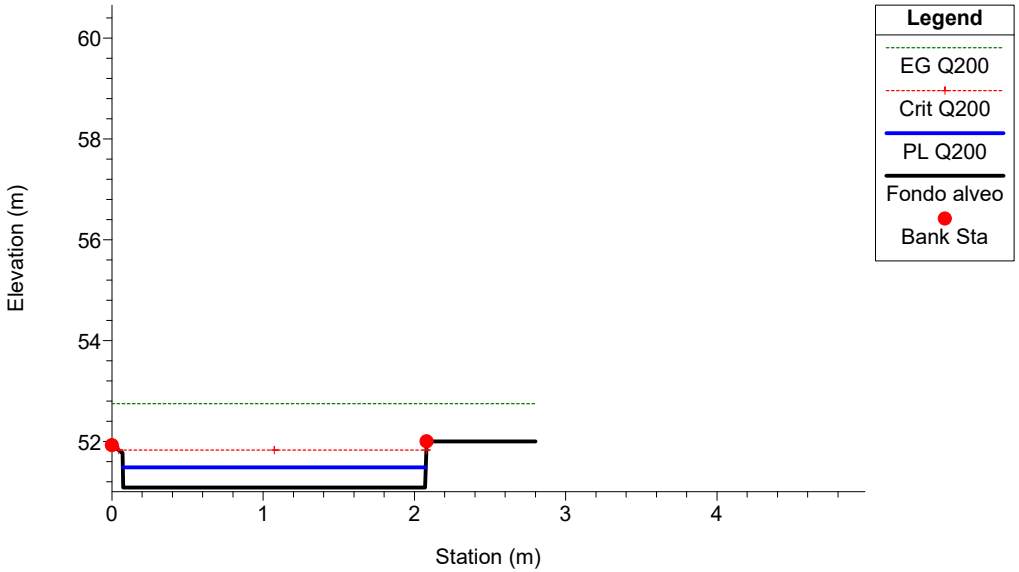


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 32 Q200 complessiva = 4.0 m³/s

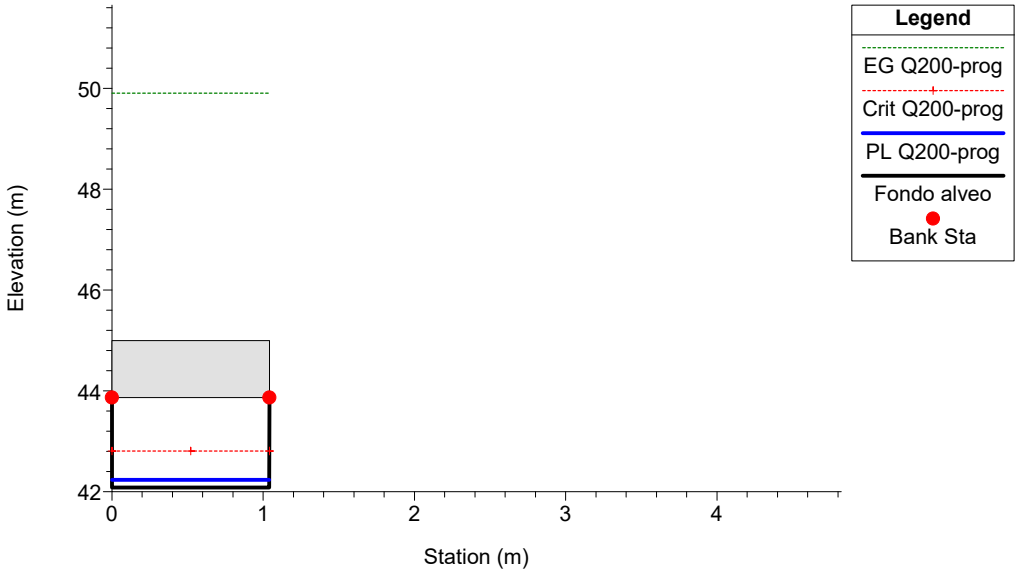


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

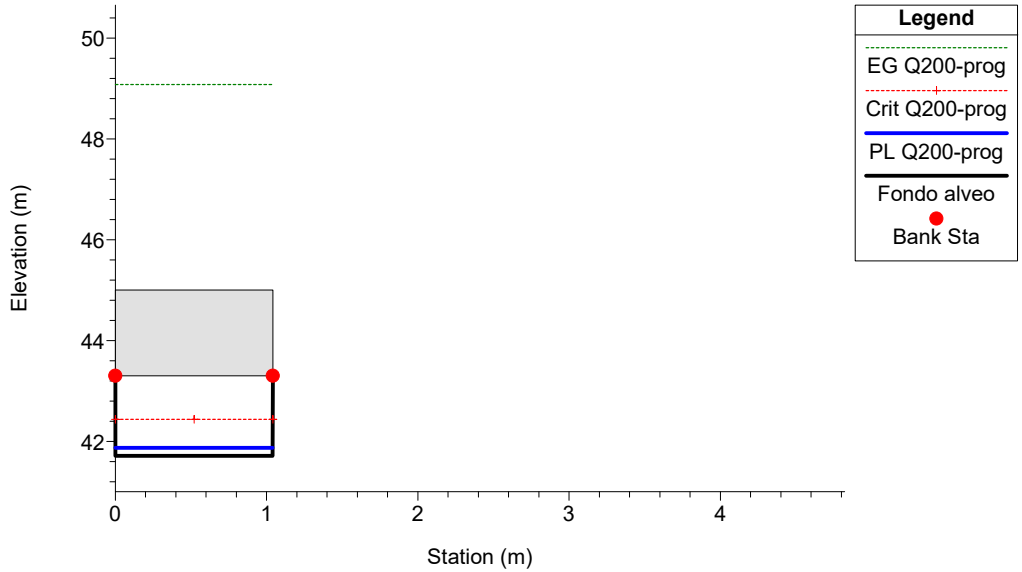
RS = 26 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

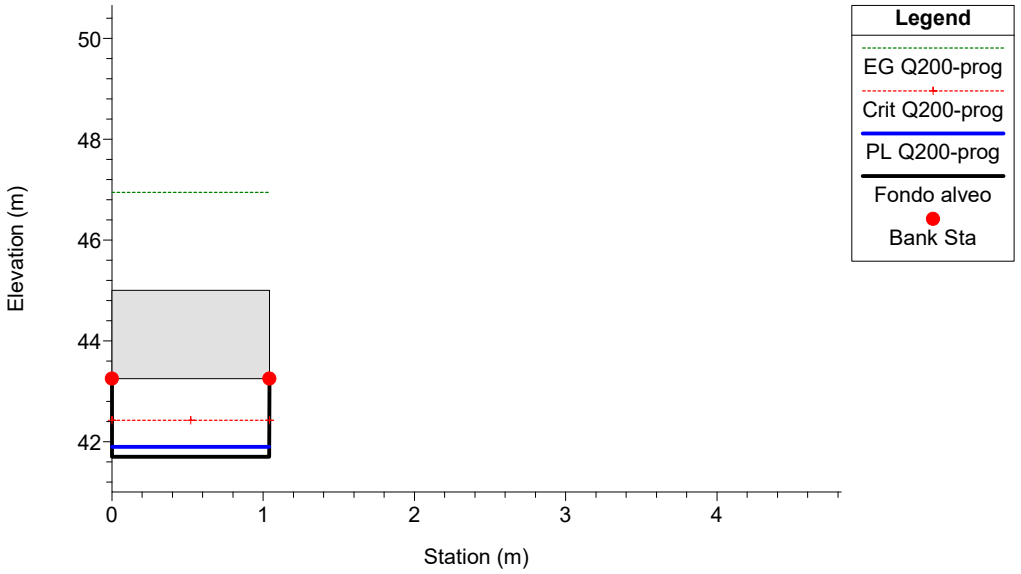
RS = 25 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

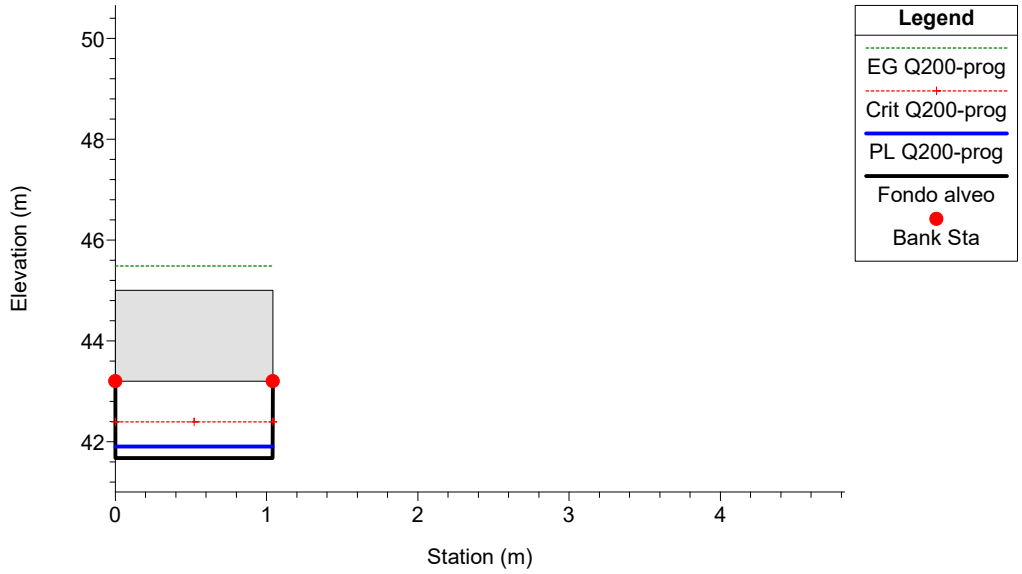
RS = 24 Q200 residua = 2.0 m³/s



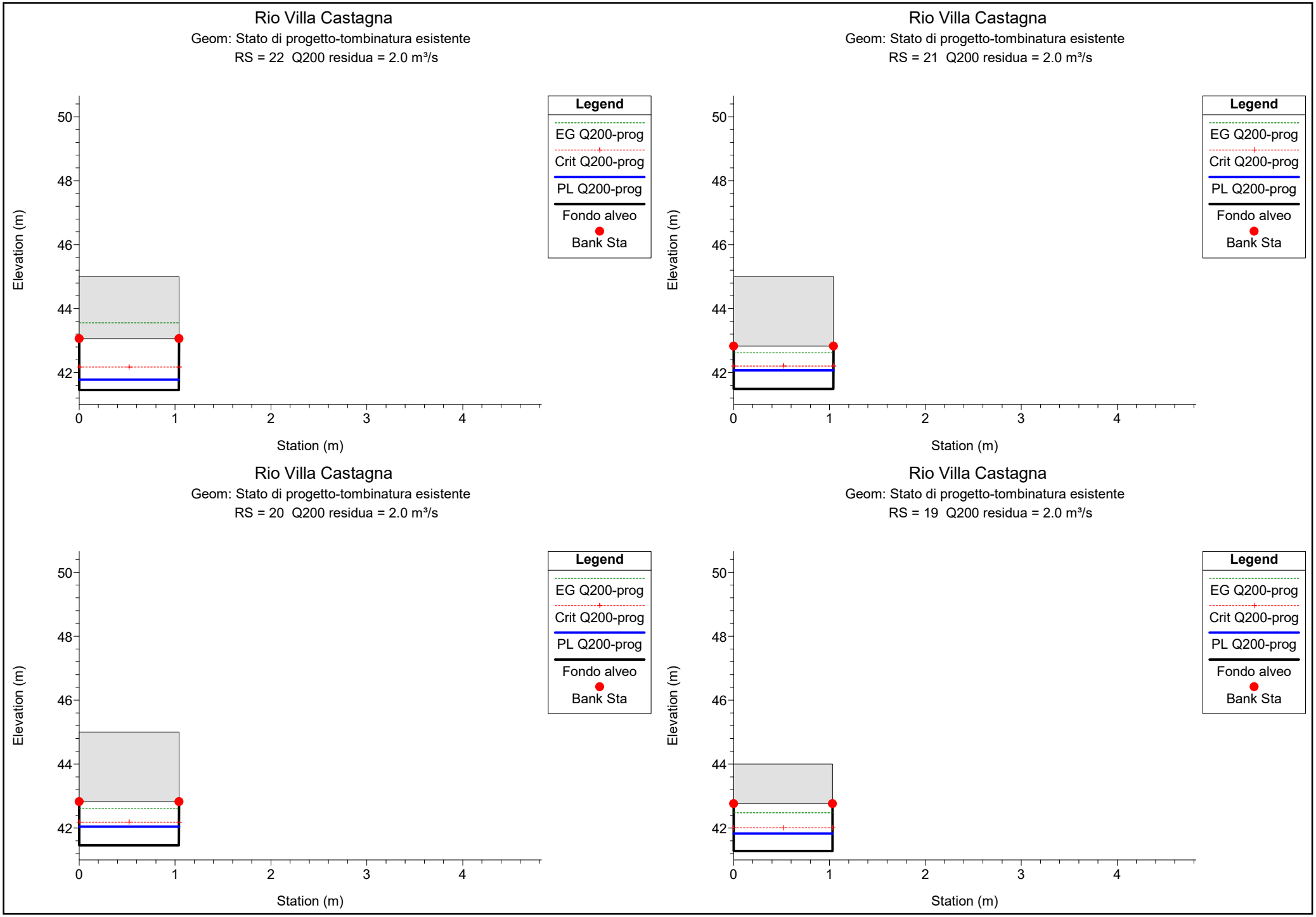
Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

RS = 23 Q200 residua = 2.0 m³/s

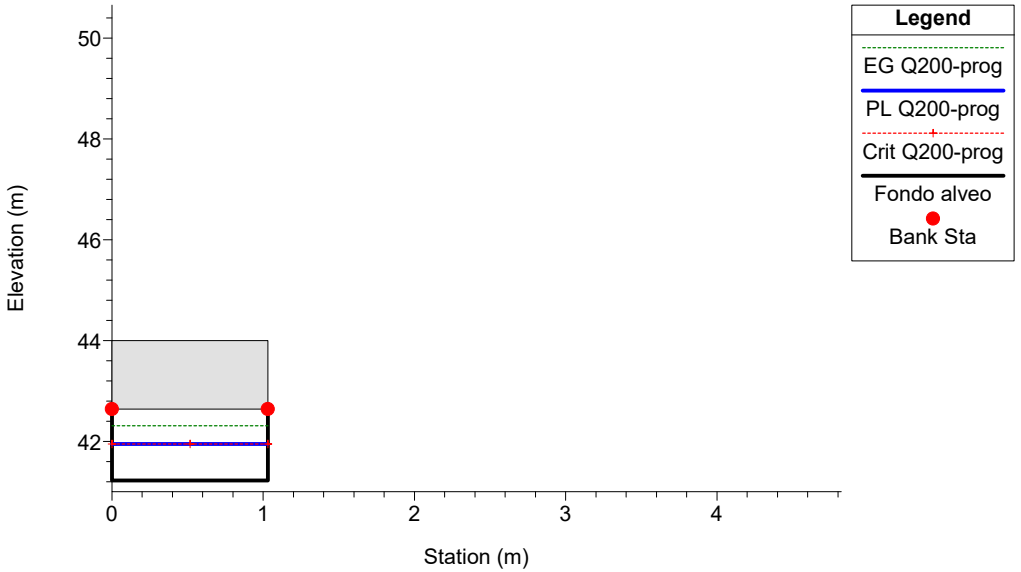


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

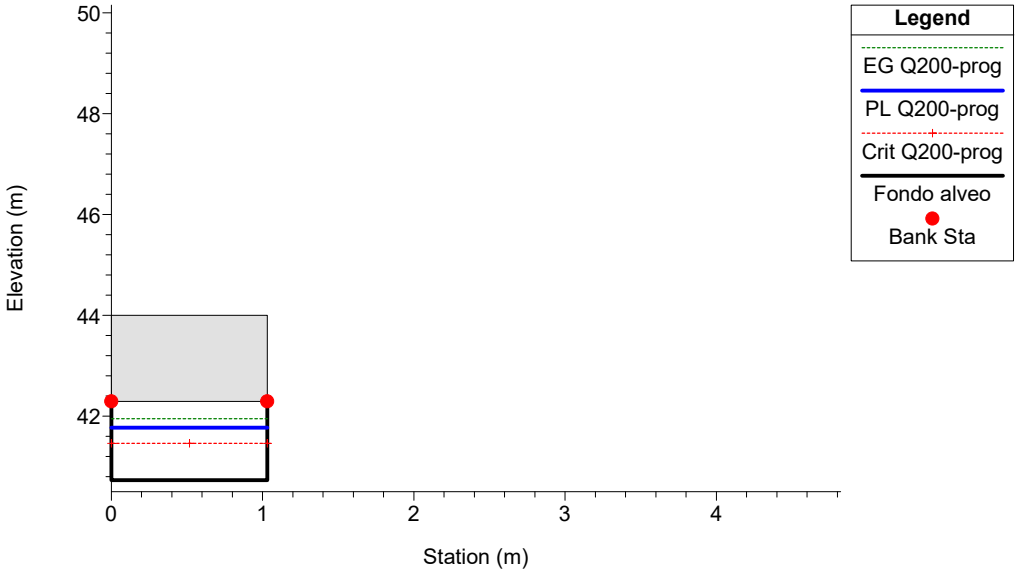


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

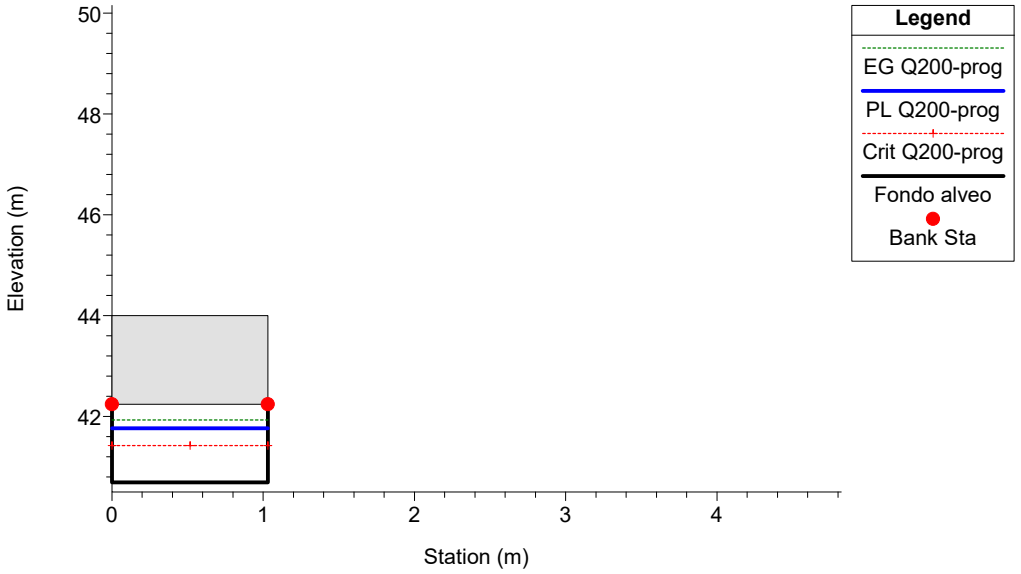
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 18 Q200 residua = 2.0 m³/s



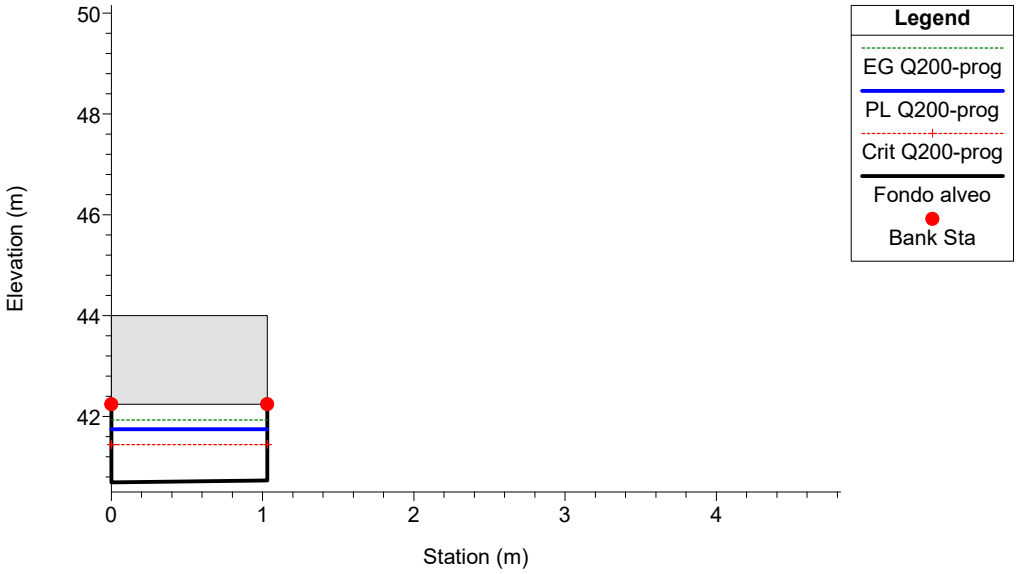
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 17 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 16 Q200 residua = 2.0 m³/s

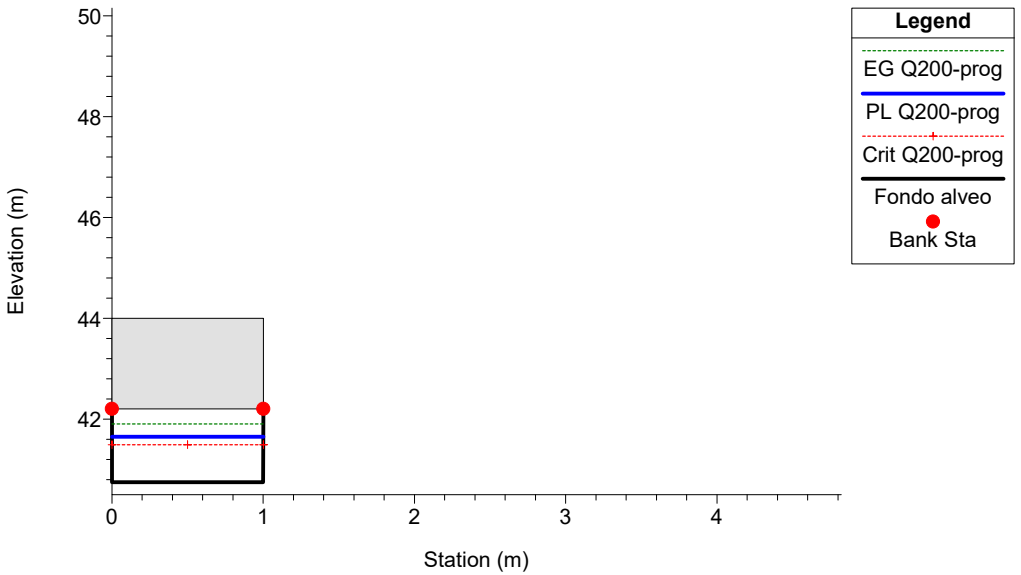


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 15 Q200 residua = 2.0 m³/s

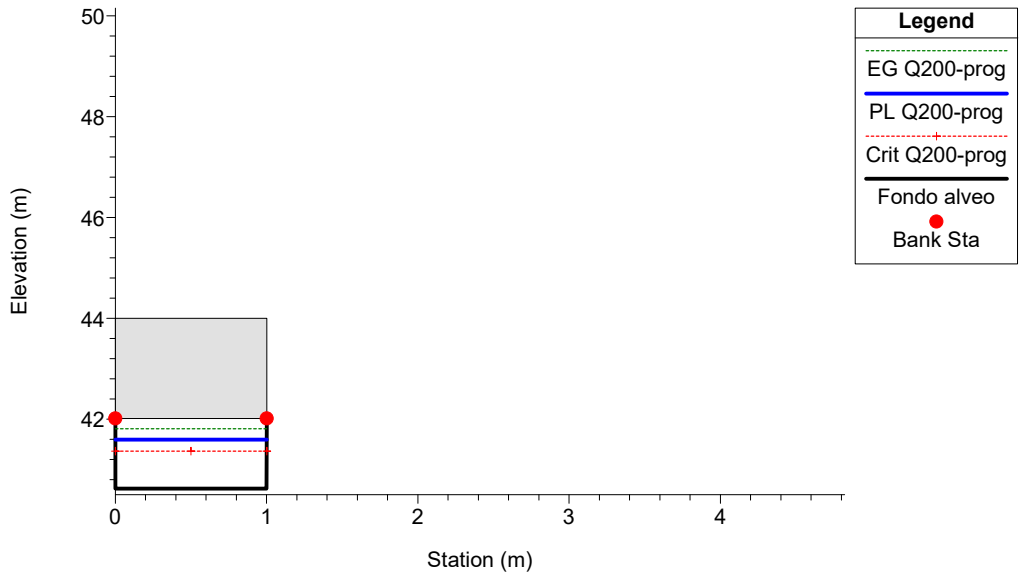


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

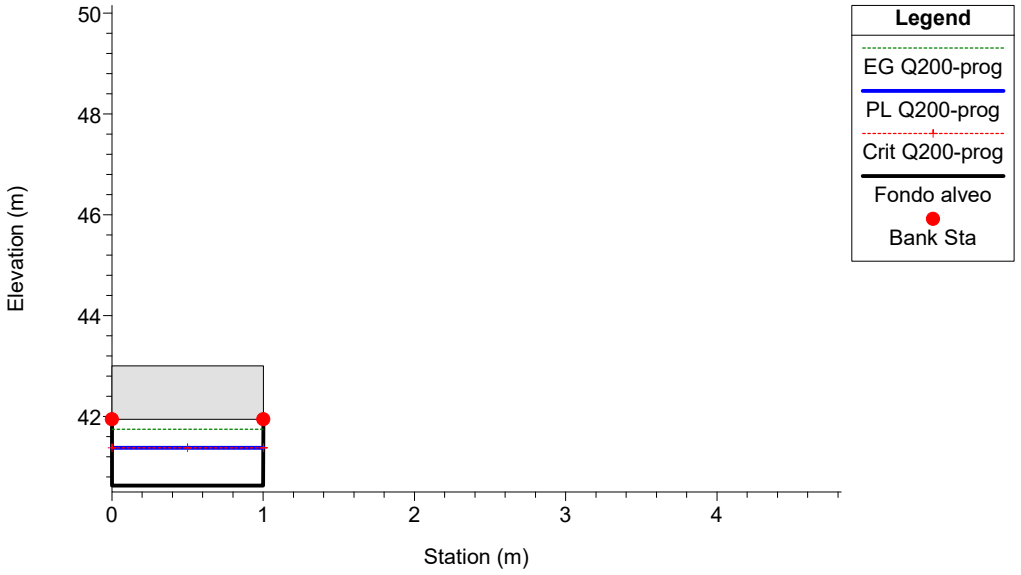
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 14 Q200 residua = 2.0 m³/s



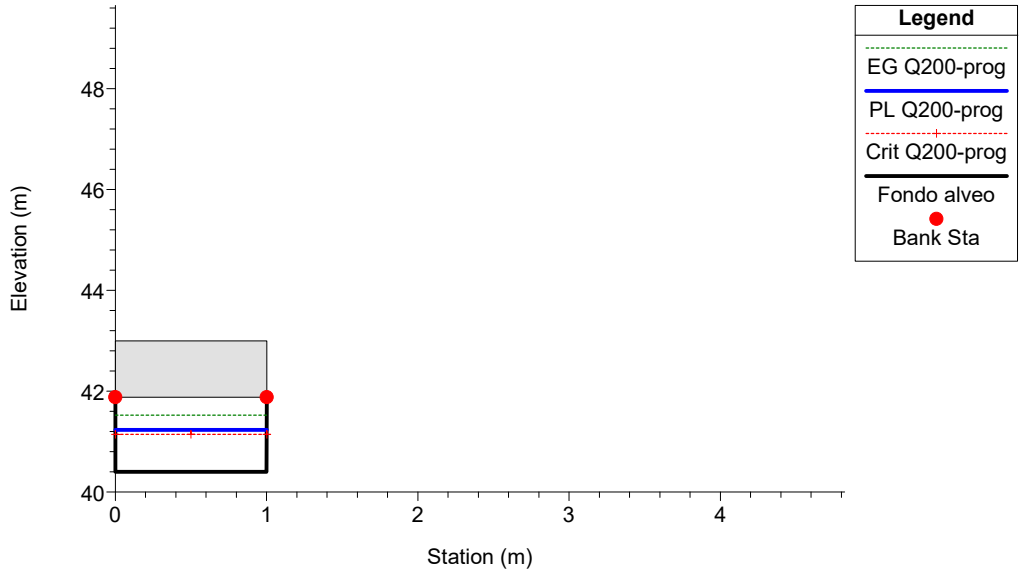
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 13 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 12 Q200 residua = 2.0 m³/s

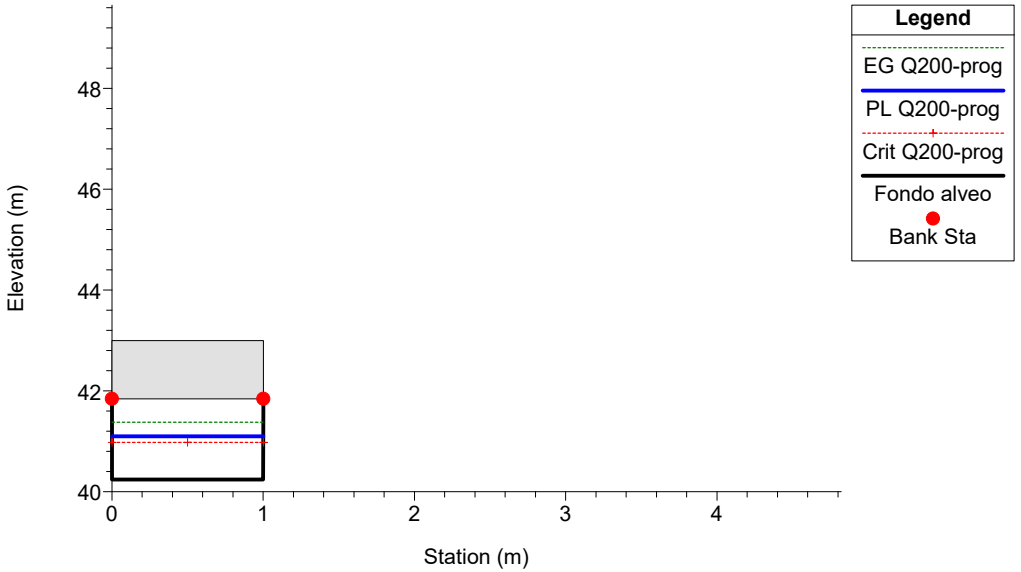


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 11 Q200 residua = 2.0 m³/s

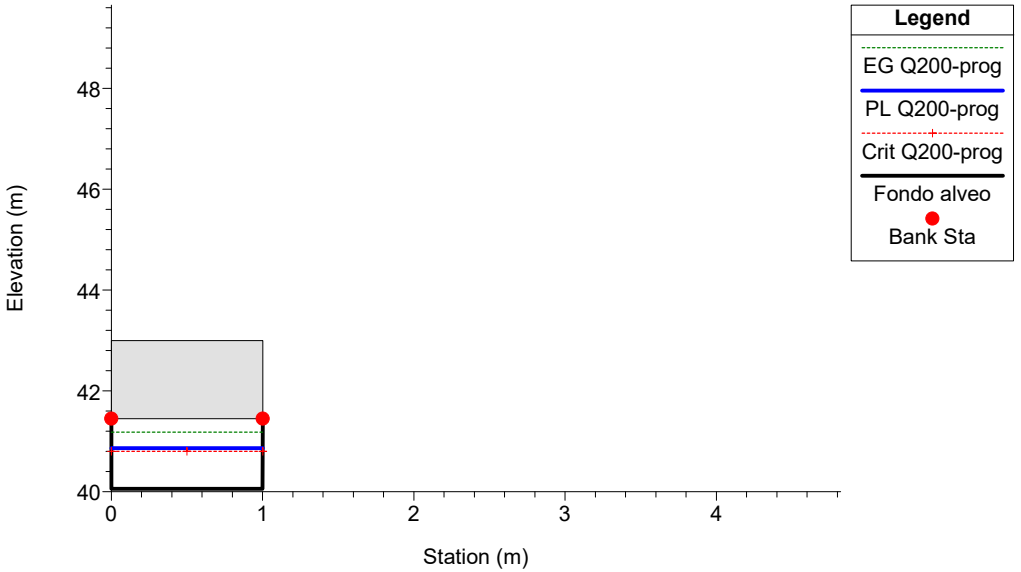


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

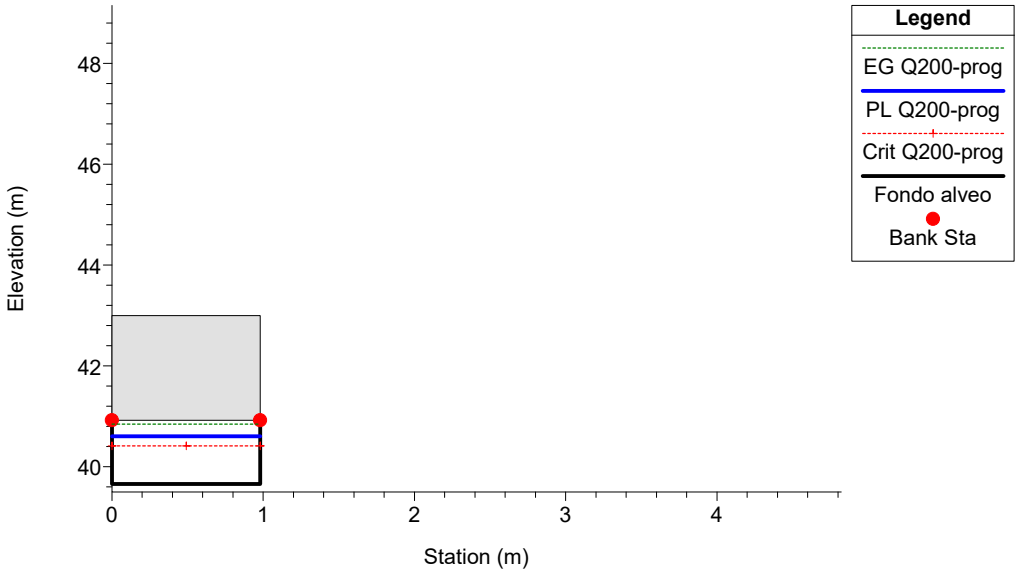
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 10 Q200 residua = 2.0 m³/s



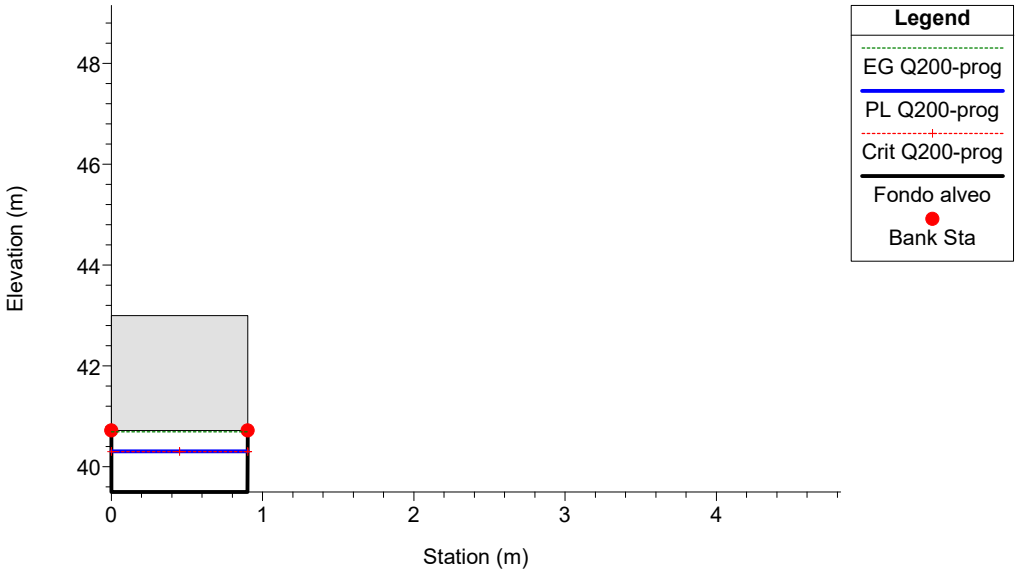
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 9 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 8 Q200 residua = 2.0 m³/s

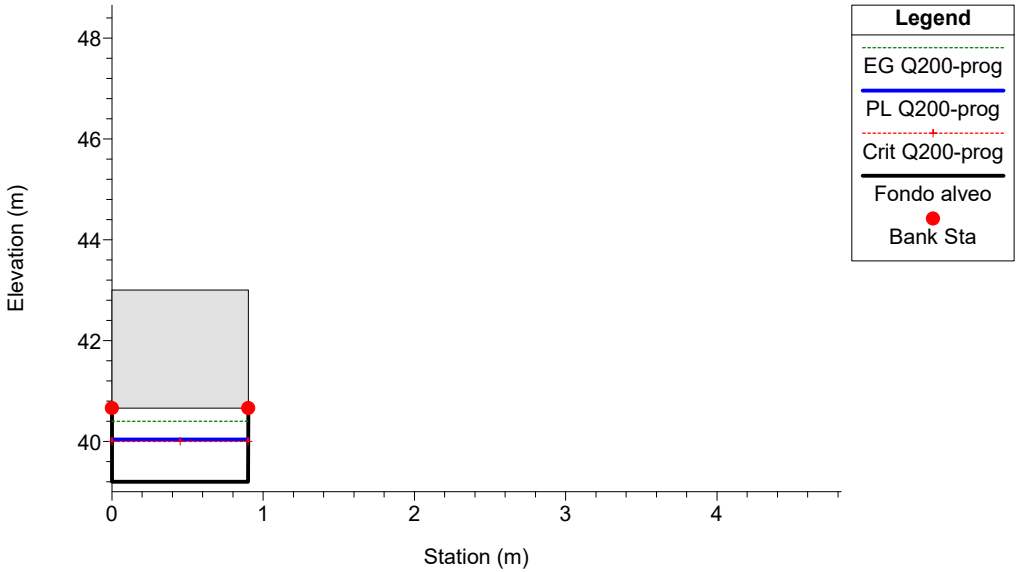


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 7 Q200 residua = 2.0 m³/s

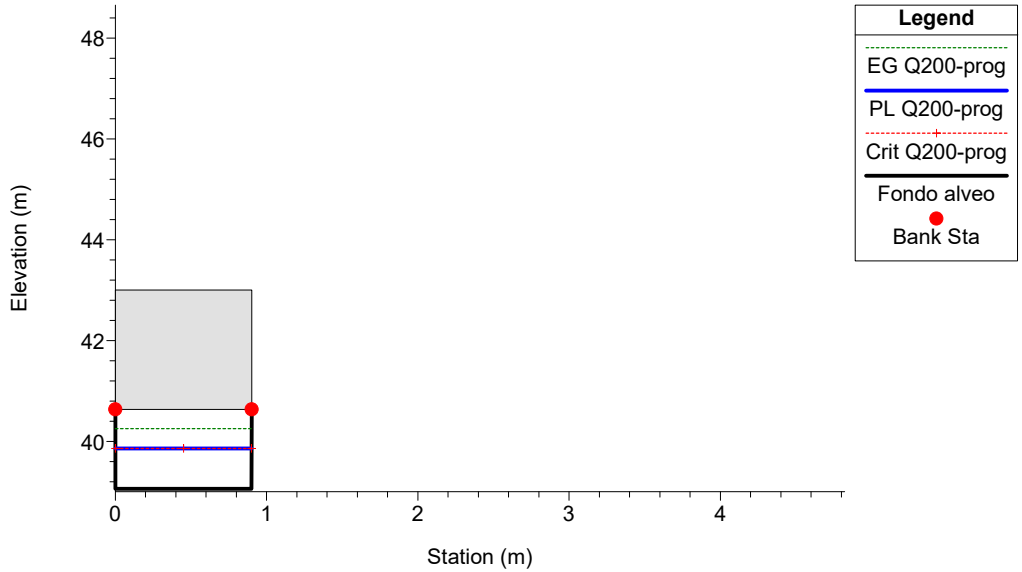


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

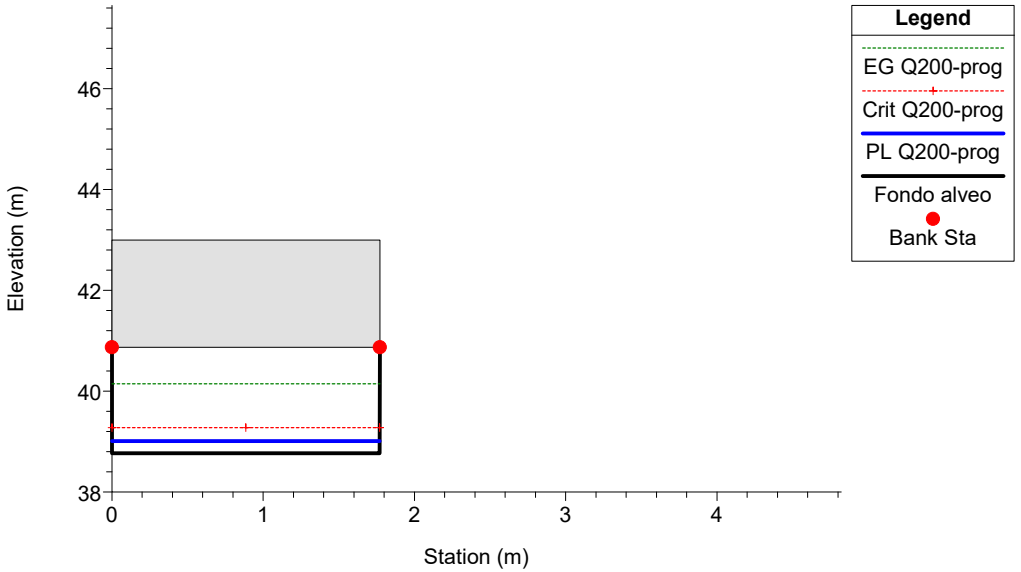
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 6 Q200 residua = 2.0 m³/s



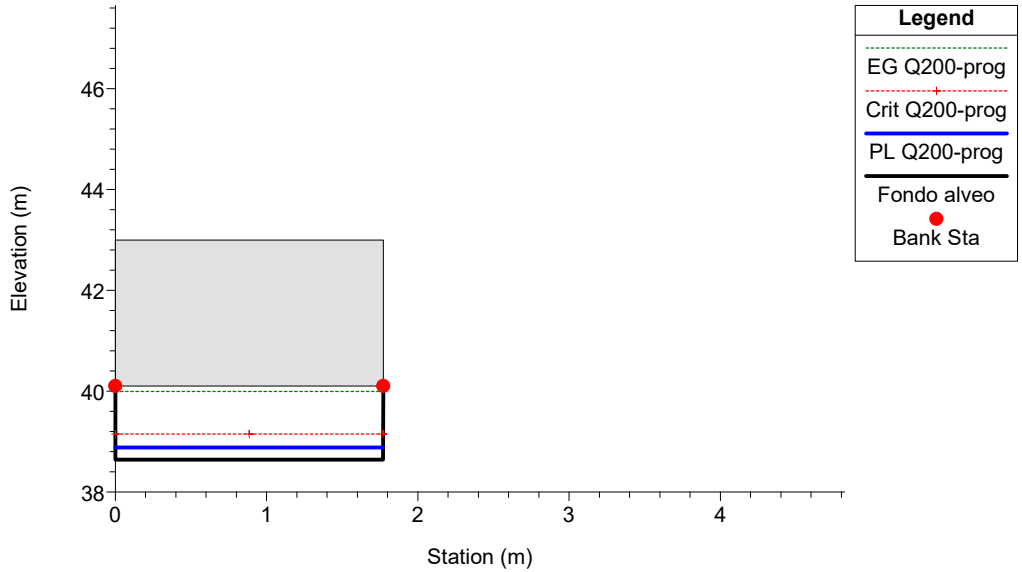
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 5 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 4 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 3 Q200 residua = 2.0 m³/s

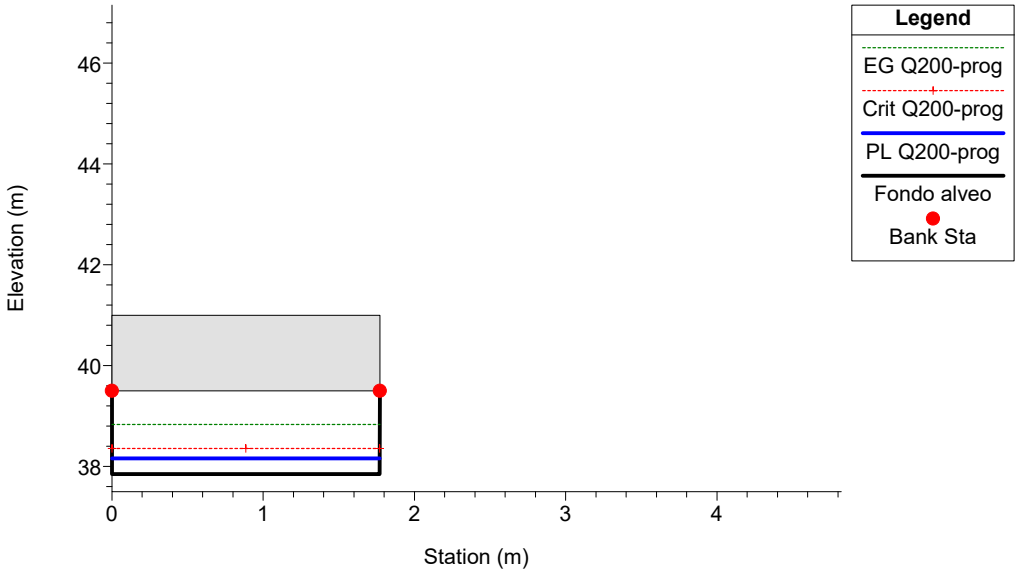


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

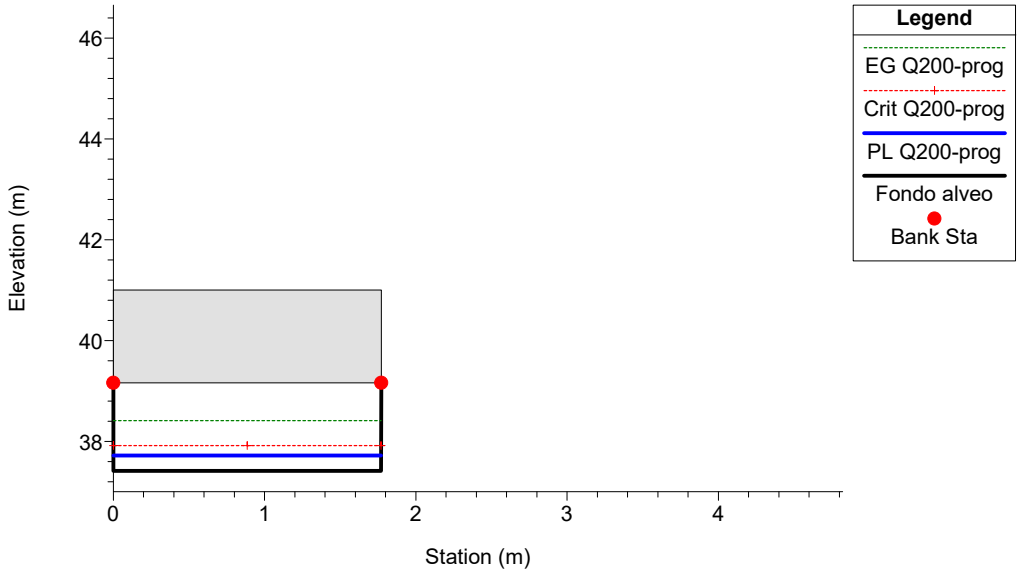
RS = 2 Q200 residua = 2.0 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

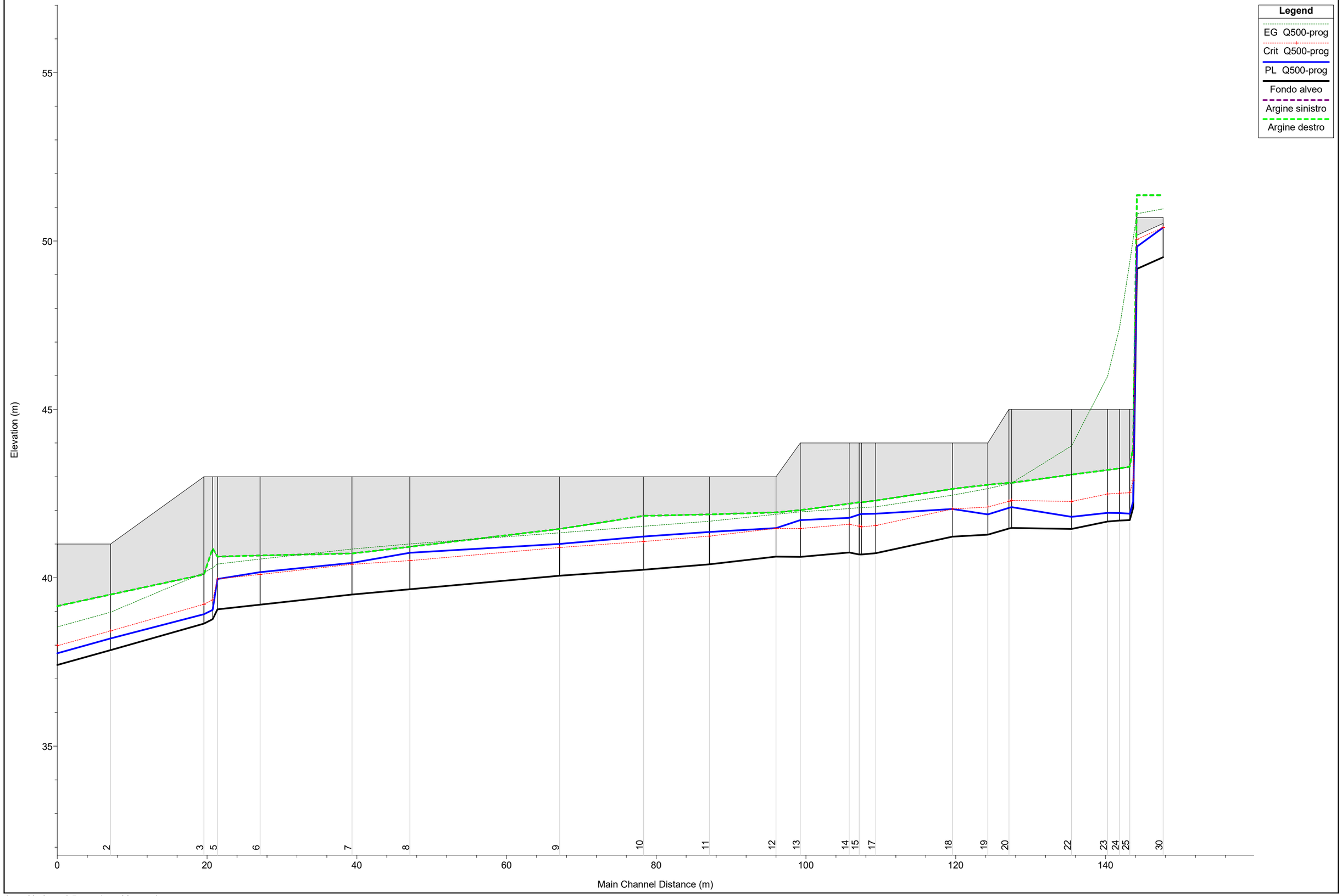
RS = 1 Q200 residua = 2.0 m³/s



1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

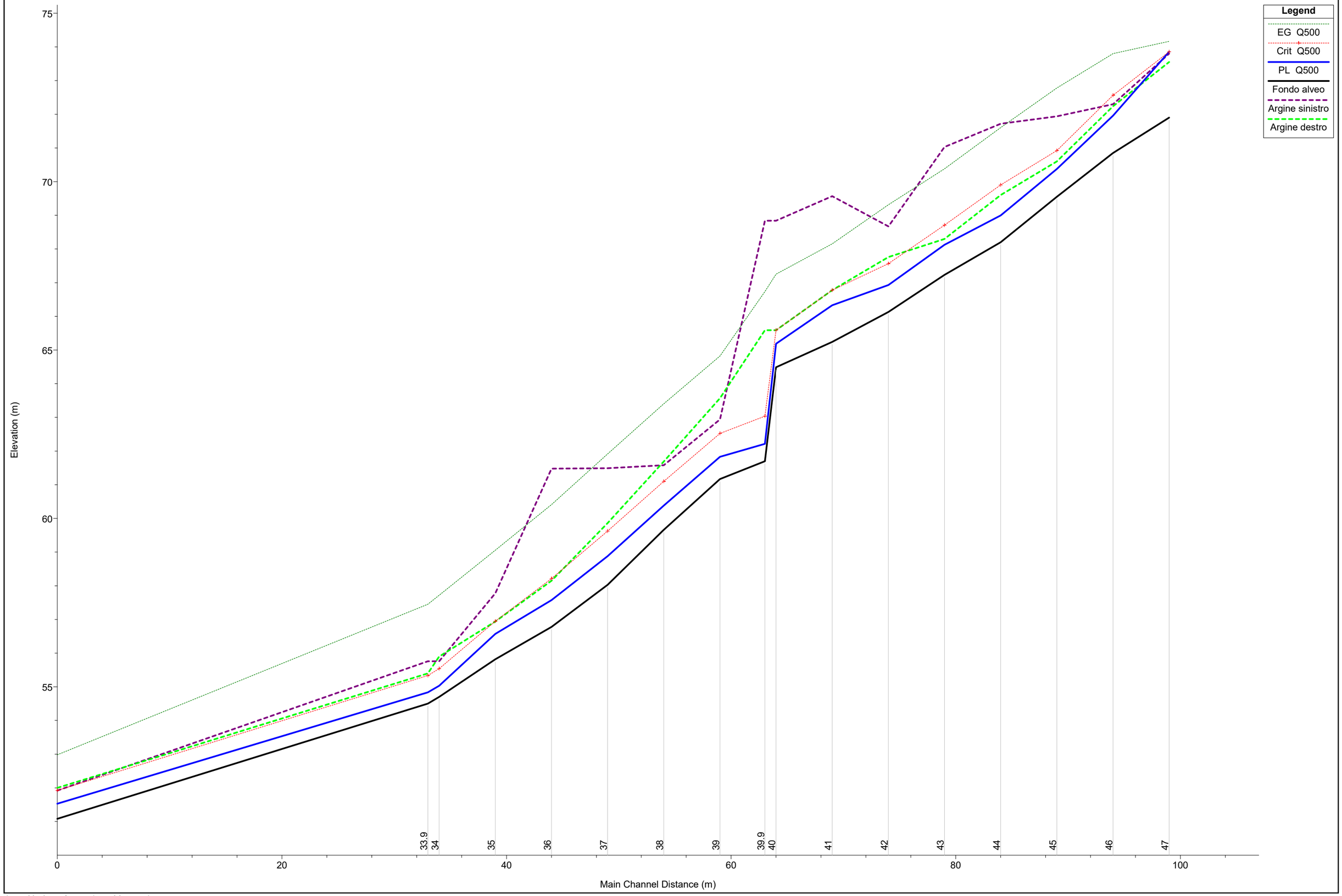
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente Q500 residua = 2.4 m³/s



1 cm Horiz. = 4.5 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Villa Castagna

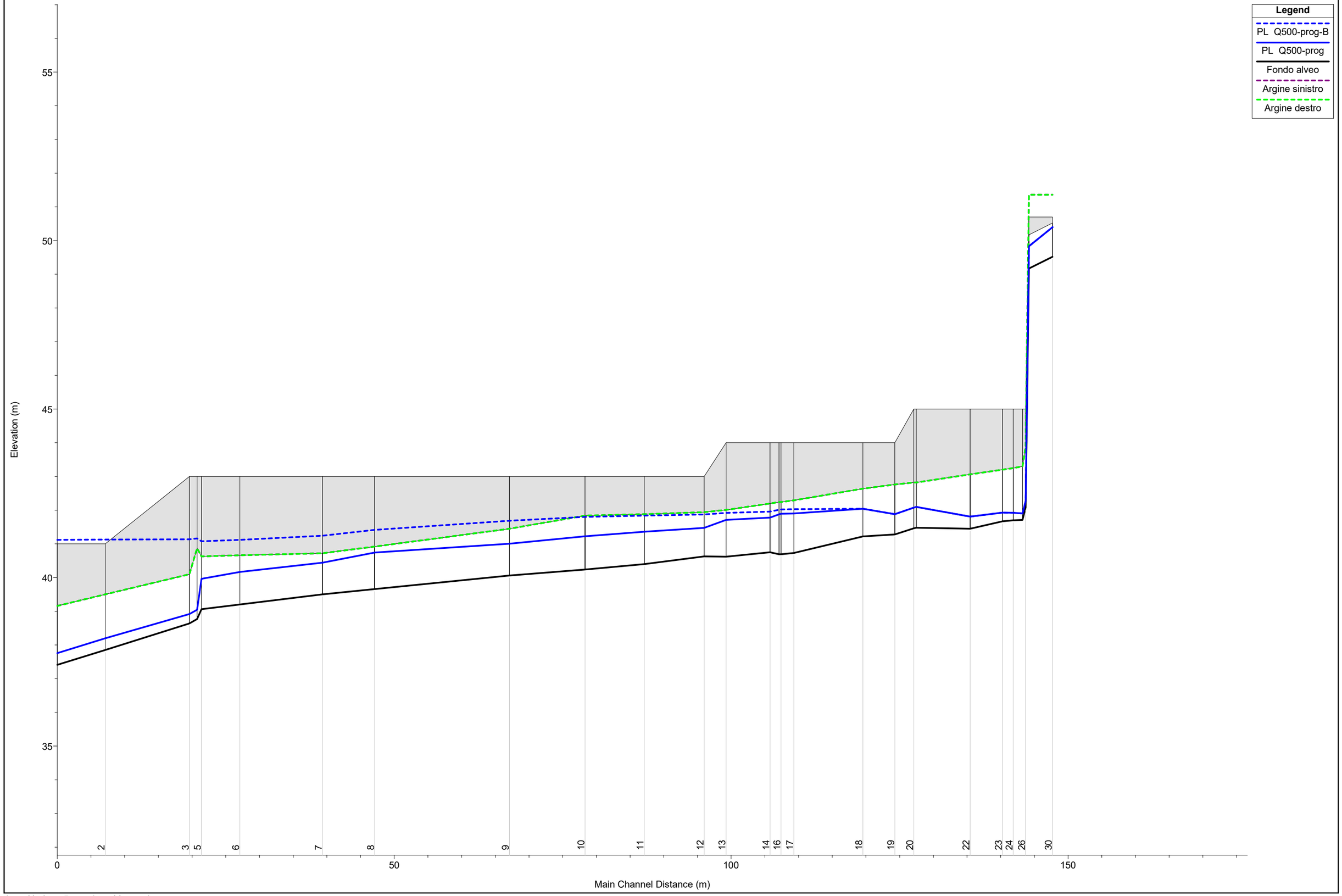
Geom: Stato di progetto-tratto di monte Q500 complessiva = 4.8 m³/s



1 cm Horiz. = 3 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente Raffronto con e senza piena su t Bisagno Q500 residua = 2.4 m³/s



1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 1 m

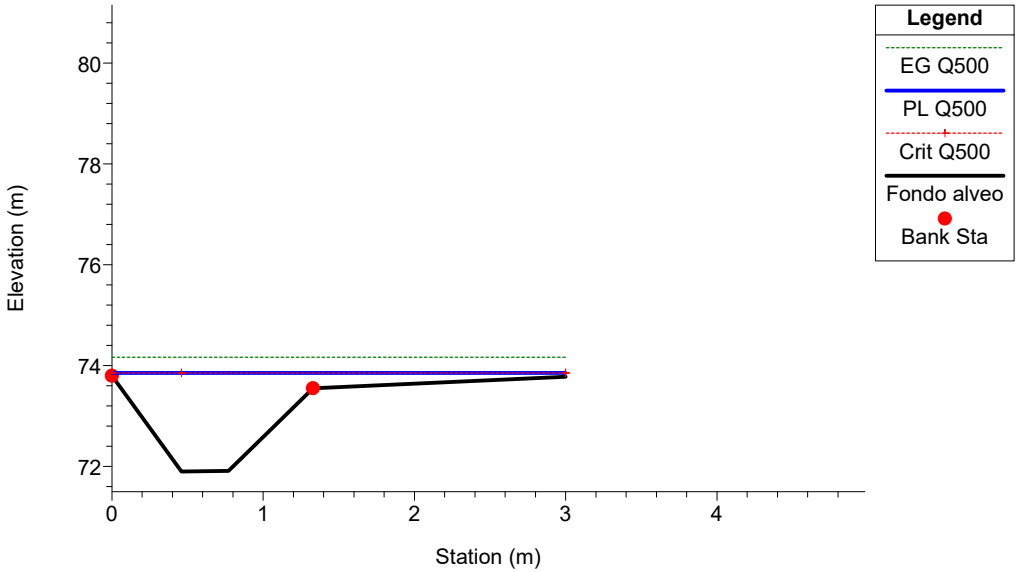
HEC-RAS Plan: Stato di progetto-monte River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q500

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	47	Q500	99.00	4.80	71.90	73.80	73.55	73.86	1.96	0.67	74.17	2.55	2.02	3.00	0.72
Rio Villa castag	46	Q500	94.00	4.80	70.85	72.30	72.24	71.96	1.11	0.80	73.80	6.01	0.80	1.00	2.14
Rio Villa castag	45	Q500	89.00	4.80	69.55	71.94	70.60	70.38	0.83	0.69	72.78	6.86	0.70	1.01	2.63
Rio Villa castag	44	Q500	84.00	4.80	68.20	71.72	69.60	69.00	0.80	0.67	71.60	7.15	0.67	1.00	2.79
Rio Villa castag	43	Q500	79.00	4.80	67.23	71.03	68.30	68.12	0.89	0.72	70.38	6.65	0.72	1.00	2.50
Rio Villa castag	42	Q500	74.00	4.80	66.13	68.67	67.76	66.93	0.80	0.72	69.31	6.84	0.70	0.97	2.57
Rio Villa castag	41	Q500	69.00	4.80	65.24	69.57	66.78	66.33	1.09	0.75	68.15	5.98	0.80	1.07	2.21
Rio Villa castag	40	Q500	64.00	4.80	64.49	68.84	65.59	65.19	0.70	0.67	67.25	6.36	0.75	1.13	2.49
Rio Villa castag	39.9	Q500	63.00	4.80	61.70	68.84	65.59	62.22	0.52	0.51	66.74	9.42	0.51	1.01	4.23
Rio Villa castag	39	Q500	59.00	4.80	61.17	62.94	63.57	61.83	0.66	0.58	64.82	7.66	0.63	1.07	3.20
Rio Villa castag	38	Q500	54.00	4.80	59.66	61.58	61.69	60.38	0.72	0.62	63.41	7.70	0.62	1.00	3.12
Rio Villa castag	37	Q500	49.00	4.80	58.03	61.49	59.86	58.88	0.85	0.72	61.92	7.72	0.62	0.86	2.90
Rio Villa castag	36	Q500	44.00	4.80	56.78	61.48	58.15	57.57	0.79	0.66	60.41	7.46	0.64	0.98	2.94
Rio Villa castag	35	Q500	39.00	4.80	55.82	57.78	56.94	56.57	0.75	0.73	59.06	6.99	0.69	0.94	2.61
Rio Villa castag	34	Q500	34.00	4.80	54.70	55.76	55.90	55.03	0.33	0.33	57.72	7.26	0.66	2.00	4.04
Rio Villa castag	33.9	Q500	33.00	4.80	54.50	55.76	55.40	54.84	0.34	0.33	57.45	7.16	0.67	2.00	3.95
Rio Villa castag	32	Q500		4.80	51.08	51.92	52.00	51.53	0.45	0.45	52.98	5.34	0.90	2.00	2.54

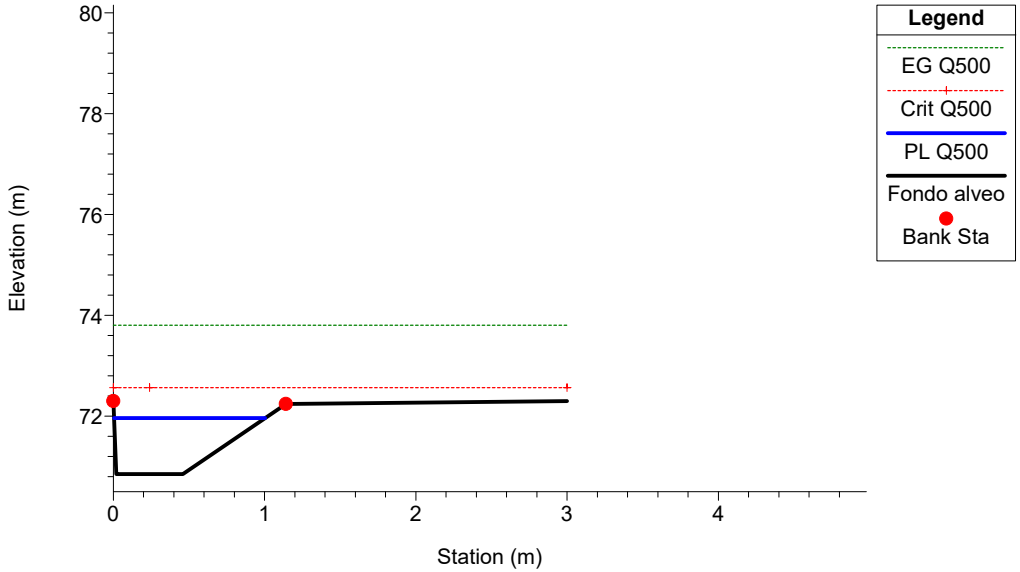
HEC-RAS Plan: Stato di progetto-valle River: Rio Villa castag Reach: Rio Villa castag Profile: Q500-prog

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rio Villa castag	30	Q500-prog	147.69	2.40	49.52	50.02	50.02	50.40	0.88	1.11	50.95	3.30	0.73	0.65	1.12
Rio Villa castag	29.9	Q500-prog	144.19	2.40	49.17	49.67	49.67	49.83	0.66	0.58	50.81	4.39	0.55	0.94	1.72
Rio Villa castag	26	Q500-prog	143.69	2.40	42.08	43.87	43.87	42.27	0.19	0.19	50.07	12.37	0.19	1.04	9.14
Rio Villa castag	25	Q500-prog	143.23	2.40	41.71	43.30	43.30	41.90	0.19	0.19	49.37	12.10	0.20	1.04	8.85
Rio Villa castag	24	Q500-prog	141.86	2.40	41.70	43.25	43.25	41.92	0.22	0.22	47.42	10.38	0.23	1.04	7.03
Rio Villa castag	23	Q500-prog	140.27	2.40	41.67	43.20	43.20	41.93	0.26	0.26	45.97	8.91	0.27	1.04	5.59
Rio Villa castag	22	Q500-prog	135.47	2.40	41.45	43.06	43.06	41.81	0.36	0.36	43.92	6.43	0.37	1.04	3.43
Rio Villa castag	21	Q500-prog	127.47	2.40	41.48	42.82	42.82	42.10	0.62	0.62	42.81	3.74	0.64	1.04	1.52
Rio Villa castag	20	Q500-prog	127.11	2.40	41.46	42.82	42.82	42.08	0.62	0.62	42.79	3.74	0.64	1.04	1.52
Rio Villa castag	19	Q500-prog	124.29	2.40	41.28	42.76	42.76	41.88	0.60	0.60	42.65	3.87	0.62	1.03	1.60
Rio Villa castag	18	Q500-prog	119.55	2.40	41.22	42.64	42.64	42.04	0.82	0.82	42.45	2.84	0.85	1.03	1.00
Rio Villa castag	17	Q500-prog	109.30	2.40	40.73	42.29	42.29	41.90	1.17	1.17	42.10	1.99	1.21	1.03	0.59
Rio Villa castag	16	Q500-prog	107.40	2.40	40.69	42.24	42.24	41.89	1.20	1.20	42.08	1.94	1.24	1.03	0.56
Rio Villa castag	15	Q500-prog	107.10	2.40	40.69	42.24	42.24	41.88	1.19	1.17	42.08	2.00	1.20	1.03	0.59
Rio Villa castag	14	Q500-prog	105.77	2.40	40.75	42.20	42.20	41.78	1.03	1.03	42.06	2.34	1.03	1.00	0.74
Rio Villa castag	13	Q500-prog	99.24	2.40	40.62	42.01	42.01	41.71	1.09	1.09	41.96	2.20	1.09	1.00	0.67
Rio Villa castag	12	Q500-prog	96.00	2.40	40.63	41.94	41.94	41.47	0.84	0.84	41.89	2.85	0.84	1.00	0.99
Rio Villa castag	11	Q500-prog	87.10	2.40	40.40	41.88	41.88	41.36	0.96	0.96	41.68	2.50	0.96	1.00	0.81
Rio Villa castag	10	Q500-prog	78.31	2.40	40.24	41.84	41.84	41.22	0.98	0.98	41.53	2.44	0.98	1.00	0.78
Rio Villa castag	9	Q500-prog	67.09	2.40	40.06	41.45	41.45	41.01	0.95	0.95	41.33	2.54	0.95	1.00	0.83
Rio Villa castag	8	Q500-prog	47.09	2.40	39.66	40.92	40.92	40.74	1.08	1.08	41.00	2.26	1.06	0.98	0.69
Rio Villa castag	7	Q500-prog	39.35	2.40	39.50	40.72	40.72	40.44	0.94	0.94	40.85	2.83	0.85	0.90	0.93
Rio Villa castag	6	Q500-prog	27.09	2.40	39.20	40.66	40.66	40.17	0.97	0.96	40.55	2.76	0.87	0.90	0.90
Rio Villa castag	5	Q500-prog	21.39	2.40	39.06	40.63	40.63	39.96	0.90	0.90	40.41	2.96	0.81	0.90	1.00
Rio Villa castag	4	Q500-prog	20.74	2.40	38.77	40.87	40.87	39.04	0.27	0.27	40.30	4.96	0.48	1.77	3.03
Rio Villa castag	3	Q500-prog	19.59	2.40	38.64	40.10	40.10	38.92	0.28	0.28	40.15	4.92	0.49	1.77	2.99
Rio Villa castag	2	Q500-prog	7.11	2.40	37.85	39.50	39.50	38.20	0.35	0.35	38.98	3.91	0.61	1.77	2.12
Rio Villa castag	1	Q500-prog		2.40	37.41	39.16	39.16	37.76	0.35	0.35	38.54	3.92	0.61	1.77	2.13

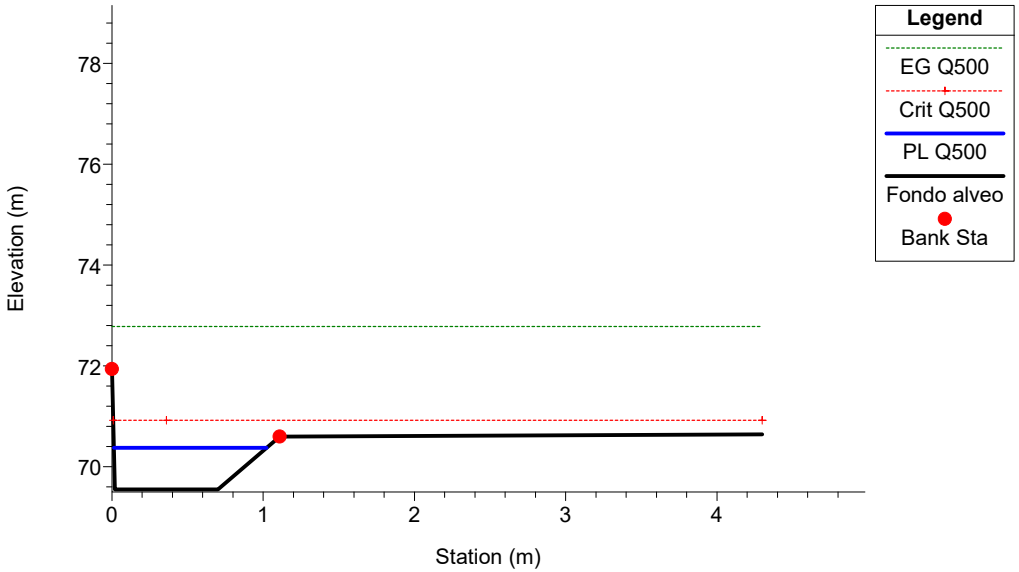
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 47 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



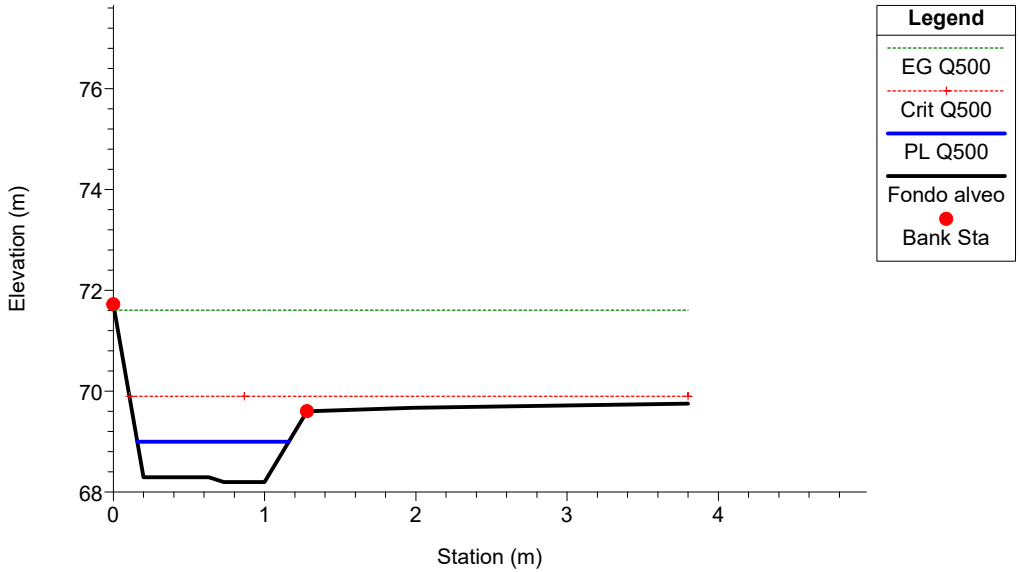
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 46 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 45 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tratto di monte
RS = 44 Q500 complessiva = 4.8 m³/s

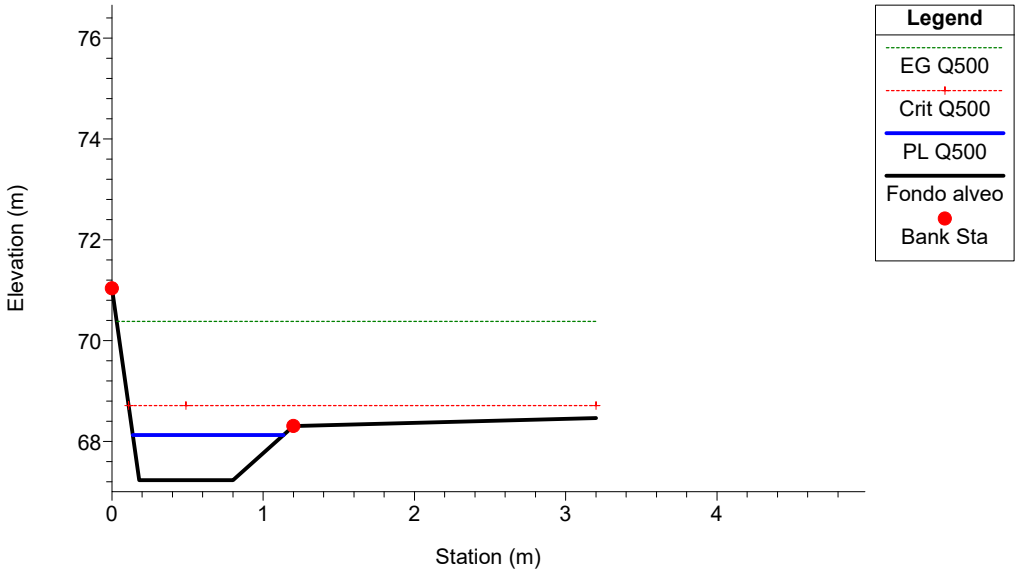


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

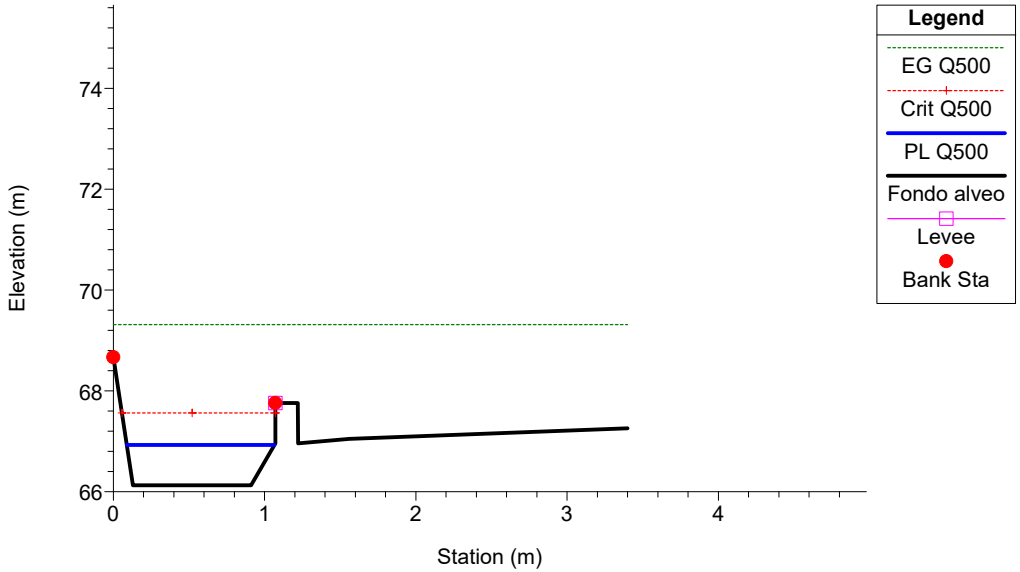
RS = 43 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

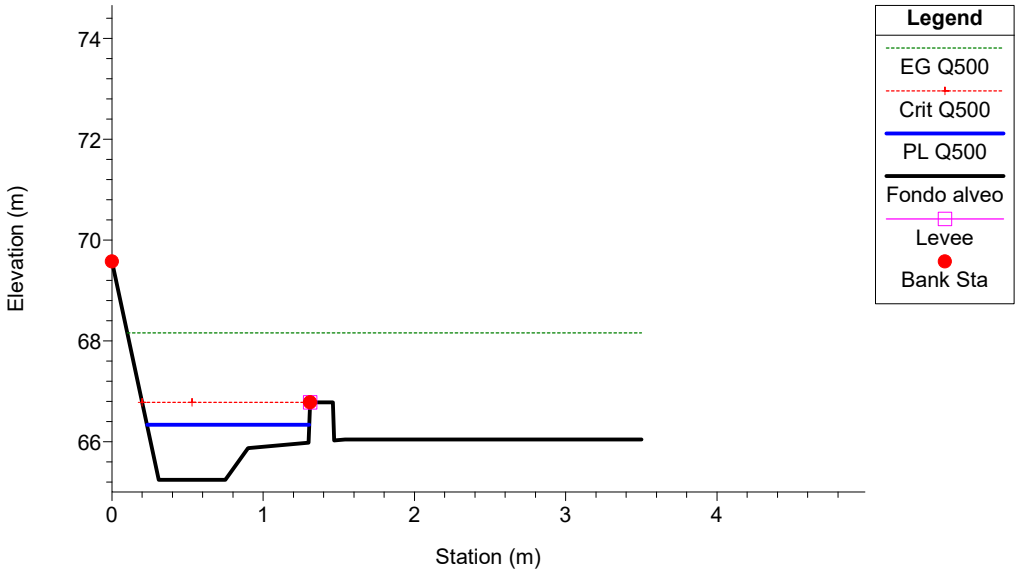
RS = 42 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

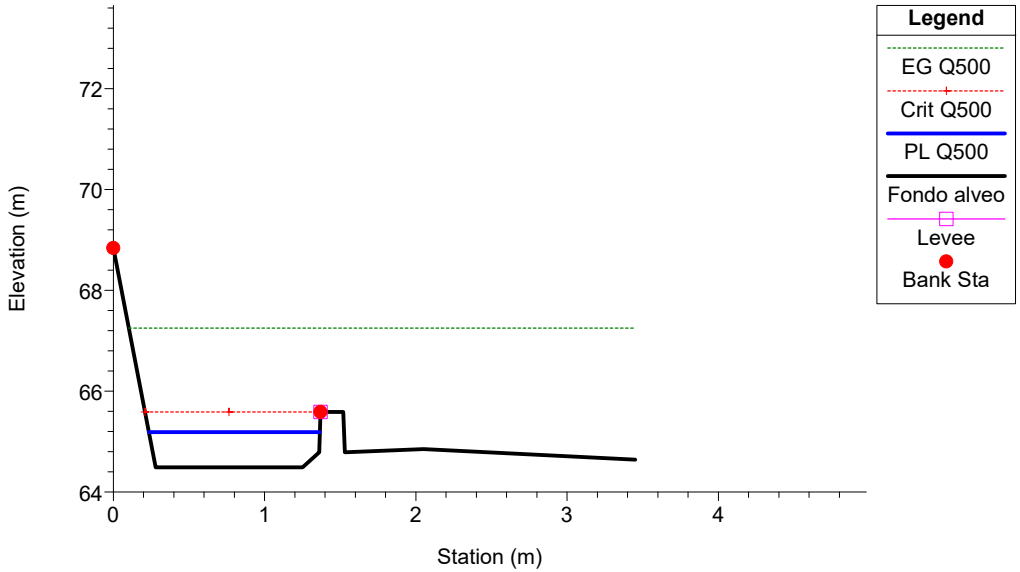
RS = 41 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 40 Q500 complessiva = 4.8 m³/s

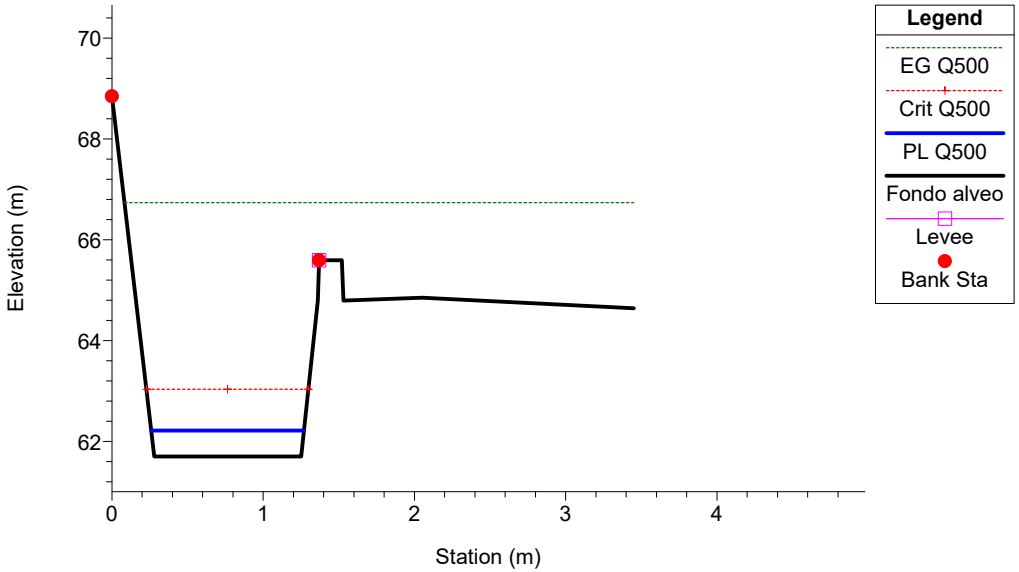


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

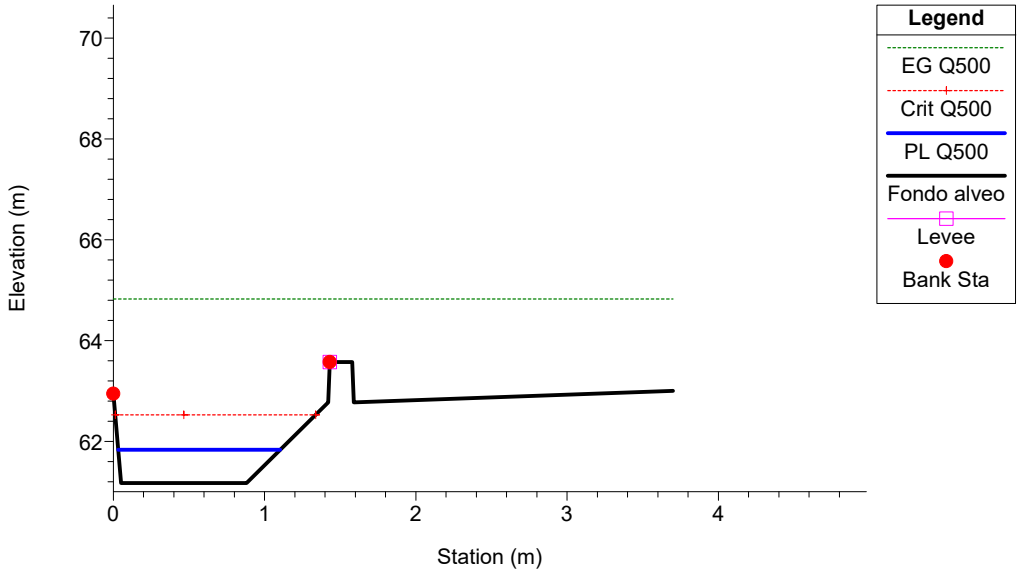
RS = 39.9 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

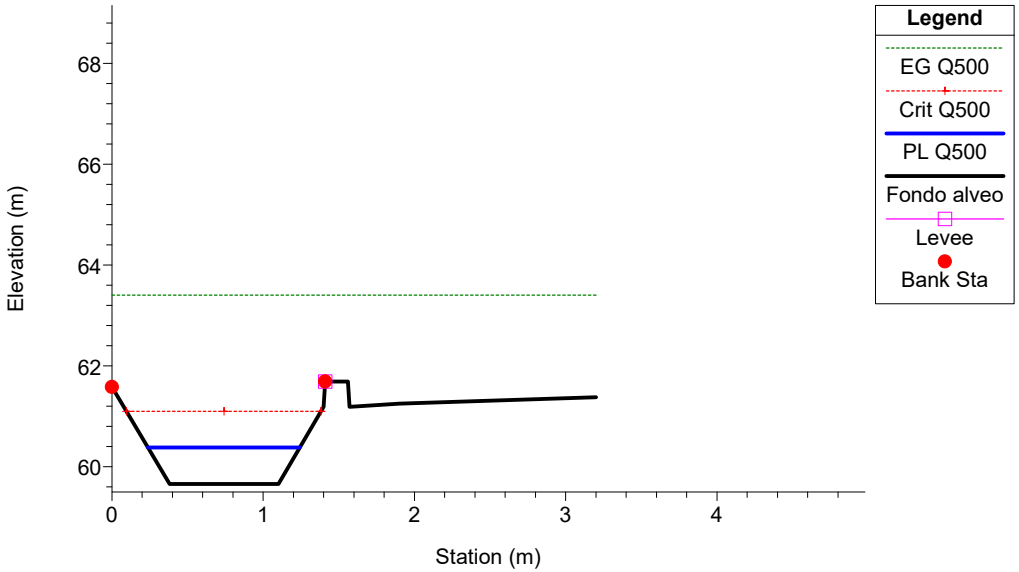
RS = 39 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

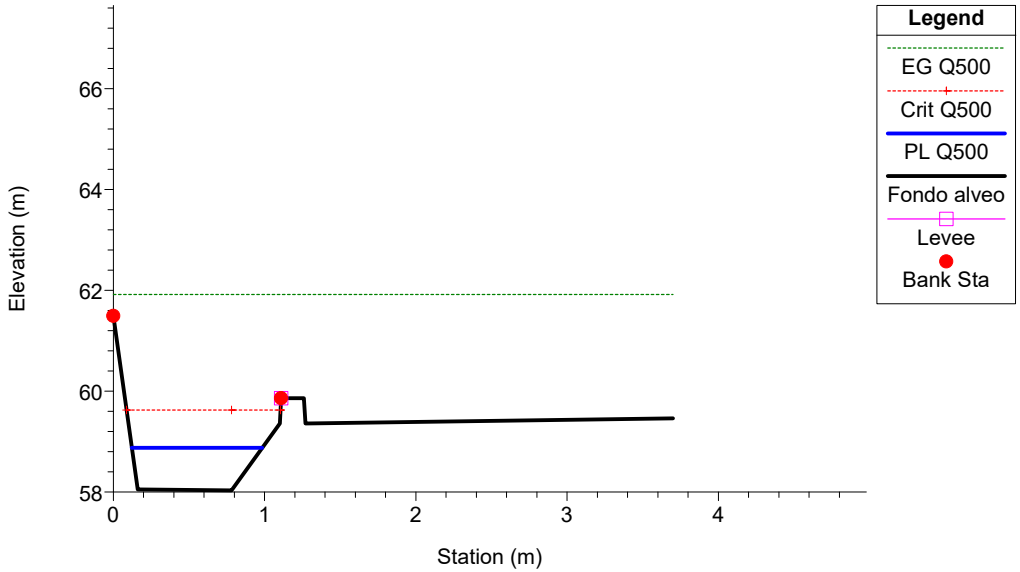
RS = 38 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 37 Q500 complessiva = 4.8 m³/s

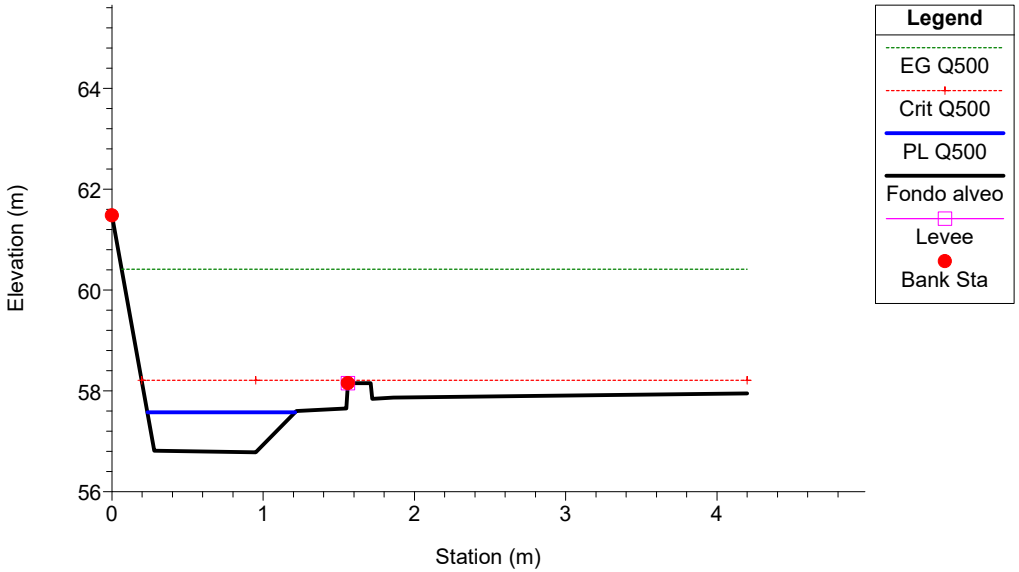


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

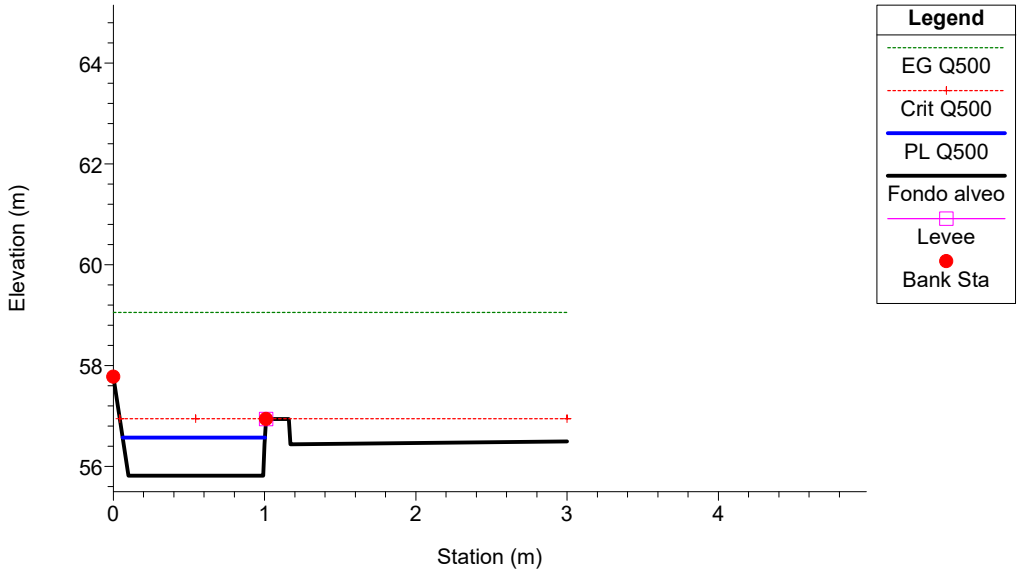
RS = 36 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

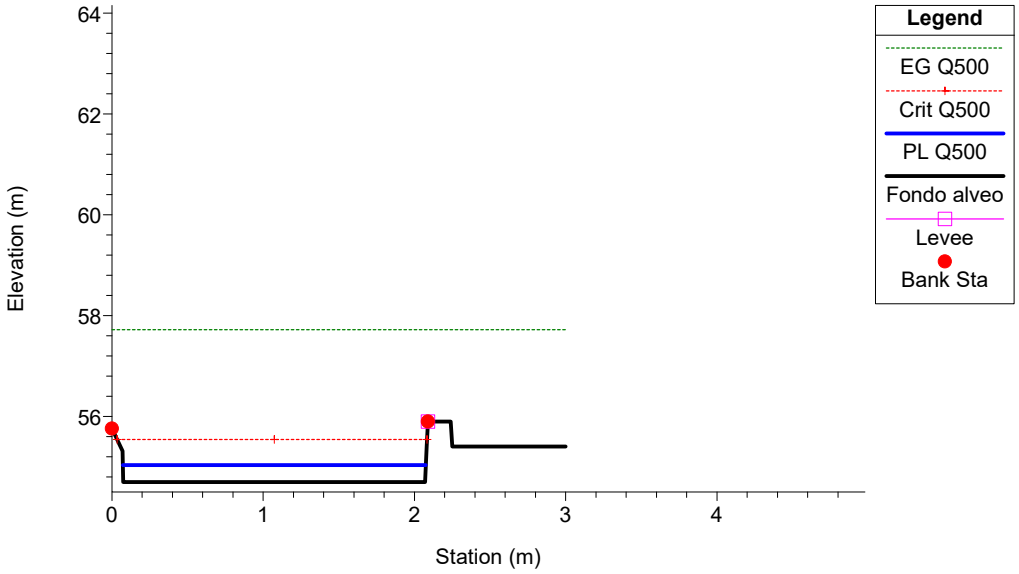
RS = 35 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

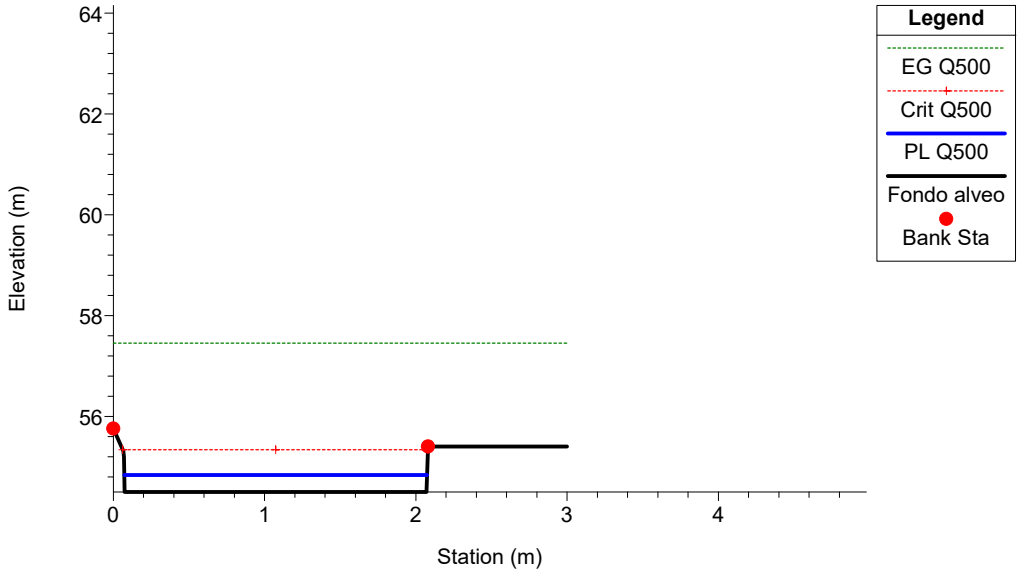
RS = 34 Q500 complessiva = 4.8 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 33.9 Q500 complessiva = 4.8 m³/s

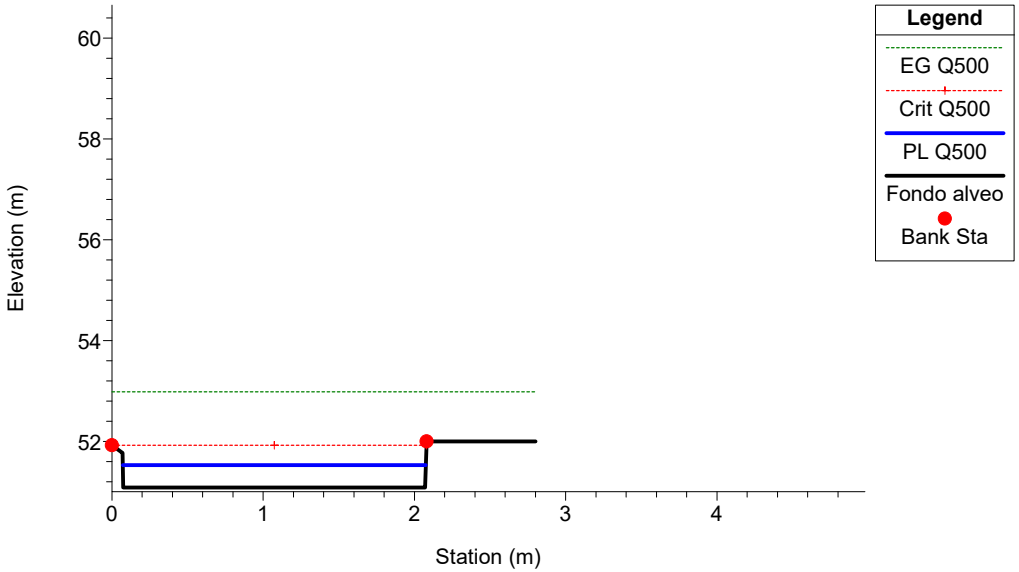


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tratto di monte

RS = 32 Q500 complessiva = 4.8 m³/s

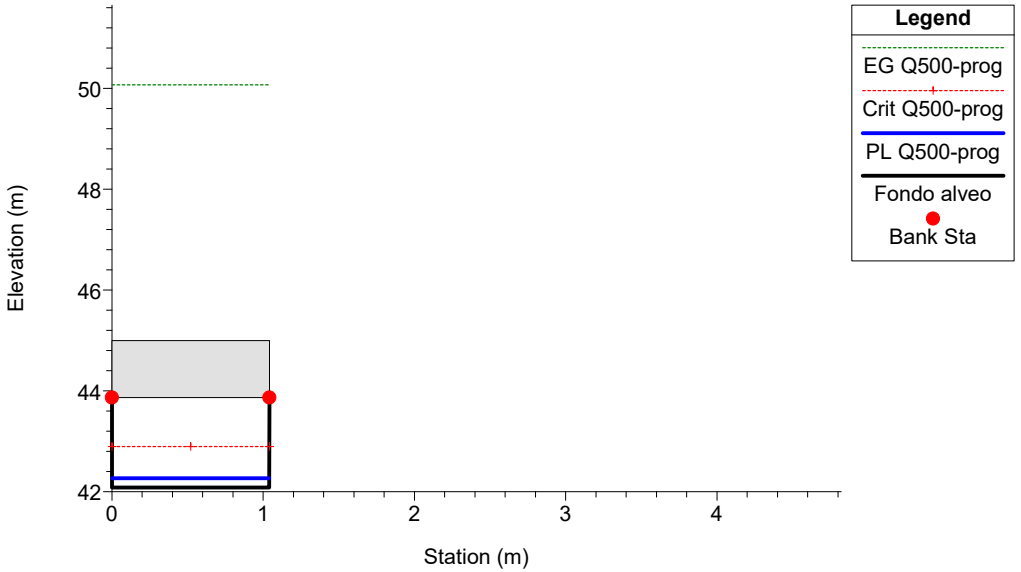


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

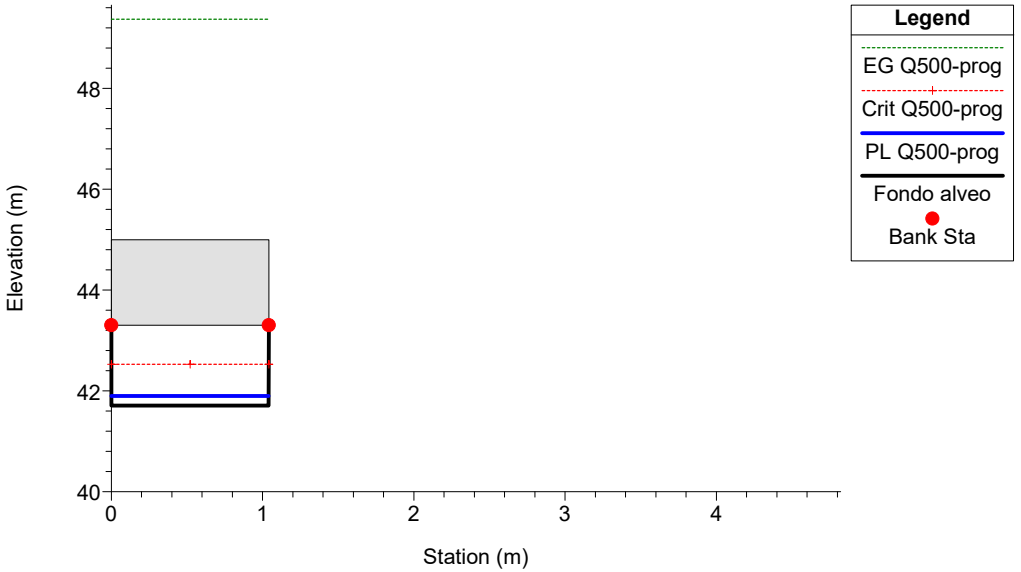
RS = 26 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

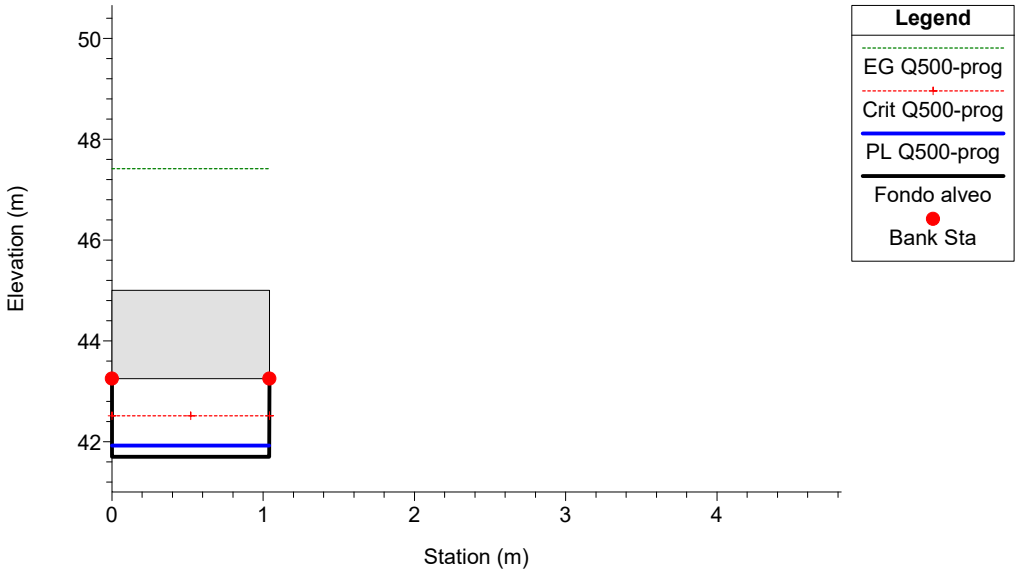
RS = 25 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

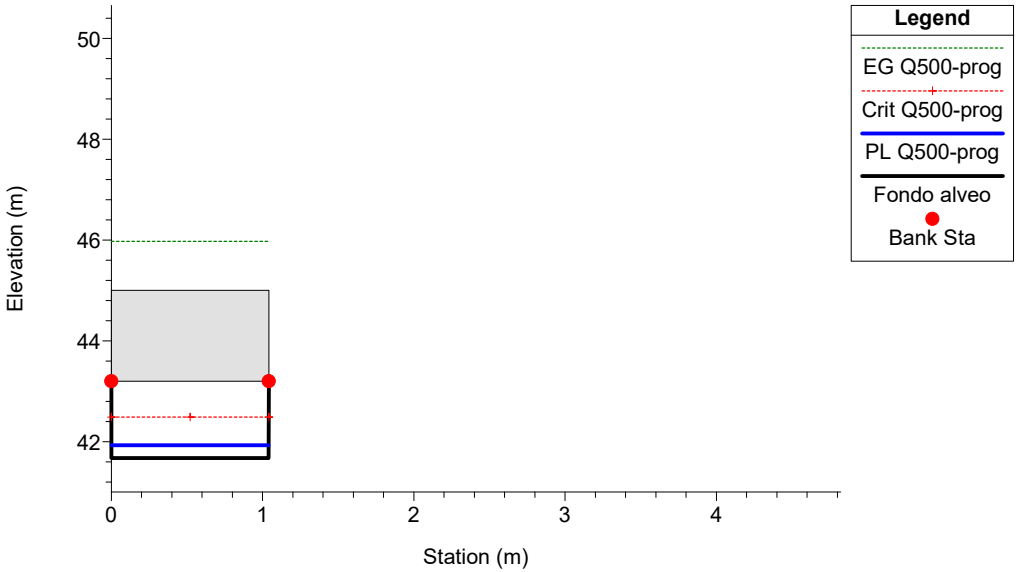
RS = 24 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna

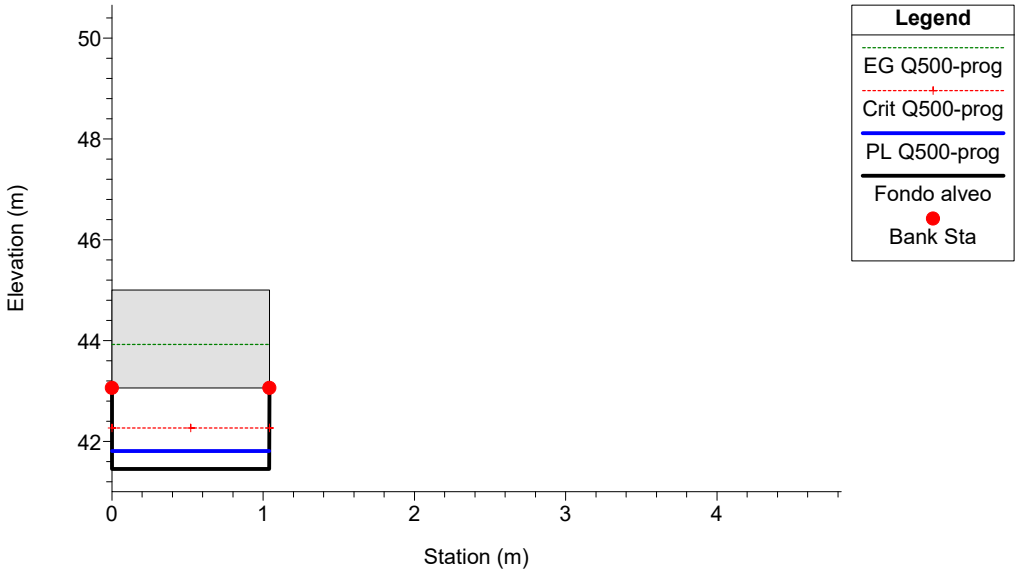
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

RS = 23 Q500 residua = 2.4 m³/s

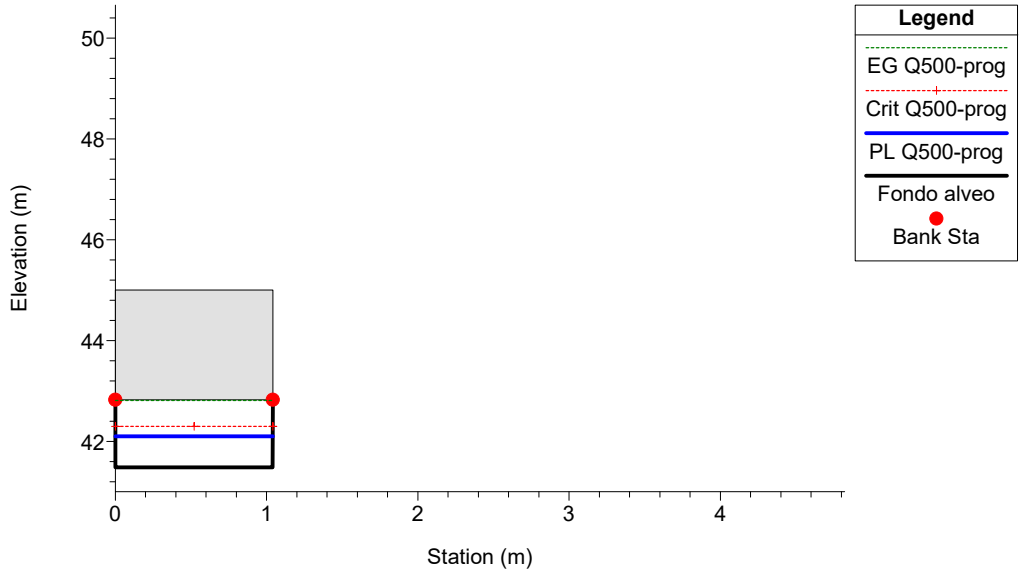


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

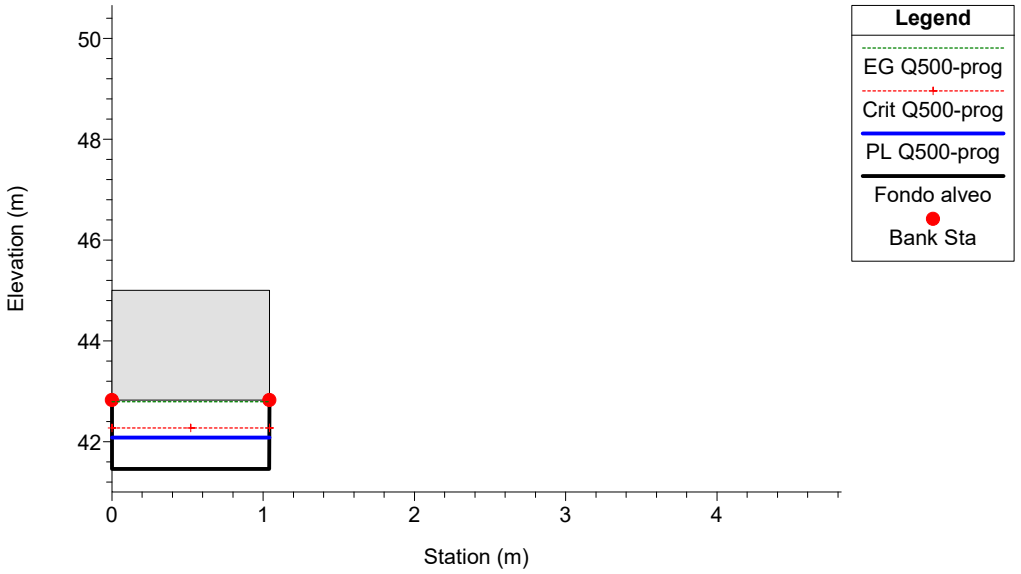
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 22 Q500 residua = 2.4 m³/s



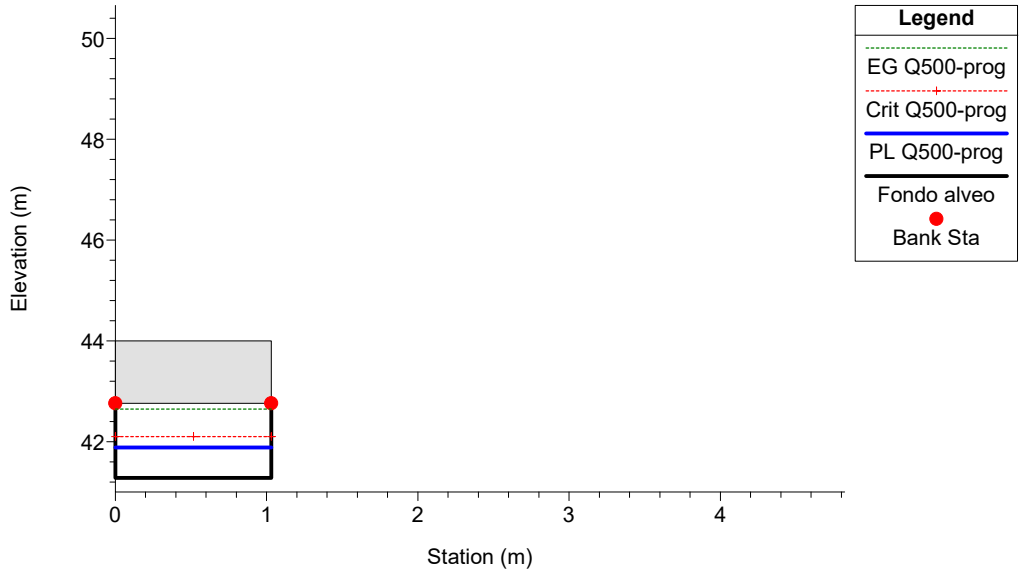
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 21 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 20 Q500 residua = 2.4 m³/s

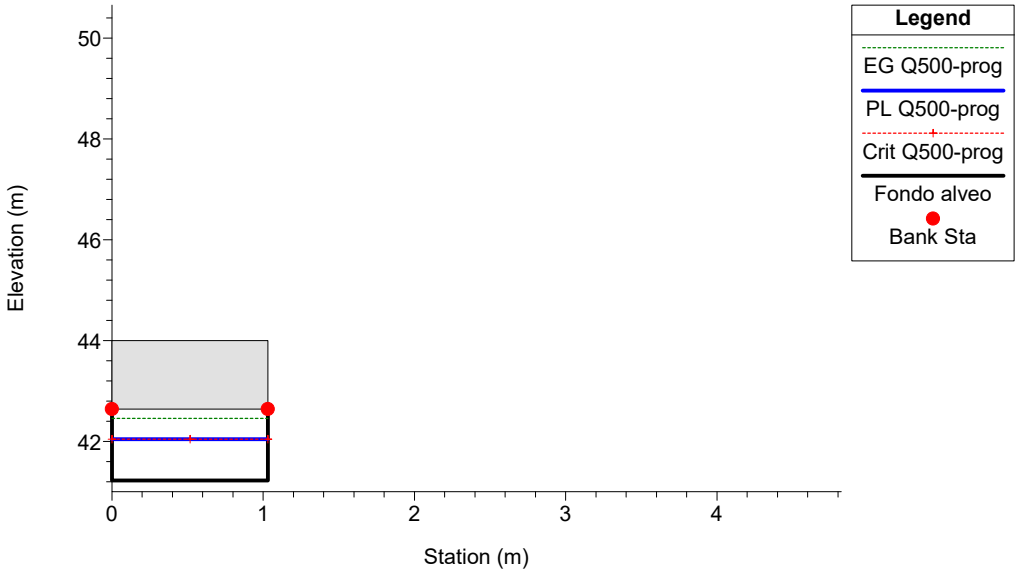


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 19 Q500 residua = 2.4 m³/s

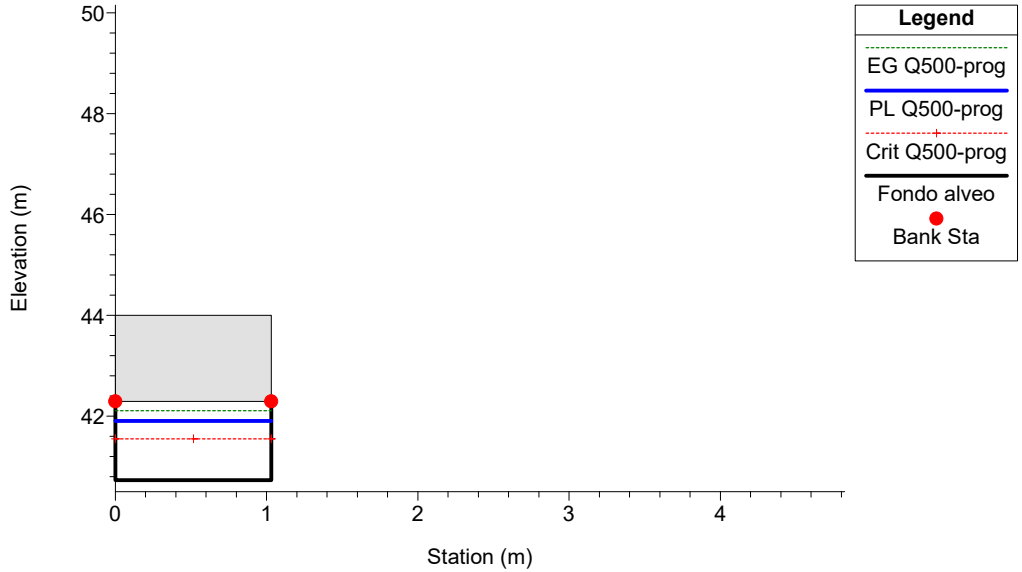


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

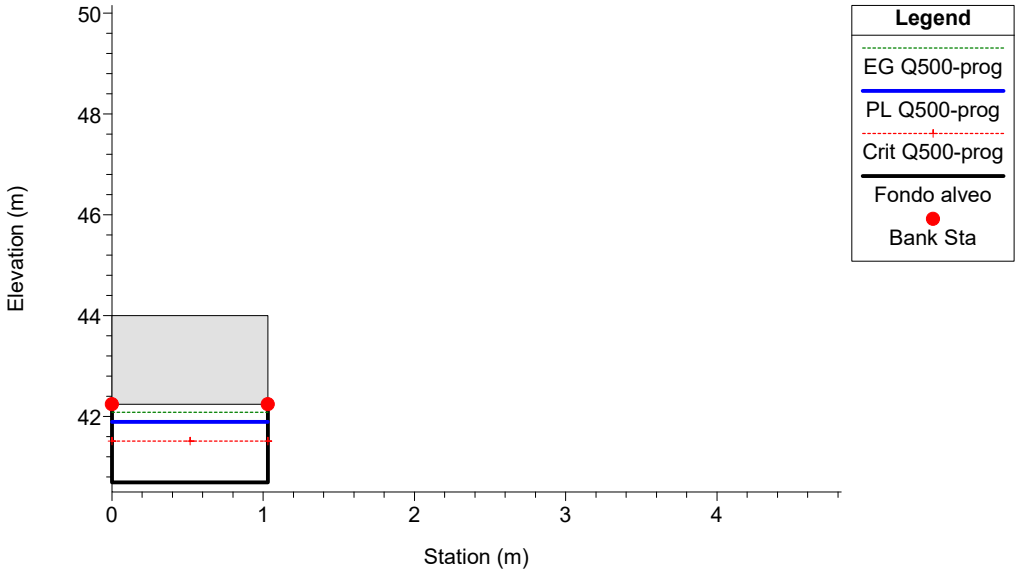
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 18 Q500 residua = 2.4 m³/s



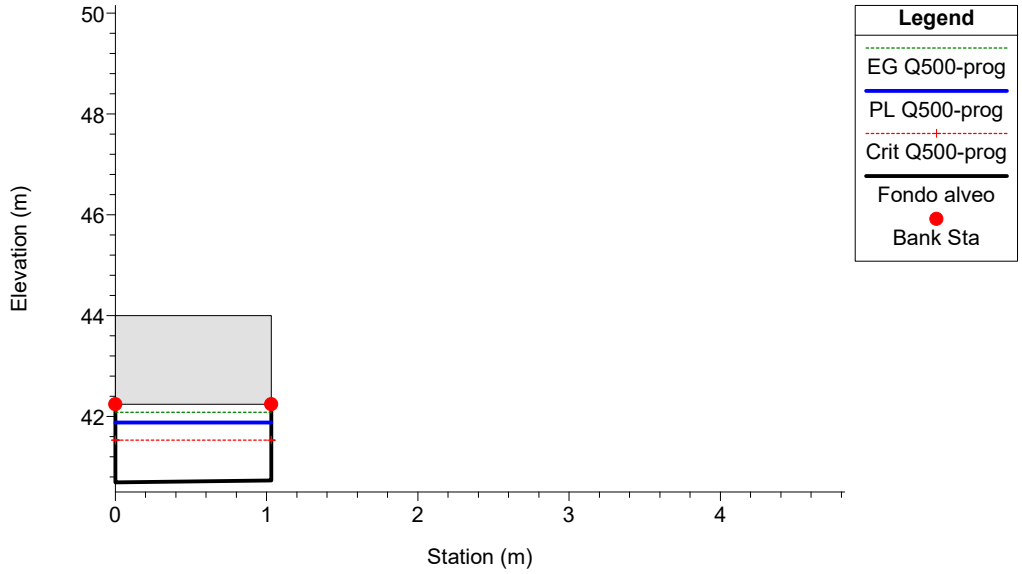
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 17 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 16 Q500 residua = 2.4 m³/s

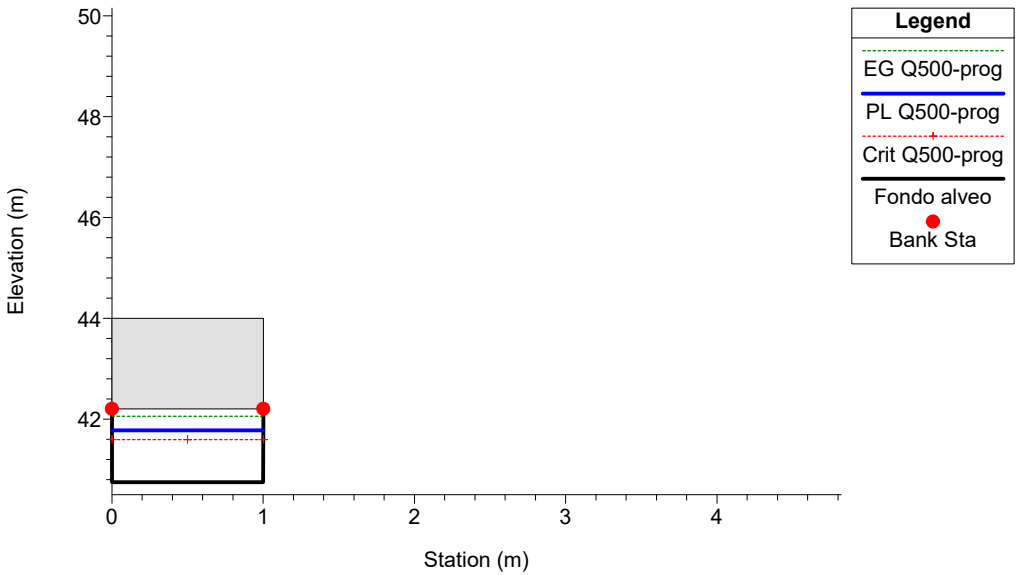


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 15 Q500 residua = 2.4 m³/s

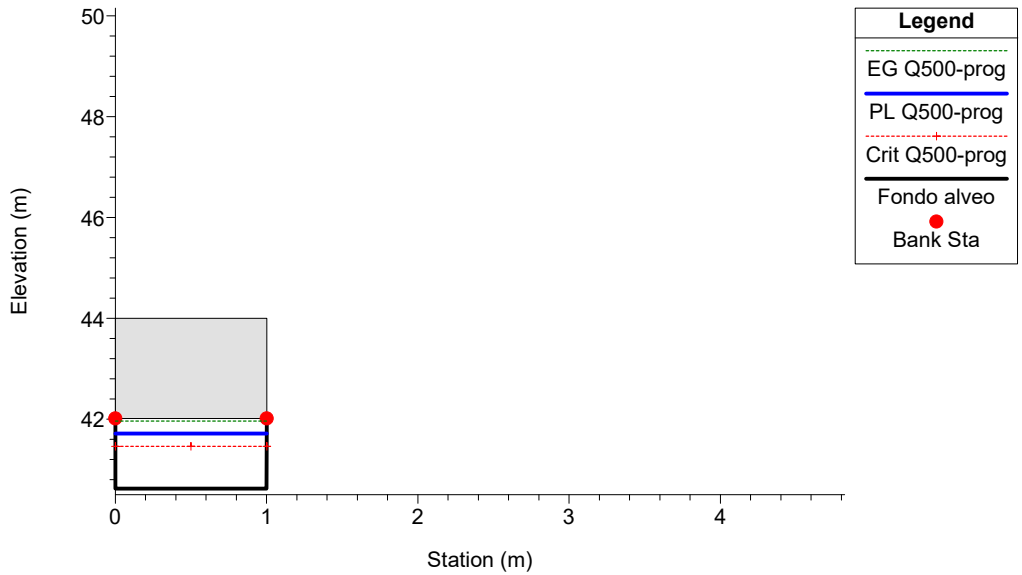


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

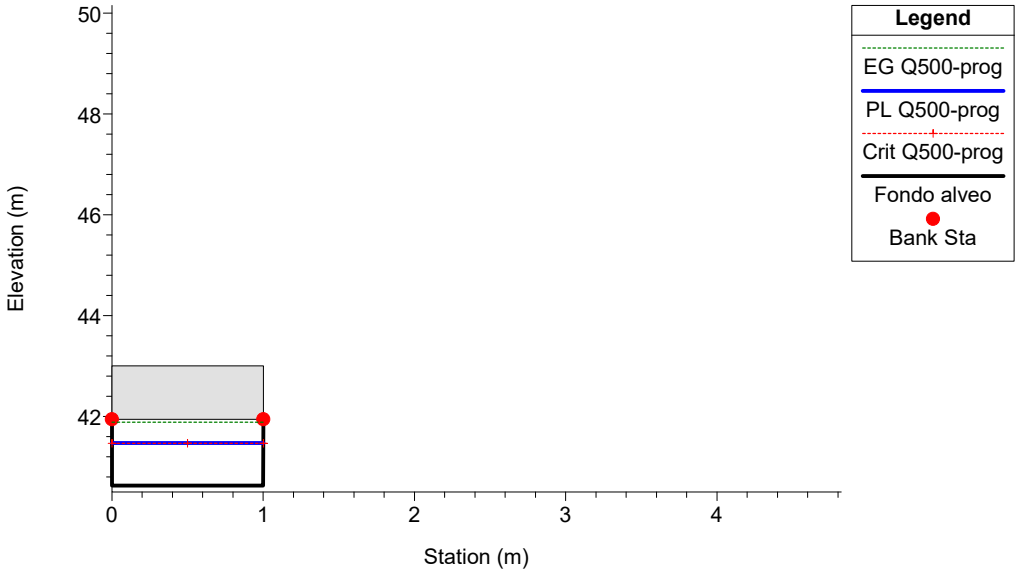
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 14 Q500 residua = 2.4 m³/s



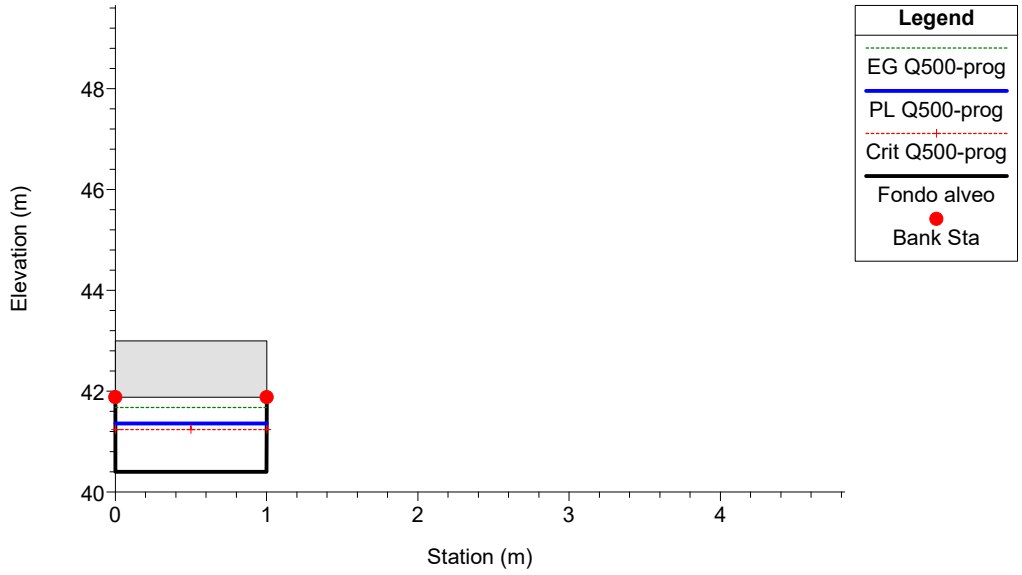
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 13 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 12 Q500 residua = 2.4 m³/s

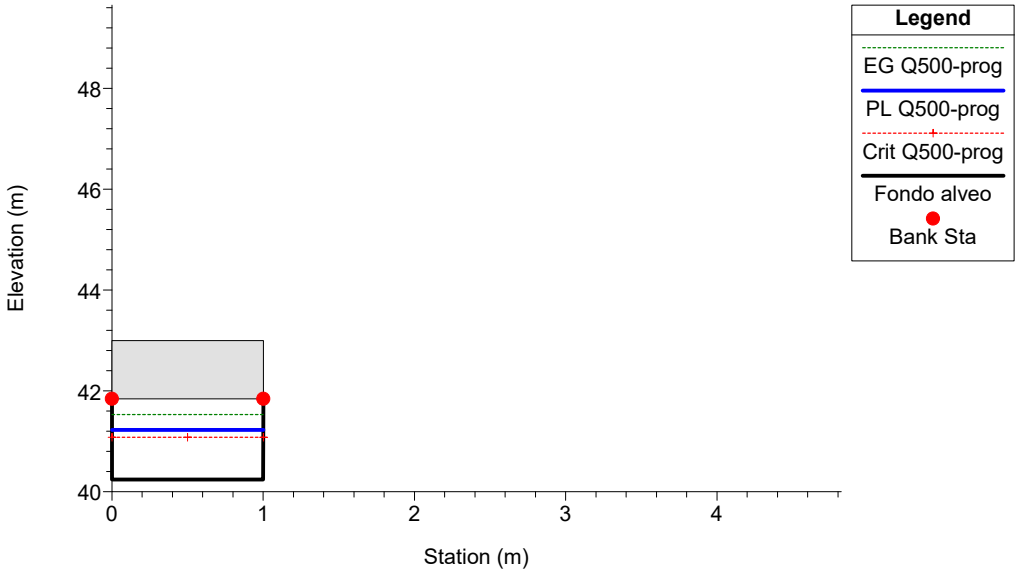


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 11 Q500 residua = 2.4 m³/s

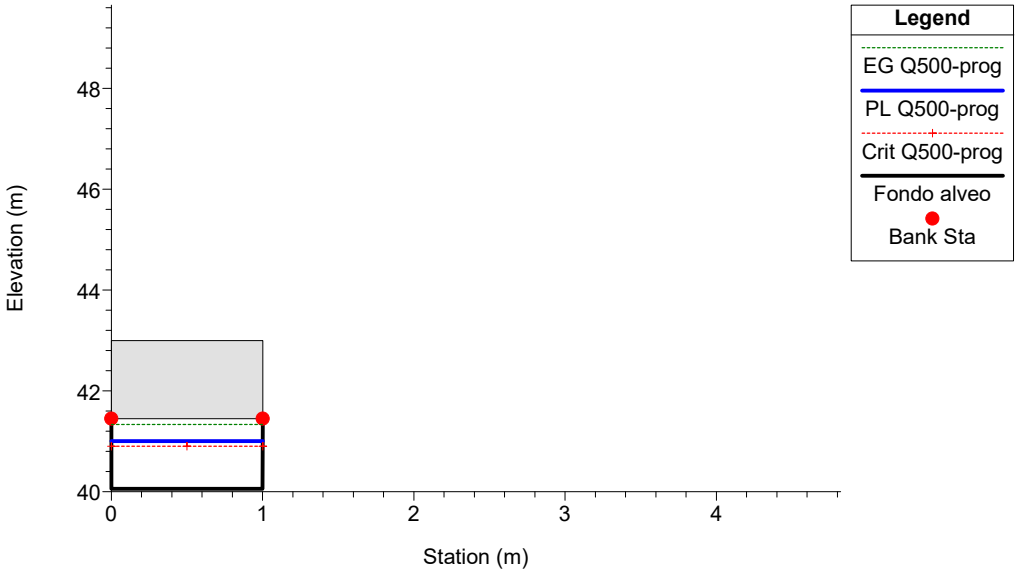


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

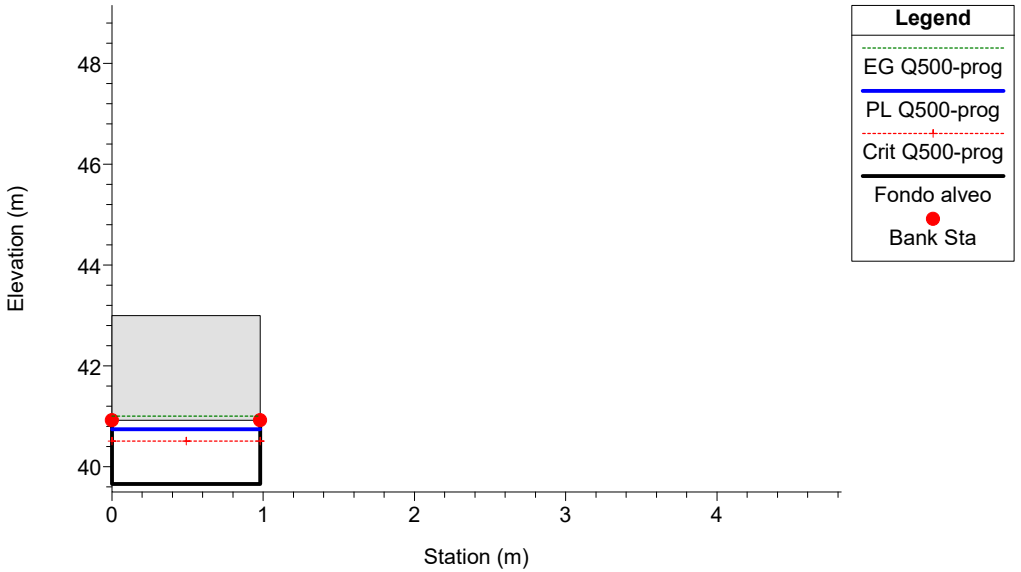
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 10 Q500 residua = 2.4 m³/s



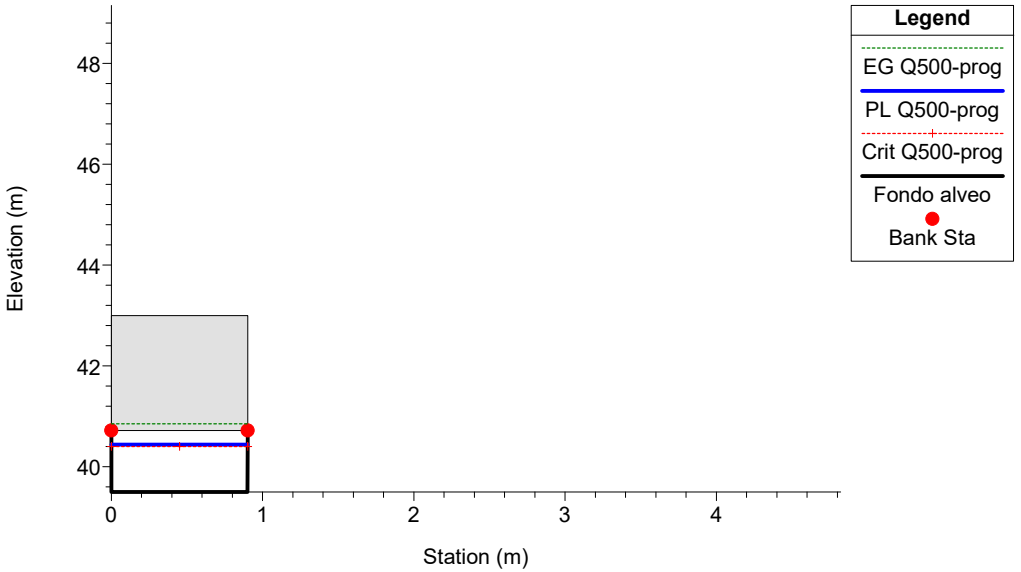
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 9 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 8 Q500 residua = 2.4 m³/s

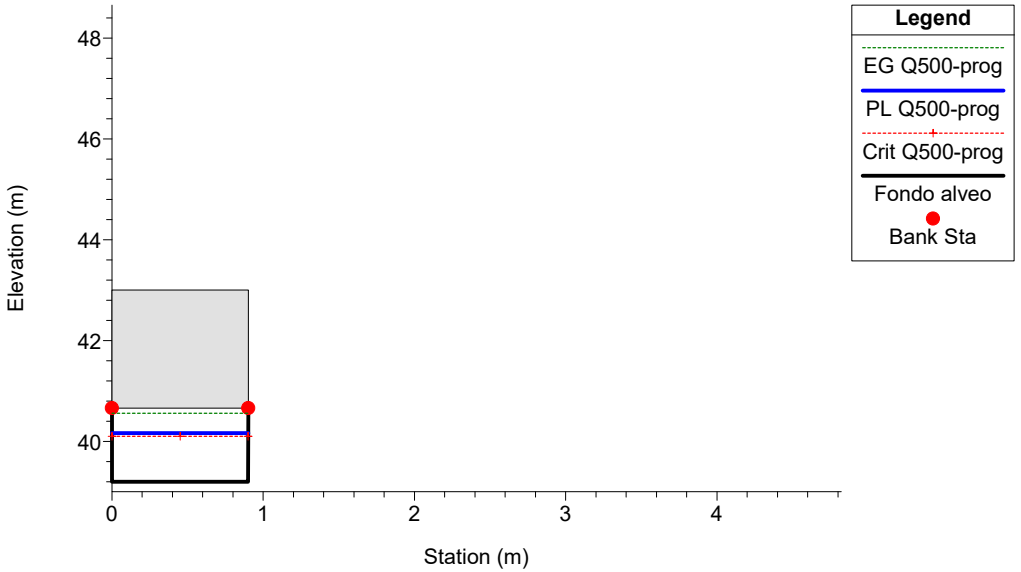


Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 7 Q500 residua = 2.4 m³/s

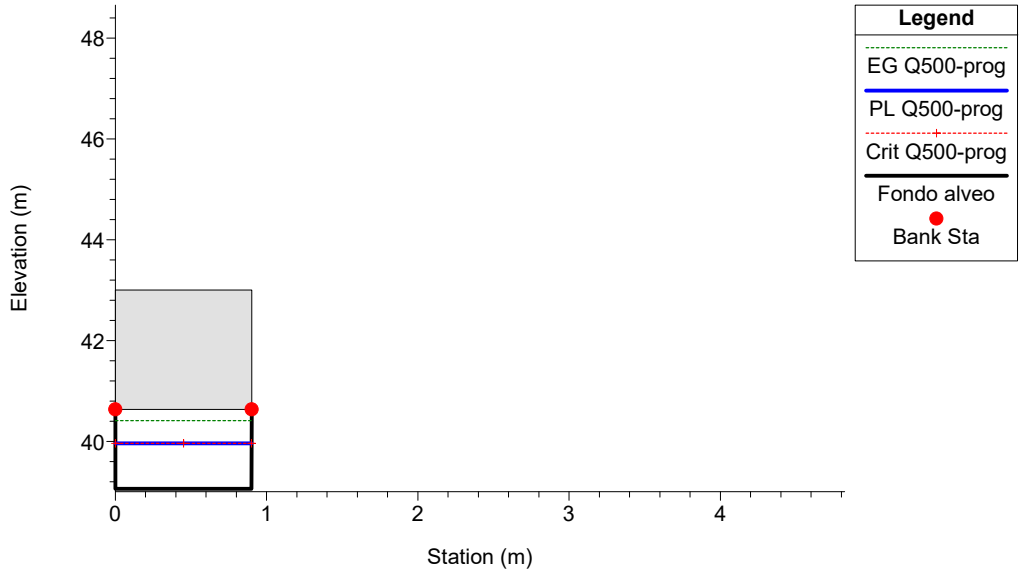


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

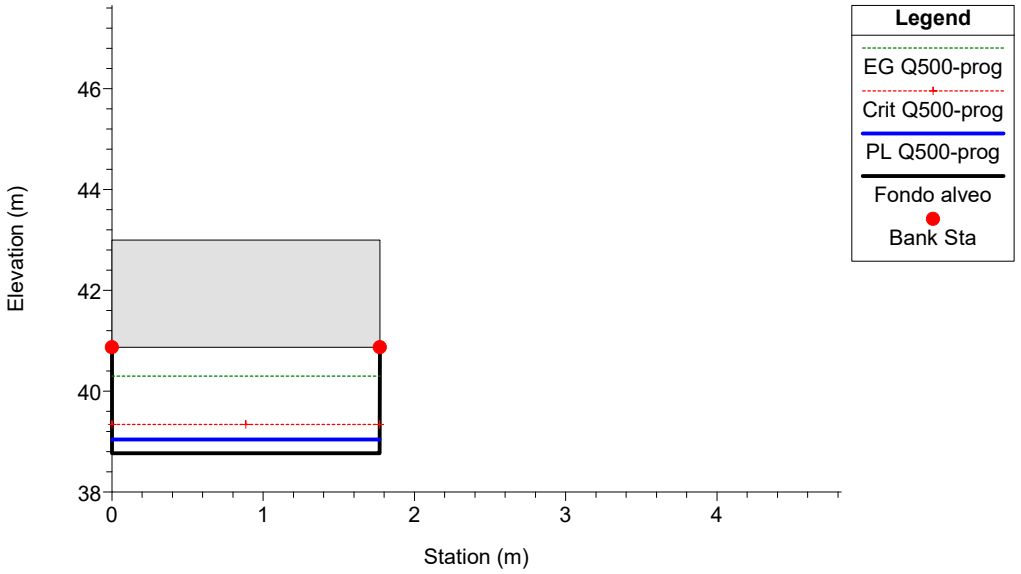
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 6 Q500 residua = 2.4 m³/s



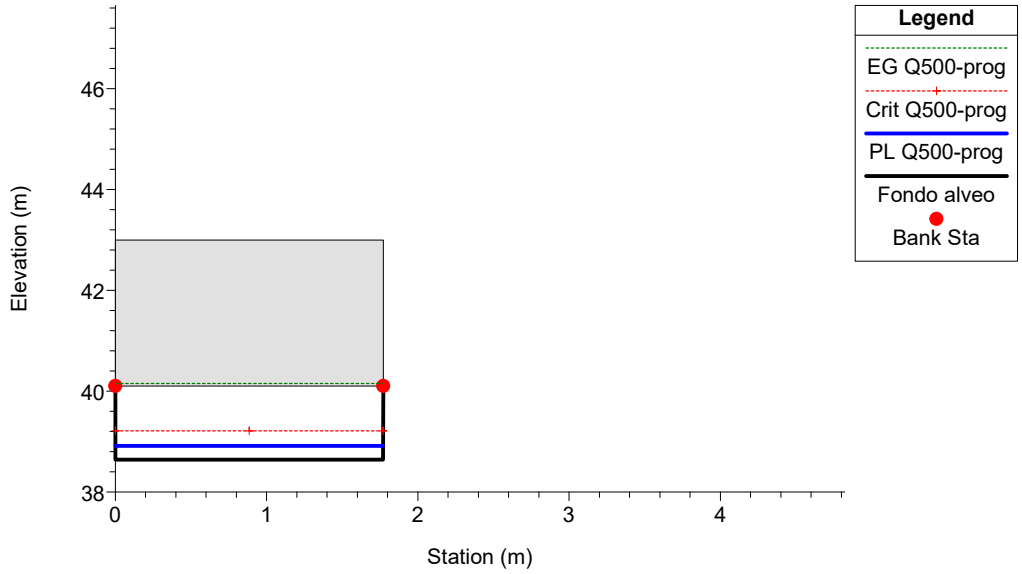
Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 5 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 4 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna
Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente
RS = 3 Q500 residua = 2.4 m³/s

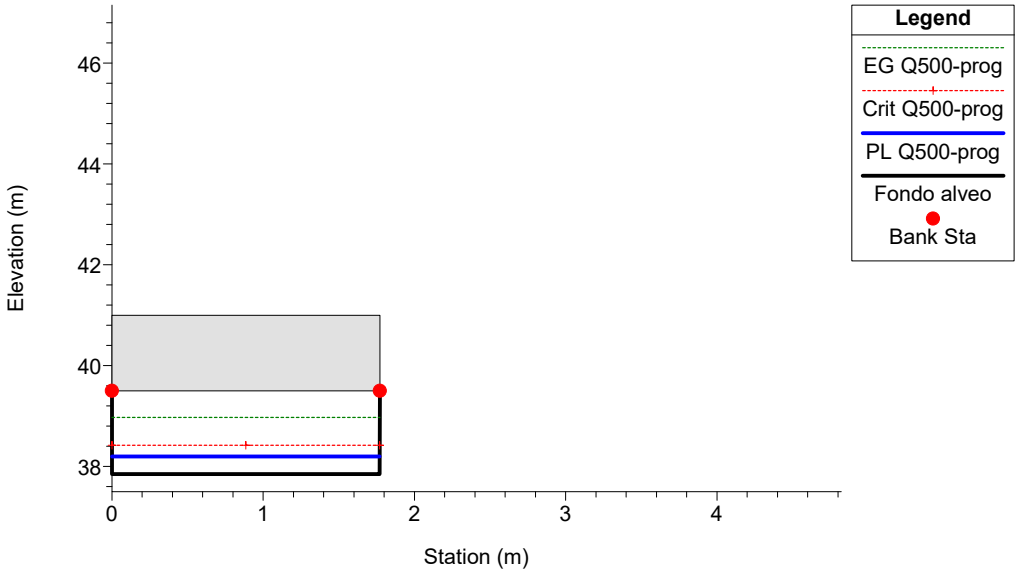


1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

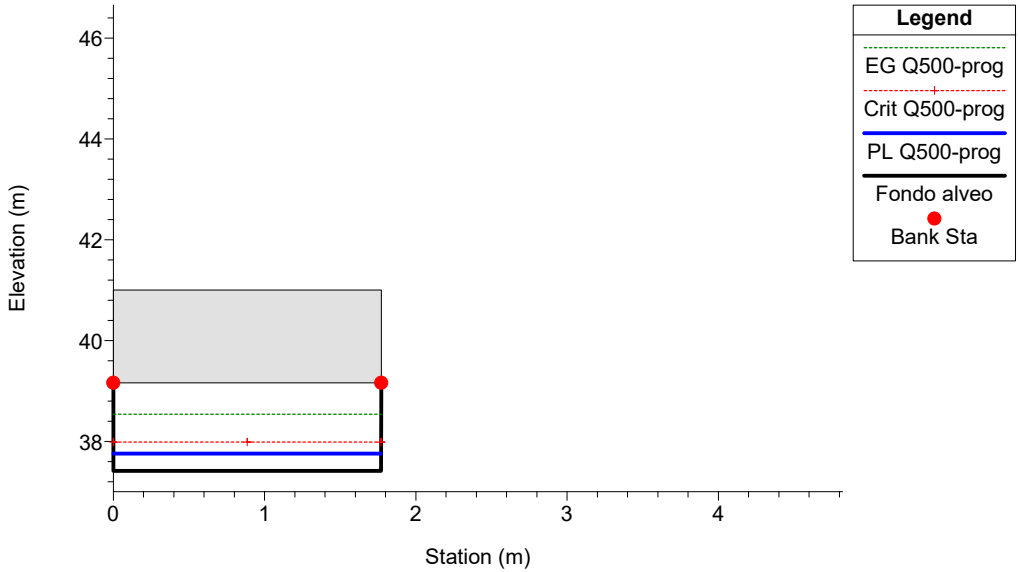
RS = 2 Q500 residua = 2.4 m³/s



Rio Villa Castagna

Geom: Stato di progetto-tombinatura esistente

RS = 1 Q500 residua = 2.4 m³/s



1 cm Horiz. = 0.5 m 1 cm Vert. = 1.5 m

APPENDICE 1

Software di calcolo Hec-Ras

Il software di calcolo *Hec-Ras* 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 he 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.

APPENDICE 2

SOFTWARE DI CALCOLO INFOWORKS ICM

A1. GENERALITA'

Il codice di calcolo InfoWorks ICM di HR Wallingford - Innovyze nasce per consentire la modellazione numerica integrata di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane.

Il modulo InfoWorks ICM costituisce un sistema di calcolo a moto vario monodimensionale e bidimensionale che utilizza la metodologia dei volumi finiti.

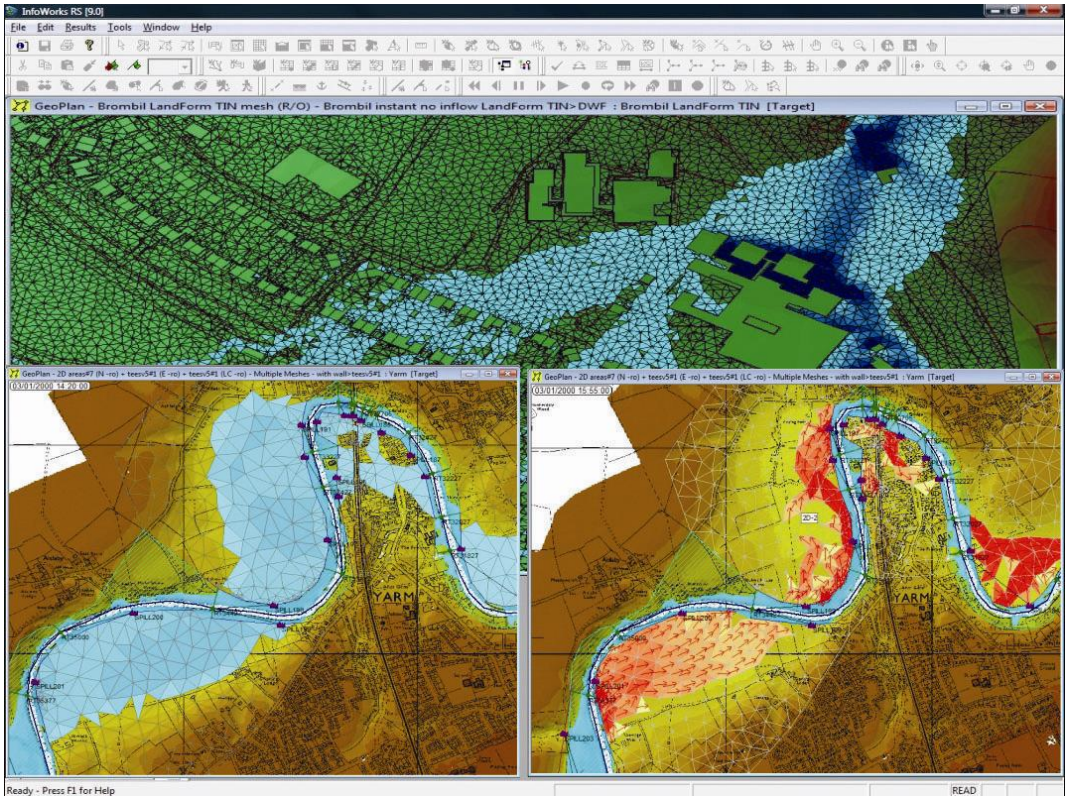
Il software consente di rappresentare in modo completo e accurato tutte le situazioni reali dei corsi d'acqua anche quando sono presenti complesse interferenze con reticoli fognari e/o di bonifica.

All'interno di un unica interfaccia utente si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, domini bidimensionali, reti di drenaggio chiuse e tutti i manufatti speciali presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena ecc).

Le aste fluviali possono essere rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, o con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) che con modellazione mista (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

E' ovviamente anche possibile modellare le aste fluviali con tradizionali rappresentazioni 1D.

Per quanto riguarda invece la rappresentazione di reti di drenaggio urbano la tecnica oramai consolidata è quella di rappresentare il reticolo interrato con elementi 1D e l'eventuale esondazione con domini 2D.


InfoWorks RS [9.0]
File Edit Results Tools Window Help
GeoPlan - Brombil LandForm TIN mesh (R/O) - Brombil instant no inflow LandForm TIN>DWF : Brombil LandForm TIN [Target]
YARM
YARM
Ready - Press F1 for Help
READ

A2. APPROCCIO NUMERICO PER LA COMPONENTE 1D

A2.1. *Equazioni di governo*

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione della massa e della quantità di moto).

Le equazioni sono le seguenti:

Continuità (conservazione della massa):

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q$$

Moto (conservazione della quantità di moto):

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right)+gA\frac{\partial H}{\partial x}+gAS_f=0$$

dove:

lq	*eventuale portata in ingresso (lateral inflow)*
A[m2]	*area della sezione liquida*
Q[m3/s]	*portata*
x[m]	*ascissa lungo l'asse del singolo tratto*
t[s]	*tempo*
g[m/s2]	*costante gravitazionale*
H[m]	*carico piezometrico dato da z+h*
z[m]	*quota di scorrimento*
h[m]	*livello idrico*
Sf [m/m]	*pendenza motrice definita come:* $S_f=\frac{Q\cdot\lvert Q\rvert}{K^2}$

dove *K* è un termine denominato "conveyance" definito, in accordo con l'equazione di Manning:

$$K^2=\frac{A^2\cdot R^{\frac{4}{3}}}{n^2} \qquad \text{e} \qquad R=\frac{A}{P}$$

dove:

R[m]	*raggio idraulico*
P[m]	*perimetro bagnato*
n	*coefficiente di scabrezza di Manning*

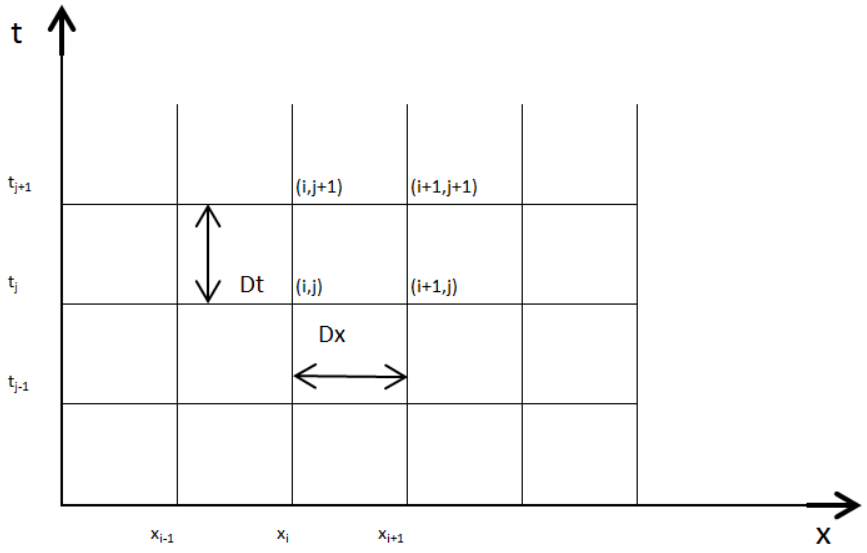
Per la definizione della conveyance il programma consente l'utilizzo di diverse formulazioni oltre a quella di Manning, quali ad esempio Colebrook-White e Strickler. Ai fini della loro integrazione queste equazioni vengono opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks è quello dei 4 punti di Priessmann e il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

InfoWorks simula anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) mediante la tecnica dello *slot* per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. In tal modo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto a gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandata, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artifizio dello *slot*).

La metodologia di calcolo in moto vario tiene conto anche dei volumi in gioco e quindi delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello (effetto di laminazione).

A2.3 Discretizzazione delle equazioni di governo

Ai fini della discretizzazione delle equazioni di de Saint Venant, InfoWorks utilizza lo schema implicito di Preissmann riportato nella figura seguente:



Il valore della funzione f o delle sue derivate continue nel tempo e nello spazio può essere discretizzato come segue:

$$f(x,t) = \frac{1}{2} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1} \right) + (1-\vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^{j} + f_i^{j} \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{Dx} \cdot \left[\vartheta \cdot \left(f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1} \right) + (1-\vartheta) \cdot \left(f_{i+1}^{j} - f_i^{j} \right) \right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot Dt} \cdot \left[\left(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^{j} \right) + \left(f_i^{j+1} - f_i^{j} \right) \right]$$

Dove:

ϑ *è un coefficiente che varia da 0.5 a 1*

f_i^j *è il valore della funzione f valutata al punto (xi, tj)*

In base a tali assunti entrambe le equazioni di De Saint Venant possono essere trasformate nella forma lineare:

$$a \cdot Q_i^{j+1} + b \cdot H_i^{j+1} + c \cdot Q_{i+1}^{j+1} + d \cdot H_{i+1}^{j+1} = e$$

I valori *a*, *b*, *c*, *d* ed *e* sono calcolati per ciascuna iterazione e ciascun nodo del canale aperto e dipendono dalle variabili calcolate all'iterazione precedente. La matrice dei coefficienti che comprende gran parte dei valori di *a,b,c,d,* ed *e* viene invertita per risolvere il set di differenti equazioni simultanee per Q ed H alle iterazioni successive.

A2.2 Condizioni al contorno

Condizioni esterne

Le condizioni al contorno sono costituite da una relazione portata-tempo, livello-tempo o livello-portata (scala di deflusso). Al fine di una corretta risoluzione delle equazioni (stabilità di calcolo) risultano più significative le seguenti condizioni:

- idrogramma delle portate a monte e curva dei livelli a valle
- idrogramma delle portate a monte e scala di deflusso a valle

Condizioni interne

Nello schema monodimensionale di un corso d'acqua i singoli tratti sono separati da condizioni interne che possono essere sezioni di controllo, serbatoi, perdite concentrate o nodi (biforcazioni o confluenze).
Tali condizioni impongono la determinazione di una relazione tra livelli e portate.

Sezioni di controllo

Una gran varietà di strutture può essere usata come sezione di controllo in canali aperti, ciascuna delle quali impone una differente relazione tra portata e livello. Per il moto a pelo libero la forma generale dell'equazione risulta:

$$Q = a \cdot h^b$$

dove:

h *è la profondità dell'acqua*

a *è un coefficiente dipendente dal tipo di sezione di controllo (structure)*

b *è un coefficiente generalmente maggiore o uguale a 1.5 per gli stramazzi e maggiore o uguale a 0.5 per efflusso sotto luci a battente*

InfoWorks è in grado di modellare una serie di tipologie di stramazzo usando equazioni empiriche o semiempiriche ricavate dalla letteratura. Tali strutture possono essere simulate nelle condizioni di assenza di portata (es. paratoia chiusa), oppure con flusso libero o rigurgitato.
La paratoia mobile può essere simulata per diverse condizioni di flusso come quelle di stramazzo, quando è totalmente chiusa e sormontabile dall'acqua, o di luce di fondo con efflusso libero o rigurgitato quando è parzialmente aperta, o per la combinazione di entrambe le condizioni. Il programma consente di regolare automaticamente l'apertura di una paratoia durante la simulazione nei modi seguenti:

- secondo una funzione del tempo prestabilita;
- in funzione dei livelli del pelo libero a monte o a valle.

I tipi di paratoia mobile disponibili in InfoWorks sono quelle verticali o radiali.
Il modello consente inoltre di impostare per le sezioni di controllo una generica scala di deflusso al di fuori delle equazioni standard associate ad una determinata struttura.

Serbatoi

I serbatoi sono definiti come aree più o meno vaste di immagazzinamento ove la superficie dell'acqua risulta orizzontale, senza alcun effetto dinamico.
Il calcolo delle portate entranti e uscenti è legato alla variazione del carico piezometrico come segue (in forma semplificata):

$$\frac{h_{new} - h_{old}}{Dt} = \frac{Q_{net}}{A}$$

Con h_{new} e h_{old} livelli negli istanti successivo e precedente, Dt passo temporale, Q_{net} differenza tra portata entrante e portata uscente e A area del serbatoio.
Il modulo serbatoio unito alla modalità di deflusso laterale consentono la schematizzazione e la risoluzione di sistemi naturali complessi con funzionamento a pelo libero.

Perdite localizzate

Le perdite di carico concentrate causate da una repentina variazione delle condizioni geometriche quali ad esempio un brusco restringimento o allargamento delle sezioni di deflusso sono schematizzate mediante l'applicazione dell'equazione di Bernoulli che lega le perdite al carico cinetico di monte:

$$DH = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove k è un coefficiente empirico funzione del tipo di variazione.
I ponti sono simulati usando il metodo dell'US Bureau of Pubblic Road (US BPR Bridge) oppure l'Arch Bridge Method sviluppato da HR Wallingford.

Nodi (biforcazioni e confluenze)

In InfoWorks i nodi (junctions) vengono risolti imponendo l'uguaglianza dei carichi e la conservazione della massa (equilibrio tra portate entranti e uscenti) applicando la legge di Kirchoff alle portate.

A3. APPROCCIO NUMERICO DELLA COMPONENTE 2D

Le principali caratteristiche della componente 2D sono:

- formulazione del volume limitato (finite volume)
- risoluzione numerica basata sullo schema di Godunov e sulla soluzione di Riemann (Shockcapturing scheme)
- uso di una maglia non strutturata (unstructured mesh)

A3.1 *Equazioni di governo*

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione delle acque basse (Shallow Water Equation), relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=q_{1D}$$

$$\frac{\partial (hu)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(hu^2+\frac{1}{2}gh^2\right)+\frac{\partial (huv)}{\partial y}=S_{0,x}-S_{f,x}+q_{1D}\cdot u_{1D}$$

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t}+\frac{\partial (huv)}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}\left(hv^2+\frac{1}{2}gh^2\right)=S_{0,y}-S_{f,y}+q_{1D}\cdot v_{1D}$$

Dove:

h	*altezza dell'acqua*
u e v	*velocità nelle direzioni x e y*
S0,x e S0,y	*pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y*
Sf,x e Sf,y	*gli attriti nelle direzioni x e y*
q1D	*portata per unità di area*
u1D e v1D	*componenti di velocità della portata q1D nelle direzioni x e y*

Tale formulazione dell'equazione è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia ed impostando la velocità a zero se la profondità ricade sotto tale valore di soglia.

Tale criterio evita la generazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate e/o asciutte.

Il valore di default per la profondità di soglia è 1mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente.

In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibili e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

La descrizione di un flusso localizzato in ambito urbano è ottenuta senza modificare il modello matematico che è sempre basato sulla risoluzione dell'equazioni in acqua bassa (SWE).

A3.2 *Produzione della maglia 2D*

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire le magliature dei domini 2D da simulare.

Ogni maglia, di forma triangolare, costituisce l'unità del calcolo bidimensionale.

Una volta creato il dominio 2D di calcolo, è possibile assegnare i seguenti parametri relativi alla maglia:

- *Area (m^2):* l'area del poligono viene calcolata automaticamente sulla base della geometria definita in planimetria.
- *Massima Area Triangolo (Maximum Triangle Area)*: questo valore molto importante definisce la superficie massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura (diminuendo questo valore si infittisce la magliatura).
- *Area minima elementi* (Minimum Element Area): durante la simulazione, per evitare un inutile appesantimento del calcolo, vengono aggregati in un'unica cella di calcolo gli elementi triangolari contigui di area molto piccola (fino a che la somma delle aree dei triangoli aggregati non raggiunge quella indicata in questo campo).
- *Magliatura dipendente dal terreno*: consente di creare una magliatura nella quale, all'interno di ogni triangolo, la variazione di quota tra i tre vertici non superi un valore definito dall'utente. Utilizzando questa opzione è possibile infittire la magliatura in zone nelle quali si hanno notevoli pendenze del terreno ed allargarla in zone pianeggianti.
- *Massima variazione altezza (m):* Consente all'utente di specificare la massima variazione di quota consentita tra i vertici dei triangoli che verranno generati nel processo di magliatura.
- *Angolo Minimo (Minimum Angle)*: durante il processo di magliatura evita la creazione di triangoli di forma molto irregolare e cunei troppo stretti.
- *Scabrezza Manning (Roughness):* la scabrezza è attribuita a tutti triangoli che vengono creati durante il processo di magliatura. Il programma consente di modificare localmente tale valore generando delle zone di magliatura a differente scabrezza.

Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri ecc).

L'effetto della presenza di edifici o ostacoli è simulata mediante l'introduzione di pareti impermeabili o porose che richiede una precisa calibrazione della rete in ambiente urbano.

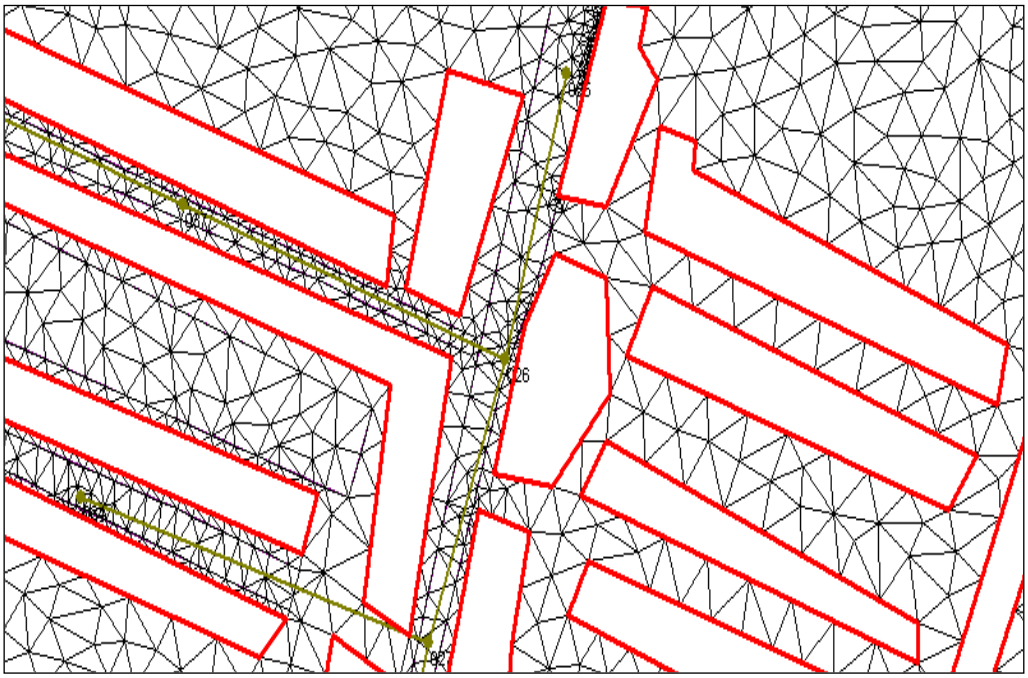


Fig. A2.1 Esempio di maglia non strutturata con edifici in ambito urbano

All'interno del dominio di magliatura, il software permette di considerare eventuali aree a maggiore o minore capacità di invaso dei blocchi introducendo il concetto di porosità degli edifici ossia il fatto che le aree occupate dagli edifici assorbano o meno parte dei volumi esondati durante il processo di allagamento.

A3.3 *Condizioni al contorno e parametri di simulazione*

Condizioni al contorno della maglia

Le condizioni al contorno sono costituite da input idraulico-idrologico (idrogramma, ietogramma) in ingresso al sistema e da condizioni sul perimetro del dominio di calcolo.

In particolare le condizioni al contorno sul perimetro del dominio di calcolo sono le seguenti:

- *Vertical wall:* indica una barriera verticale impermeabile infinitamente alta dove non è presente flusso d'acqua né in ingresso né in uscita dal dominio 2D.
  Questa è l'unica opzione che trattiene l'acqua all'interno del poligono 2D qualora in simulazione si determini presenza d'acqua al suo perimetro.
- *Critical condition:* presenta due possibilità: se il livello dell'acqua nell'elemento di confine del poligono 2D è superiore al livello del segmento che si affaccia sul confine, la portata in uscita dal poligono viene calcolata utilizzando l'equazione di una soglia a parete spessa senza perdite di energia; se il livello dell'acqua nell'elemento di confine è inferiore al livello di facciata del segmento di confine, questo è considerato un muro verticale impermeabile;

- *Supercritical condition:* presenta due possibilità: se la portata nell'elemento di confine è supercritica (Froude > 1) e diretta verso l'esterno del poligono, la portata uscente dal poligono viene considerata supercritica (veloce) e calcolata utilizzando altezza idrica e velocità dell'elemento di confine, indipendentemente dalla quota segmento di confine; se le condizioni del flusso non sono supercritiche o il flusso è diretto verso l'interno del poligono, il confine viene considerato un muro verticale impermeabile. Questa opzione è utile nelle aree in cui è noto che il flusso è uscente dal poligono 2D senza alcun effetto di rigurgito all'interno del poligono stesso;
- *Dry:* prevede che il confine del poligono sia considerato come circondato da una fossa senza fondo, l'acqua che raggiunge la sponda del poligono esce dal poligono e viene persa dalla simulazione senza alcuna considerazione idraulica;
- *Normal condition:* si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme). L'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.

Parametri di simulazione della maglia

Il software consente la modifica dei seguenti parametri della simulazione 2D:

- *Timestep:*definisce il passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo.
- *Moltiplicatore del timestep ordinario:* è un moltiplicatore del timestep che consente di definire il timestep di salvataggio dei risultati. E' consigliato non utilizzare timestep di salvataggio molto ridotti al fine di ridurre le dimensioni del file dei risultati.
- *Durata simulazione:* consente all'utente di decidere quanto far durare la simulazione.
- *Depth:* rappresenta la soglia che discrimina una maglia triangolare asciutta da una bagnata. Gli elementi della magliatura con un'altezza d'acqua inferiore a questo valore vengono considerati asciutti e un'altezza pari a zero viene restituita come risultato. Negli elementi con altezza d'acqua inferiore a questa soglia viene considerata solamente la conservazione della massa. Il valore tipico per questo campo è di 0.001 m.
- *Momentum*: rappresenta la soglia utilizzata per determinare se considerare o meno il momento in una maglia triangolare. Il moto dell'acqua non viene calcolato per gli elementi della magliatura in cui l'altezza dell'acqua è al di sotto di questo valore; solo la conservazione della massa viene considerata in questo caso. Valori tipici per questo campo sono 0.001 - 0.01 m, il valore di default è 0.001 m.
- *Velocity:* per le maglie triangolari in cui la velocità calcolata dell'acqua risulta inferiore a questo valore, viene impostata una velocità pari a zero per il calcolo del momento. Il valore tipico per questo campo è 0 m/s.
- *Timestep Stability Control*: garantisce che il timestep interno utilizzato dal motore di calcolo 2D ricada entro il range di stabilità fornito dalla condizione di Courant Friedrichs Lewy (CFL). Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.95.
- *Maximum Velocity*: soglia di velocità che limita le velocità che possono essere raggiunte in una maglia durante una simulazione 2D. Per gli elementi della magliatura in cui la velocità calcolata risulta superiore a questo valore, verrà impostata una velocità pari alla

massima qui specificata. Questo aiuta a ridurre eventuali instabilità dovute alle alte velocità corrispondenti ad altezze d'acqua ridotte, il che rappresenta una situazione non realistica. Un valore tipico per questo campo è 10 m/s.

- *Theta:* rappresenta un fattore di peso per il parametro semi-implicito. Attribuisce un peso alle parti esplicite e semi-implicite dello schema numerico. Al crescere di questo valore, aumenta il peso dato alla parte semi-implicita. Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.9
- *Ignore rain falling on dry elements*: ignora la pioggia che cade sugli elementi asciutti della magliatura; si utilizza per rendere più rapida la simulazione quando vengono utilizzati poligoni di pioggia (2D rainfall polygons).
- *Adjust element ground levels adjacent to spills*: modifica automaticamente la quota delle maglie triangolari adiacenti agli spill, dove necessario; si utilizza per evitare le instabilità che si verificano quando la quota degli spill risulta inferiore alla quota delle maglie su cui gli spill insistono.

A4. INTERAZIONE DELLA COMPONENTE 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello mono e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempio:

- *linee spondali:* rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentante con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D.
- *sfiori frontali:* si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa).
- *nodi:* sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando di rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

A5. INTERFACCIA DEL SOFTWARE

InfoWorks ICM ha un'interfaccia di ultima generazione in grado di interagire con diversi programmi e fonti disponibili sul mercato.

In tal modo si riescono a importare ed integrare dati provenienti da vari formati per costituire un modello geometrico del sistema da studiare.

In particolare, il software supporta:

- Dati in formato AutoCAD (2D e 3D)
- Dati in formato TIN di ArcView

- Dati in formato shape (SHP) o Geodatabase
- Rilievi topografici con coordinate x,y e z
- Dati in formato tabulare (XLS, ASC, TXT e atri)
- Dati in formato Database (Access, Oracle e altri)
- Dati in formato HEC-RAS

InfoWorks ICM sfrutta un'architettura basata su un Database centralizzato dove vengono salvati tutti i progetti. Il sistema gestisce accessi multipli, anche contestuali.

APPENDICE 3

Calcolo dell'idrogramma di piena secondo i criteri della DGR 357/2008

Di seguito si riporta una descrizione delle procedure per la determinazione dell'idrogramma corrispondente all'evento tipico secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

La metodologia di calcolo fa riferimento al *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzata alla valutazione dell'idrogramma di riferimento condizionato dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, come da normativa, pari al valore della portata indice.

Il metodo di valutazione dell'idrogramma di riferimento consiste in sintesi nel ricercare l'idrogramma di piena equivalente che fornisca la portata massima al colmo pari alla portata indice.

Tale problema è risolvibile a partire dalle curve di probabilità pluviometrica dell'area in esame nella forma $h(T)=a(T)\cdot t^n$ nell'ipotesi di invarianza di scala, per cui si assume che l'esponente caratteristico n rappresenti l'impronta climatica degli eventi pluviali estremi dell'area in esame.

L'ipotesi implica che la portata *T-ennale* di progetto $Q(T)$ sia prodotta da una precipitazione $h=a(*)\cdot t^n$ dove n è l'esponente caratteristico del bacino in esame, $a(*)$ rappresenta il valore di a che con il metodo dell'evento critico produce una portata pari a $Q(T)$ e che, in genere, è differente dal valore di $a(T)$ proprio della linea segnalatrice *T-ennale*.

Nella formulazione del metodo a è esprimibile come $a(T) = w_T a_i$, dove w_T è il fattore di crescita funzione del tempo di ritorno (T) e a_i è un valore costante caratteristico della stazione pluviometrica considerata corrispondente al valore indice di precipitazione (*pioggia indice*).

Nell'Appendice II della DGR sopra menzionata sono riportati il valore della pioggia indice a_i ed i parametri caratteristici di una serie di stazioni della Regione Liguria per il versante Padano e quello tirrenico, necessari per la determinazione del fattore di crescita w_T.

Assunto un modello afflussi-deflussi di riferimento, il problema si riduce alla ricerca di tutte le possibili coppie di valori a e t che producono una portata al colmo $Q(T)$ e, tra queste, la coppia $\{a(*), t_{CR}\}$ che ha il minimo valore di a.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una

seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli ietogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

Come noto tale procedura consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura sulla base dell'espressione:

$$h_n = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S}$$

dove h_n *[mm]* è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento, h_r*[mm]* è il volume specifico affluito, *S [mm]* è il potenziale specifico massimo di assorbimento del terreno, cioè il volume immagazzinabile a saturazione nello stesso, mentre I_a *[mm]* rappresenta la quota parte del volume affluito che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio.

La determinazione di *S* viene effettuata sulla base della relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Dove CN è un parametro adimensionale variabile da 1 a 100 che esprime la capacità di ritenzione del bacino in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo.

La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e all'uso del suolo.

Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi.

Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi del grado di umidità del terreno in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato: molto asciutto (I), standard (II) e molto umido (III).

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro

classi caratterizzate rispettivamente da potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa(B), moderatamente alta (C) e molto alta (D).

La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece terreni coltivati con e senza trattamento di conservazione, terreni da pascolo in buone o cattive condizioni, praterie, terreni boscosi o forestati con diverse tipologie di sottobosco, spazi aperti con prati rasati o parchi con diverse percentuali di copertura erbosa, aree commerciali, distretti industriali, aree residenziali, strade, parcheggi ecc.

Quale valore di I_a, si è adottata la relazione suggerita dal Soil Conservation Service $I_a = 0.2 \cdot S$.

L'idrogramma unitario è stato calcolato con il modello di Nash che simula il comportamento del bacino con una cascata di *n* serbatoi posti in serie; l'IUH del modello assume la forma:

$$I(t) = \frac{1}{K \cdot (n-1)!} \cdot \left(\frac{t}{K}\right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

dove *k* è la costante caratteristica dei serbatoi e *n* il numero degli stessi. Nel caso in esame si è assunto: n = 3 e $K = 0.5 \cdot t_C / (n-1)$, con tc tempo di corrivazione del bacino.

Una volta disponibili gli ietogrammi di progetto e l'idrogramma unitario, sono stati calcolati gli idrogrammi di piena per ciascuna sezione considerata attraverso l'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = S \cdot \int_0^t I(t-u) \cdot p(u) \cdot du$$

il quale, noti lo ietogramma di riferimento e l'idrogramma unitario istantaneo del bacino in esame, permette di legare la portata uscente *Q(t)* all'intensità della pioggia netta *p(t)*.