COMUNE DI VARESE LIGURE

PROVINCIA DELLA SPEZIA

Committente:
Comune di Varese Ligure

Livello di Progetto:
Esecutivo

Titolo:

OPERE VOLTE AL CONTENIMENTO DELL'APPORTO DI MATERIALE SOLIDO PROVENIENTE DALLA FRANA DI NOCI (RIF. FIN. MESSA IN SICUREZZA FRANA DI NOCI)

Oggetto:

- Relazione idraulica

Codice Progetto:
P029-21

Nome File:
P029-21-E-RE-IDR-001-A

Firme:



Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	PRIMA EMISSIONE	DR	09/03/2021	DG	09/03/2021

ASSOCIATO oice CONFINDUSTRIA
efca FIDIC
apave certification ISO 9001 N° SC 10-2588/IAF 34 ISO 14001 N° SCA 19-3491/IAF

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via Variante Aurelia, 98
TEL. +39 0187 610532
info@itec-engineering.it

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

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

INDICE

1 PREMESSA 2

2 ASPETTI NORMATIVI 3

3 DESCRIZIONE DELL'AREA INTEREDSSATA DAL MOVIMENTO FRANOSO E DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI 5

4 INTERVENTI DI PROGETTO 10

5 VERIFICA IDRAULICA 11

5.1 PORTATE DI RIFERIMENTO 11
5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO 11
5.3 PARAMETRI E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA 12
5.4 RISULTATI 13

6 CONSIDERAZIONI IN MERITO ALL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO DI MITIGAZIONE 14

Allegati di calcolo:

1 PREMESSA

La presente relazione fa parte degli elaborati del progetto esecutivo relativo agli interventi di mitigazione del rischio del versante in frana, in località Noci nel comune di Varese Ligure; il dissesto coinvolge una cospicua porzione di versante ove sono ubicati i nuclei abitati di Noci Finoli e Noci di Sotto.
Il versante interessato dal movimento franoso è indicato nell'estratto della CTR riportata di seguito.

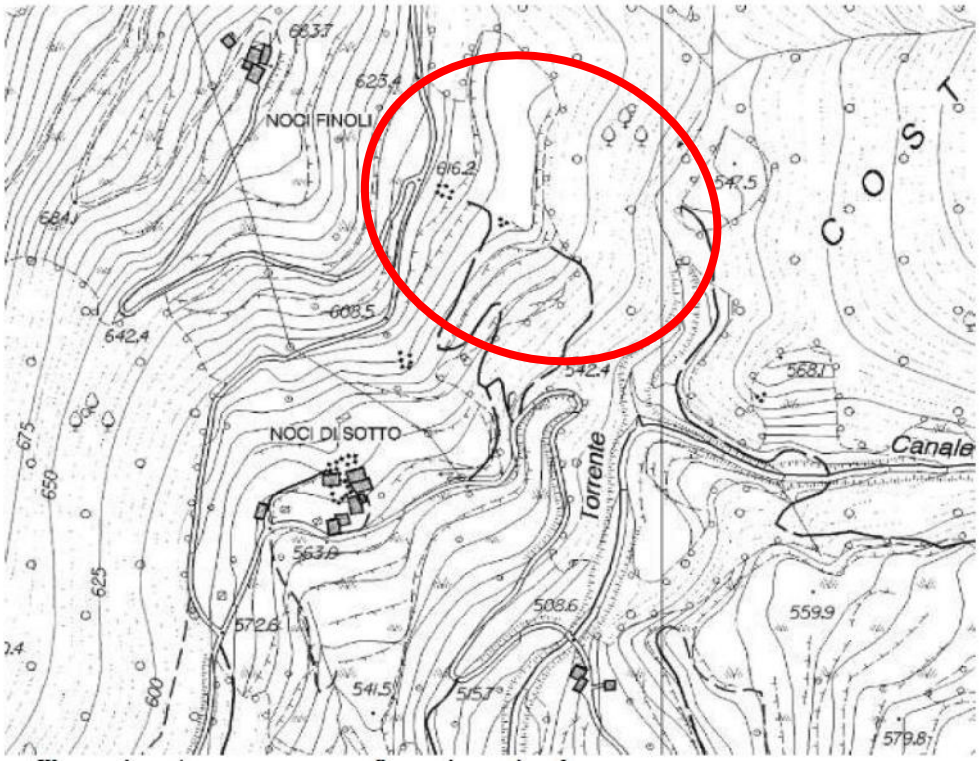


Figura 1.1 – Estratto della CTR relativa all'area interessata dal movimento franoso.

In seguito agli sviluppi temporali del dissesto che coinvolge la località Noci in frazione di Taglieto, si è resa necessaria la progettazione di tutti gli interventi funzionali alla mitigazione del rischio in corrispondenza del versante interessato dal movimento franoso, ed in corrispondenza del Torrente Crovana e del Canale Cento Croci che scorrono in corrispondenza del piede del versante considerato.
Gli interventi di progetto sono volti principalmente ad aumentare la protezione del piede della frana, anche mediante la sistemazione del tratto di alveo a cavallo della stessa, con l'obiettivo di mitigare i fenomeni di erosione da parte del torrente, che in tale tratto defluisce con notevoli velocità della corrente.



Figura 1.2 – Immagine satellitare con indicazione della frana.

La relazione contiene quindi la descrizione delle verifiche idrauliche sui tratti del rio Crovana e del rio Centocroci interessati dalla sistemazione.

2 ASPETTI NORMATIVI

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Progetto di Piano "Assetto idrogeologico del bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola" redatto ai sensi dell'art. 17 comma 6 ter L 183/89 e art. 1 comma 1 D.L. 180/98 adottato nell'aprile 2006 (DCI 180/06) e dal Regolamento Regionale N° 3 del 14 Luglio 2011.

Con riferimento alla normativa di Piano, il rio Centocroci per il tratto oggetto dell'intervento, si inserisce fra i rivi non indagati appartenenti al reticolo idrografico principale del bacino del Vara, mentre il rio Crovana, affluente del rio Centocroci, appartiene al reticolo secondario non studiato.

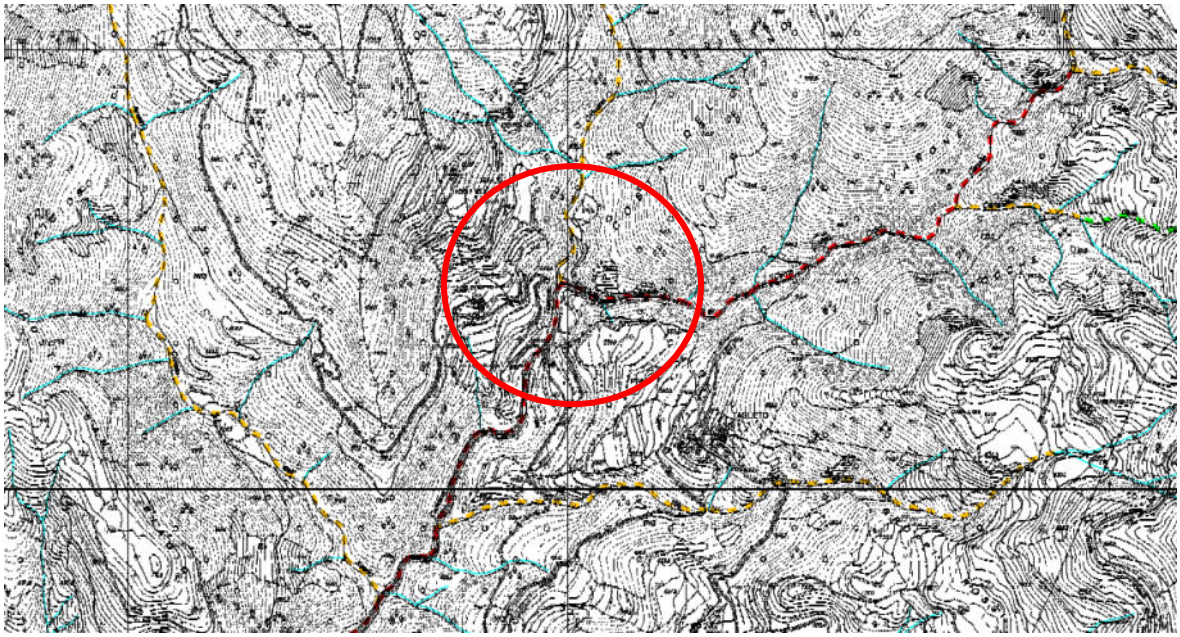


Figura 2.3 – Planimetria reticolo idrografico PdB Magra.

Per tali corsi d'acqua la normativa di Piano riporta la seguente espressione per il calcolo della portate 30-ennale, 100-ennale, 200-ennale e 500-ennale:

T= 30 anni $Q = 16 \cdot A^{0.85}$

T=100 anni $Q = 21 \cdot A^{0.85}$

T=200 anni $Q = 25 \cdot A^{0.85}$

T=500 anni $Q = 29 \cdot A^{0.85}$

con A superficie del bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura in Km^2 e Q portata di verifica in m^3/sec.

Il Regolamento Regionale N° 3 del 14 Luglio 2011 ridefinisce la significatività idraulica dei corsi d'acqua nella pianificazione di bacino e la relativa normativa associata.

Il Regolamento fornisce, oltre ai franchi da assumere in caso di sistemazione per la messa in sicurezza idraulica dell'alveo, le indicazioni per la scelta del coefficiente di scabrezza da utilizzare nelle verifiche idrauliche, che devono essere desunti dalla seguente tabella:

Descrizione	Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corso d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti o discontinuità interferenti con le acque	40-45

3 DESCRIZIONE DELL'AREA INTEREDSSATA DAL MOVIMENTO FRANOSO E DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI

Come anticipato in premessa, la presente relazione fa parte degli elaborati progettuali relativi alla progettazione esecutiva per la mitigazione del rischio a seguito del movimento franoso nell'aprile 2015, una frana di notevoli dimensioni ha interessato il versante ove sono ubicati i nuclei abitati di Noci Finoli e Noci di Sotto, lungo il versante in sponda destra del rio Crovana, in corrispondenza della confluenza con il rio Centocroci.
Nell'immagine di seguito si può notare il dissesto in corrispondenza della sommità del versante.



Figura 3.1 – Sommità del versante interessato dal dissesto.

Il fenomeno franoso si inserisce nel contesto di un versante in sponda destra del torrente Crovana classificato come frana quiescente dal Piano di Bacino Stralcio del Fiume Magra; l'area in esame si estende per alcuni ettari tra le quote di 700 e 500 m s.l.m. e comprende come già accennato le frazioni di Noci di Sotto e Noci Finoli.
L'accumulo detritico risulta caratterizzato da diversi spianamenti morfologici destinati prevalentemente a pascolo, impostati a quote diverse; in corrispondenza di quello più a valle, a circa 560 m s.l.m. sorge il nucleo abitato di Noci di Sotto, mentre in corrispondenza del pianoro di monte a quota 650 m s.l.m., sorge l'abitato di Noci Finoli.

Sul pianoro intermedio ubicato alla quota di circa 600 m s.l.m., ha avuto luogo il collasso gravitativo nel corso del mese di Marzo - Aprile 2015, che ha generato le maggiori problematiche soprattutto per quanto riguarda il deflusso del torrente Crovana ubicato in prossimità del piede del versante.
La porzione di versante interessata dal movimento presenta una superficie dell'ordine di circa 10000 m^2, con larghezza del ciglio di frana pari a circa 60 m.
Il cinematismo della frana risulta complesso, rappresentato dalla contestuale presenza di una componente rotazionale principale di basso angolo e da componenti secondarie rotazionali e traslative.
La causa – effetto che ha innescato il fenomeno gravitativo risulta l'azione di scalzamento esercitata in corrispondenza del piede del versante da parte del Torrente Crovana e del canale Cento Croci, che si innesta sul torrente Crovana in corrispondenza della frana.
L'evento franoso ha prodotto lo sbarramento dei due rii, con conseguente creazione di due bacini, i quali nel corso degli ultimi due anni, a seguito di alcuni modesti eventi di piena sono stati inizialmente colmati di detrito e successivamente erosi e svuotati da parte dei due rii, che riescono a movimentare elevate quantità di materiale ad ogni seppur minimo evento di piena.
Nell'immagine seguente è possibile notare il piede della frana in corrispondenza della confluenza dei due rii citati.



Figura 3.2 – Piede della frana, eroso dal torrente Crovana.

Il rio Crovana a monte della confluenza con il Centocroci sottende un bacino di circa 3.7 km^2, uguale a quello del Centocroci, come risulta dalla figura seguente.

A valle della confluenza il bacino sotteso è quindi di 7.4 km^2

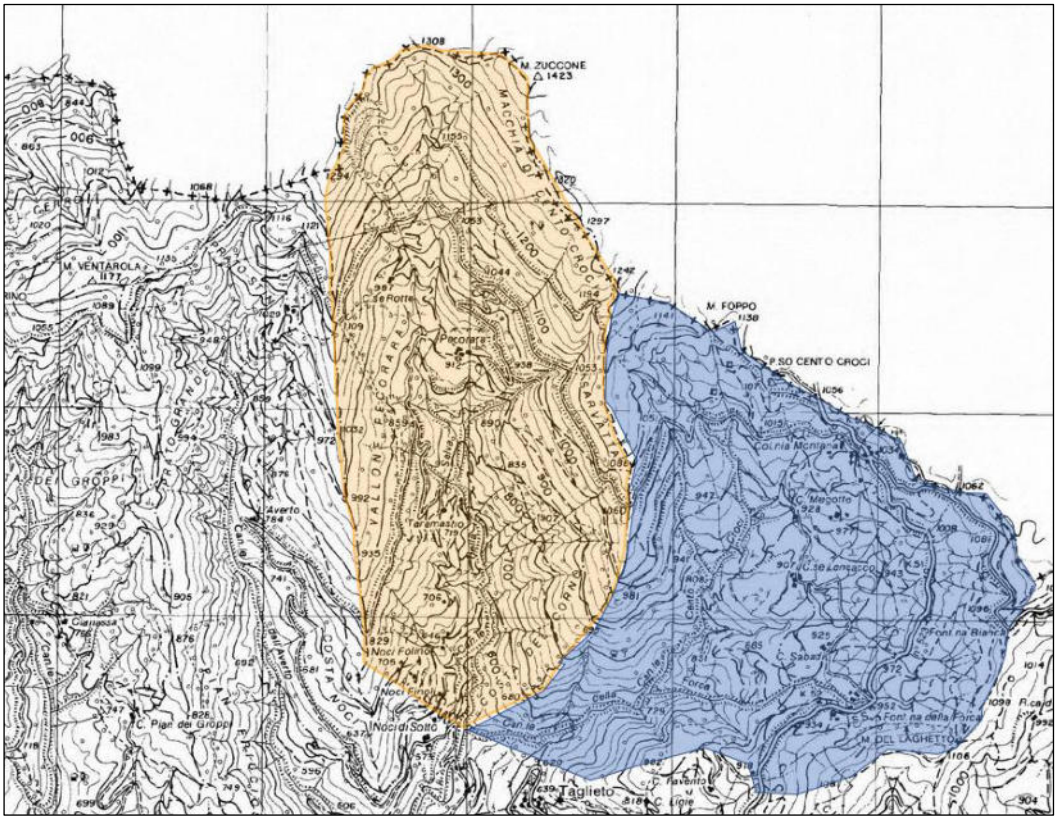


Figura 3.3 – Bacini Crovana e Centocroci.

Il tratto di intervento ha una lunghezza di circa 300 m a cavallo della confluenza.

Nella planimetria da foto aerea sotto riportata è indicato il tratto oggetto di verifica con evidenziata la confluenza e il tratto più direttamente interessato dalla frana e protetto con scogliera.

Nella figura ancora seguente è riportato il profilo del fondo di tale tratto, dal quale si possono distinguere tre tratti da monte verso valle:

- un primo tratto a minor pendenza (3% circa), indice di un deposito creato nel tempo per effetto dell'apporto di materiale dal versante instabile e dalla minor velocità della corrente per effetto di una varice poco a monte della confluenza con il Centocroci;
- un secondo tratto a maggior pendenza (17% circa) a cavallo della confluenza, in cui, per effetto della maggior velocità della corrente, si instaurano verosimilmente i maggiori fenomeni di erosione sia delle sponde che sul fondo dell'alveo, con trasporto al fondo di notevoli quantità di portata solida;
- il tratto di valle che presenta una pendenza intermedia (7% circa) più prossima alla pendenza naturale del substrato roccioso dell'alveo.

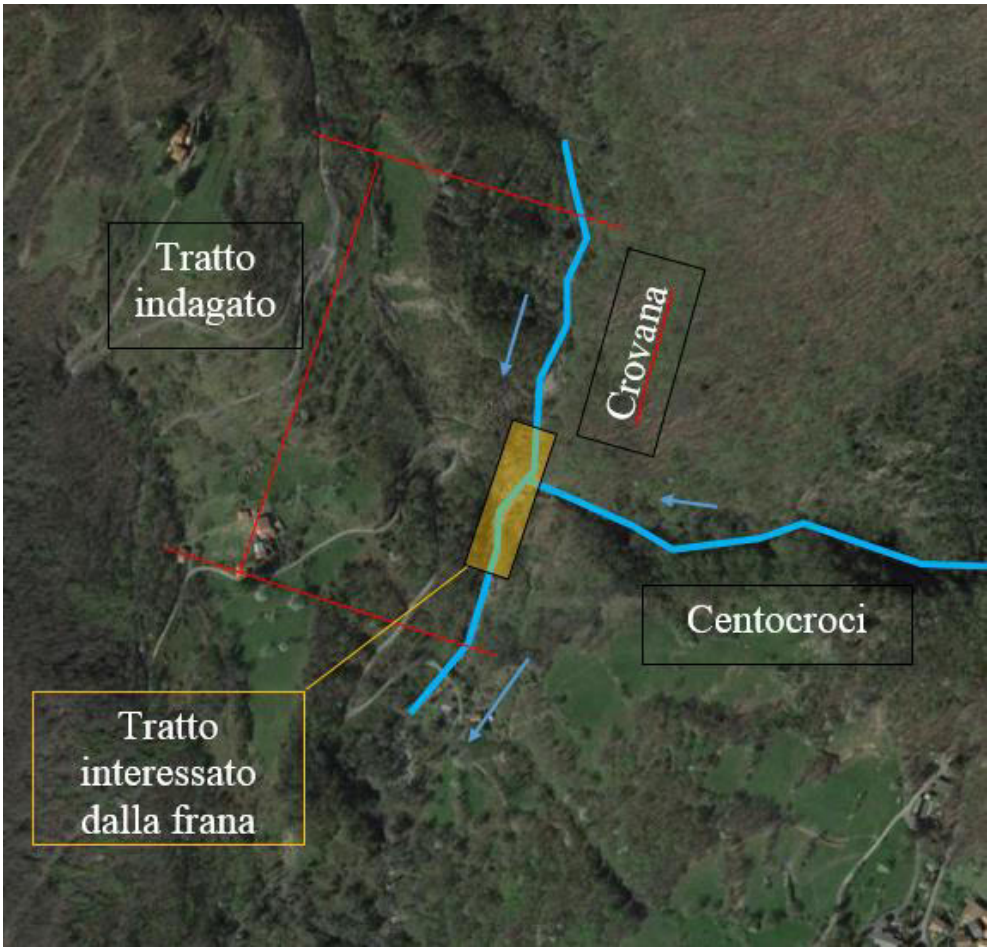


Figura 3.4 – Immagine satellitare con schema corsi d'acqua e frana.

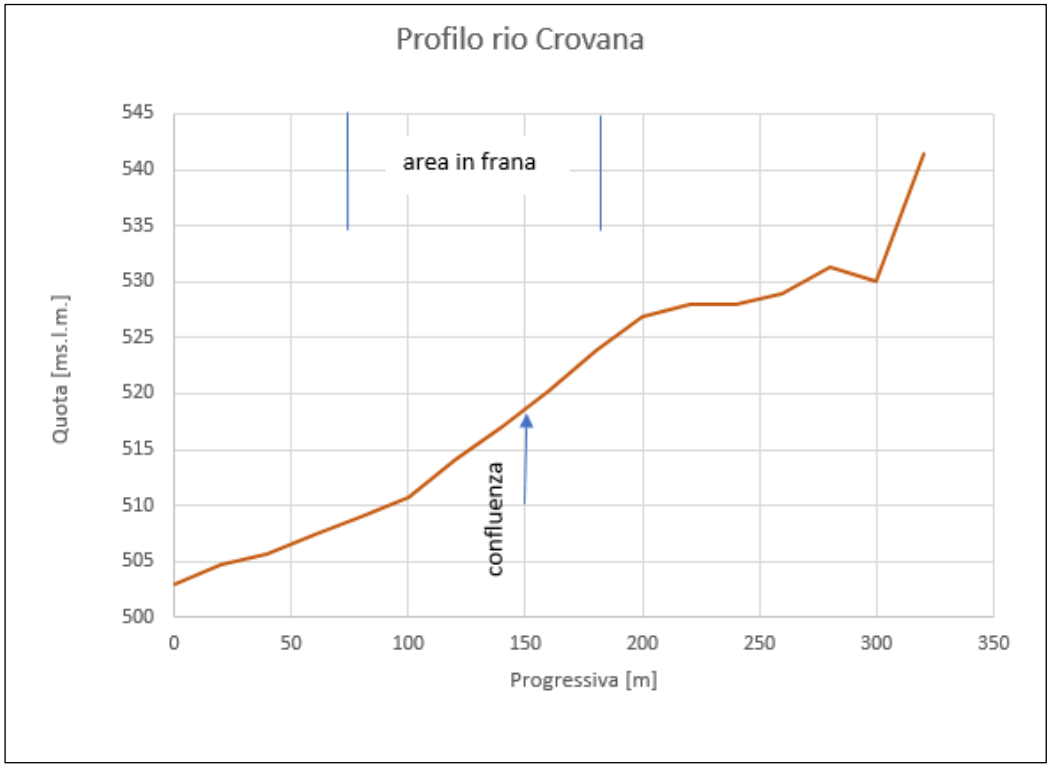


Figura 3.5 – Profilo fon do Crovana.

Le sezioni dell'alveo sono di forma trapezia con larghezze al fondo di circa 7 m a monte della confluenza e 10-12 m nel tratto a valle.

4 INTERVENTI DI PROGETTO

Per la mitigazione del rischio, gli interventi previsti riguardano sostanzialmente la regimazione delle acque superficiali e di quelle sub superficiali; per mezzo di cunette e mediante l'installazione di dreni sub-orizzontali che andranno ad intercettare le acque di falda, scaricando all'interno delle canalizzazioni superficiali previste.

Lungo l'alveo sono previsti due tipi di intertvernti:

- Realizzazione di una scogliera in massi naturali lungo le sponde a protezione del piede della frana per una lunghezza di circa ;
  Sistemazione del fondo con pendenza dell'1.5% circa mediante realizzazione di briglie in gabbioni di altezza variabile tra 1.5 m e 2.5 m.

La scogliera di protezione del piede della frana avrà uno spessore di 1.5 m con altezza di 2 m e inclinazione del paramento di 60 gradi circa; compatibilmente con lo strato roccioso sottostante, essa verrà fondata ad una profondità di 2 m circa rispetto alla quota di fondo alveo.
La scogliera sarà realizzata con massi ciclopici di terza categoria ancorati al versante per mezzo di una doppia fila di tiranti passivi costituti da barre dywidag aventi diametro pari a ϕ 26.5 mm e lunghezza pari a 15 m per la prima fila, mentre pari a 20.00 m per la fila inferiore.
Detti tiranti saranno realizzati ad interasse pari a 5.00 m e posati all'interno di una perforazione avente diametro pari a 160 mm.
L'ancoraggio della scogliera ai tiranti passivi, sarà realizzato tramite la predisposizione di apposite funi di acciaio, opportunamente disposte intorno alle barre.
Nella parte posteriore dell'opera di protezione ed in corrispondenza del piede, saranno posati dei materassi tipo Reno per limitare fenomeni di erosione/scalzamento.
Le scogliere in massi ciclopici saranno realizzate laddove le sponde risultassero prive di protezione contro l'erosione; in questo caso però non sarà prevista la realizzazione di ancoraggi per mezzo di tiranti.

Le briglie sono necessarie a mantenere una pendenza del fondo prossima a quella di equilibrio del corso d'acqua, riducendo l'energia della corrente ed il conseguente suo potenziale erosivo.

Esse verranno realizzate in gabbioni metallici riempiti di pietre delle dimensioni compatibili con la maglia esagonale del gabbione stesso; i singoli gabbioni, delle dimensioni di circa 1x1x2 m, verranno solidarizzati tra loro mediante legature con filo metallico.
Le briglie verranno immorsate lateralmente nel versante e, nei tratti protetti da scogliera, incastrati dentro la scogliera stessa.
Al piede dei salti è prevista la stesa sul fondo dell'alveo di una serie di materassi tipo "Reno" a protezione della possibile erosione al piede del salto.

5 VERIFICA IDRAULICA

5.1 PORTATE DI RIFERIMENTO

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Progetto di Piano "Assetto idrogeologico del bacino del Fiume Magra" redatto ai sensi dell'art. 1 comma 1 DL 180/98 adottato nell'aprile 2006 (DCI 180/06).

I valori di portata per assegnato tempo di ritorno sono stati valutati con riferimento all'Allegato 4 delle Norme di Attuazione delle Misure di Salvaguardia del Piano di Bacino.

In particolare, le norme citate, riportano la seguente espressione per il calcolo della portate 30-ennale, 100-ennale, 200-ennale e:500-ennale

T= 30 anni $Q=16 \cdot A^{0.85}$
T=100 anni $Q=21 \cdot A^{0.85}$
T=200 anni $Q=25A^{0.85}$
T=500 anni $Q=29 \cdot A^{0.85}$

con A superficie del bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura in Km^2 e Q portata di verifica in m^3/sec.

In base a tali formulazioni le portate dei due corsi d'acqua risultano le segujenti

Sezione	A [km^2]	Q30	Q100	Q200	Q500
Crovana monte	3.7	49	64	76	88
Crovana valle	7.4	88	115	137	159
Centocroci	3.7	49	64	76	88

Il calcolo è stato effettuato con il valore delle portate con tempo di ritorno 30-ennale e 200-ennale.

5.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche sono state effettuate con il software di calcolo *Hec-Ras 5.0.5*[1] .

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

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

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

5.3 PARAMETRI E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA

E' stata eseguita la verifica idraulica del tratto del torrente Crovana per un'estensione complessiva pari a circa 320 m a cavallo della confluenza con il rio Centocroci e di un tratto di 90 m, circa del rio Centocroci a monte della confluenza.

Le informazioni di carattere topografico sono state ricavate da un rilievo topografico di dettaglio eseguito nel febbraio 2021.

In accordo con quanto indicato nel Regolamento Regionale n.3/2011 e nella Normativa di Piano, è stato assunto a favore di sicurezza un valore del coefficiente di scabrezza n di Manning pari a 0.04, corrispondente a tratti di corsi d'acqua naturali tortuosi con presenza di vegetazione arbustiva e arborea, fondo mobile con sedimenti di media pezzatura.

Lungo l'intero tratto del rio Crovana sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.), numerate da valle verso monte da 1 a 17, mentre lungo il rio Centocroci sono state individuate 6 sezioni numerate da valle verso monte da 101 a 106.

La numerazione delle sezioni idrauliche differisce da quella delle sezioni architettoniche del progetto secondo il seguente schema:

Crovana				Centocroci	
Sez. idr.	Sez. arch.	Sez. idr.	Sez. arch.	Sez. idr.	Sez. arch.
1	17	9	9	101	6
2	16	10	8	102	5
3	15	11	7	103	4
4	14	12	6	104	3
5	13	13	5	105	2
6	12	14	4	106	1
7	11	15	3		
8	10	16	2		
		17	1		

La verifica è stata eseguita separatamente per il Crovana e per il Centocroci con le rispettive portate di piena imponendo come condizioni al contorno la profondità critica nelle sezioni d'estremità.

Le verifiche sono state condotte per le configurazioni di:

- Stato attuale
- Progetto

5.4 RISULTATI

I risultati delle verifiche sono riassunti in forma numerica e grafica negli elaborati dell'Allegato A per le due configurazioni individuate.

Di seguito si riportano sinteticamente i risultati delle verifiche.

Stato attuale

Il deflusso della portata 200-ennale lungo il rio Crovana avviene prevalentemente in corrente veloce con numero di Froude variabile tra 1 e 4 circa, velocità elevate comprese tra 5 m/s e 10 m/s circa e altezza del pelo libero variabile da 1.0 m a 3.9 m circa.

Le velocità maggiori (e quindi le profondità minori) si registrano in corrispondenza del tratto a maggior pendenza ed in particolare a valle della confluenza (tra sez. 9 e sez. 6).

Ciò conferma quanto osservato ai capitoli precedenti in merito al forte potere erosivo della corrente nel tratto interessato dal movimento franoso.

Il deflusso della portata 200-ennale lungo il tratto terminale del rio Centocroci avviene prevalentemente in corrente veloce con numero di Froude variabile tra 1 e 2 circa, velocità comprese tra 3.5 m/s e 7.5 m/s circa e altezza del pelo libero variabile da 1.0 m a 4.0 m circa.

Il flusso del Centocroci è orientato diritto verso il versante destro del rio Centocroci determinando un impatto quasi asd angolo retto contro la sponda e quindi con un forrte potere erosivo della stessa.

Stato di progetto .

La sistemazione induce un deflusso con caratteristiche più regolari e minori velocità della corrente lungo tutto il tratto.

Il deflusso della portata 200-ennale lungo il Crovana avviene sempre in corrente veloce ma con Numero di Froude minore, variabile tra 1.0 e 2.0, velocità comprese tra 4.0 m/s e 8.5 m/s circa e altezza del pelo libero variabile da 1.0 m a 2.0 m circa.

Il deflusso della portata 200-ennale lungo il tratto terminale del rio Centocroci avviene in modo del tutto simile a quella attuale e cioè prevalentemente in corrente veloce con numero di Froude variabile tra 1 e 2 circa, velocità comprese tra 3.5 m/s e 7.4 m/s circa e altezza del pelo libero variabile da 1.0 m a 3.7 m circa.

6 CONSIDERAZIONI IN MERITO ALL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO DI MITIGAZIONE

Le verifiche idrauliche mostrano come la sistemazione di progetto induca un sensibile beneficio in particoalre in termini di riduzione della velocità della corrente e quindi della azione erosiva della stessa.

Il tratto a cavallo della confluenza maggiormente interessato dal fenomeno franoso è interessato dalla realizzazione della scogliera in massi naturali che garantisce una protezione adeguata nei confronti della magiore velocità della corrente e del suo potere erosivo.

La sistemazione a salti con regolarizzazione della pendenza intorno al profilo di equilibrio garantisce il mantenimento nel tempo dell'assetto idraulico del fondo, con una ridotta capacità sia di erosione che di deposito.

Tali considerazioni sono facilmente riscontrabili dal grafico seguente, che ripèorta l'andamento delle velocità lungo il tratto del Crovana oggetto di verifica, sia per la portata 200-ennale, sia per la cosiddetta "portata indice" (o portata efficace), corrispondente al valore di portata di piena che si verifica mediamente una volta all'anno o poco meno e che modella il fondo alveo sui propri e caratteristici assetti di equilibrio.

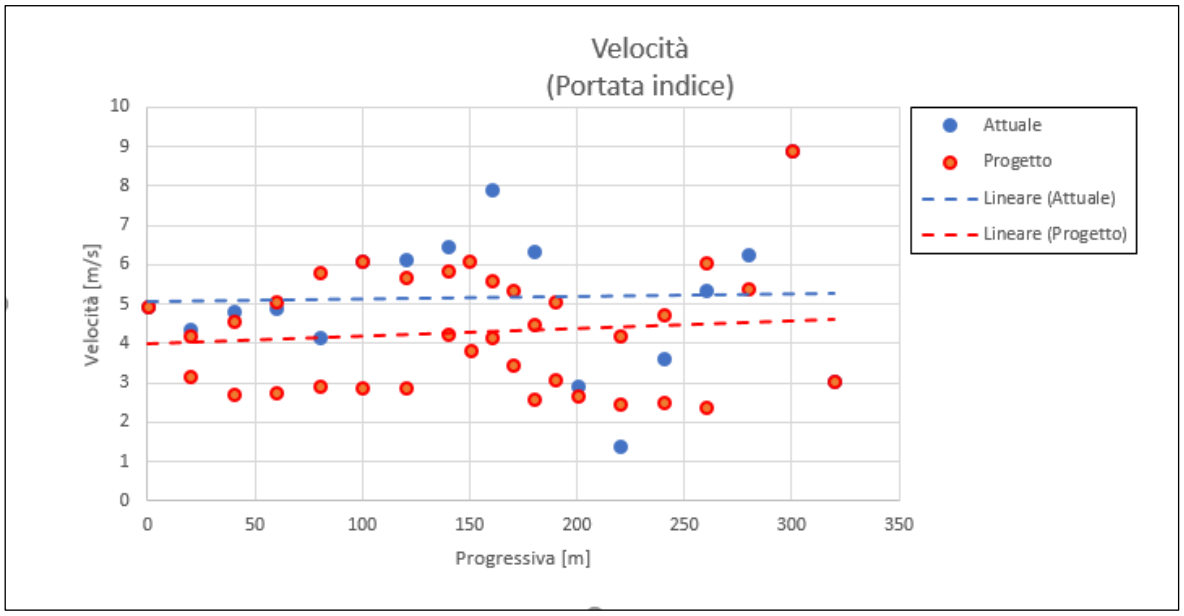


Figura 6.1 – Velocità Crovana Q indice.

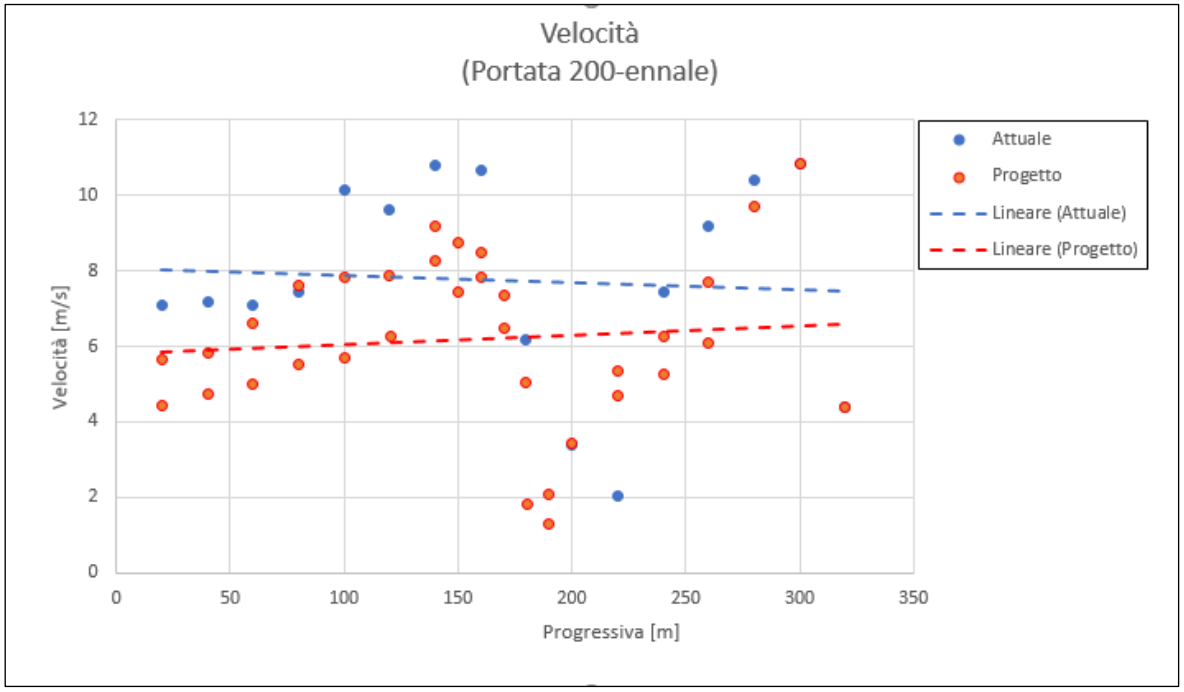


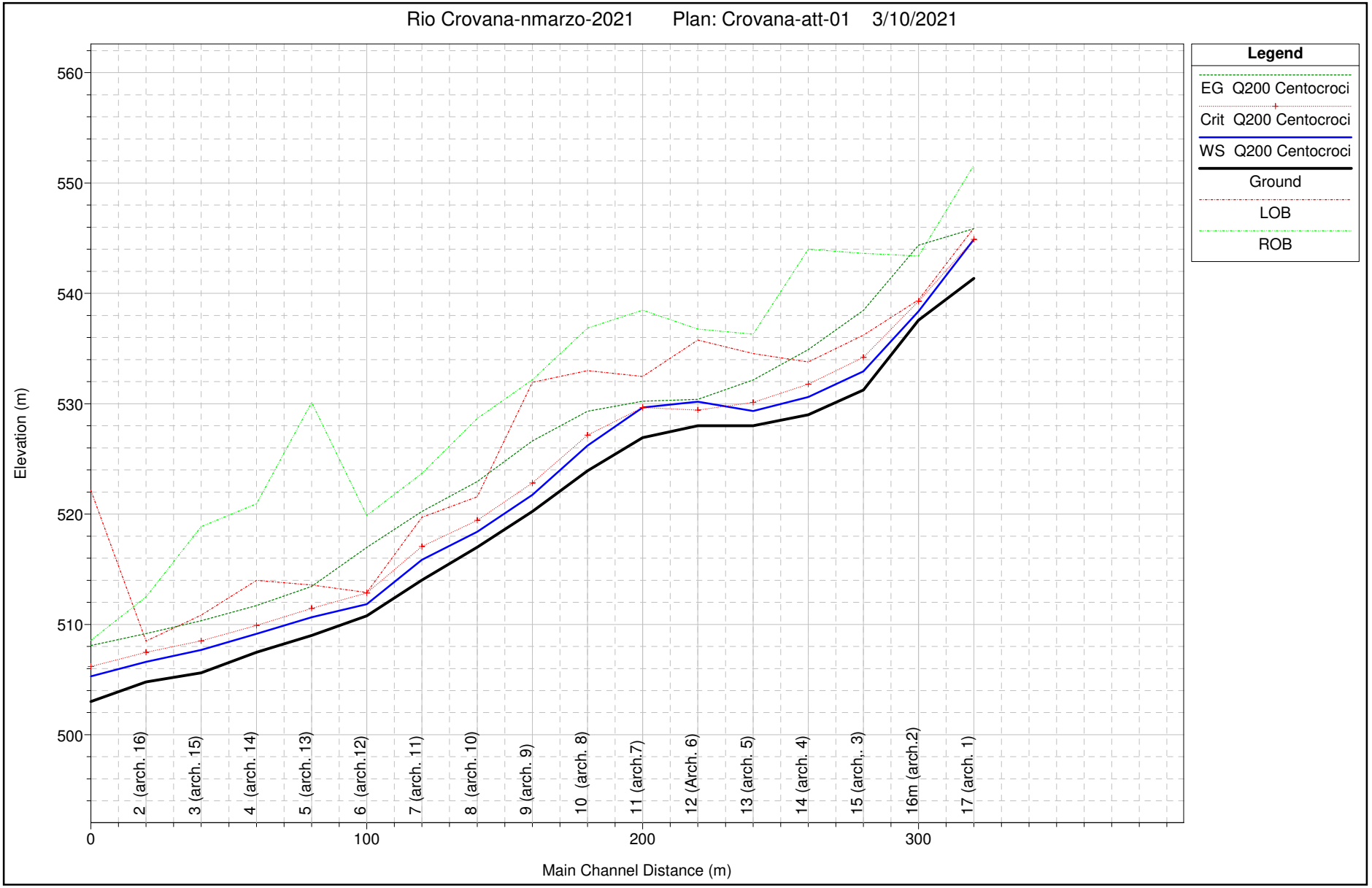
Figura 6.1 – Velocità Crovana Q 200.

L'altezza della scogliera, pari a circa 2 m, è compatibile con il livello di piena 200-ennale senza franco; il suo fine primario non è infatti quello di contenere la portata di piena, ma di proteggere la spon da dasi possibili fenomeni erosivi della corrente in particolare per le portate più frequenti.

Si ritiene pertanto che l'intervento in progetto risulti efficacie nei confronti della stabilizzazione sia del corso d'acqua che del fenomeno franoso ad esso collegato.

ALLEGATI

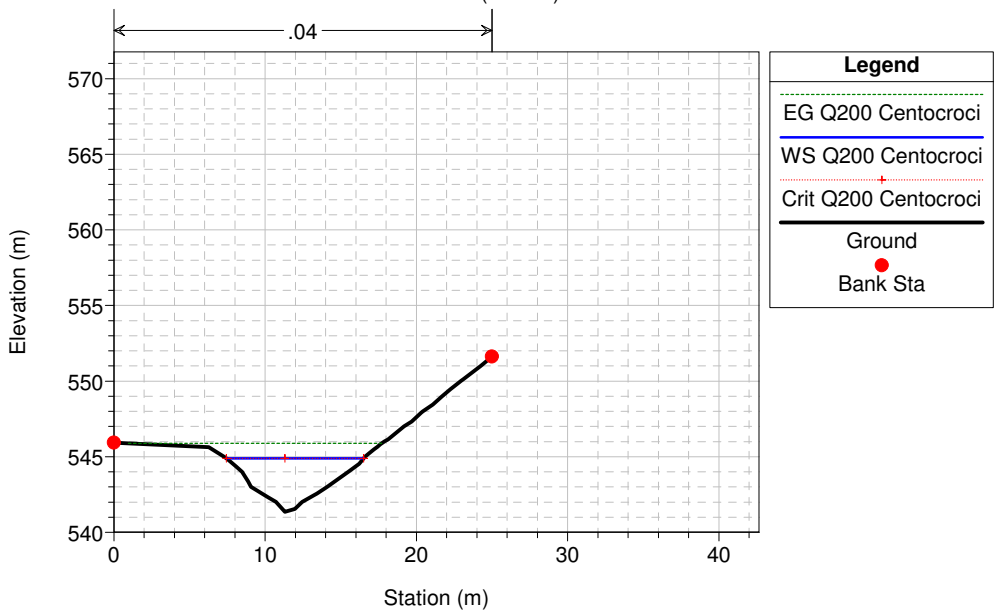
Verifiche idrauliche



1 cm Horiz. = 20 m 1 cm Vert. = 5 m

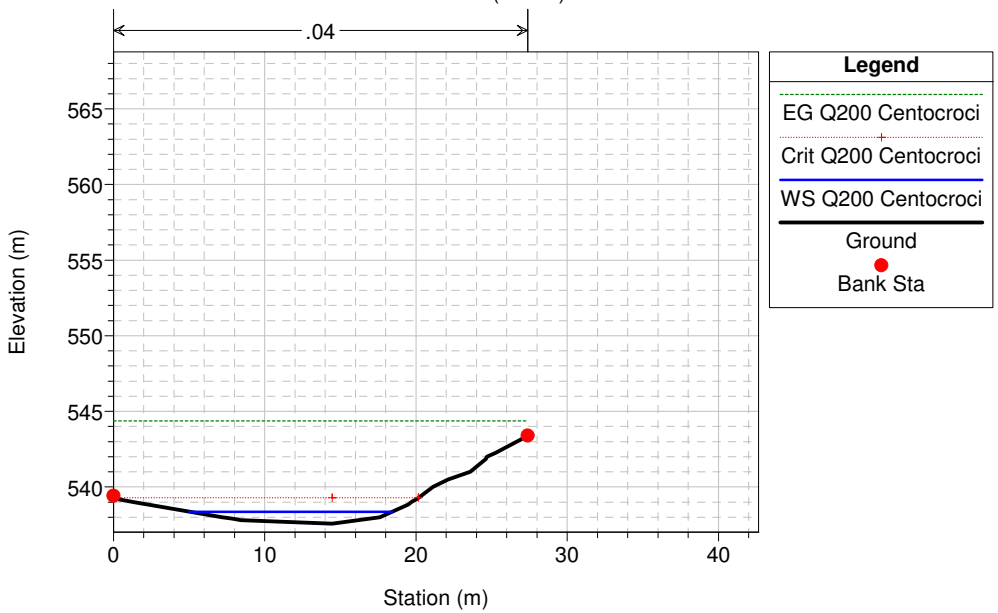
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

17 (arch. 1)



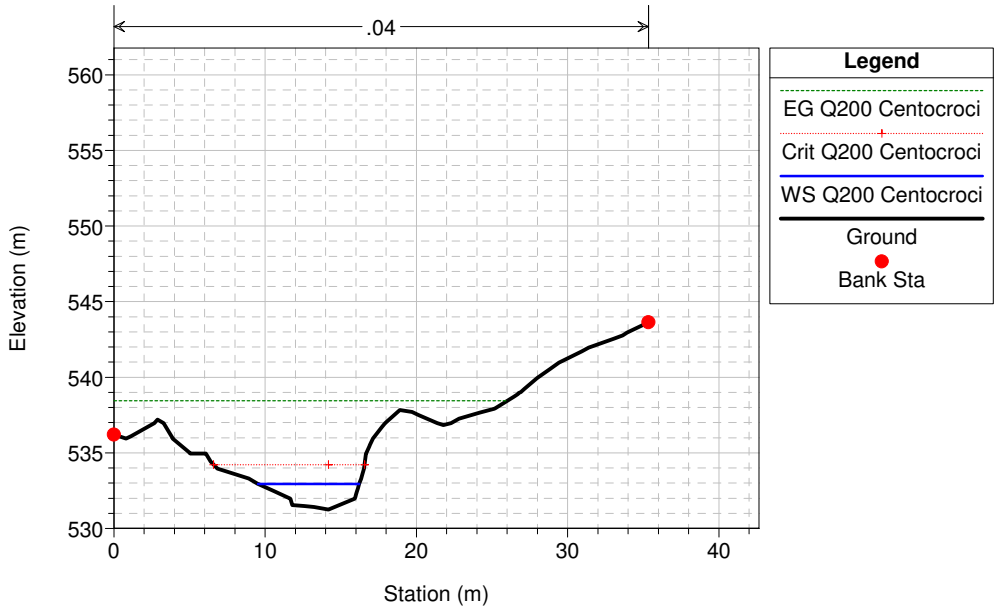
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

16m (arch.2)



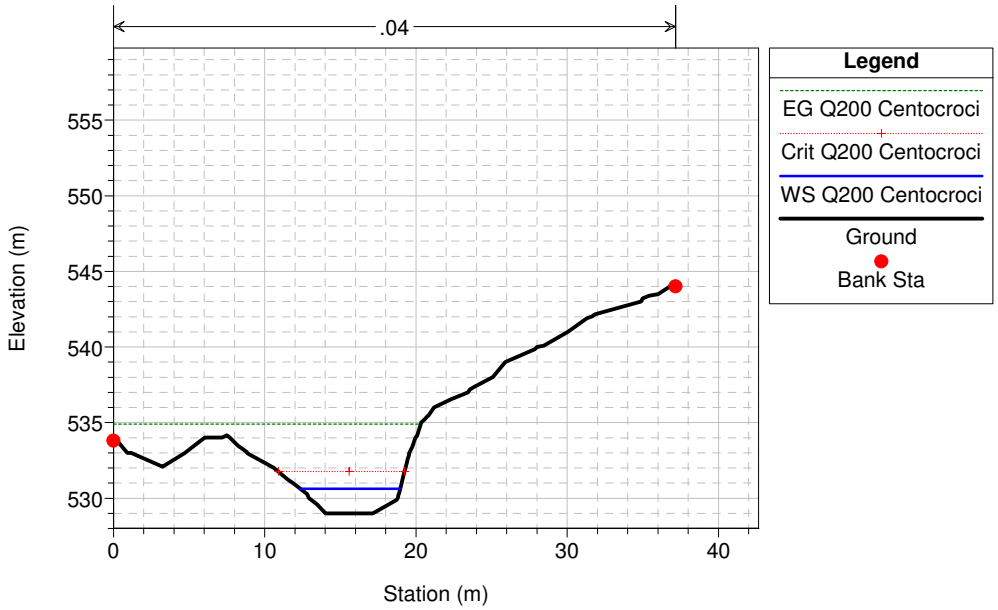
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

15 (arch,. 3)

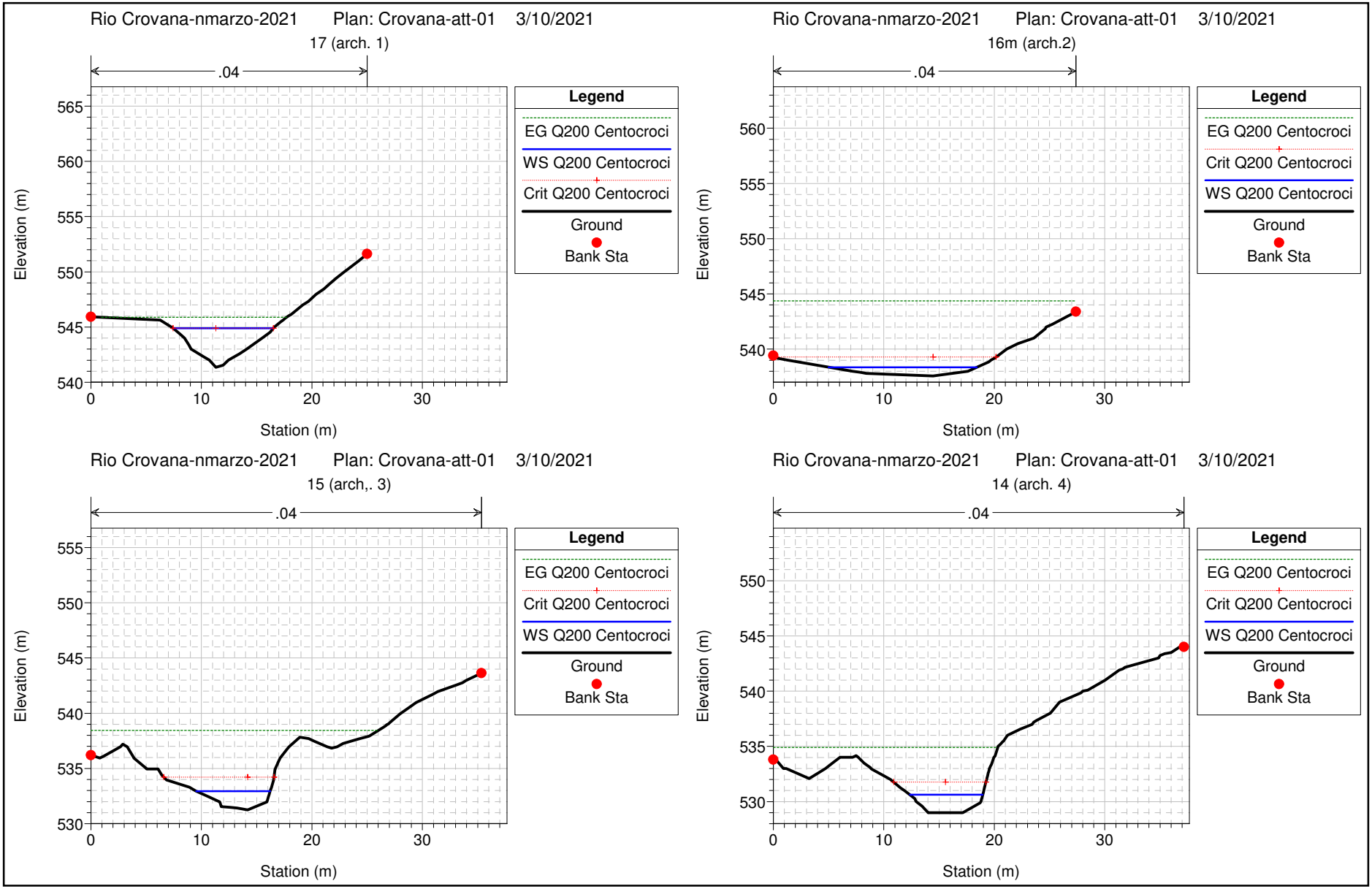


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

14 (arch. 4)



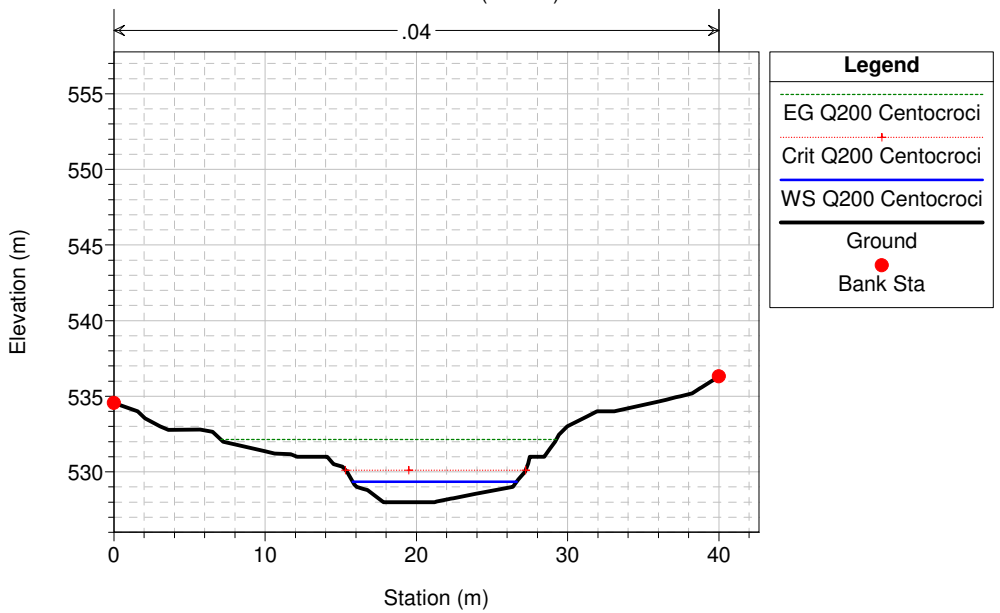
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m



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

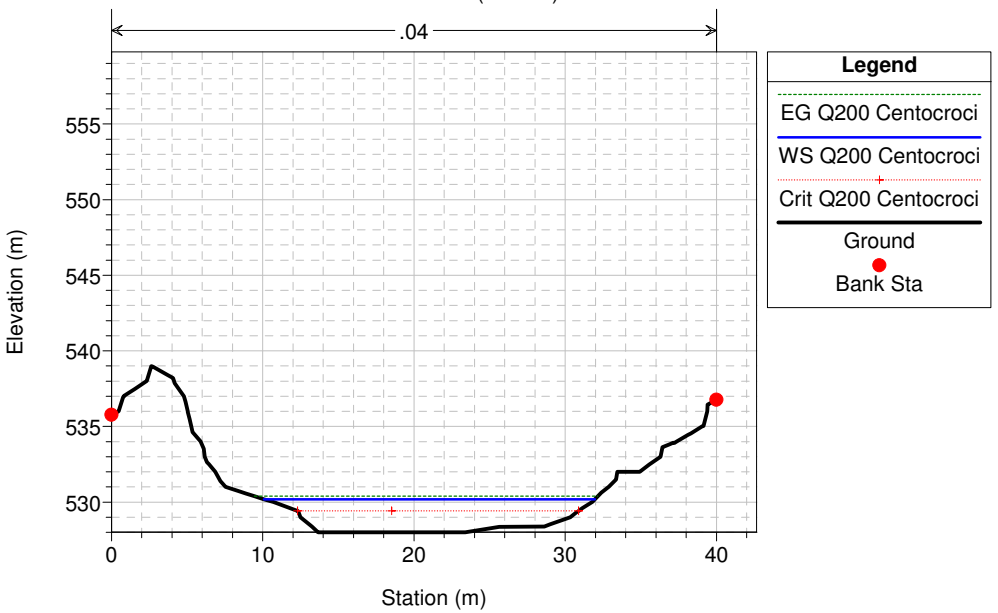
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

13 (arch. 5)



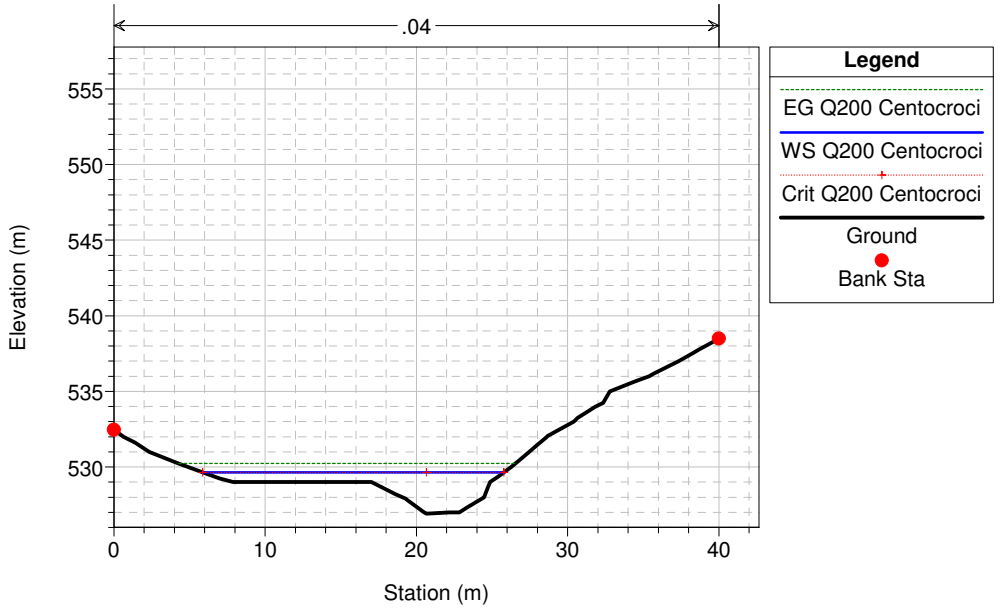
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

12 (Arch. 6)



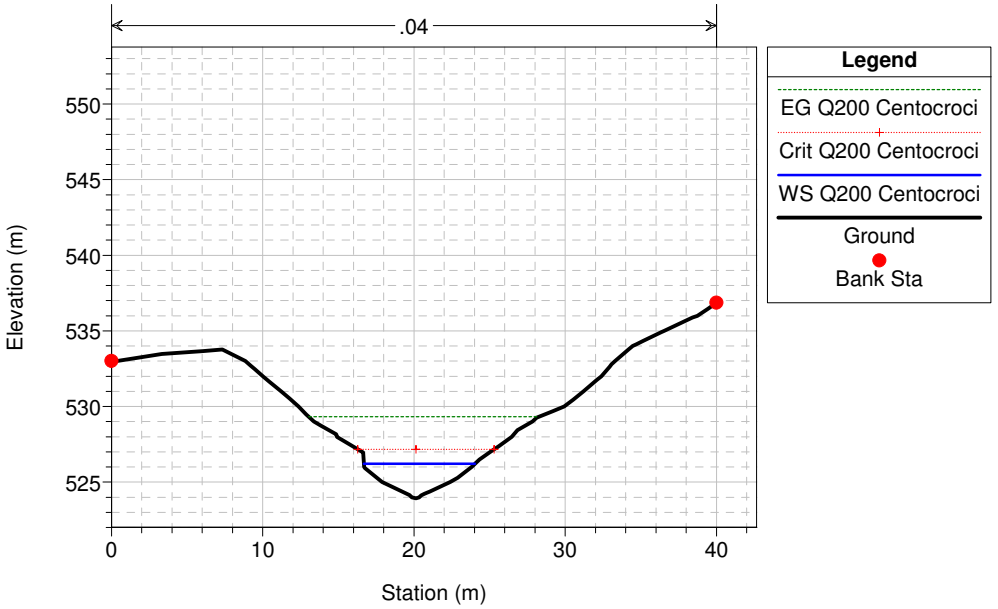
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

11 (arch.7)



Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

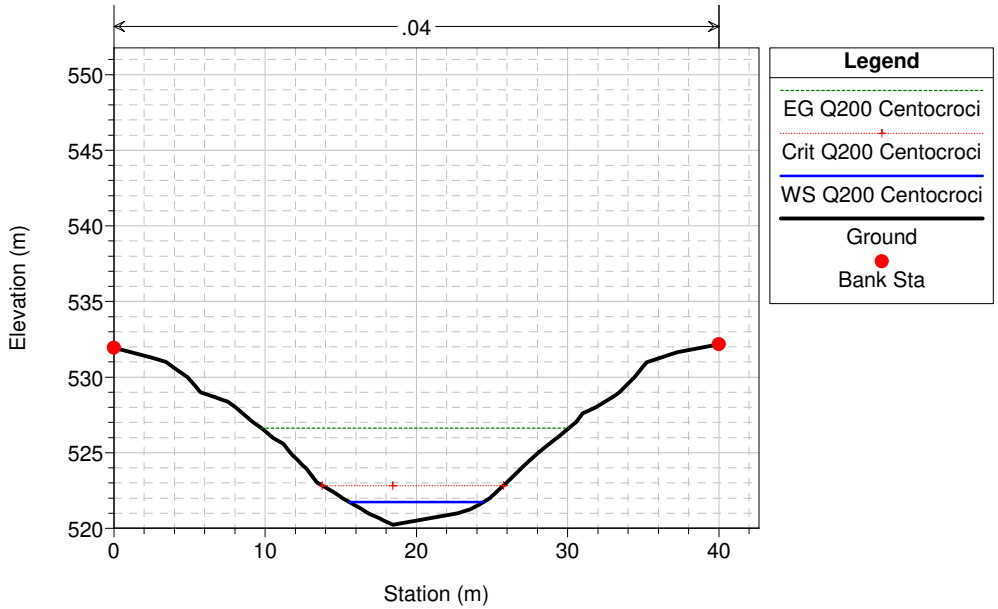
10 (arch. 8)



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

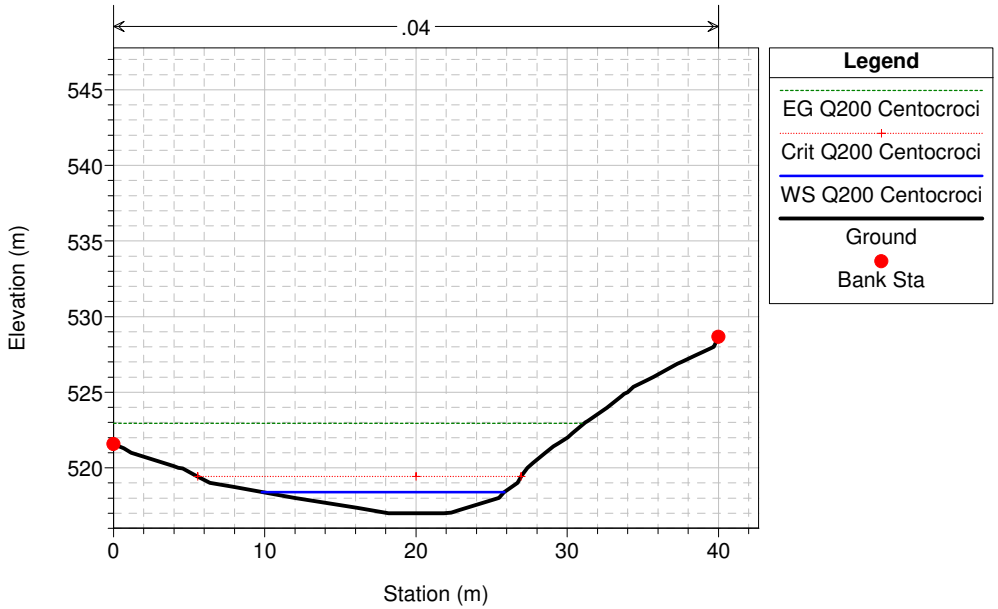
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

9 (arch. 9)



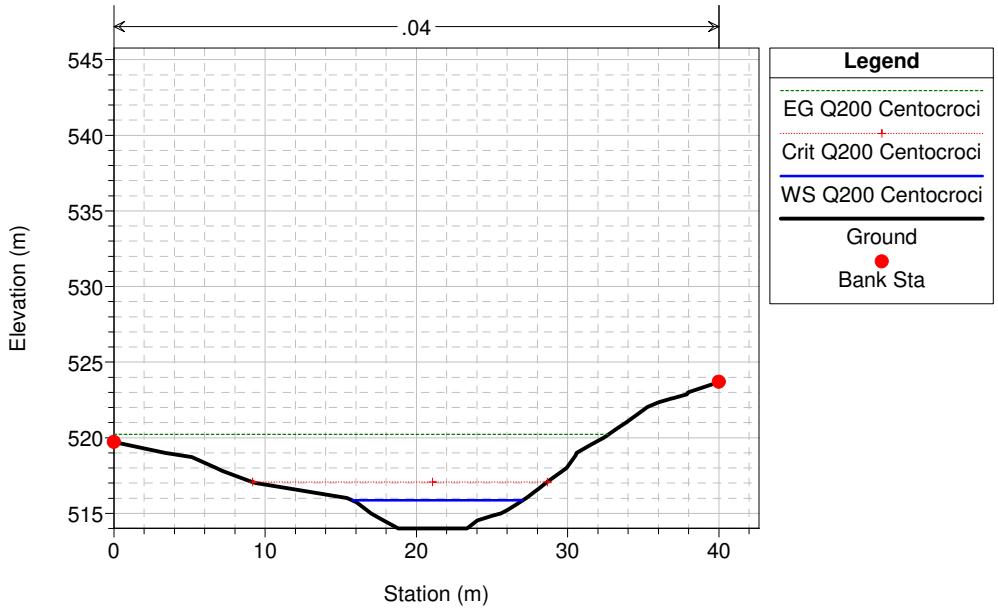
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

8 (arch. 10)



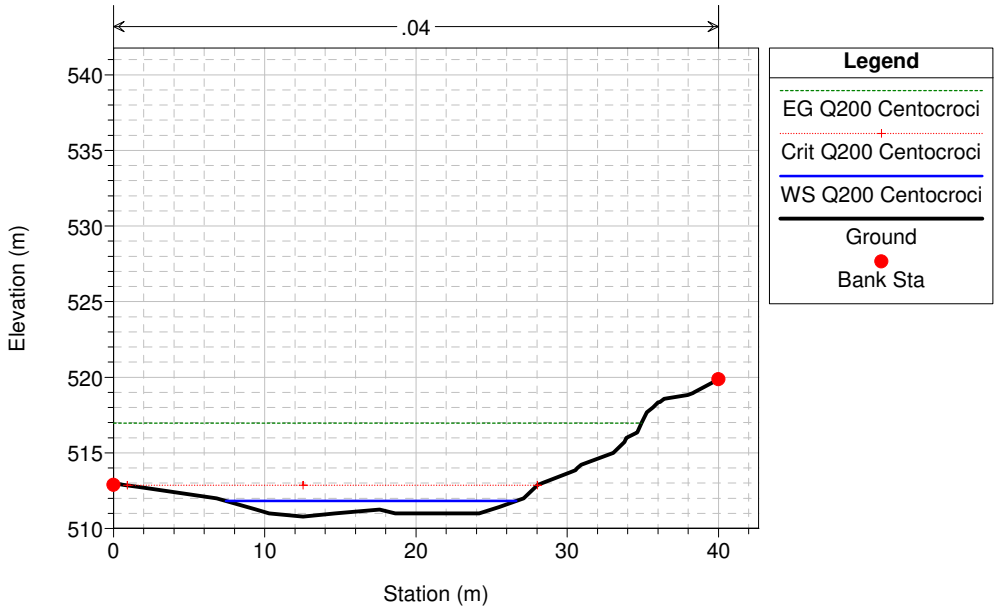
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

7 (arch. 11)



Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

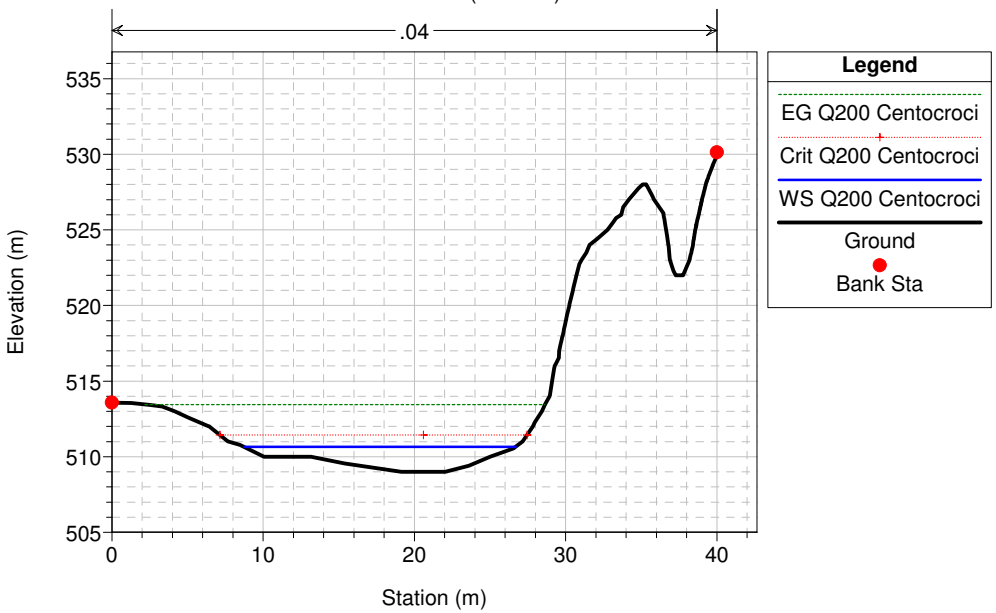
6 (arch.12)



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

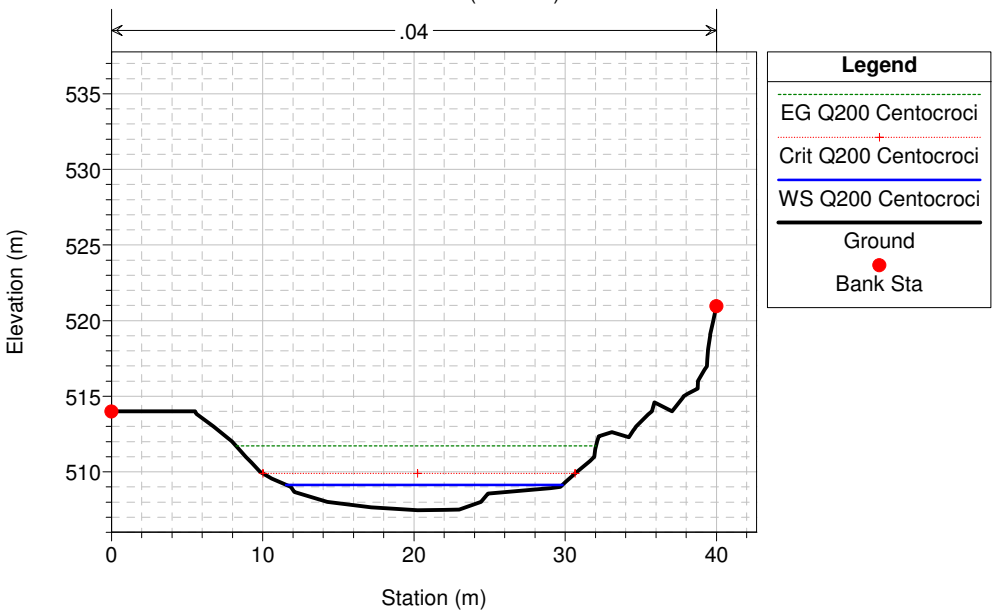
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

5 (arch. 13)



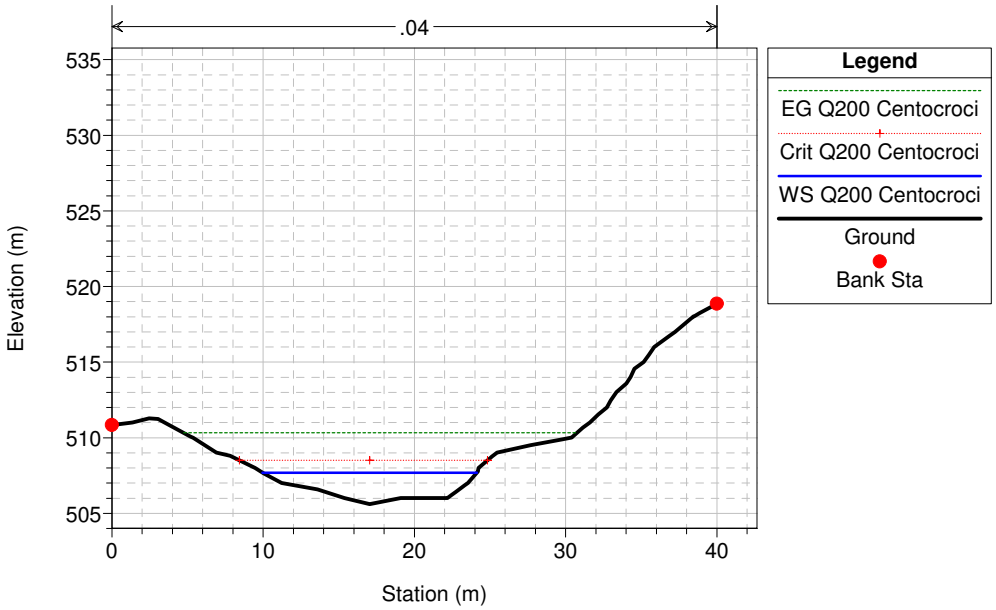
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

4 (arch. 14)



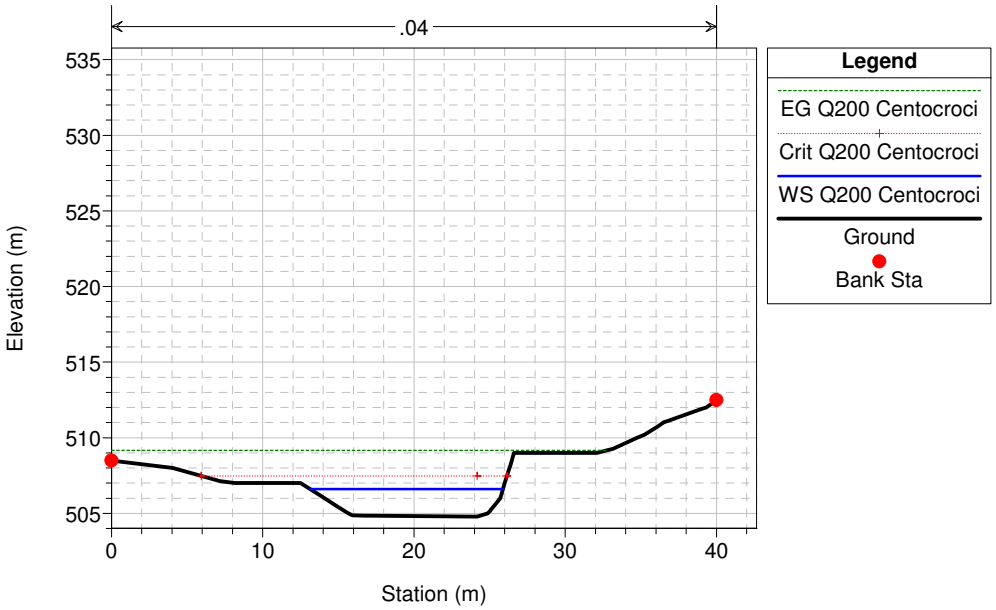
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

3 (arch. 15)



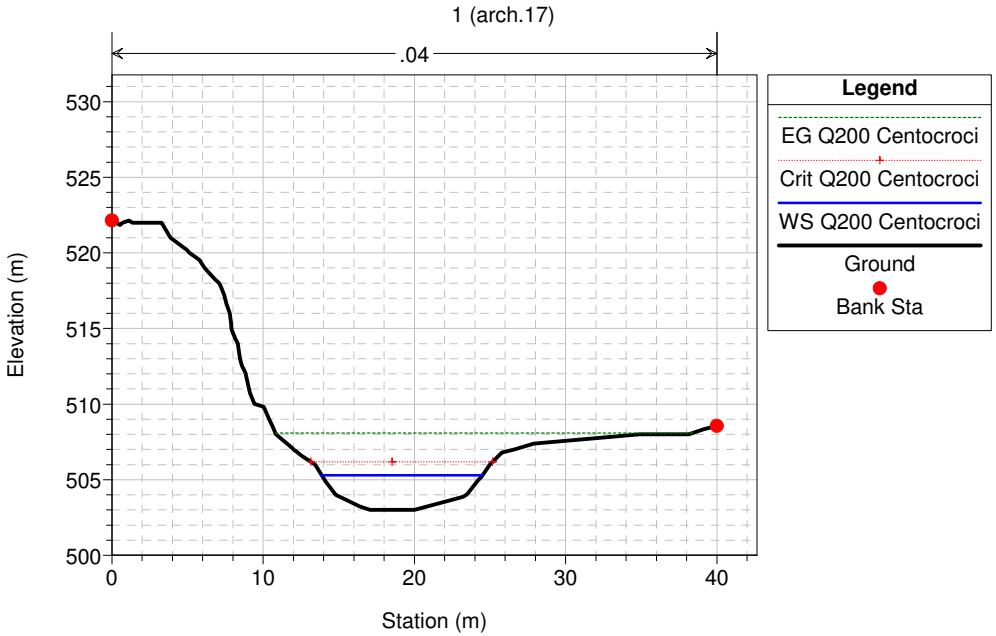
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021

2 (arch. 16)



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

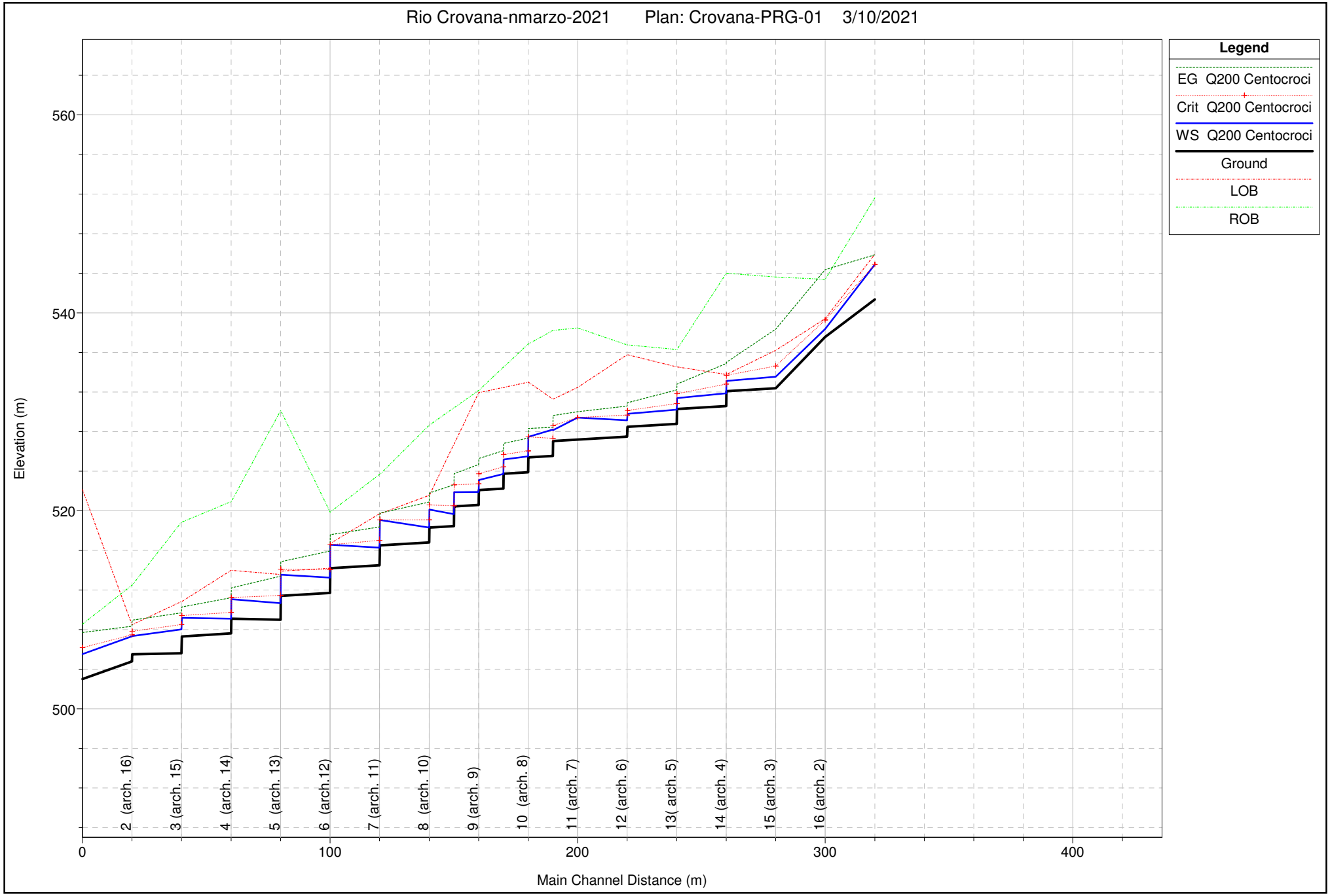
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-att-01 3/10/2021



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

HEC-RAS Plan: Crovana-att-01 River: Crovana Reach: Crovana Profile: Q200 Centocroci

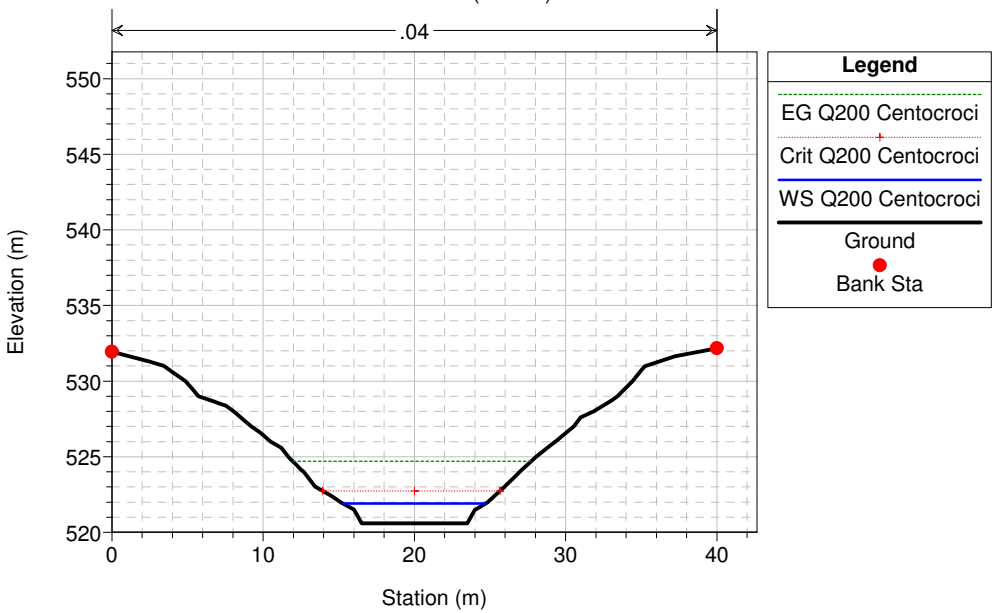
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Top Width	Vel Total	E.G. Elev	Froude # XS
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m)	
Crovana	1	Q200 Centocroci	137.00		503.00	522.13	508.56	505.30	1.74	2.29	10.66	7.41	508.09	1.79
Crovana	2	Q200 Centocroci	137.00	20.00	504.78	508.48	512.49	506.60	1.51	1.82	12.76	7.09	509.16	1.84
Crovana	3	Q200 Centocroci	137.00	40.00	505.62	510.83	518.87	507.69	1.34	2.08	14.19	7.18	510.32	1.98
Crovana	4	Q200 Centocroci	137.00	60.00	507.46	513.99	520.94	509.14	1.05	1.68	18.29	7.10	511.71	2.21
Crovana	5	Q200 Centocroci	137.00	80.00	509.00	513.57	530.12	510.65	1.03	1.64	17.95	7.41	513.45	2.33
Crovana	6	Q200 Centocroci	137.00	100.00	510.77	512.88	519.87	511.82	0.71	1.05	19.18	10.05	516.97	3.80
Crovana	7	Q200 Centocroci	137.00	120.00	514.00	519.71	523.69	515.86	1.31	1.85	11.28	9.26	520.23	2.58
Crovana	8	Q200 Centocroci	137.00	140.00	517.00	521.56	528.66	518.39	0.90	1.39	16.05	9.45	522.94	3.17
Crovana	9	Q200 Centocroci	76.00	160.00	520.23	531.94	532.17	521.73	0.88	1.50	8.83	9.81	526.63	3.34
Crovana	10	Q200 Centocroci	76.00	180.00	523.92	533.00	536.86	526.20	1.33	2.28	7.34	7.82	529.31	2.17
Crovana	11	Q200 Centocroci	76.00	200.00	526.92	532.46	538.48	529.65	1.13	2.73	19.92	3.36	530.23	1.01
Crovana	12	Q200 Centocroci	76.00	220.00	528.00	535.77	536.77	530.19	1.72	2.18	21.88	2.02	530.39	0.49
Crovana	13	Q200 Centocroci	76.00	240.00	528.00	534.55	536.31	529.34	0.94	1.34	10.85	7.42	532.15	2.44
Crovana	14	Q200 Centocroci	76.00	260.00	529.00	533.79	544.00	530.61	1.26	1.61	6.60	9.18	534.91	2.61
Crovana	15	Q200 Centocroci	76.00	280.00	531.24	536.21	543.62	532.94	1.09	1.70	6.70	10.40	538.45	3.18
Crovana	16	Q200 Centocroci	76.00	300.00	537.57	539.42	543.39	538.36	0.52	0.80	13.40	10.85	544.36	4.79
Crovana	17	Q200 Centocroci	76.00	320.00	541.36	545.93	551.63	544.90	1.91	3.54	9.09	4.38	545.87	1.01



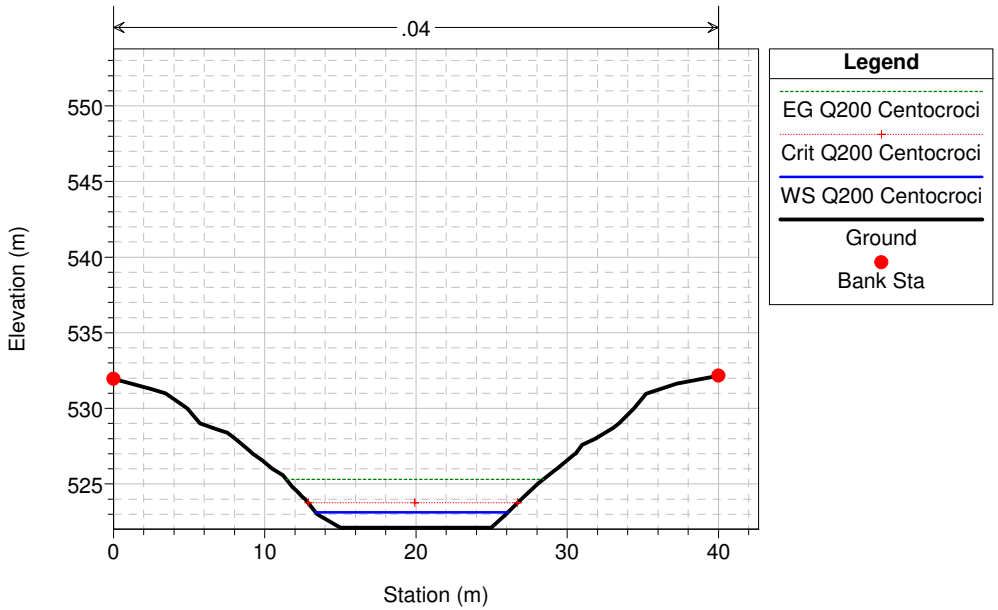
1 cm Horiz. = 20 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

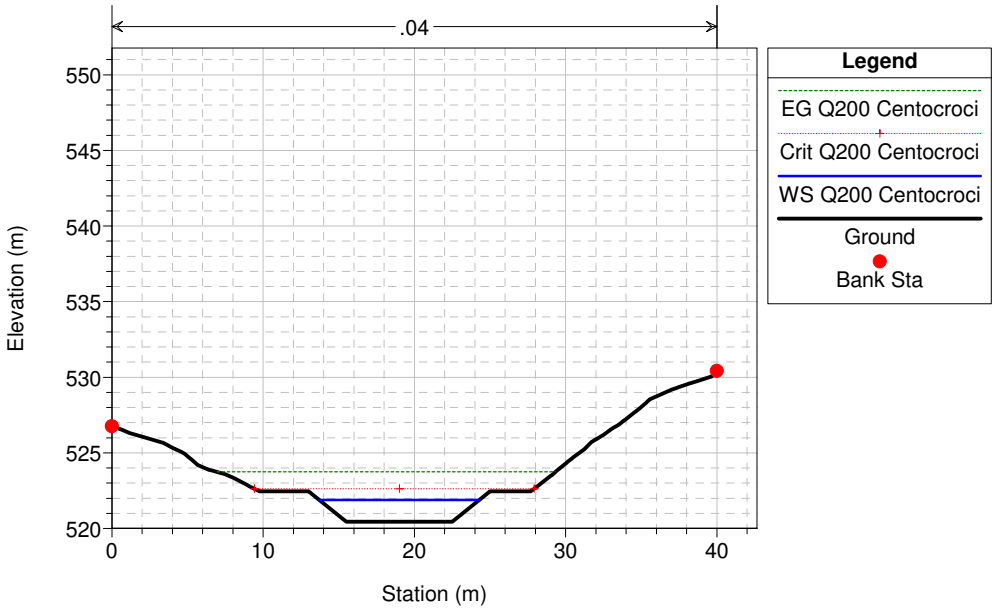
9 (arch. 9)



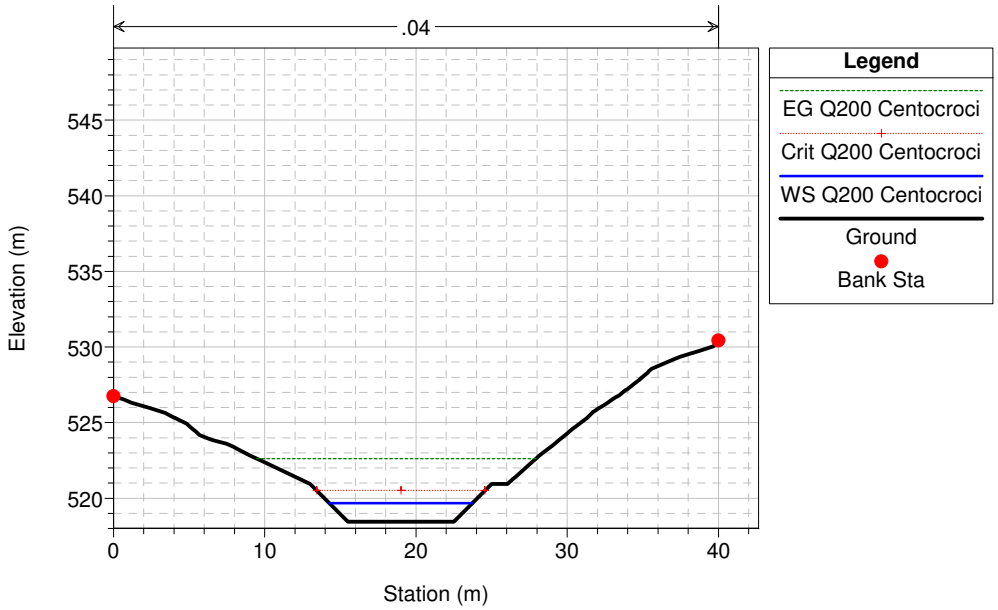
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

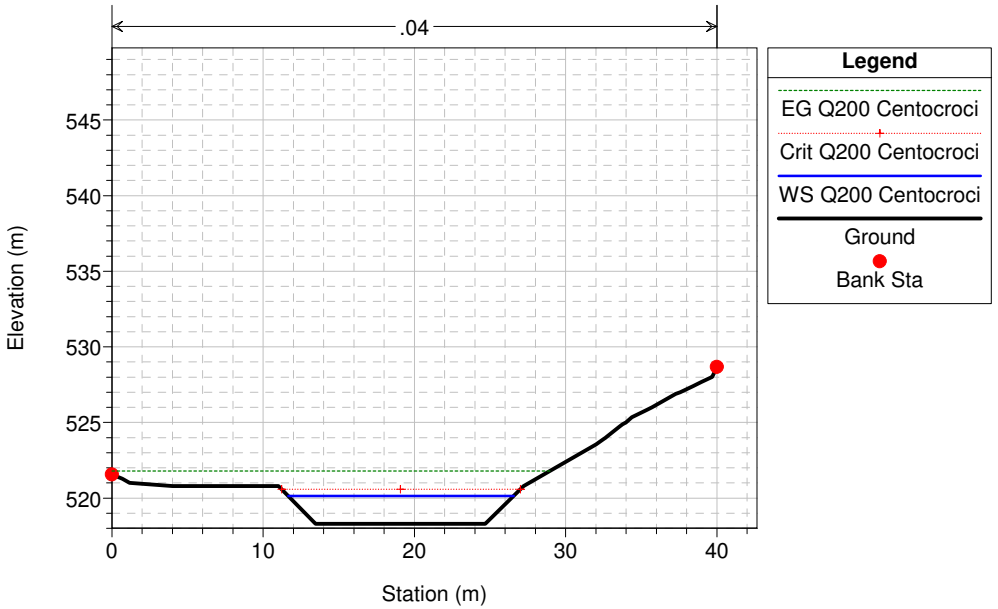


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



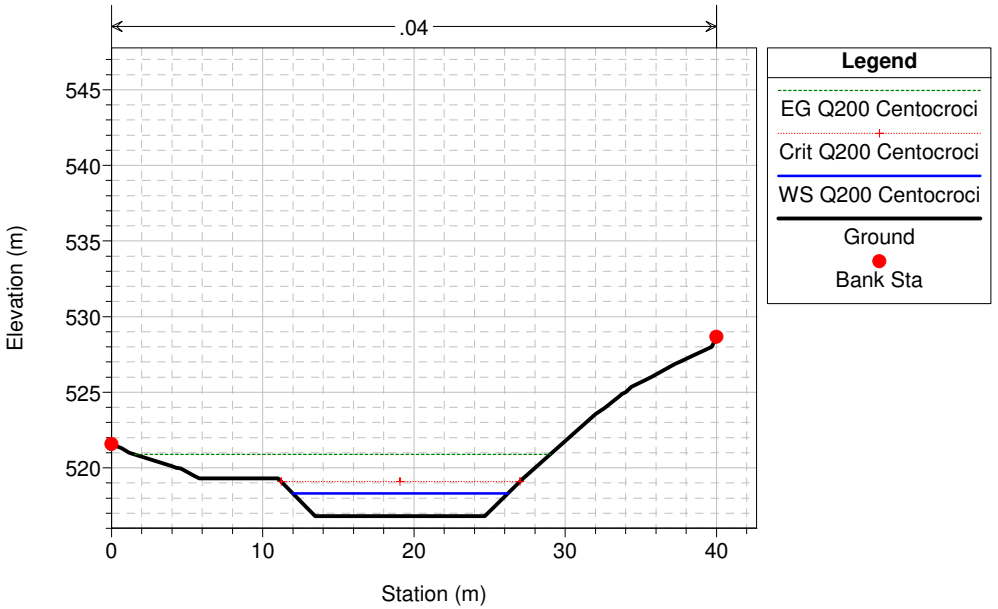
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

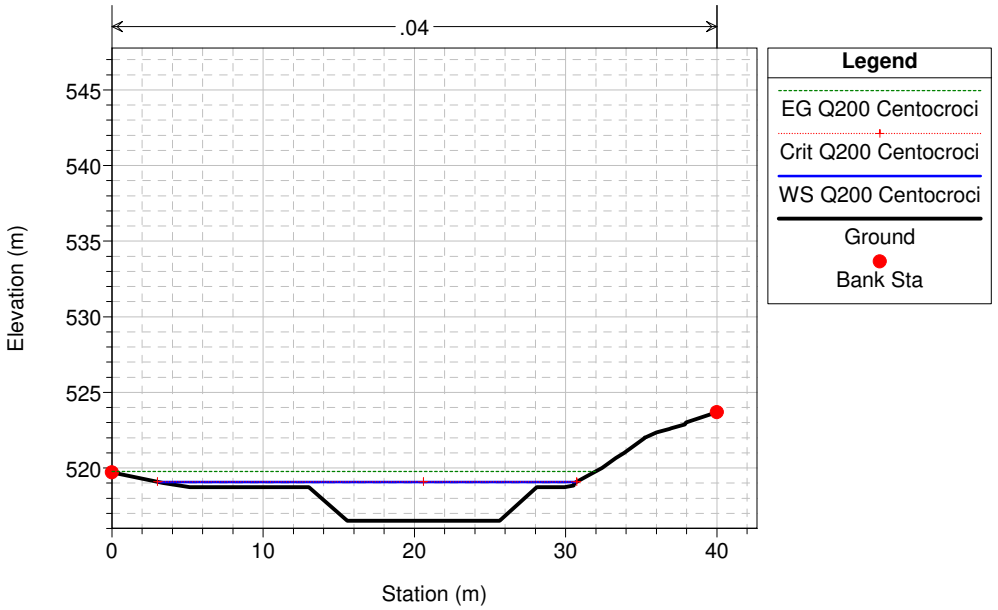


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

8 (arch. 10)

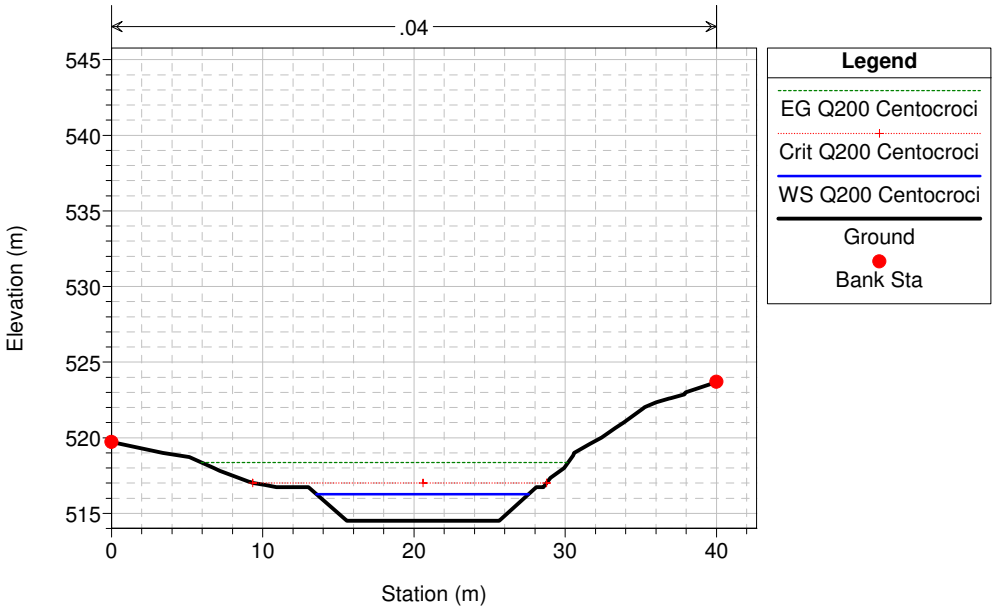


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



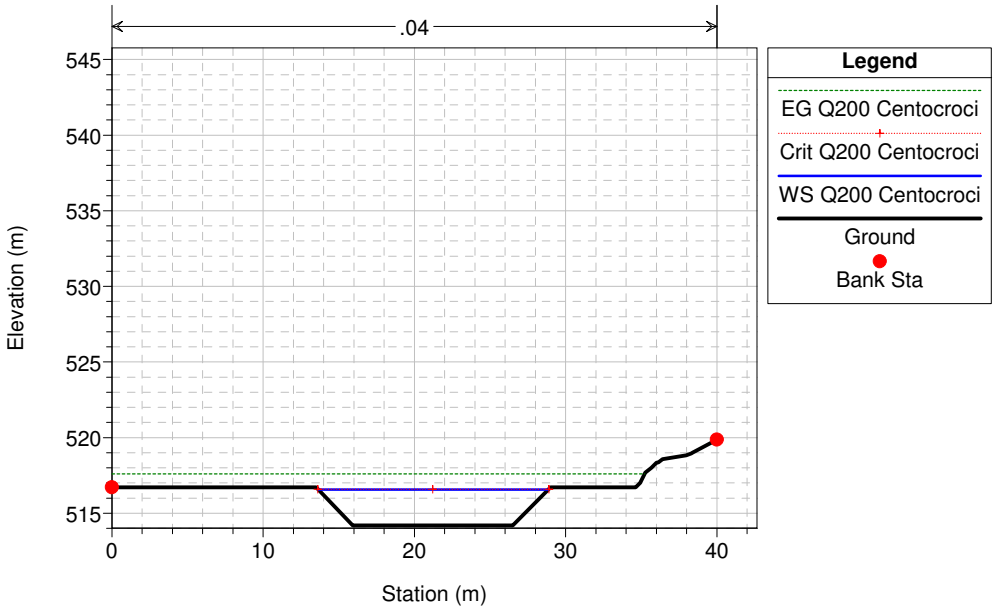
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

7 (arch. 11)



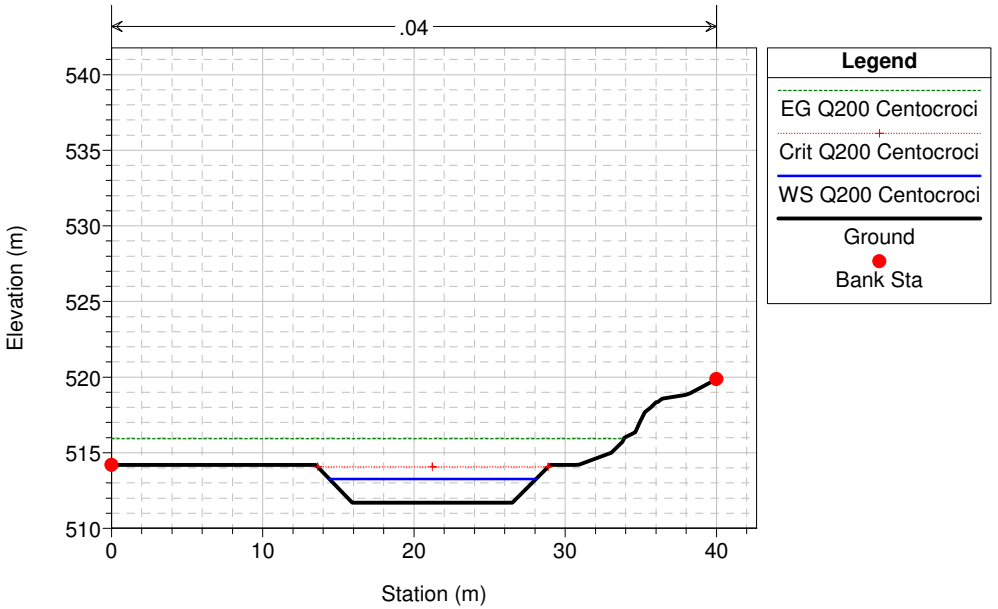
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

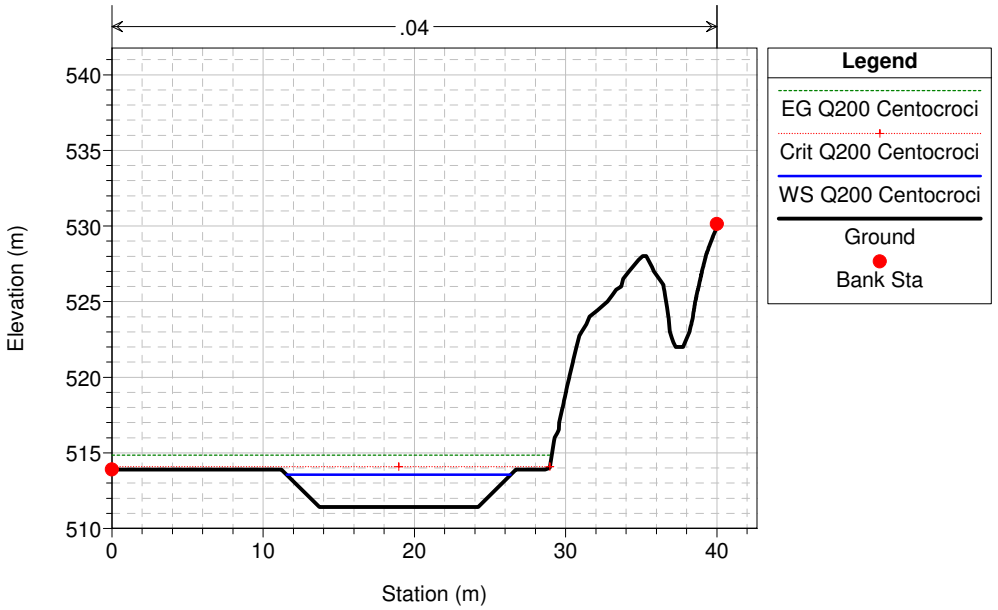


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

6 (arch.12)

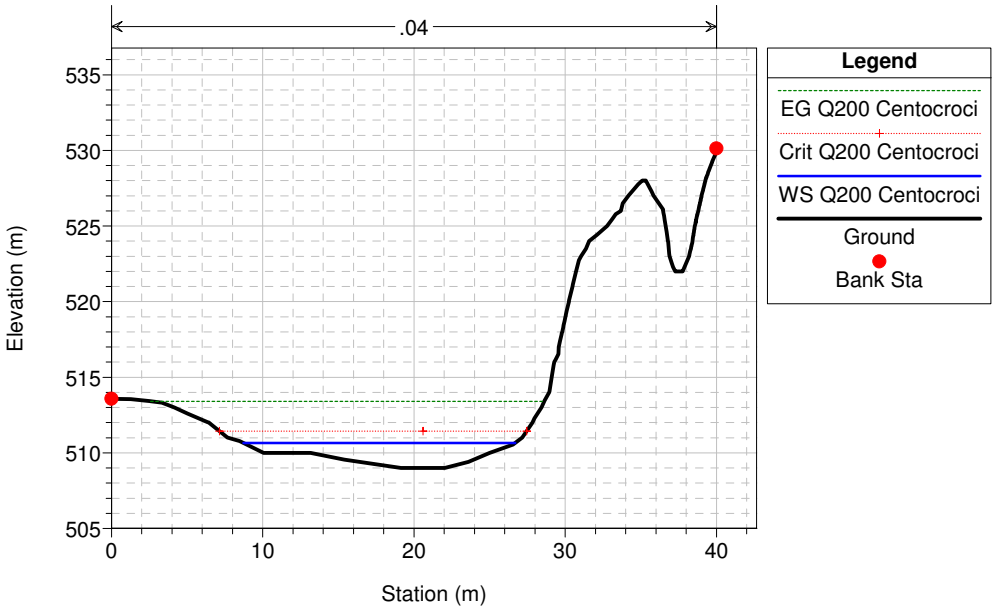


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



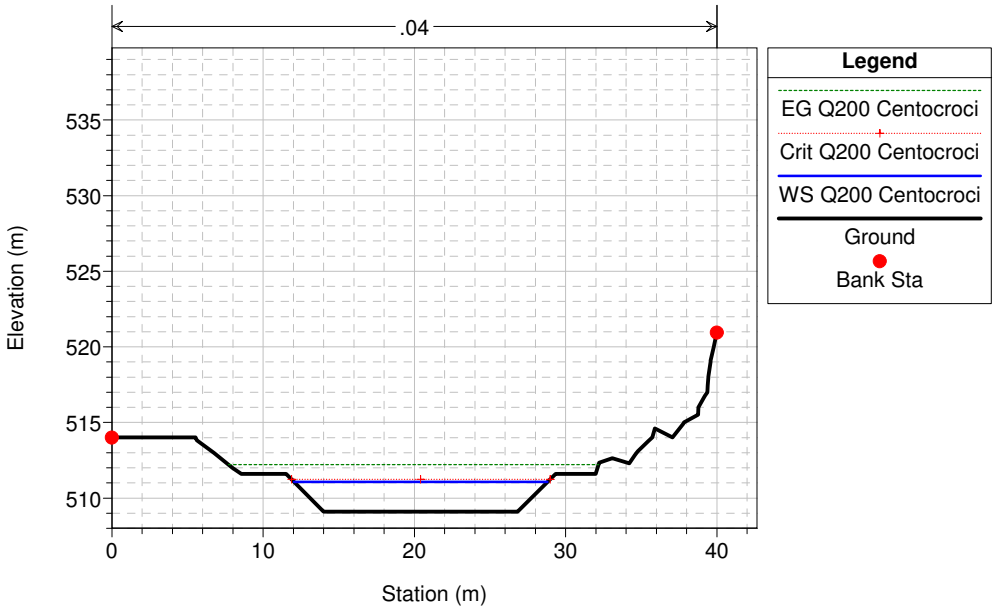
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

5 (arch. 13)



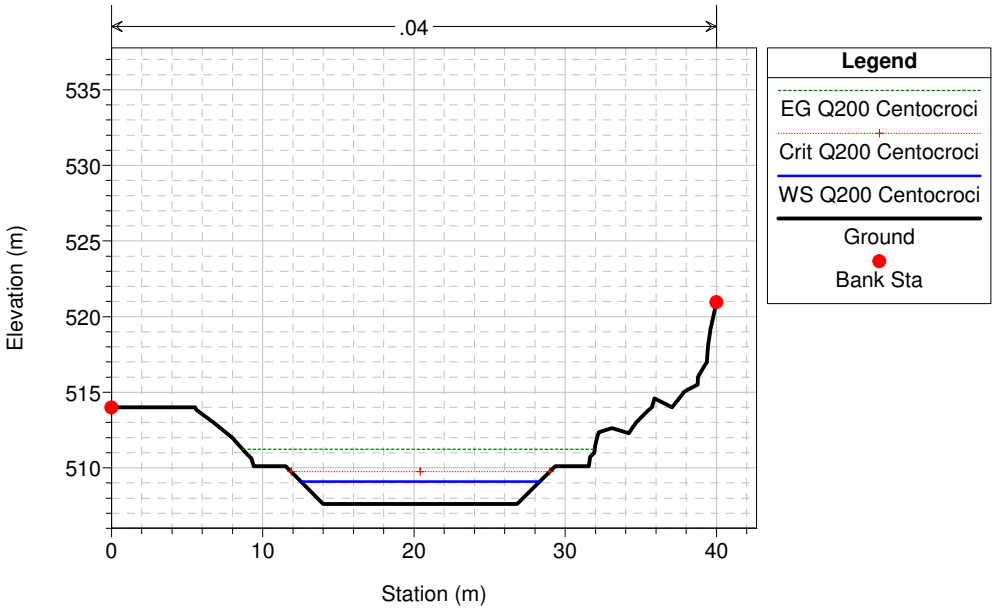
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

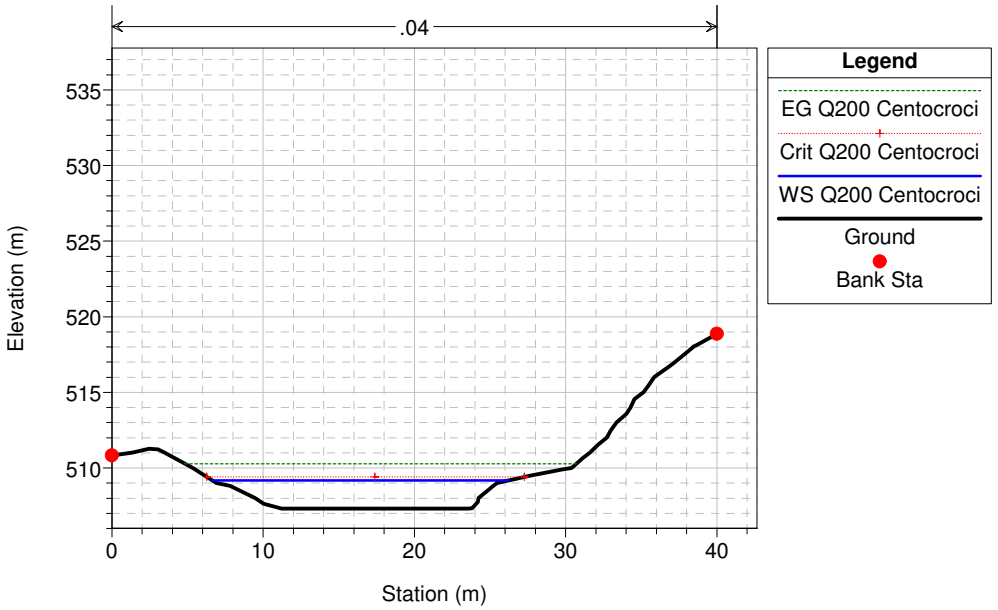


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

4 (arch. 14)

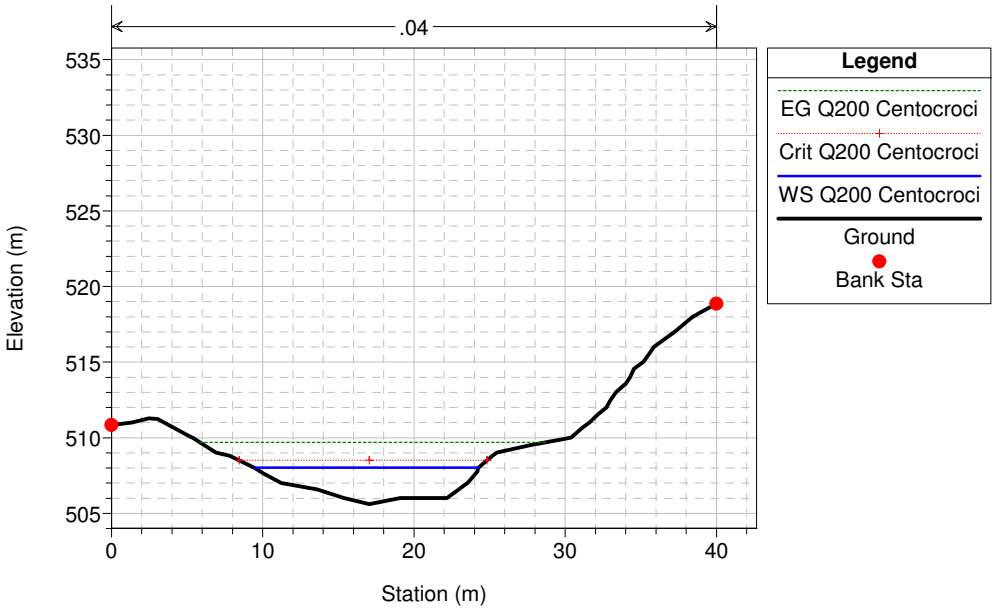


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



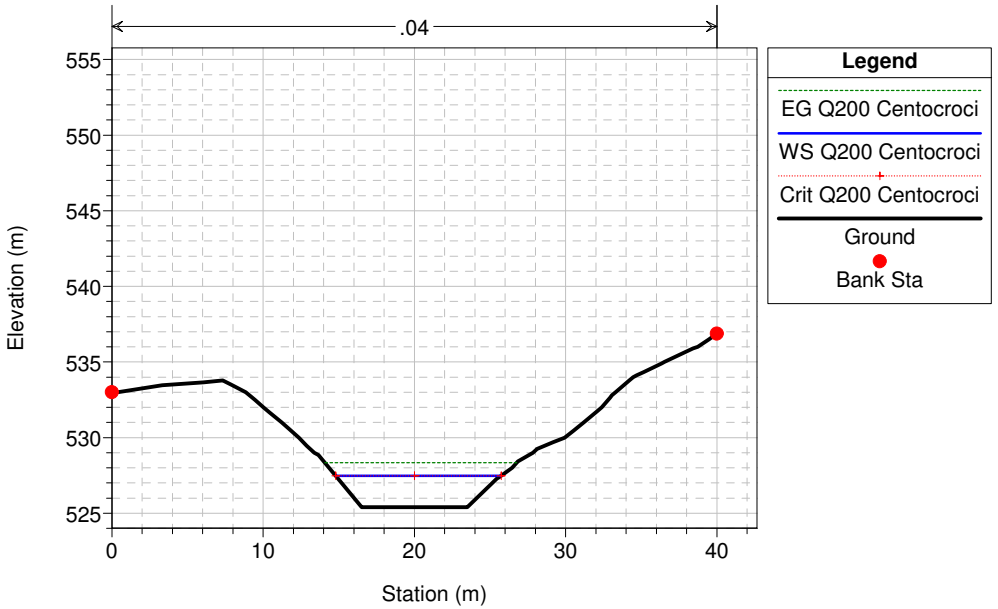
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

3 (arch. 15)



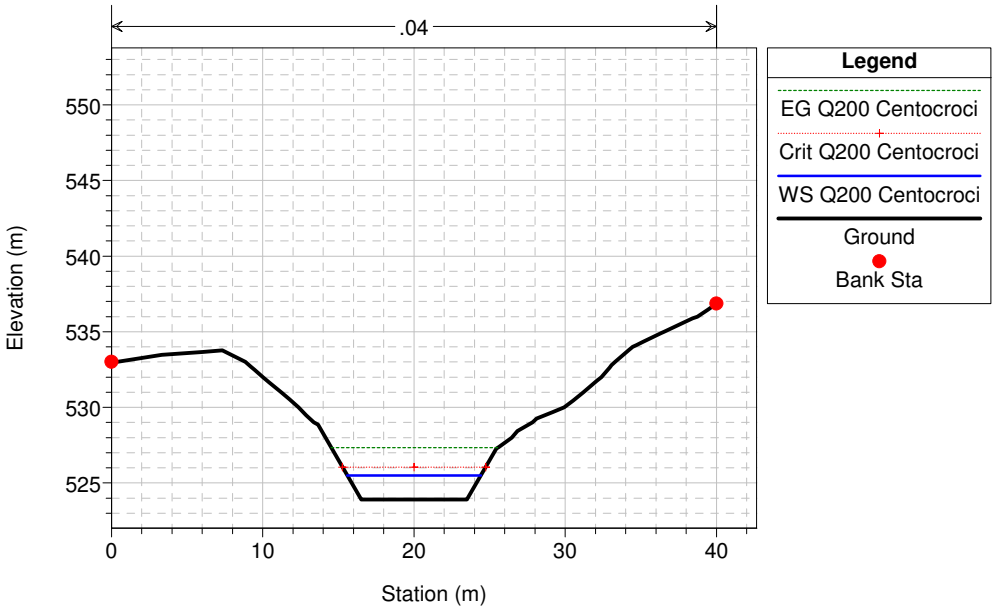
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

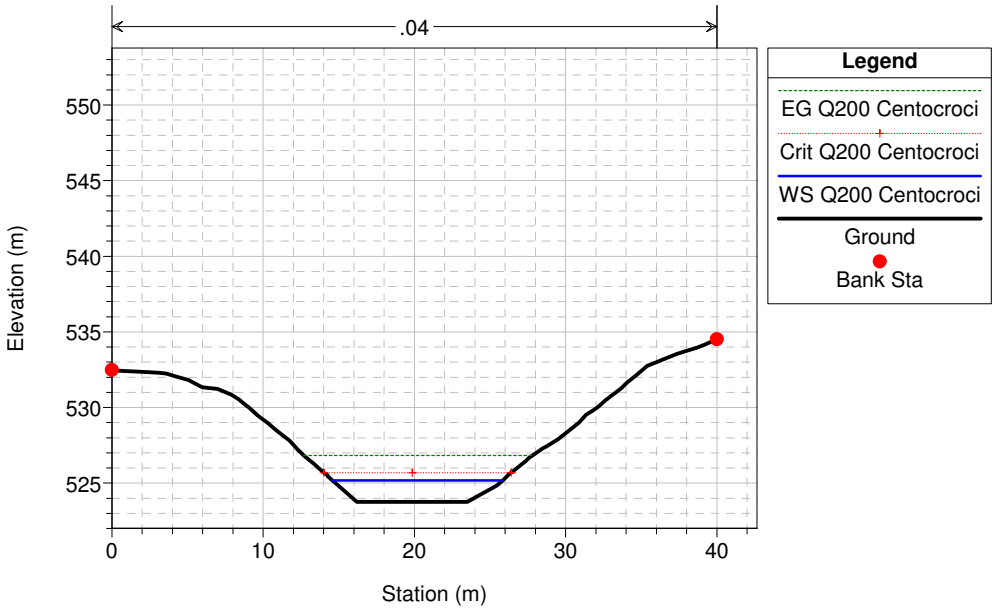


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

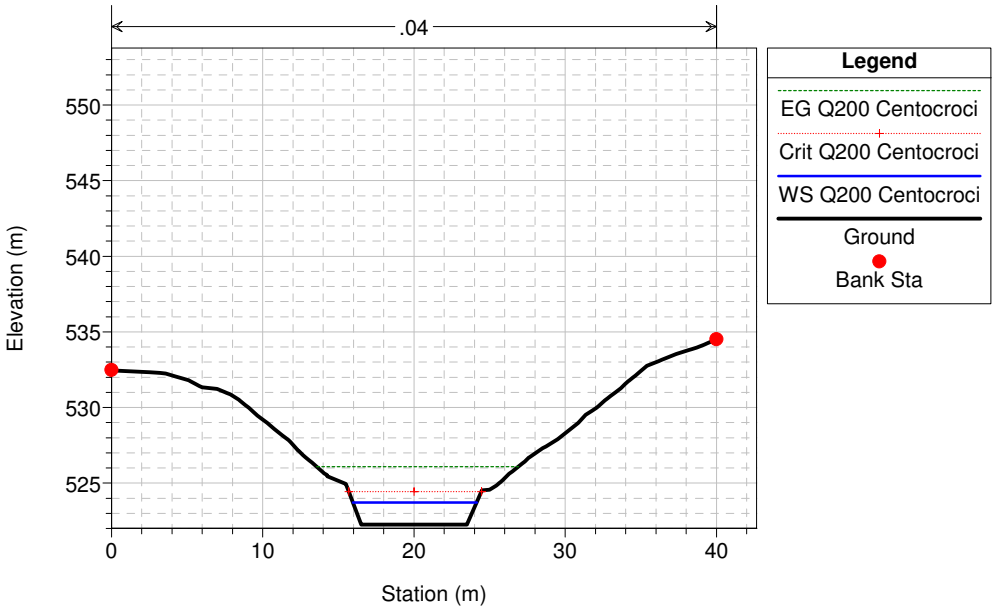
10 (arch. 8)



Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

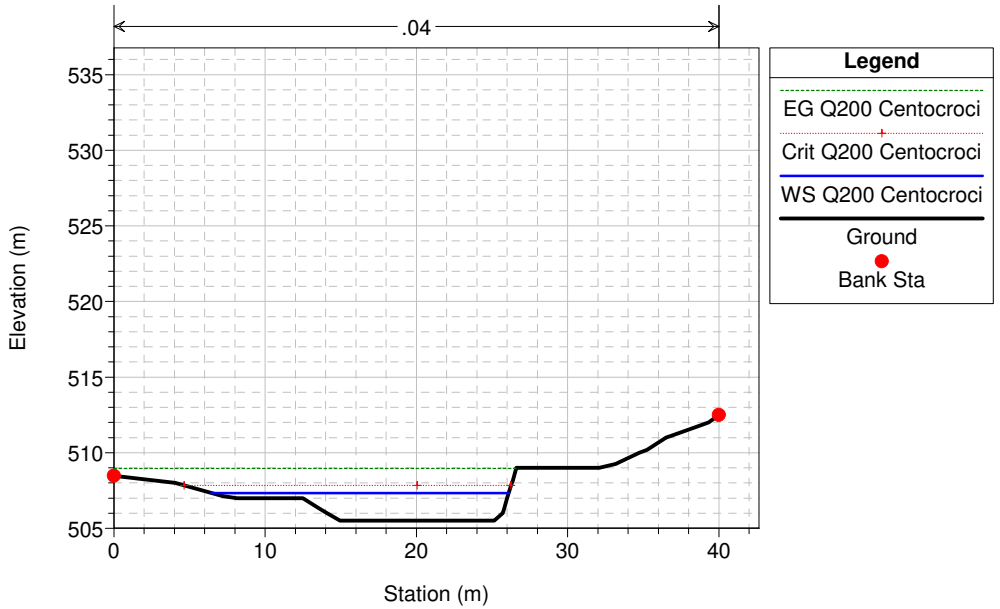


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



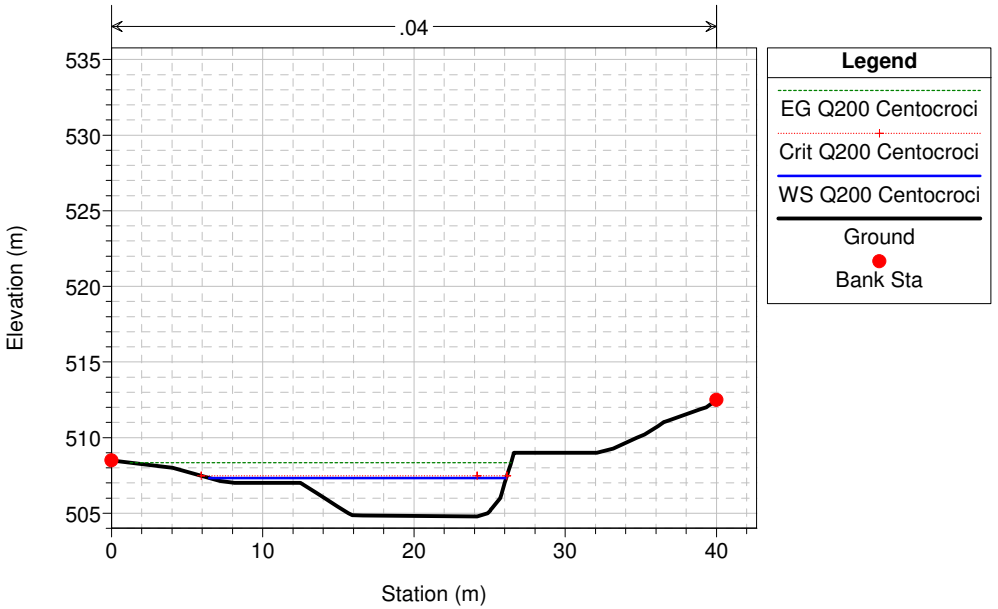
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



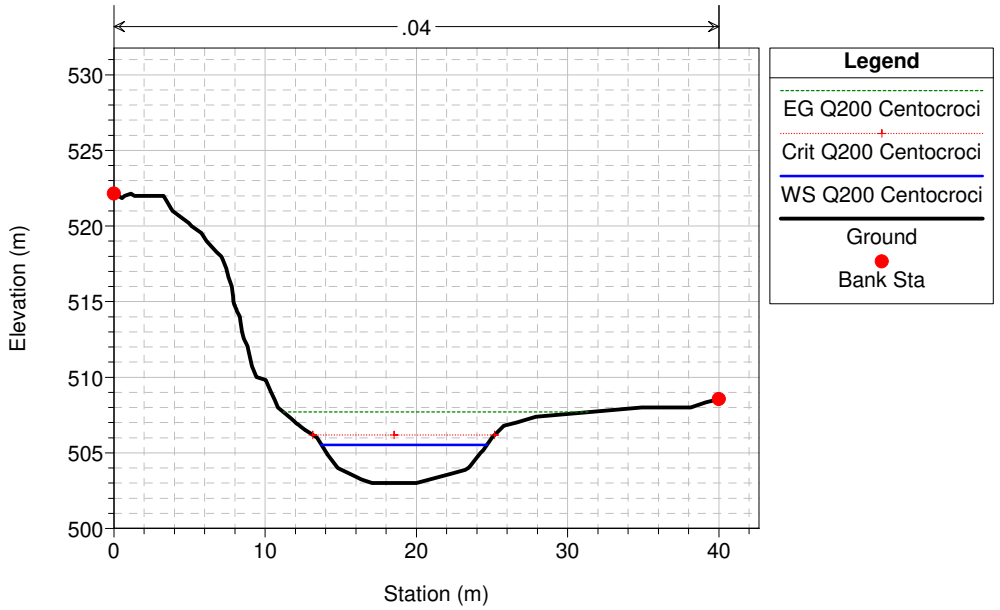
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

2 (arch. 16)



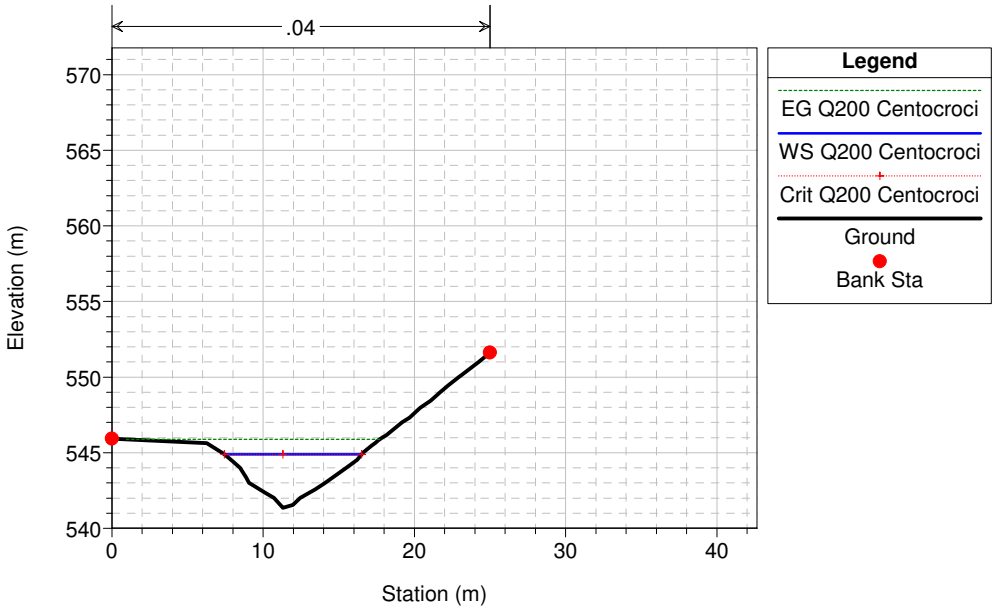
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

1 (arch.17)



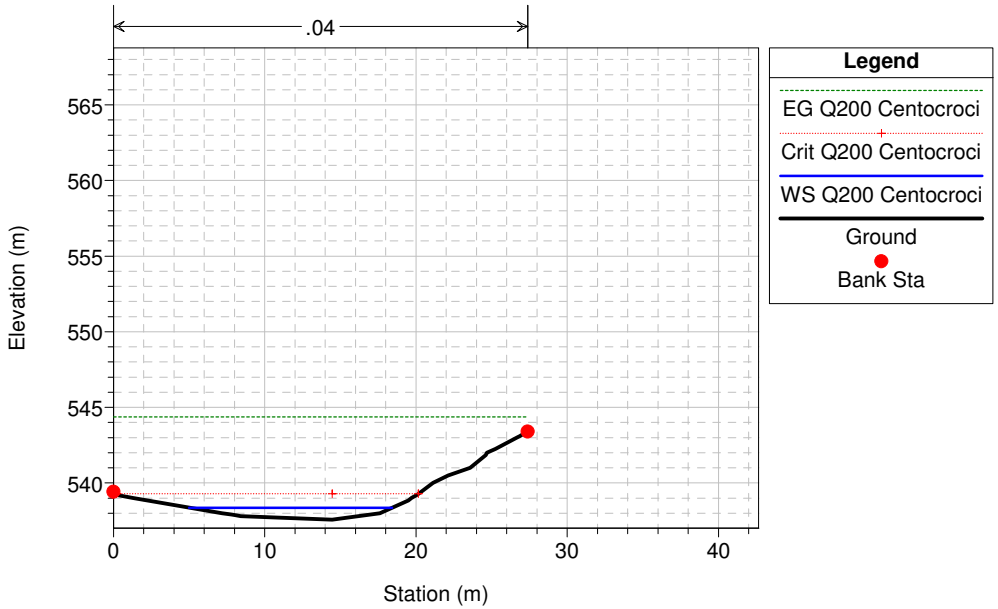
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



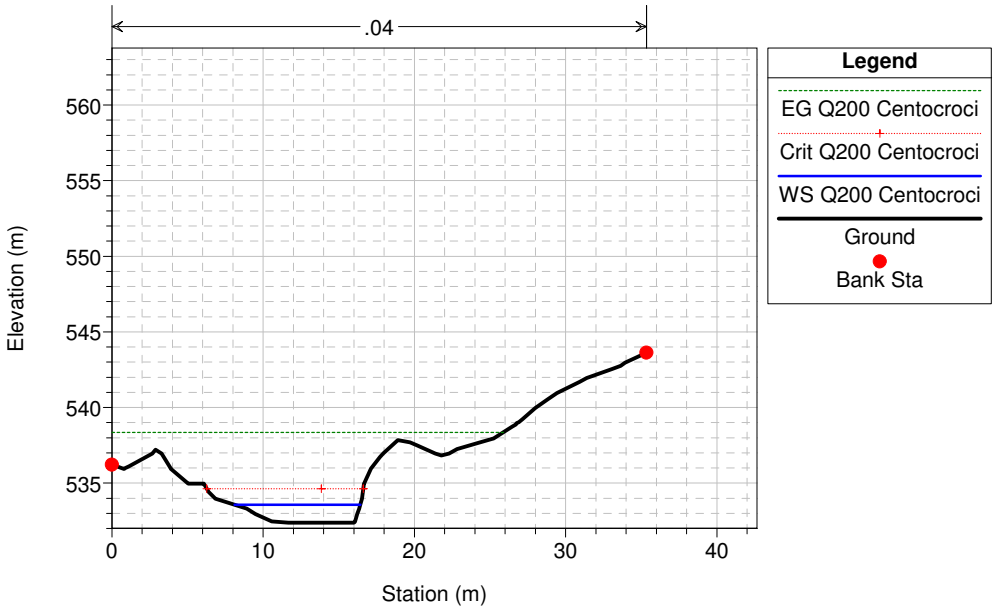
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

16 (arch. 2)

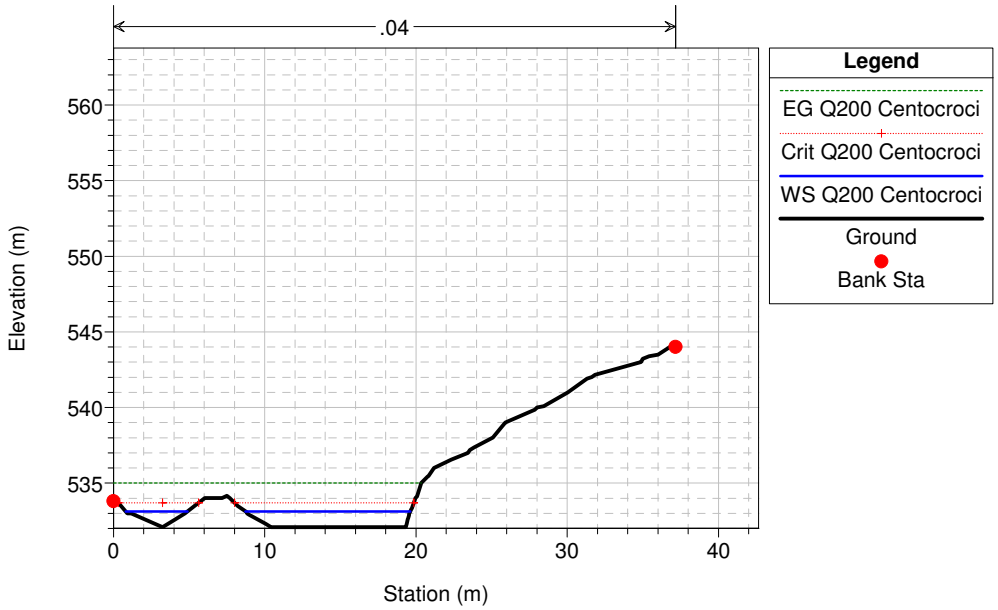


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

15 (arch. 3)



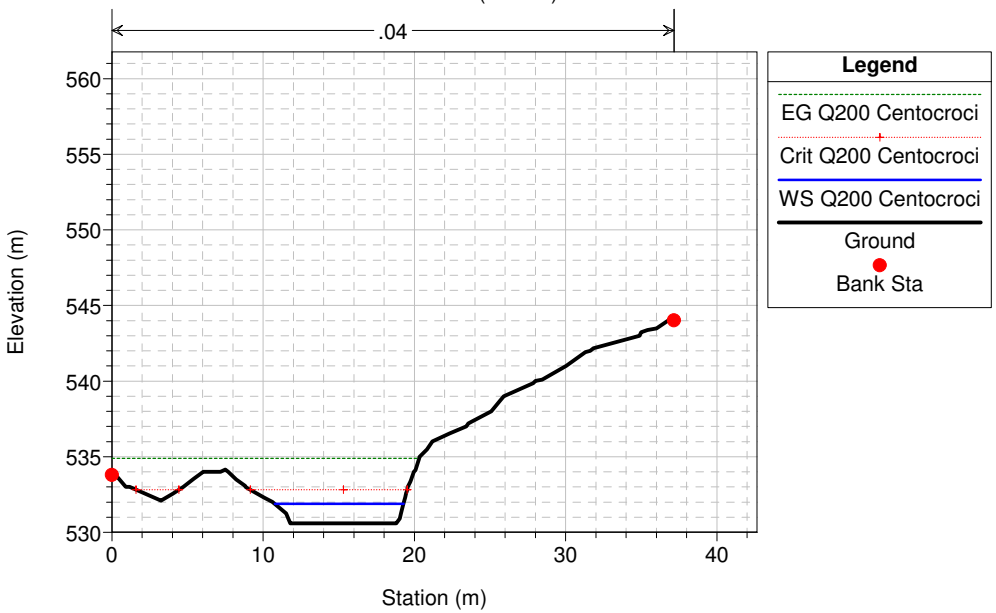
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



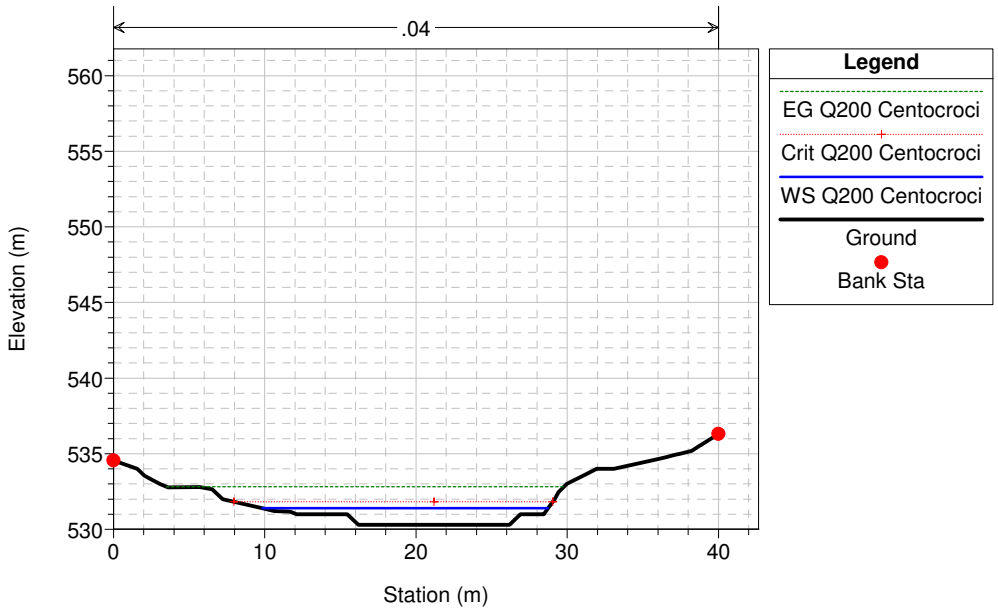
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 5 m

Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

14 (arch. 4)

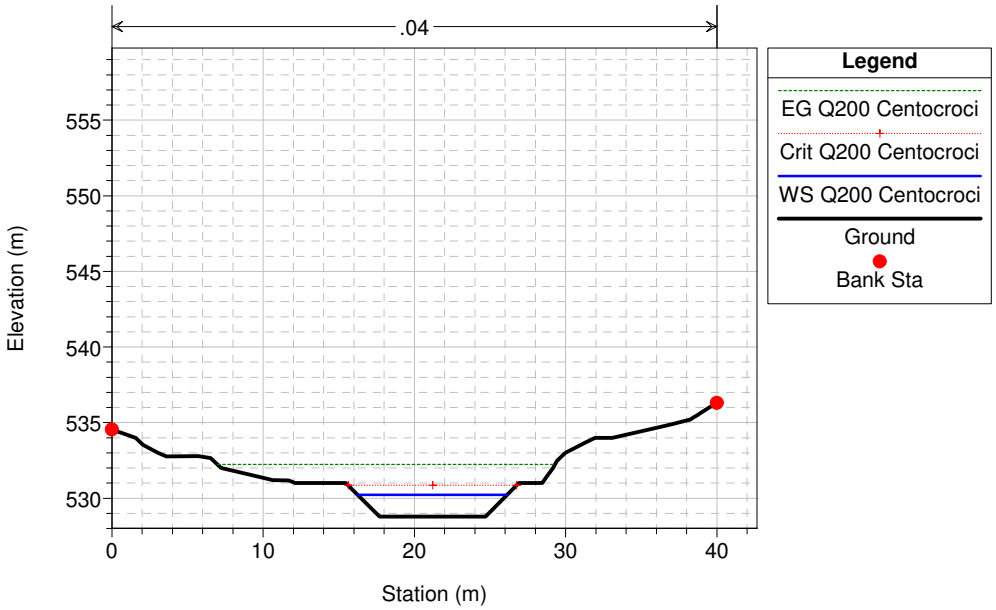


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

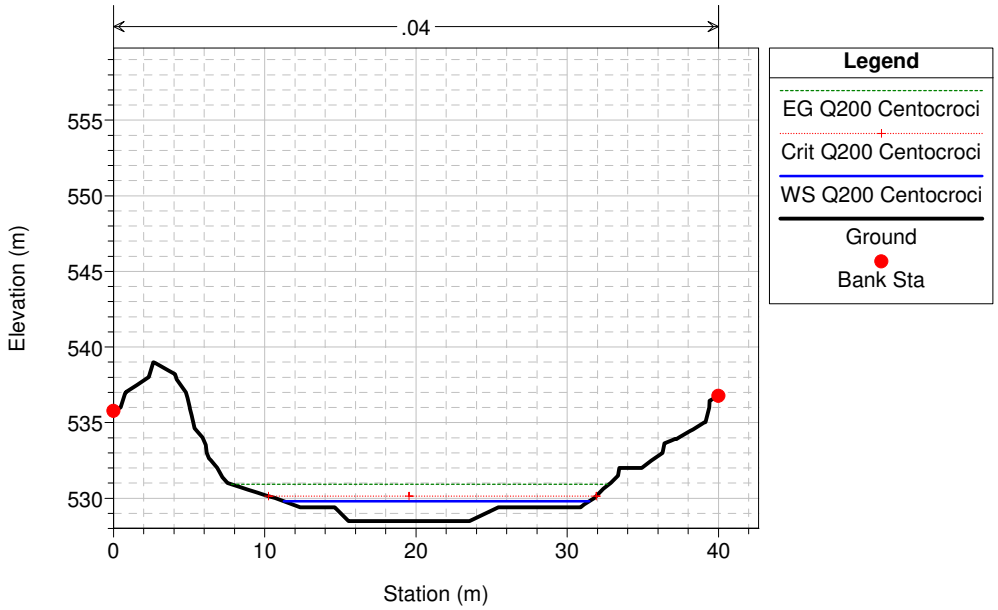


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

13(arch. 5)



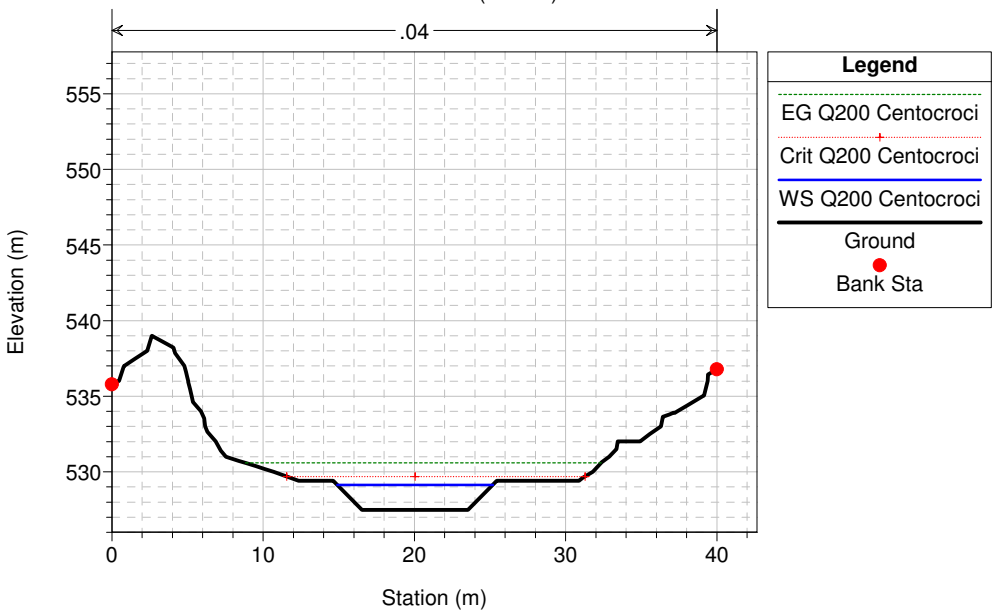
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



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

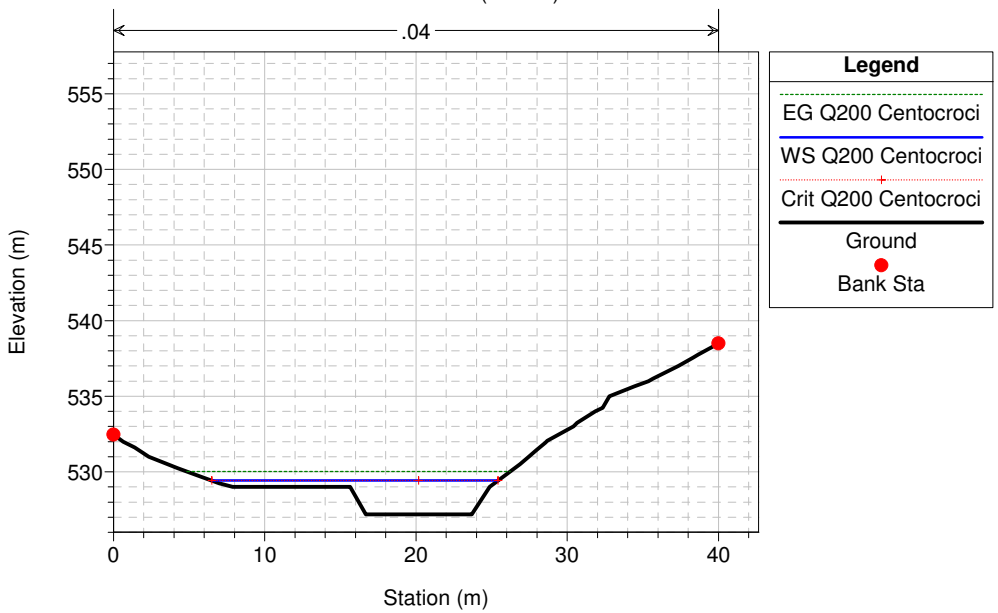
Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

12 (arch. 6)

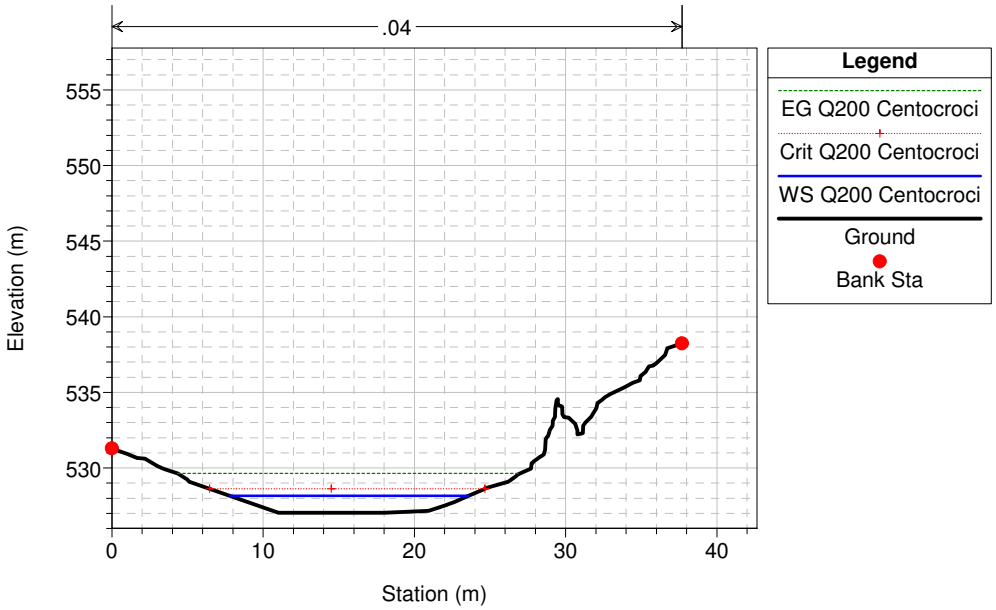


Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021

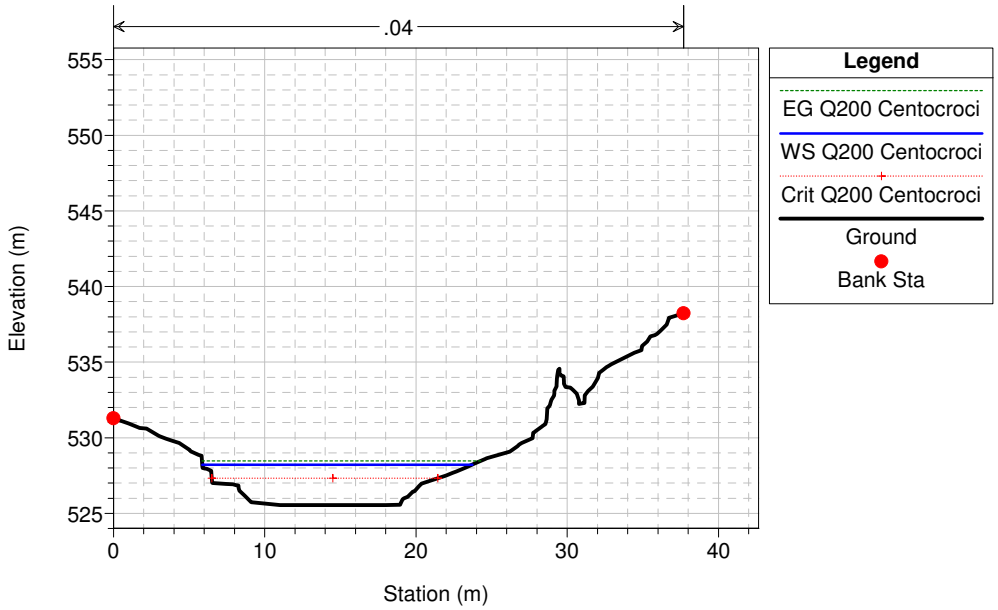
11 (arch. 7)



Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



Rio Crovana-nmarzo-2021 Plan: Crovana-PRG-01 3/10/2021



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

HEC-RAS Plan: Crovana-PRG-01 River: Crovana Reach: Crovana Profile: Q200 Centocroci

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Top Width	Vel Total	E.G. Elev	Froude # XS
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m)	
Crovana	1	Q200 Centocroci	137.00		503.00	522.13	508.56	505.53	1.92	2.53	10.96	6.53	507.70	1.51
Crovana	2	Q200 Centocroci	137.00	20.00	504.78	508.48	512.49	507.33	1.57	2.55	19.64	4.43	508.33	1.13
Crovana	2.1	Q200 Centocroci	137.00	20.10	505.51	508.48	512.49	507.34	1.24	1.83	19.65	5.64	508.96	1.62
Crovana	3	Q200 Centocroci	137.00	40.00	505.62	510.83	518.87	508.02	1.61	2.40	14.80	5.75	509.70	1.45
Crovana	3.1	Q200 Centocroci	137.00	40.10	507.31	510.83	518.87	509.18	1.50	1.87	19.58	4.67	510.28	1.22
Crovana	4	Q200 Centocroci	137.00	60.00	507.61	513.99	520.94	509.09	1.34	1.48	15.78	6.47	511.22	1.78
Crovana	4.1	Q200 Centocroci	137.00	60.10	509.11	513.99	520.94	511.07	1.73	1.96	16.74	4.74	512.21	1.15
Crovana	5	Q200 Centocroci	137.00	80.00	509.00	513.57	530.12	510.66	1.04	1.65	17.98	7.34	513.40	2.30
Crovana	5.1	Q200 Centocroci	137.00	80.10	511.41	513.90	530.12	513.55	1.83	2.14	14.81	5.05	514.85	1.19
Crovana	6	Q200 Centocroci	137.00	100.00	511.70	514.20	519.87	513.26	1.38	1.56	13.65	7.25	515.94	1.97
Crovana	6.1	Q200 Centocroci	137.00	100.10	514.20	516.70	519.87	516.57	2.01	2.37	15.24	4.48	517.59	1.01
Crovana	7	Q200 Centocroci	137.00	120.00	514.50	519.71	523.69	516.27	1.52	1.77	14.05	6.41	518.36	1.66
Crovana	7.1	Q200 Centocroci	137.00	120.10	516.50	519.71	523.69	519.08	1.34	2.58	27.70	3.68	519.77	1.01
Crovana	8	Q200 Centocroci	137.00	140.00	516.80	521.56	528.66	518.31	1.35	1.51	14.26	7.11	520.89	1.95
Crovana	8.1	Q200 Centocroci	137.00	140.10	518.30	521.56	528.66	520.13	1.61	1.83	14.90	5.72	521.80	1.44
Crovana	8.2	Q200 Centocroci	76.00	150.00	518.45	526.75	530.42	519.66	1.06	1.21	9.43	7.62	522.62	2.37
Crovana	8.3	Q200 Centocroci	76.00	150.10	520.45	526.75	530.42	521.88	1.19	1.43	10.58	6.03	523.74	1.77
Crovana	9	Q200 Centocroci	76.00	160.00	520.60	531.94	532.17	521.91	1.09	1.31	9.42	7.39	524.69	2.26
Crovana	9.1	Q200 Centocroci	76.00	160.10	522.10	531.94	532.17	523.12	0.91	1.02	12.72	6.54	525.30	2.19
Crovana	9.2	Q200 Centocroci	76.00	170.00	522.25	532.47	534.51	523.72	1.36	1.47	8.19	6.82	526.09	1.87
Crovana	9.3	Q200 Centocroci	76.00	170.10	523.75	532.47	534.51	525.18	1.19	1.43	11.28	5.67	526.82	1.66
Crovana	10	Q200 Centocroci	76.00	180.00	523.90	533.00	536.86	525.50	1.43	1.60	8.84	6.01	527.34	1.61
Crovana	10.1	Q200 Centocroci	76.00	180.10	525.40	533.00	536.86	527.47	1.69	2.07	10.94	4.10	528.33	1.01
Crovana	10.2	Q200 Centocroci	76.00	190.00	525.54	531.29	538.23	528.22	1.98	2.68	17.88	2.15	528.46	0.49
Crovana	10.3	Q200 Centocroci	76.00	190.10	527.04	531.29	538.23	528.15	0.89	1.11	15.76	5.41	529.64	1.83
Crovana	11	Q200 Centocroci	76.00	200.00	527.19	532.46	538.48	529.42	1.18	2.23	18.93	3.42	530.01	1.01
Crovana	12	Q200 Centocroci	76.00	220.00	527.49	535.77	536.77	529.14	1.39	1.65	10.30	5.33	530.59	1.45
Crovana	12.1	Q200 Centocroci	76.00	220.10	528.49	535.77	536.77	529.79	0.80	1.30	20.20	4.69	530.92	1.67
Crovana	13	Q200 Centocroci	76.00	240.00	528.79	534.55	536.31	530.23	1.23	1.44	9.89	6.26	532.22	1.80
Crovana	13.1	Q200 Centocroci	76.00	240.10	530.29	534.55	536.31	531.39	0.76	1.10	18.89	5.28	532.81	1.93
Crovana	14	Q200 Centocroci	76.00	260.00	530.59	533.79	544.00	531.88	1.16	1.29	8.50	7.69	534.89	2.28
Crovana	14.1	Q200 Centocroci	76.00	260.10	532.09	533.79	544.00	533.13	0.83	1.04	14.99	6.08	535.01	2.12
Crovana	15	Q200 Centocroci	76.00	280.00	532.39	536.21	543.62	533.56	0.94	1.17	8.31	9.71	538.36	3.19
Crovana	16	Q200 Centocroci	76.00	300.00	537.57	539.42	543.39	538.36	0.52	0.80	13.40	10.85	544.36	4.79
Crovana	17	Q200 Centocroci	76.00	320.00	541.36	545.93	551.63	544.90	1.91	3.54	9.09	4.38	545.87	1.01

APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 5.0.5

Il software di calcolo *Hec-Ras 5.0.5* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

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

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

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

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

$$h_f = j_f \cdot L$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

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

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

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

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

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