

# autostrade // per l'italia

## AUTOSTRADA (A13) : BOLOGNA-PADOVA

### TRATTO: BOLOGNA – FERRARA

### AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA TRATTO: BOLOGNA ARCOVEGGIO – FERRARA SUD

## PROGETTO DEFINITIVO

### AU – CORPO AUTOSTRADALE

### INTERFERENZE IDROGRAFICHE

### PARTE GENERALE

### RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

#### IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Paolo De Paoli  
Ord. Ingg. Pavia N.1739

RESPONSABILE IDROLOGIA  
E IDRAULICA

#### IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Federica Ferrari  
Ord. Ingg. Milano N. 21082

#### IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Orlando Mazza  
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

#### CODICE IDENTIFICATIVO

Ordinatore:

00

#### RIFERIMENTO PROGETTO

#### RIFERIMENTO DIRETTORIO

#### RIFERIMENTO ELABORATO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO						RIFERIMENTO ELABORATO				Ordinatore:	
Codice	Commessa	Lotto, Sub-Prod. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	tipologia	WBS progressivo	PARTE D'OPERA		Tip.	Disciplina	Progressivo		Rev.
1	1	1306	00001	P	D	000000	000000	000000	000000	0	IDR	0001	00	SCALA: -



#### PROJECT MANAGER:

Ing. Federica Ferrari  
Ord. Ingg. Milano N. 21082

#### SUPPORTO SPECIALISTICO:

#### REDATTO:

-

#### VERIFICATO:

-

#### REVISIONE

n.	data
0	NOVEMBRE 2016
1	-
2	-
3	-
4	-

#### VISTO DEL COMMITTENTE

**autostrade // per l'italia**

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Antonio Tosi

#### VISTO DEL CONCEDEnte



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE  
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>6</b>
<b>2. INQUADRAMENTO NORMATIVO .....</b>	<b>9</b>
2.1 Normativa comunitaria .....	9
2.2 Normativa nazionale .....	9
2.3 Autorità di Bacino .....	11
2.4 Criteri e raccomandazione dei Consorzi di Bonifica Renana e Bonifica Pianura di Ferrara .....	14
<b>3. CRITERI GENERALI .....</b>	<b>15</b>
3.1 Articolazione dello studio.....	15
<b>4. AMBITO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>18</b>
4.1 Tracciato autostradale.....	18
<b>5. IDROLOGIA.....</b>	<b>25</b>
<b>6. IDRAULICA .....</b>	<b>29</b>
6.1 Criteri di compatibilità .....	29
6.2 Costruzione del modello geometrico.....	29
6.3 Il codice di calcolo Hec-RAS 4.1.0 .....	29
<b>7. CORSI D'ACQUA DI COMPETENZA DALL'ADB RENO.....</b>	<b>37</b>
<b>7.1 Fiume Reno .....</b>	<b>38</b>
7.1.1 <u>Bacino idrografico del fiume Reno</u> .....	38
7.1.2 <u>Analisi idraulica dell'opera di attraversamento</u> .....	40
7.1.2.1 Caratteristiche dell'attraversamento .....	40
7.1.2.2 Definizione delle portate di riferimento .....	41
7.1.2.3 Verifiche idrauliche.....	42
<b>7.2 SISTEMA IDRAULICO NAVILE – SAVENA ABBANDONATO .....</b>	<b>58</b>
7.2.1 <u>Bacino idrografico</u> .....	58
7.2.1 <u>Dimensionamento delle opere in progetto – Canale Navile</u> .....	60
7.2.1.1 Caratteristiche idrografiche .....	60
7.2.2 <u>Analisi idraulica dell'opera di attraversamento – Canale Navile</u> .....	61
7.2.2.1 Caratteristiche dell'attraversamento .....	61
7.2.2.2 Definizione delle portate di riferimento .....	62
7.2.2.3 Verifiche idrauliche.....	62
7.2.3 <u>Dimensionamento delle opere in progetto – Canale Diversivo</u> .....	67
7.2.3.1 Caratteristiche idrografiche .....	67
7.2.4 <u>Analisi idraulica dell'opera di attraversamento – Canale Diversivo</u> .....	68

7.2.4.1	Caratteristiche dell'attraversamento .....	68
7.2.4.2	Definizione delle portate di riferimento .....	70
7.2.4.3	Verifiche idrauliche.....	71
<b>8.</b>	<b>INTERFERENZE SECONDARIE – CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA ...</b>	<b>86</b>
<b>8.1</b>	<b>Scolo Uccellino .....</b>	<b>86</b>
8.1.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	86
8.1.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	87
8.1.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	87
8.1.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	87
8.1.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	88
8.1.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	89
<b>8.2</b>	<b>Scolo Madonna dei Boschi.....</b>	<b>94</b>
<b>8.3</b>	<b>Scolo San Martino.....</b>	<b>96</b>
8.3.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	96
8.3.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	97
8.3.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	97
8.3.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	97
8.3.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	98
8.3.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	99
<b>8.4</b>	<b>Deviazione fossa Margosa .....</b>	<b>105</b>
8.4.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	105
8.4.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	105
8.4.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	106
8.4.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	106
8.4.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	106
8.4.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	107
<b>8.5</b>	<b>Fossa Margosa.....</b>	<b>112</b>
8.5.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	112
8.5.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	112
8.5.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	113
8.5.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	113
8.5.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	113
8.5.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	114
<b>8.6</b>	<b>Canale Torniano .....</b>	<b>119</b>
8.6.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	119
8.6.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	120
8.6.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	120

8.6.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	120
8.6.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	121
8.6.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	122
<b>8.1</b>	<b>Scolo Aldrovandi / Scolo Principale .....</b>	<b>127</b>
8.1.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	127
8.1.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	128
8.1.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	128
8.1.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	128
8.1.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	129
8.1.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	130
<b>9.</b>	<b>INTERFERENZE SECONDARIE – CONSORZIO DI BONIFICA RENANA .....</b>	<b>138</b>
<b>9.1</b>	<b>Scolo San Prospero .....</b>	<b>138</b>
9.1.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	138
9.1.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	139
9.1.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	139
9.1.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	139
9.1.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	140
9.1.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	141
<b>9.2</b>	<b>Scolo Riolo / Scolo Botte.....</b>	<b>146</b>
9.2.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	146
9.2.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	147
9.2.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	147
9.2.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	147
9.2.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	148
9.2.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	149
<b>9.3</b>	<b>Scolo Tombe / Scolo Lorgana .....</b>	<b>155</b>
9.3.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	155
9.3.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	156
9.3.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	156
9.3.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	156
9.3.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	157
9.3.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	158
<b>9.4</b>	<b>Scolo Calcarata .....</b>	<b>167</b>
9.4.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	167
9.4.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	168
9.4.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	168
9.4.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	168

9.4.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	169
9.4.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	170
<b>9.5</b>	<b>Fossa Quadra – Pk. 16+708 .....</b>	<b>179</b>
9.5.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	179
9.5.2	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	180
9.5.3	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	181
9.5.3.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	181
9.5.3.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	181
9.5.3.3	Risultati della modellazione idraulica.....	182
<b>9.6</b>	<b>Fossa Quadra – Pk. 14+411 .....</b>	<b>188</b>
9.6.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	188
9.6.1	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	189
9.6.1	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	190
9.6.1.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	190
9.6.1.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	190
9.6.1.3	Risultati della modellazione idraulica.....	191
<b>10.</b>	<b>INTERFERENZE SECONDARIE – CONSORZIO CANALE EMILIANO ROMAGNOLO .....</b>	<b>197</b>
<b>10.1</b>	<b>Il Canale Emiliano Romagnolo .....</b>	<b>197</b>
10.1.1	<u>Caratteristiche idrografiche</u> .....	197
10.1.2	<u>Definizione delle portate di riferimento</u> .....	198
10.1.3	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	198
10.1.3.1	Caratteristiche geometriche del tratto indagato .....	198
10.1.3.2	Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica.....	199
10.1.3.3	Risultati della modellazione idraulica.....	199
<b>11.</b>	<b>INTERFERENZE IDROGRAFICHE MINORI.....</b>	<b>205</b>
<b>11.1</b>	<b>Canali analizzati con l'ipotesi di moto uniforme .....</b>	<b>205</b>
11.1.1	<u>Definizione della portata di progetto</u> .....	210
11.1.2	<u>Verifiche idrauliche</u> .....	215
<b>11.2</b>	<b>Descrizione dei presidi di mitigazione idraulica .....</b>	<b>221</b>
11.2.1	<u>Tombini scatoari</u> .....	221
11.2.2	<u>Tombini circolari</u> .....	222
<b>12.</b>	<b>FENOMENI DI EROSIONE E SCALZAMENTO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE VIARIE.....</b>	<b>223</b>
<b>12.1</b>	<b>Generalità .....</b>	<b>223</b>
<b>12.2</b>	<b>Progressiva variazione diffusa.....</b>	<b>224</b>
<b>12.3</b>	<b>Erosione generalizzata dovuta a contrazione .....</b>	<b>224</b>
<b>12.4</b>	<b>Valutazione dell'erosione generalizzata dovuta a contrazione.....</b>	<b>224</b>

	<i>Formule empiriche</i> .....	224
	<i>Risultati</i> .....	225
<b>12.5</b>	<b>Erosione transitoria localizzata</b> .....	<b>226</b>
<b>12.6</b>	<b>Valutazione dell'erosione transitoria localizzata</b> .....	<b>228</b>
	<i>Formule empiriche</i> .....	228
	<i>Risultati</i> .....	229
<b>13.</b>	<b>SISTEMI DI PROTEZIONE CONTRO L'EROSIONE LOCALIZZATA</b> .....	<b>232</b>
<b>13.1</b>	<b>Generalità</b> .....	<b>232</b>
<b>13.2</b>	<b>Dimensionamento della protezione delle pile</b> .....	<b>233</b>
<b>13.3</b>	<b>OPERE DI PROTEZIONE</b> .....	<b>235</b>

## 1. PREMESSA

Il presente documento costituisce lo “Studio idrologico e idraulico di dettaglio” finalizzato all'analisi delle interferenze idrografiche presenti lungo la direttrice autostradale A13, nel tratto Bologna Arcoveggio – Ferrara sud, interessata dagli interventi di ampliamento alla 3<sup>a</sup> corsia.

La relazione illustra lo studio a supporto della progettazione, con lo scopo di dimensionare e verificare i manufatti autostradali di attraversamento dei corsi d'acqua lungo l'autostrada A13 nel tratto in oggetto; vengono analizzate le interazioni tra le opere viarie ed i corsi d'acqua interessati e si valuta, in termini di sezione idraulica e di franco di sicurezza rispetto all'intradosso del manufatto, l'adeguatezza dei manufatti di attraversamento, nelle configurazioni di stato di fatto e di progetto.

L'ampliamento della sede autostradale comporta, nella maggior parte dei casi, il prolungamento degli attraversamenti idraulici esistenti, costituiti da viadotti, ponti, ponticelli scatolari, tombini scatolari e circolari. La realizzazione di questi comporta una serie di verifiche idrologiche ed idrauliche, volte ad indagare gli effetti indotti dalle nuove opere sul regime degli alvei interferiti, sia sotto l'aspetto idrodinamico che sotto l'aspetto morfologico, analizzando i fenomeni erosivi generali e localizzati, e progettando, di conseguenza, gli interventi per un'adeguata sistemazione dell'alveo interferito.

Il grado di approfondimento dello studio è stato commisurato all'importanza del corso d'acqua analizzato, valutata in relazione alle caratteristiche dell'alveo ed alle portate transitanti.

Il sistema di acque superficiali, interessato dal tracciato autostradale, è composto, in parte, da corsi d'acqua naturali, ma soprattutto da una fitta rete di corsi d'acqua artificiali, di storica memoria, rappresentativi di un importante componente dell'ambiente circostante. Questo antico intreccio di canali rappresenta un elemento determinante per la caratterizzazione del paesaggio agrario ed assolve una funzione strategica per l'economia del territorio, sia in termini di distribuzione delle acque irrigue che di scolo di quelle piovane.

Per il corso d'acqua di maggior rilevanza presente nel tratto in esame (il Fiume Reno) è stata analizzata l'interazione tra il flusso idrico e le opere di sostegno dei manufatti di scavalco (pile del viadotto), prestando particolare attenzione ai fenomeni di tipo erosivo al fine di poter individuare gli interventi correttivi più opportuni.

L'ambito territoriale scelto per l'analisi del sistema idrografico è, quindi, quello definito dai bacini imbriferi le cui aste vengono interessate dall'opera in studio; essi appartengono al bacino imbrifero del Fiume Reno dalla pk iniziale fino alla pk 26+550 e si estende dal crinale

appenninico fino al Reno e al bacino imbrifero del Fiume Po dalla pk 26+550 a quella finale. Il Fiume Reno funge anche da confine amministrativo tra le Province di Bologna e Ferrara, nonché tra il Consorzio di Bonifica Renana, il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrarafacenti parte del Consorzio di 2° grado Canale Emiliano Romagnolo e trattati separatamente per distinguerne le competenze.

Sono interferiti dal tracciato proposto n. 17attraversamenti tra principali e secondari e ben n. 138attraversamenti minori col solo asse principale.

I corsi d'acqua ad immissione naturale con una lunghezza superiore a 500 m sono stati classificati dall'Autorità di Bacino del Reno in funzione della portata nella loro sezione di chiusura per eventi di pioggia con tempi di ritorno prefissato.

I corsi d'acqua sono stati così definiti:

- principali, se hanno portate pari o superiori a 100 m<sup>3</sup> /sec;
- secondari, per portate comprese tra i 30 e 100 m<sup>3</sup> /sec;
- minori, per portate comprese tra 5 e 30 m<sup>3</sup> /sec.

Lo studio idrologico ed idraulico è stato condotto differenziandolo per singolo Ente Gestore e per singolo sistema idrografico. Il sistema è quindi organizzato in tre classi prevalenti:

- □ Corsi d'acqua naturali gestiti dalla Regione Emilia Romagna tramite gli Enti preposti: Autorità di Bacino del Reno (ADB Reno), Servizio Tecnico del Bacino del Reno (STB Reno), Autorità di Bacino del Fiume Po', AIPO.
- □ Corsi d'acqua artificiali rappresentati dai canali di bonifica gestiti dal Consorzio di Bonifica Renana, per il tratto autostradale compreso tra la Pk 0+000 e la Pk 26+550, dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, per il tratto compreso tra la Pk 26+550 e la Pk 33+600.
- □ Corsi d'acqua artificiali rappresentati dagli scoli privati.

Le competenze amministrative sono indicate nelle tabelle seguenti.

Tabella 1-1\_Corsi d'acqua di competenza dell'ADB Reno

CORSO D'ACQUA	ENTE DI GESTIONE	PROVINCE INTERESSATE	CLASSIFICAZIONE
Canale Diversivo-Navile	ADB Reno – STB Reno	Bologna	Secondario
Canale Navile	ADB Reno – STB Reno	Bologna	Secondario
Fiume Reno	ADB Reno – STB Reno	Bologna/Ferrara	Principale

Tabella 1-2\_Ambito territoriale Consorzi di Bonifica

COMPENSORI DI BONIFICA	PROVINCE INTERESSATE	SUPERFICIE dei bacini scolanti consorziali. (Km <sup>2</sup> )
Renana	Bologna - Ferrara	3419
Pianura di Ferrara	Ferrara	2544



Nei primi capitoli di carattere più generale si esamina la normativa di riferimento e gli strumenti di pianificazione vigenti, si individua l'area oggetto di analisi elencando le interferenze analizzate e si riporta un breve riassunto dei criteri adottati per la determinazione delle portate di riferimento.

Nei capitoli successivi vengono invece sviluppati nel dettaglio i calcoli idraulici, approfondendo con l'analisi dei fenomeni idrodinamici e morfologici indotti dall'interazione dell'alveo con le opere viarie e concludendo con la descrizione degli interventi di sistemazione idraulica necessari nella fase di cantiere.

## 2. INQUADRAMENTO NORMATIVO

Si riportano nel seguito, accompagnati da un breve stralcio descrittivo, i principali riferimenti normativi e gli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, al fine di fornire un quadro esaustivo della normativa vigente nel campo idrologico-idraulico, ambientale e di difesa del suolo.

### 2.1 Normativa comunitaria

#### Direttiva 2000/60/CE

Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque (Direttiva acque).

#### Direttiva 2006/118/CE

Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 12 dicembre 2006, sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento.

#### Direttiva 2007/60/CE

Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2007, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.

### 2.2 Normativa nazionale

#### RD 25/07/1904 n° 523

Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.

#### Regio Decreto Legislativo 30/12/1923, n° 3267

Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani.  
La legge introduce il vincolo idrogeologico.

#### DPR 15/01/1972 n° 8

Trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici.

#### L. 64/74

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

#### L. 319/76 (Legge Merli)

Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento.

La legge sancisce l'obbligo per le Regioni di elaborare il Piano di risanamento delle acque.

DPR 24/7/1977 n° 616

Trasferimento delle funzioni statali alle Regioni

L. 431/85 (Legge Galasso)

Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale.

L. 183/89

Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.

Scopo della legge è la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi (art. 1 comma 1).

Vengono inoltre individuate le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione (art. 3); vengono istituiti il Comitato Nazionale per la difesa del suolo (art. 6) e l'Autorità di Bacino (art. 12).

Vengono individuati i bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale (artt. 13, 14, 15, 16) e date le prime indicazioni per la redazione dei Piani di Bacino (artt. 17, 18, 19).

L. 142/90

Ordinamento delle autonomie locali.

DL 04-12-1993 n° 496

Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione della Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente. (Convertito con modificazioni dalla L. 61/94).

L. 36/94 (Legge Galli)

Disposizioni in materia di risorse idriche.

DPR 14/4/94

Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, N. 183.

DPR 18/7/95

Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei Piani di Bacino.

DPCM 4/3/96

Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della Legge Galli).

Decreto Legislativo 31/3/1998, n° 112

Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59

DPCM 29/9/98

Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, N. 180.

Il decreto indica i criteri di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (punto 2) e gli indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia (punto 3).

L. 267/98 (Legge Sarno)

Conversione in legge del DL 180/98 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania. La legge impone alle Autorità di Bacino nazionali e interregionali la redazione dei Piani Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico e le misure di prevenzione per le aree a rischio (art. 1).

DL 152/99

Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

DL 258/00

Disposizioni correttive e integrative del DL 152/99.

L. 365/00 (Legge Soverato)

Conversione in legge del DL 279/00 recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della Regione Calabria danneggiate dalle calamità di settembre e ottobre 2000.

La legge individua gli interventi per le aree a rischio idrogeologico e in materia di protezione civile (art. 1); individua la procedura per l'adozione dei progetti di Piano Stralcio (art. 1-bis); prevede un'attività straordinaria di polizia idraulica e di controllo sul territorio (art. 2).

DLgs 152/2006

Ha riorganizzato le Autorità di bacino introducendo i distretti idrografici. Tale Decreto legislativo disciplina, in attuazione della legge 15 dicembre 2004, n. 308, la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche. Istituisce i distretti idrografici nei quali sarà istituita l'Autorità di bacino distrettuale, che va a sostituire la o le Autorità di bacino previste dalla legge n. 183/1989. In forza del recente d.lgs 8 novembre 2006, n. 284, nelle more della costituzione dei distretti idrografici di cui al Titolo II della Parte terza del d.lgs. 152/2006 e della revisione della relativa disciplina legislativa con un decreto legislativo correttivo, le autorità di bacino di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183, sono prorogate fino alla data di entrata in vigore del decreto correttivo che, ai sensi dell'articolo 1, comma 6, della legge n. 308 del 2004, definisca la relativa disciplina. Fino alla data di entrata in vigore del decreto legislativo correttivo di cui al comma 2-bis dell'articolo 170 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, come inserito dal comma 3, sono fatti salvi gli atti posti in essere dalle Autorità di Bacino dal 30 aprile 2006.

## 2.3 Autorità di Bacino

Piano stralcio Assetto Idrogeologico (fiume Reno, torrente Idice-Savena vivo, torrente Sillaro, torrente Santerno)

Piano stralcio per il sistema idraulico Navile-Savena Abbandonato

Norme Tecniche di Attuazione del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del fiume Reno;

Direttiva per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura nel Bacino del fiume Reno.

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) nel Bacino del fiume Po

Norme di attuazione

*Direttiva 1 - riduzione rischio idraulico impianti trattamento acque reflue e rifiuti*

*Direttiva 2 - sulla piena di progetto*

*Direttiva 3 - in materia di attività estrattive nelle aree fluviali*

*Direttiva 4 - criteri per la compatibilità idraulica delle infrastrutture nelle fasce fluviali*

*Direttiva 5 - progettazione interventi e formulazione programmi di manutenzione*

*Direttiva - attuazione del PAI nel settore urbanistico*

*Regolamento - presa d'atto collaudo di opera*

*Direttiva - interventi di rinaturalizzazione*

*Direttiva - gestione dei sedimenti*

*Regolamento - procedimento amministrativo per espressione parere gestione pertinenze  
idriche demaniali*

#### *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) nel Bacino del fiume Po*

Nel territorio della Provincia di Ferrara il tracciato è all'interno del Bacino imbrifero del Fiume Po, però esso non interessa direttamente corsi d'acqua naturali del reticolo idrico principale, ma solo scoli e fosse di competenza del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.

Lo studio eseguito, nonché i risultati delle modellazioni numeriche effettuate, hanno consentito di definire le caratteristiche geometriche che le infrastrutture di attraversamento devono rispettare ai fini della compatibilità con i processi idrodinamici. Sulla base delle risultanze ottenute sono state, inoltre, progettate le opere di sistemazione idraulica necessarie alla minimizzazione delle mutue interferenze tra struttura e corso d'acqua.

Il "Piano di stralcio per l'assetto idrogeologico" approvato con dalla Giunta della Regione Emilia Romagna con deliberazione n.567 del 07 Aprile 2003 e dalla Giunta della Regione Toscana con deliberazione n.114 del 21/09/2004, ha come obiettivo prioritario la riduzione del rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti.

Il PAI consolida e unifica la pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico: esso coordina le determinazioni assunte con i precedenti stralci di piano e piani straordinari, apportando in taluni casi le precisazioni e gli adeguamenti necessari a garantire il carattere interrelato e integrato proprio del piano di bacino.

L'interferenza tra il tracciato Autostradale A13 ed il reticolo idrico superficiale ricade all'interno del territorio del Bacino del F. Reno. In particolare, tra tutti i corsi d'acqua attraversati all'interno del territorio di competenza, il Sistema idraulico "Navile-Savena Abbandonato" è stato oggetto, all'interno dello stesso PAI, di studi approfonditi volti alla comprensione delle relative problematiche. Tale analisi territoriale è riportata nelle tavole di Piano in scala 1:25.000, ed in

particolare, per il tratto interessato dagli attraversamenti in progetto la zonizzazione in fasce si ritrova nella tavola n 1113060001\_IDR0002-1.

In sintesi le norme del PAI definiscono le aree inondabili come l'insieme dell'alveo e dell'area limitrofa, costituente nel complesso la porzione di territorio inondata dalle piene del corso d'acqua per Tempi di Ritorno Prefissati. Le stesse aree inondabili si distinguono in:

1. a bassa probabilità d'inondazione, per tempi di ritorno critici superiori a 200 anni;
2. a moderata probabilità d'inondazione, per tempi di ritorno critici superiori a 100 anni e inferiori od uguali a 200 anni;
3. a media probabilità d'inondazione, per tempi di ritorno critici o superiori a 50 anni e inferiori od uguali a 100 anni;
4. ad elevata probabilità d'inondazione, per tempi di ritorno critici superiori a 30 anni e inferiori od uguali a 50 anni;
5. a probabilità d'inondazione molto elevata, per tempi di ritorno critici inferiori od uguali a 30 anni;

All'interno di queste aree sono ben definiti i vicoli di protezione e di uso del suolo. In particolare all'interno delle aree ad elevata o molto elevata probabilità di inondazione non è consentita la realizzazione di nuovi fabbricati e manufatti la cui realizzazione incrementi sensibilmente il danno atteso. Mentre in quelle a moderata probabilità possono essere previsti interventi di nuova costruzione subordinatamente all'approvazione, da parte dell'Autorità Idraulica competente, del progetto definitivo delle opere per mettere in sicurezza tali aree per eventi con tempo di ritorno pari o superiore a 50 anni e all'assunzione, da parte dei soggetti attuatori degli interventi, di ogni onere finanziario per la realizzazione di tali opere.

La delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:

1. le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
2. le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.

Nel caso di attraversamenti dei corsi d'acqua si fa riferimento a specifica direttiva che fissa i criteri generali di valutazione della compatibilità idraulica e idrobiologia delle infrastrutture di attraversamento dei corsi d'acqua. In particolare pone l'attenzione sia sulla fase di esercizio che su quella di cantierizzazione. Fissa i seguenti criteri generali che devono essere rispettati:

1. l'opera non deve costituire ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque rispetto sia allo stato di fatto nel momento di realizzazione dell'opera, sia alle previsioni di assetto futuro della rete idrografica;
2. sia garantita integralmente la funzionalità delle opere di protezione dell'alveo e quelle di difesa idraulica esistenti nel tratto interessato all'attraversamento;
3. le opere provvisorie necessarie all'esecuzione dell'opera siano compatibili con il deflusso delle acque.

#### **2.4 Criteri e raccomandazione dei Consorzi di Bonifica Renana e Bonifica Pianura di Ferrara**

I Consorzi di Bonifica, coinvolti negli attraversamenti ed in considerazione che le opere previste sono rappresentate dal prolungamento di tombini e ponticelli già esistenti, propongono una serie di criteri progettuali e quindi di raccomandazioni volti principalmente a garantire un agevole processo manutentivo delle sponde ed un miglioramento delle condizioni idrodinamiche di deflusso delle acque.

Inoltre, e sempre ponendosi in un'ottica gestionale ottimale, consigliano di proteggere le sponde del canale a monte ed a valle degli attraversamenti attraverso delle protezioni composte da massi di media pezzatura e soprattutto di non alterare la superficie dei singoli bacini tributari e/o di cambiare il loro percorso.

### **3. CRITERI GENERALI**

#### **3.1 Articolazione dello studio**

Lo studio idrologico-idraulico, nel suo complesso, si è articolato nelle seguenti fasi.

##### *Fase 1<sup>a</sup>: Definizione di un quadro conoscitivo di riferimento morfologico e idraulico*

Scopo di questa fase è di predisporre uno strumento conoscitivo in grado di valutare le sollecitazioni idrauliche dei diversi corsi d'acqua nel tratto di interesse, intese quali idrogrammi di piena (livelli e portate), ricavate attraverso analisi idrologiche e processi di modellazione matematica, e le condizioni idrauliche al contorno, sia a monte che a valle, per quanto non espresso dagli eventuali dati idrometrici disponibili.

La definizione della geometria dei corsi d'acqua nel tratto oggetto di studio è stata resa possibile grazie a rilievi topografici condotti dallo scrivente, i quali sono stati integrati con quelli messi a disposizione dall'Autorità di Bacino del Reno.

##### *Fase 2<sup>a</sup>: Analisi idraulica dei corsi d'acqua di competenza dell'ADB Reno*

Per i corsi d'acqua di competenza dell'ADB Reno interessati dal tracciato in progetto sono state condotte analisi idrologiche ed idrauliche, in grado di approfondire, attraverso un processo di modellazione matematica comparativa tra stato di progetto e stato attuale, le perturbazioni dell'attraversamento viario sulle dinamiche idrauliche.

I parametri idraulici e le procedure di calcolo di contesto, sono quelle ricavate da studi e ricerche condotte negli ultimi anni all'interno di progettualità e valutazioni idrodinamiche funzionali alla pianificazione territoriale e quindi hanno una valenza già affermata e validata, mentre i criteri di impostazione, e soprattutto i vincoli applicati, sono quelli contenuti nel quadro normativo di riferimento precedentemente elencato. Da quest'ultimo, ed in particolare dal PAI dell'AdBReno, si desumono anche elementi funzionali alla caratterizzazione dei singoli sistemi fluviali. Tali parametri di riferimento sono affiancati da valutazioni legate all'opportunità di definire soluzioni progettuali di modesto impatto ambientale

In generale si è proceduto nella definizione di soluzioni progettuali che rispettino i contenuti di tracciato del progetto ed altresì tengano conto del rispetto della naturalità dei luoghi.

Questa porzione dello studio ha compreso l'implementazione di modelli matematici di propagazione degli eventi di piena, mediante i quali sono stati calcolati i principali parametri



idraulici di interesse (quali tiranti idrici e velocità medie della corrente), raggiunti nelle varie sezioni trasversali da una serie di piene campione, sia nelle condizioni attuali che nello stato di progetto. Le portate utilizzate sono quelle del Piano dell'Autorità per i corsi d'acqua contenuti nel piano. Per tutti gli altri corsi d'acqua invece, non sono state fatte analisi idrologiche perché non è possibile tracciare i bacini in maniera univoca in quanto interconnessi con la rete di irrigazione e bonifica. Inoltre vi sono molti elementi di regolazione e zone di esondazione naturale che non potevano essere correttamente valutate se non in un modello a scala di bacino. Pertanto, in questi casi è stata utilizzata la massima portata che può transitare nei tratti dei corsi d'acqua esaminati. In questa fase, lo studio è stato condotto sia per indagare i fenomeni erosivi attorno alle pile dei viadotti e nelle aree in corrispondenza dell'imbocco e dello sbocco degli attraversamenti idraulici, soggetti ad ampliamento, sia per valutare l'adeguatezza dimensionale degli attuali attraversamenti, nei confronti di una portata di progetto, specifica di ogni corso d'acqua.

#### *Fase 3<sup>a</sup>: Analisi idraulica dei corsi d'acqua di competenza dei Consorzi di Bonifica e dei privati*

Il sistema dei corsi d'acqua artificiali comprende la rete idrografica canalizzata composta dai corsi d'acqua di scolo e di irrigazione afferenti ai diversi Consorzi di Bonifica e/o consorzi o proprietà private che insistono sull'area attraversata.

Il sistema è stato analizzato differenziando due ambiti territoriali, delimitati dal confine di competenza amministrativa tra il Consorzio di Bonifica Renana e il Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara:

- L'ambito del Consorzio di Bonifica Renana si sviluppa dall'inizio del tracciato soggetto all'ampliamento alla 4<sup>a</sup> corsia, Pk 1+070, fino al Fiume Reno, Pk 26+550;
- L'ambito del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara si sviluppa dalla Pk 26+550 fino alla Pk 33+600.

La particolare caratteristica dei corsi d'acqua di bonifica risiede nella loro funzionalità e negli usi a cui sono preposti; l'ambivalenza delle funzioni di scolo ed irrigazione rende non poco difficile l'analisi idrologica in quanto, a rigore, essi vanno studiati sotto il profilo della funzione di drenaggio delle acque meteoriche, tuttavia utilizzati, soprattutto nelle stagioni primaverili ed estive, anche per irrigazione, mantenendo alti i livelli in alveo e riducendo la capacità di assorbimento di eventi pluviometrici importanti. Considerando quindi le difficoltà oggettive relative a definire univocamente i bacini all'interno di un comprensorio di bonifica e alla presenza di numerose opere di regolazione, i livelli idrometrici da assumere a riferimento per la progettazione dell'ampliamento dei manufatti di attraversamento, sono stati determinati attraverso il calcolo della portata massima sostenibile

( $Q_{ms}$ ). Questa è stata assunta, pari alla massima portata sostenibile dall'attuale sezione idraulica dei canali, essa in genere è relativa a tempi di ritorno  $TR=20-30$  anni, caratteristici dei comprensori e delle reti di bonifica.

Quest' analisi è stata condotta in due modalità differenti:

- Per ogni canale gestito dai Consorzi di Bonifica e per i fossi privati, ritenuti particolarmente significativi per le loro dimensioni e poiché attraversano la sede autostradale mediante tombino scatolare, è stata ricavata la  $Q_{ms}$  implementando un modello matematico monodimensionale in moto permanente, indagando e confrontando la condizione attuale, stato di fatto e quella futura, stato di progetto.
- Per i rimanenti fossi privati caratterizzati da sezioni trasversali minori rispetto ai precedenti e poiché attraversano la sede autostradale mediante tombini circolari di diametro  $\leq \phi 1000$ , le analisi sono state condotte in forma più speditiva, determinando la  $Q_{ms}$  con analisi idraulica in moto uniforme, indagando e confrontando la condizione attuale, stato di fatto e quella futura, stato di progetto.

#### *Fase 4<sup>a</sup>: progettazione degli interventi di sistemazione idraulica*

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche si è, quindi, proceduto alla definizione delle interventi di sistemazione e difesa spondale dei corsi d'acqua interferiti dall'ampliamento della sede autostradale. Per il progetto delle difese attive sono state privilegiate soluzioni di ingegneria naturalistica a basso impatto ambientale. Questi interventi consistono principalmente in difese spondali con massi di varia pezzatura, in relazione alle caratteristiche idrodinamiche del singolo corso d'acqua, materassi reno metallici riempiti di pietrame per la protezione delle spalle dei ponti, taglio selettivo della vegetazione, ripristino della viabilità esistente, inserimento di talee di salice ed idrosemina.

## 4. AMBITO DI RIFERIMENTO

### 4.1 Tracciato autostradale

L'area entro cui si sviluppa il corridoio autostradale di progetto ricade nel bacino idrografico del fiume Reno e in quello del fiume Po. Non vi sono però corsi d'acqua principali nel bacino idrografico del fiume Po, quindi per i corsi d'acqua secondari che ricadono all'interno del bacino del fiume Po si farà riferimento a livello di competenza al Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.

Lo studio idrologico ed idraulico è stato differenziato per sistemi idrografici e per ambiti territoriali al fine di inquadrare il territorio interessato non tanto sotto il profilo del corridoio autostradale bensì sotto il profilo delle sue caratteristiche idrografiche e quindi con riferimento all'entità prevalente del bacino idrografico di riferimento. Il sistema è quindi organizzato in tre classi prevalenti:

- corsi d'acqua di competenza dell' ADB Reno;
- corsi d'acqua ricadenti nell'area di competenza del Consorzio di Bonifica Renana, tra la Pk 0+000 e la Pk 26+550;
- corsi d'acqua ricadenti nell'area di competenza del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, tra la Pk 26+550 e la Pk 33+600.

Nello specifico, i corsi d'acqua interferenti con il tracciato autostradale sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 4.1-1\_Corsi d'acqua di competenza dell'ADB Reno

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
VI002	Canale Diversivo-Navile	13+053	Autorità di Bacino Reno	Secondario	Ponte
VI003	Canale Navile	21+411	Autorità di Bacino Reno	Secondario	Ponte
VI007	Fiume Reno	26+398	Autorità di Bacino Reno	Principale	Ponte

Tabella 4.1-2\_Corsi d'acqua artificiali ricadenti nell'area di competenza del Consorzio di Bonifica Renana, tra la Pk 0+000 e la Pk 26+550

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T001	scolo privato	1+232	Privato	Minore	Condotta circolare
T002	scolo privato	1+714	Privato	Minore	Condotta circolare
T003	scolo privato	1+912	Privato	Minore	Condotta circolare
T004	fosso	2+292	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T005	scolo privato	2+575	Privato	Minore	Condotta circolare
T006	fosso	3+189	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T007	scolo privato	3+477	Privato	Minore	Condotta circolare
T008	fosso	3+718	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T009	fosso	3+956	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T010	scolo Carsè	4+199	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T011	fosso	4+315	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T012	fosso	4+569	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T013	fosso	4+787	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T014	fosso	4+914	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T015	fosso	5+170	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T016	fosso	5+375	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T017	scolo privato	5+423	Privato	Minore	Condotta circolare
T018	fosso	5+686	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T019	fosso	5+888	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T020	scolo privato	6+118	Privato	Minore	Condotta circolare
T021	scolo privato	6+464	Privato	Minore	Condotta circolare
T022	fosso	6+601	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T023	scolo privato	6+885	Privato	Minore	Condotta circolare
T024	fosso	7+166	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T025	scolo privato	7+357	Privato	Minore	Condotta circolare

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T026	scolo privato	7+512	Privato	Minore	Condotta circolare
T028	scolo privato		Privato	Minore	Scatolare
T029	scolo privato	7+962	Privato	Minore	Condotta circolare
T030	scolo privato	7+967	Privato	Minore	Condotta circolare
T031	scolo privato		Privato	Minore	Scatolare
T032	scolo privato	8+103	Privato	Minore	Scatolare
T033	scolo privato		Privato	Minore	Condotta circolare
T034	scolo privato		Privato	Minore	Scatolare
T035	fosso	8+236	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T036	fosso	8+429	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T037	fosso	8+556	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T038	scolo privato	8+842	Privato	Minore	Scatolare
T039	fosso	8+968	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T040	fosso	9+172	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T041	fosso	9+637	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T042	fosso	9+759	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T043	fosso	9+897	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T044	fosso	10+324	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T045	fosso	10+359	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T046	scolo privato	10+602	Privato	Minore	Scatolare
T047	fosso	11+225	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
VI001	Canale Emiliano Romagnolo	11+292	Consorzio CER	Minore	Ponte
T048	scolo privato	11+486	Privato	Minore	Condotta circolare
T049	scolo privato	11+617	Privato	Minore	Condotta circolare
T050	scolo privato	11+619	Privato	Minore	Scatolare
T051	scolo privato	11+621	Privato	Minore	Scatolare
T052	scolo privato	11+624	Privato	Minore	Scatolare
T053	scolo privato	11+996	Privato	Minore	Scatolare
T054	scolo privato	12+517	Privato	Minore	Condotta circolare

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T055	scolo privato	12+524	Privato	Minore	Scatolare
T056	scolo privato	12+532	Privato	Minore	Scatolare
T057	scolo privato	12+764	Privato	Minore	Scatolare
T058	fosso	12+906	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T059	fosso	13+090	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T060	scolo privato	13+180	Privato	Minore	Condotta circolare
T061	Fossa Quadra	13+553	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Scatolare
T061bis	Fossa Quadra		Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T062	Fossa Quadra	13+565	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Condotta circolare
T063	fosso	13+771	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T064	fosso	13+947	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T065	fosso	14+135	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T066	scolo privato	14+374	Privato	Minore	Condotta circolare
T067	Fossa Quadra	14+411	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Scatolare
T068	scolo privato	14+507	Privato	Minore	Condotta circolare
T069	scolo privato	14+678	Privato	Minore	Condotta circolare
T070	scolo privato	14+854	Privato	Minore	Condotta circolare
T071	scolo privato	14+990	Privato	Minore	Condotta circolare
T072	fosso	15+154	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T073	scolo privato	15+344	Privato	Minore	Condotta circolare
T074	scolo privato	15+719	Privato	Minore	Condotta circolare
T075	scolo privato	15+858	Privato	Minore	Condotta circolare
T076	scolo privato	16+194	Privato	Minore	Condotta circolare
T077	scolo privato	16+277	Privato	Minore	Scatolare
T078	scolo privato	16+381	Privato	Minore	Condotta circolare
T079	Fossa Quadra	16+707	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Scatolare
T080	fosso	17+023	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T081	scolo privato	17+261	Privato	Minore	Condotta circolare

<b>CODICE WBS</b>	<b>NOME</b>	<b>Pk</b>	<b>ENTE GESTORE</b>	<b>RANGO</b>	<b>TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13</b>
T082	scolo privato	17+385	Privato	Minore	Condotta circolare
T083	scolo privato	17+515	Privato	Minore	Condotta circolare
T084	scolo privato	17+821	Privato	Minore	Condotta circolare
T085	scolo privato	18+033	Privato	Minore	Condotta circolare
T086	scolo privato	18+043	Privato	Minore	Scatolare
T087	scolo privato	18+171	Privato	Minore	Condotta circolare
T088	scolo privato	18+307	Privato	Minore	Scatolare
T089	scolo privato	18+413	Privato	Minore	Condotta circolare
T090	scolo privato	18+513	Privato	Minore	Condotta circolare
T091	scolo privato	18+533	Privato	Minore	Condotta circolare
T092	scolo privato	18+652	Privato	Minore	Condotta circolare
T093	scolo privato	18+856	Privato	Minore	Scatolare
T094	scolo privato	18+864	Privato	Minore	Scatolare
T095	scolo privato	19+103	Privato	Minore	Scatolare
T096	scolo privato	19+288	Privato	Minore	Scatolare
T097	scolo privato	19+357	Privato	Minore	Condotta circolare
T098	scolo privato	19+728	Privato	Minore	Condotta circolare
T099	Scolo Marsiglia	20+176	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Scatolare
T100	scolo privato	20+418	Privato	Minore	Condotta circolare
T101	scolo privato	20+669	Privato	Minore	Scatolare
T102	fosso	20+737	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T103	fosso	20+946	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T104	fosso	21+077	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T105	scolo privato	21+185	Privato	Minore	Condotta circolare
T106	scolo privato	21+200	Privato	Minore	Condotta circolare
T107	scolo privato	21+801	Privato	Minore	Condotta circolare
T108	scolo privato	22+058	Privato	Minore	Condotta circolare
T109	scolo privato	22+133	Privato	Minore	Condotta circolare
T110	scolo privato	22+536	Privato	Minore	Scatolare
T111	scolo privato	22+871	Privato	Minore	Scatolare
T112	scolo privato	23+214	Privato	Minore	Condotta circolare
T113	scolo privato	23+223	Privato	Minore	Scatolare
T114	scolo privato	23+506	Privato	Minore	Condotta circolare
T115	scolo privato	23+517	Privato	Minore	Scatolare
T116	scolo privato	23+756	Privato	Minore	Condotta circolare

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T117	scolo privato	23+960	Privato	Minore	Condotta circolare
VI004	Scolo Calcarata	23+991	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Ponte
T118	scolo privato	24+240	Privato	Minore	Condotta circolare
T119	scolo privato	24+250	Privato	Minore	Condotta circolare
VI005	Scolo Tombe	24+448	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Ponte
T120	scolo privato	24+868	Privato	Minore	Condotta circolare
VI006	Scolo Riolo	25+150	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Ponte
T121	Fosso Prospero	25+210	Consorzio di Bonifica Renana	Secondario	Scatolare

*Tabella 4.1-3\_Corsi d'acqua artificiali ricadenti nell'area di competenza del Consorzio di Bonifica della Pianura di Ferrara, tra la Pk 26+550 e la Pk 33+600.*

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T121 bis	scolo privato	26+587	Privato	Minore	Condotta circolare
T122	scolo privato	27+144	Privato	Minore	Condotta circolare
T123	scolo privato	27+697	Privato	Minore	Condotta circolare
T124	scolo privato	28+734	Privato	Minore	Condotta circolare
VI008	Scolo Principale	28+819	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Secondario	Ponte
T125	scolo privato	29+110	Privato	Minore	Condotta circolare
T126	fosso	29+169	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T127	Canale Torniano	29+291	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Secondario	Scatolare
T128	fosso	29+588	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T129	fosso	29+769	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T130	fosso	30+016	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T131	Deviazione Margosa	30+257	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T132	Fosso Margosa	30+402	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Secondario	Scatolare



CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T133	Deviazione Margosa	30+773	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T134	Deviazione Margosa	31+051	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T135	Deviazione Margosa	31+189	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T136	Deviazione Margosa	31+340	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Secondario	Scatolare
T137	Canale circondariale San Martino	31+621	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Secondario	Scatolare
T138	scolo privato	31+823	Privato	Minore	Condotta circolare
T139	scolo privato	32+244	Privato	Minore	Condotta circolare
T140	scolo privato	32+467	Privato	Minore	Scatolare
T141	scolo privato	32+711	Privato	Minore	Scatolare
T142	Scolo Madonna dei Boschi	32+975	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Scatolare
T143	Scolo Uccellino	33+307	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Secondario	Scatolare
T144	scolo privato	33+505	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Scatolare

## 5. IDROLOGIA

Per la determinazione del regime pluviometrico della zona si è fatto riferimento ai risultati ricavati nell'ambito dello studio *“La valutazione delle piogge intense su base regionale”* (A. Brath, M. Franchini, 1998) di seguito descritto.

Lo studio citato ha come oggetto la definizione del Metodo VAPI-piogge al territorio appartenente alle regioni amministrative Emilia-Romagna e Marche.

I modelli regionali VAPI si basano sull'ipotesi di esistenza di regioni compatte e idrologicamente omogenee all'interno delle quali le portate di colmo normalizzate rispetto ad una portata di riferimento – la portata indice – siano descrivibili da una stessa distribuzione di probabilità, denominata curva di crescita.

In particolare l'area in esame è stata suddivisa in 5 zone omogenee, come mostrato in Figura 2, per le quali valgono i valori dei parametri della curva di crescita riportati nella Tabella 1.

L'area oggetto di intervento ricade all'interno della Zona E.

Figura 2: Zone omogenee con riferimento regime di frequenza delle piogge intense.

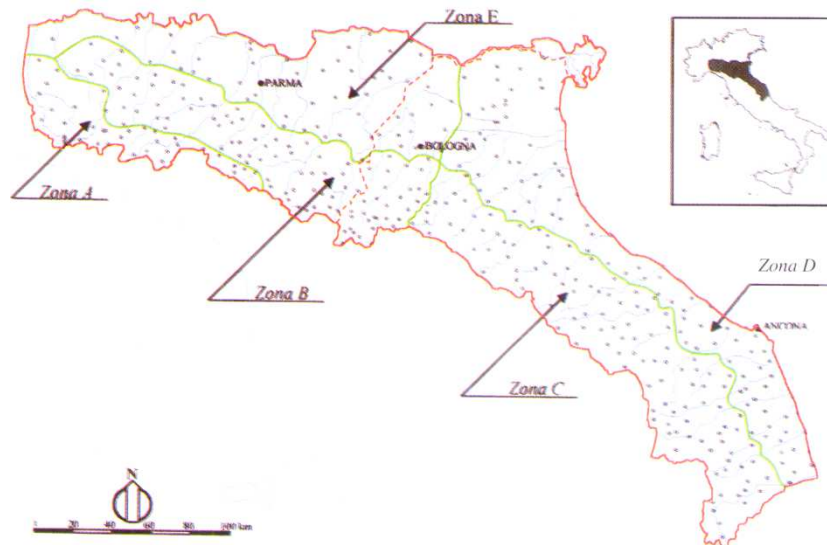


Tabella 1: Parametri delle curve di crescita relative al modello TCEV per le varie durate

Zona	$\lambda$	$\theta$	$\lambda_1$	$\eta$	Note
Zona	0.109	2.361	24.70	4.005	Valida per tutte le durate
Zona B	1.528	1.558	13.65	4.651	Valida per d = 1 ora
			19.35	5.000	Valida per d = 3 ore
			26.20	5.303	Valida per d = 6 ore
			39.20	5.706	Valida per d ≥ 12 ore ed 1
Zona C	1.528	1.558	13.65	4.615	Valida per d = 1 ora
			14.70	4.725	Valida per d = 3 ore
			20.25	5.046	Valida per d = 6 ore
			25.70	5.284	Valida per d ≥ 12 ore ed 1
Zona	0.361	2.363	29.00	4.634	Valida per tutte le durate
Zona E	0.044	3.607	13.60	3.328	Valida per d = 1 ora
			19.80	3.704	Valida per d = 3 ore
			23.65	3.882	Valida per d = 6 ore
			30.45	4.135	Valida per d ≥ 12 ore ed 1

La curva di crescita si ricava invertendo l'espressione (3.1) scritta in funzione del tempo di ritorno, mentre la pioggia indice viene calcolata mediante la (3.2):

$$P(x) = \exp\left[-\lambda_1 \exp(-x \eta) - \lambda \lambda_1^{1/\theta} \exp(-x \eta / \theta)\right] \quad (3.1)$$

$$\mu = m_1 \cdot d^{\frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)}} \quad (3.2)$$

$m(h24)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d(24 ore);

$m_G$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;

$m_1$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;

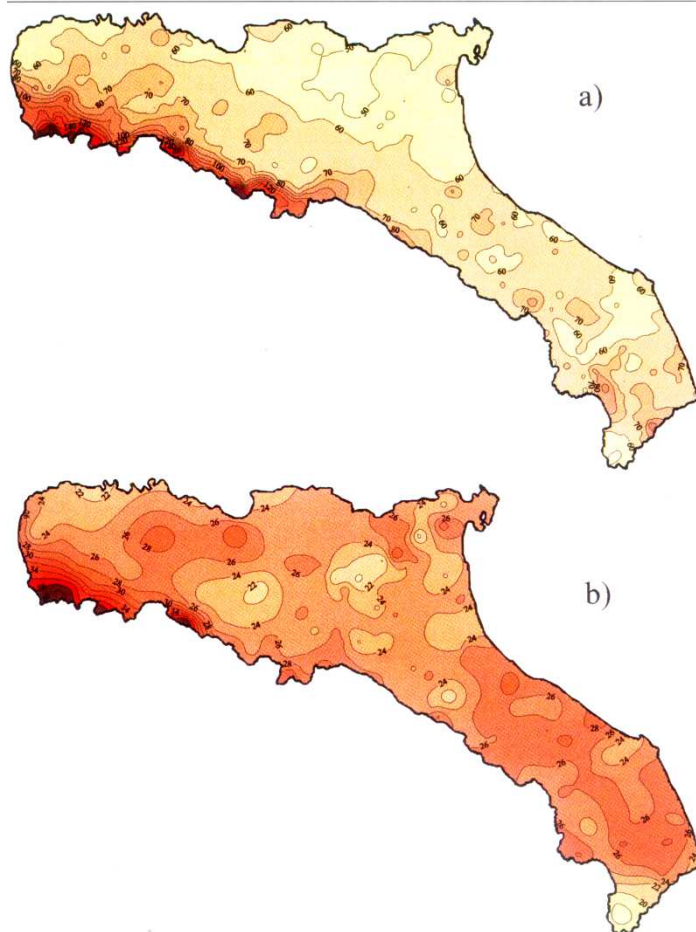
$\gamma = m_G / m(h24) = 0.89$  nella regione esaminata.

Per la determinazione dei parametri  $m_1$  e  $m_G$  si fa riferimento alle isolinee riportate in Figura 3.

In conclusione, si ricava che il parametro  $a$  delle LSPP è pari al prodotto del coefficiente  $m_1$  per la curva di crescita, mentre il parametro  $n$  è pari a:

$$n = \frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)} \quad (3.3)$$

Figura 3: Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b).



Per l'area di intervento, ricadente nella "zona omogenea E", sono stati stimati valori dei parametri  $m_1$  e  $m_G$  pari rispettivamente a 24 e 60, mentre il parametro  $\gamma$ , che, come dimostrato da numerosi studi, risulta poco variabile da sito a sito, assume il valore di 0.89. Dalle formule sopra riportate, si ottiene un valore del parametro "n" uguale per tutte le durate considerate e per tutti i tempi di ritorno, mentre il parametro "a" varia sia in funzione della durata sia del tempo di ritorno. Per poter avere per ogni tempo di ritorno un'unica formula per il calcolo delle portate dei corsi d'acqua, si è calcolato il parametro "a" in modo da minimizzare gli scarti. La Tabella 2 riporta i valori calcolati per i parametri "a" e "n" delle LSPP, validi per le diverse durate e i valori del parametro "a" interpolati.

Tabella 2: Valori dei parametri delle LSPP per diversi  $T_R$

a	$T_R$ (anni)				
	25	50	100	200	
1 ora	45.43	53.22	63.31	77.01	n
3 ore	43.25	50.25	59.31	71.63	
6 ore	42.36	49.05	57.69	69.44	
12 ore	41.24	47.51	55.63	66.66	
Interpolato	42.68	49.40	58.10	69.91	

Le leggi di pioggia calcolate sono valide per tempi di corrivazione superiori all'ora. Per determinare le leggi di pioggia valide per eventi di breve durata, utilizzate per il dimensionamento del **sistema di drenaggio**, si è utilizzato lo studio di Calenda e altri (1993) basato su un campione di 8 anni di dati di pioggia registrati al pluviometro di Roma Macao. Questo studio evidenzia come il rapporto tra l'altezza di pioggia di 5 minuti e quella oraria sia pressoché costante in tutta Italia e pari a 0.278. Imponendo questa condizione ed il passaggio per l'altezza di pioggia oraria si ottiene il valore del parametro **n** per tempi di pioggia inferiori all'ora pari a **0.515**. In questo caso si utilizzeranno i valori del parametro **a** relativi alla durata di un'ora.

Tabella 3: Valori dei parametri delle LSPP per diversi  $T_R$  e durate inferiori all'ora

a	$T_R$ (anni)				
	25	50	100	200	
1 ora	45.43	53.22	63.31	77.01	n
					0.515

## 6. IDRAULICA

### 6.1 Criteri di compatibilità

La verifica di compatibilità idraulica degli attraversamenti sui corsi d'acqua è stata svolta in conformità con la normativa vigente, in particolare:

- D.M. 4 maggio 1990 "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali";
- Circolare n.34233 del 25 febbraio 1991 del Ministero LL.PP. "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali";

I calcoli idraulici vengono eseguiti per diversi tempi ritorno, assumendo poi come riferimento l'evento bicentennale.

### 6.2 Costruzione del modello geometrico

La costruzione del modello geometrico ha avuto come punto di partenza i dati di rilievo forniti:

- Rilievo celerimetrico in scala 1:500 della fascia occupata dall'autostrada;
- Sezioni idrauliche dei corsi d'acqua interferiti dal progetto autostradale;
- Rilievo di tutte le opere d'arte esistenti e relative schede monografiche.
- Modello digitale del terreno a maglia 10x10 o 20x20

Il modello così costruito è stato sottoposto, per mezzo del codice di calcolo Hec-Ras, a simulazione idraulica in moto permanente (portata costante e geometria variabile) con portata di piena calcolata per ogni singolo corso d'acqua in base alla metodologia esposta precedentemente, valutando quindi le condizioni di moto in corrispondenza dei vari attraversamenti autostradali al fine di verificare la compatibilità idraulica dell'opera secondo i criteri adottati dalla normativa vigente.

### 6.3 Il codice di calcolo Hec-RAS 4.1.0

Grazie all'impiego di un apposito modello matematico di simulazione idraulica è stato possibile utilizzare la schematizzazione dinamica delle equazioni differenziali di De Saint Venant che, richiedendo le condizioni al contorno sia a monte che a valle, permette, tra l'altro, di considerare anche eventuali "effetti di rigurgito".

Il fenomeno del moto vario in una corrente naturale può essere quindi ben rappresentato dalle equazioni comunemente note come equazioni di De Saint Venant. Esse sono valide per il moto gradualmente variato, in cui sia le variazioni nel tempo sia le variazioni nello spazio non siano eccessivamente brusche.

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta QV)}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z_w}{\partial x} - \frac{\tau_0 P}{\rho_0} + qU_q$$

La prima equazione rappresenta la legge di conservazione della massa liquida, specificata nel caso di densità costante.

Il codice di calcolo HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineers consente di determinare il profilo idraulico, lungo un determinato tratto fluviale o canale artificiale, in condizioni di moto stazionario e gradualmente variato. Possono essere analizzate condizioni di moto subcritiche, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto. Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione, ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale. Esso consente di modellare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, pur rimanendo in ambito monodimensionale, indicando differenti lunghezze del tratto che separa due sezioni adiacenti per la golena in sponda sinistra, la golena in sponda destra e il canale principale.

Le ipotesi caratterizzanti il codice di calcolo sono:

- il moto della corrente è permanente e gradualmente variato;
- il deflusso della corrente è monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate. Le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;
- la pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);
- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;
- la geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

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

In corrispondenza dei ponti o di eventuali canali a sezione chiusa, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici.

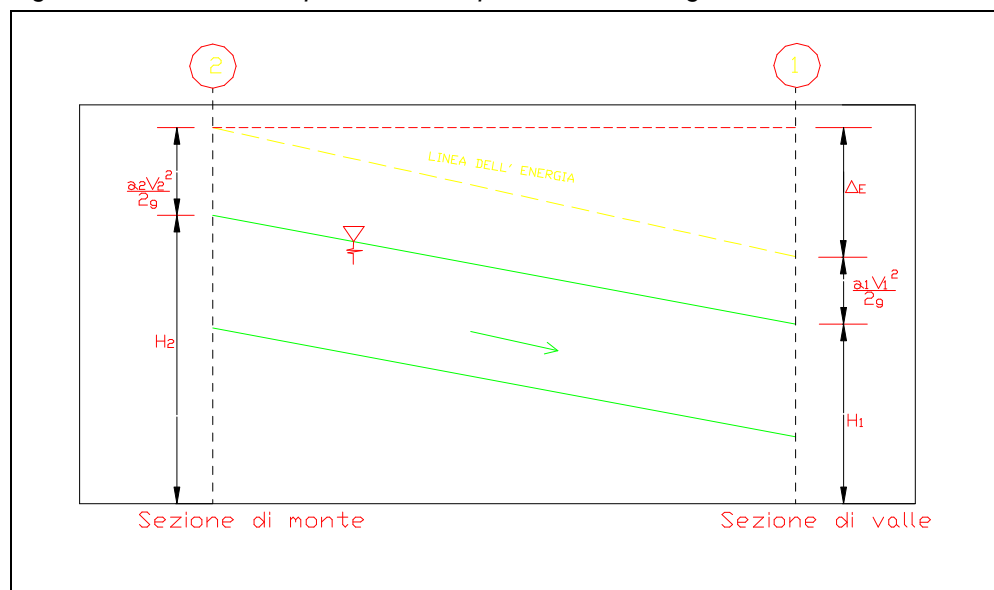
L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente, viene risolta nella seguente forma:

$$H_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \Delta E \quad (1)$$

dove (vedi figura seguente):

- $H_1, H_2$  rappresentano le quote assolute della superficie della corrente alle sezioni 1 e 2;
- $v_1, v_2$  rappresentano le velocità medie della corrente (portata totale/area totale bagnata);
- $\alpha_1, \alpha_2$  sono i coefficienti di ragguglio della potenza cinetica (coefficienti di Coriolis);
- $\Delta E$  rappresenta la perdita di carico tra le sezioni 2 e 1.

Figura 6.3.1: Grandezze presenti nell'equazione dell'energia





La perdita di carico tra due sezioni è data dalla somma delle perdite distribuite lungo il tratto d'alveo compreso tra le due sezioni e le eventuali perdite dovute alla contrazione o alla espansione della corrente. L'espressione che permette il calcolo della perdita di carico risulta:

$$\Delta E = LJ + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

L è la lunghezza del tratto d'alveo in esame;

J è la cadente piezometrica;

C è il coefficiente che tiene conto dei fenomeni di contrazione ed espansione della corrente.

La distanza L tra due successive sezioni viene valutata con la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{gs}Q_{gs} + L_c Q_c + L_{gd}Q_{gd}}{Q_{gs} + Q_c + Q_{gd}} \quad (3)$$

dove:

$L_{gs}$ ,  $L_{gd}$ ,  $L_c$  rappresentano rispettivamente la distanza percorsa dalla corrente in golena sinistra, destra e nel canale principale;

$Q_{gs}$ ,  $Q_{gd}$ ,  $Q_c$  rappresentano le portate rispettivamente defluite alla sezione terminale in golena sinistra, destra e nel canale principale.

La cadente piezometrica può essere ricavata attraverso la seguente espressione:

$$J = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{k_1 + k_2} \right)^2$$

essendo:

$Q_1$ ,  $Q_2$  rispettivamente la portata transitata alla sezione 1 e alla sezione 2;

$k_1$ ,  $k_2$  la capacità di deflusso (conveyance) totale rispettivamente associata alla sezione 1 e alla sezione 2.

La capacità di deflusso è calcolabile attraverso la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (4)$$

essendo:

n = coefficiente di Manning;

A = area bagnata;

R = raggio idraulico.

La capacità di deflusso complessiva di una determinata sezione è data dalla somma delle capacità di deflusso delle due golene e del canale principale. Ciascuna parte con cui si è idealmente suddivisa la sezione idraulica è infatti caratterizzata, una volta noto o ipotizzato il tirante idrico, da una determinata area bagnata e raggio idraulico; da qui la possibilità di applicare la formula (4) per calcolare la capacità di deflusso per la golena in sponda destra, sinistra e per il canale principale.

Il coefficiente di ragguglio della potenza cinetica (coefficiente di Coriolis) viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$\alpha = \left( \frac{k_{gs}^3}{A_{gs}^2} + \frac{k_c^3}{A_c^2} + \frac{k_{gd}^3}{A_{gd}^2} \right) \frac{A_t^2}{k_t^3}$$

dove:

$A_t$ ,  $A_{gs}$ ,  $A_{gd}$ ,  $A_c$  rappresentano l'area totale bagnata della sezione, l'area bagnata in golena destra, in golena sinistra e nel canale principale;

$k_t$ ,  $k_{gs}$ ,  $k_{gd}$ ,  $k_c$  rappresentano la capacità di deflusso della sezione nel suo complesso, per la golena sinistra, la golena destra e per il canale principale.

Il coefficiente C viene introdotto per tenere conto delle perdite energetiche dovute ai fenomeni di espansione o di contrazione della corrente. Esso viene definito dall'utente, sezione per sezione, in funzione delle caratteristiche del fenomeno di transizione. I valori tipici di tale coefficiente vengono indicati in tabella.

Tabella 6.3-1: valori tipici del coefficiente C

Descrizione	Coefficiente di contrazione	Coefficiente di espansione
Nessuna perdita per contrazione o espansione	0.0	0.0
Transizione graduale	0.1	0.3
Ponti	0.3	0.5
Transizioni molto brusche	0.6	0.8

La risoluzione delle equazioni (1) e (2) attraverso un procedimento iterativo permette di determinare l'andamento del profilo idrico in moto permanente una volta assegnate le caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo e le condizioni ai limiti del problema. Il processo di risoluzione è volto essenzialmente ad individuare quel tirante idrico (nella sezione in cui esso non risulta già noto o calcolato in precedenza) che permette di verificare il bilancio energetico, espresso dall'equazione (1), a meno di una tolleranza prefissata e ritenuta soddisfacente dall'utente. Per i dettagli computazionali si rinvia alla documentazione del codice di calcolo.

Nei casi in cui si verifica il passaggio attraverso lo stato critico, l'equazione dell'energia (1) non può essere applicata in quanto la transizione tra moto subcritico e moto supercritico e viceversa non rispetta le ipotesi di moto gradualmente variato. Ciò può, ad esempio, verificarsi in seguito a significativi cambi di pendenza o alla presenza di forti restringimenti della sezione idraulica. In questi casi il codice di calcolo permette di risolvere il problema utilizzando o delle formule empiriche oppure l'equazione del momento.

In particolare l'equazione del momento può essere applicata, nel codice di calcolo HEC-RAS in tre differenti situazioni:

- presenza di un risalto idraulico;
- condizioni di deflusso attraverso un ponte senza che si generi un processo di moto in pressione;
- immissione di una corrente in un'altra corrente.

Senza entrare nei particolari, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata, è qui il caso solo di riportare l'equazione del momento applicata ad una determinata massa d'acqua compresa tra due sezioni distinte 1 e 2:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

dove (vedi fig seguente):

$P_i$  = forza legata alla pressione idrostatica agente sulle sezioni 1 e 2;

$W_x$  = forza peso proiettata nella direzione del moto;

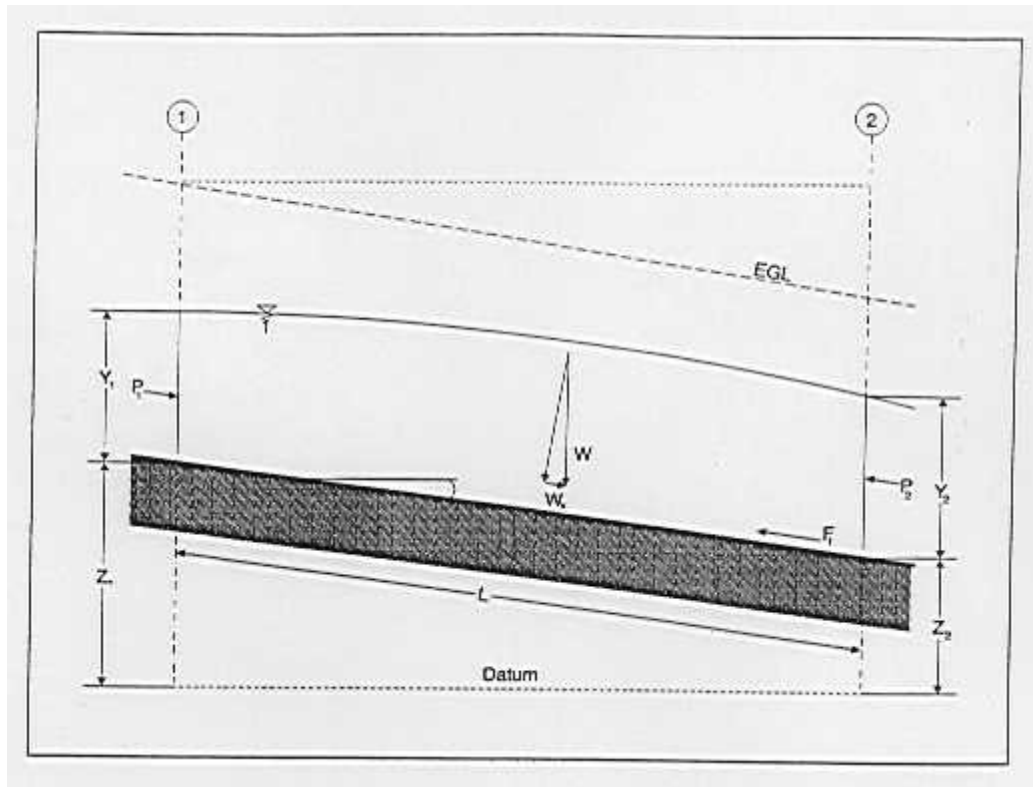
$F_f$  = forza legata agli attriti;

$Q$  = portata;

$\rho$  = densità dell'acqua;

$\Delta V_x$  = variazione di velocità nella direzione del moto.

Figura 6.3.2: Elementi caratteristici dell'equazione del momento



Come si è già avuto modo di sottolineare in corrispondenza dei ponti, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici. Il codice di calcolo permette di considerare l'intera gamma di condizioni che possono generarsi in un processo di deflusso attraverso un ponte. Tali condizioni vengono qui di seguito riportate:

- la corrente non viene in contatto con l'intradosso del ponte (Low flow);
- la corrente viene in contatto con l'intradosso del ponte (Pressure/Weir flow).

La prima condizione a sua volta prevede i seguenti casi:

- la corrente si mantiene lenta durante l'attraversamento del ponte (Class A low flow);
- la corrente transita attraverso la profondità critica (Class B low flow);
- la corrente si mantiene veloce durante l'attraversamento del ponte (Class C low flow).

La seconda condizione prevede a sua volta i seguenti casi:

- il ponte risulta in pressione (Pressure flow);
- il ponte viene sormontato (Pressure and Weir flow).

Le perdite energetiche caratteristiche del deflusso attraverso la struttura comprendono:

- le perdite che si sviluppano nei tratti immediatamente a monte e a valle del manufatto. Tali perdite sono dovute essenzialmente ai processi di contrazione ed espansione della corrente;
- le perdite che si generano proprio nel processo di deflusso attraverso la struttura.

In funzione delle condizioni di deflusso che vengono a crearsi, si applicano metodi di calcolo differenti per valutare le perdite di carico e quindi l'andamento del profilo idraulico nell'intorno della struttura.

Il codice di calcolo permette di risolvere i problemi relativi al deflusso delle acque attraverso i tombini. La risoluzione di tali problemi si fonda sull'approccio teorico proposto nella letteratura specializzata (vedi ad esempio "*Open Channel Hydraulics*", V.T.Chow).

Il tipo di deflusso attraverso un tombino può essere catalogato come deflusso con sezione di controllo presso l'imbocco (in seguito "**inlet control**") o con sezione di controllo presso l'uscita ("**outlet control**").

Nel caso di "inlet control" la capacità del tombino dipende dal carico idraulico alla sezione di approccio, dalla geometria della sezione di ingresso, dal tipo di imbocco. La scabrezza del tombino, la sua lunghezza e pendenza, le condizioni idrauliche del ricettore di valle non sono elementi determinanti in grado di influenzare la capacità di deflusso.

Nel caso di "outlet control" gli elementi determinanti per fissare la capacità idraulica del tombino sono, oltre a quelli caratteristici del caso precedente, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza del tombino e le caratteristiche idrauliche del ricettore di valle.

Il codice di calcolo risolve generalmente il problema calcolando, per la portata fissata dall'utente, il tirante idrico nella sezione di approccio al tombino utilizzando sia le equazioni adatte ai casi di "inlet control" sia quelle per i casi di "outlet control". Si assume quindi che la soluzione è quella cui è associato il massimo tirante idrico.

Nei casi di "inlet control" il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato schematizzando il moto della corrente come quello che si genera sotto una paratoia a battente. Nei casi di "outlet control" il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato a partire dal tirante idrico alla sezione di sbocco del tombino e considerando le perdite energetiche concentrate e distribuite che si determinano nel processo di deflusso.

## **7. CORSI D'ACQUA DI COMPETENZA DALL'ADB RENO**

Di seguito si esaminano i singoli corsi d'acqua interferiti dal tracciato in progetto (da Pk 1+070 a 26+550), per i quali l'Ente competente è rappresentato dall'Autorità di Bacino del Fiume Reno.

La struttura con cui si analizzano i singoli corsi d'acqua è la seguente:

- Caratteristiche idrografiche;
- Analisi idrologica e definizione delle portate di riferimento;
- Verifiche idrauliche;
- Interventi di sistemazione idraulica

Per tutti i corsi d'acqua di competenza dall'ADB Reno è stata condotta un'analisi idraulica in moto permanente, mediante modellazione numerica tramite il modello HEC-RAS. Tale analisi è volta a verificare lo stato di fatto, la configurazione provvisoria di cantiere e la configurazione di progetto, definendo per ciascuno scenario i parametri idraulici significativi (con particolare riguardo ai livelli) e le aree di allagamento.

La portata di riferimento adottate per la modellazione idraulica è la portata con tempo di ritorno di 200 anni per i corsi d'acqua principali e secondari, quella con tempo di ritorno di 100 anni per i minori.

I corsi d'acqua ad immissione naturale con una lunghezza superiore a 500 m sono stati classificati dall'Autorità di Bacino del Reno in funzione della portata, nella loro sezione di chiusura, per eventi di pioggia con tempi di ritorno di 5 anni. I corsi d'acqua sono stati così definiti:

1. - principali, se hanno portate pari o superiori a 100 m<sup>3</sup>/sec;
2. - secondari, per portate comprese tra i 30 e 100 m<sup>3</sup>/sec;
3. - minori, per portate comprese tra 5 e 30 m<sup>3</sup>/sec.

I valori di portata utilizzati, per i diversi tempi di ritorno, sono riferiti agli studi idrologici condotti dall'ADB Reno, i quali vengono riportati nelle relazioni del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei principali bacini idrografici, in cui il tracciato di progetto ricade.

## 7.1 Fiume Reno

### 7.1.1 Bacino idrografico del fiume Reno

Il bacino del Reno si estende per un'area totale di 5040 km<sup>2</sup>, dall'Appennino emiliano-romagnolo alla pianura fino alla costa adriatica, di questi, 2540 km<sup>2</sup> formano il bacino montano, ossia il territorio in cui le acque di pioggia scorrono sui versanti e si raccolgono in rii e fossi, lungo tutta la rete di drenaggio fino a formare i deflussi dei corsi d'acqua più importanti.

Il bacino montano del solo Reno, all'opera della Chiusa di Casalecchio, si estende per 1061 km<sup>2</sup>, in direzione sud sud-ovest, nord nord-est, con una quota massima di 1945 m. s.l.m. e minima di 60.35 m alla soglia della chiusa di Casalecchio.

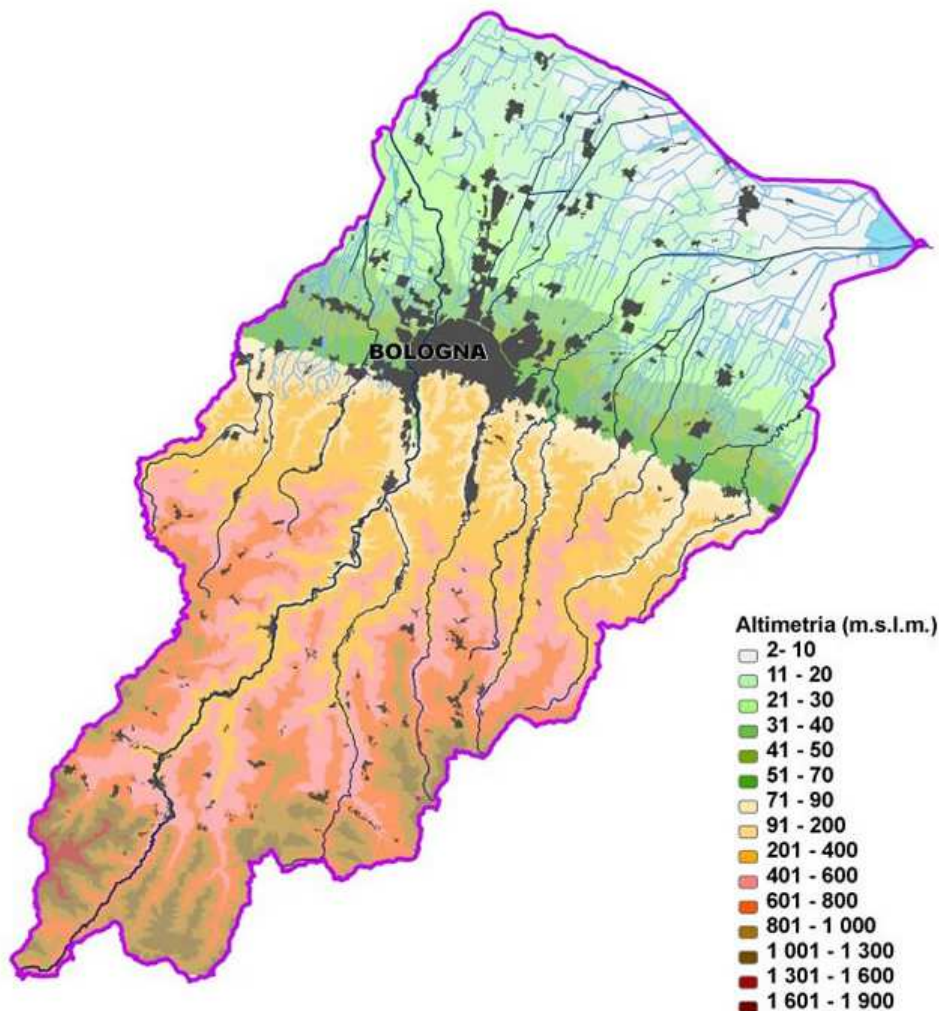


Figura 3: Bacino imbrifero del Fiume Reno

Il reticolo idrografico montano del Reno, piuttosto ramificato e denso, è composto da 8 corsi d'acqua maggiori (classificati principali), 12 secondari (classificati secondari) e da 600 fratorrentelli e rii (classificati minori) e ancora altre centinaia di piccoli rii e fossi (classificati minori).

L'intervento ricade nel tratto vallivo del fiume Reno dove il fiume si snoda attraverso i territori di pianura delle province di Bologna, Ferrara e Ravenna; vi si immettono, in sinistra, il torrente Samoggia, ed in destra il canale Navile, i torrenti Savena-Abbandonato, Idice, Sillaro, Santerno, Senio.

Le caratteristiche morfologiche dell'asta in esame sono estremamente variabili risentendo dalle diverse vicende idrauliche che, nel tempo, hanno determinato l'attuale assetto del fiume Reno.

Alle origini, il bacino naturale del Reno si chiudeva alla confluenza con il torrente Samoggia divenendo a valle affluente di destra del fiume Po.

A seguito di grandi lavori di riassetto idraulico tesi al recupero ed alla bonifica dei territori vallivi della bassa pianura bolognese, ferrarese e ravennate, il Reno venne inalveato, secondo la proposta di Padre Lecchi formulata nel 1767 e definita "di valle in valle", attraverso il Cavo Benedettino ed il tratto terminale del Po di Primaro giungendo, con successive opere di sistemazione e Drizzagni, fino ad assumere l'attuale configurazione che si può così schematizzare:

- o primo tratto (circa 19 km da 30 a 14 m di quota ) sino a Ponte Bagno, con andamento tortuoso ed ampie estensioni golenali, aventi una funzione modulatrice delle portate di piena, alternate a localizzate strettoie arginali;
- o secondo tratto (circa 18 km con quota finale di 13 m circa) sino allo scolmatore di Reno in Po denominato Cavo Napoleonico, con andamento abbastanza regolare e geometria del cavo fluviale significativamente ristretta;
- o terzo tratto (circa 47 km) sino alla Bastia, con alveo canalizzato avente argini ravvicinati e molto alti rispetto al piano di campagna; all'interno di tale tratto, è presente uno sfioratore libero in corrispondenza di Gallo di Poggio Renatico - ove si verificarono nel 1949, 1950 e 1951 le rotte dell'argine sinistro - che garantisce la decapitazione naturale delle massime piene con recapito delle acque di esubero nel latitante canale di bonifica "Cembalina";
- o quarto tratto (circa 40 km) sino al mare, con alveo arginato relativamente ampio.

L'attraversamento autostradale si trova nel terzo tratto a poco a monte dello sfioratore libero in corrispondenza di Gallo di Poggio Renatico.



## 7.1.2 Analisi idraulica dell'opera di attraversamento

### 7.1.2.1 **Caratteristiche dell'attraversamento**

Il fiume Reno è interferito dal tracciato autostradale tra le Pk 26+225 e Pk 26+623. Il viadotto di scavalco autostradale è lungo complessivamente circa 392 m, con n. 12 campate ciascuna avente luce pari a 32.65 m. Solo n. 7 delle n. 12 campate si trovano all'interno degli argini.

L'impalcato è realizzato con travi in CAP e soletta collaborante gettata in opera, esso supera la sommità arginale con un franco pari a circa 45-50 cm.



*Figura 4: Ponte sul fiume Reno*

Nello stato di fatto le pile sono costituite da n. 4 pilastri circolari per carreggiata aventi diametro pari a 1500 mm. In fase di ampliamento dell'autostrada sono stati realizzati sulle pile più esterne dei setti in calcestruzzo di larghezza pari 80 cm, profondità pari a 2 m ed altezza pari a quella delle pile stesse.

Le pile appoggiano su un dado di fondazione di larghezza pari a 4,40 m, di altezza pari a 1,60 m e lunghezza pari a 17,40 m. Le fondazioni poggiano su dei pali di diametro 800 mm.

Nel progetto le pile appoggiano su un dado di fondazione di larghezza pari a 7,00 m, di altezza pari a 2,50 m e lunghezza pari a 40 m. Le nuove fondazioni poggiano su dei pali di diametro 1500 mm.

La profondità di ricoprimento dei dadi di fondazioni sono variabili lungo la sezione longitudinale dell'impalcato e variano all'interno degli argini da un minimo di 3,55 m per le pile che si trovano nella parte golenale a un massimo di 6,86 m per le pile che si trovano sempre sulla parte golenale ma più prossime all'alveo inciso.



*Figura 5: Ponte sul fiume Reno – Pile esistenti*

Infine si segnala presenza di una pila la P4 all'interno dell'alveo di magra, essa sarà quindi quella più sollecitata ai fenomeni erosivi che si possono innestare a causa della corrente.

#### **7.1.2.2 Definizione delle portate di riferimento**

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello Fiume Reno è la portata centennale  $Q_{ms}=677 \text{ m}^3/\text{s}$ , che attualmente passa nel tratto di interesse. Tale portata, come visto in precedenza è da considerarsi a favore di sicurezza al termine della realizzazione degli interventi in programma che puntano a far transitare una portata massima duecentennale pari a  $Q_{max}=500 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il piano stralcio non dichiara la portata duecentennale, in quanto ritiene che per il tratto in esame essa non è significativa, visto che vi sono allagamenti diffusi anche con al portata centennale e che tra gli obiettivi della pianificazioni non vi è l'adeguamento della sezione a tali valori di portata, ma bensì la realizzazione di opere di laminazioni a monte. Nel tratto a valle del Cavo Napoleonico il comportamento del corso d'acqua è molto complesso ed in parte regolato, si è, quindi, optato per non effettuare un modello idrologico su scala di bacino per la determinazione delle portate di progetto perché i risultati ottenuti in un contesto del genere non avrebbero fornito valori attendibili. Si è scelto quindi di utilizzare un metodo più semplice ma maggiormente efficace. Nel metodo cinematico i valori di portata sono funzioni che variano in modo linearmente proporzionale ai valori di altezza di pioggia caduta sul bacino ad un prefissato tempo di corrivazione.

Quindi se si parte dall'ipotesi che eventi meteorologi con diversi tempi di ritorno hanno i medesimi tempi di corrivazione e che i coefficienti di deflusso sono identici (su bacini molto estesi è una ipotesi più che veritiera), si può affermare che la portata è una funzione dell'altezza di pioggia.

Come visto nel capitolo dell'idrologia, i vari eventi con tempi di ritorno differenti sono accomunati dai medesimi valori del coefficiente  $n$  della curva di possibilità climatica, quindi se nella formula i valori di  $t_c$  e di  $n$  sono gli stessi è possibile affermare che le portate siano una funzione dei valori di  $a$ .

Di conseguenza la portata duecentennale è stata ricavata nel seguente modo a partire dalla portata con tempo di ritorno pari a 50 anni:

$$Q_{TR200} = \frac{a_{TR200}}{a_{TR50}} \cdot Q_{TR50}$$

Il rapporto tra le portate e i coefficienti "a" non è stato effettuato in corrispondenza del ponte dell'autostrada ma bensì a monte del Cavo Napoleonico, perché quest'ultimo influenza il regime delle portate. A monte di esso ci si attende che le vi possa essere una certa proporzionalità tra le portate che hanno tempi di ritorno differenti.

La portata così determinata è stata poi depurata di 500 m<sup>3</sup>/s pari alla massima portata scaricabile dal Cavo Napoleonico, e di altri 188 m<sup>3</sup>/s pari alla laminazione del picco di piena che si ha tra la sezione appena a valle del Cavo e il ponte autostradale nel modello idraulico del piano stralcio per l'evento centennale. La portata così calcolata è pari a  $Q=950$  m<sup>3</sup>/s.

### 7.1.2.3 Verifiche idrauliche

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRATTO INDAGATO

La rappresentazione geometrica del tratto indagato del fiume Reno è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 613 m a monte dell'autostrada e per 613 m a valle, per una lunghezza totale, complessiva di ponte, di circa 1249 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di quattordici sezioni trasversali, ortogonali all'asse del corso d'acqua.

Il tratto oggetto di studio comprende un unico manufatto ed è il ponte dell'autostrada, precedentemente descritto.

La sezione dell'alveo è pensile rispetto ai territorio limitrofi, essa è contenuta nei due argini maestri, complessivamente ha una larghezza massima in sommità di 220 m ed una altezza tra fondo e sommità arginale di circa 11 m.

La sezione è composta da un alveo inciso di forma trapezoidalee da due zone golenali. L'alveo di magra ha una larghezza sul fondo di circa 36 m, una larghezza in sommità di 48 m ed una altezza

di circa 4,70 m. La golena in destra idraulica ha una larghezza in corrispondenza del ponte di circa 12 m, mentre quella sinistra, più ampia, ha una larghezza di circa 120 m. L'alveo di magra ha un andamento planimetrico sinusoidale all'interno dell'area golenale.

Dal punto di vista dell'uso del suolo la sponda in destra dell'alveo inciso e i rilevati arginali sono ricoperti da alberature e vegetazione molto fitta, mentre la sponda sinistra è rivestita da erba. Le aree golenali sono destinate ad uso agricolo.



*Figura 6: Fiume Reno in corrispondenza dell'attraversamento stradale*

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

<b>Coefficienti di scabrezza di Strickler</b>	
<b>(m<sup>1/3</sup>/s)</b>	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30

*Tabella: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello Fiume Reno*

### **CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA**

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'allargamento del viadotto e la rimodellazione dell'alveo.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Livello costante a valle: da una analisi dei dati del PAI del fiume Reno si è potuto osservare che il livello di valle è fortemente vincolato dal Ponte di Gallo Ferrarese e dalla quota delle

sommità arginali, che come visto nel piano degli interventi non è previsto che vengano aumentate. In particolare le condizioni al contorno di valle sono le seguenti:

- $L_v = 20,30$  m slm – Livello della sommità arginale al termine del tratto in studio aumentato di 50 cm per tener conto del battente d'acqua che si forma in caso di esondazione; Questo livello sarà usato per le simulazioni utilizzate per il dimensionamento delle opere in progetto;
  - $L_v = 13,50$  m slm – Livello della sommità spondale dell'alveo inciso in corrispondenza dell'ultima sezione del modello, nell'ipotesi che la portata di progetto per le opere provvisionali non faccia rigurgitare la corrente in corrispondenza del ponte di Gallo Ferrarese; Questo livello sarà usato per le simulazioni utilizzate per il dimensionamento delle opere in fase di cantiere;
- Portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a:
- Portata per le verifiche nelle fasi di lavoro, sarà definita di volta sulla base della configurazione delle opere provvisionali necessarie per la realizzazione dell'opera.
  - $Q_{TR100} = 677.00$  m<sup>3</sup>/s – Portata centennale per la verifica della configurazione di progetto;
  - $Q_{TR200} = 950.00$  m<sup>3</sup>/s – Portata duecentennale per la verifica della configurazione di progetto.

## RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

### - SIMULAZIONE CON PORTATA DI MONTE $Q_{TR100} = 677.00$ m<sup>3</sup>/s -

Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto con portata avente tempo di ritorno pari a 100 anni è riportato nella seguente figura.

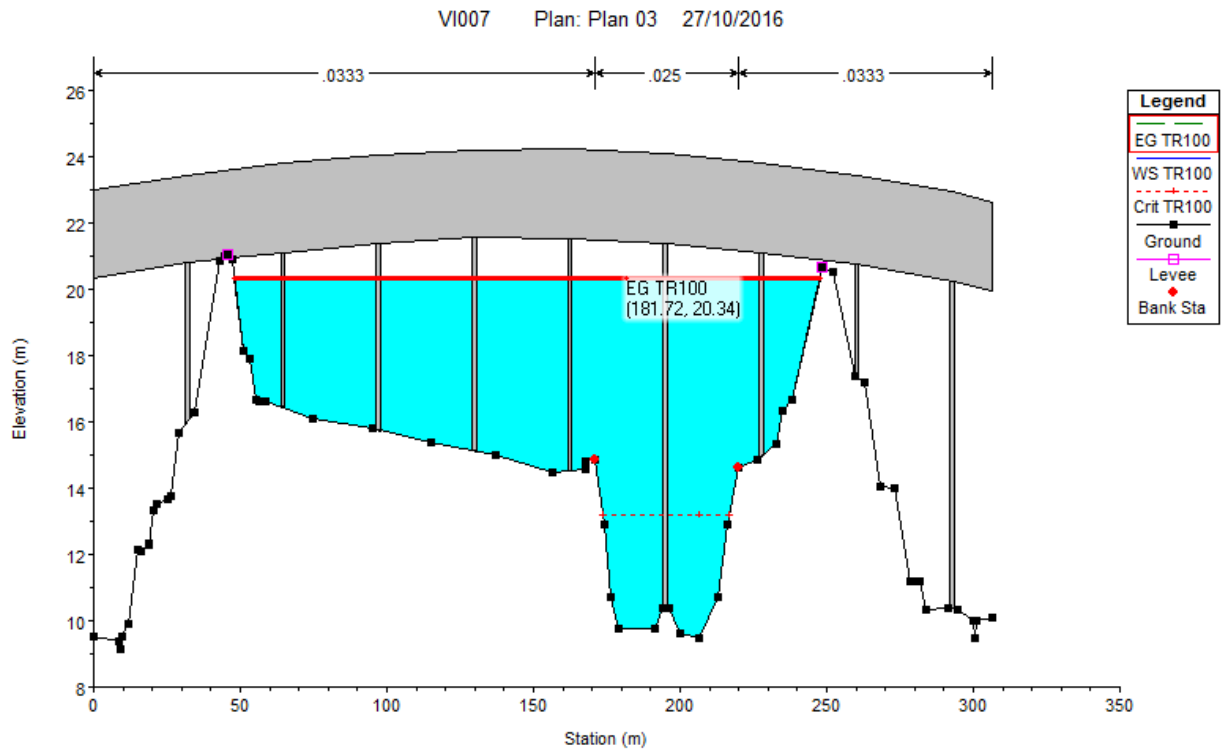


Figura 7: Stato di fatto - Fiume Reno sezione in corrispondenza dell'attraversamento stradale

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del ponte del fiume Reno è pari a 20.32 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 0,61 m agli appoggi in corrispondenza degli argini e di 1,22 m in corrispondenza della campata centrale.

Si riporta di seguito il profilo idraulico nella configurazione dello stato di fatto. Come è possibile vedere nel tratto in esame il livello idrico è contenuto all'interno degli argini, sono in corrispondenza dell'ultima sezione di valle si ha un esondazione.

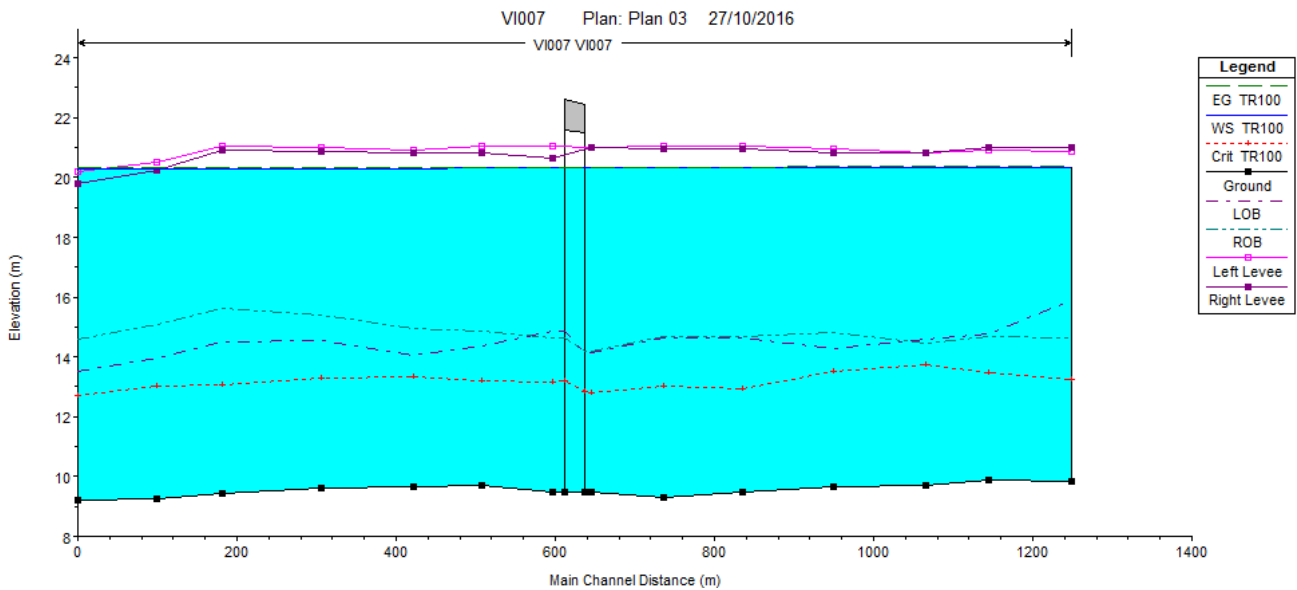


Figura 8: Stato di fatto - Fiume Reno profilo idraulico in corrispondenza dell'attraversamento stradale

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili di rigurgito dello stato di fatto e dello stato di progetto con la condizione di moto uniforme a valle e con la portata centennale in ingresso a monte.

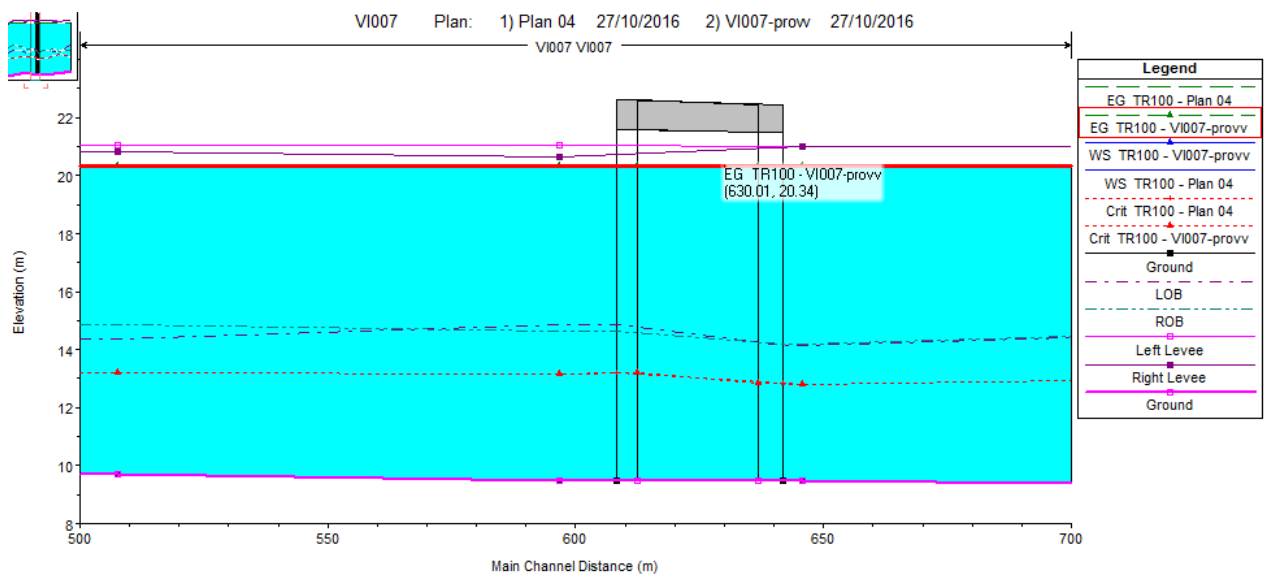


Figura 9: Profili di rigurgito dello stato di fatto e di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13

Come evidenziato nella figura precedente la sezione di deflusso, in corrispondenza del ponte autostradale il livello idrico non cambia tra stato di fatto e stato di progetto, in entrambi i casi è pari a 20,32 m slm.

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: Plan 04 VI007 VI007 RS: 636 Profile: TR100				
E.G. US. (m)	20.34	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	20.32	E.G. Elev (m)	20.34	20.34
Q Total (m3/s)	677.00	W.S. Elev (m)	20.32	20.32
Q Bridge (m3/s)	677.00	Crit W.S. (m)	12.83	13.20
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	10.82	11.19
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	0.56	0.61
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	1214.87	1108.44
Weir Submerg		Froude # Chl	0.08	0.09
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	4411.55	3884.02
Min El Weir Flow (m)	23.58	Hydr Depth (m)	6.06	5.81
Min El Prs (m)	21.47	W.P. Total (m)	276.92	265.55
Delta EG (m)	0.00	Conv. Total (m3/s)	126069.6	108308.4
Delta WS (m)	0.01	Top Width (m)	200.39	190.91
BR Open Area (m2)	1301.01	Frctn Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Vel (m/s)	0.61	C & E Loss (m)	0.00	0.00
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	1.24	1.60
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00

Figura 10: Parametri idraulici Ponte Autostradale A13

**- SIMULAZIONE CON PORTATA DI MONTE  $Q_{TR200} = 950.00 \text{ m}^3/\text{s}$  -**

Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto con portata bicentennale è riportato nella seguente figura.

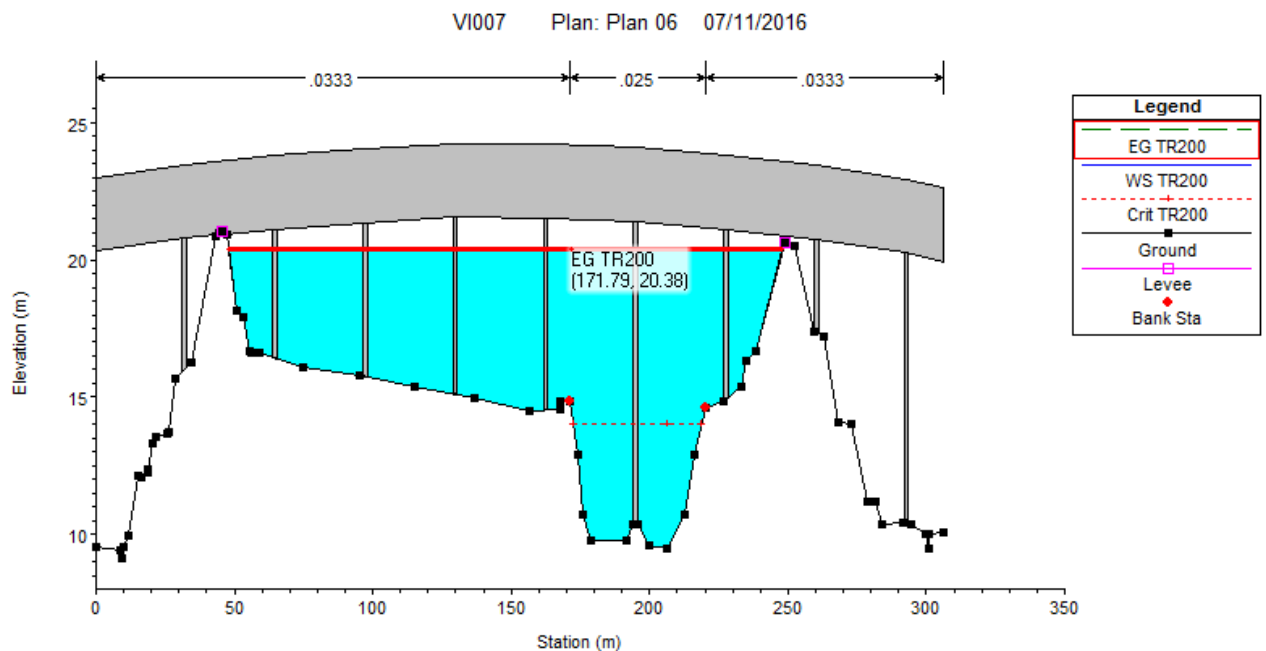


Figura 11: Stato di fatto - Fiume Reno sezione in corrispondenza dell'attraversamento stradale

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del ponte del fiume Reno è pari a 20.35 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 0,58 m agli appoggi in corrispondenza degli argini e di 1,19 m in corrispondenza della campata centrale.



Si riporta di seguito il profilo idraulico nella configurazione dello stato di fatto. Come è possibile vedere nel tratto in esame il livello idrico è contenuto all'interno degli argini, sono in corrispondenza dell'ultima sezione di valle si ha un esondazione.

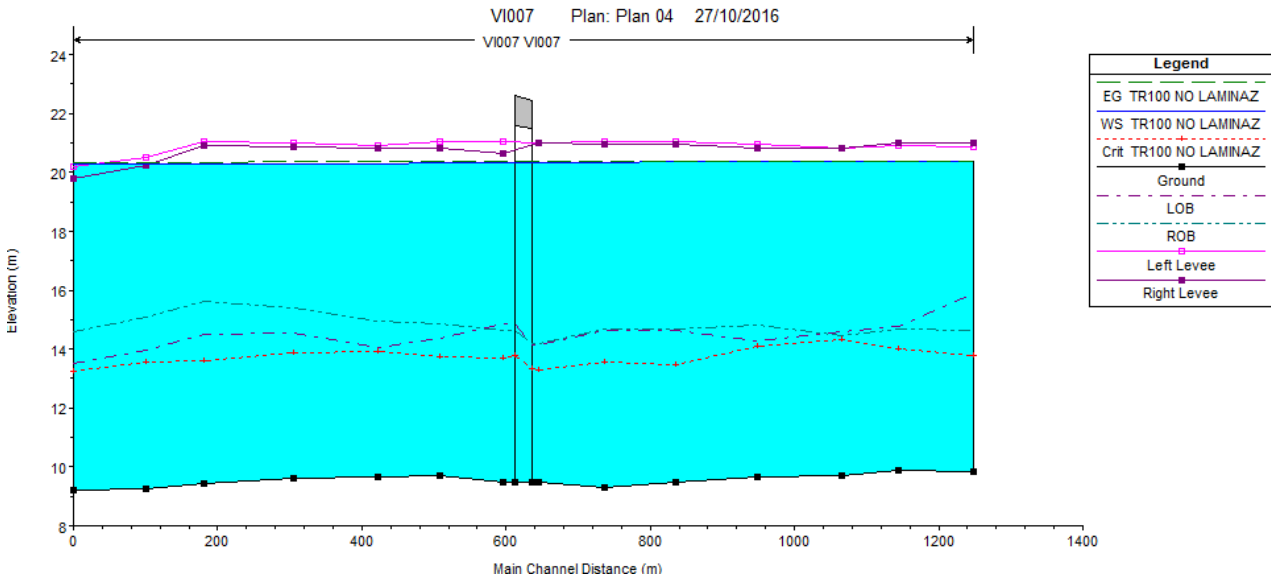


Figura 12: Stato di fatto - Fiume Reno profilo idraulico in corrispondenza dell'attraversamento stradale

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili di rigurgito dello stato di fatto e dello stato di progetto con la condizione di moto uniforme a valle e con la portata duecentennale in ingresso a monte.

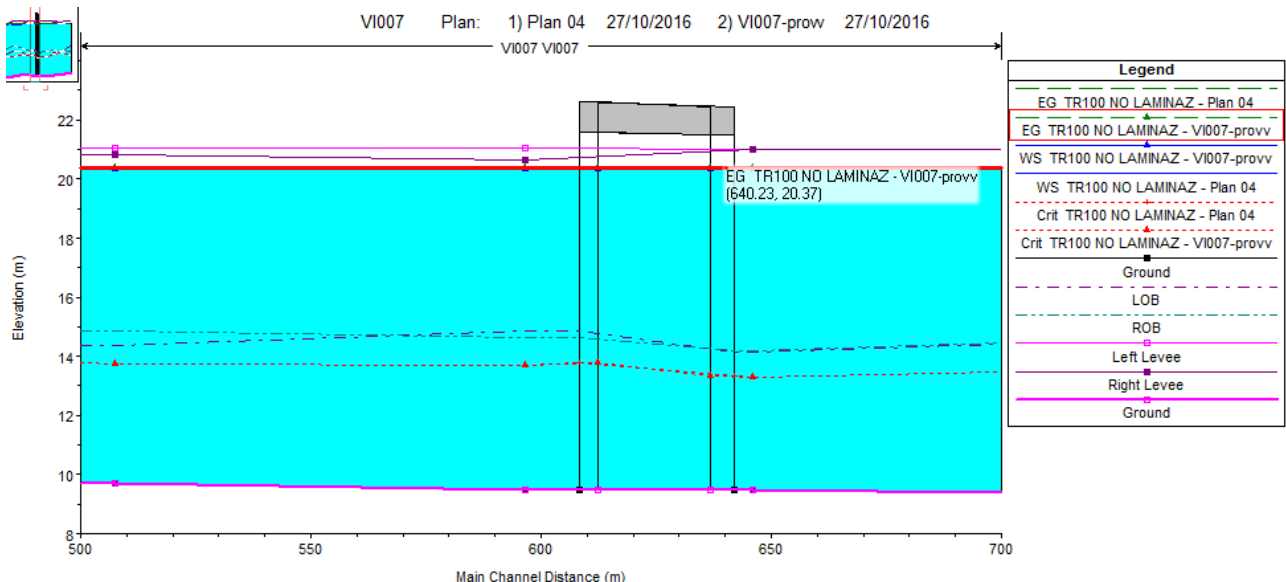


Figura 13: Profili di rigurgito dello stato di fatto e di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13

Come evidenziato nella figura precedente la sezione di deflusso, in corrispondenza del ponte autostradale il livello idrico non cambia tra stato di fatto e stato di progetto, in entrambi i casi è pari a 20,35 m s.l.m.

Dalla modellazione è possibile vedere che anche se la portata di progetto è molto maggiore di quella con tempo di ritorno pari a 100 anni, i livelli idrici cambiano di soli 3 cm. Questo è dovuto al fatto che il livello è governato da valle, in particolare risulta essere rigurgitato dal Ponte Gallo Ferrarese. Di fatto il tratto di alveo in esame sarebbe in grado di far transitare la portata centenaria con livelli idrici molto più bassi.

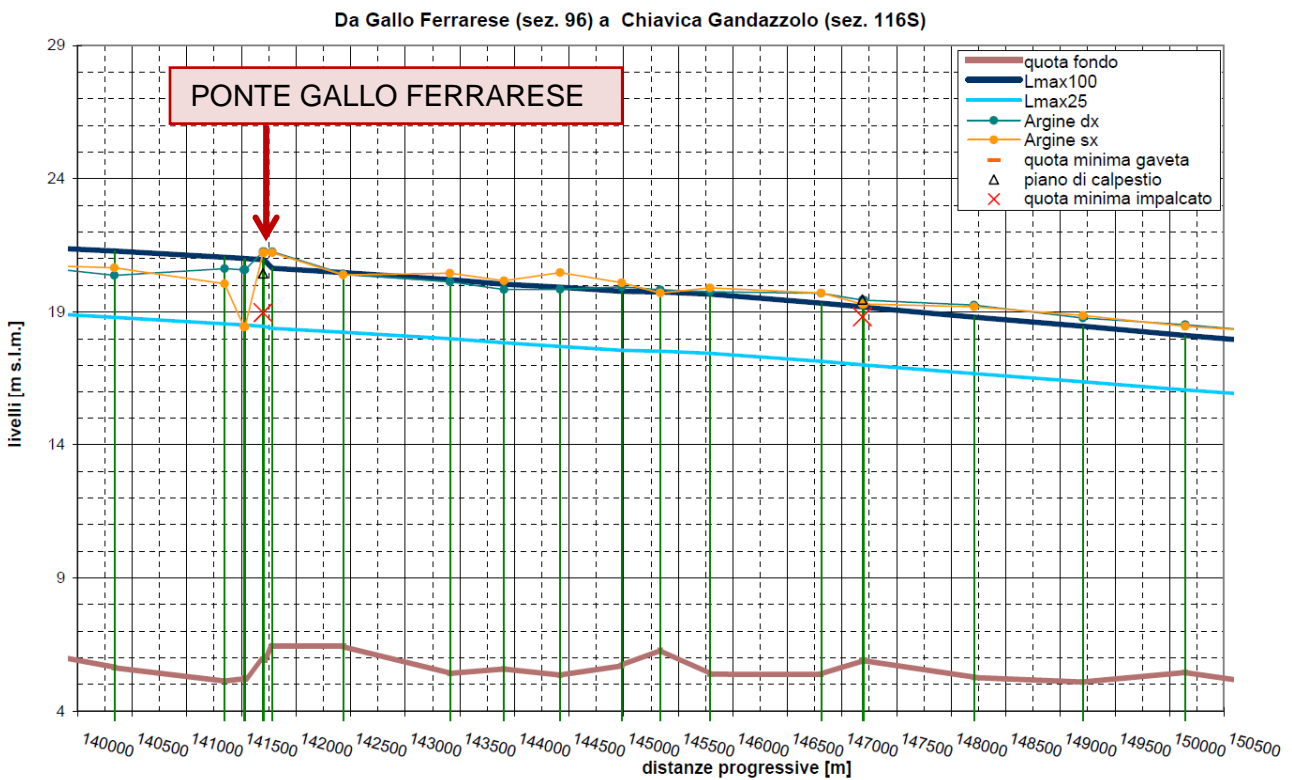


Figura 14: Profilo longitudinale del fiume Reno e inviluppo dei livelli idrici massimi per TR = 25 e 100 anni

Plan: Definitivo		VI007 VI007 RS: 636		Profile: TR200	
E.G. US. (m)	20.39	Element	Inside BR US	Inside BR DS	
W.S. US. (m)	20.35	E.G. Elev (m)	20.39	20.38	
Q Total (m3/s)	950.00	W.S. Elev (m)	20.34	20.33	
Q Bridge (m3/s)	950.00	Crit W.S. (m)	13.58	14.03	
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	10.84	11.20	
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	0.78	0.85	
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	1219.07	1111.32	
Weir Submerg		Froude # Chl	0.11	0.13	
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	4479.09	3946.62	
Min El Weir Flow (m)	23.58	Hydr Depth (m)	6.08	5.82	
Min El Prs (m)	21.47	W.P. Total (m)	277.26	265.80	
Delta EG (m)	0.01	Conv. Total (m3/s)	126628.7	108669.1	
Delta WS (m)	0.01	Top Width (m)	200.47	190.97	
BR Open Area (m2)	1301.01	Frctn Loss (m)	0.00	0.00	
BR Open Vel (m/s)	0.85	C & E Loss (m)	0.00	0.00	
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	2.43	3.13	
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00	

Figura 15: Parametri idraulici Ponte Autostradale A13

#### - FASE REALIZZATIVA – FASE ZERO -

Nella fase zero si considera la realizzazione di un guado per il superamento dei mezzi d'opera del Fiume Reno. Il guado sarà realizzato con uno sbarramento in alveo al di sotto del quale saranno posati n. 7 condotte a struttura portante in acciaio ondulato con sezione ribassata aventi luce 5,29 m e freccia 3,29 m. La sommità di sormonto del guado è stata fissata quota 13,62 m slm. Si è considerato un livello di allerta corrispondente ad un franco di 50 cm sulla quota di sommità del guado, pari quindi a 13,12 m slm

Si è verificato la configurazione con il guado con diverse portate al fine di definire la portata massima transitabile durante le fasi di realizzazione delle opere.

#### CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1: Q = 200.00 m<sup>3</sup>/s
  - o Simulazione n. 2: Q = 150.00 m<sup>3</sup>/s
- Condizione di valle: moto uniforme;

### RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate:

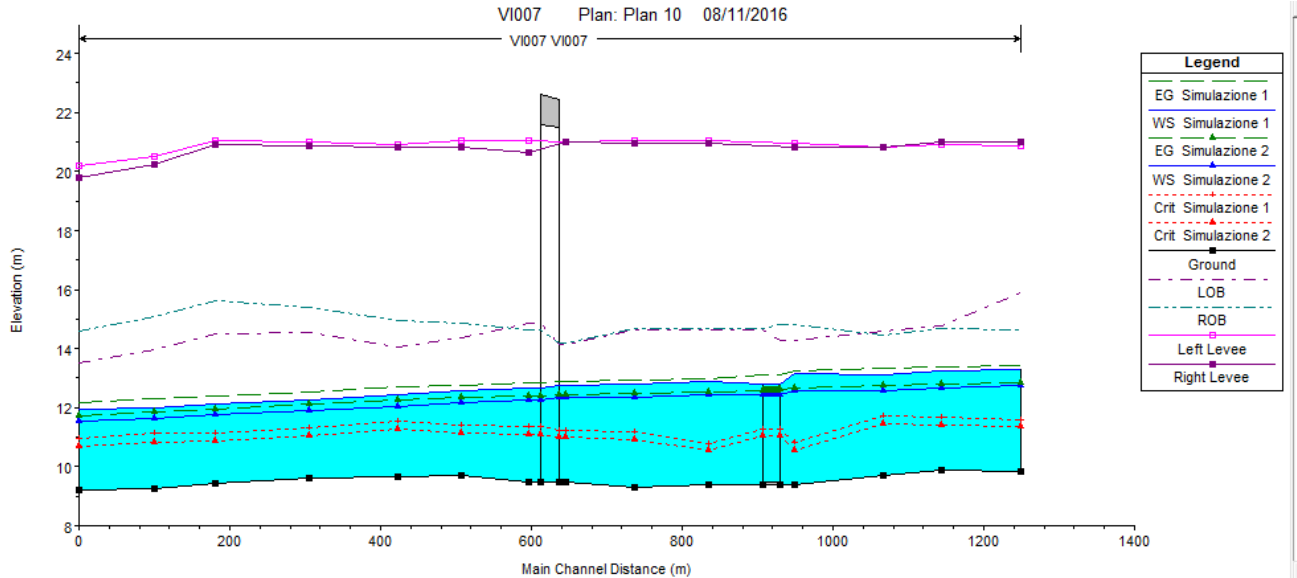


Figura 16: Profilo idraulico

Come è possibile vedere, l'attraversamento del guado inizia ad andare in pressione con portate pari o superiori a 200 m<sup>3</sup>/s, mentre ha un funzionamento a gravità per portate pari e inferiori a 150 m<sup>3</sup>/s.

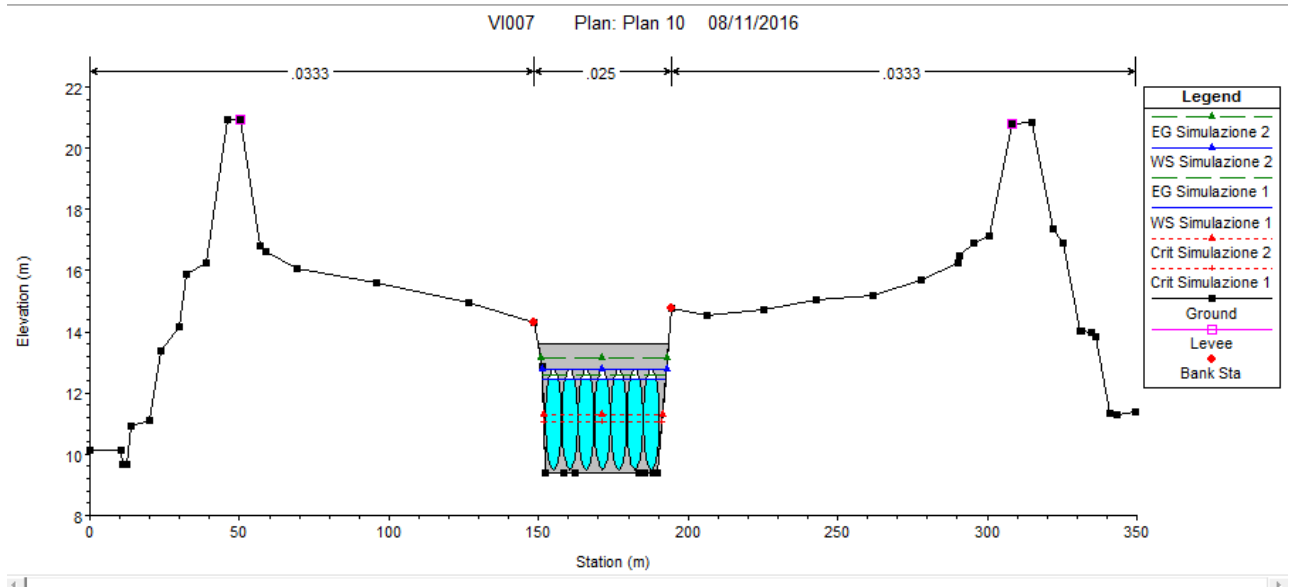


Figura 17: Sezione a monte del guado

Nella prima simulazione ( $Q = 200.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ) il livello che si instaura a monte dell'attraversamento del guado è pari a 12,78 m slm, ampiamente inferiore al livello di allerta di 13,12 m slm. È però possibile vedere che la quota della linea dell'energia si trova alla quota di 13,12 m slm. All'aumento del distacco tra livello idrico e linea dell'energia sta ad indicare un comportamento della corrente in pressione o in procinto di diventarlo, per questo motivo si ritiene che la portata di  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , sia la massima transitabile in condizione di sicurezza per la durata del guado.

Nel caso invece della seconda simulazione ( $Q = 150.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ) il livello idrico a monte del guado raggiunge quota 12,46 m slm, mentre la linea dell'energia quota 12,60 m slm, anch'essa contenuta all'interno delle tubazioni. Il comportamento dell'attraversamento in questo caso è sicuramente a gravità e quindi non comporta rischio per i mezzi d'opera.

In caso di eventi meteorologici che generi una portata maggiore di  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , il guado non potrà essere utilizzato in quanto verrà sormontato dalla piena.

#### **- FASE REALIZZATIVA – FASE 1 -**

Nella fase n. 1, si prevede di realizzare il plinto di fondazione della Pila n. 3, contemporaneamente si considera la presenza del guado simulato nella Fase Zero.

Le opere saranno realizzate mediante l'uso di una tura che avrà lo scopo di isolare l'area di lavoro dal corso d'acqua. La tura avrà una quota in sommità pari a 15.13 m slm.

#### **CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA**

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica è pari a  $Q = 150.00 \text{ m}^3/\text{s}$
- Condizione di valle: moto uniforme;

#### **RISULTATI DELLE SIMULAZIONI**

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate:

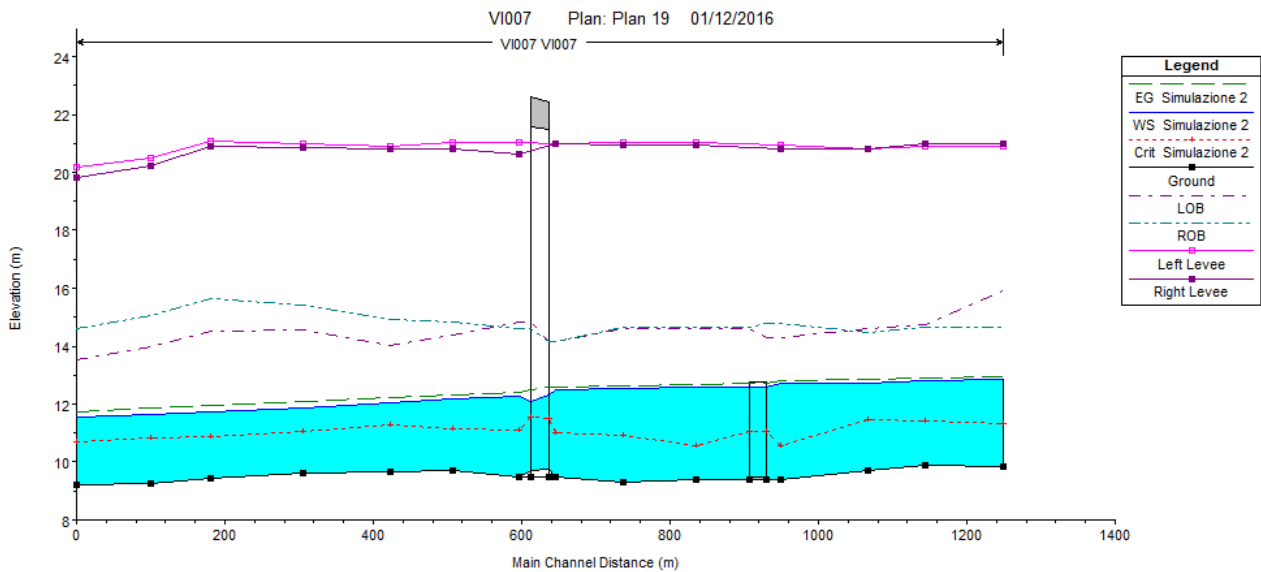


Figura 18: Profilo idraulico

Come è possibile vedere, l'elemento limitante della sistemazione idraulica provvisoria è l'attraversamento del guado.

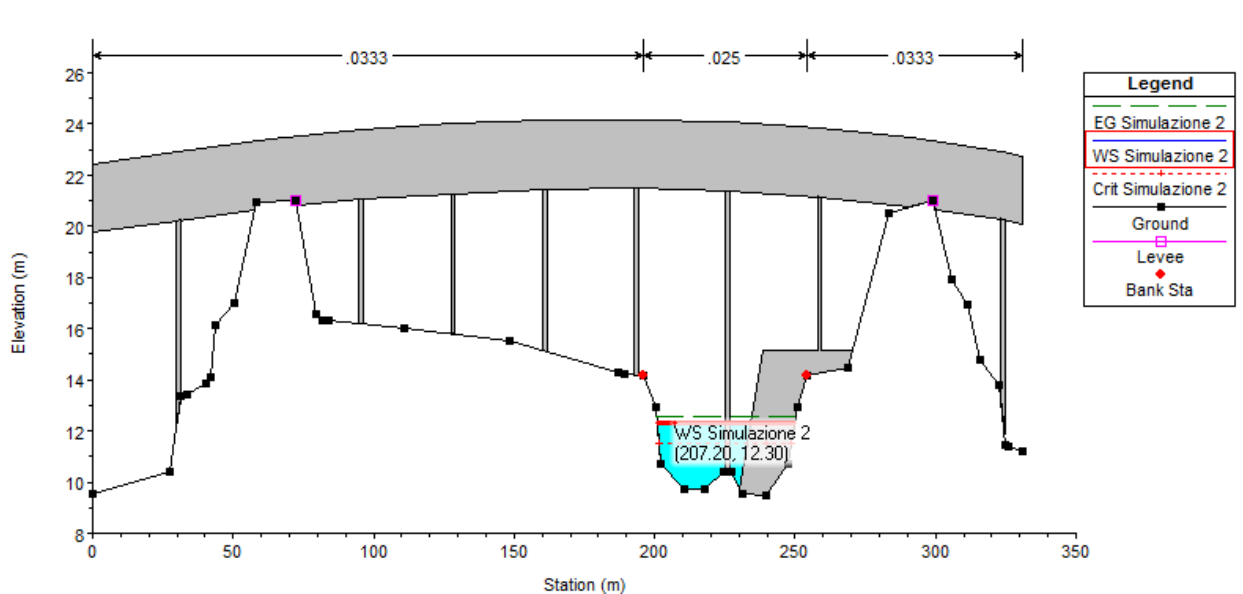


Figura 19: Sezione a monte dell'attraversamento

### - FASE REALIZZATIVA – FASE 2 -

Nella fase n. 2, si prevede di realizzare il plinto di fondazione della Pila n. 4 contemporaneamente si considera la presenza del guado simulato nella Fase Zero.

Le opere saranno realizzate mediante l'uso di una tura che avrà lo scopo di isolare l'area di lavoro dal corso d'acqua. La tura avrà una quota in sommità pari a 15.13 m slm.

## CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica è pari a  $Q = 150.00 \text{ m}^3/\text{s}$
- Condizione di valle: moto uniforme.

## RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate:

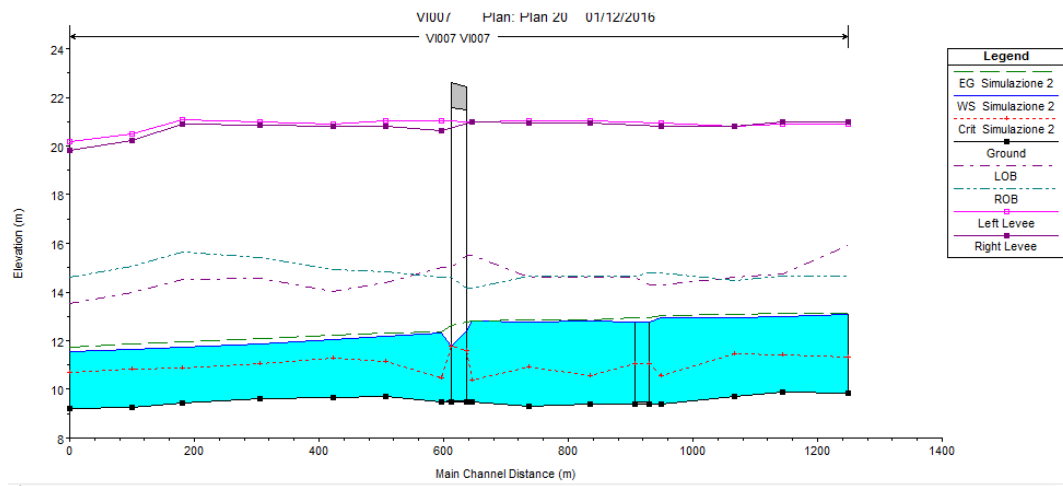


Figura 20: Profilo idraulico

Come è possibile vedere, anche in questo caso, l'elemento limitante della sistemazione idraulica provvisoria è l'attraversamento del guado.

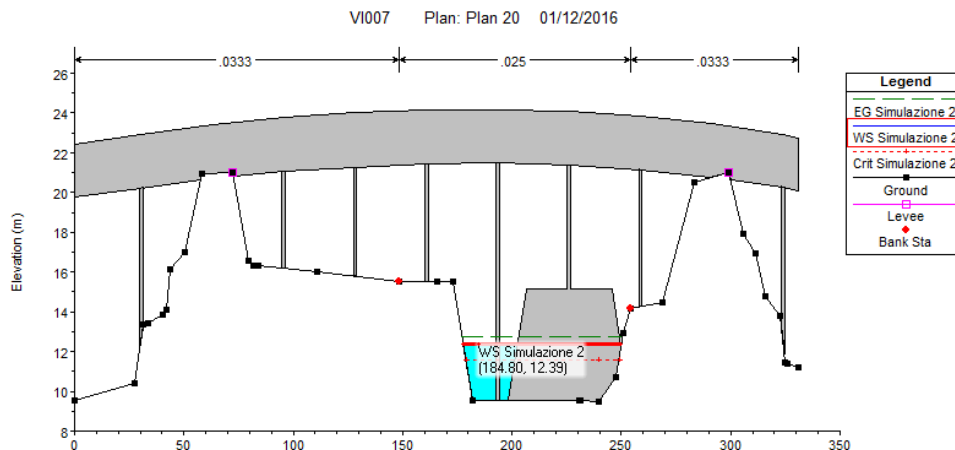


Figura 21: Sezione a monte dell'attraversamento

### - FASE REALIZZATIVA – FASE 3 -

Nella fase n. 3, si prevede di realizzare il plinto di fondazione della Pila n. 5, quello in alveo di magra, contemporaneamente si considera la presenza del guado simulato nella Fase Zero.

Le opere saranno realizzate mediante l'uso di una tura che avrà lo scopo di isolare l'area di lavoro dal corso d'acqua. La tura avrà una quota in sommità pari a 15.13 m slm.

### CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica è pari a  $Q = 150.00 \text{ m}^3/\text{s}$
- Condizione di valle: moto uniforme;

### RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate:



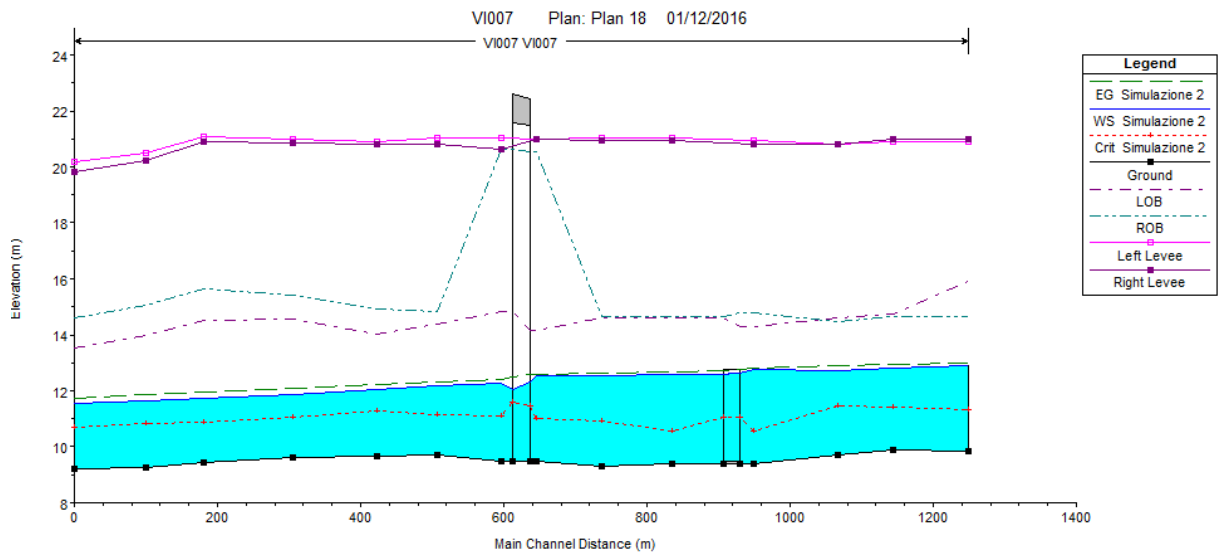


Figura 22: Profilo idraulico

Come è possibile vedere, anche in questo ultimo caso, l'elemento limitante della sistemazione idraulica provvisoria è l'attraversamento del guado.

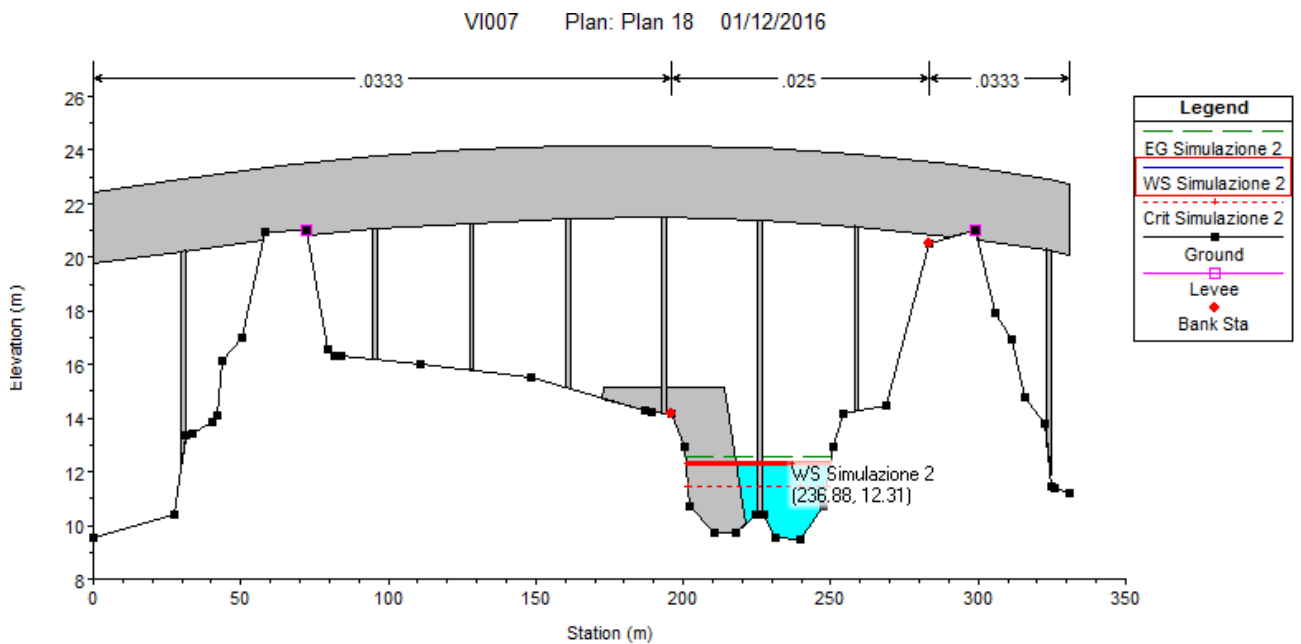


Figura 23: Sezione a monte dell'attraversamento

## - FASI REALIZZATIVE – CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate sulle configurazioni dell'alveo del Fiume Reno durante le fasi realizzative dell'opera, ne emerge la necessità di attuare dei controlli in continuo sia sui livelli della corrente che sulle portate in arrivo. Sarà quindi necessario l'istallazione di un misuratore di livello a monte del guado e delle ture che verifichi il non superamento dei livelli di sicurezza impostati nelle simulazioni.

Questi accorgimenti rendono necessario vincolare i lavori in alveo alle stagioni meno a rischio, come il periodo estivo. Le lavorazioni durante le fasi provvisorie che interessano l'alveo dovranno essere fatte prevalentemente in fase di magra.

Sebbene le fasi provvisorie permettano livelli più alti, questi comporterebbero la sommersione del guado e pertanto il livello di allarme rimane quello indicato per il guado.

## 7.2 SISTEMA IDRAULICO NAVILE – SAVENA ABBANDONATO

### 7.2.1 Bacino idrografico

Il reticolo idrografico principale che definisce il sistema cosiddetto “Navile-SavenaAbbandonato” è costituito dai seguenti corsi d'acqua:

- il Navile, con una lunghezza complessiva di circa 36 km di cui 22 arginati;
- il Battiferro, con una lunghezza di circa 2,3 km non arginato;
- il Savena Abbandonato, con una lunghezza complessiva di circa 32 km di cui 22 arginati;
- il Diversivo, con una lunghezza di circa 4 km, completamente arginato.

Di questi solo il Navile e ed il Diversivo interferiscono con l'autostrada A13, il primo alla progressiva pK 21+495, mentre il secondo alla progressiva pK 13+500.

L'insieme degli altri corsi d'acqua facenti parte del reticolo idrografico del sistema è statusubdiviso sostanzialmente in tre parti:

- reticolo idrografico “collinare”;
- rete “fognaria” e dei “canali” di Bologna;
- reticolo idrografico di “pianura”.

I corsi d'acqua più significativi del reticolo idrografico “collinare” sono i seguenti:

- rio Meloncello;
- torrente Ravone;
- rio Monte Griffone;
- canale di Reno;
- rio Aposa.

I corsi d'acqua più significativi del reticolo idrografico di “pianura”, che fanno parte dellarete dei canali di bonifica del “Consorzio della Bonifica Renana” sono i seguenti:

- Zenetta;
- canale Carsè;
- canale Calamosco;
- scolo canaletta di Cadriano.

Il bacino imbrifero del sistema Navile-Savena Abbandonato ha una superficie complessivadi circa 111 km<sup>2</sup> di cui approssimativamente:

- 78 nel Comune di Bologna;
- 10 nel Comune di Castel Maggiore;
- 7 nel Comune di Bentivoglio;
- 2 nel Comune di Argelato;
- 1 nel Comune di Casalecchio di Reno;
- 3 nel Comune di Castenaso;
- 10 nel Comune di Granarolo dell'Emilia.

Il bacino imbrifero del Navile prima del Diversivo ha una superficie complessiva di circa 58km<sup>2</sup>.

Il bacino imbrifero del Savena Abbandonato prima del Diversivo ha una superficie complessiva di circa 53 km<sup>2</sup>.

Il bacino di attività è costituito:

- o dalla derivazione della “Chiusa di Casalecchio” che immette acqua nel sistema mediante il Canaledi Reno;
- o dagli scarichi del depuratore di Bologna.

BACINO IMBRIFERO  
SUPERFICIE COMPLESSIVA  
111 km<sup>2</sup>

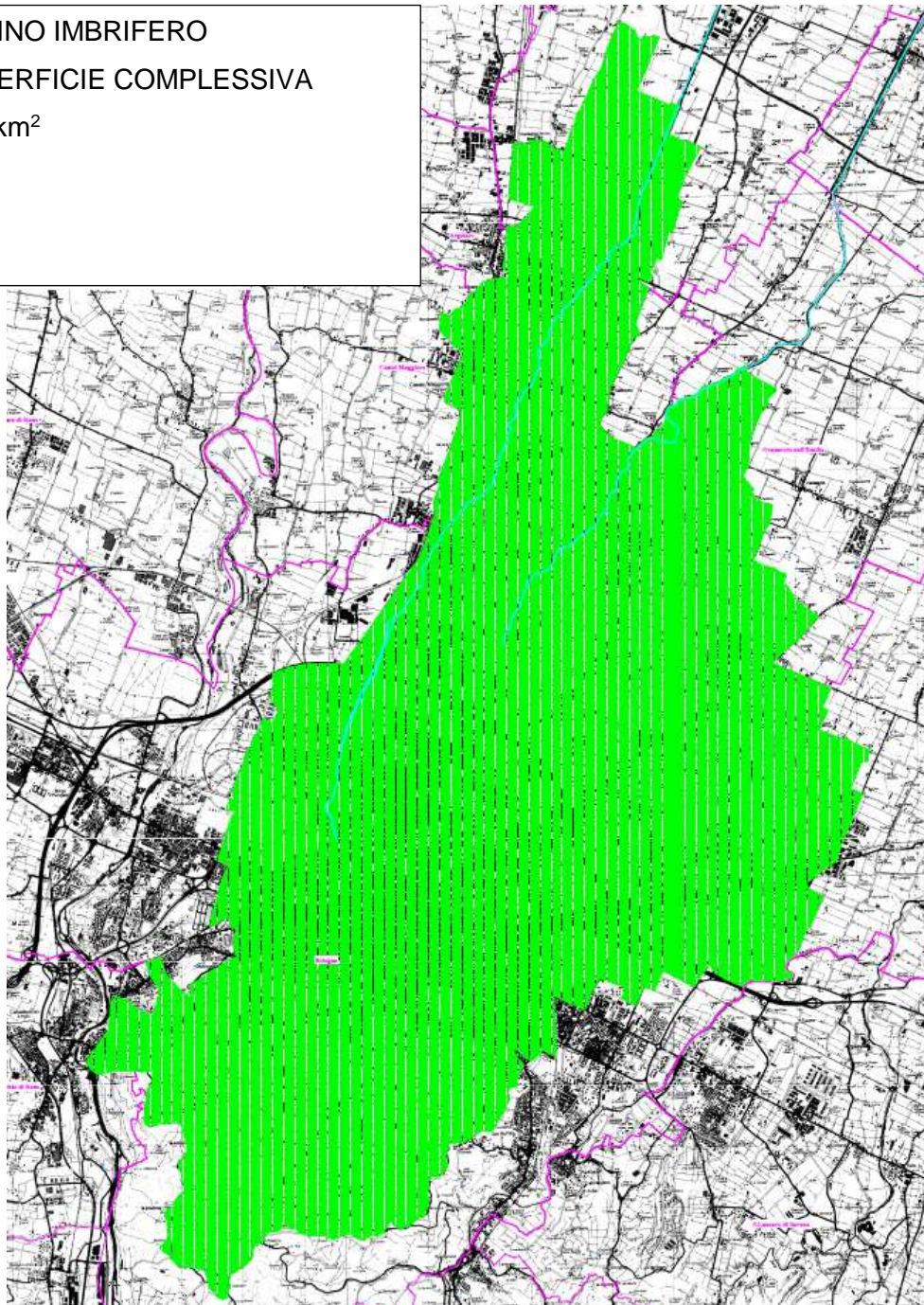


Figura 24: Bacino imbrifero del Sistema idraulico “Navile-Savena Abbandonato”

## 7.2.1 Dimensionamento delle opere in progetto – Canale Navile

### 7.2.1.1 Caratteristiche idrografiche

Il canale Navile interferisce con il tracciato autostradale alla progressiva Pk 21+495. Il corso d'acqua scorre parallelo a via Ponticelli, una via secondaria che si collega alla SS64 poco più a nord della frazione Pegola di Malalbergo (BO).

Il canale Navile è uno dei principali corsi d'acqua facenti parte del bacino del Reno. Il bacino imbrifero del Navile si sviluppa nei territori dei comuni di Bologna, Castel Maggiore, Bentivoglio, Argelato e Casalecchio di Reno, ed è dominato da superfici piate monotone deprimenti verso Nord-Est sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Il suo reticolo idrografico è suddiviso sostanzialmente in “collinare” e di “pianura”: nella zona collinare i principali corsi d'acqua che confluiscono nel Navile sono per lo più torrenti e rii, mentre nella zona di pianura, gli apporti derivano da corsi d'acqua che fanno parte della rete dei canali di bonifica gestiti dal Consorzio della Bonifica Renana.



*Figura 25: Canale Navile in corrispondenza del viadotto autostradale*

Nella figura seguente si possono notare le sezioni lato est ed ovest del canale Navile in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 21+495.

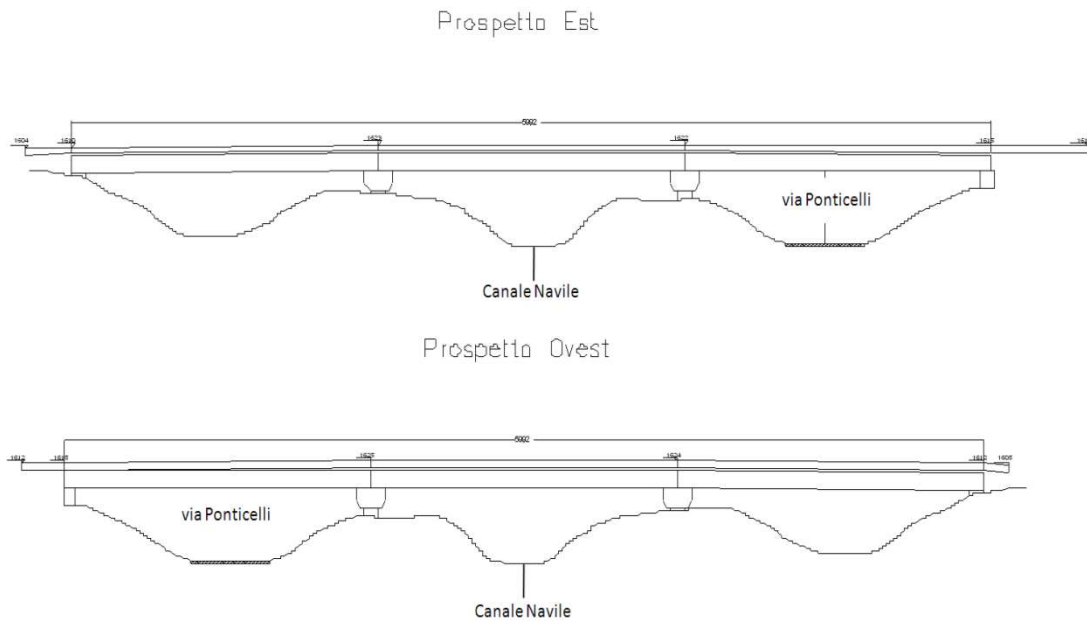


Figura 26: Canale Navile in corrispondenza del viadotto autostradale lato est ed ovest

## 7.2.2 Analisi idraulica dell'opera di attraversamento – Canale Navile

### 7.2.2.1 Caratteristiche dell'attraversamento

Il Canale Navile, interferito dal tracciato autostradale tra le Pk 21+495. Il viadotto di scavalco autostradale è lungo complessivamente circa 60 m, con n. 3 campate ciascuna avente luce pari a 20 m. Solo n. 1 delle n. 3 campate si trovano all'interno degli argini.

L'impalcato è realizzato con travi in CAP e soletta collaborante gettata in opera, esso supera la sommità arginale con un franco pari a circa 90-120 cm.

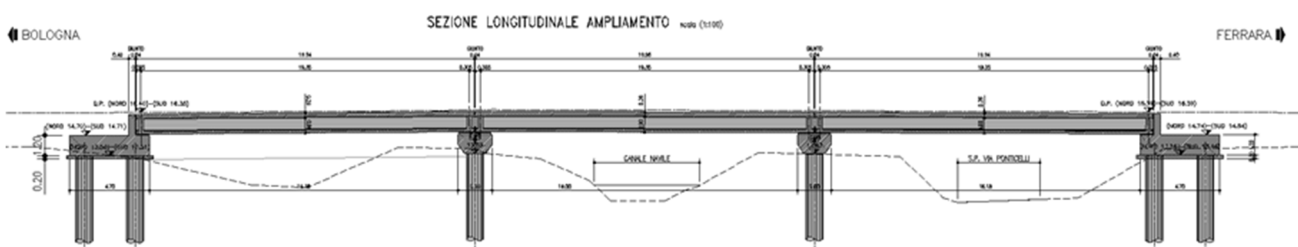


Figura 27: Ponte sul Canale Navile

Le pile sono costituite da n. 3 pali pila per carreggiata aventi diametro pari a 1000 mm.



*Figura 28: Ponte sul canale Navile – Pile esistenti*

#### **7.2.2.2 Definizione delle portate di riferimento**

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello canale Navile è la portata massima sostenibile ( $Q_{ms}=25.00\text{m}^3/\text{s}$ ), pari alla massima portata sostenibile dall'attuale sezione idraulica dello scolo. Questo perché nel piano dell'autorità di bacino non è stata calcolata la portata nel tratto a valle della confluenza del Diversivo, quindi si è deciso di verificare che l'allargamento del ponte esistente non vada ad inficiare sulla officiosità esistente del corso d'acqua.

Non si è optato per uno studio idrologico per definire la portata perché il tratto in esame è regolato da funzionamento del sistema Navile-Savena Abbandonato.

#### **7.2.2.3 Verifiche idrauliche**

##### **CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRATTO INDAGATO**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato del Canale Navile è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 353 m a monte dell'autostrada e per 430 m a valle, per una lunghezza totale, complessiva di ponte, di circa 803 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di diciassette sezioni trasversali, ortogonali all'asse del corso d'acqua.

Il tratto oggetto di studio comprende un unico manufatto ed è il ponte dell'autostrada, precedentemente descritto.

La sezione dell'alveo è pensile rispetto al territorio limitrofo ed è contenuta nei due argini maestri. Ha una forma trapezoidale con una larghezza sul fondo di circa 3,10-3,50 m, una larghezza in sommità di circa 12 m ed una altezza di circa 2,70 m.

Dal punto di vista dell'uso del suolo le sponde sono rivestite da erba, con tratti di canneti.



*Figura 29: Canale Navile in corrispondenza dell'attraversamento stradale*

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

<b>Coefficienti di scabrezza di Strickler</b>	
<b>(m<sup>1/3</sup>/s)</b>	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30

*Tabella: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello Canale Navile*

#### **CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA**

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'allargamento del viadotto e la rimodellazione dell'alveo.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Livello costante a valle pari a 13,00 m slm: questo è il livello del argine di più depresso nella sezione di valle, superato questo livello il corso d'acqua inizia a tracimare;
- Condizione di monte: la portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a  $Q = 25.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .



## RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto è riportato nella seguente figura.

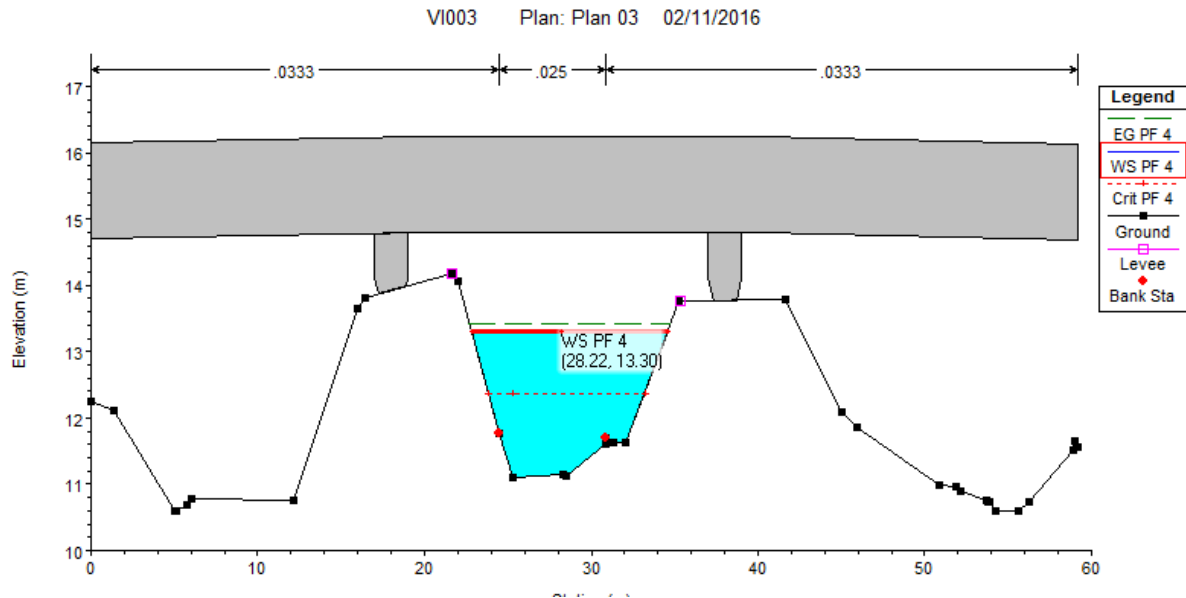


Figura 30: Stato di fatto –Canale Navile sezione in corrispondenza dell'attraversamento stradale

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del ponte del Canale Navile è pari a 13.30 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 1,58 m.

Si riporta di seguito il profilo idraulico nella configurazione dello stato di fatto. Come è possibile vedere nel tratto in esame il livello idrico è contenuto all'interno degli argini, solo in corrispondenza di alcune sezioni valle del ponte si ha un'esondazione. Tali sezioni si trovano a 350 m dall'attraversamento autostradale e sono quindi lontane, su esse si istaura un tirante sopra l'argine molto contenuto. Non trattandosi di esondazioni significative si è ritenuto che tale configurazione fosse quella dimensionate.

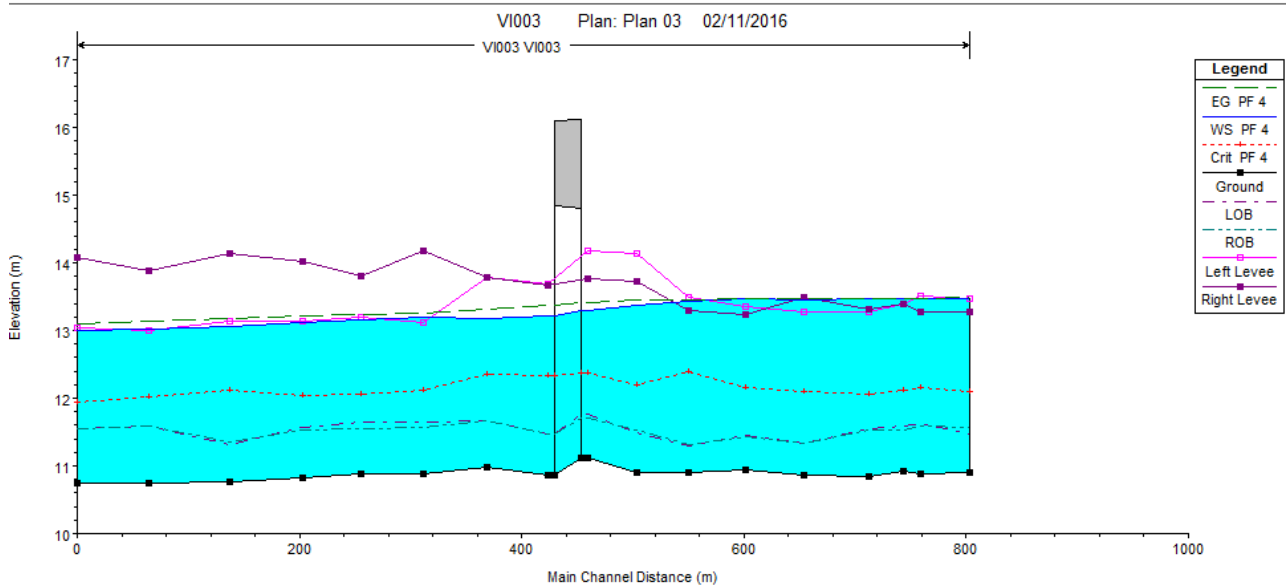


Figura 31: Stato di fatto –Canale Navile profilo idraulico in corrispondenza dell'attraversamento stradale

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili di rigurgito dello stato di fatto e dello stato di progetto.

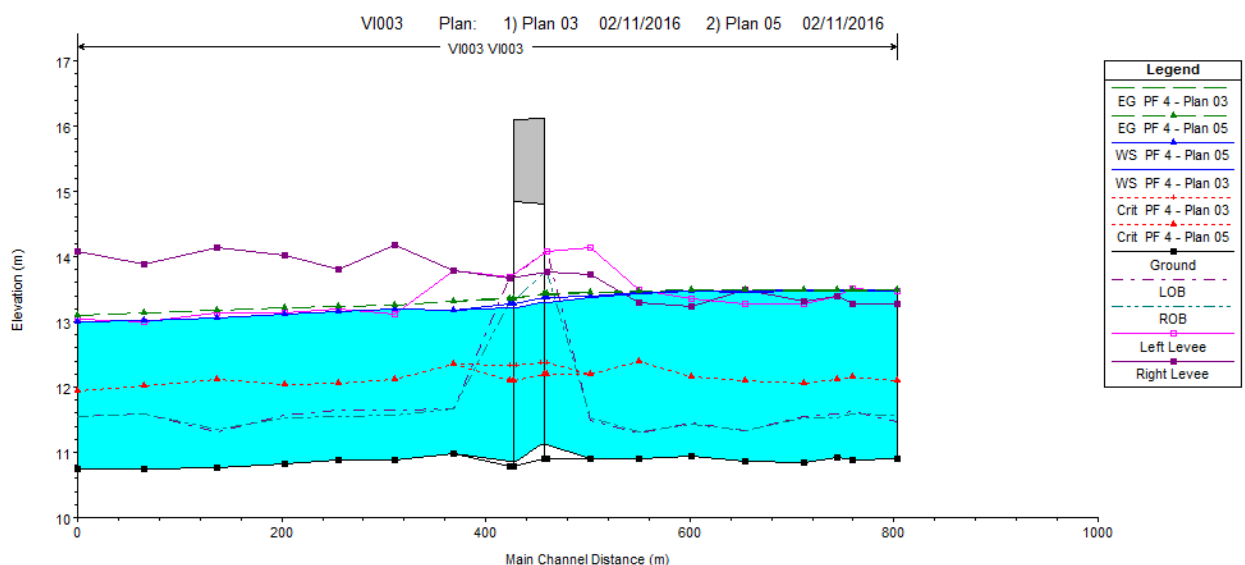


Figura 32: Profili di rigurgito dello stato di fatto e di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13

Come evidenziato nella figura precedente la sezione di deflusso, in corrispondenza del ponte autostradale il livello idrico non cambia tra stato di fatto e stato di progetto, in entrambi i casi è pari a 10,30 m slm.

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: Plan 03 VI003 VI003 RS: 453 Profile: PF 4				
E.G. US. (m)	13.42	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	13.30	E.G. Elev (m)	13.41	13.37
Q Total (m3/s)	25.00	W.S. Elev (m)	13.30	13.22
Q Bridge (m3/s)	25.00	Crit W.S. (m)	12.37	12.34
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	2.70	2.36
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.35	1.44
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	18.51	17.41
Weir Submerg		Froude # Chl	0.36	0.39
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	20.76	20.44
Min El Weir Flow (m)	16.15	Hydr Depth (m)	1.57	1.39
Min El Prs (m)	14.80	W.P. Total (m)	13.26	13.78
Delta EG (m)	0.05	Conv. Total (m3/s)	964.2	885.9
Delta WS (m)	0.09	Top Width (m)	11.78	12.53
BR Open Area (m2)	88.17	Frctn Loss (m)		
BR Open Vel (m/s)	1.44	C & E Loss (m)		
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	9.20	9.87
Br Sel Method	Momentum	Power Total (N/m s)	0.00	0.00

Figura 33: Parametri idraulici Ponte Autostradale A13

In questo caso il franco idraulico sul ponte si abbassa di 4 cm a causa dell'allargamento della sezione trasversale dell'autostrada, mantenendosi su livelli più che accettabili pari 1,54 m.

#### - FASE REALIZZATIVA – OPERE DI CANTIERIZZAZIONE -

Si è ritenuto non procedere con la simulazione degli eventi di piena per la fase di realizzazione delle opere e per la loro cantierizzazione, in quanto l'allargamento delle opere avviene senza la necessità di interferire con il deflusso.

Le pile sono realizzate con dei pulvini, interamente fuori terra, che poggiano direttamente su dei pali di fondazione. I mezzi d'opera possono operare sulla sommità arginale senza quindi interessare l'alveo in alcun modo.

La cantierizzazione stessa non ha la necessità di realizzare dei guadi in alveo in quanto le due rive sono facilmente raggiungibili con l'ausilio della viabilità locale e delle piste di cantiere.

### 7.2.3 Dimensionamento delle opere in progetto – Canale Diversivo

#### 7.2.3.1 Caratteristiche idrografiche

Il canale Diversivo interferisce con il tracciato autostradale alla progressiva Pk 13+500. Come precedentemente descritto il canale Diversivo collega il canale Navile al Savena Abbandonato. Esso si stacca dal canale Navile a sud dell'abitato di Bentivoglio sulla SP n. 45.



*Figura 34: Paratoie sul canale Navile necessarie per deviare al portata sul Canale Diversivo*



*Figura 35: Manufatto di regolazione sul nodo col canale Navile*

Il tracciato rettilineo taglia la pianura da ovest ad est con una sezione pensile arginata inerbita, tenendosi sempre a sud della SP n. 44, che collega Bentivoglio a Minerbio. Il canale Diversivo si immette nel Savena Abbandonato a nord dell'abitato di Casoni, dopo aver superato la SP n. 64.



Figura 36: Confluenza del canale Diversivo in Savena Abbandonato

Nella figura seguente si possono notare le sezioni lato est ed ovest del canale Diversivo in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 13+053.

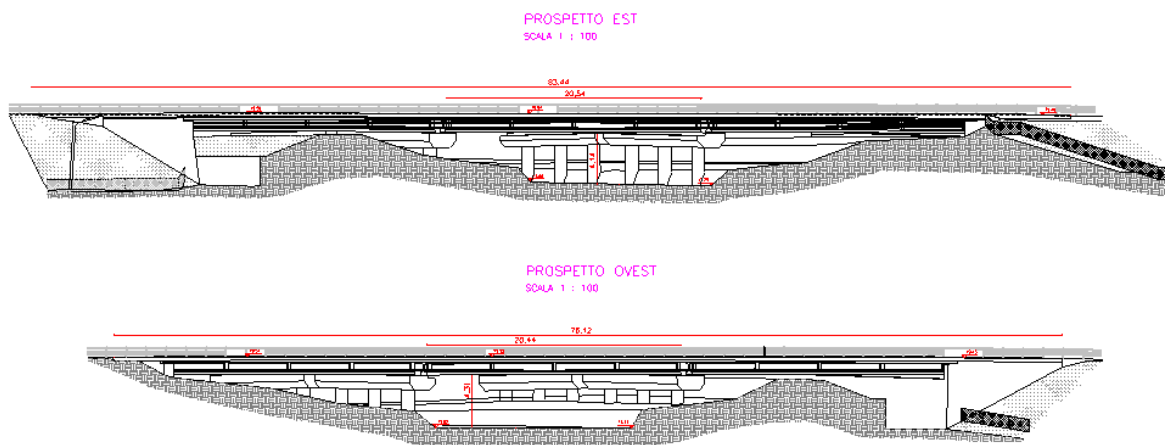


Figura 37: Canale Diversivo in corrispondenza del viadotto autostradale lato est ed ovest

## 7.2.4 Analisi idraulica dell'opera di attraversamento – Canale Diversivo

### 7.2.4.1 **Caratteristiche dell'attraversamento**

Il Canale Diversivo è interferito dal tracciato autostradale precisamente tra le Pk 13+023 e 13+087. Il viadotto di scavalco autostradale è lungo complessivamente circa 63 m, con n. 3 campate aventi luce pari a 21,50 m quella centrale, mentre le laterali hanno ciascuna una luce di 20.80 m. Le due pile centrali si trovano all'interno dell'alveo.

L'impalcato è realizzato con travi in CAP e soletta collaborante gettata in opera, esso supera la sommità arginale con un franco pari a circa 15-40 cm.

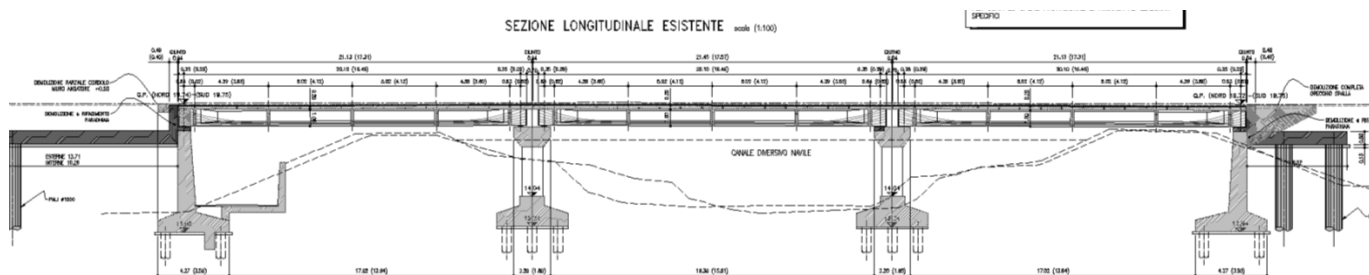


Figura 38: Ponte sul Canale Diversivo

Le pile sono costituite da n. 3 pilastri circolari per carreggiata aventi diametro pari a 1000 mm, nello stato di fatto. In fase di ampliamento dell'autostrada saranno realizzate ulteriori n. 2 pile per carreggiata.

Nello stato di fatto le pile appoggiano su un dado di fondazione di larghezza pari a 4,30 m, di altezza pari a 1,25 m e lunghezza pari a 25,65 m. Le fondazioni poggiano su dei pali di diametro 500 mm. Mentre nel progetto le pile appoggiano su un dado di fondazione di larghezza pari a 5,00 m, di altezza pari a 1,80 m e lunghezza pari a 40,65 m. Le nuove fondazioni poggiano su dei pali di diametro 1000 mm.

La profondità di ricoprimento dei dadi di fondazioni sono variabili lungo la sezione longitudinale dell'impalcato e variano all'interno degli argini da un minimo di 0,15 m a un massimo di 1,80 m. Nella configurazione di progetto il dado di fondazione emerge dal fondo alveo, quindi è stato previsto un rivestimento dello stesso.

Tale rivestimento teoricamente andrebbe a ridurre la sezione idraulica, cosa che però non avviene in quanto avendo previsto una rimodellazione dell'alveo la nuova sezione è più grande di quella esistente. Bilanciando le due quantità si vede che comunque la sezione dell'alveo a disposizione per il deflusso in corrispondenza dell'attraversamento aumenta di circa 26 mq.



*Figura 39: Ponte sul canale Diversivo*

#### **7.2.4.2 Definizione delle portate di riferimento**

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico del canale diversivo Navile è la portata massima definita nello studio della autorità di bacino, cioè quella attualmente sostenibile dal Canale Diversivo stesso e quella che si avrà a regime una volta ultimato il piano degli interventi. Tale portata è quella caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 50 anni ed è pari a  $Q(TR50)=65.10m^3/s$ .

Contemporaneamente sono state effettuate le verifiche con la portata duecentennale, come richiesto dalla attuale normativa. La portata con tempo di ritorno pari a 200 anni non è stata dichiarata nel piano dell'Autorità di Bacino, essendo il sistema Navile-Savena Abbandonato molto complesso ed in parte regolato si è optato per non effettuare un modello idrologico su scala di bacino per la determinazione delle portate di progetto perché i risultati ottenuti in un contesto del genere non avrebbero fornito valori attendibili.

Si è scelto quindi di utilizzare un metodo più semplice ma maggiormente efficace. Nel metodo cinematico i valori di portata sono funzioni che variano in modo linearmente proporzionali ai valori di altezza di pioggia caduta sul bacino ad un prefissato tempo di corrivazione.

Quindi se si parte dall'ipotesi che eventi meteorologici con diversi tempi di ritorno hanno i medesimi tempi di corrivazione e che i coefficienti di deflusso sono identici (su bacini molto estesi è una ipotesi più che veritiera), si può affermare che la portata è una funzione dell'altezza di pioggia.

Come visto nel capitolo dell'idrologia, i vari eventi con tempi di ritorno differenti sono accumulati dai medesimi valori del coefficiente  $n$  della curva di possibilità climatica, quindi se nella formula i valori di  $t_c$  e di  $n$  sono gli stessi è possibile affermare che le portate siano una funzione dei valori di  $a$ .

Di conseguenza la portata duecentennale è stata ricavata nel seguente modo a partire dalla portata con tempo di ritorno pari a 50 anni:

$$Q_{TR200} = \frac{a_{TR200}}{a_{TR50}} \cdot Q_{TR50} = \frac{69.91}{49.4} \cdot 65.10 = 92.12 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 7.2.4.3 Verifiche idrauliche

##### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRATTO INDAGATO

La rappresentazione geometrica del tratto indagato del Canale Diversivo è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 278 m a monte dell'autostrada e per 452 m a valle, per una lunghezza totale, complessiva di ponte, di circa 758 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di dieci sezioni trasversali, ortogonali all'asse del corso d'acqua.

Il tratto oggetto di studio comprende un unico manufatto ed è il ponte dell'autostrada, precedentemente descritto.

La sezione dell'alveo è pensile rispetto al territorio limitrofi, essa è contenuta nei due argini maestri, complessivamente ha una larghezza massima in sommità di 33 m ed una altezza tra fondo e sommità arginale di circa 4.60 m.

La sezione dell'alveo inciso ha una forma trapezoidale con una larghezza sul fondo di circa 12.50 m, una larghezza in sommità di circa 17 m ed una altezza di circa 1,80 m.

Dal punto di vista dell'uso del suolo le sponde sono inerbite.





Figura 40: Canale Diversivo in corrispondenza dell'attraversamento stradale

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

<b>Coefficienti di scabrezza di Strickler</b>	
<b>(m<sup>1/3</sup>/s)</b>	
Fondo dell'alveo	45
Sponde dell'alveo	35

Tabella: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello Canale Diversivo

### CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'allargamento del viadotto e la rimodellazione dell'alveo.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Livello costante a valle pari a 17,70 m slm per l'evento con TR50 (valore fornito dal piano stralcio per il sistema idraulico "Navile - Savena Abbandonato") e pari a 18,30 m slm per l'evento con TR200;
- Condizione di monte: si imposta l'altezza di moto uniforme e la portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a:
  - o  $Q(\text{TR50}) = 65.10 \text{ m}^3/\text{s}$
  - o  $Q(\text{TR200}) = 92.12 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto è riportato nella seguente figura.

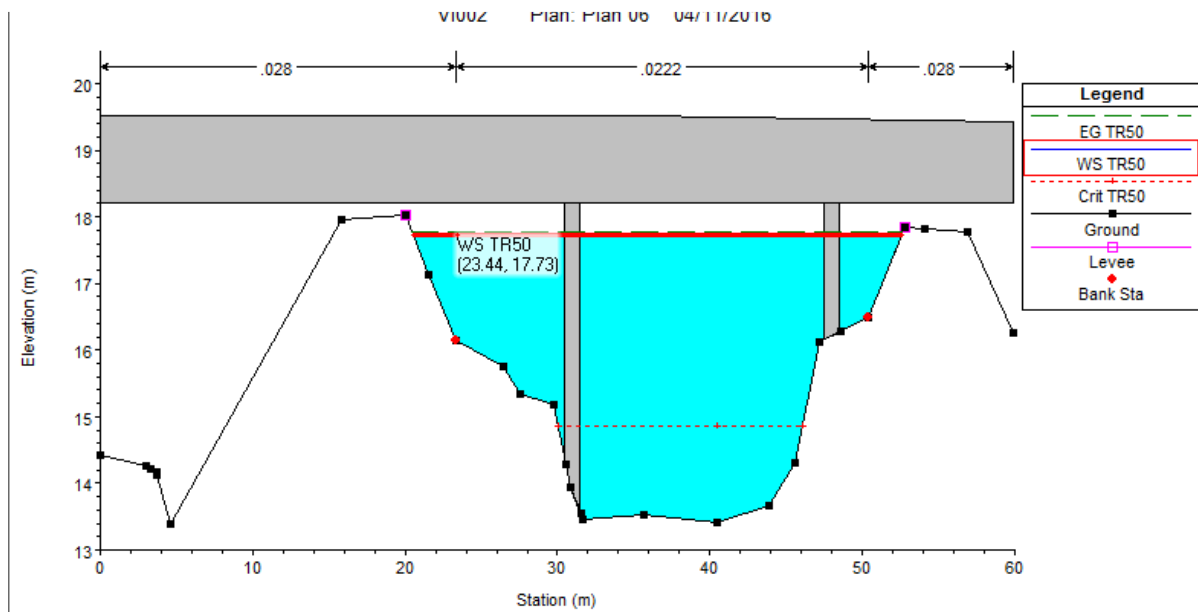


Figura 41: Stato di fatto – Canale Diversivo sezione sul attraversamento stradale – TR50

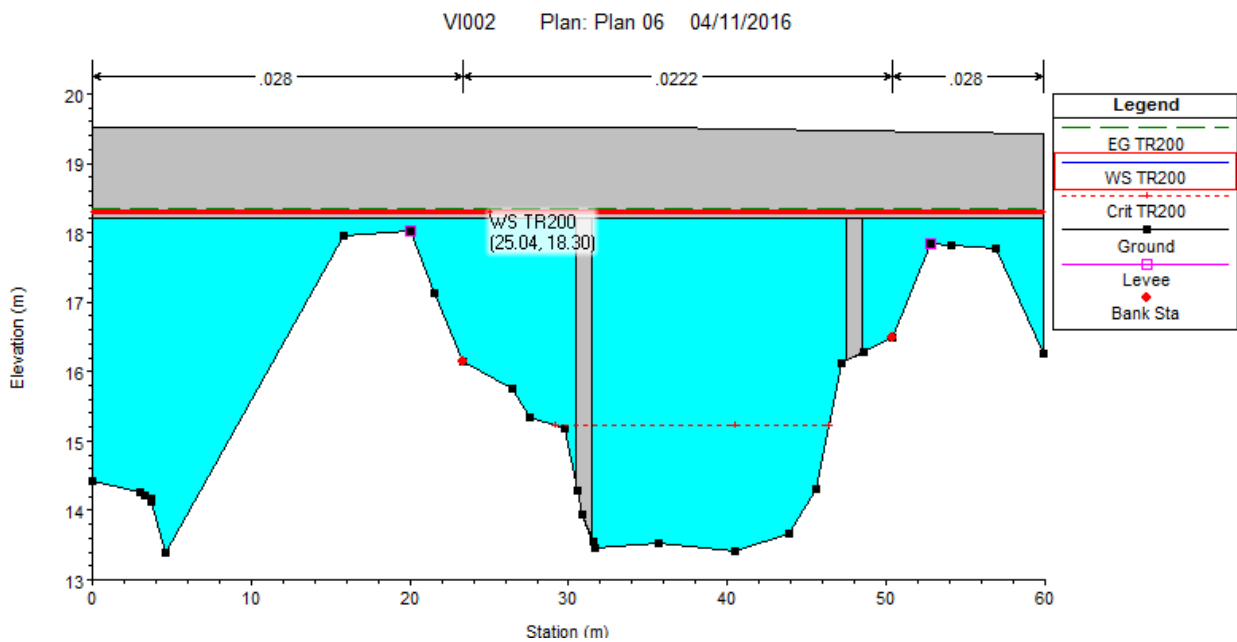


Figura 42: Stato di fatto – Canale Diversivo sezione sul attraversamento stradale – TR200

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del ponte del Canale Diversivo è pari a 17.73 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 0,47 m, con evento con tempo di ritorno pari a 50 anni, mentre è pari a 18.30 m slm con evento con tempo di ritorno pari a 200 anni. Come è possibile vedere oltre a far rigurgitare il ponte dell'autostrada la sezione dell'alveo è del tutto insufficiente al transito di tale portata, come del resto emerso anche nel piano stralcio.

Si riporta di seguito il profilo idraulico nella configurazione dello stato di fatto. Come è possibile vedere nel tratto in esame il livello idrico è contenuto all'interno degli argini per l'evento con TR50, mentre si ha una esondazione diffusa per l'evento con TR200.

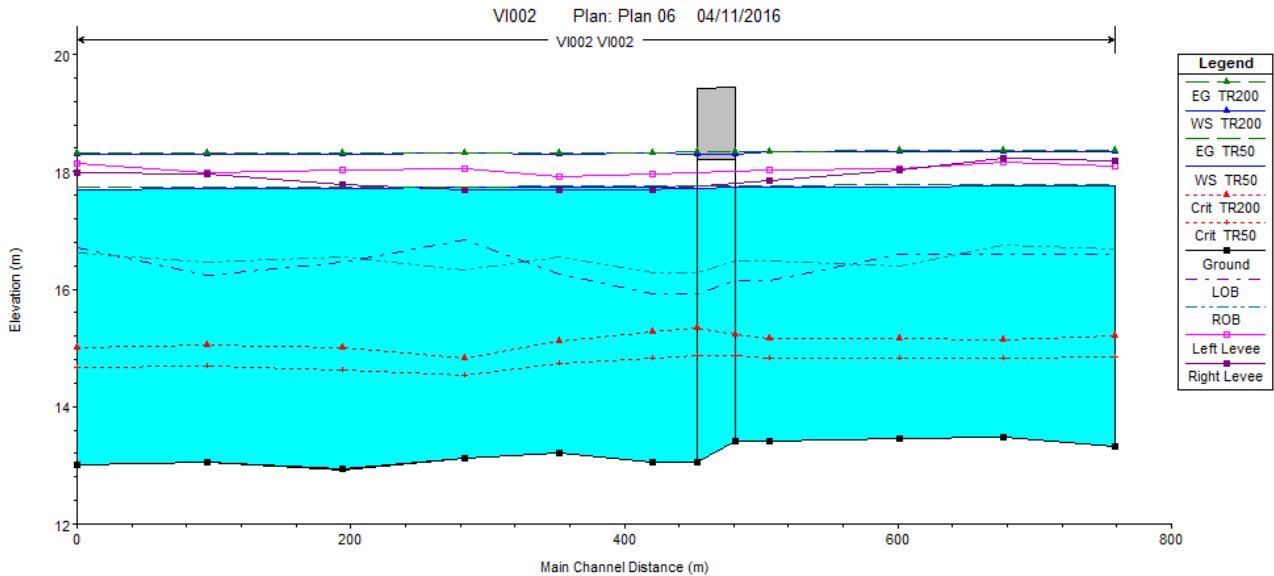


Figura 43: Stato di fatto – Canale Diversivo profilo idraulico sull'attraversamento stradale

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili di rigurgito dello stato di fatto e dello stato di progetto.

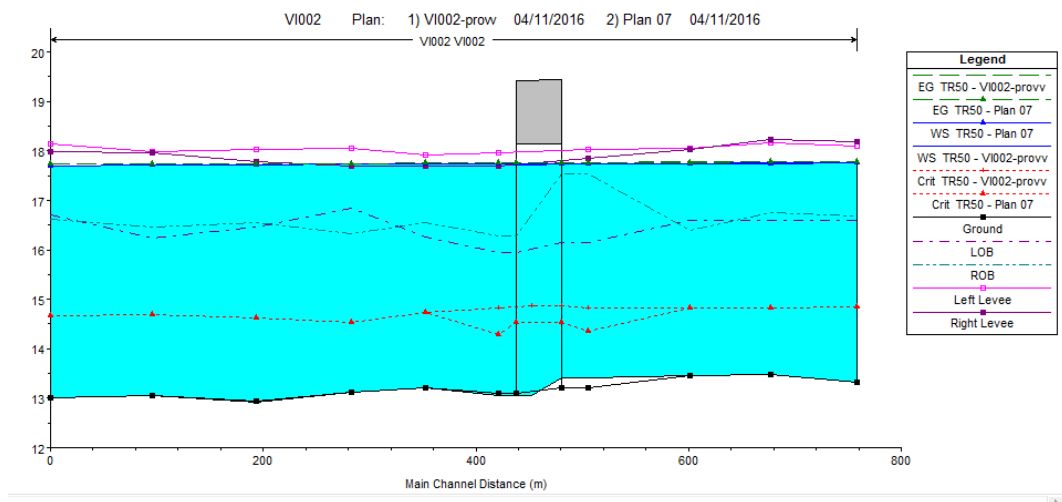


Figura 44: Profili di rigurgito dello stato di fatto e di progetto – TR50

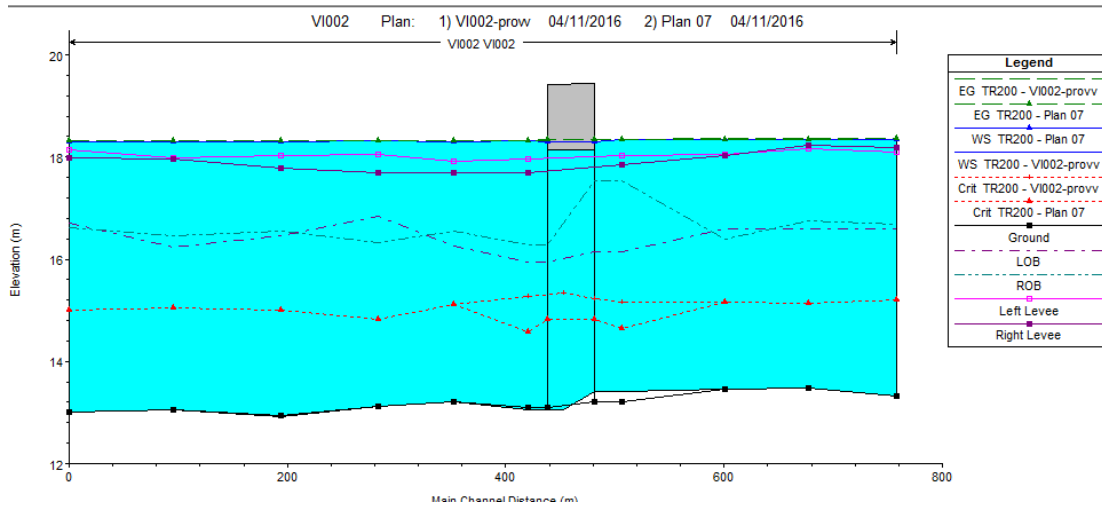


Figura 45: Profili di rigurgito dello stato di fatto e di progetto – TR200

Come evidenziato nei profili, in corrispondenza del ponte autostradale i livelli idrici in buona sostanza non cambiano tra stato di fatto e stato di progetto. Nel caso del progetto a monte del ponte si ha un livello di 17,74 m slm, con un franco di 0,40 m. La riduzione del franco è dovuto all'allargamento della sezione stradale che comporta un abbassamento alle estremità del ponte di 6 cm. Anche la condizione in caso di portata duecentennale non cambia, il ponte risulta essere anche in questo caso rigurgitato.

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: Plan 07 VI002 VI002 RS: 480 Profile: TR50				
E.G. US. (m)	17.76	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	17.74	E.G. Elev (m)	17.76	17.76
Q Total (m3/s)	65.10	W.S. Elev (m)	17.74	17.73
Q Bridge (m3/s)	65.10	Crit W.S. (m)	14.54	14.52
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	4.54	4.71
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	0.67	0.68
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	97.05	95.20
Weir Submerg		Froude # Chl	0.12	0.12
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	192.60	190.63
Min El Weir Flow (m)	19.47	Hydr Depth (m)	3.22	2.79
Min El Prs (m)	18.14	W.P. Total (m)	46.88	49.53
Delta EG (m)	0.01	Conv. Total (m3/s)	7258.5	7223.0
Delta WS (m)	0.00	Top Width (m)	30.15	34.09
BR Open Area (m2)	109.32	Frctn Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Vel (m/s)	0.68	C & E Loss (m)	0.00	0.00
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	1.63	1.53
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00

Figura 46: Parametri idraulici Ponte Autostradale A13 – TR50

Plan: Plan 07 VI002 VI002 RS: 480 Profile: TR200				
E.G. US. (m)	18.35	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	18.33	E.G. Elev (m)	18.34	18.33
Q Total (m3/s)	92.12	W.S. Elev (m)	18.31	18.29
Q Bridge (m3/s)	92.12	Crit W.S. (m)	14.83	14.82
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	5.11	5.27
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	0.84	0.84
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	109.39	109.32
Weir Submerg		Froude # Chl	0.12	0.12
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	255.96	252.90
Min El Weir Flow (m)	19.47	Hydr Depth (m)		
Min El Prs (m)	18.14	W.P. Total (m)	80.05	86.38
Delta EG (m)	0.02	Conv. Total (m3/s)	6230.2	6221.1
Delta WS (m)	0.02	Top Width (m)		
BR Open Area (m2)	109.32	Frctn Loss (m)	0.01	0.00
BR Open Vel (m/s)	0.84	C & E Loss (m)	0.00	0.01
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	2.93	2.72
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00

Figura 47: Parametri idraulici Ponte Autostradale A13 – TR200

#### - FASE REALIZZATIVA – FASE ZERO-

Nella fase zero si considera la realizzazione di un guado per il superamento dei mezzi d'opera del canale Diversivo.

Il guado sarà realizzato con uno sbarramento in alveo al di sotto del qual saranno posati n. 4 condotte a struttura portate in acciaio ondulato con sezione ribassata aventi luce 3,40 m e freccia 2,24 m. La sommità di sormonto del guado è stata fissata quota 17,04 m slm.

Si è verificato la configurazione con il guado con diverse portate e condizioni di valle, in quanto il Canale Diversivo è molto influenzato dalle condizioni del Savena Abbandonato.

#### CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: si imposta l'altezza di moto uniforme e le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 35.00 \text{ m}^3/\text{s}$
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 40.00 \text{ m}^3/\text{s}$
  - o Simulazione n. 3:  $Q(\text{TR}10) = 51.30 \text{ m}^3/\text{s}$  – Portata corrispondente al tempo di ritorno di 10 anni individuata nel piano stralcio;
- Condizione di valle: si sono considerate due ipotesi:
  - o Ipotesi n. 1: nella sezione di valle si forma il moto uniforme;
  - o Ipotesi n. 2: il livello di valle è influenzato dal livello del Savana Abbandonato ed è

pari a 17,10 m slm, corrispondente al livello dichiarato dall'Autorità di Bacino nel piano stralcio per un tempo di ritorno pari a 10 anni.

### IPOTESI 1: CONDIZIONI DI VALLE A MOTO UNIFORME

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate:

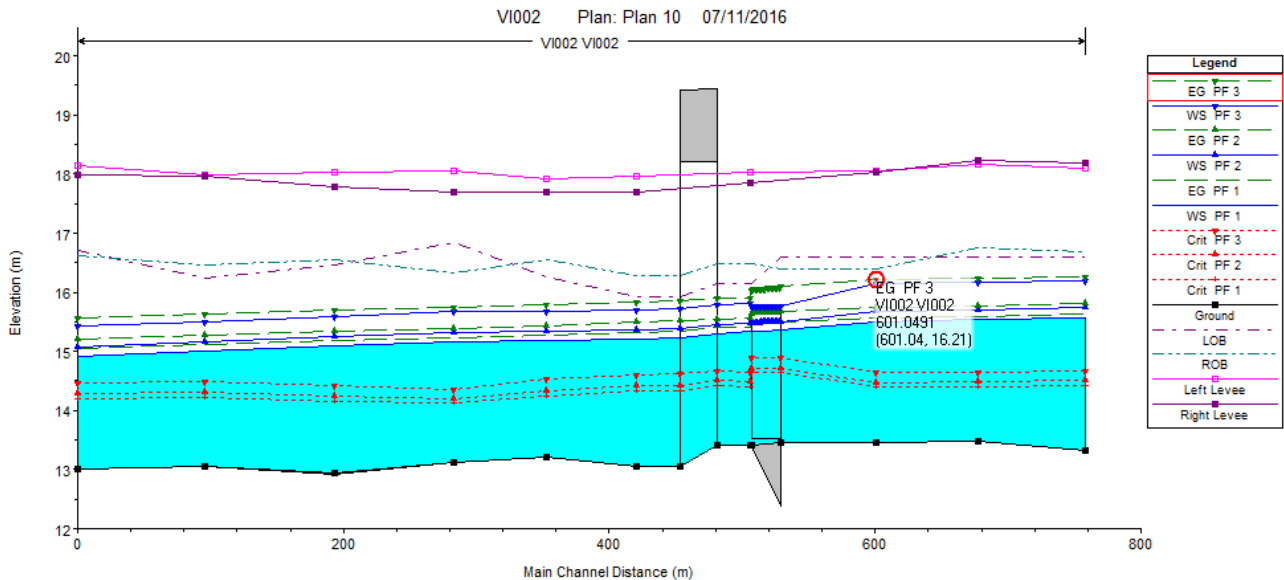


Figura 48: Profilo idraulico

Come è possibile vedere, anche in caso di eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 10 anni, il livello non supera mai quota 16,21 m slm (sulla sezione a monte), con un franco sulla quota di sormonto di 0,83 m, più che adeguato per una fase realizzativa.

### IPOTESI 2: CONDIZIONI DI VALLE GOVERNATA DAL SAVENA ABBANDONATA E PARI AL LIVELLO TR10 ANNI

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra le sezioni a monte del guado sollecitate con le diverse portate considerate:

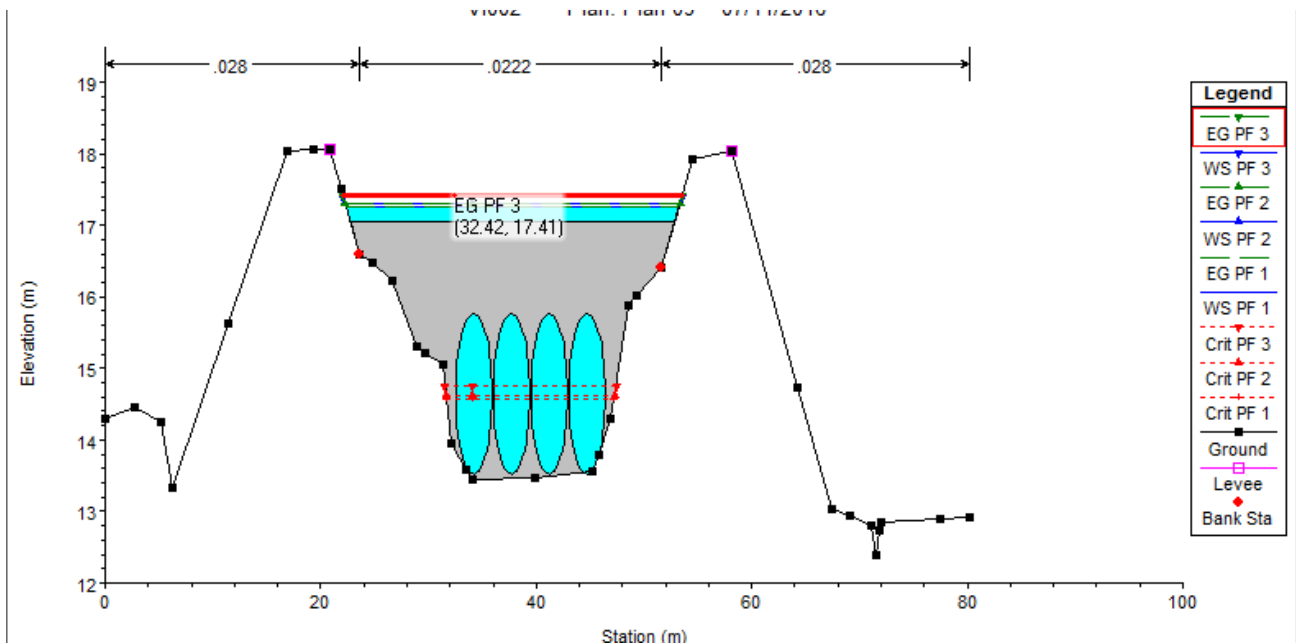


Figura 49: Sezione a monte del guado

In questo caso è possibile vedere come tutte e tre le portate facciano sì che il guado venga sormontato, a dimostrazione di quanto sia fondamentale la condizione di valle in questo canale.

Sarà quindi necessario avere un doppio controllo sui livelli, il primo a monte del guado sul Canale Diversivo, il secondo sarà da effettuare sulla confluenza con il Savena Abbandonato a monte del ponte della SP 64.

Si è deciso di fissare come livello di allarme il livello corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sormonto del guado, il che si traduce in un livello a monte del guado stesso pari a 16,54 m slm, ne deriva che i limiti di utilizzo del guado sanno i seguenti:

- Simulazione n. 1:  $Q = 35.00 \text{ m}^3/\text{s}$ : livello a monte del ponte sul Diversivo Navile pari a 16,30 m slm;
- Simulazione n. 2:  $Q = 40.00 \text{ m}^3/\text{s}$ : livello a monte del ponte sul Diversivo Navile pari a 16,20 m slm;
- Simulazione n. 3:  $Q(\text{TR}10) = 51.30 \text{ m}^3/\text{s}$ : livello a monte del ponte sul Diversivo Navile pari a 15,90 m slm

**- FASE REALIZZATIVA – FASE1: REALIZZAZIONE PROLUNGAMENTO PILA LATO FERRARA-**

Nella fase n. 1 si andrà a realizzare il prolungamento della pila lato Ferrara. Tale fase è la più critica in quanto la pila si trova sulla sponda interna dell'alveo, vicina al suo piede. Non essendovi la possibilità di infiggere palancole o diaframmi, si è costretti a realizzare le opere con una tura in alveo, che restringe notevolmente l'alveo. La sommità della tura è stata posta a 16,17 m slm, quota alla quale è possibile passare sotto l'impalcato con un mezzo per posare la scogliera. Contemporaneamente si realizzerà una risagomatura dell'argine lato Bologna al fine di aumentare la capacità di deflusso, tale rimodellazione potrà essere mantenuta al termine dei lavori, in quanto è la stessa di quella prevista nella sistemazione di progetto.

Si è verificato la configurazione con il guado con diverse portate e condizioni di valle, in quanto il Canale Diversivo è molto influenzato dalle condizioni del Savana Abbandonato.

Come primo risultato è stato possibile vedere che in nessun caso è possibile far transitare la portata di un evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 10 anni, come fatto col guado.

**CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA**

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: si imposta l'altezza di moto uniforme e le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 25.00 \text{ m}^3/\text{s}$
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 30.00 \text{ m}^3/\text{s}$
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 35.00 \text{ m}^3/\text{s}$
- Condizione di valle: si sono considerate due ipotesi:
  - o Ipotesi n. 1: nella sezione di valle si forma il moto uniforme;
  - o Ipotesi n. 2: i livelli di valle del Savana Abbandonato che mettono in crisi le opere provvisionali.

In tutti i casi sono state considerate come condizioni di sicurezza per l'operato dei mezzi d'opera e per gli operatori le seguenti condizioni:

- Livello in corrispondenza della tura: si è considerato un livello di allerta corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sommità della tura, pari quindi a 15,67 m slm;
- Livello in corrispondenza del guado: in questo caso si verificherà di avere almeno 20 cm di



franco sulla quota di sormonto.

### IPOSTESI 1: CONDIZIONI DI VALLE A MOTO UNIFORME

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate:

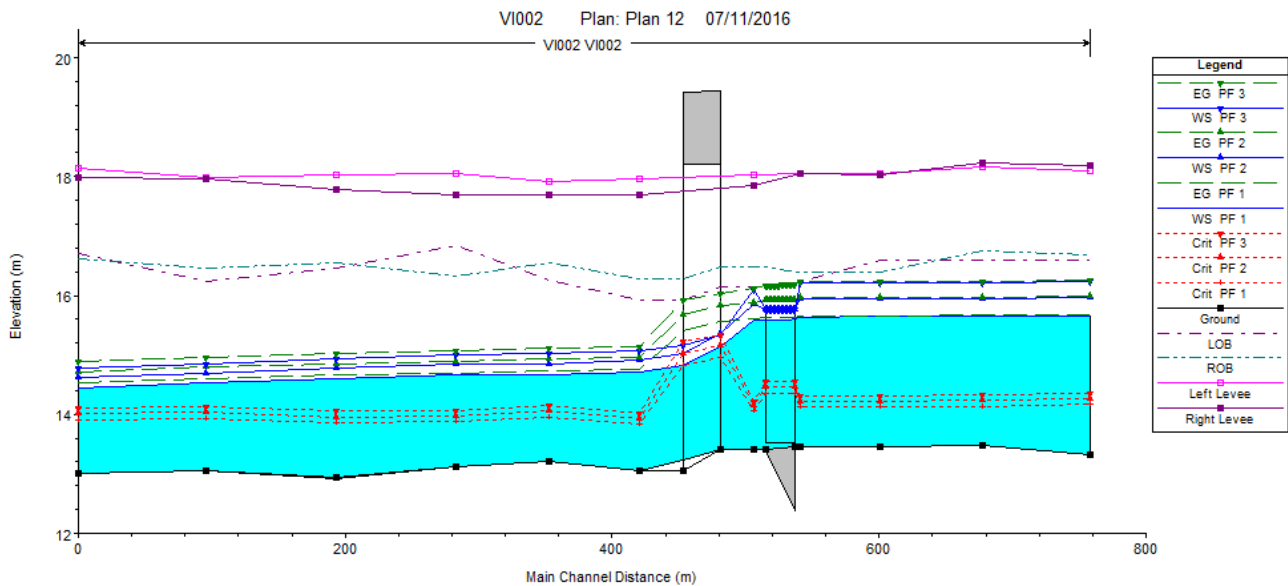


Figura 50: Profilo idraulico

Come è possibile vedere, già con una portata di 35 m<sup>3</sup>/s non si riescono a rispettare le condizioni di sicurezza imposte, seppur i livelli in corrispondenza del ponte siano più bassi di quelli imposti, si vede che l'energia della corrente supera il livello della tura. Cosa che non accade con le altre due portate.

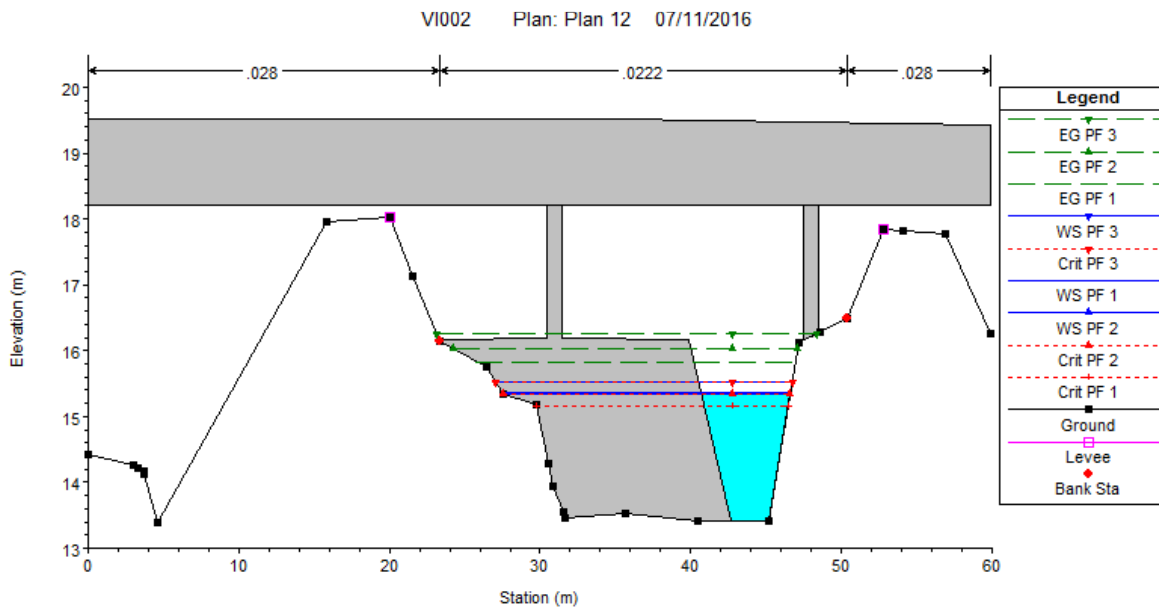


Figura 51: Sezione in corrispondenza del restringimento per la realizzazione delle opere

Questo è dovuto al forte restringimento che fa transitare la corrente in critica generando possibili rigurgiti e quindi fenomeni erosivi localizzati, sicuramente dannosi per la stabilità dell'alveo nella fase dei lavori.

Il fenomeno inizia a smorzarsi con portate pari e o inferiori a  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ , dove le velocità della corrente in corrispondenza dell'attraversamento scendono sotto i  $2 \text{ m/s}$ .

#### **IPOSTESI 2: CONDIZIONI DI VALLE GOVERNATA DAL SAVENA ABBANDONATO**

Si è proceduto con la sola simulazione con portata pari a  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ , visto che le altre sono risultate pericolose anche con condizioni di livello non vincolate. I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra le sezioni a monte del guado sollecitate con le diverse portate considerate:

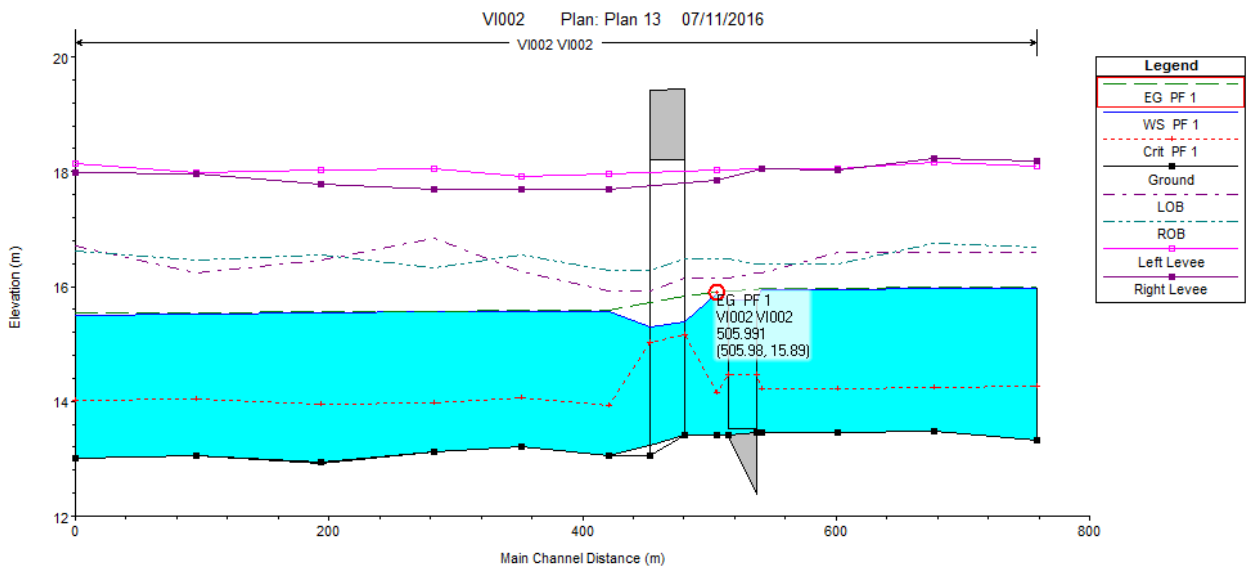


Figura 52: Sezione a monte del guado

Anche in questo caso emerge dalla simulazione la necessità di attuare un doppio controllo sui livelli, il primo a monte del guado sul Canale Diversivo, il secondo sarà da effettuare sulla confluenza con il Savena Abbandonato a monte del ponte della SP 64.

Si è deciso di fissare come livello di allarme a monte del ponte sul Diversivo Navile pari a 15,50 m slm;

#### - FASE REALIZZATIVA – FASE2: REALIZZAZIONE PROLUNGAMENTO PILA LATO BOLOGNA-

Nella fase n. 2 si andrà a realizzare il prolungamento della pila lato Bologna. Tale fase è meno critica della precedente perché la pila si trova sulla sponda interna dell'alveo, ma più vicina alla sommità arginale. Non essendovi, anche in questo caso, la possibilità di infiggere palancole o diaframmi, si è costretti a realizzare le opere con una tura in alveo, che restringe notevolmente l'alveo. La sommità della tura è stata posta a 16,17 m slm, quota alla quale è possibile passare sotto l'impalcato con un mezzo per posare la scogliera. In questo caso non sarà necessario realizzare una risagomatura dell'argine lato Ferrara, in quanto il rimanente alveo ha dimensioni adeguate.

Come primo risultato è stato possibile vedere che in nessun caso è possibile far transitare la portata di un evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 10 anni, come fatto col guado.

#### CONDIZIONI AL CONTORNO DI RIFERIMENTO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: si imposta l'altezza di moto uniforme e le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 25.00 \text{ m}^3/\text{s}$
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 30.00 \text{ m}^3/\text{s}$
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 35.00 \text{ m}^3/\text{s}$
- Condizione di valle: si sono considerate due ipotesi:
  - o Ipotesi n. 1: nella sezione di valle si forma il moto uniforme;
  - o Ipotesi n. 2: i livelli di valle del Savana Abbandonato che mettono in crisi le opere provvisionali.

In tutti i casi sono state considerate come condizioni di sicurezza per l'operato dei mezzi d'opera e per gli operatori le seguenti condizioni:

- Livello in corrispondenza della tura: si è considerato un livello di allerta corrispondente ad un franco di 50 cm sulla quota di sommità della tura, pari quindi a 15,67 m slm;
- Livello in corrispondenza del guado: in questo caso si verificherà di avere almeno 20 cm di franco sulla quota di sormonto.

### IPOTESI 1: CONDIZIONI DI VALLE A MOTO UNIFORME

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate:

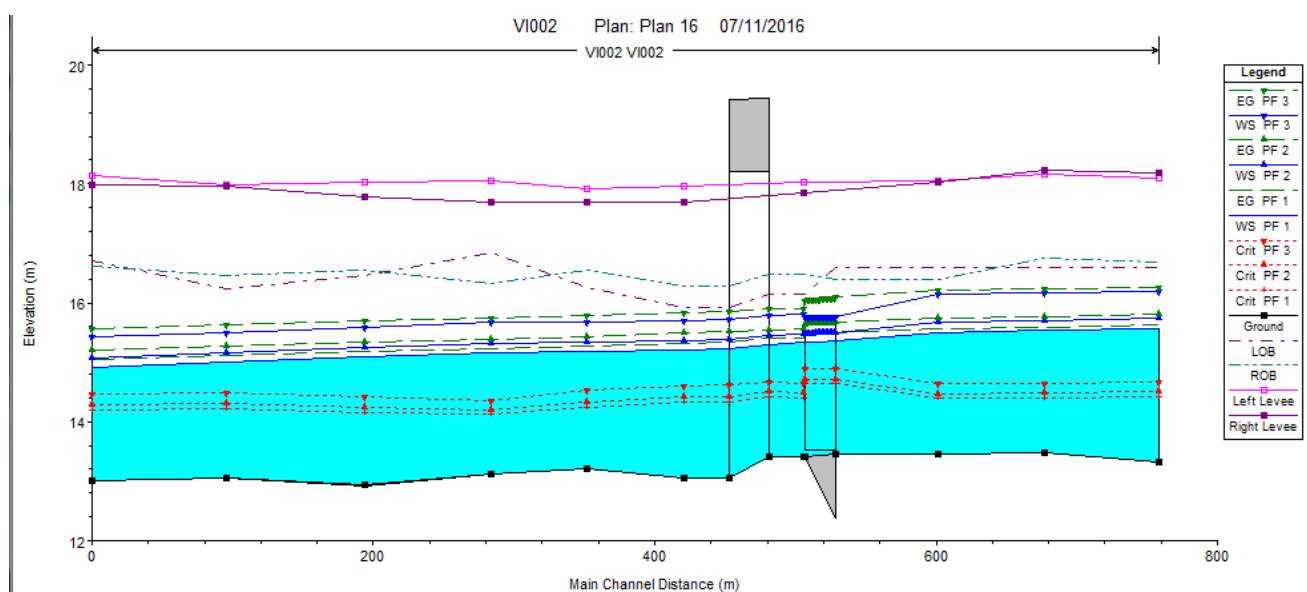


Figura 53: Profilo idraulico

Come è possibile vedere, la situazione è migliore rispetto alla fase n. 1, per la portata di 35 m<sup>3</sup>/s non si può affermare di avere condizioni di sicurezza ottimali la linea dell'energia della corrente per lo meno non supera il livello della tura.

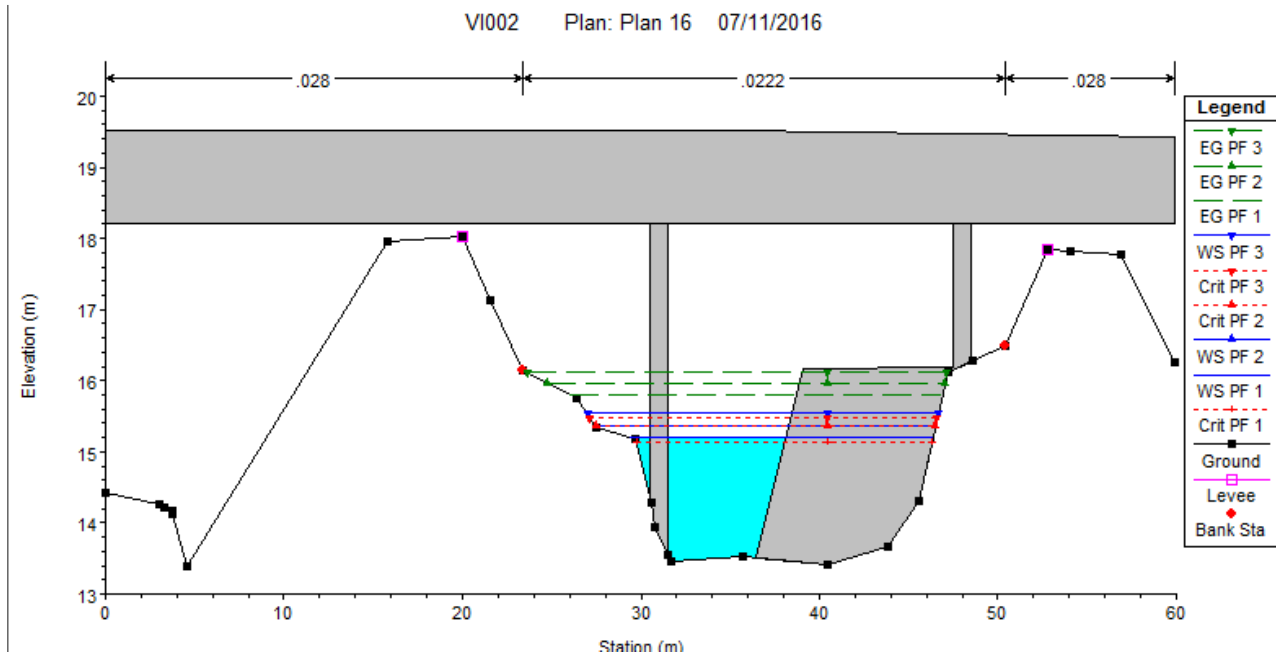


Figura 54: Sezione in corrispondenza del restringimento per la realizzazione delle opere

Anche in questo caso si ha un forte restringimento, ma non tale da causare il passaggio in critica della corrente.

Le velocità della corrente iniziano ad essere sotto i 2 m/s con portate pari e o inferiori a 25 m<sup>3</sup>/s.

#### **IPOTESI 2: CONDIZIONI DI VALLE GOVERNATA DAL SAVENA ABBANDONATO**

Ritenendo ammissibili tutti e tre i valori di portata si è proceduto con tutte le simulazioni, ne è risultato che per rispettare le condizioni di sicurezza imposte le condizioni di valle devono avere tali valori:

- Simulazione n. 1: Q = 25.00 m<sup>3</sup>/s: livello a monte del ponte sul Diversivo Navile pari a 15,70 m slm;
- Simulazione n. 2: Q = 30.00 m<sup>3</sup>/s: livello a monte del ponte sul Diversivo Navile pari a 15,65 m slm;
- Simulazione n. 3: Q = 35.00 m<sup>3</sup>/s: livello a monte del ponte sul Diversivo Navile pari a 15,60 m slm;

m slm

#### **- FASI REALIZZATIVE – CONCLUSIONI**

Dalle analisi effettuate sulle configurazioni dell'alveo del Canale Diversivo delle fasi realizzative dell'opera, ne emerge la necessità di attuare sia dei controlli in continuo sui livelli della corrente che di valutare delle possibili limitazioni di portata da concordare con l'ente gestore. Sarà quindi necessario l'installazione di un misuratore di livello a monte del guado e delle ture che verifichino il non superamento dei livelli di sicurezza impostati nelle simulazioni.

Questi accorgimenti rendono necessario vincolare i lavori in alveo alle stagioni meno a rischio, come il periodo estivo. Le lavorazioni durante le fasi provvisorie che interessano l'alveo dovranno essere fatte prevalentemente in fase di asciutta.

Sebbene le fasi provvisorie permettano livelli più alti, questi comporterebbero la sommersione del guado e pertanto il livello di allarme rimane quello indicato per il guado.

## **8. INTERFERENZE SECONDARIE – CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA**

### **8.1 Scolo Uccellino**

#### 8.1.1 Caratteristiche idrografiche

Lo scolo Uccellino, interferito dal tracciato autostradale alla Pk33+294, è una fossa consortile che scorre parallela a via Padusa sulla SP70, riceve le acque dallo scolo Miara e dallo scolo Madonna dei Boschi, è gestito dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella alta Ferrarese dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.



*Figura 55: Scolo Uccellino a valle dell'interferenza autostradale lato ovest*

### 8.1.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello Scolo Uccellino è la portata  $Q_{ms}=1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , pari alla massima portata convogliabile relativamente al tratto in esame.

### 8.1.1 Verifiche idrauliche

#### 8.1.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato dello scolo Uccellino è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 78 m a monte dell'autostrada e per 103 m a valle, per una lunghezza totale di circa 224 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di venti sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il tratto oggetto di studio comprende tre manufatti:

- Il primo manufatto è uno scatolare con luce pari a 1.45m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 0.92m ed estensione lineare pari a 9.0m.
- Il secondo manufatto è uno scatolare con luce pari a 1.45m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 0.92m ed estensione lineare pari a 9.0m.
- Il terzo in corrispondenza dell'autostrada è costituita da una coppia di tubazioni di diametro nominale pari a 1000 mm ed estensione lineare di 31.5m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.



Tabella 8.1.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello Scolo Uccellino

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

### 8.1.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera la sostituzione del tombino autostradale, con un manufatto scatolare di dimensioni 2x1m, nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a 1.00 m<sup>3</sup>/s;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 9.00 m s.l.m..

La condizione di valle è stata valutata pari a un livello idrico imposto a causa della natura dello scolo che essendo caratterizzato da profili di rigurgito della rete di canali consorziali è la situazione più vincolante nella verifica idraulica.

La presenza di manufatti di dimensioni minori rispetto all'attraversamento autostradale determina la condizione di valle al livello idrico imposto, che è stato quindi valutato come il livello pari alla sommità arginale nella sezione più a valle.

### 8.1.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 1.0 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte del manufatto di attraversamento autostradale, nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.

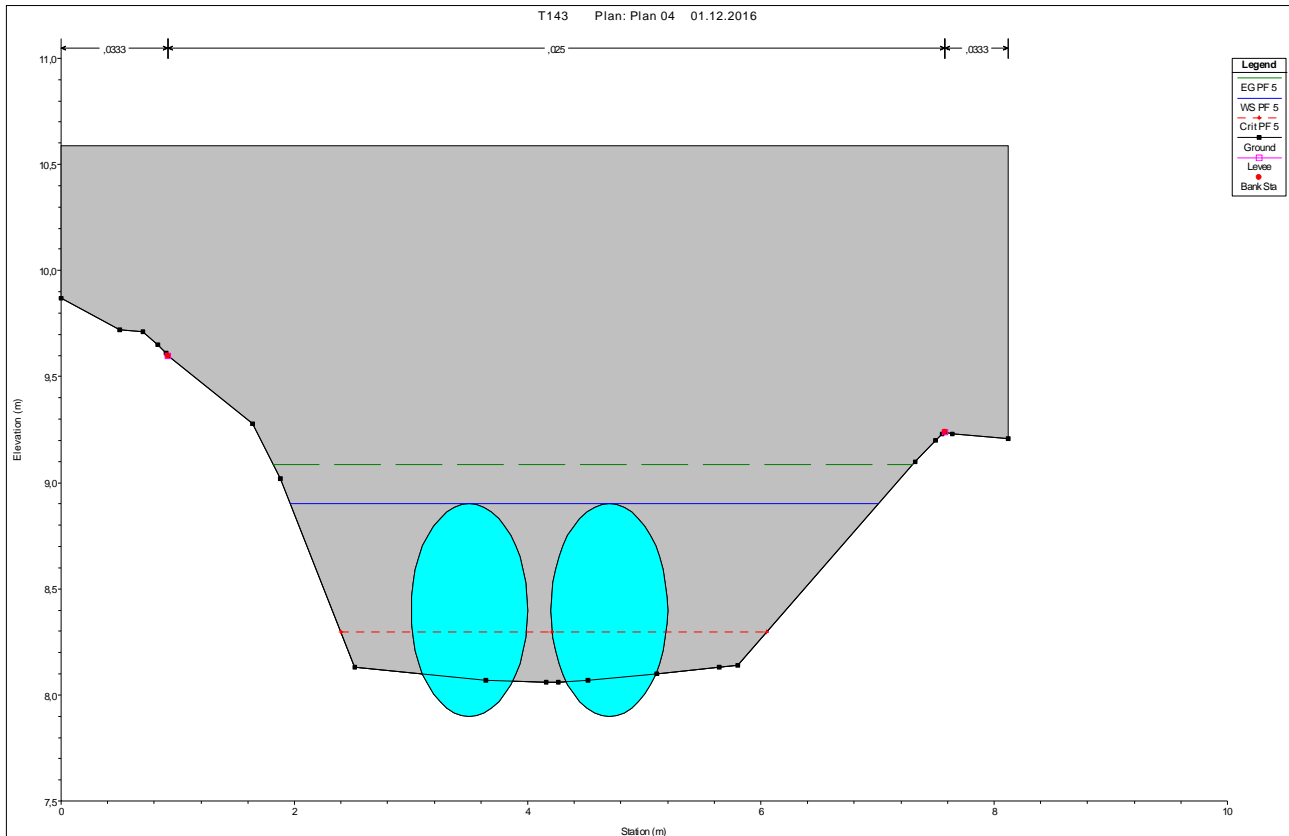


Figura 56: Livello raggiunto nella sezione di monte delle tubazioni autostradale nello SF con  $Q_{MS}$

La simulazione nello stato di progetto ha tenuto conto della modifica della sezione idraulica con l'inserimento di uno scatolare di dimensione interne pari ad una altezza di 2 m e luce pari a 1 m.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

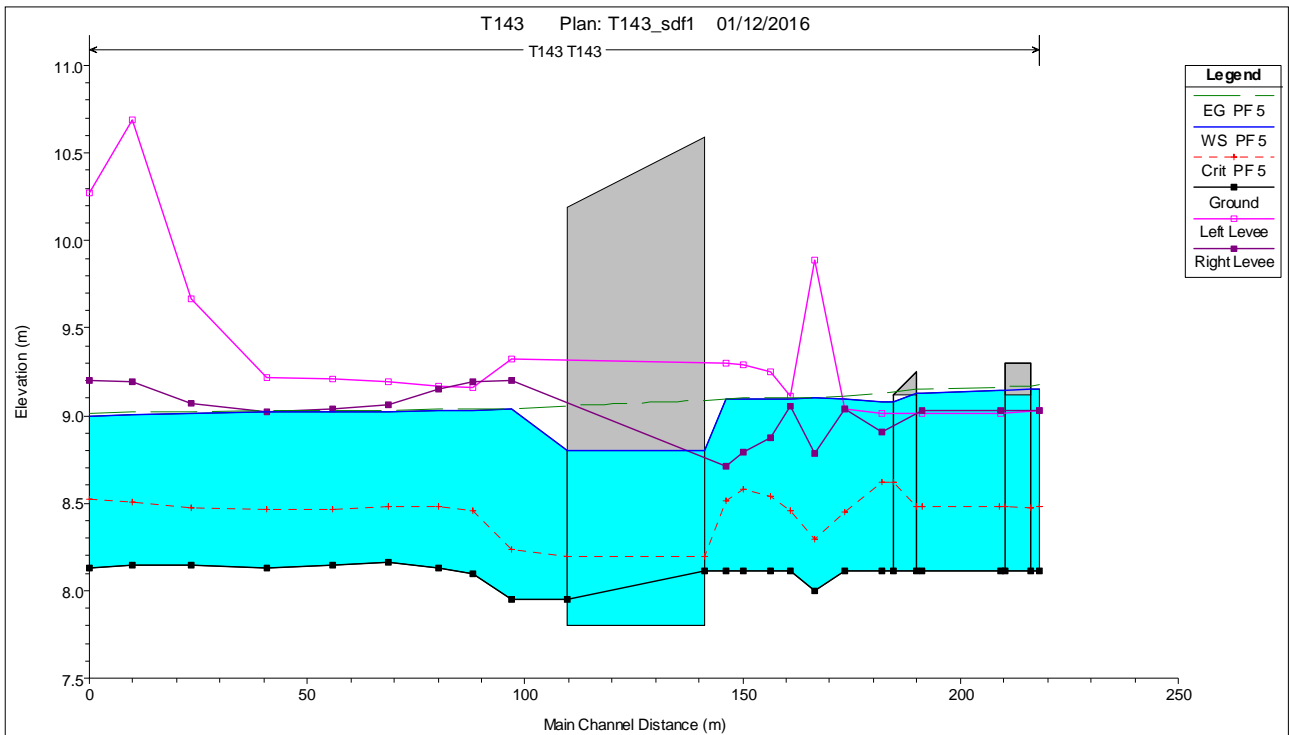


Figura 57: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{MS}$

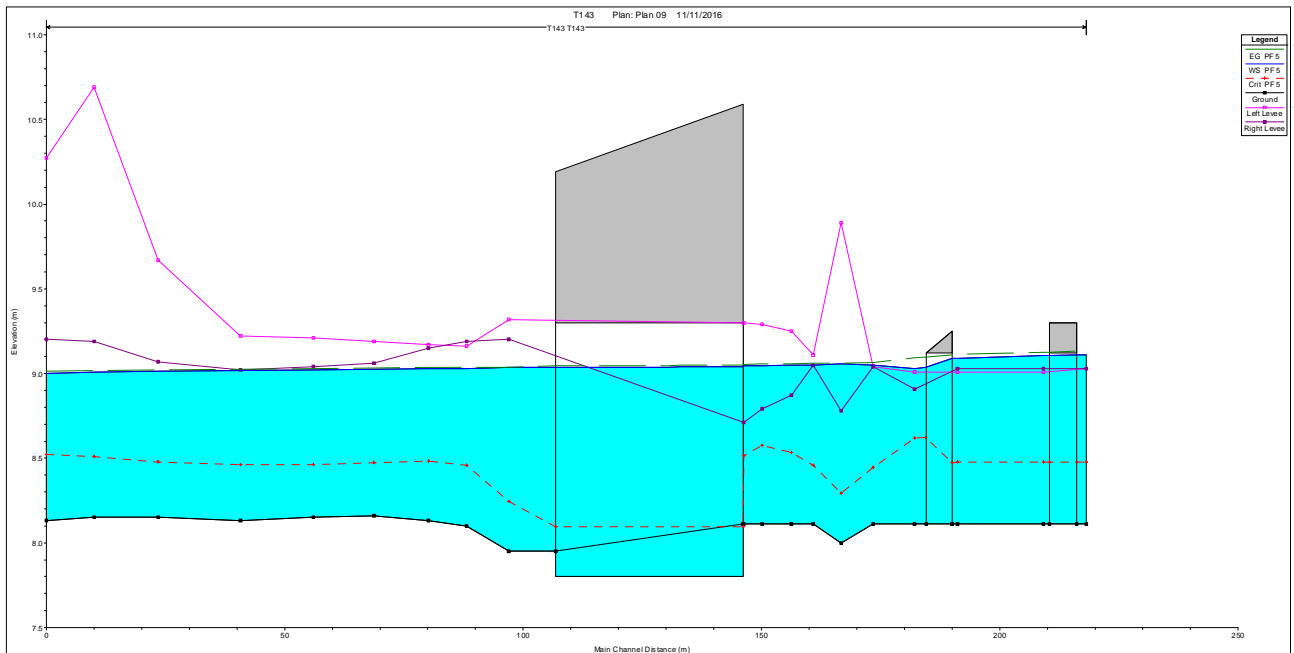


Figura 58: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{MS}$

Dalla simulazione numerica si determina che nelle condizioni di fatto è garantito il corretto deflusso in corrispondenza dell'autostrada A13.

Lo stato di progetto modifica la sezione a disposizione per il deflusso delle acque sostituendoli due circolari di diametro 1000 mm con uno scatolare di dimensioni 2x1m. Lalunghhezza del nuovo tombino è pari a 43.78 m.

Nello stato di progetto il grado di riempimento dello scatolare autostradale per una portata circolante nel canale pari a quella massima attualmente sostenibile è intorno ad un valore pari a 63%.

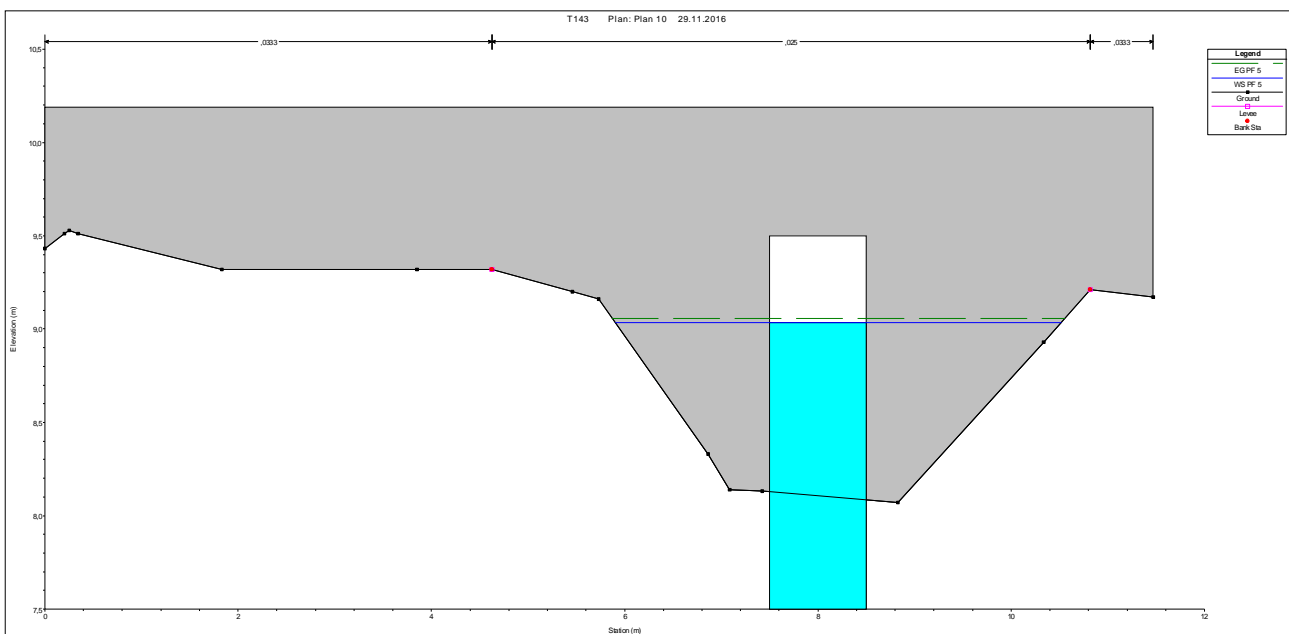


Figura 59: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{MS}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: Plan 12 T143 T143 RS: 142 Culv Group: Culvert #1 Profile: PF 5			
Q Culv Group (m3/s)	1.00	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	0.13
Q Barrel (m3/s)	1.00	Culv Vel DS (m/s)	0.13
E.G. US. (m)	9.04	Culv Inv El Up (m)	7.80
W.S. US. (m)	9.03	Culv Inv El Dn (m)	7.80
E.G. DS (m)	9.04	Culv Frctn Ls (m)	0.00
W.S. DS (m)	9.04	Culv Exit Loss (m)	0.00
Delta EG (m)	0.00	Culv Entr Loss (m)	0.00
Delta WS (m)	0.00	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	8.04	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	9.04	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	9.04	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	9.04	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)		Weir Flow Area (m2)	
Culv Crit Depth (m)	0.14	Min El Weir Flow (m)	10.59
Errors, Warnings and Notes			

Figura 60: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – Scolo Uccellino

**- FASE REALIZZATIVA –**

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera da prolungare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte un pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.

In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.

## 8.2 Scolo Madonna dei Boschi

---

Lo scolo Madonna dei Boschi, interferito dal tracciato autostradale alla Pk 32+967, è uno scolo di dimensioni modeste facente funzioni sia di scolo per lo sgrondo delle acque in eccesso sia come canale per l'irrigazione delle aree agricole adiacenti.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella alta Ferrarese dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Dall'idrografia risulta che lo scolo arriva a ridosso dell'autostrada A13 sebbene dalla Figura 1.2-1 risulta che ad oggi il canale è interrato o è stata modificata la sistemazione fondiaria.

Si presume in ogni caso che non avvenga un attraversamento della stessa in quanto non sono presenti manufatti di attraversamento, per queste ragioni non si verifica l'interferenza data dallo scolo.

E' presente un manufatto a valle dell'interferenza autostradale, come si può notare in Figura 1.2-2, che verrà valutato come interferenza minore.

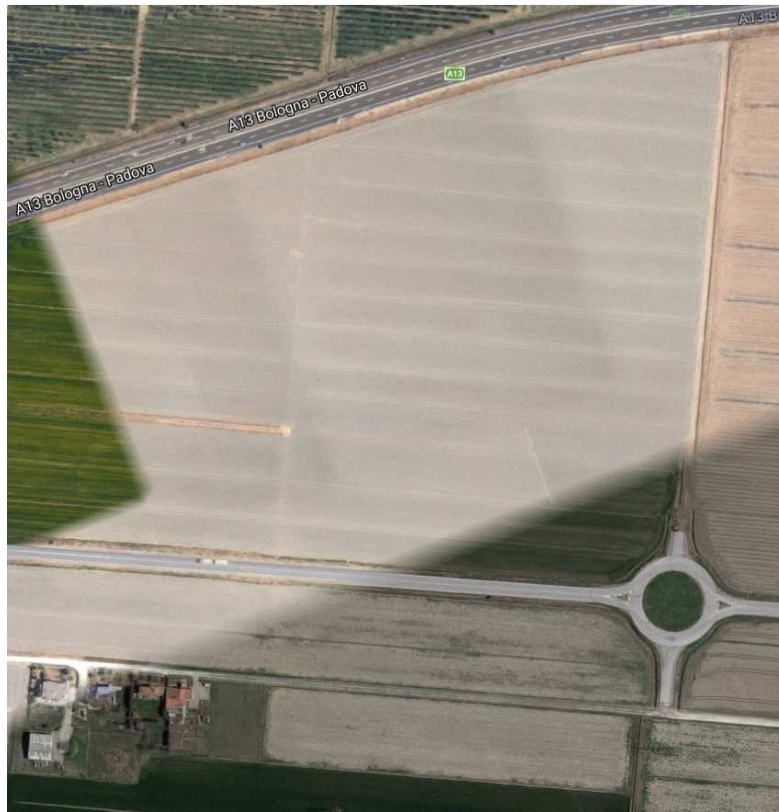


Figura 61: Ortofoto in corrispondenza dello scolo Madonna dei Boschi



Figura 62: Autostrada A13 in corrispondenza della progressiva 32+967



## 8.3 Scolo San Martino

---

### 8.3.1 Caratteristiche idrografiche

Lo scolo San Martino, interferito dal tracciato autostradale alla Pk 31+608, è una fossa consortile di dimensioni significative con numerosi attraversamenti viari per la connessione tra le campagne attraversate, riceve le acque dallo scolo Coronella e dallo scolo Peloso, è gestito dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella alta Ferrarese dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nella figura seguente si possono notare le sezioni lato est ed ovest dello scolo San Martino in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 31+608.

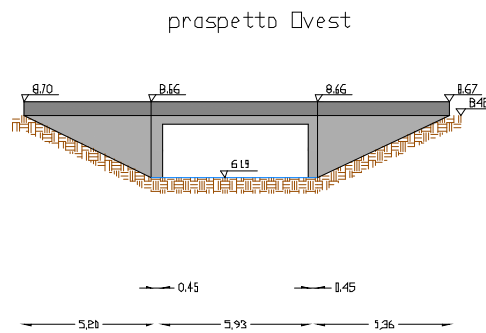
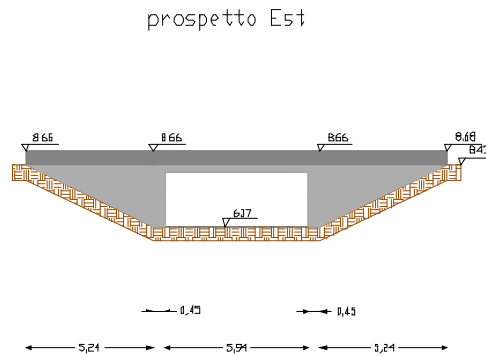


Figura 63: Scolo San Martino in corrispondenza dello scatolare autostradale lato est ed ovest

### 8.3.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello Scolo San Martino è la portata  $Q_{ms}=7.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica dello scolo, considerando un franco di sicurezza nullo.

### 8.3.1 Verifiche idrauliche

#### 8.3.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato dello scolo San Martino è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 148 m a monte

dell'autostrada e per 248 m a valle, per una lunghezza totale di circa 420 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di quattordici sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è uno scatolare con luce pari a 5.94 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 1.70 m ed estensione lineare pari a 24.3 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 8.3.1-1 : Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello scolo San Martino

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

### 8.3.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a  $7.00 m^3/s$ ;

- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 7.50 m s.l.m..

La condizione di valle è stata valutata pari a un livello idrico imposto a causa della natura dello scolo che essendo caratterizzato da profili di rigurgito della rete di canali consorziali è la situazione più vincolante nella verifica idraulica.

La presenza di manufatti di dimensioni minori rispetto all'attraversamento autostradale determina la condizione di valle al livello idrico imposto, che è stato quindi valutato come il livello pari alla sommità arginale nella sezione più a valle.

### **8.3.1.3 Risultati della modellazione idraulica**

La modellazione idraulica nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 7.0 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte dello scatolare nello stato di fatto con portata massima è illustrato nella seguente figura.

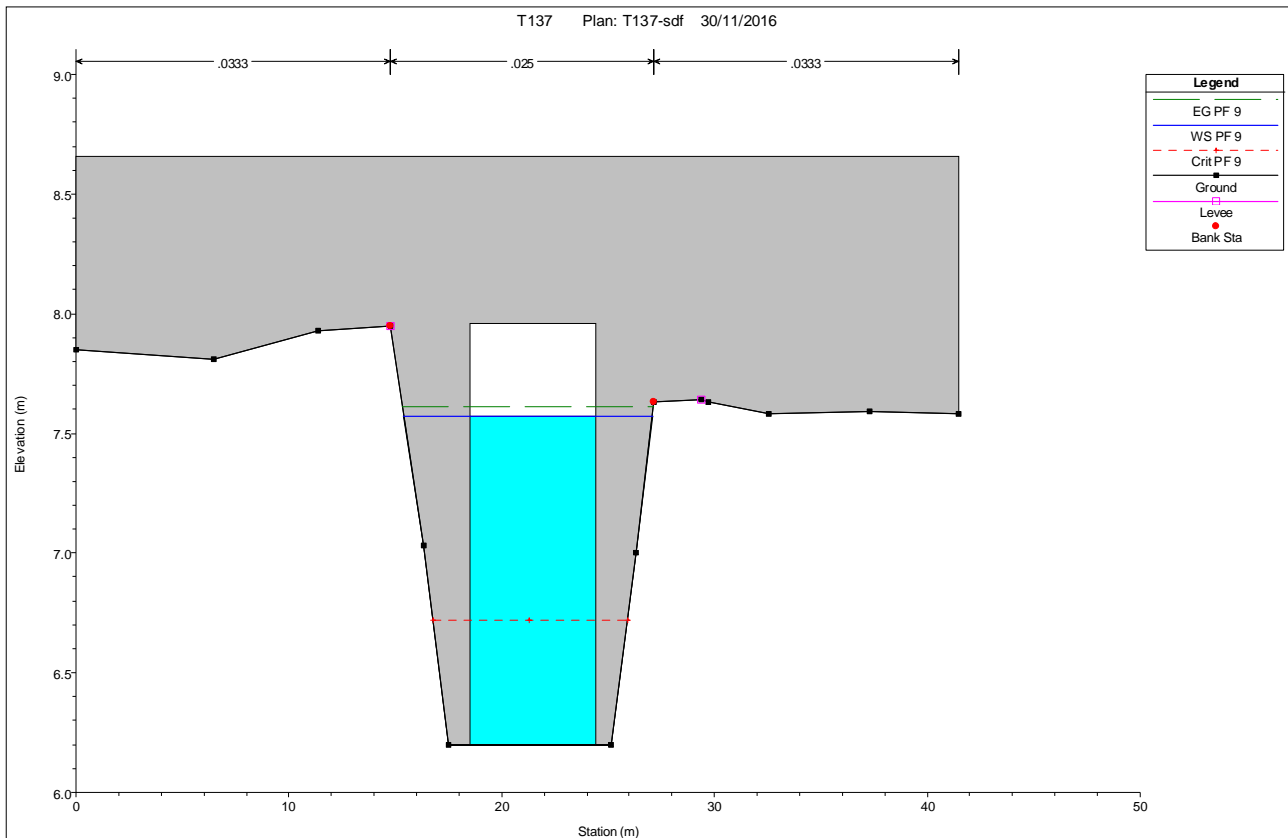


Figura 64: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{MS}$

Dalla simulazione numerica si determina che nelle condizioni di fatto è garantito il corretto deflusso in corrispondenza dell'autostrada A13.

Nello stato di progetto si mantiene la sezione dello scatolare inalterata e si aumenta la lunghezza dello stesso fino a 33.90 m.

Il grado di riempimento dello scatolare autostradale nello stato di progetto per una portata circolante massima risulta simile a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 76%.

La simulazione nello stato di progetto ha tenuto conto dell'ampliamento dell'estensione lineare del tombino autostradale. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta particolari variazioni rispetto allo stato di fatto.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

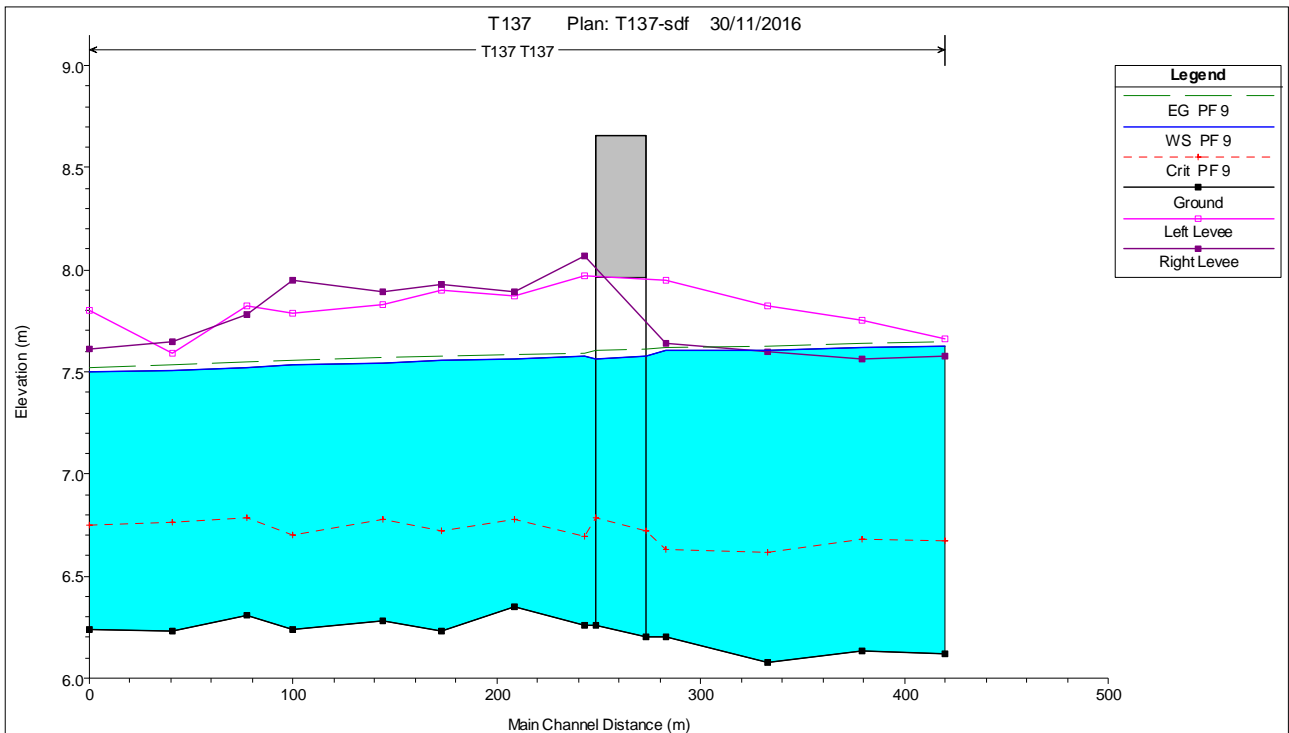


Figura 65: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

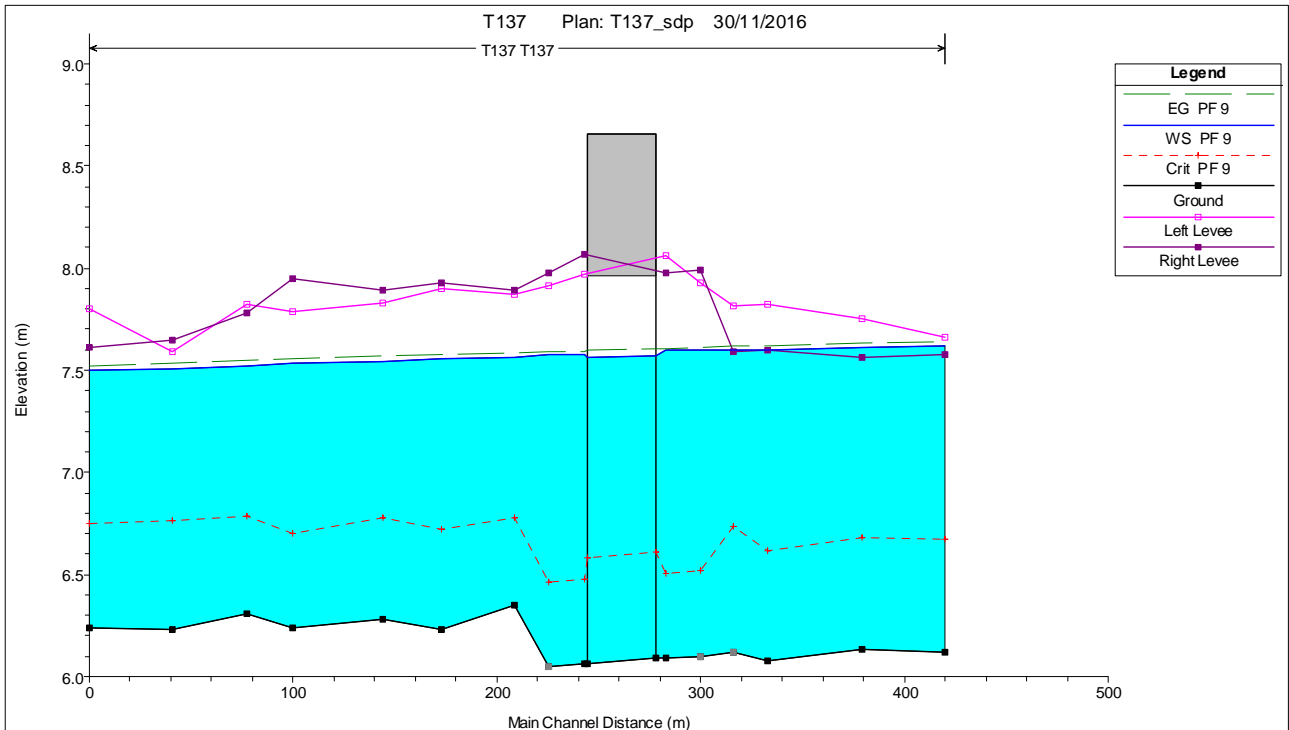


Figura 66: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

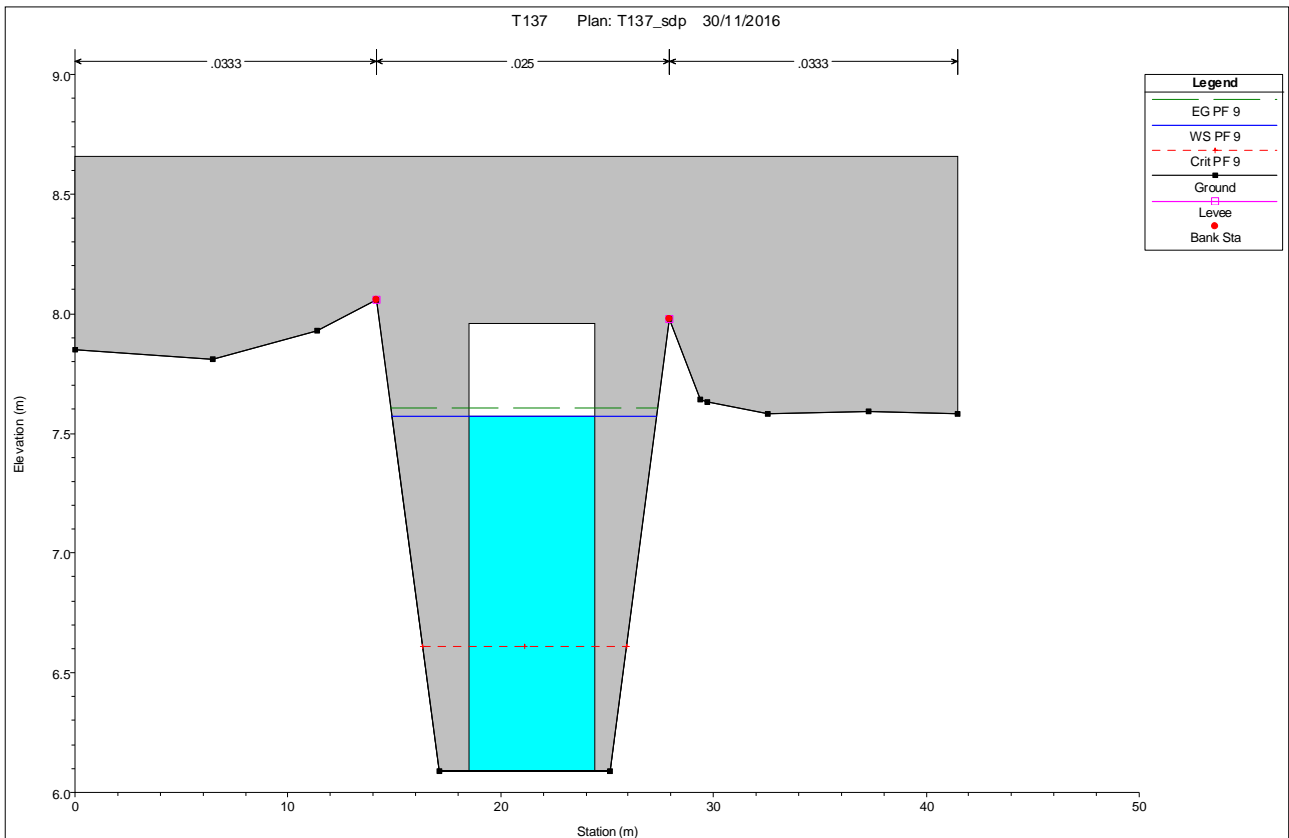


Figura 67: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: T137_sdp T137 T137 RS: 272.9 Profile: PF 9				
E.G. US. (m)	7.61	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	7.60	E.G. Elev (m)	7.61	7.60
Q Total (m3/s)	7.00	W.S. Elev (m)	7.57	7.57
Q Bridge (m3/s)	7.00	Crit W.S. (m)	6.61	6.58
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	1.48	1.51
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	0.80	0.78
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	8.80	8.93
Weir Submerg		Froude # Chl	0.21	0.20
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	7.09	7.28
Min El Weir Flow (m)	8.66	Hydr Depth (m)	1.48	1.51
Min El Prs (m)	7.96	W.P. Total (m)	5.93	5.93
Delta EG (m)	0.02	Conv. Total (m3/s)	457.6	468.9
Delta WS (m)	0.02	Top Width (m)	5.93	5.93
BR Open Area (m2)	11.09	Frctn Loss (m)	0.01	0.00
BR Open Vel (m/s)	0.80	C & E Loss (m)	0.00	0.01
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	3.40	3.29
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00

Figura 68: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – scolo San Martino

#### - FASE REALIZZATIVA -

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera da prolungare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte un pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.



In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.

## 8.4 Deviazione fossa Margosa

### 8.4.1 Caratteristiche idrografiche

La deviazione fossa Margosa, interferita dal tracciato autostradale alla Pk. 31+328, si divide principalmente in due rami Fossa Margosa Nord e Fossa Margosa Sud, riceve le acque dallo scolo Uccellino Sud e dallo scolo San Martino, è gestita dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella alta Ferrarese dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nella figura seguente è mostrata la sezione lato est della deviazione fossa Margosa in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 31+328.

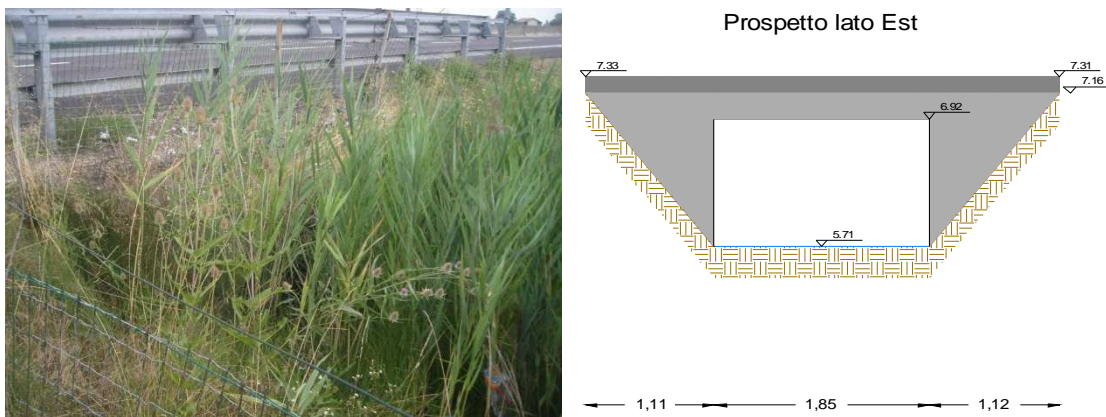


Figura 69: Fossa Margosa – deviazione in corrispondenza dello scatolare autostradale pk 31+328 lato est

### 8.4.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico della deviazione fossa Margosa è la portata  $Q_{ms}=1.50 \text{ m}^3/\text{s}$ , pari alla massima convogliabile dall'attuale sezione idraulica della fossa, considerando un franco di sicurezza nullo.

## 8.4.1 Verifiche idrauliche

### 8.4.1.1 Caratteristiche geometriche del tratto indagato

La rappresentazione geometrica del tratto indagato della fossa Margosa è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 63 m a monte dell'autostrada e per 59 m a valle, per una lunghezza totale di circa 148 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di quattordici sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è uno scatolare con luce pari a 1.23 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 1.86 m ed estensione lineare pari a 27.0 m.

Lo scatolare autostradale si mantiene a quota inferiore del fondo fosso per circa 30 cm a monte dell'attraversamento mentre a valle per circa 15 cm.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

*Tabella 8.4.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico della Fossa Margosa - deviazione*

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

### 8.4.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a 1.50 m<sup>3</sup>/s;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 6.60 m s.l.m..

La condizione di valle è stata valutata pari a un livello idrico imposto a causa della natura dello scolo che essendo caratterizzato da profili di rigurgito della rete di canali consorziali è la situazione più vincolante nella verifica idraulica.

La presenza di manufatti di dimensioni minori rispetto all'attraversamento autostradale determina la condizione di valle al livello idrico imposto, che è stato quindi valutato come il livello pari alla sommità arginale nella sezione più a valle.

#### **8.4.1.3 Risultati della modellazione idraulica**

La modellazione idraulica nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 1.50 m<sup>3</sup>/s.

Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto con portata massima è illustrato nella seguente figura.

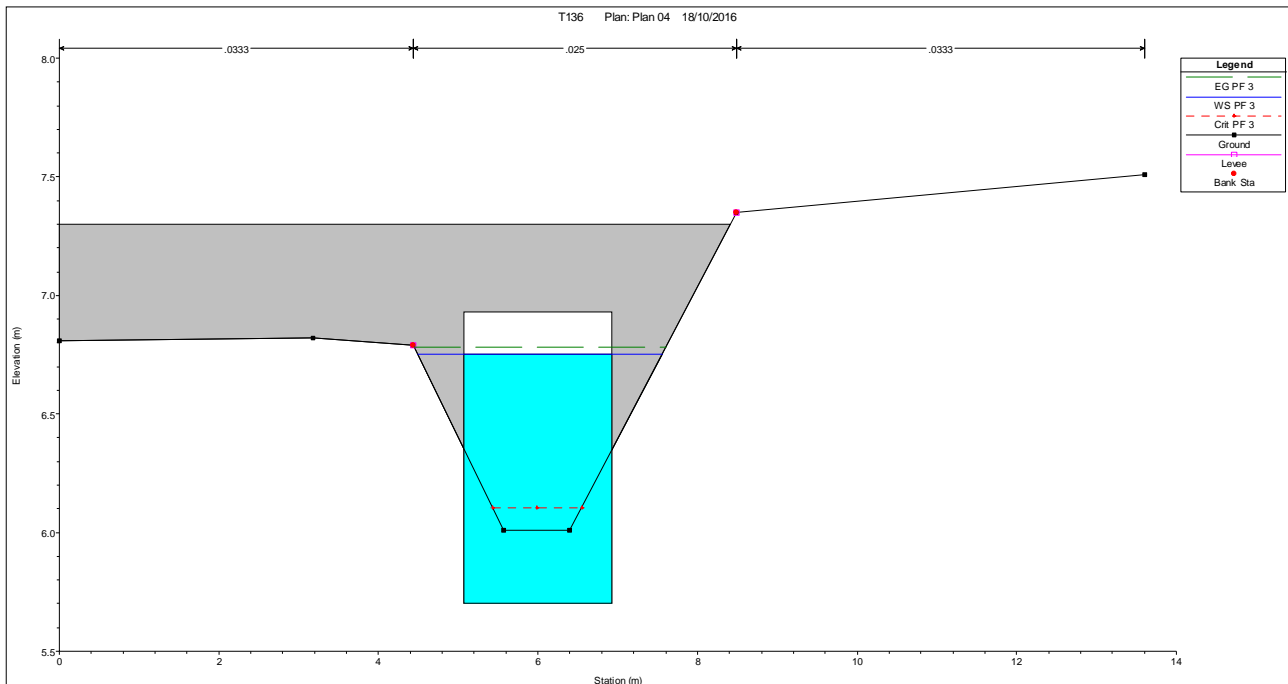


Figura 70: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Dalla simulazione numerica si determina che nelle condizioni di fatto è garantito il corretto deflusso in corrispondenza dell'autostrada A13.

Nello stato di progetto si mantiene la sezione dello scatolare inalterata e si aumenta la lunghezza dello stesso fino a 39.50 m.

Il grado di riempimento dello scatolare autostradale nello stato di progetto per una portata circolante massima risulta simile a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 85%.

La simulazione nello stato di progetto ha tenuto conto dell'ampliamento dell'estensione lineare del tombino autostradale. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta particolari variazioni rispetto allo stato di fatto.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

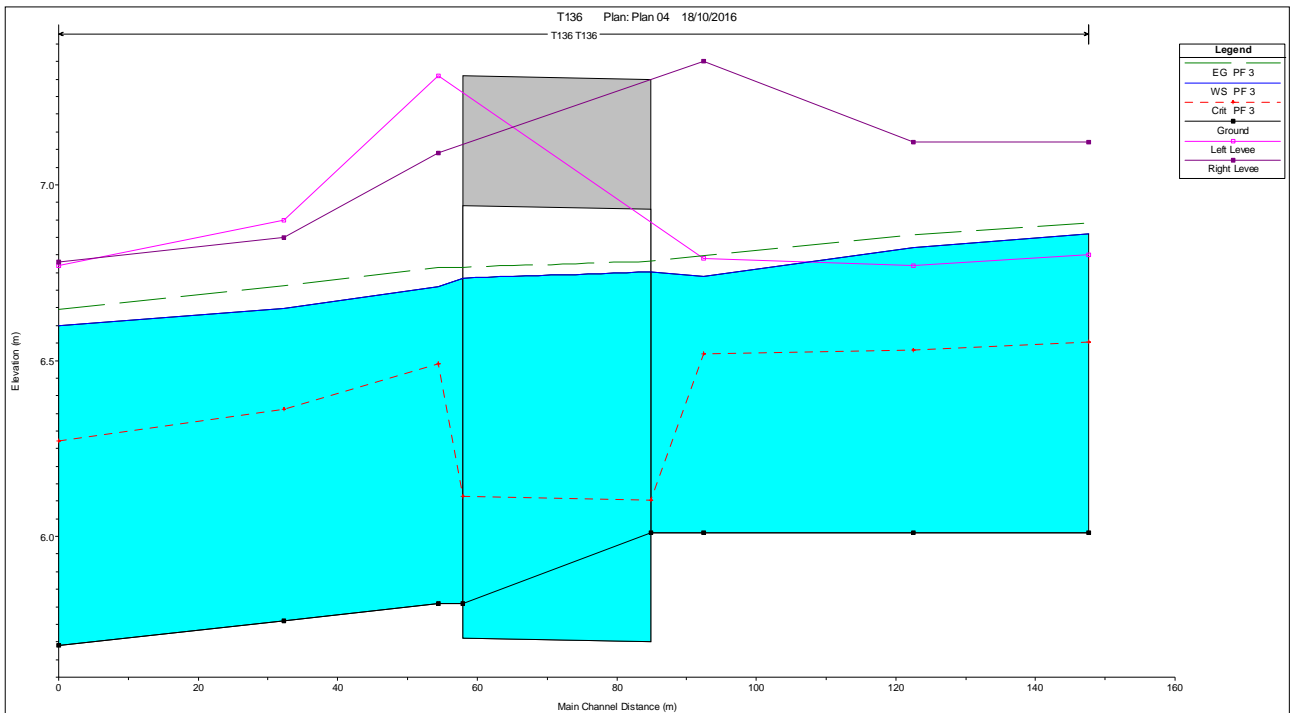


Figura 71: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

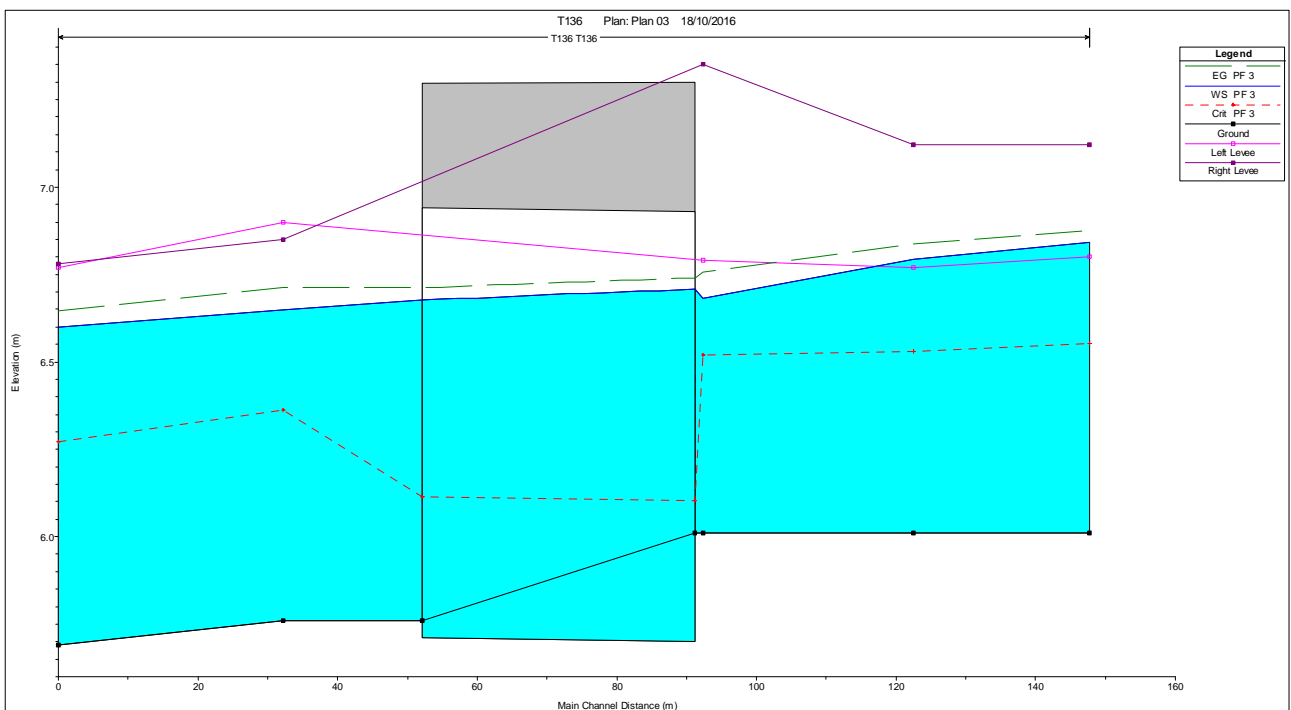


Figura 72: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

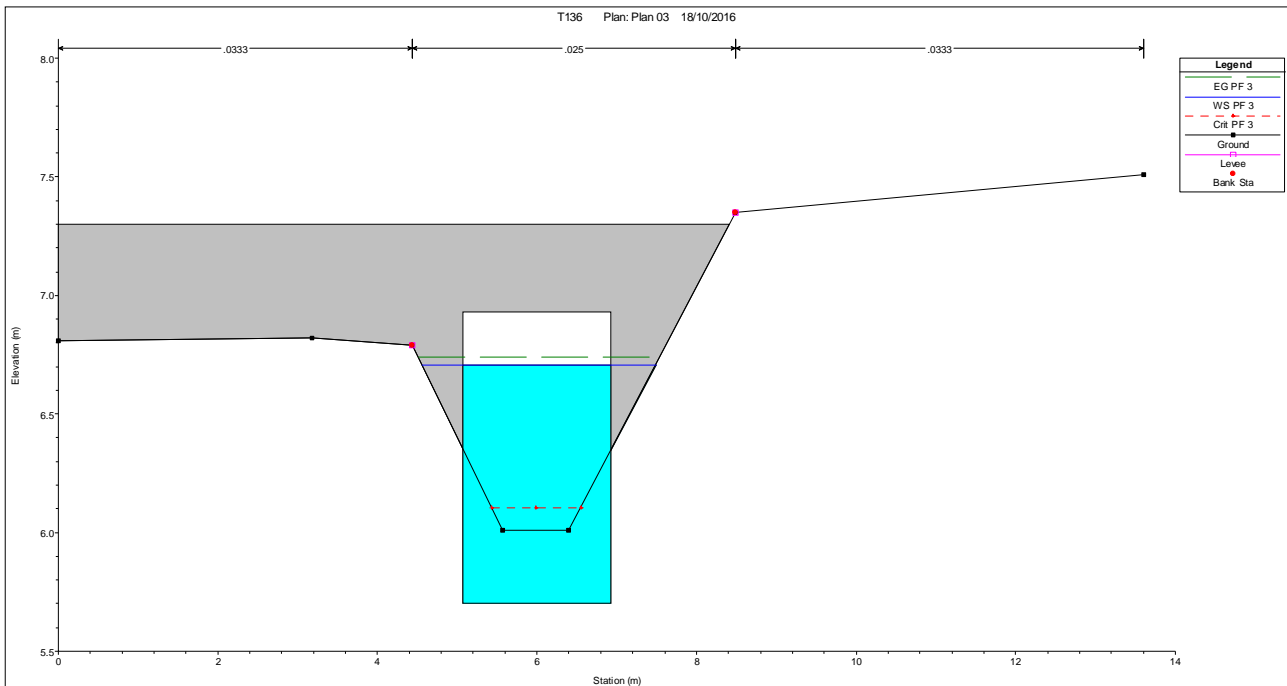


Figura 73: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: Plan 02 T136 T136 RS: 85.7 Culv Group: Culvert #1 Profile: PF 3			
Q Culv Group (m3/s)	1.50	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	0.78
Q Barrel (m3/s)	1.50	Culv Vel DS (m/s)	0.81
E.G. US. (m)	6.78	Culv Inv El Up (m)	5.70
W.S. US. (m)	6.75	Culv Inv El Dn (m)	5.71
E.G. DS (m)	6.72	Culv Frctn Ls (m)	0.03
W.S. DS (m)	6.70	Culv Exit Loss (m)	0.01
Delta EG (m)	0.05	Culv Entr Loss (m)	0.02
Delta WS (m)	0.05	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	6.39	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	6.78	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	6.73	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	6.70	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)		Weir Flow Area (m2)	
Culv Crit Depth (m)	0.40	Min El Weir Flow (m)	7.32

Figura 74: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – Fossa Margosa pk 31+328 km

**- FASE REALIZZATIVA –**

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera da prolungare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte un pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.

In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.



## 8.5 Fossa Margosa

### 8.5.1 Caratteristiche idrografiche

La fossa Margosa, interferita dal tracciato autostradale rispettivamente alla Pk 30+401, si divide principalmente in due rami Fossa Margosa Nord e Fossa Margosa Sud, riceve le acque dallo scolo Uccellino Sud e dallo scolo San Martino, è gestita dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella alta Ferrarese dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nella figura seguente è mostrata la sezione lato est della fossa Margosa in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 30+401.

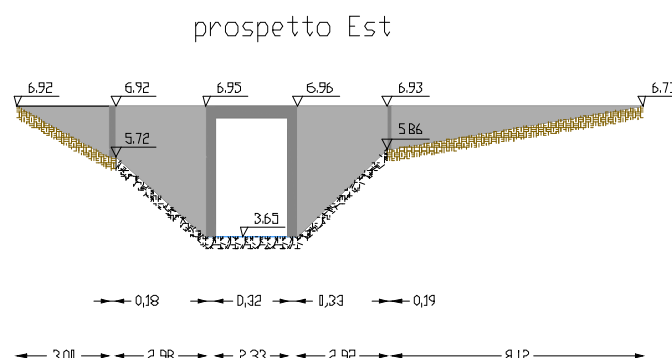


Figura 75: Fossa Margosa in corrispondenza dello scatolare autostradale PK 30+401 lato est

### 8.5.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico della fossa Margosa è la portata  $Q_{ms}=6.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica della fossa, considerando un franco di sicurezza nullo.

## 8.5.1 Verifiche idrauliche

### 8.5.1.1 Caratteristiche geometriche del tratto indagato

La rappresentazione geometrica del tratto indagato della fossa Margosa è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 63 m a monte dell'autostrada e per 59 m a valle, per una lunghezza totale di circa 148 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di dieci sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è uno scatolare con luce pari a 3.00 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.02 m ed estensione lineare pari a 30 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 8.5.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico della Fossa Margosa

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	45
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

### 8.5.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato

di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a 6.00 m<sup>3</sup>/s;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 5.50 m s.l.m..

La condizione di valle è stata valutata pari a un livello idrico imposto a causa della natura dello scolo che essendo caratterizzato da profili di rigurgito della rete di canali consorziali è la situazione più vincolante nella verifica idraulica.

La presenza di manufatti di dimensioni minori rispetto all'attraversamento autostradale determina la condizione di valle al livello idrico imposto, che è stato quindi valutato come il livello pari alla sommità arginale nella sezione più a valle.

### **8.5.1.3 Risultati della modellazione idraulica**

La modellazione idraulica nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 6.00 m<sup>3</sup>/s.

Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto con portata massima è illustrato nella seguente figura.

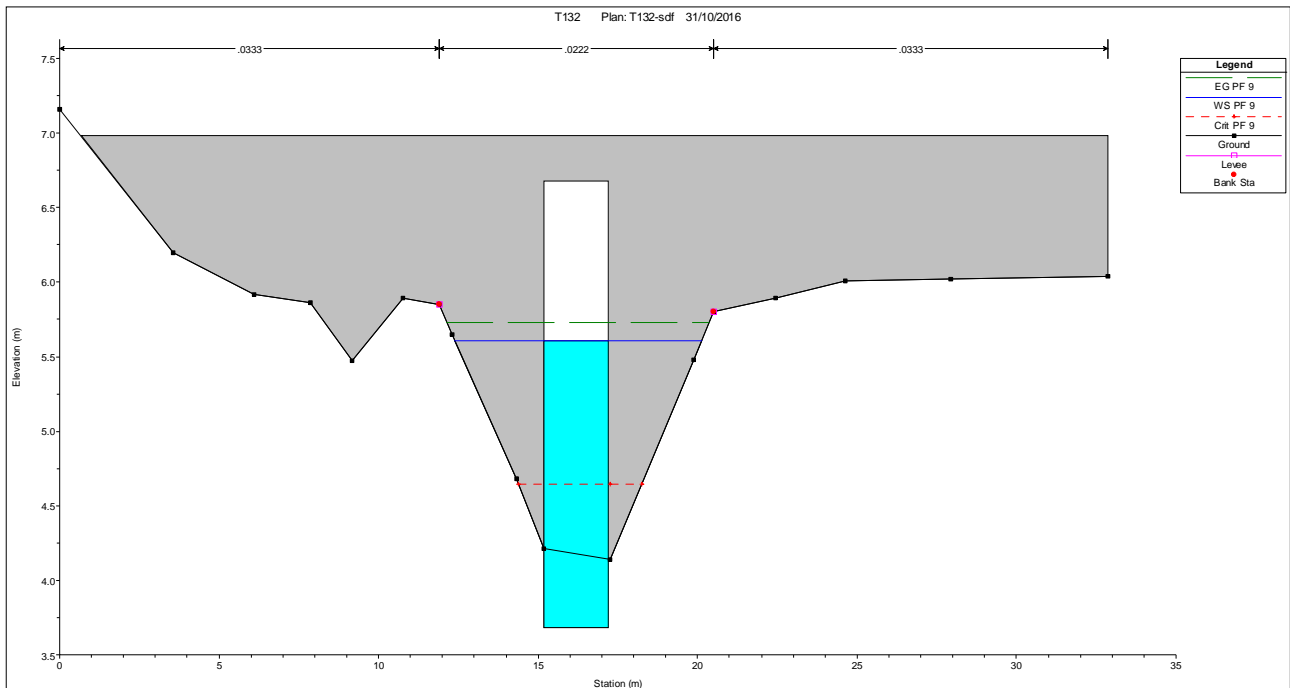


Figura 76: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Dalla simulazione numerica si determina che nelle condizioni di fatto è garantito il corretto deflusso in corrispondenza dell'autostrada A13.

Nello stato di progetto si mantiene la sezione dello scatolare inalterata e si aumenta la lunghezza dello stesso fino a 38.50 m.

Il grado di riempimento dello scatolare autostradale nello stato di progetto per una portata circolante massima risulta simile a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 64%.

La simulazione nello stato di progetto ha tenuto conto dell'ampliamento dell'estensione lineare del tombino autostradale. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta particolari variazioni rispetto allo stato di fatto.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

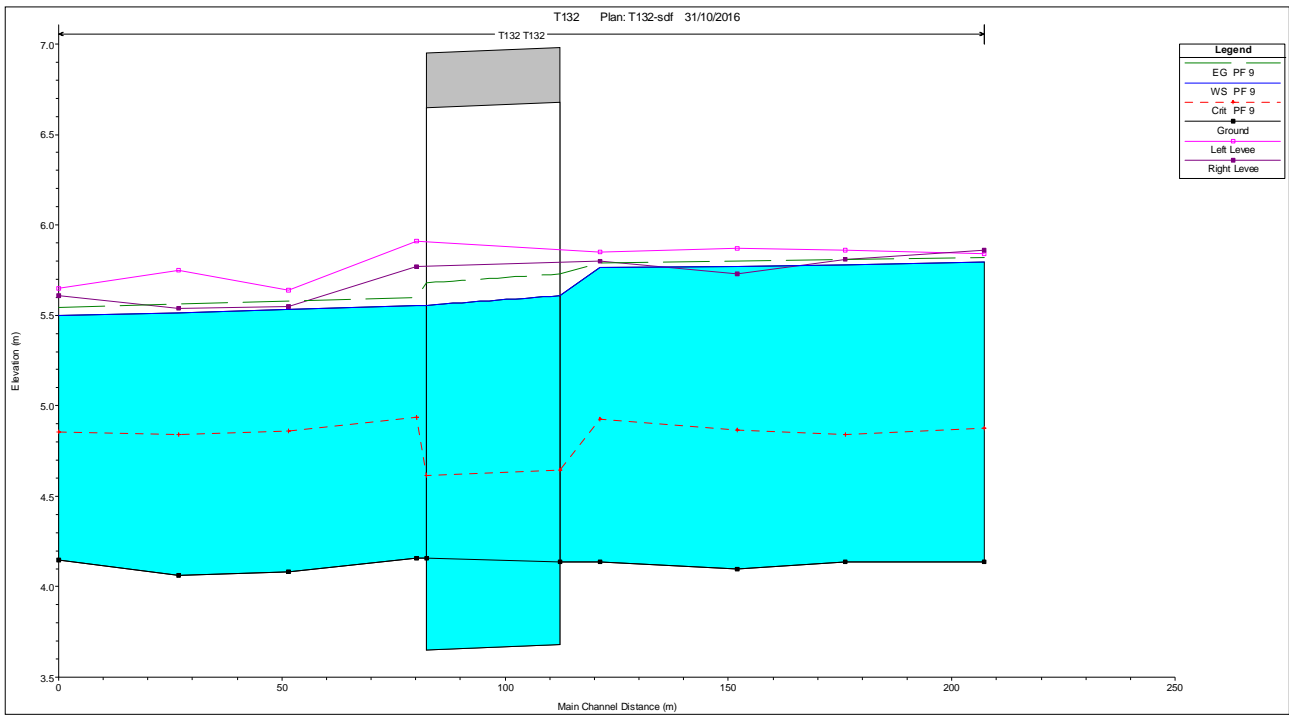


Figura 77: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

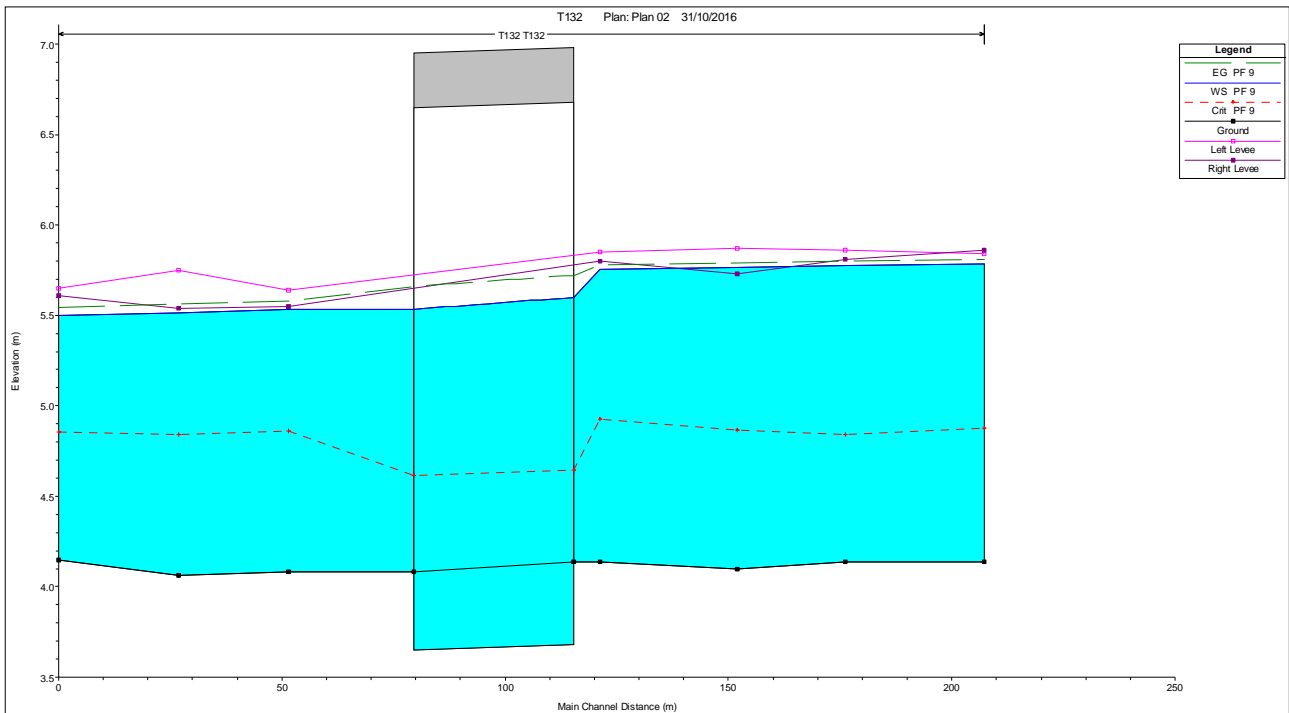


Figura 78: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

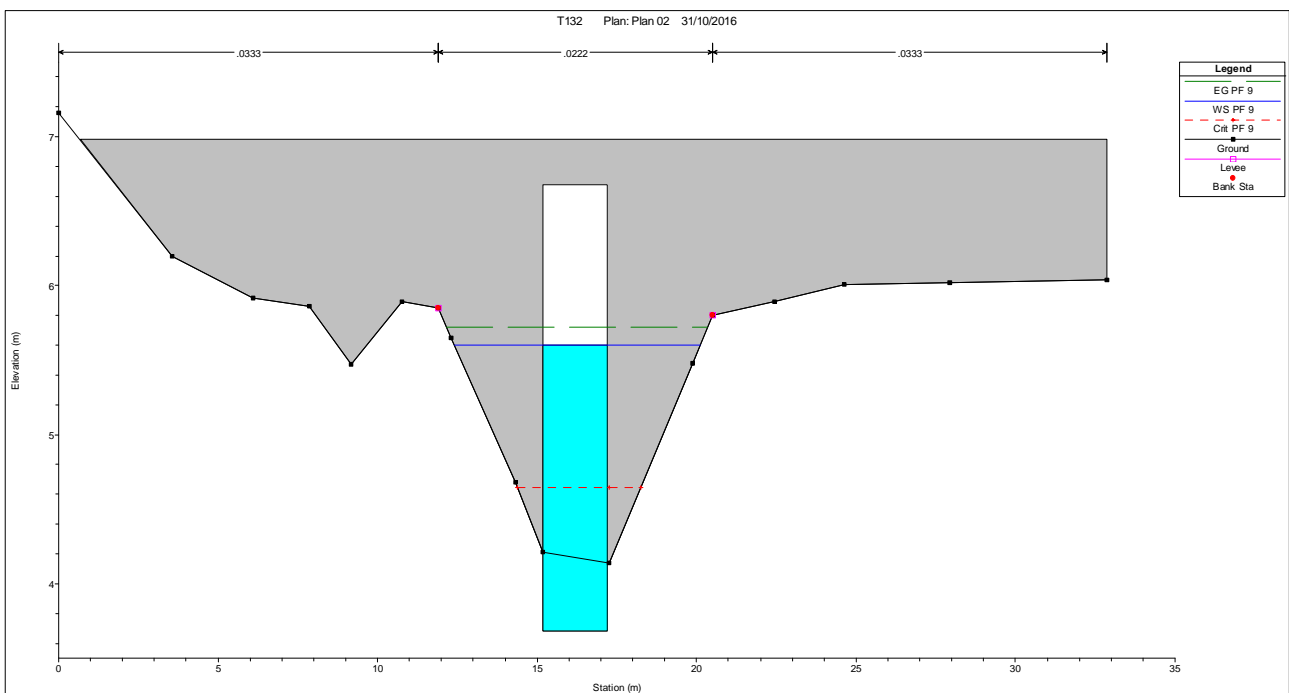


Figura 79: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Q Culv Group (m3/s)	6.00	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	1.54
Q Barrel (m3/s)	6.00	Culv Vel DS (m/s)	1.56
E.G. US. (m)	5.79	Culv Inv El Up (m)	3.68
W.S. US. (m)	5.76	Culv Inv El Dn (m)	3.65
E.G. DS (m)	5.60	Culv Frctn Ls (m)	0.05
W.S. DS (m)	5.56	Culv Exit Loss (m)	0.08
Delta EG (m)	0.19	Culv Entr Loss (m)	0.06
Delta WS (m)	0.21	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	5.32	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	5.79	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	5.61	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	5.56	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	2.37	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crt Depth (m)	0.97	Min El Weir Flow (m)	6.98

Errors, Warnings and Notes

Figura 80: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – fossa Margosa pk 30+401 km

#### - FASE REALIZZATIVA -

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera da prolungare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte una pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.

In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.

## **8.6 Canale Torniano**

---

### **8.6.1 Caratteristiche idrografiche**

Il canale Torniano, interferito dal tracciato autostradale rispettivamente alla Pk 29+278, riceve le acque dallo scolo Uccellino Sud e dallo scolo Principale, è gestito dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella alta Ferrarese dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nella figura seguente sono mostrate le sezioni lato est e lato ovest del canale Torniano in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 29+278.



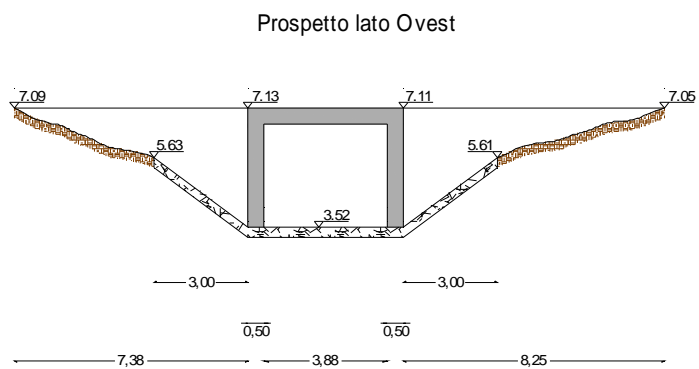
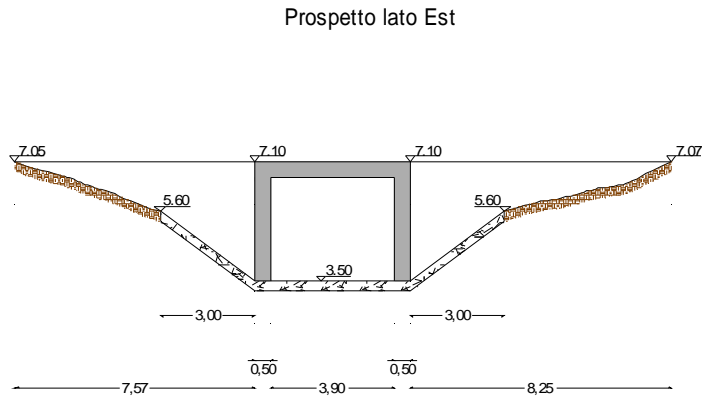


Figura 81: Canale Torniano in corrispondenza dello scatolare pk. 29+278 lato est ed ovest

### 8.6.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico del canale Torniano è la portata  $Q_{ms}=12.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica del canale, considerando un franco di sicurezza nullo.

### 8.6.1 Verifiche idrauliche

#### 8.6.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato del canale Torniano è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 196 m a monte dell'autostrada e per 187 m a valle, per una lunghezza totale di circa 408 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di diciassette sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il tratto oggetto di studio comprende tre manufatti:

- il primo manufatto è uno scatolare con luce pari a 3.80 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.15 m ed estensione lineare pari a 5.6m.
- il secondo manufatto in corrispondenza dell'autostrada è uno scatolare con luce pari a 3.90 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 3.10 m ed estensione lineare pari a 27.0m.
- il terzo manufatto è uno scatolare con luce pari a 3.80 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.50 m ed estensione lineare pari a 5.6m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 8.6.1-1 : Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico del canale Torniano

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	45
Sponde dell'alveo	35
Opere in calcestruzzo	50

### 8.6.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );

- portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a 12.00 m<sup>3</sup>/s;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 5.50 m s.l.m..

La condizione di valle è stata valutata pari a un livello idrico imposto a causa della natura dello scolo che essendo caratterizzato da profili di rigurgito della rete di canali consorziali è la situazione più vincolante nella verifica idraulica.

La presenza di manufatti di dimensioni minori rispetto all'attraversamento autostradale determina la condizione di valle al livello idrico imposto, che è stato quindi valutato come il livello pari alla sommità arginale nella sezione più a valle.

### 8.6.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione idraulica nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 12.00 m<sup>3</sup>/s.

Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto con portata massima è illustrato nella seguente figura.

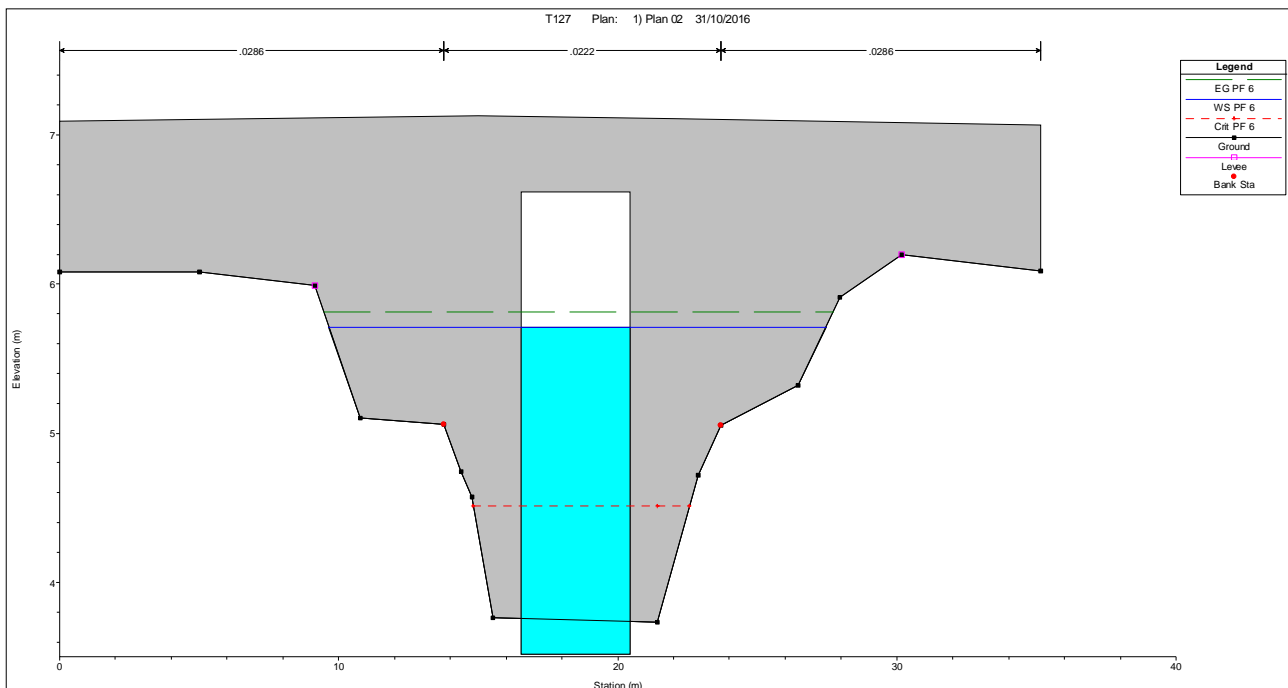


Figura 82: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Dalla simulazione numerica si determina che nelle condizioni di fatto è garantito il corretto deflusso in corrispondenza dell'autostrada A13.

Nello stato di progetto si mantiene la sezione dello scatolare inalterata e si aumenta la lunghezza dello stesso fino a 35.80 m.

Il grado di riempimento dello scatolare autostradale nello stato di progetto per una portata circolante massima risulta simile a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 71%.

La simulazione nello stato di progetto ha tenuto conto dell'ampliamento dell'estensione lineare del tombino autostradale. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta particolari variazioni rispetto allo stato di fatto.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

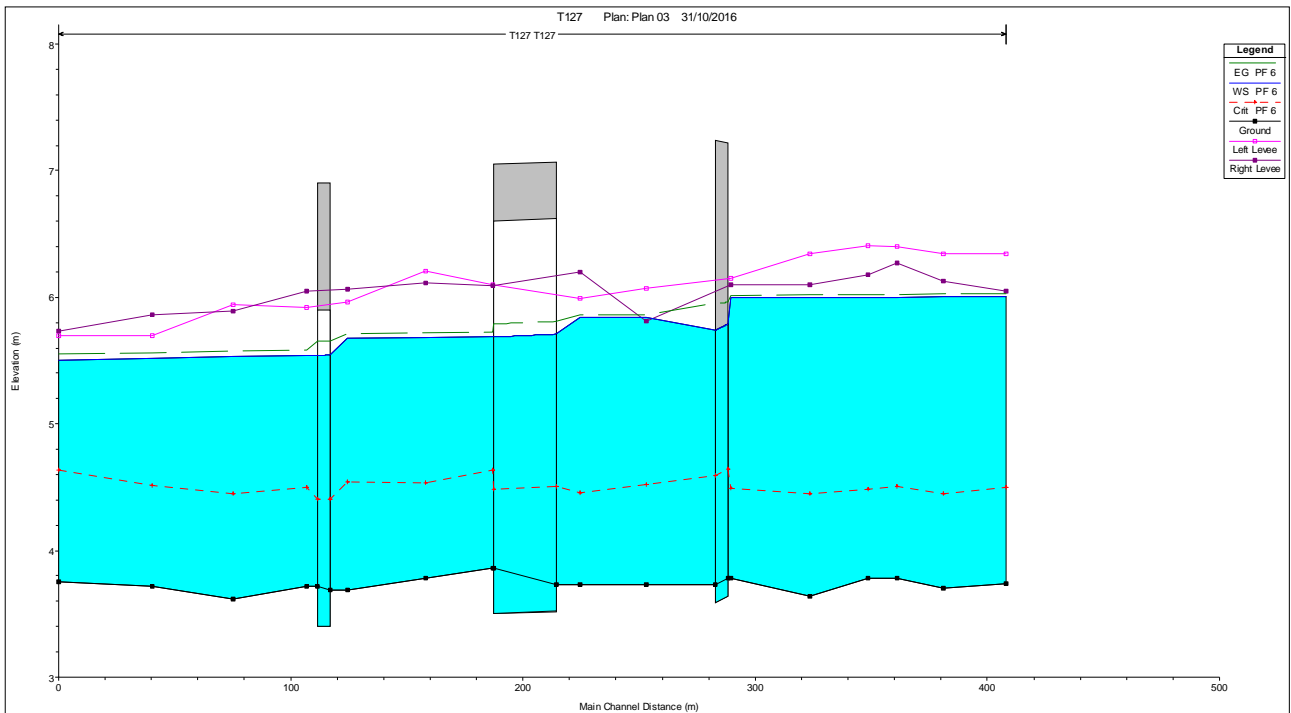


Figura 83: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

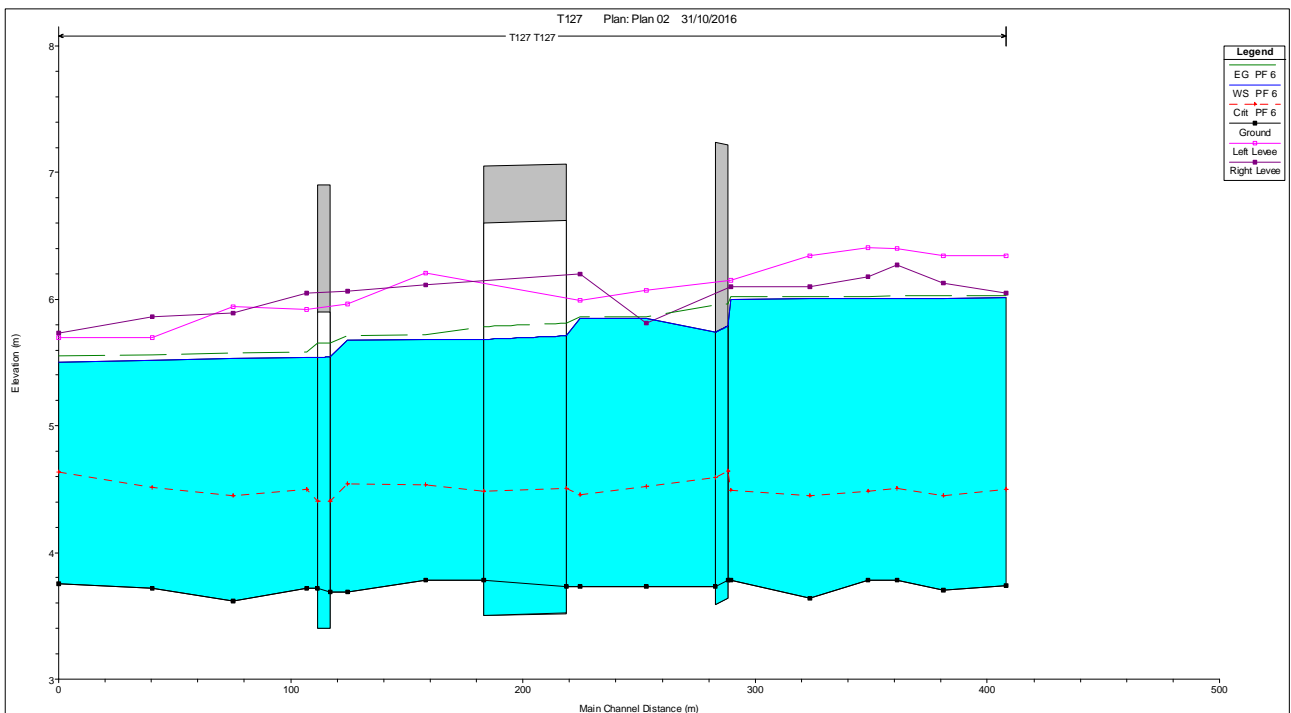


Figura 84: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

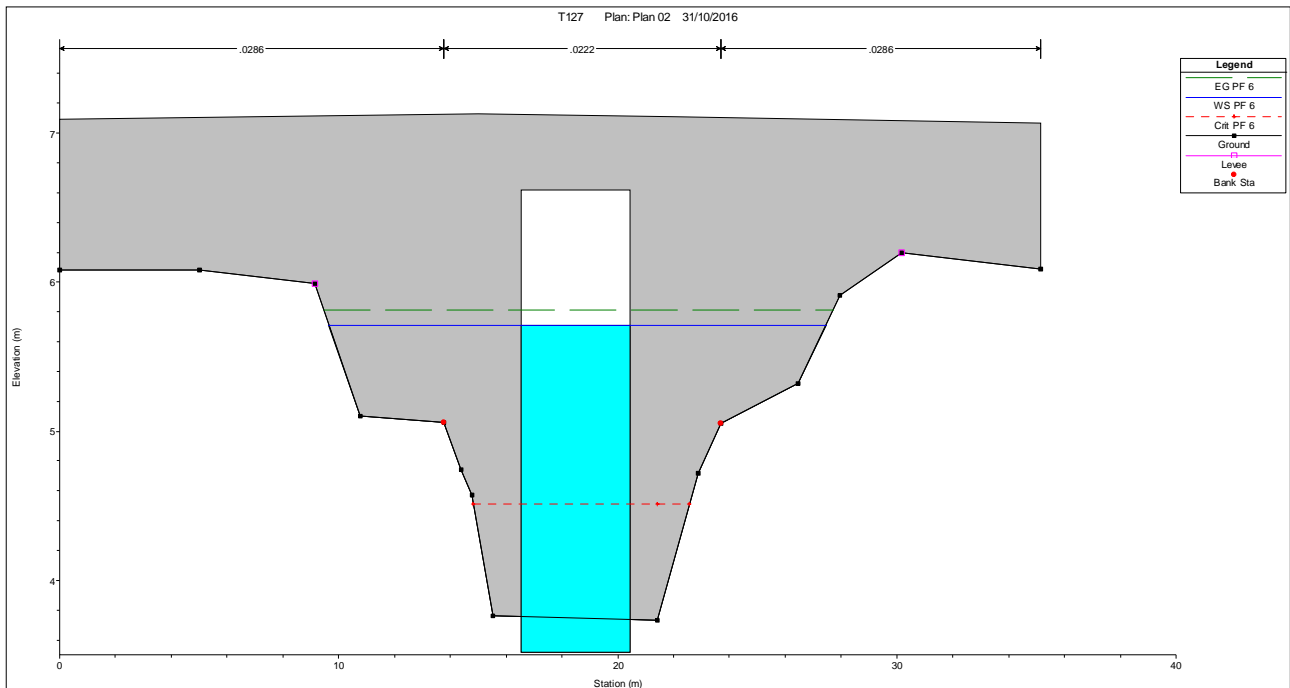


Figura 85: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan:			
Q Culv Group (m3/s)	12.00	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	1.41
Q Barrel (m3/s)	12.00	Culv Vel DS (m/s)	1.41
E.G. US. (m)	5.86	Culv Inv El Up (m)	3.52
W.S. US. (m)	5.84	Culv Inv El Dn (m)	3.50
E.G. DS (m)	5.72	Culv Frctn Ls (m)	0.02
W.S. DS (m)	5.69	Culv Exit Loss (m)	0.07
Delta EG (m)	0.14	Culv Entr Loss (m)	0.05
Delta WS (m)	0.15	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	5.19	Weir Sta Lft (m)	
E.G. DC (m)	5.86	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	5.71	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	5.69	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	2.20	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crit Depth (m)	0.99	Min El Weir Flow (m)	7.09

Errors, Warnings and Notes

Figura 86: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – canale Torniano

**- FASE REALIZZATIVA –**

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera da prolungare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte un pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.

In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.

## 8.1 Scolo Aldrovandi / Scolo Principale

---

### 8.1.1 Caratteristiche idrografiche

Lo scolo Principale o scolo Aldrovandi, interferito dal tracciato autostradale alla Pk28+219, è uno scolo di considerevoli dimensioni che riceve le acque da numerosi scoli minori tra cui gli scoli San Carlo, Carbonara, Scorsuro, Margosa Sud, Seghedizzo ed altri, è gestito dal Consorzio di Bonifica Renana.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella alta Ferrarese dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nella figura seguente sono mostrate le sezioni lato est e lato ovest dello scolo principale in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 28+219.



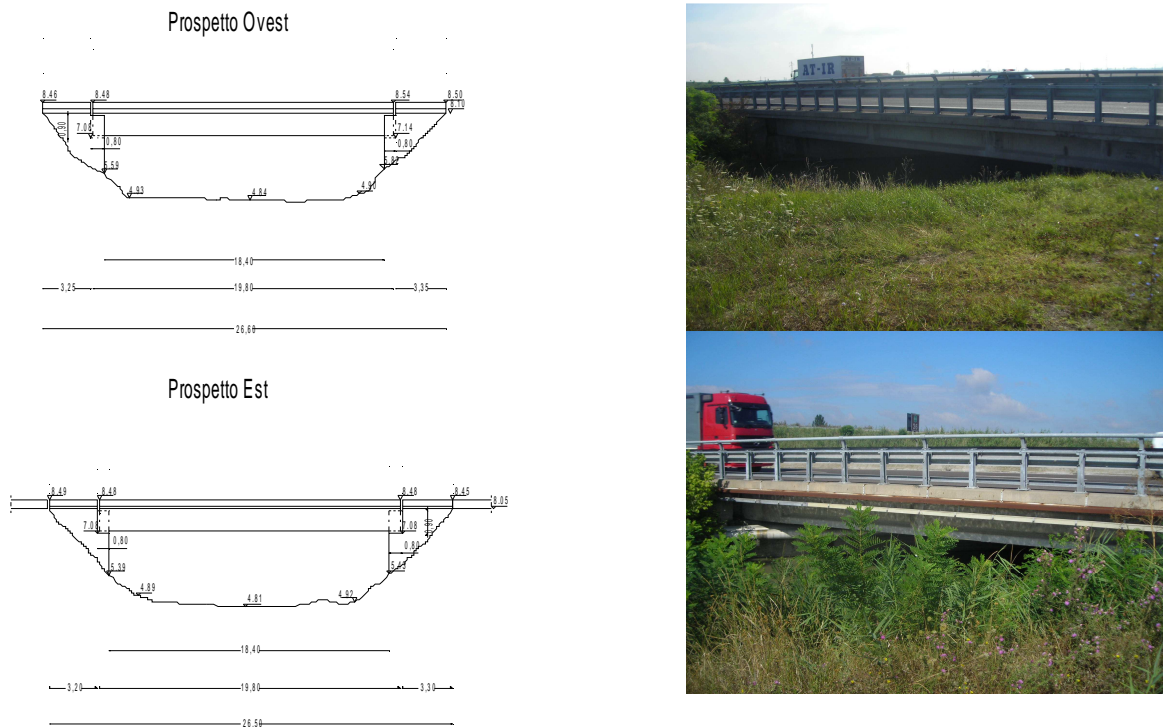


Figura 87: Scolo Principale in corrispondenza del ponte autostradale lato est ed ovest

### 8.1.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello Scolo Principale è la portata  $Q_{ms}=40.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione di attraversamento autostradale, considerando un franco di sicurezza nullo.

### 8.1.1 Verifiche idrauliche

#### 8.1.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato dello scolo Principale è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 135 m a monte dell'autostrada e per 170 m a valle, per una lunghezza totale di circa 335 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di dodici sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è un ponte con luce pari a 11.89 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.00 m ed estensione lineare pari a 0 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 8.1.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello scolo Principale

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

#### 8.1.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del ponte autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto che comprende il ponte di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a  $40.00 m^3/s$ ;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 7.00 m s.l.m..

La condizione di valle è stata valutata pari a un livello idrico imposto a causa della natura dello scolo che essendo caratterizzato da profili di rigurgito della rete di canali consorziali è la situazione

più vincolante nella verifica idraulica.

La presenza di manufatti di dimensioni minori rispetto all'attraversamento autostradale determina la condizione di valle al livello idrico imposto, che è stato quindi valutato come il livello che garantisce una non esondazione di tutto il tratto indagato.

### 8.1.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione i nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 40.0 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nelle sezioni di monte nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.

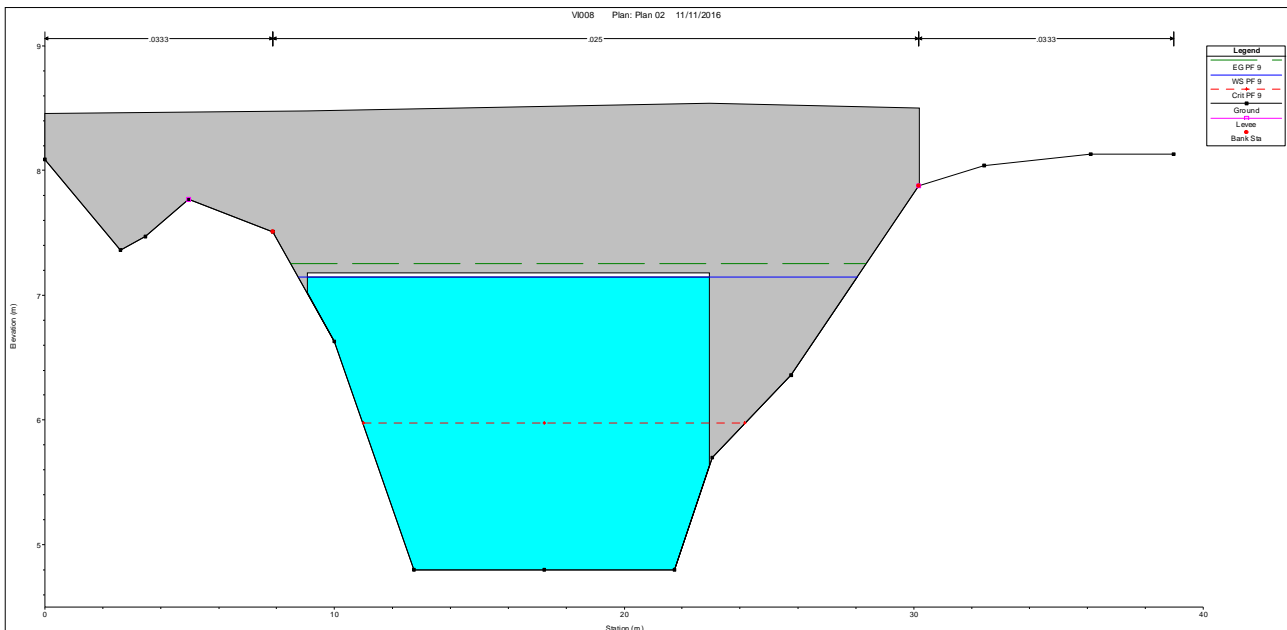


Figura 88: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{MS}$

La simulazione nello stato di progetto ha tenuto conto dell'ampliamento dell'estensione lineare del ponte autostradale. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta particolari variazioni rispetto allo stato di fatto.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

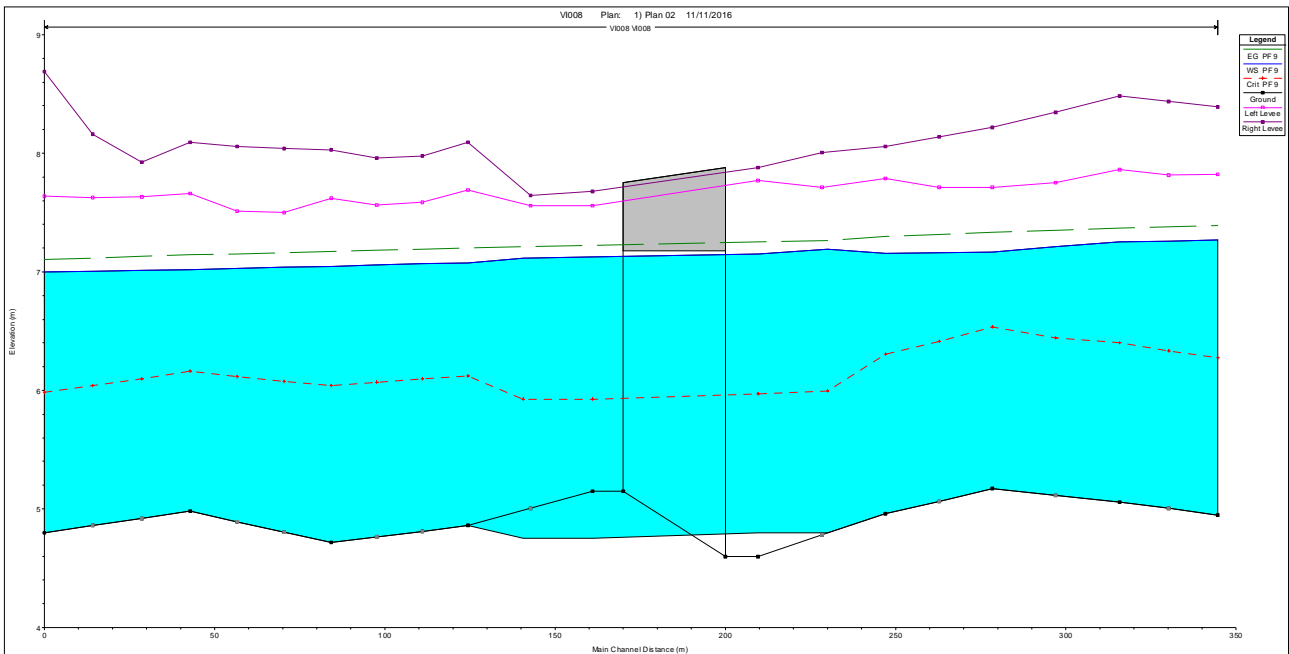


Figura 89: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{MS}$

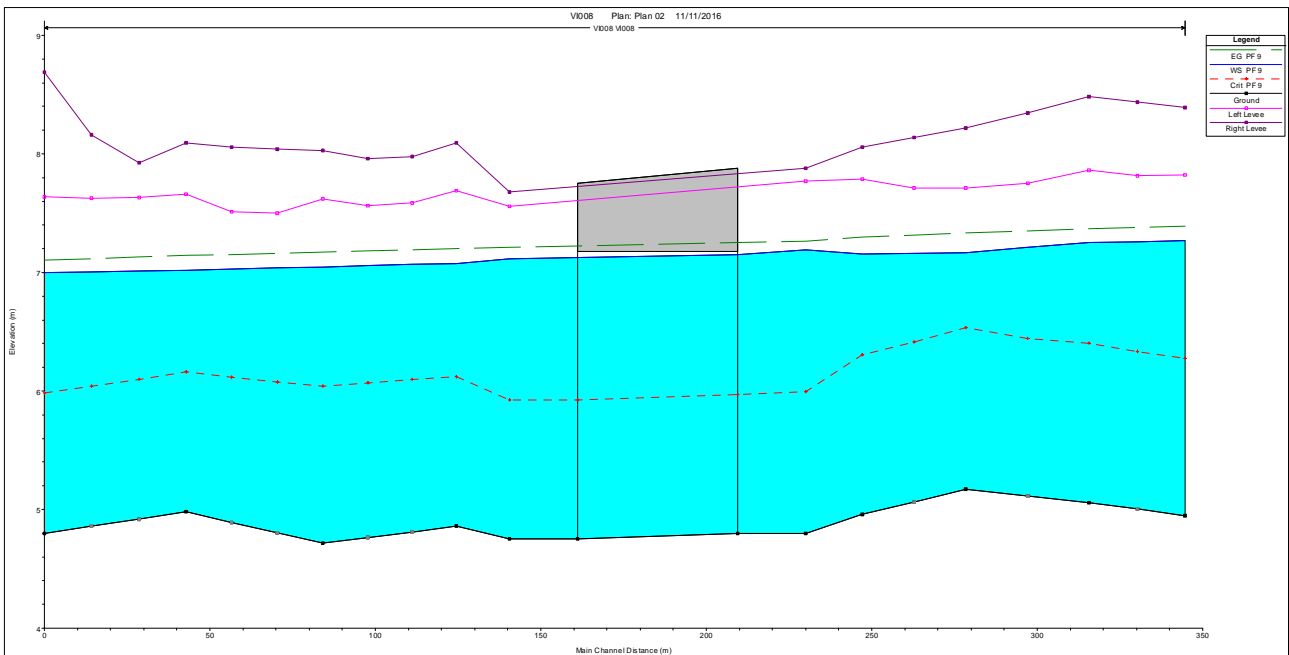


Figura 90: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{MS}$

Dalla simulazione numerica si determina che nelle condizioni di fatto è garantito il corretto deflusso in corrispondenza dell'autostrada A13, il ponte mantiene in condizioni di piena intensa un deflusso a pelo libero.

Lo stato di progetto prevede l'invarianza della sezione del ponte con luce pari a 11.89 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.00 m e aumenta la lunghezza fino a 48.50 m.

Nello stato di progetto come per lo stato di fatto, il deflusso avviene a pelo libero. Come per lo stato di fatto si mantiene un seppur minimo franco con la portata massima ammissibile. La situazione pertanto non cambia tra stato di fatto e di progetto.

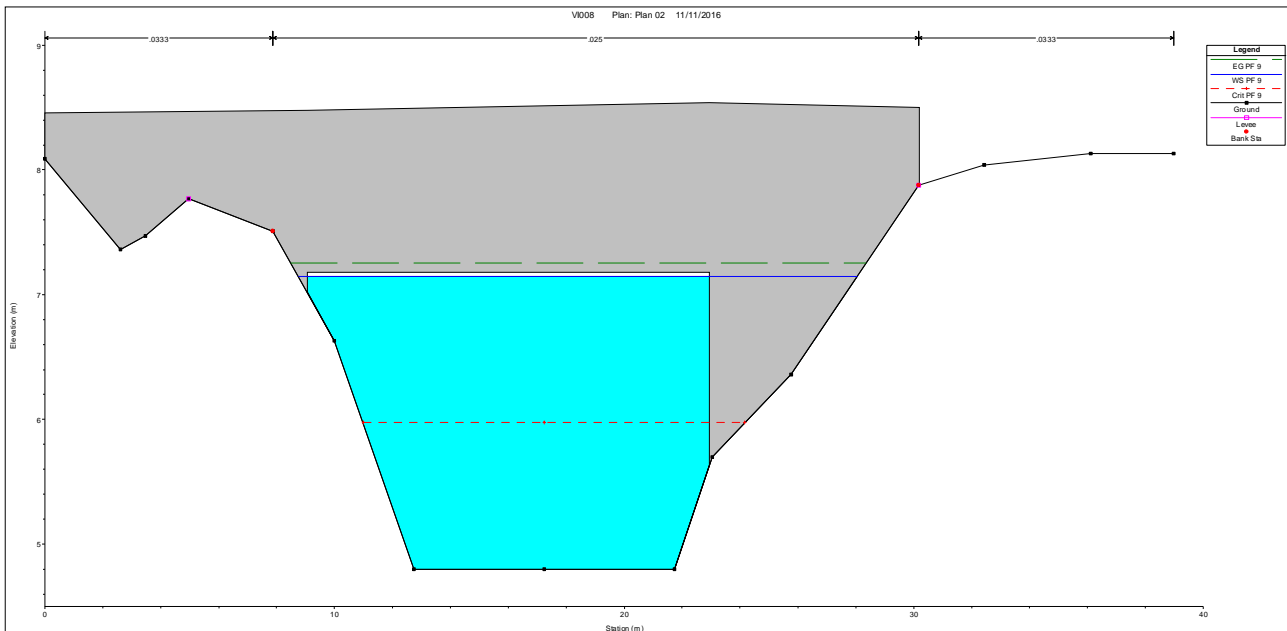


Figura 91: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{MS}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

E.G. US. (m)	7.25	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	7.16	E.G. Elev (m)	7.24	7.18
Q Total (m3/s)	40.00	W.S. Elev (m)	7.10	6.84
Q Bridge (m3/s)	40.00	Crit W.S. (m)	5.84	6.46
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	2.50	1.69
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.65	2.56
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	24.29	15.60
Weir Submerg		Froude # Chl	0.33	0.64
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	36.28	23.07
Min El Weir Flow (m)	8.47	Hydr Depth (m)	2.43	1.56
Min El Prs (m)	7.12	W.P. Total (m)	10.70	10.61
Delta EG (m)	0.11	Conv. Total (m3/s)	1677.9	812.4
Delta WS (m)	0.28	Top Width (m)	10.00	10.00
BR Open Area (m2)	18.40	Frctn Loss (m)	0.03	0.02
BR Open Vel (m/s)	2.56	C & E Loss (m)	0.02	0.02
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	12.65	34.95
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00

Figura 92: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – scolo Principale

#### - FASE REALIZZATIVA – FASE ZERO -

Nella fase zero si considera la realizzazione di un guado per il superamento dei mezzi d'opera dello scolo Principale.

Il guado sarà realizzato con uno sbarramento in alveo al di sotto del quale saranno posate n. 3 condotte a struttura portante in acciaio ondulato con sezione ribassata aventi luce 2.40 m e freccia 1.78 m. La sommità di sormonto del guado è stata fissata quota 7.12 m slm.

Si è verificata la configurazione con il guado con diverse portate e condizione a valle di moto uniforme.

#### Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 14.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 20.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.03\%$ ).

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitato con le diverse portate considerate.

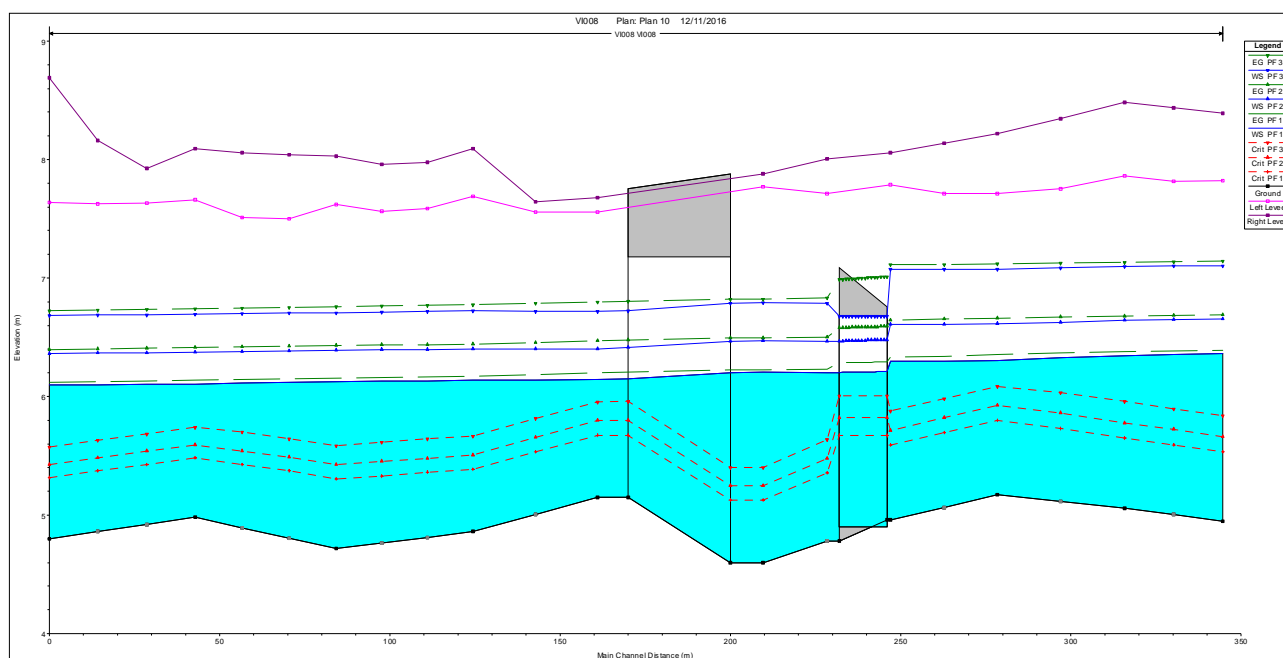


Figura 93: Profilo idraulico dello scolo Principale nella fase realizzativa zero

Come è possibile vedere, il livello è pari alla quota di 7.07 m s.l.m. sulla sezione a monte del guado per la portata di 20 m<sup>3</sup>/s, mentre le altre due portate consentono il rispetto di un franco sulla quota di sormonto di 0.82 m, per la portata di 10 m<sup>3</sup>/s, più che adeguato per una fase realizzativa, e di 0.50 m per quella di 14 m<sup>3</sup>/s. Si è deciso di fissare come livello di allarme il livello corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sormonto del guado, il che si traduce in un livello a monte del guado stesso pari a 6.62 m s.l.m.: ne deriva che la portata di 14 m<sup>3</sup>/s è la portata limite per l'utilizzo del guado.

Sarà quindi necessario avere un controllo sui livelli a monte del guado sullo scolo Principale.

## - FASE REALIZZATIVA – FASE 1: PROLUNGAMENTO DELL'IMPALCATO

Nella fase n. 1 si andrà a realizzare il prolungamento dell'impalcato. Tale fase viene realizzata tramite l'infissione di palancole, la cui sommità è posta a 7.38 m s.l.m.. Si è verificata quindi la configurazione con il guado con diverse portate e condizioni di moto uniforme a valle.

### Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 18.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 22.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 25.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
  
- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.03\%$ ).

In tutti i casi si sono considerate alcune condizioni di sicurezza per l'operato dei mezzi d'opera e per gli operatori che sono:

- Livello in corrispondenza della tura: si è considerato un livello di allerta corrispondente ad avere un franco di 20 cm sulla quota di estradosso del ponte autostradale, pari quindi a 6.92 m slm;
- Livello in corrispondenza del guado: in questo caso si può prevedere il sormonto del guado che quindi per alcuni valori portata non potrà essere utilizzato come attraversamento dai mezzi di cantiere.

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate.



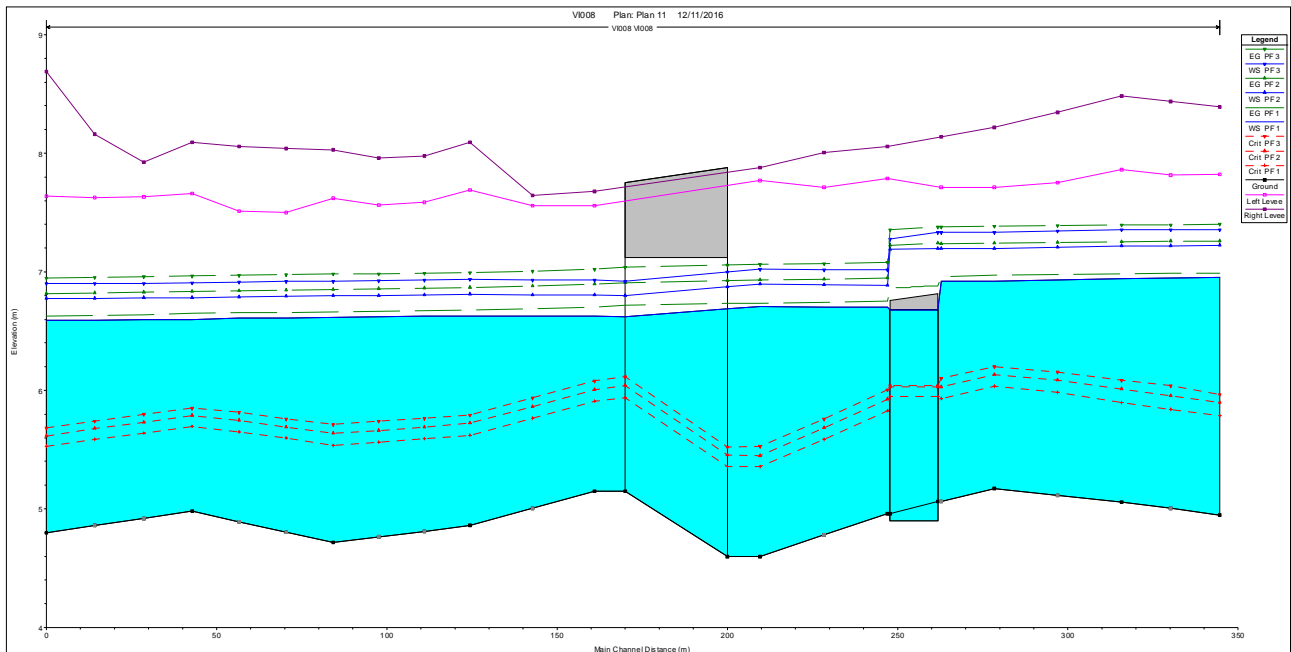


Figura 94: Profilo idraulico dello scolo Principale nella fase realizzativa 1

Come è possibile vedere, le portate rispettano la condizione in corrispondenza delle palancole, mentre la portata di 25 m<sup>3</sup>/s non rispetta il franco imposto a monte del ponte (soli 9 cm). La portata di 22 m<sup>3</sup>/s è anche la portata limite che consente di restare con un franco pari a 20 cm.

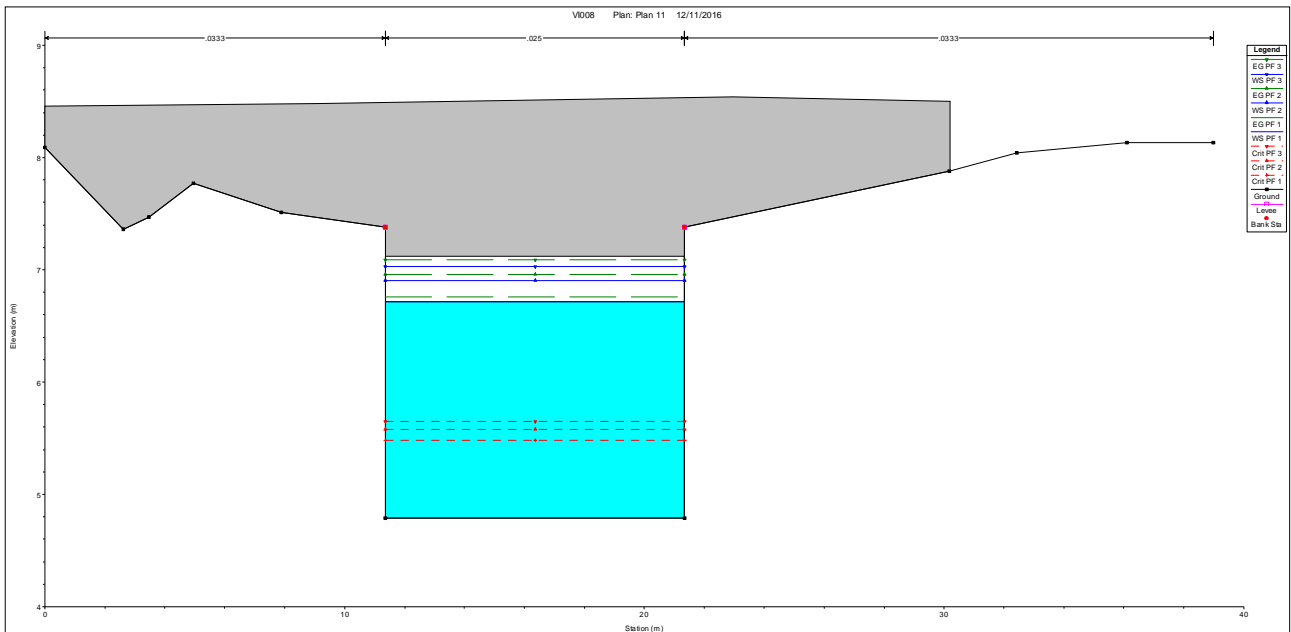


Figura 95: sezione in corrispondenza del restringimento per la realizzazione delle opere

#### - FASI REALIZZATIVE – CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate sulle configurazioni dell'alveo dello scolo Principale delle fasi realizzative dell'opera, ne emerge la necessità di attuare sia dei controlli in continuo sui livelli della corrente che di valutare delle possibili limitazioni di portata da concordare con l'ente gestore. Sarà quindi necessario l'installazione di un misuratore di livello a monte del guado e delle ture che verifichi il non superamento dei livelli di sicurezza impostati nelle simulazioni.

Questi accorgimenti rendono necessario vincolare i lavori in alveo alle stagioni meno a rischio, in periodo di magra del canale. Le lavorazioni durante le fasi provvisoriale che interessano l'alveo dovranno essere fatte prevalentemente in fase di asciutta.

Sebbene le fasi provvisoriale permettano livelli più alti, questi comporterebbero la sommersione del guado e pertanto il livello di allarme rimane quello indicato per il guado.

## **9. INTERFERENZE SECONDARIE – CONSORZIO DI BONIFICA RENANA**

### **9.1 Scolo San Prospero**

#### 9.1.1 Caratteristiche idrografiche

Lo scolo San Prospero è un fosso minore che interferisce con il tracciato autostradale alla progressiva Pk 25+197. Lo scolo è gestito dal consorzio di Bonifica Renana.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella pianura a nord di Bologna, dominata da superfici piate monotone deprimenti verso Nord-Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nelle figure seguenti si possono notare le sezioni lato est ed ovest dello scolo San Prospero in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 25+197.



*Figura 96: Scolo San Prospero in corrispondenza del tombino autostradale – lato est ed ovest*

Tombino Km 25+196  
Prospetto Est

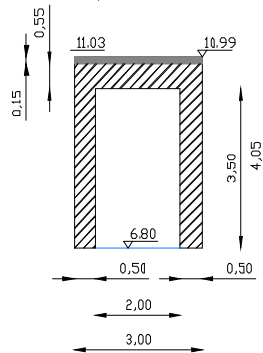


Figura 97: Sezione dello scolo San Prospero in corrispondenza del ponte autostradale – lato est

### 9.1.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello scolo San Prospero è la portata massima sostenibile ( $Q_{ms}=3.00\text{m}^3/\text{s}$ ), pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica dello scolo, considerando un franco di sicurezza nullo.

### 9.1.1 Verifiche idrauliche

#### 9.1.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato dello scolo San Prospero è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 315 m a monte dell'autostrada e per 630 m a valle, per una lunghezza totale di circa 945 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di 10 sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è un tombino scatolare con luce pari a 4.20 m in altezza, tra fondo e intradosso, e 2.00 m in larghezza, e con estensione pari a 44 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti al tratto di alveo sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 9.1.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello scolo San Prospero

Coefficients di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	30
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

### 9.1.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a  $3.00 \text{ m}^3/s$ ;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a  $9.00 \text{ m s.l.m.}$ .

Come condizione di valle è stato imposto un livello idrico fisso in quanto, essendo la rete idrica di tipo consortile, la presenza di manufatti a valle del tratto in esame lungo il corso d'acqua è vincolante: i manufatti presenti a valle possono avere dimensioni minori rispetto a quello di attraversamento autostradale e determinano un deflusso di tipo rigurgitato. Per lo scolo San Prospero risulta vincolante un livello idrico nell'ultima sezione di valle del tratto indagato pari a  $9 \text{ m s.l.m.}$ , che consente di garantire che il deflusso avvenga senza esondazioni.

### 9.1.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione in nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 3.00 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte del tombino nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del tombino dello scolo San Prospero è pari a 9.07 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 1.23 m.

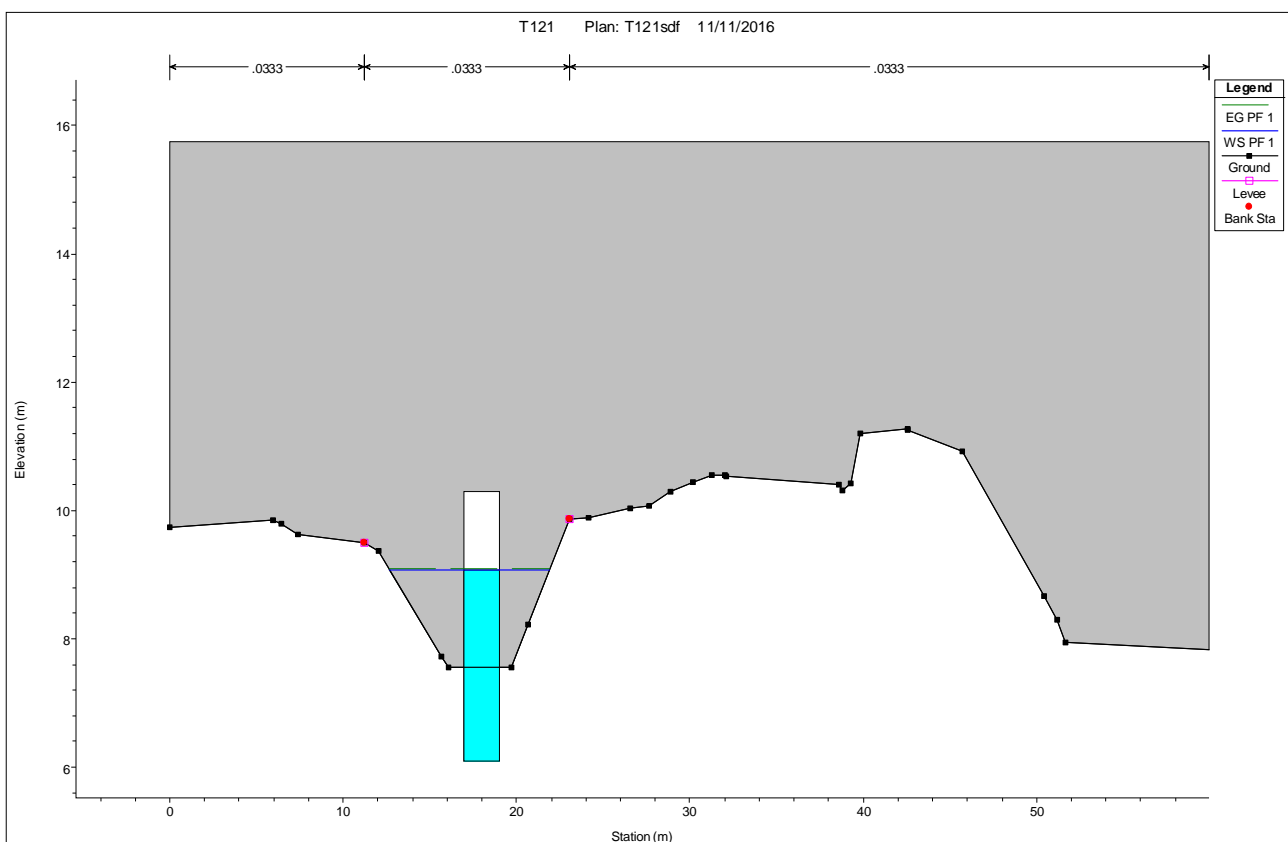


Figura 98: Livello raggiunto nella sezione di monte del ponte autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

La simulazione numerica per lo stato di fatto mostra che è garantito il deflusso della portata all'interno del ponte di attraversamento dell'autostrada A13. Inoltre, non sono presenti criticità nella restante parte del tratto oggetto di studio.

Nello stato di progetto lo scatolare non viene prolungato e la sezione viene lasciata inalterata. L'unica variazione si ha per il rimodellamento del fondo in un tratto limitato a monte e a valle del tombino.

È stata eseguita quindi la simulazione dello stato di progetto tenendo conto della rimodellazione del fondo per i tratti a monte e a valle del tombino. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta variazioni rispetto allo stato di fatto.

La sezione del ponte allo stato di progetto per una portata massima circolante presenta un grado di riempimento uguale a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 70%. Il livello idrico nella sezione di monte del ponte non cambia rispetto alla configurazione di stato di fatto e si attesta al valore di 9.07 m slm.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

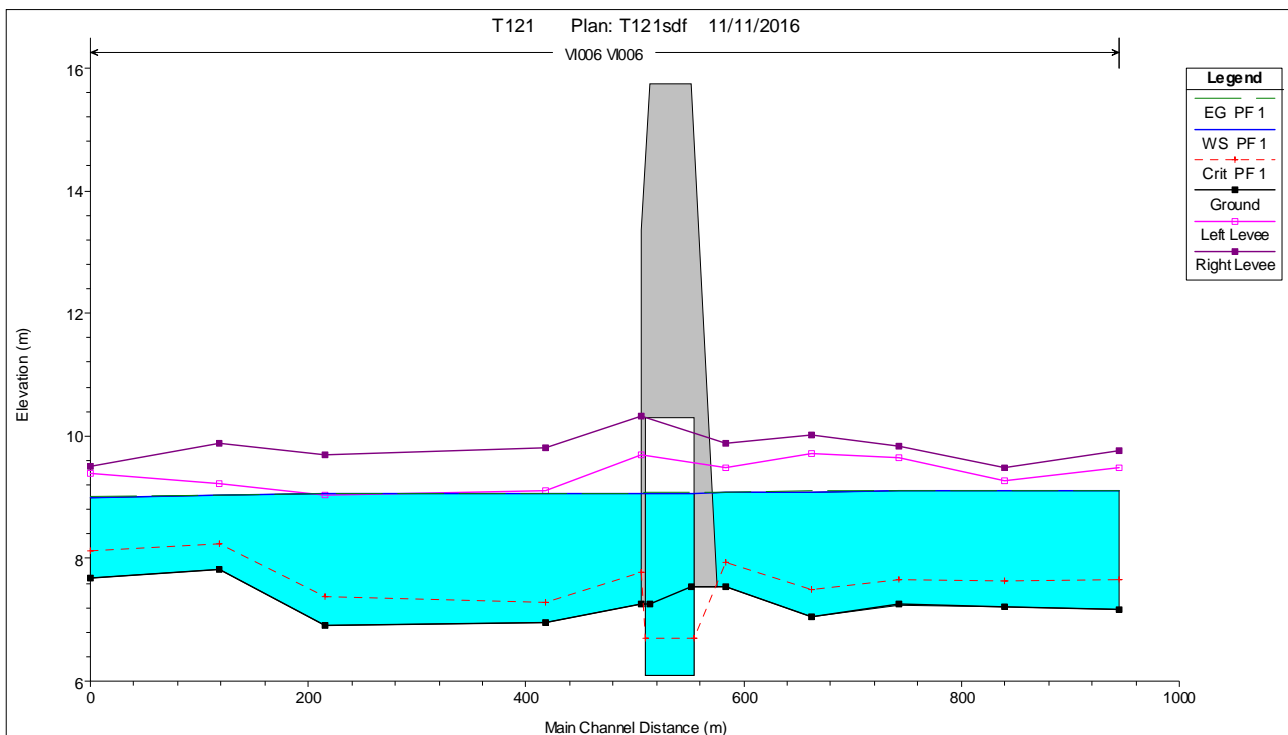


Figura 99: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

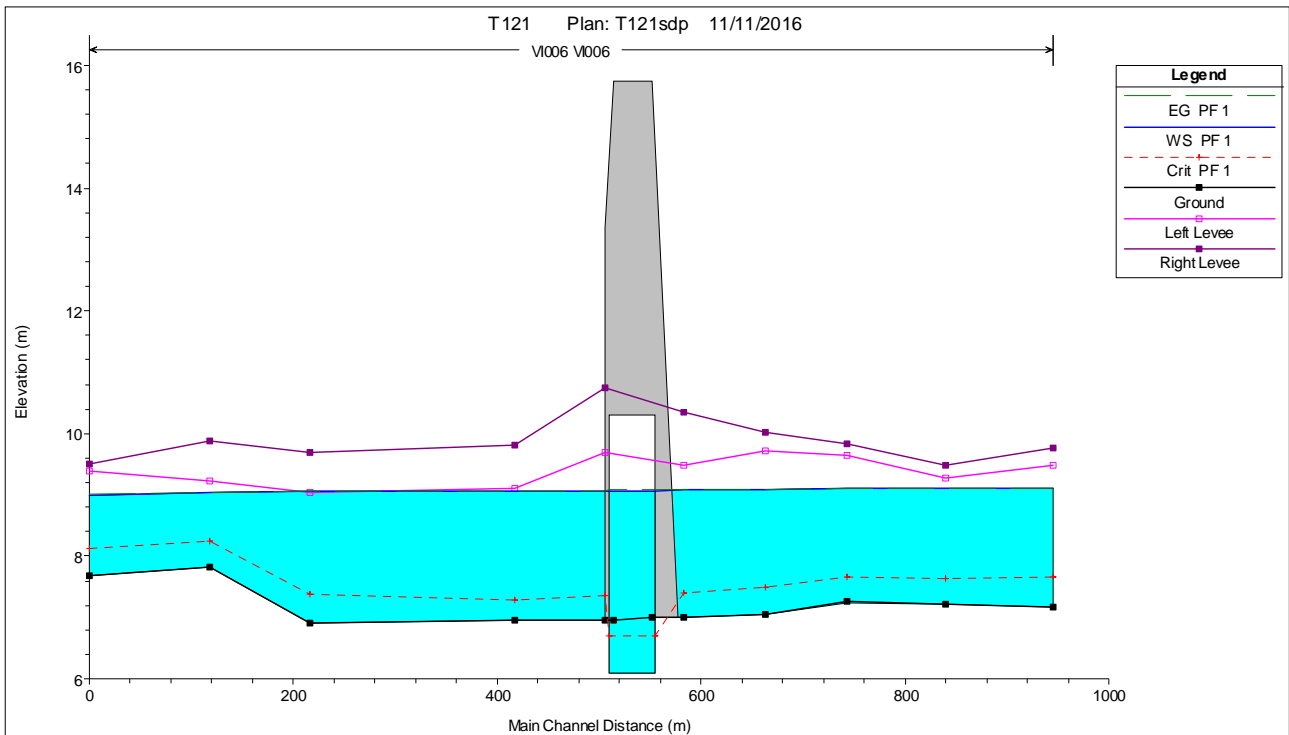


Figura 100: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$



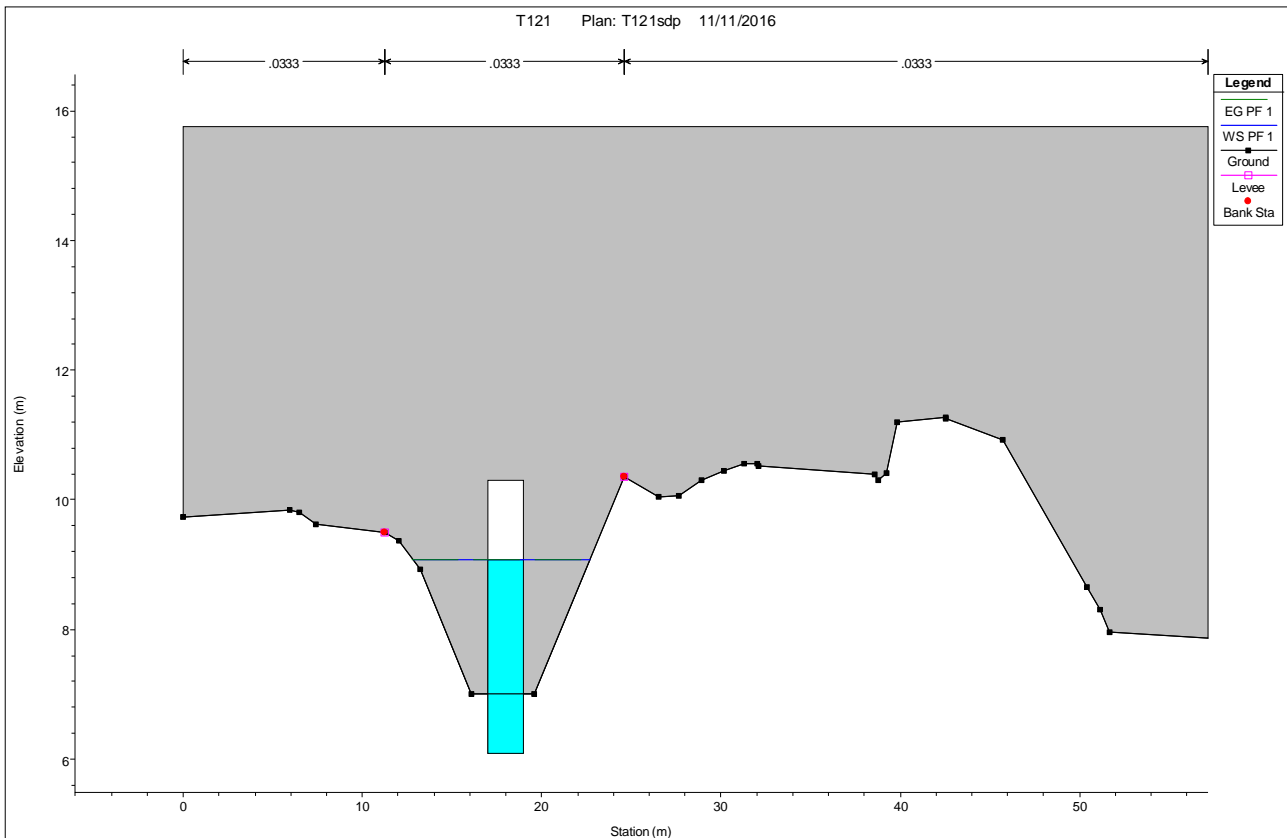


Figura 101: livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{MS}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: T121sdp V1006 V1006 RS: 554 Culv Group: Culvert #1 Profile: PF 1			
Q Culv Group (m3/s)	3.00	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	0.50
Q Barrel (m3/s)	3.00	Culv Vel DS (m/s)	0.51
E.G. US. (m)	9.09	Culv Inv El Up (m)	6.10
W.S. US. (m)	9.09	Culv Inv El Dn (m)	6.10
E.G. DS (m)	9.07	Culv Frctn Ls (m)	0.01
W.S. DS (m)	9.06	Culv Exit Loss (m)	0.01
Delta EG (m)	0.02	Culv Entr Loss (m)	0.01
Delta WS (m)	0.02	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	7.13	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	9.09	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	9.07	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	9.06	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)		Weir Flow Area (m2)	
Culv Crit Depth (m)	0.61	Min El Weir Flow (m)	15.75

Figura 102: Parametri idraulici del tombino autostradale A13 – scolo San Prospero

**- FASE REALIZZATIVA -**

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera a cui lavorare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte una pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.

In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.

## 9.2 Scolo Riolo / Scolo Botte

### 9.2.1 Caratteristiche idrografiche

Lo scolo Riolo interferisce con il tracciato dell'autostrada A13 alla progressiva Pk. 25+150. Lo scolo è una derivazione minore del canale Emiliano Romagnolo che parte dall'impianto di sollevamento della Crevanzosa, nell'abitato di Galliera, e la sua lunghezza fino all'interferenza con l'autostrada è di circa 12 km.

Nelle figura seguenti si possono notare le sezioni lato est ed ovest dello scolo Riolo in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 25+150.



Prospetto Est

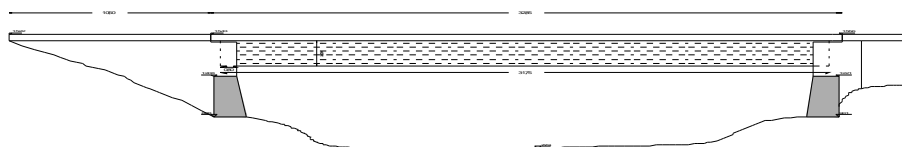


Figura 103: Scolo Riolo in corrispondenza del ponte autostradale - lato est



Prospetto Ovest

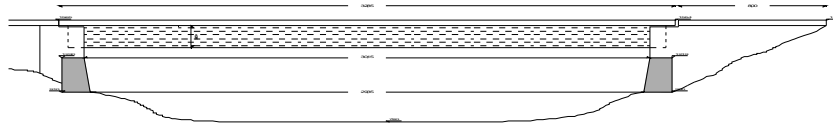


Figura 104: Scolo Riolo in corrispondenza del ponte autostradale - lato ovest

### 9.2.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello scolo Riolo è la portata massima sostenibile ( $Q_{ms}=70.00\text{m}^3/\text{s}$ ), pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica dello scolo, considerando un franco di sicurezza nullo.

### 9.2.1 Verifiche idrauliche

#### 9.2.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato dello scolo Riolo è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 315 m a monte dell'autostrada e per 630 m a valle, per una lunghezza totale di circa 945 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di 11 sezioni

trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è un ponte con luce pari a 5.35 m in altezza, tra fondo e intradosso, e 30.20 m in larghezza in sommità e 25.55 m sul fondo, e con estensione pari a 24.5 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti al tratto di alveo sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 9.2.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello scolo Riolo

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	25

### 9.2.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del viadotto autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto che comprende il viadotto di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a 70.00 m<sup>3</sup>/s;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 11 m s.l.m..

Come condizione di valle è stato imposto un livello idrico fisso in quanto, essendo la rete idrica di tipo consortile, la presenza di manufatti a valle del tratto in esame lungo il corso d'acqua è vincolante: i manufatti presenti a valle possono avere dimensioni minori rispetto a quello di

attraversamento autostradale e determinano un deflusso di tipo rigurgitato. Per lo scolo Riolo risulta vincolante un livello idrico nell'ultima sezione di valle del tratto indagato pari a 11 m s.l.m., che consente di garantire che il deflusso avvenga senza esondazioni.

### 9.2.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione idraulica nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 70.00 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte del ponte nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.

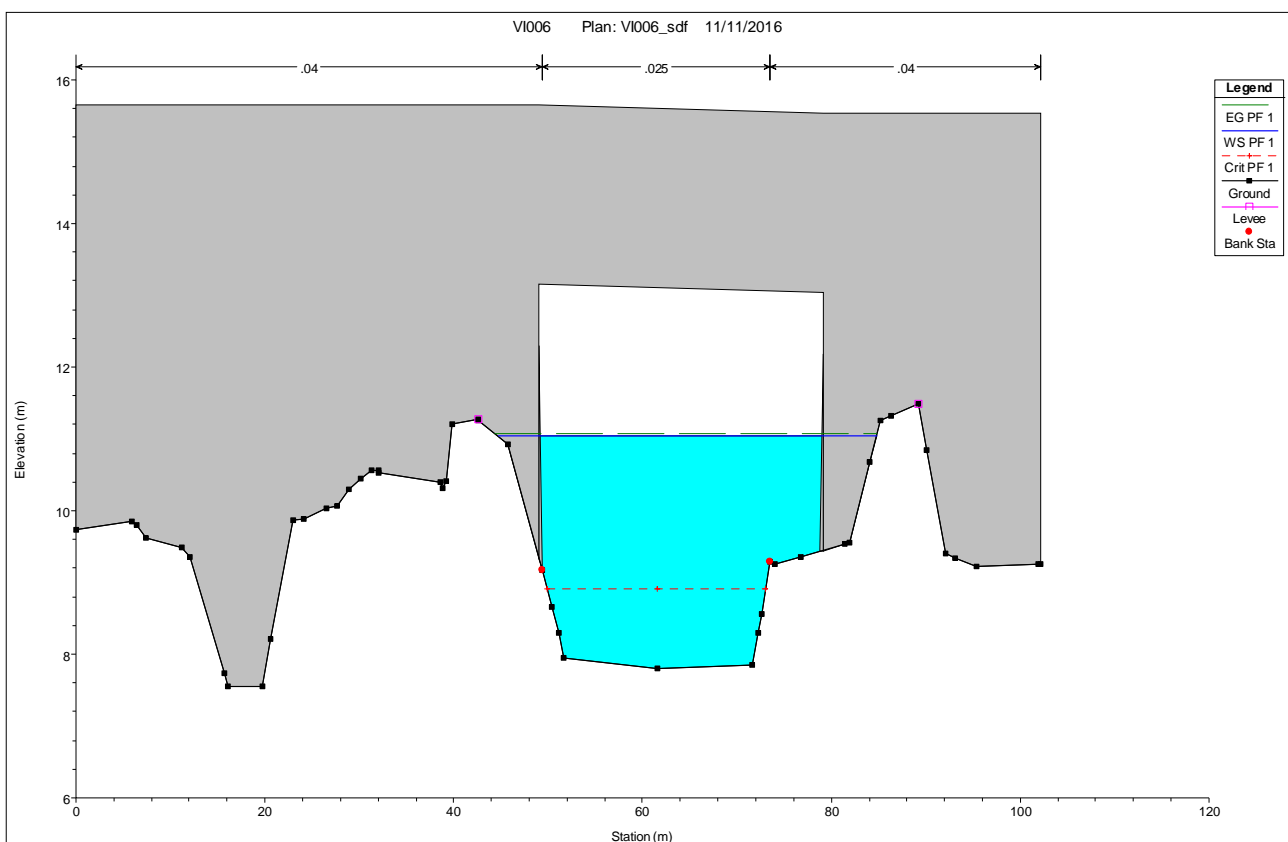


Figura 105: Livello raggiunto nella sezione di monte del ponte autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del ponte dello scolo Riolo è pari a 11.04 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 1.89 m.

La simulazione numerica per lo stato di fatto mostra che è garantito il deflusso della portata all'interno del ponte di attraversamento dell'autostrada A13. Inoltre, non sono presenti criticità nella restante parte del tratto oggetto di studio.

Nello stato di progetto si è tenuto conto dell'ampliamento del ponte in lunghezza, lasciando la sezione inalterata. La lunghezza di progetto del ponte è pari a 34.5 m.

È stata eseguita quindi la simulazione dello stato di progetto tenendo conto delle modifiche in estensione apportate al manufatto. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta variazioni rispetto allo stato di fatto.

La sezione del ponte allo stato di progetto per una portata massima circolante presenta un grado di riempimento uguale a quello dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 61%. Il livello idrico nella sezione di monte del ponte non cambia rispetto alla configurazione di stato di fatto e si attesta al valore di 11.04 m slm.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

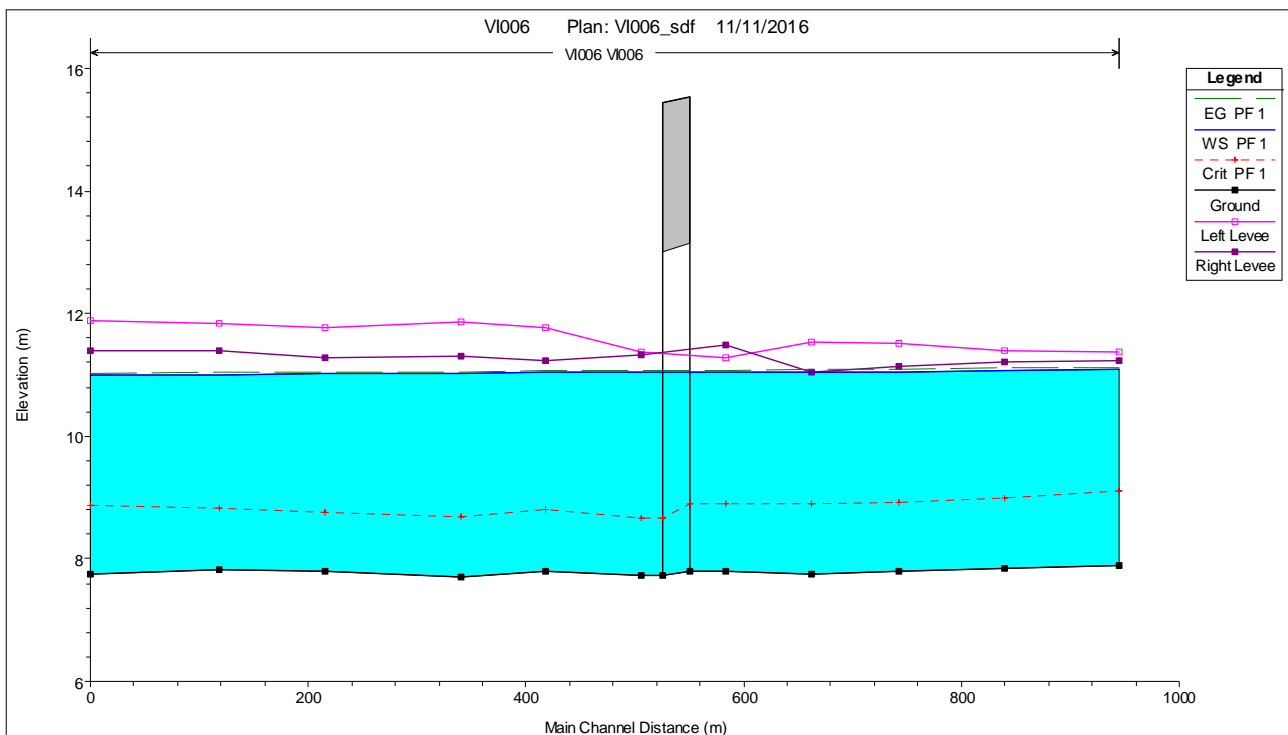


Figura 106: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

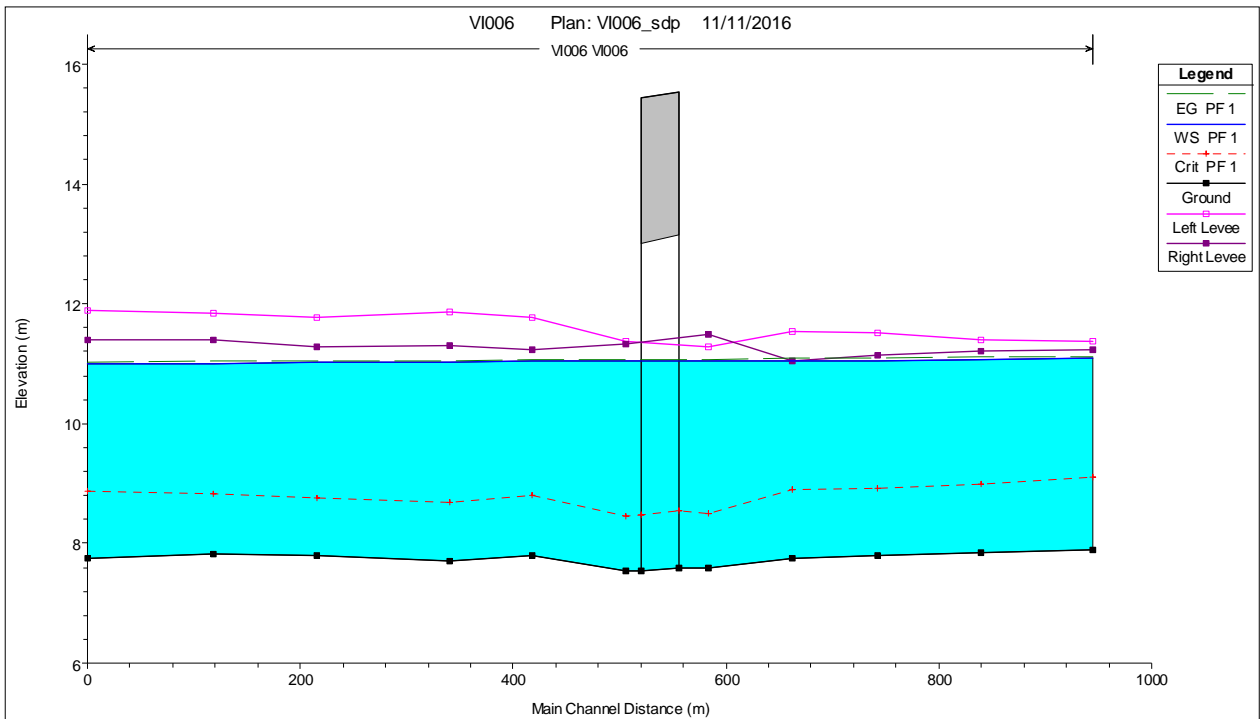


Figura 107: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$



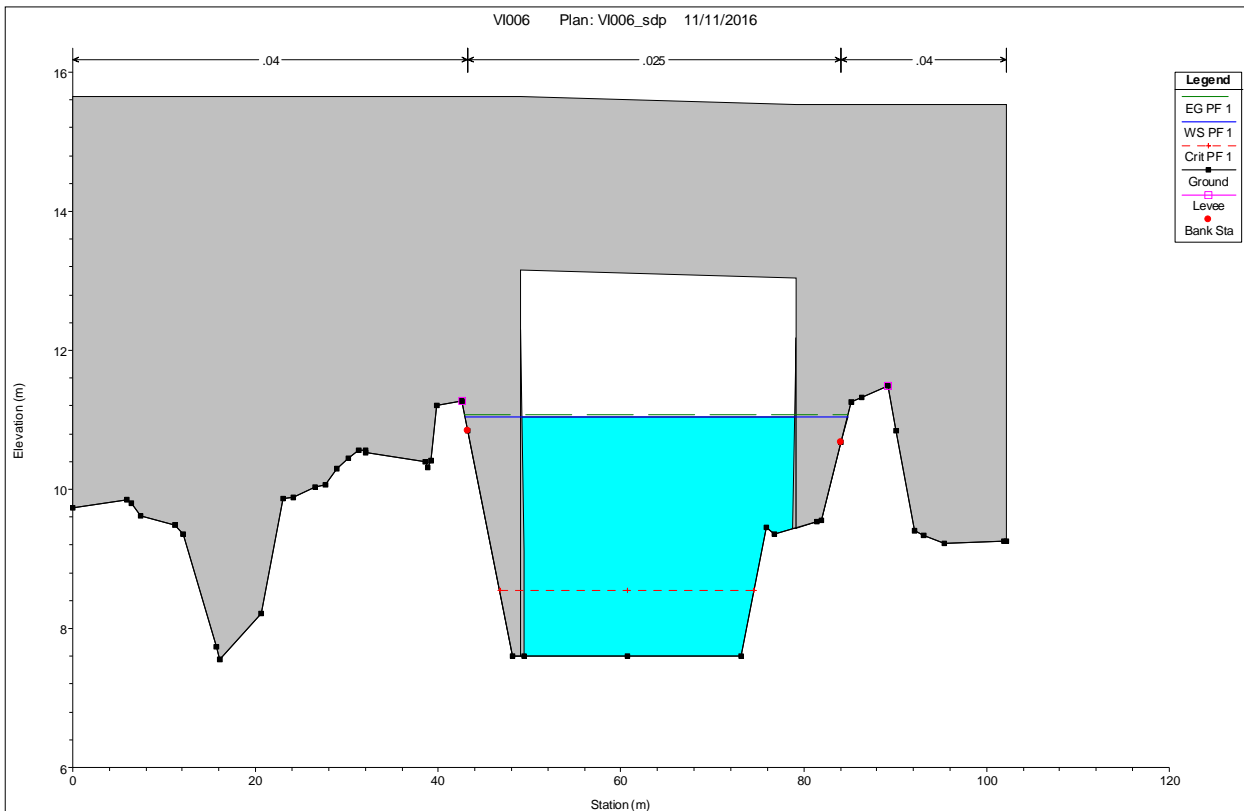


Figura 108: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: VI006_sdp VI006 VI006 RS: 550 Profile: PF 1				
		Element	Inside BR US	Inside BR DS
E.G. US. (m)	11.08	E.G. Elev (m)	11.07	11.07
W.S. US. (m)	11.06	W.S. Elev (m)	11.04	11.04
Q Total (m3/s)	70.00	Crit W.S. (m)	8.55	8.47
Q Bridge (m3/s)	70.00	Max Chl Dpth (m)	3.44	3.49
Q Weir (m3/s)		Vel Total (m/s)	0.74	0.71
Weir Sta Lft (m)		Flow Area (m2)	93.99	99.05
Weir Sta Rgt (m)		Froude # Chl	0.13	0.12
Weir Submerg		Specif Force (m3)	159.54	172.82
Weir Max Depth (m)		Hydr Depth (m)	3.14	3.31
Min El Weir Flow (m)	15.54	W.P. Total (m)	35.09	34.93
Min El Prs (m)	13.15	Conv. Total (m3/s)	7251.5	8176.4
Delta EG (m)	0.01	Top Width (m)	29.89	29.89
Delta WS (m)	0.01	Frctn Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Area (m2)	155.74	C & E Loss (m)	0.00	0.00
BR Open Vel (m/s)	0.74	Shear Total (N/m2)	2.45	2.04
Coef of Q		Power Total (N/m s)	0.00	0.00
Br Sel Method	Energy only			

Figura 109: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – scolo Riolo

## - FASE REALIZZATIVA – FASE ZERO -

Nella fase zero si considera la realizzazione di un guado per il superamento dello scolo Riolo da parte dei mezzi d'opera.

Il guado sarà realizzato con uno sbarramento in alveo al di sotto del quale saranno posate n. 5 condotte a struttura portante in acciaio ondulato con sezione ribassata aventi luce 3.02 m e freccia 2.05 m. La sommità di sormonto del guado è stata fissata quota 10.24 m slm.

Si è verificata la configurazione con il guado con diverse portate e condizione a valle di moto uniforme.

### Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 20.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 30.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.01\%$ ).

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitato con le diverse portate considerate.

Come è possibile vedere, il livello non supera mai la quota di 10.24 m slm sulla sezione a monte del guado, e per tutte le portate il franco di sicurezza risulta essere adeguato per una fase realizzativa: per la portata di  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  il franco è di 50 cm, per quella di  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  è pari a 65 cm e per la portata di  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  il franco è di 1.23.

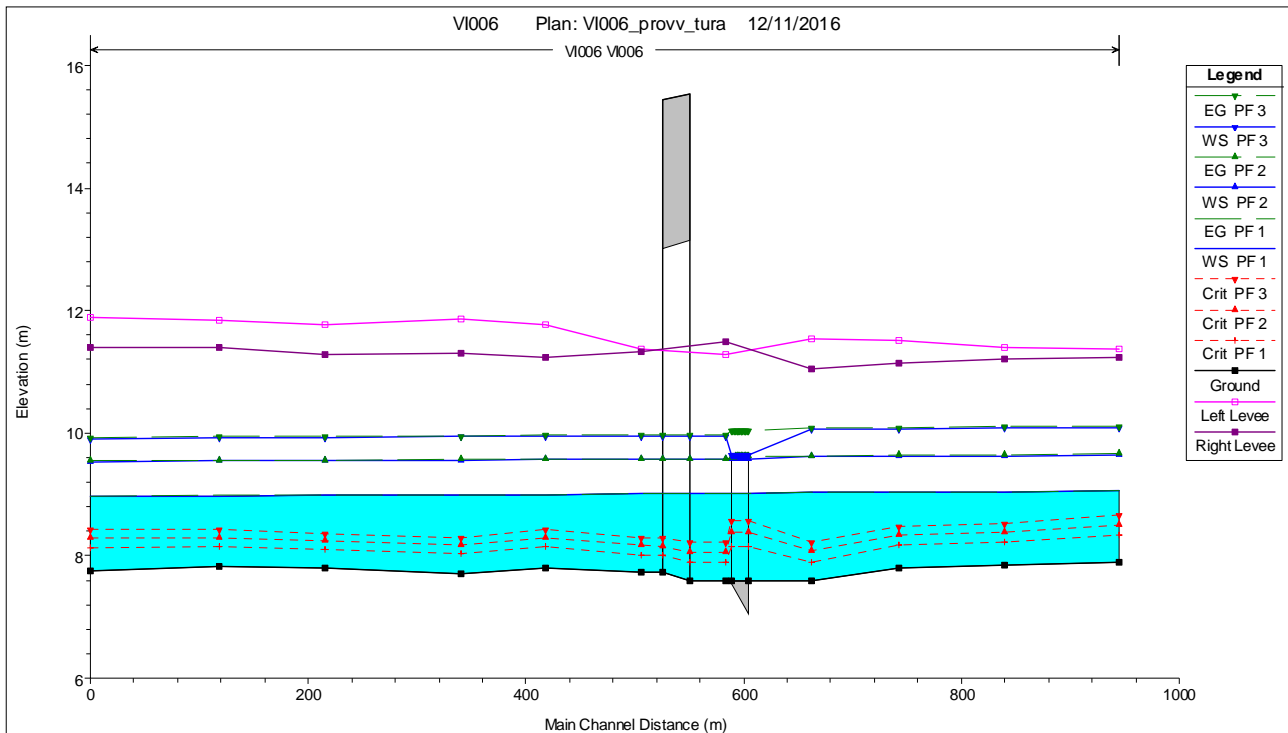


Figura 110: profilo idraulico dello scolo Riolo nella fase realizzativa zero

Si è deciso di fissare come livello di allarme il livello corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sormonto del guado, il che si traduce in un livello a monte del guado stesso pari a 9.74 m slm: ne deriva che la portata di 30 m<sup>3</sup>/s è la portata limite per l'utilizzo del guado.

Sarà quindi necessario avere un controllo sui livelli a monte del guado sullo scolo Riolo.

#### - FASI REALIZZATIVE – CONCLUSIONI

Il ponte sullo scolo Riolo verrà completamente ricostruito, senza interessare il corso d'acqua, perciò viene predisposta la sola fase di realizzazione del guado.

Dalle analisi effettuate sulle configurazioni dell'alveo dello scolo Riolo delle fasi realizzative dell'opera, ne emerge la necessità di attuare sia dei controlli in continuo sui livelli della corrente che di valutare delle possibili limitazioni di portata da concordare con l'ente gestore. Sarà quindi necessario l'installazione di un misuratore di livello a monte del guado e delle ture che verifichi il non superamento dei livelli di sicurezza impostati nelle simulazioni.

Questi accorgimenti rendono necessario vincolare i lavori in alveo alle stagioni meno a rischio, in periodo di magra del canale. Le lavorazioni durante le fasi provvisorie che interessano l'alveo dovranno essere fatte prevalentemente in fase di asciutta.

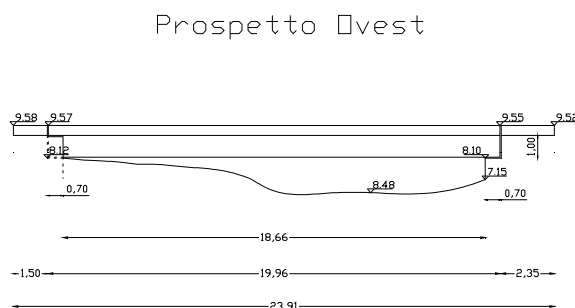
### 9.3 Scolo Tombe / Scolo Lorgana

#### 9.3.1 Caratteristiche idrografiche

Lo scolo Tombe è un fosso di dimensioni significative che interferisce con il tracciato autostradale alla progressiva Pk 24+448. Il suo bacino è ampio e comprende scoli e fossi che fanno parte della rete dei canali di bonifica gestiti dal Consorzio della Bonifica Renana. Il principale affluente è lo scolo Valle.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella pianura a nord di Bologna, dominata da superfici piatte monotone deprimenti verso Nord-Est e sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nelle figure seguenti si possono notare le sezioni lato est ed ovest dello scolo Tombe in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 24+448.



Prospetto Est

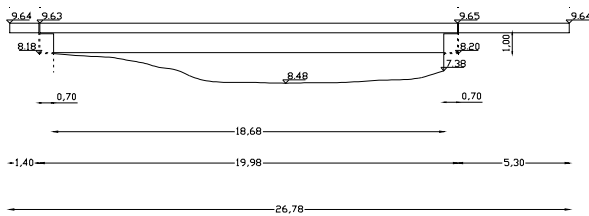


Figura 111: Scolo Tombe in corrispondenza del ponte autostradale lato ovest ed est

### 9.3.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello scolo Tombe è la portata massima sostenibile ( $Q_{ms}=20.00$  m<sup>3</sup>/s), pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica dello scolo, considerando un franco di sicurezza nullo.

### 9.3.1 Verifiche idrauliche

#### 9.3.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato dello scolo Tombe è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 174 m a monte dell'autostrada e per 546 m a valle, per una lunghezza totale di circa 720 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di 16 sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è un ponte con luce pari a 2.0 m in altezza, tra fondo e intradosso, e 18.29 m in larghezza in sommità e 8.49 m sul fondo, e con estensione pari a 24.7 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori

del coefficiente di Strickler attribuiti al tratto di alveo sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 9.3.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello scolo Tombe

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30

### 9.3.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del ponte autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto che comprende il ponte di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a  $20.00 m^3/s$ ;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 11 m s.l.m..

Come condizione di valle è stato imposto un livello idrico fisso in quanto, essendo la rete idrica di tipo consortile, la presenza di manufatti a valle del tratto in esame lungo il corso d'acqua è vincolante: i manufatti presenti a valle possono avere dimensioni minori rispetto a quello di attraversamento autostradale e determinano un deflusso di tipo rigurgitato. Per lo scolo Tombe risulta vincolante un livello idrico nell'ultima sezione di valle del tratto indagato pari a 11 m s.l.m., che consente di garantire che il deflusso avvenga senza esondazioni.

### 9.3.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione in stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 20.00 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte del ponte autostradale nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.

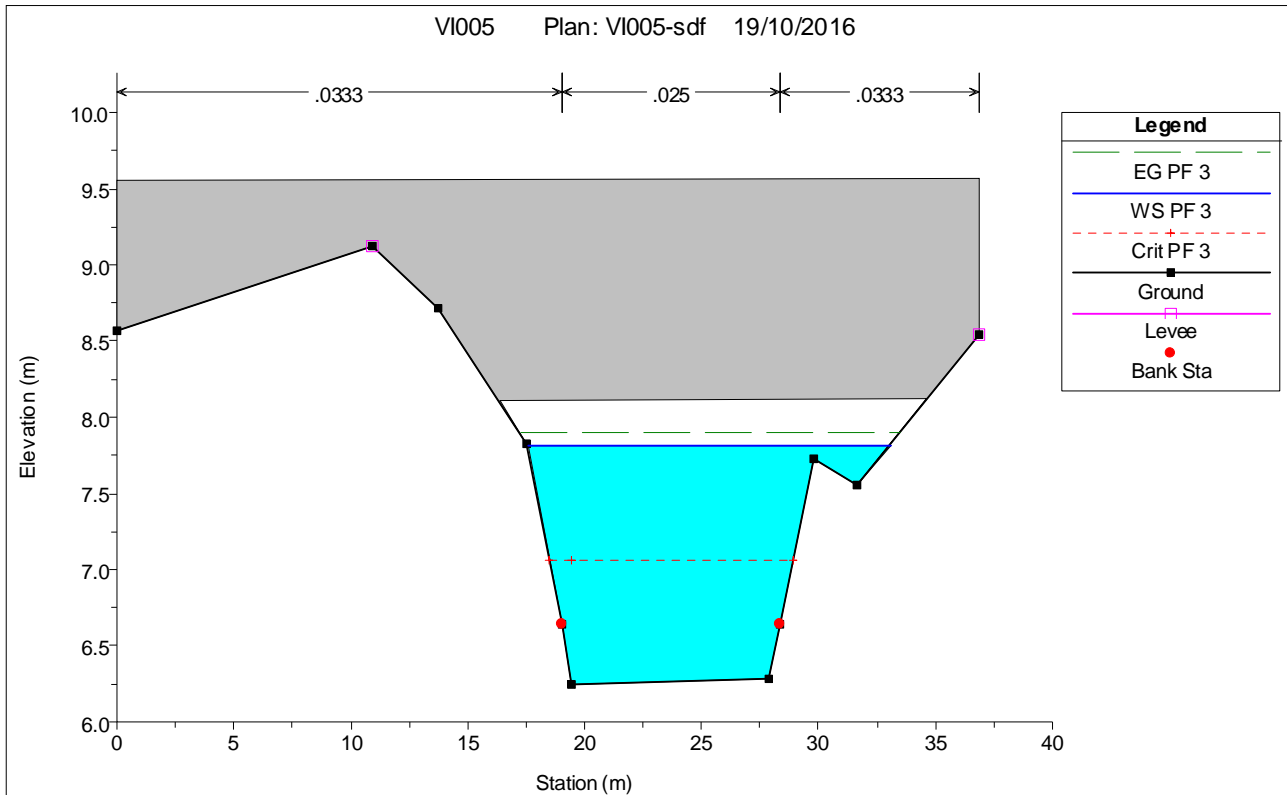


Figura 112: Livello raggiunto nella sezione di monte del ponte autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del ponte dello scolo Tombe è pari a 7.82 m s.l.m., con un franco sotto l'impalcato di 0.28 m.

La simulazione numerica per lo stato di fatto mostra che è garantito il deflusso della portata all'interno del ponte di attraversamento dell'autostrada A13. Inoltre, non sono presenti criticità nella restante parte del tratto oggetto di studio.

Nello stato di progetto si è tenuto conto dell'ampliamento del ponte in lunghezza, lasciando la sezione inalterata. La lunghezza di progetto del ponte è pari a 34.0 m.

È stata eseguita quindi la simulazione dello stato di progetto tenendo conto delle modifiche in estensione apportate al manufatto. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta variazioni rispetto allo stato di fatto.

La sezione del ponte allo stato di progetto per una portata massima circolante presenta un grado di riempimento simile a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 84%. Il livello idrico nella sezione di monte del ponte non cambia rispetto alla configurazione di stato di fatto e si attesta al valore di 7.82 m slm.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

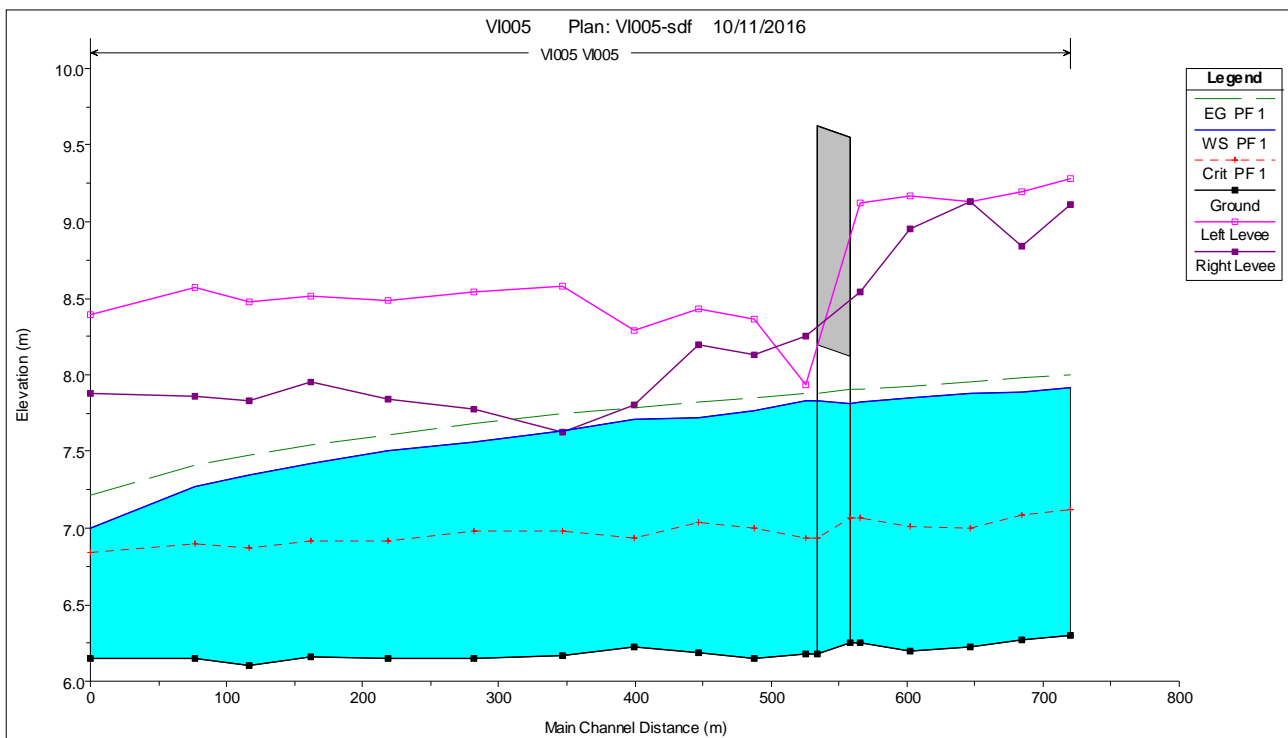


Figura 113: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$



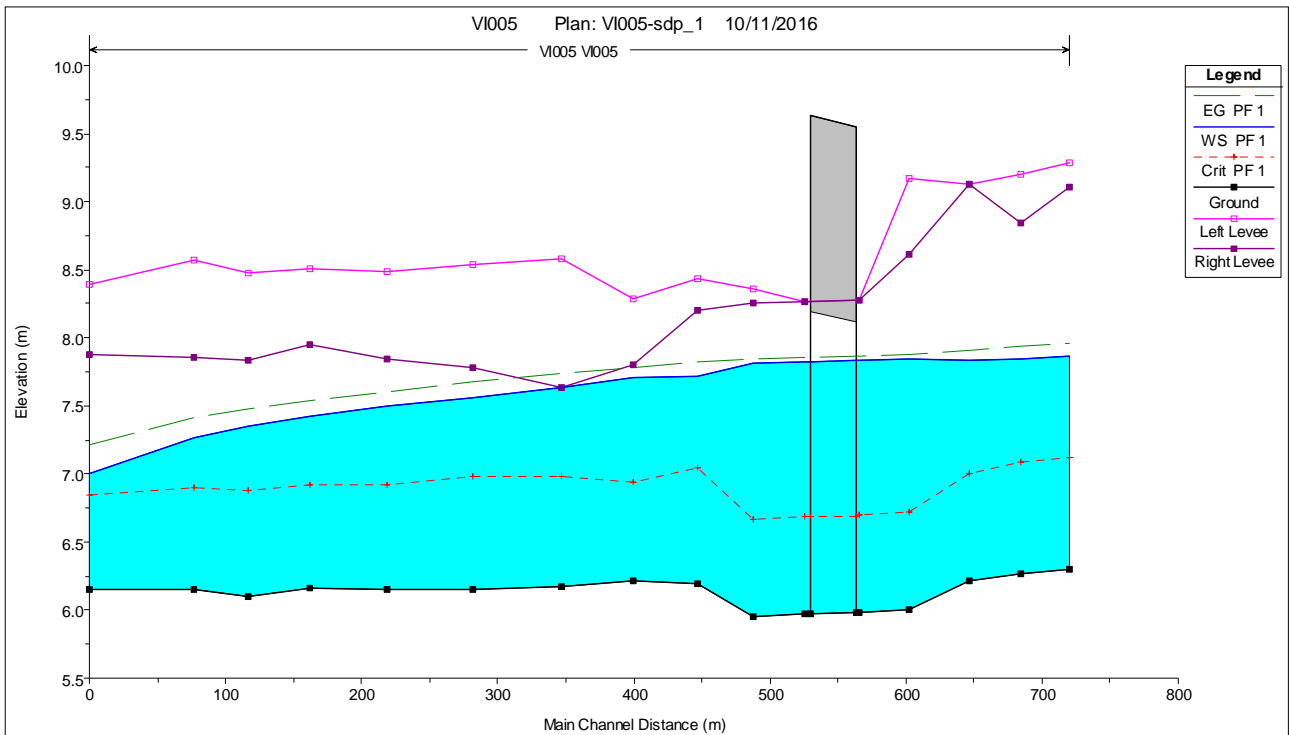


Figura 114: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

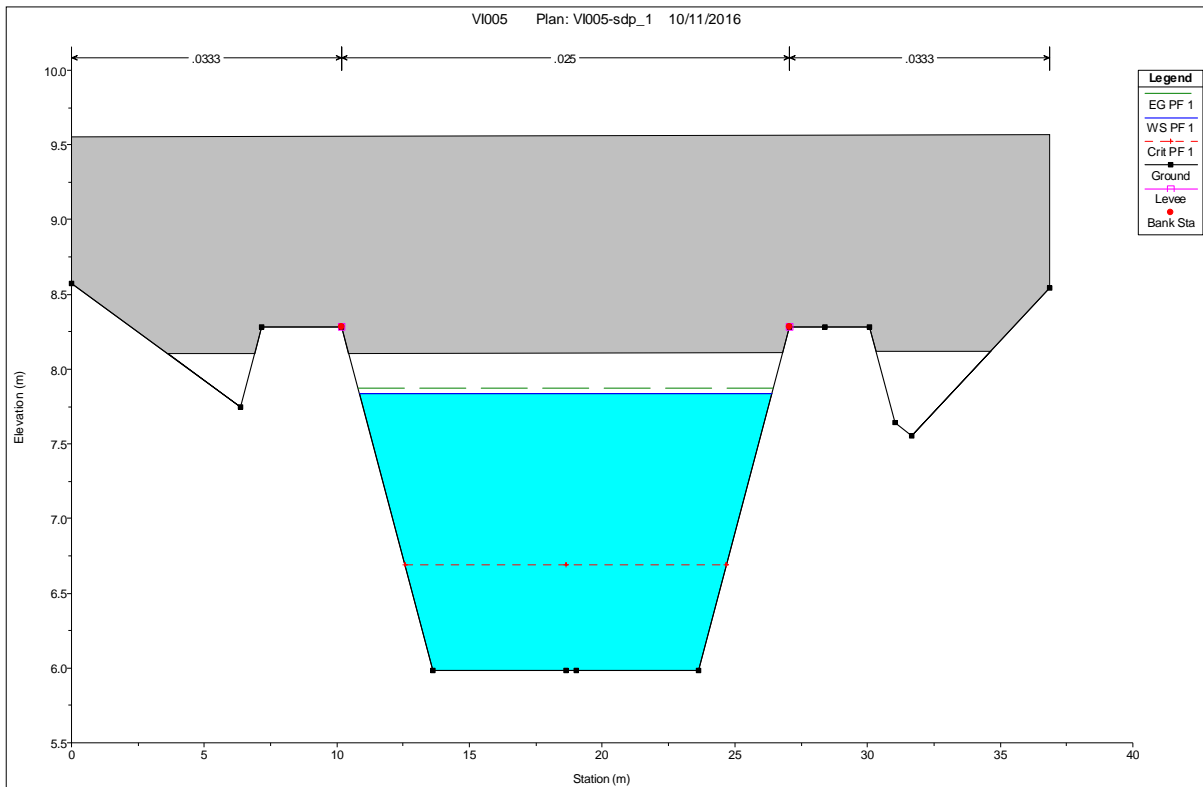


Figura 115: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: VI005-sdp_1 VI005 VI005 RS: 558.7 Profile: PF 1				
E.G. US. (m)	7.87	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	7.83	E.G. Elev (m)	7.87	7.86
Q Total (m3/s)	20.00	W.S. Elev (m)	7.83	7.82
Q Bridge (m3/s)	20.00	Crit W.S. (m)	6.69	6.68
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	1.85	1.85
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	0.84	0.84
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	23.68	23.68
Weir Submerg		Froude # Chl	0.22	0.22
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	22.07	22.07
Min El Weir Flow (m)	9.64	Hydr Depth (m)	1.52	1.52
Min El Prs (m)	8.12	W.P. Total (m)	16.68	16.68
Delta EG (m)	0.01	Conv. Total (m3/s)	1196.3	1196.6
Delta WS (m)	0.01	Top Width (m)	15.56	15.56
BR Open Area (m2)	28.10	Frctn Loss (m)	0.01	0.00
BR Open Vel (m/s)	0.84	C & E Loss (m)	0.00	0.00
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	3.89	3.89
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00

Figura 116: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – scolo Tombe

## - FASE REALIZZATIVA – FASE ZERO -

Nella fase zero si considera la realizzazione di un guado per il superamento dei mezzi d'opera dello scolo Tombe.

Il guado sarà realizzato con uno sbarramento in alveo al di sotto del quale saranno posate n. 3 condotte a struttura portante in acciaio ondulato con sezione ribassata aventi luce 2.40 m e freccia 1.78 m. La sommità di sormonto del guado è stata fissata quota 8.62 m slm.

Si è verificata la configurazione con il guado con diverse portate e condizione a valle di moto uniforme.

### Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 15.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 20.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.02\%$ ).

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitato con le diverse portate considerate.

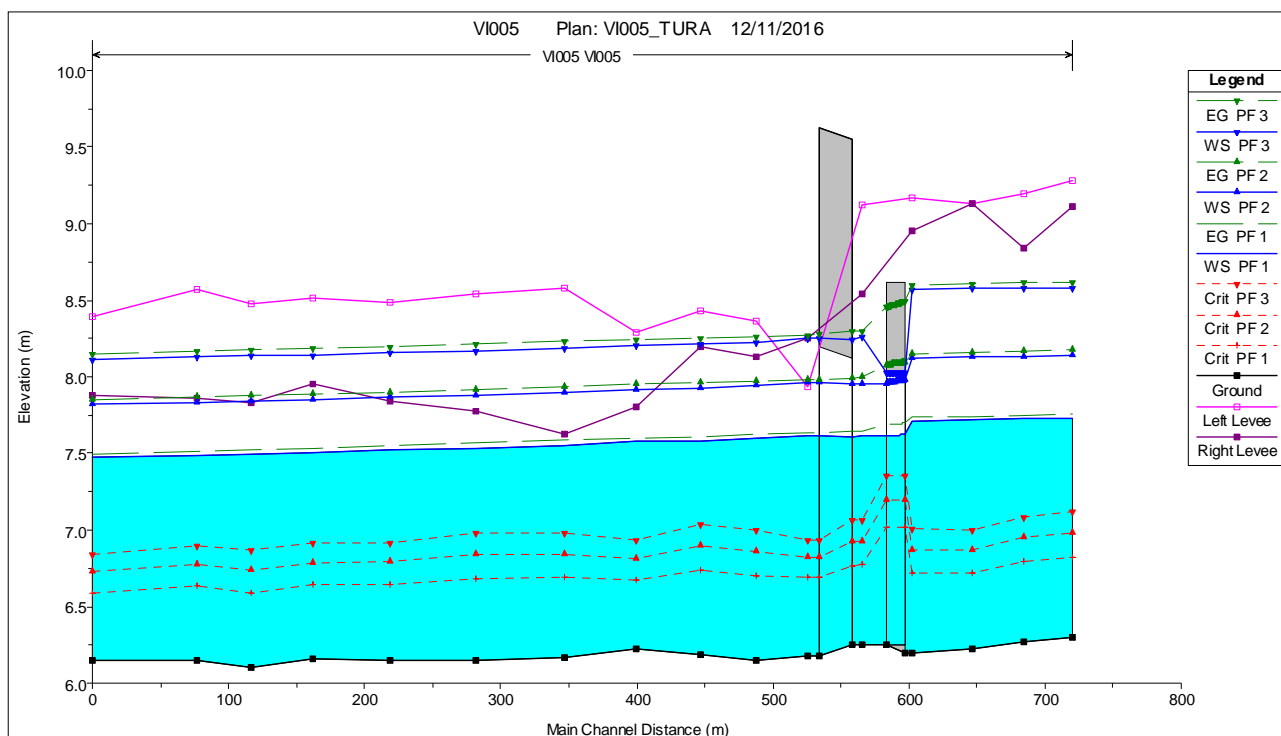


Figura 117: Profilo idraulico dello scolo Tombe nella fase realizzativa zero

Come è possibile vedere, il livello non supera mai la quota di 8.62 m slm sulla sezione a monte del guado, ma per la portata di 20 m<sup>3</sup>/s il franco è troppo ridotto (5 cm), mentre per le altre due portate consentono il rispetto di un franco sulla quota di sormonto di 1.45 m per la portata di 10 m<sup>3</sup>/s, più che adeguato per una fase realizzativa, e di 0.50 m per quella di 15 m<sup>3</sup>/s. Si è deciso di fissare come livello di allarme il livello corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sormonto del guado, il che si traduce in un livello a monte del guado stesso pari a 8.12 m slm: ne deriva che la portata di 15 m<sup>3</sup>/s è la portata limite per l'utilizzo del guado.

Sarà quindi necessario avere un controllo sui livelli a monte del guado sullo scolo Tombe.

## - FASE REALIZZATIVA – FASE 1 : PROLUNGAMENTO DELL'IMPALCATO -

Nella fase n. 1 si andrà a realizzare il prolungamento dell'impalcato. Tale fase viene realizzata tramite l'infissione di palancole, la cui sommità è posta a 7.88 m slm. Si è verificata quindi la configurazione con il guado con diverse portate e condizioni di moto uniforme a valle.

### Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 7.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.02\%$ ).

In tutti i casi si sono considerate alcune condizioni di sicurezza per l'operato dei mezzi d'opera e per gli operatori che sono:

- Livello in corrispondenza delle palancole: si è considerato un livello di allerta corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sommità delle palancole, pari quindi a 7.38 m slm;
- Livello in corrispondenza del guado: in questo caso si verificherà di avere almeno 50 cm di franco sulla quota di sormonto.

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate.

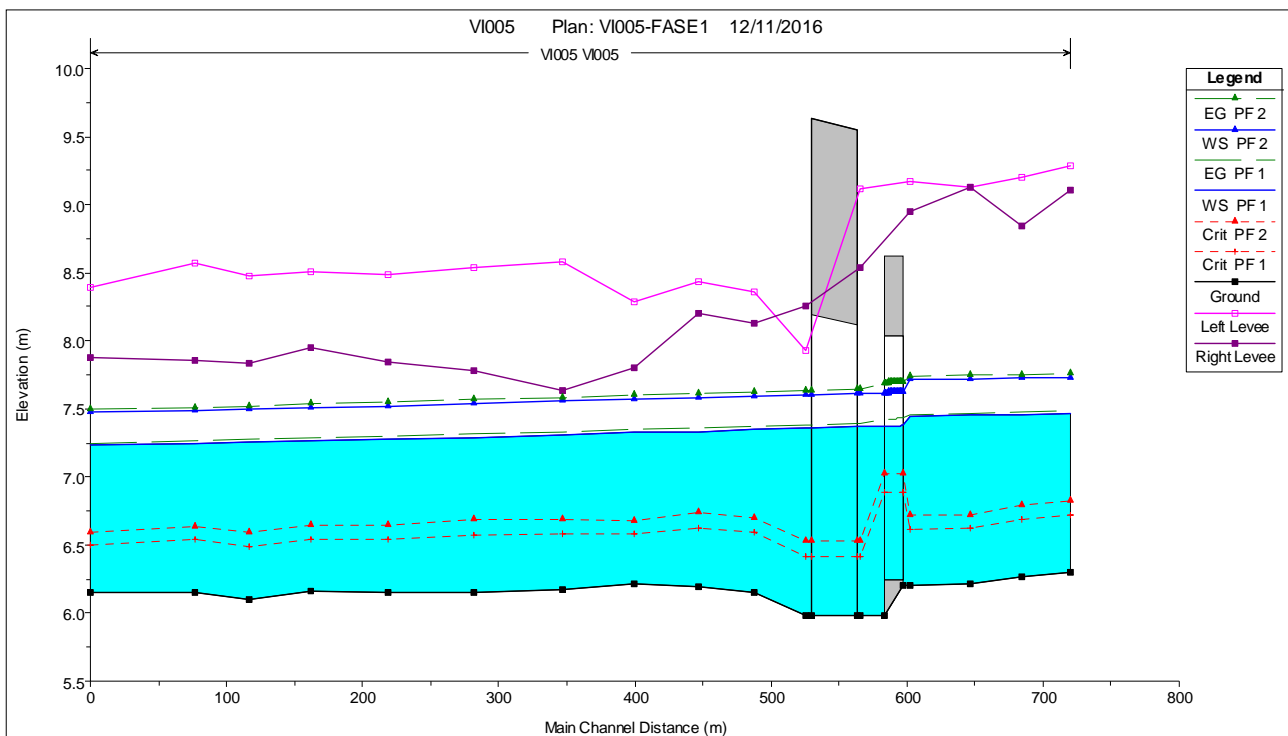


Figura 118: Profilo idraulico dello scolo Tombe nella fase realizzativa 1

Come è possibile vedere, le portate rispettano entrambe la condizione sul guado, mentre la portata di 10 m<sup>3</sup>/s non rispetta il franco imposto a monte del ponte (soli 26 cm). La portata di 7 m<sup>3</sup>/s è anche la portata limite che consente di restare con un franco pari a 50 cm.

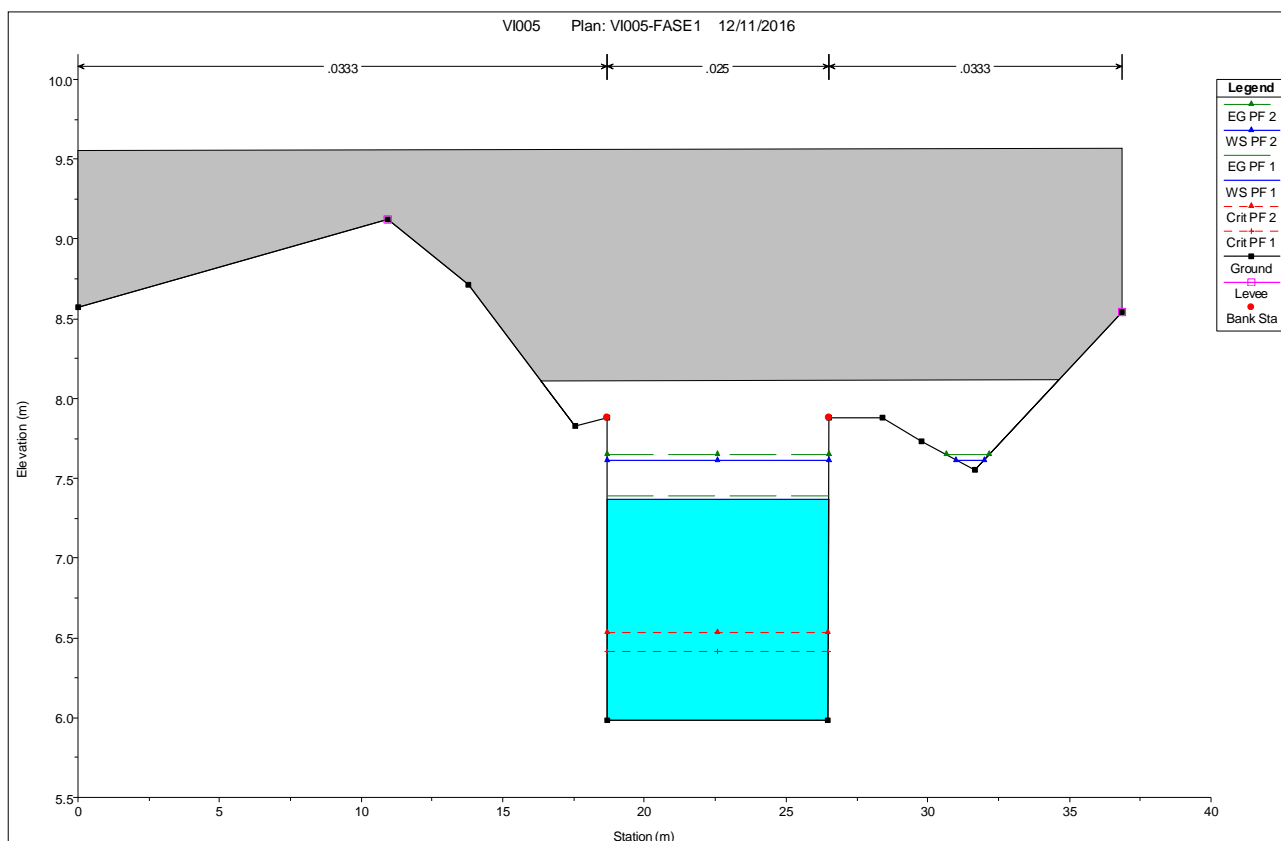


Figura 119: Sezione in corrispondenza del restringimento per la realizzazione delle opere

### - FASI REALIZZATIVE – CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate sulle configurazioni dell'alveo dello scolo Tombe delle fasi realizzative dell'opera, ne emerge la necessità di attuare sia dei controlli in continuo sui livelli della corrente che di valutare delle possibili limitazioni di portata da concordare con l'ente gestore. Sarà quindi necessario l'installazione di un misuratore di livello a monte del guado e delle ture che verifichi il non superamento dei livelli di sicurezza impostati nelle simulazioni.

Questi accorgimenti rendono necessario vincolare i lavori in alveo alle stagioni meno a rischio, in periodo di magra del canale. Le lavorazioni durante le fasi provvisoriale che interessano l'alveo dovranno essere fatte prevalentemente in fase di asciutta.

Sebbene le fasi provvisoriale permettano livelli più alti, questi comporterebbero la sommersione del guado e pertanto il livello di allarme rimane quello indicato per il guado.

## 9.4 Scolo Calcarata

### 9.4.1 Caratteristiche idrografiche

Lo scolo Calcarata è un fosso di dimensioni significative che rappresenta un'interferenza per il tracciato autostradale alla Pk 23+991. Il suo bacino è ampio e comprende scoli e fossi che fanno parte della rete dei canali di bonifica gestiti dal Consorzio della Bonifica Renana. I principali apporti allo scolo Calcarata derivano dagli scoli Raveda, Contea e Rovedello – Robizzano.

Il bacino imbrifero si sviluppa nella pianura a nord di Bologna, dominata da superfici piatte monotone deprimenti verso Nord-Est sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.



*Figura 120: Scolo Calcarata in corrispondenza del viadotto autostradale (lato ovest)*

Nella figura seguente si possono notare le sezioni lato est ed ovest dello scolo Calcarata in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla Pk 23+991.



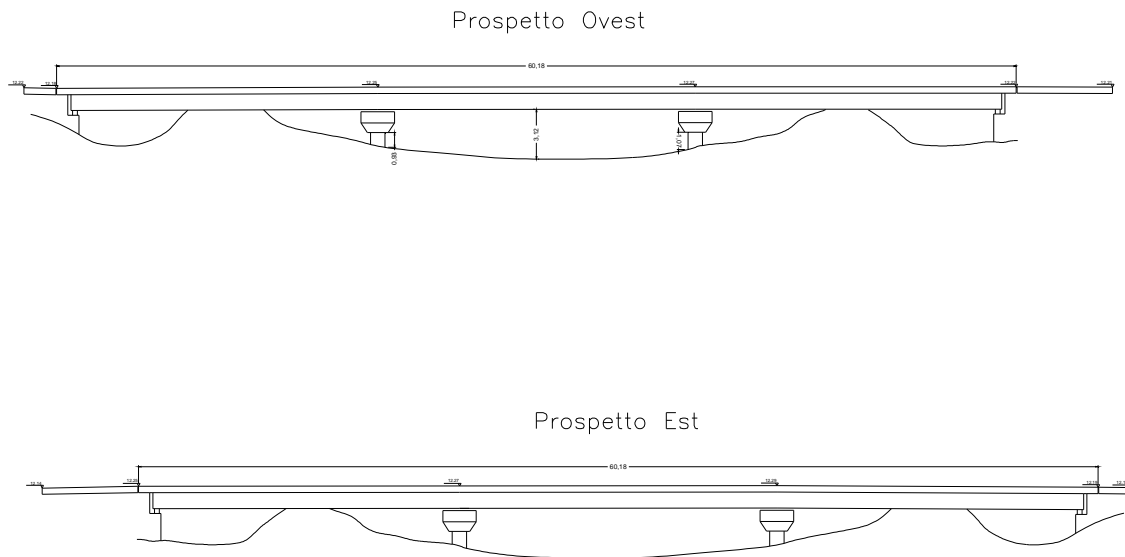


Figura 121: Scolo Calcarata in corrispondenza del viadotto autostradale lato ovest ed est

#### 9.4.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico dello scolo Calcarata è la portata massima sostenibile ( $Q_{ms}=90.00$  m<sup>3</sup>/s), pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica dello scolo, considerando un franco di sicurezza nullo.

#### 9.4.1 Verifiche idrauliche

##### 9.4.1.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato dello scolo Calcarata è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 332 m a monte dell'autostrada e per 954 m a valle, per una lunghezza totale di circa 1286 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di 15 sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è un viadotto con luce pari a 4.51 m in altezza, tra fondo e intradosso, e 60 m in larghezza, e con estensione pari a 25.4 m. Il ponte presenta due pile di spessore pari a 1 m, poste a 20 m di distanza dalle sponde e tra le stesse.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 9.4.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico dello scolo Calcarata

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30

#### 9.4.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del viadotto autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto che comprende il ponte di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a  $90.00 m^3/s$ ;
- quota imposta a valle pari a 9.00 m s.l.m..

Come condizione di valle è stato imposto un livello idrico fisso in quanto, essendo la rete idrica di tipo consortile, la presenza di manufatti a valle del tratto in esame lungo il corso d'acqua è vincolante: i manufatti presenti a valle possono avere dimensioni minori rispetto a quello di attraversamento autostradale e determinano un deflusso di tipo rigurgitato. Per lo scolo Calcarata risulta vincolante un livello idrico nell'ultima sezione di valle del tratto indagato pari a 9 m s.l.m., che consente di garantire che il deflusso avvenga senza esondazioni.

### 9.4.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione in stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 90.00 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte del ponte autostradale nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.

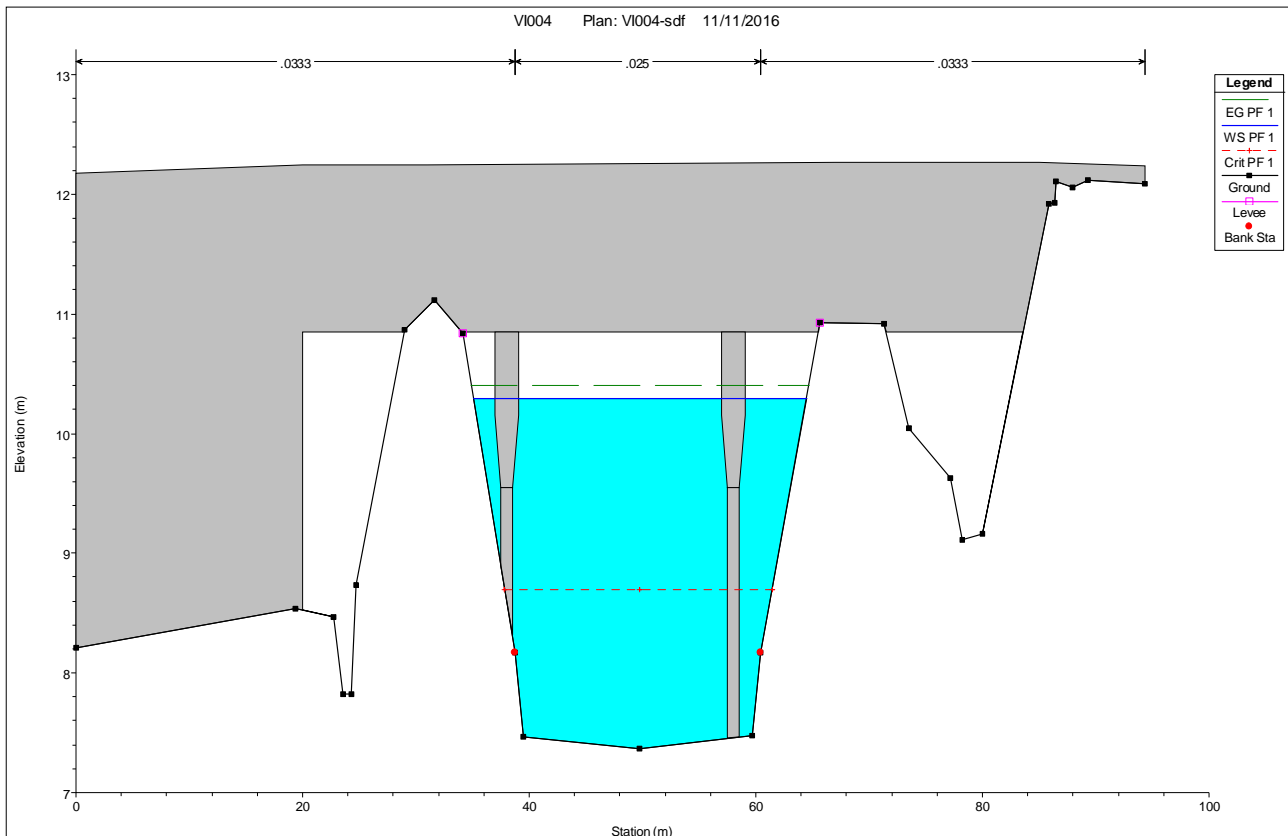


Figura 122: Livello raggiunto nella sezione di monte del viadotto autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del ponte dello scolo Calcarata è pari a 10.35 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 0.46 m.

La simulazione numerica per lo stato di fatto mostra che è garantito il deflusso della portata attraverso il ponte di attraversamento dell'autostrada A13. Inoltre non si riscontrano criticità in nessuna delle sezioni del tratto in esame.

Nella simulazione dello stato di progetto si è tenuto conto della portata massima sostenibile dal corso d'acqua e di una nuova geometria del manufatto di attraversamento, che lascia invariata la sezione trasversale del ponte ma ne aumenta l'estensione longitudinale a 35.50 m.

La simulazione dello stato di progetto mostra come il comportamento idraulico del corso d'acqua resti invariato: non sono presenti criticità né al passaggio al di sotto nel ponte, né nella restante parte del tratto indagato. La sezione del ponte allo stato di progetto per una portata massima circolante presenta un grado di riempimento simile a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un valore pari a 85%. Il livello idrico nella sezione di monte del ponte non cambia rispetto alla configurazione di stato di fatto e si attesta al valore di 10.29 m slm.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

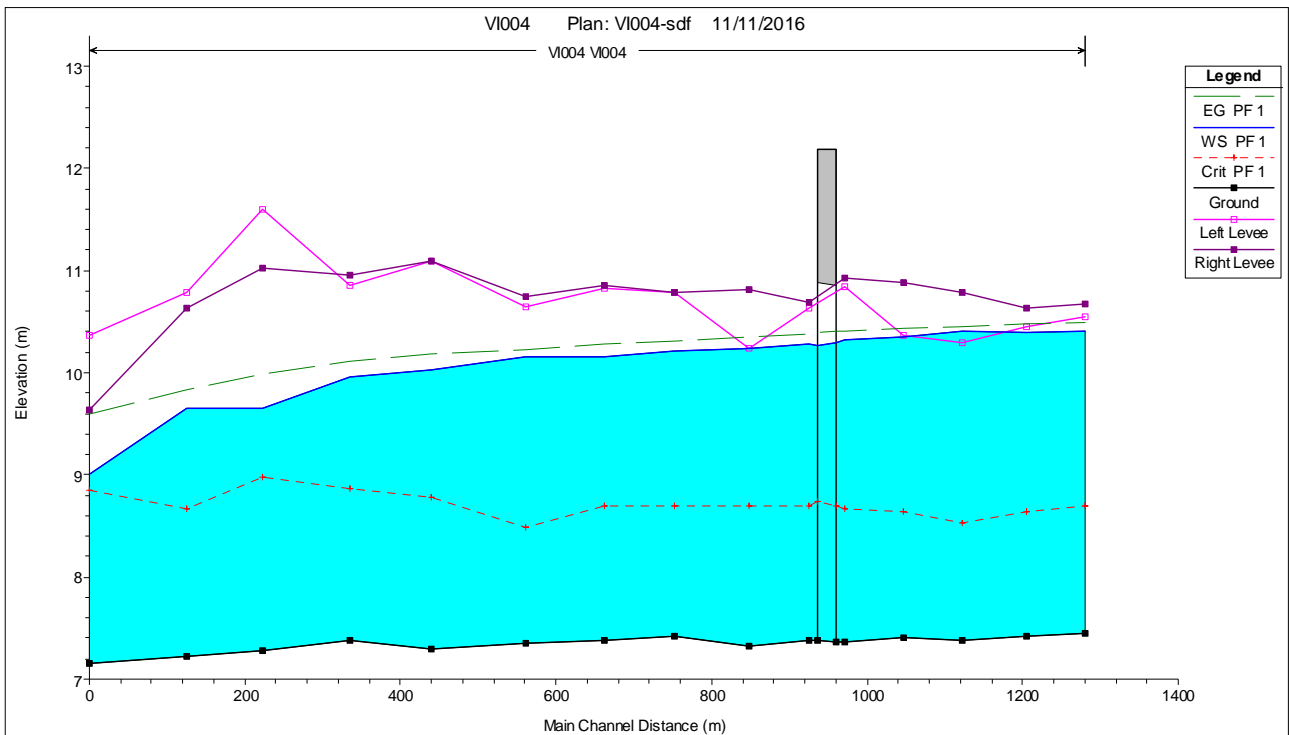


Figura 123: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

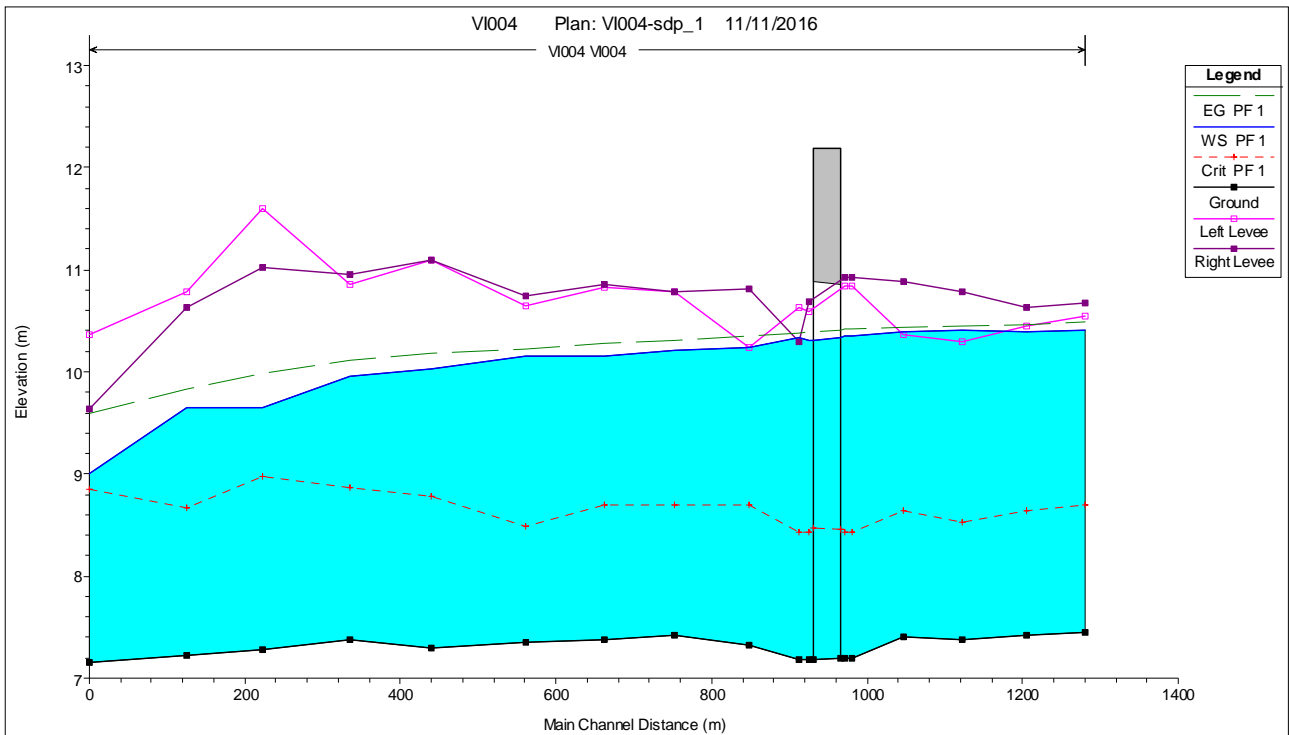


Figura 124: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

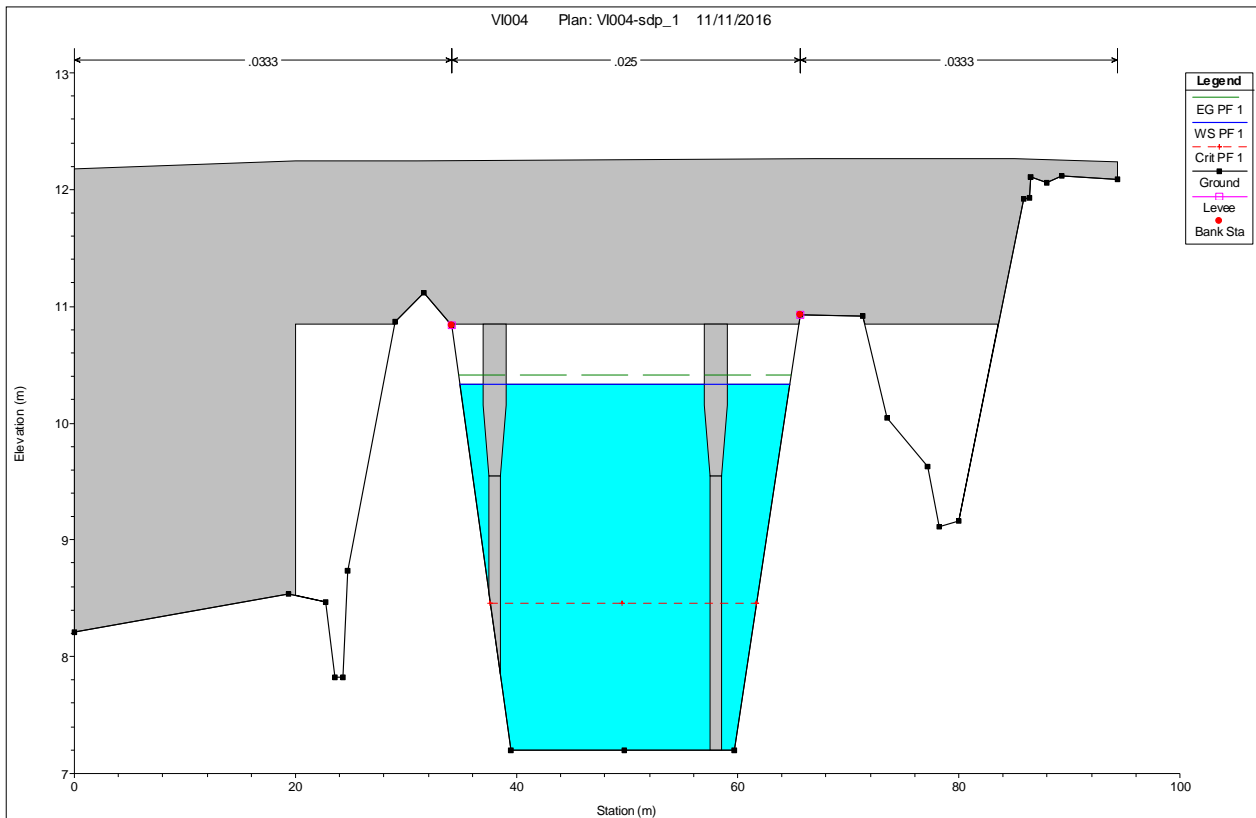


Figura 125: Livello raggiunto nella sezione di monte del viadotto autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: VI004-sdp_1		VI004	VI004 RS: 966.2	Profile: PF 1	
E.G. US. (m)	10.41	Element	Inside BR US	Inside BR DS	
W.S. US. (m)	10.35	E.G. Elev (m)	10.41	10.39	
Q Total (m3/s)	90.00	W.S. Elev (m)	10.33	10.31	
Q Bridge (m3/s)	90.00	Crit W.S. (m)	8.46	8.47	
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	3.13	3.13	
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.25	1.30	
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	72.03	69.23	
Weir Submerg		Froude # Chl	0.23	0.23	
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	118.79	115.15	
Min El Weir Flow (m)	12.27	Hydr Depth (m)	2.81	2.84	
Min El Prs (m)	10.85	W.P. Total (m)	40.88	39.54	
Delta EG (m)	0.03	Conv. Total (m3/s)	4202.8	4022.8	
Delta WS (m)	0.03	Top Width (m)	25.63	24.34	
BR Open Area (m2)	84.30	Frctn Loss (m)	0.02	0.00	
BR Open Vel (m/s)	1.30	C & E Loss (m)	0.00	0.00	
Coef of Q		Shear Total (N/m2)	7.92	8.59	
Br Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	0.00	0.00	

Figura 126: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – scolo Calcarata

## - FASE REALIZZATIVA – FASE ZERO -

Nella fase zero si considera la realizzazione di un guado per il superamento dei mezzi d'opera dello scolo Calcarata.

Il guado sarà realizzato con uno sbarramento in alveo al di sotto del qual saranno posate n. 8 condotte a struttura portante in acciaio ondulato con sezione ribassata aventi luce 2.40 m e freccia 1.78 m. La sommità di sormonto del guado è stata fissata quota 9.77 m slm.

Si è verificata la configurazione con il guado con diverse portate e condizione a valle di moto uniforme.

### Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 15.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 22.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 25.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.02\%$ ).

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitato con le diverse portate considerate:

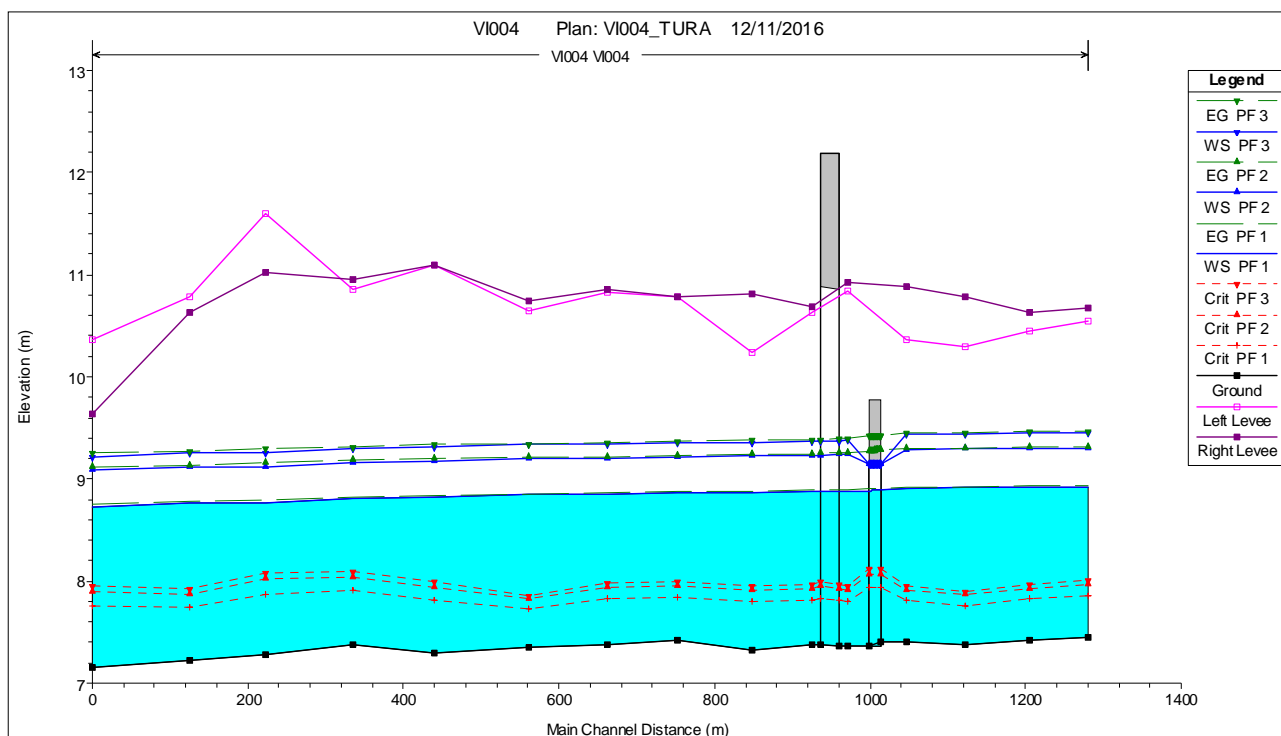


Figura 127: Profilo idraulico dello scolo Calcarata nella fase realizzativa zero

Come è possibile vedere, il livello supera la quota di 9.77 m slm sulla sezione a monte del guado per la portata di 25 m<sup>3</sup>/s, mentre le altre due portate consentono il rispetto di un franco sulla quota di sormonto di 0.88 m, per la portata di 15 m<sup>3</sup>/s, più che adeguato per una fase realizzativa, e di 0.50 m per quella di 22 m<sup>3</sup>/s. Si è deciso di fissare come livello di allarme il livello corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sormonto del guado, il che si traduce in un livello a monte del guado stesso pari a 9.27 m slm: ne deriva che la portata di 22 m<sup>3</sup>/s è la portata limite per l'utilizzo del guado.

Sarà quindi necessario avere un controllo sui livelli a monte del guado sullo scolo Calcarata.

### - FASE REALIZZATIVA – FASE 1: PROLUNGAMENTO DELLE PILE -

Nella fase n. 1 si andrà a realizzare il prolungamento delle pile. Tale fase è la più critica in quanto la pila si trova sulla sponda interna dell'alveo, vicina al suo piede. Non essendovi la possibilità di infiggere palancole o diaframmi, si è costretti a realizzare le opere con una tura in alveo, che restringe la sezione dell'alveo. La sommità della tura è stata posta a 9.56 m slm, quota alla quale è possibile passare sotto l'impalcato con un mezzo per posare la scogliera. Contemporaneamente si



realizzerà una risagomatura degli argini in entrambi i lati al fine di aumentare al capacità di deflusso in questa fase transitoria.

Si è verificata quindi la configurazione con il guado con diverse portate e condizioni di moto uniforme a valle.

Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 15.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 20.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.02\%$ ).

In tutti i casi si sono considerate alcune condizioni di sicurezza per l'operato dei mezzi d'opera e per gli operatori che sono:

- Livello in corrispondenza della tura: si è considerato un livello di allerta corrispondente ad avere un franco di 50 cm sulla quota di sommità della tura, pari quindi a 9.56 m slm;
- Livello in corrispondenza del guado: in questo caso si verificherà di avere almeno 50 cm di franco sulla quota di sormonto.

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con il guado sollecitate con le diverse portate considerate.

Come è possibile vedere, le portate rispettano entrambe la condizione sul guado, mentre la portata di  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  non rispetta il franco imposto a monte del ponte, nonostante sia vicino al livello limite (0.45 m). La portata limite che consente di restare con un franco pari a 50 cm è pari a  $19 \text{ m}^3/\text{s}$ .

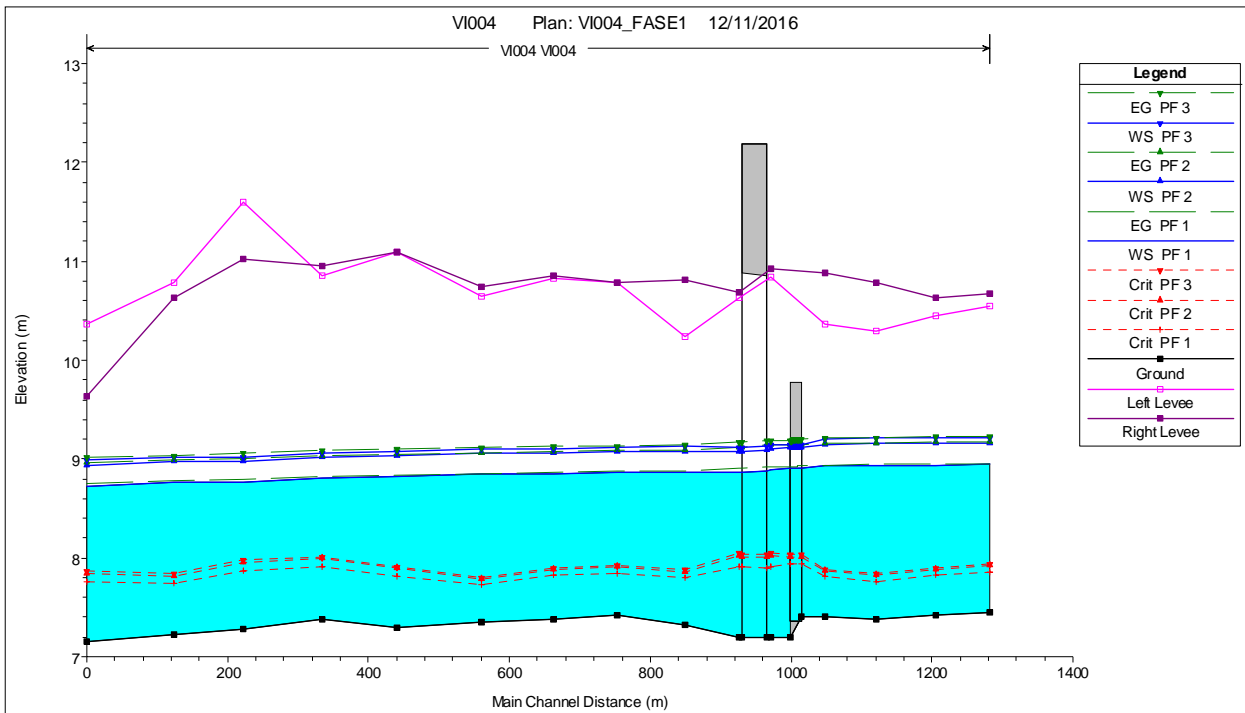


Figura 128: Profilo idraulico dello scolo Calcarata nella fase realizzativa 1

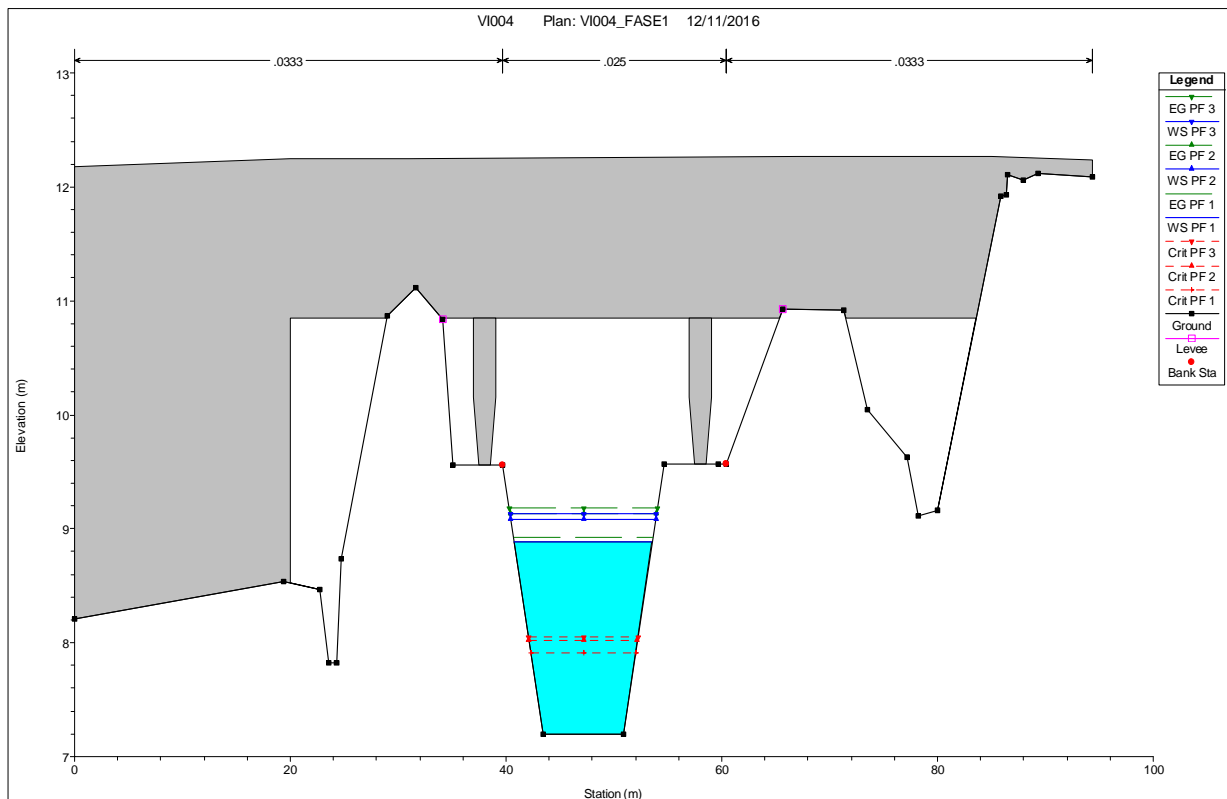


Figura 129: Sezione in corrispondenza del restringimento per la realizzazione delle opere

## - FASI REALIZZATIVE – CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate sulle configurazioni dell'alveo dello scolo Calcarata delle fasi realizzative dell'opera, ne emerge la necessità di attuare sia dei controlli in continuo sui livelli della corrente che di valutare delle possibili limitazioni di portata da concordare con l'ente gestore. Sarà quindi necessario l'installazione di un misuratore di livello a monte del guado e delle ture che verifichi il non superamento dei livelli di sicurezza impostati nelle simulazioni.

Questi accorgimenti rendono necessario vincolare i lavori in alveo alle stagioni meno a rischio, in periodo di magra del canale. Le lavorazioni durante le fasi provvisoriale che interessano l'alveo dovranno essere fatte prevalentemente in fase di asciutta.

Sebbene le fasi provvisoriale permettano livelli più alti, questi comporterebbero la sommersione del guado e pertanto il livello di allarme rimane quello indicato per il guado.

## 9.5 Fossa Quadra – Pk. 16+708

---

### 9.5.1 Caratteristiche idrografiche

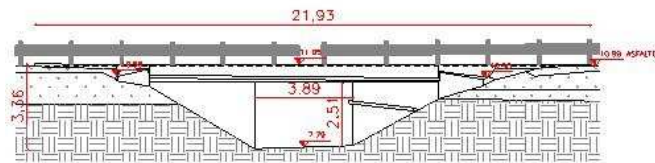
La fossa Quadra, che interferisce con il tracciato autostradale prima alla progressiva Pk 14+411 e successivamente alla progressiva Pk 16+708, è parte del reticolo di canali di bonifica gestito dal Consorzio della Bonifica Renana. In questo capitolo viene trattata l'interferenza alla progressiva Pk 16+708.

Il bacino imbrifero della fossa quadra ha dimensioni limitate, ed è dominato da superfici piatte monotone deprimenti verso Nord-Est sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nelle figure seguenti si possono notare le sezioni lato est ed ovest della fossa Quadra in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla progressiva Pk 16+708.



PROSPETTO EST  
SCALA 1 : 100



PROSPETTO OVEST  
SCALA 1 : 100

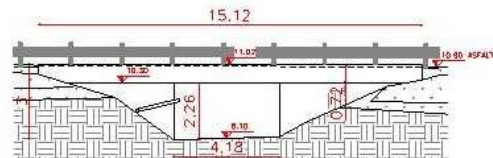


Figura 130: Fossa Quadra in corrispondenza del viadotto autostradale lato est ed ovest – pk 16+708

### 9.5.2 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico della fossa Quadra è la portata  $Q_{ms}=7.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica della fossa, considerando un franco di sicurezza nullo.

### 9.5.3 Verifiche idrauliche

#### 9.5.3.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato della fossa Quadra è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 195 m a monte dell'autostrada e per 281 m a valle, per una lunghezza totale di circa 476 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di 20 sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il tratto oggetto di studio comprende tre manufatti:

- il primo manufatto è un ponte in muratura con luce pari a 4.20 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.50 m ed estensione lineare pari a 4.0m.
- il secondo manufatto, in corrispondenza dell'autostrada, è uno scatolare con luce pari a 3.80 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.50 m ed estensione lineare pari a 25 m.
- il terzo è un ponte in muratura con luce pari a 5.78 m, altezza, tra fondo ed intradosso, pari a 2.61 m ed estensione lineare pari a 9.0 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

*Tabella 9.5.3-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico della fossa Quadra*

Coefficients di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

#### 9.5.3.2 **Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica**

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;

- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a 7.00 m<sup>3</sup>/s;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 9.00 m s.l.m..

Come condizione di valle è stato imposto un livello idrico fisso in quanto, essendo la rete idrica di tipo consortile, la presenza di manufatti a valle del tratto in esame lungo il corso d'acqua è vincolante: i manufatti presenti a valle possono avere dimensioni minori rispetto a quello di attraversamento autostradale e determinano un deflusso di tipo rigurgitato. Per la fossa Quadra risulta vincolante un livello idrico nell'ultima sezione di valle del tratto indagato pari a 9 m s.l.m., che consente di garantire che il deflusso avvenga senza esondazioni.

### 9.5.3.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione i nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 7.00 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte del tombino di attraversamento autostradale nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.

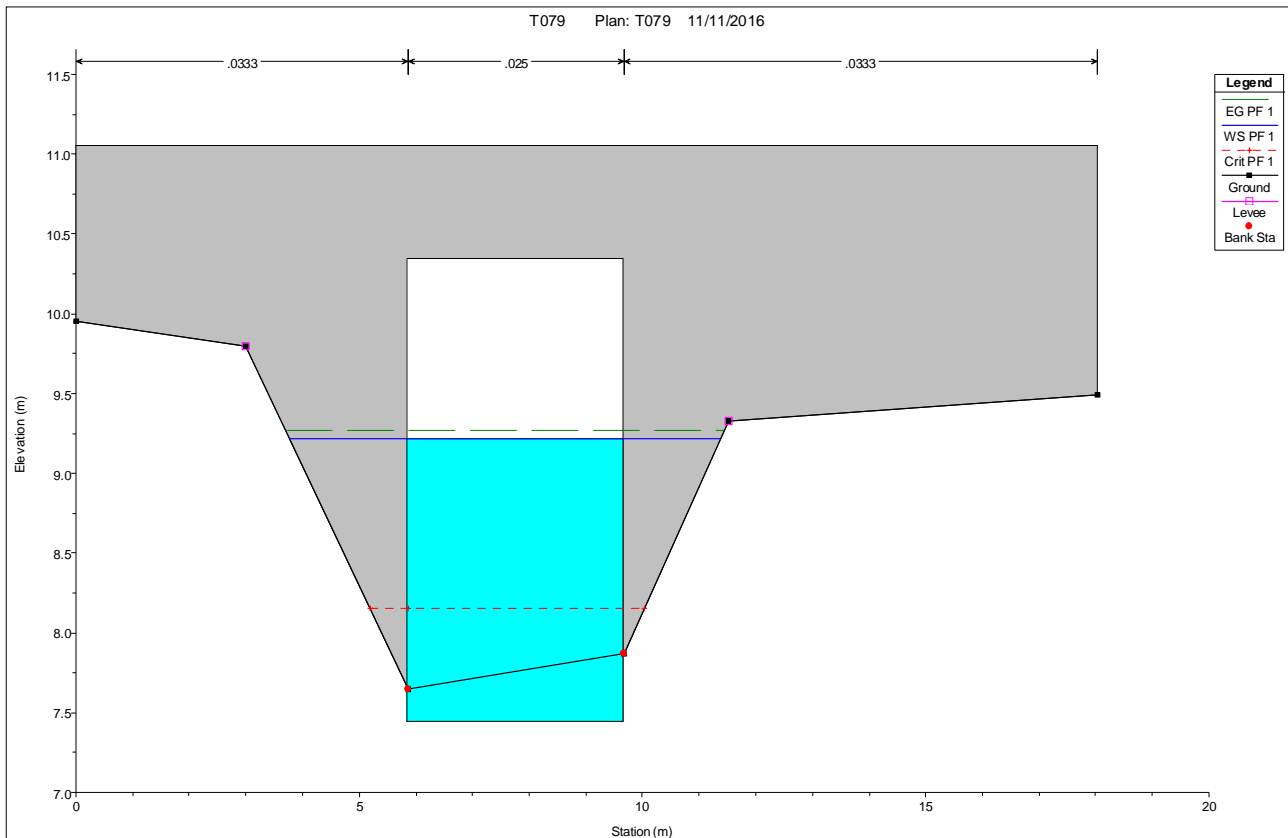


Figura 131: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del tombino della fossa Quadra è pari a 9.21 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 1.11 m.

La simulazione numerica per lo stato di fatto mostra che è garantito il deflusso della portata sia nello scatolare di attraversamento dell'autostrada A13 che attraverso i ponti posti prima e dopo lo scatolare. Inoltre, non sono presenti criticità nella restante parte del tratto oggetto di studio.

Nello stato di progetto si è tenuto conto dell'ampliamento dello scatolare autostradale in lunghezza, lasciando la sezione inalterata. La lunghezza del tombino scatolare in progetto è pari a 37 m.

È stata eseguita quindi la simulazione dello stato di progetto tenendo conto delle modifiche in estensione apportate al manufatto. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta variazioni rispetto allo stato di fatto.

La sezione del tombino scatolare allo stato di progetto per una portata massima circolante presenta un grado di riempimento uguale a quello dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un



valore del 61%. Il livello idrico nella sezione di monte del ponte non cambia rispetto alla configurazione di stato di fatto e si attesta al valore di 9.21 m slm.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

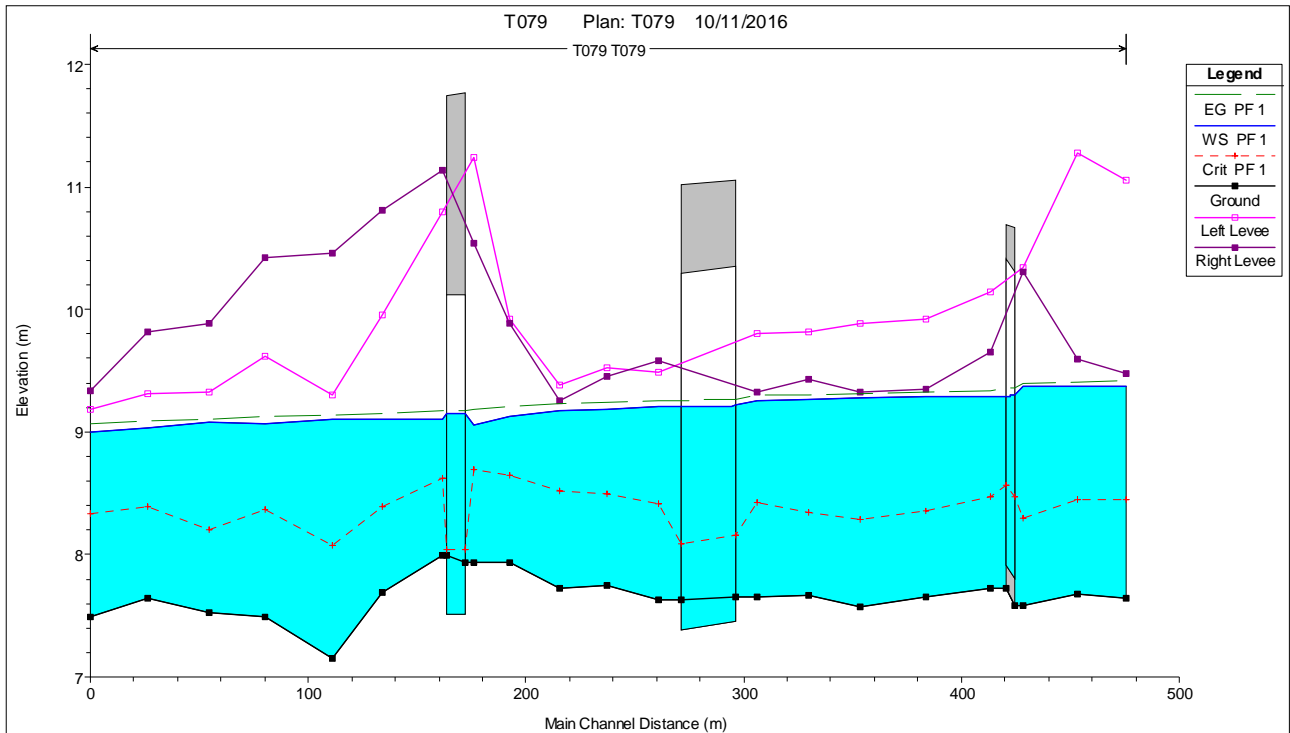


Figura 132: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

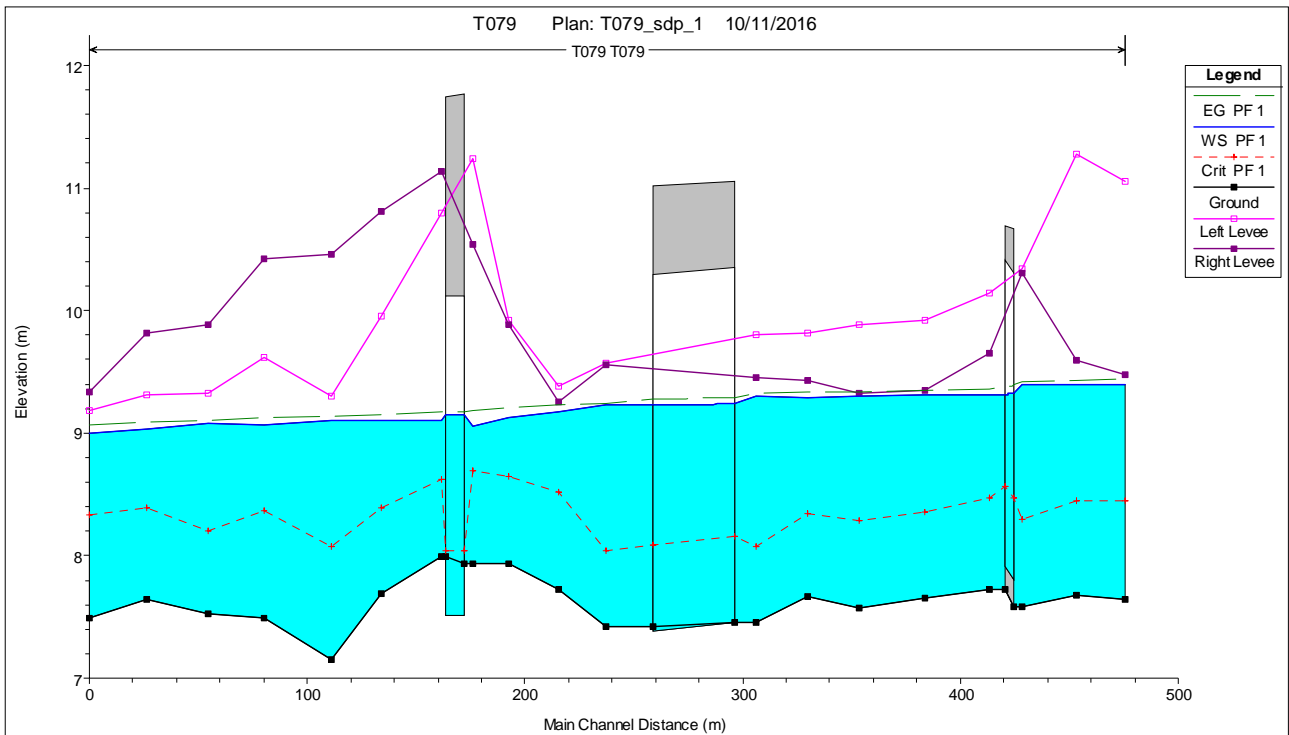


Figura 133: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

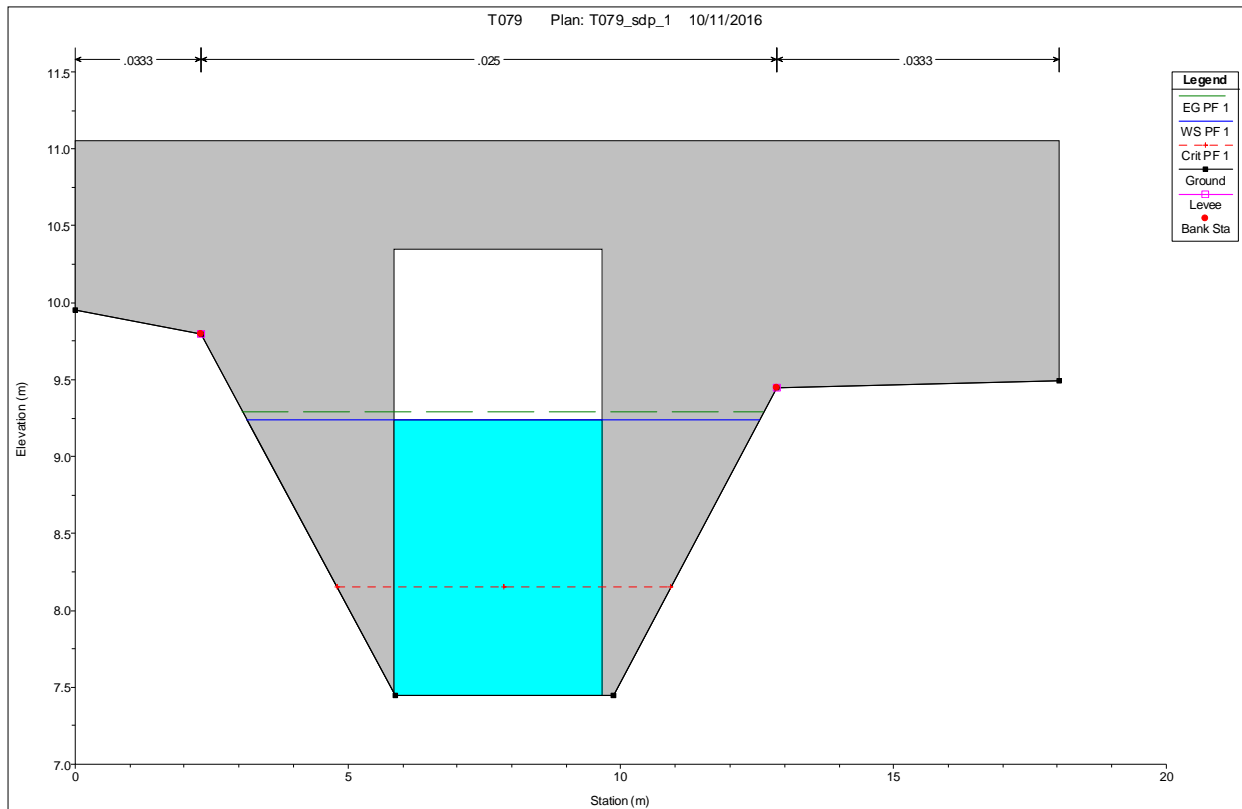


Figura 134: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: T079_sdp_1 T079 T079 RS: 295 Culv Group: Culvert #1 Profile: PF 1			
Q Culv Group (m3/s)	7.00	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	1.03
Q Barrel (m3/s)	7.00	Culv Vel DS (m/s)	1.00
E.G. US. (m)	9.32	Culv Inv El Up (m)	7.45
W.S. US. (m)	9.31	Culv Inv El Dn (m)	7.39
E.G. DS (m)	9.24	Culv Frctn Ls (m)	0.02
W.S. DS (m)	9.23	Culv Exit Loss (m)	0.03
Delta EG (m)	0.08	Culv Entr Loss (m)	0.03
Delta WS (m)	0.08	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	8.63	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	9.32	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	9.24	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	9.23	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	1.14	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crit Depth (m)	0.70	Min El Weir Flow (m)	11.05

Figura 135: Parametri idraulici del tombino autostradale A13 – fossa Quadra pk. 16+708

**- FASE REALIZZATIVA -**

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera da prolungare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte una pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.

In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.

## 9.6 Fossa Quadra – Pk. 14+411

---

### 9.6.1 Caratteristiche idrografiche

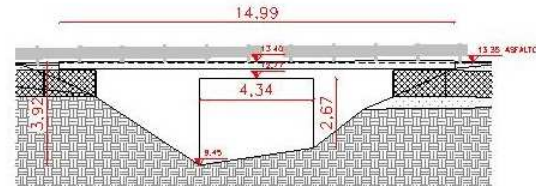
La fossa Quadra, che interferisce con il tracciato autostradale prima alla progressiva Pk 14+411 e successivamente alla progressiva Pk 16+708, è parte del reticolo di canali di bonifica gestito dal Consorzio della Bonifica Renana. In questo capitolo viene trattata l'interferenza alla progressiva Pk 14+411.

Il bacino imbrifero della fossa quadra ha dimensioni limitate, ed è dominato da superfici piatte monotone deprimenti verso Nord-Est sulle quali gli elementi morfologici naturali sono riconducibili a dossi di pianura ed alle incisioni degli stessi corsi d'acqua, a cui si contrappongono i rilevati artificiali legati ad infrastrutture viarie.

Nelle figure seguenti si possono notare le sezioni lato est ed ovest della fossa Quadra in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla progressiva Pk 14+441.



PROSPETTO OVEST  
SCALA 1 : 100



PROSPETTO EST  
SCALA 1 : 100

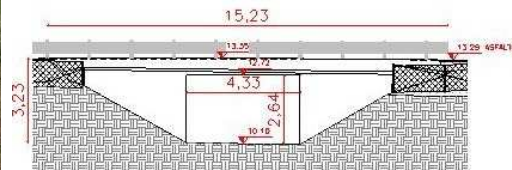


Figura 136: Fossa Quadra in corrispondenza del viadotto autostradale lato est ed ovest – pk 14+411

### 9.6.1 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico della fossa Quadra è la portata massima sostenibile ( $Q_{ms}=13.00$  m<sup>3</sup>/s), pari alla massima portata convogliabile dall'attuale sezione idraulica della fossa, considerando un franco di sicurezza nullo.

## 9.6.1 Verifiche idrauliche

### 9.6.1.1 Caratteristiche geometriche del tratto indagato

La rappresentazione geometrica del tratto indagato della fossa Quadra è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 196 m a monte dell'autostrada e per 244 m a valle, per una lunghezza totale di circa 440 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di 14 sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è uno scatolare con luce pari a 3.32 m in altezza, tra fondo e intradosso, e 4.34 m in larghezza, e con estensione pari a 25.5 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 9.6.1-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico della fossa Quadra

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	40
Sponde dell'alveo	30
Opere in calcestruzzo	50

### 9.6.1.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono, le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato e la riprofilatura del fondo del corso d'acqua in un tratto a monte e a valle del tombino di attraversamento autostradale.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:

- tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
- portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a 13.00 m<sup>3</sup>/s;
- la quota del livello idrico imposto a valle è pari a 11 m s.l.m..

Come condizione di valle è stato imposto un livello idrico fisso in quanto, essendo la rete idrica di tipo consortile, la presenza di manufatti a valle del tratto in esame lungo il corso d'acqua è vincolante: i manufatti presenti a valle possono avere dimensioni minori rispetto a quello di attraversamento autostradale e determinano un deflusso di tipo rigurgitato. Per la fossa Quadra risulta vincolante un livello idrico nell'ultima sezione di valle del tratto indagato pari a 11 m s.l.m., che consente di garantire che il deflusso avvenga senza esondazioni.

### 9.6.1.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione i nello stato di fatto ha permesso di individuare la portata massima il cui valore è pari a 13.00 m<sup>3</sup>/s. Il livello idrico raggiunto nella sezione di monte del tombino nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura.



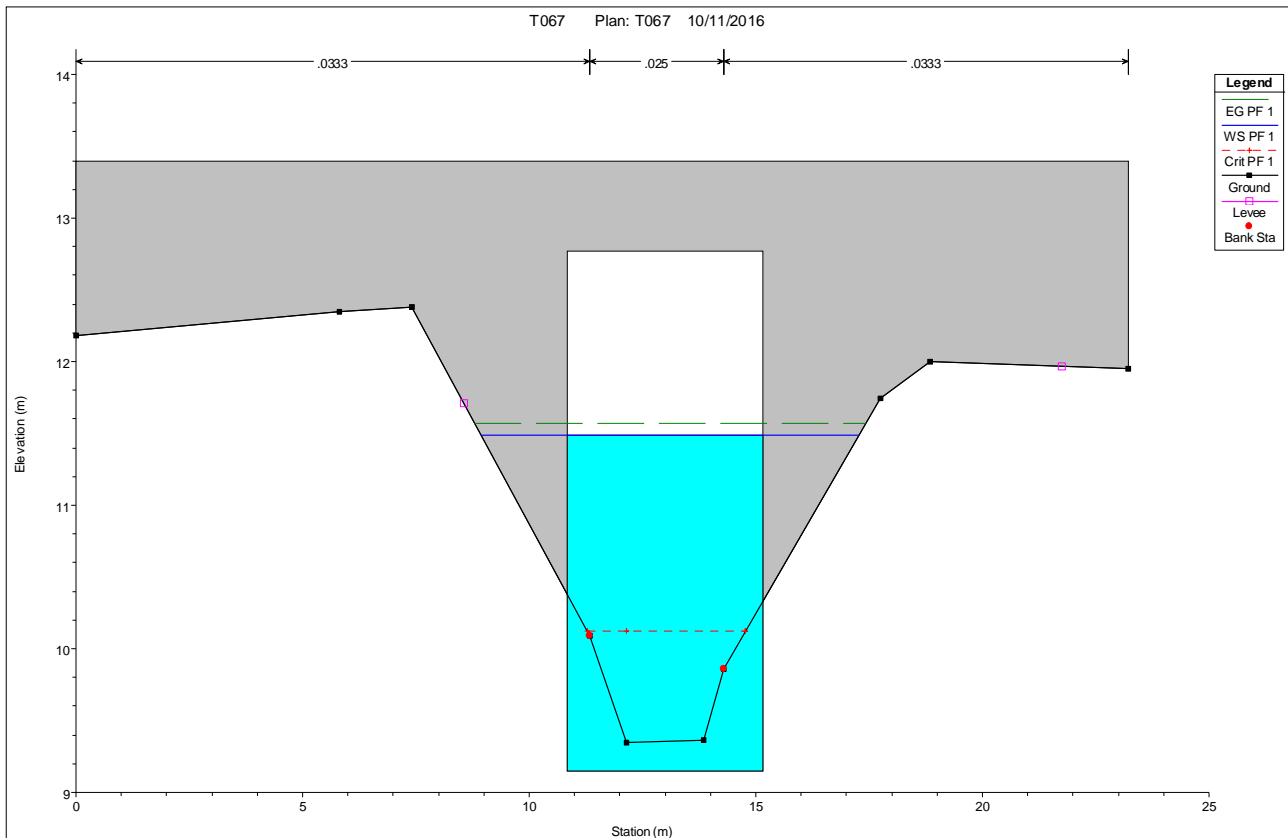


Figura 137: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

Nella configurazione dello stato di fatto il livello idrico a monte del tombino della fossa Quadra è pari a 11.49 m slm, con un franco sotto l'impalcato di 1.32 m.

La simulazione numerica per lo stato di fatto mostra che è garantito il deflusso della portata nello scatolare di attraversamento dell'autostrada A13. Inoltre, non sono presenti criticità nella restante parte del tratto oggetto di studio.

Nello stato di progetto si è tenuto conto dell'ampliamento dello scatolare in lunghezza, lasciando la sezione inalterata. La lunghezza del tombino scatolare in progetto è pari a 37.4 m.

È stata eseguita quindi la simulazione dello stato di progetto tenendo conto delle modifiche in estensione apportate al manufatto. Il comportamento idraulico del corso d'acqua nella simulazione allo stato di progetto non presenta variazioni rispetto allo stato di fatto.

La sezione del tombino scatolare allo stato di progetto per una portata massima circolante presenta un grado di riempimento simile a quella dello stato di fatto, assestandosi intorno ad un

valore pari a 65%. Il livello idrico nella sezione di monte del ponte non cambia rispetto alla configurazione di stato di fatto e si attesta al valore di 11.49 m slm.

Di seguito si riporta il confronto tra i profili di rigurgito nello stato di fatto e nello stato di progetto.

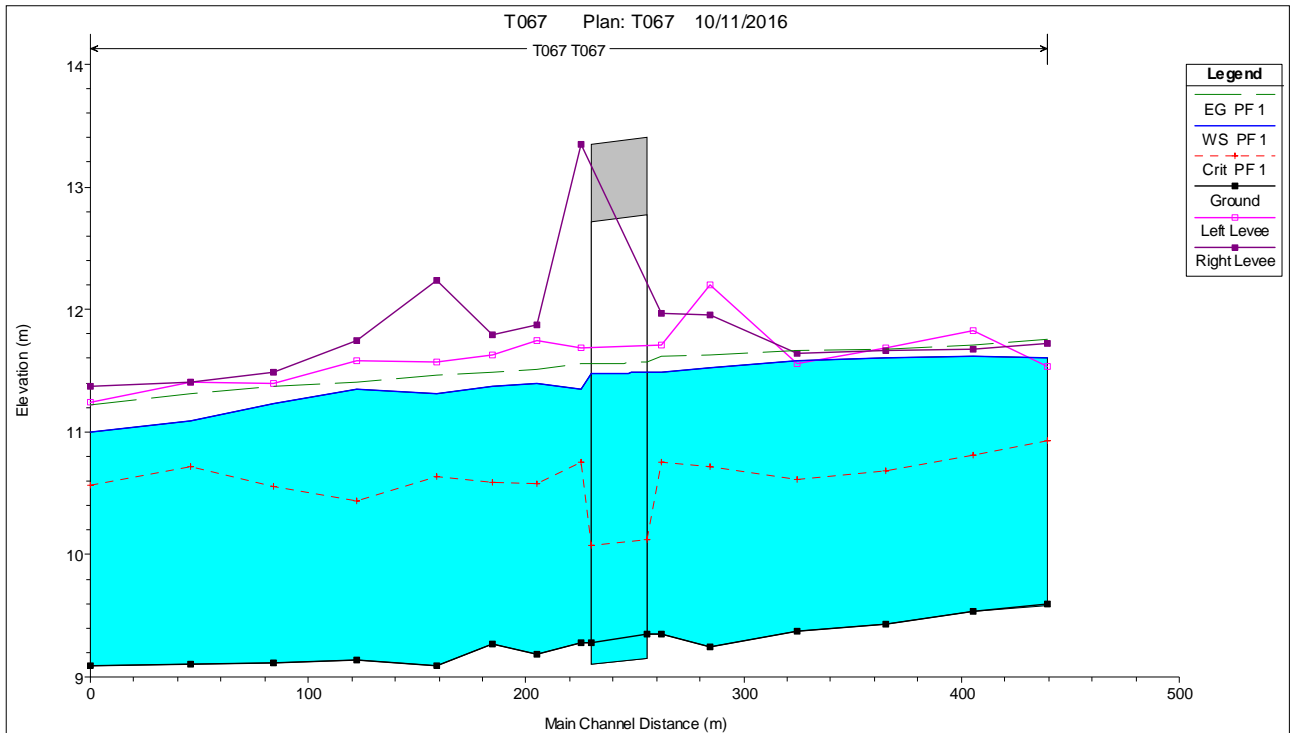


Figura 138: Profili di rigurgito dello stato di fatto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

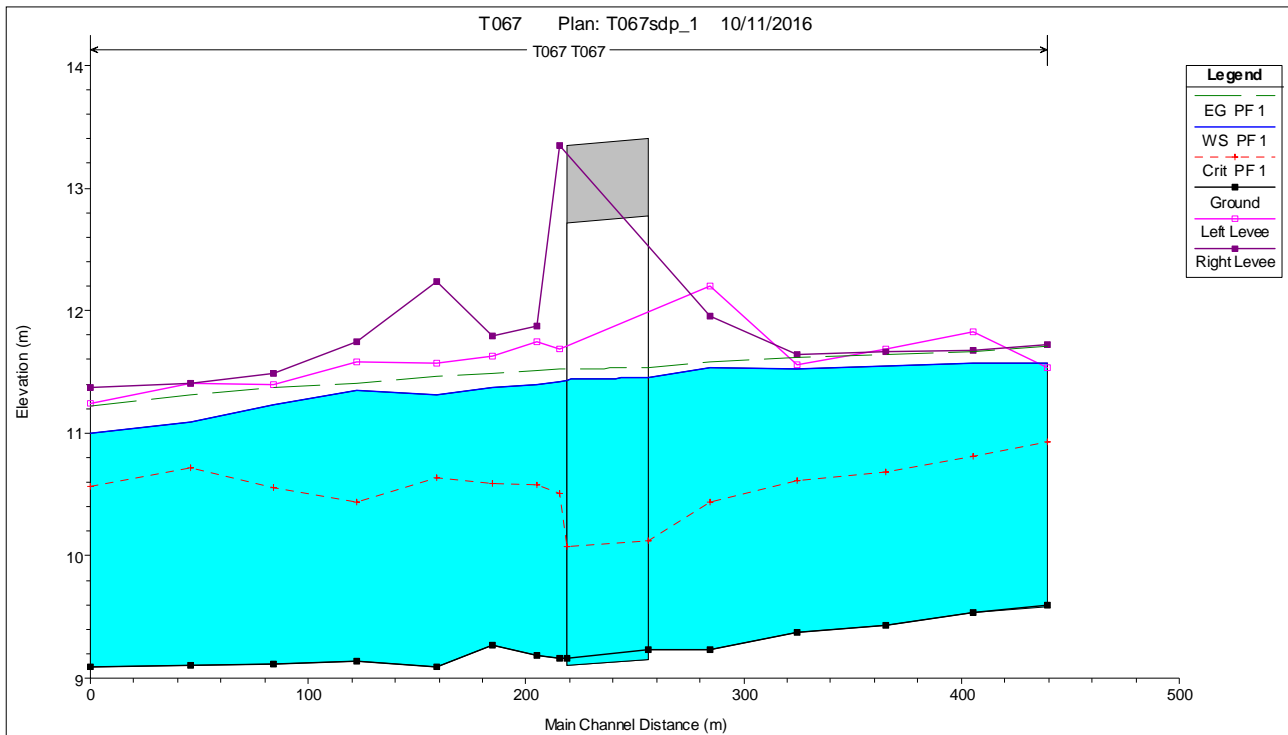


Figura 139: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

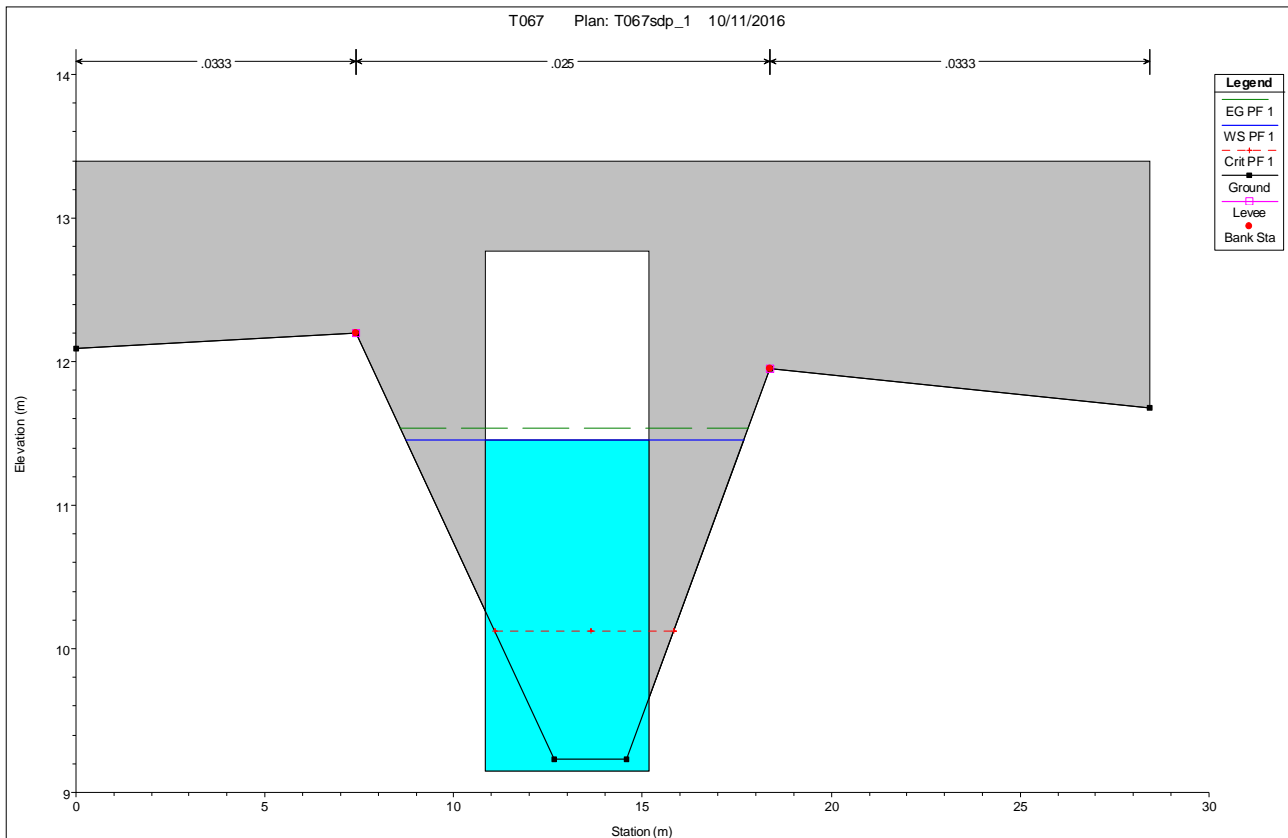


Figura 140: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SP con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: T067sdp_1 T067 T067 RS: 256 Culv Group: Culvert #1 Profile: PF 1			
Q Culv Group (m3/s)	13.00	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	1.30
Q Barrel (m3/s)	13.00	Culv Vel DS (m/s)	1.28
E.G. US. (m)	11.58	Culv Inv El Up (m)	9.15
W.S. US. (m)	11.53	Culv Inv El Dn (m)	9.10
E.G. DS (m)	11.52	Culv Frctn Ls (m)	0.02
W.S. DS (m)	11.42	Culv Exit Loss (m)	0.00
Delta EG (m)	0.06	Culv Entr Loss (m)	0.04
Delta WS (m)	0.11	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	10.79	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	11.58	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	11.45	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	11.44	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	1.69	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crit Depth (m)	0.97	Min El Weir Flow (m)	13.40

Figura 141: Parametri idraulici del tombino autostradale A13 – fossa Quadra pk. 14+411

**- FASE REALIZZATIVA -**

Nella fase realizzativa si prevede di interrompere il corso d'acqua con due ture, una monte dell'attraversamento e una a valle dello stesso.

Le ture sono degli sbarramenti provvisori realizzati in terra che hanno lo scopo di interrompere il deflusso dell'acqua a monte dell'opera da prolungare.

I lavori dovranno essere svolti nelle stagioni normalmente caratterizzate da minore probabilità di precipitazione.

A presidio della zona di lavoro sarà installata nel corso d'acqua a monte della tura di monte una pompa di cantiere con un portata di 100 l/s, con un tubo di mandata flessibile che scarica le venute d'acqua a valle della tura di valle nel corso d'acqua.

I fossi di guardia della viabilità saranno deviati momentaneamente a monte della tura di monte e a valle della tura di valle sul corso d'acqua. In questo modo si ha una maggiore sicurezza idraulica del territorio, in quanto si riesce a ripristinare la continuità dei fossi di guardia. Sfruttando la rete di drenaggio autostradale fatta di fossi di guardia, attraversamenti frequenti e diversi scarichi, in caso di venute d'acqua dal corso d'acqua maggiori alla portata del sollevamento si riesce ugualmente a smaltire le portate in ingresso.

In ogni caso, l'impresa dovrà essere in costante contatto con il centro meteo di zona per interrompere preventivamente i lavori, in caso di possibili eventi meteorologici intensi, e per ripristinate la funzionalità dello scolo.

Sarà bene non eseguire contemporaneamente due o più attraversamenti del reticolo idrico consecutivi, in modo da limitare in caso di piena il rischio connesso con tali attività.

## 10. INTERFERENZE SECONDARIE – CONSORZIO CANALE EMILIANO ROMAGNOLO

### 10.1 Il Canale Emiliano Romagnolo

#### 10.1.1 Caratteristiche idrografiche

Il Canale Emiliano Romagnolo, gestito dal consorzio omonimo, interferisce con il tracciato autostradale alla progressiva Pk. 11+292.

Il canale è stato costruito negli anni '50 come derivazione dal fiume Po con la funzione di approvvigionamento idrico per una vasta area della pianura emiliano-romagnola. Il canale, prima dell'interferenza autostradale, si sviluppa per una lunghezza totale di circa 30 km.

Nelle figure seguenti si possono notare le sezioni lato est ed ovest del Canale Emiliano Romagnolo in corrispondenza dell'attraversamento autostradale alla progressiva Pk 11+292.

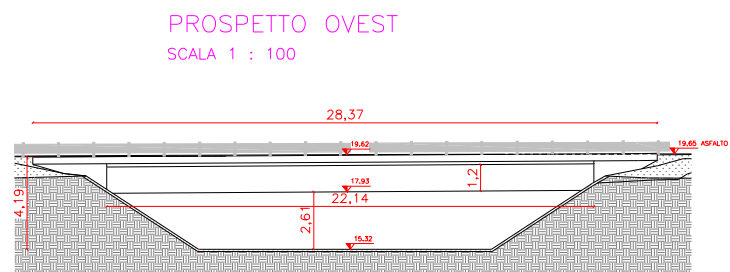


Figura 142: Canale Emiliano Romagnolo in corrispondenza del ponte autostradale lato ovest



PROSPETTO EST  
SCALA 1 : 100

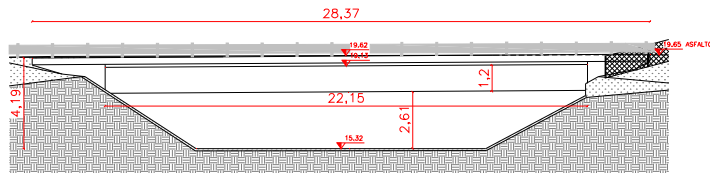


Figura 143: Canale Emiliano Romagnolo in corrispondenza del ponte autostradale lato est

### 10.1.2 Definizione delle portate di riferimento

La portata massima presa a riferimento, nel presente studio, per la simulazione del comportamento idrodinamico del canale Emiliano Romagnolo è pari a  $Q_{ms}=47.00\text{m}^3/\text{s}$  : la portata è imposta a tale valore in quanto il flusso nel canale è regolato tramite impianti di sollevamento e partizione: mediante l'impianto di sollevamento della Crevanzosa, sito nell'abitato di Galliera, circa 10 km a nord rispetto all'attraversamento dell'autostrada da parte del canale, una parte minore della portata viene convogliata nello scolo Riolo mentre 47  $\text{m}^3/\text{s}$  proseguono nel Canale Emiliano Romagnolo.

### 10.1.3 Verifiche idrauliche

#### 10.1.3.1 **Caratteristiche geometriche del tratto indagato**

La rappresentazione geometrica del tratto indagato del canale Emiliano Romagnolo è stata ricavata tramite il rilievo topografico ed integrato dai rilievi condotti in loco.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di simulazione numerica si estende per 180 m a monte dell'autostrada e per 280 m a valle, per una lunghezza totale di circa 460 m.

Il modello idraulico specificatamente realizzato sul tratto d'interferenza, si compone di 18 sezioni trasversali, ortogonali all'asse del canale.

Il manufatto in corrispondenza dell'autostrada è un ponte senza pile in alveo né restringimenti di sezione dovuti a spalle del ponte, con luce pari a 4.75 m in altezza, tra fondo e intradosso, e 20 m in larghezza, e con estensione pari a 25 m.

Per l'implementazione del modello idraulico sono stati utilizzati diversi valori di scabrezza. I valori del coefficiente di Strickler attribuiti rispettivamente al tratto di alveo e ai manufatti sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 10.1.3-1: Valori di scabrezza utilizzati nel modello idraulico del canale Emiliano Romagnolo

Coefficienti di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )	
Fondo dell'alveo	50
Sponde dell'alveo	40

### 10.1.3.2 Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Ai fini modellistici le condizioni di riferimento sono le seguenti:

- stato di fatto per il quale si considera la morfologia attuale del corso d'acqua;
- stato di progetto per il quale si considera l'ampliamento longitudinale del tombino autostradale nel tratto indagato.

Per l'implementazione dei modelli idraulici, sia nella simulazione dello stato di fatto che dello stato di progetto, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- moto uniforme a monte:
  - o tramite l'analisi del rilievo topografico è stato possibile individuare la pendenza nell'intorno dell'ultimo tratto del modello idraulico ( $i=0.001$ );
  - o portata di riferimento adottata per la modellazione idraulica è pari a  $47.00 \text{ m}^3/s$ ;
- moto uniforme a valle: è stata assegnata qui la pendenza ricavata dalle sezioni rilevate sul corso d'acqua nel tratto d'interesse, pari a  $i=0.008\%$

### 10.1.3.3 Risultati della modellazione idraulica

La modellazione nello stato di fatto ha permesso di valutare il comportamento della portata massima di  $47.00 \text{ m}^3/s$  all'interno del canale Emiliano Romagnolo e soprattutto nel passaggio del flusso al di sotto del ponte autostradale. Il livello idrico raggiunto nella sezioni di monte del ponte nello stato di fatto con portata massima sostenibile è illustrato nella seguente figura ed è pari a  $17.68 \text{ m s.l.m.}$ , garantendo un franco di sicurezza al di sotto del ponte pari a  $25 \text{ cm}$ .



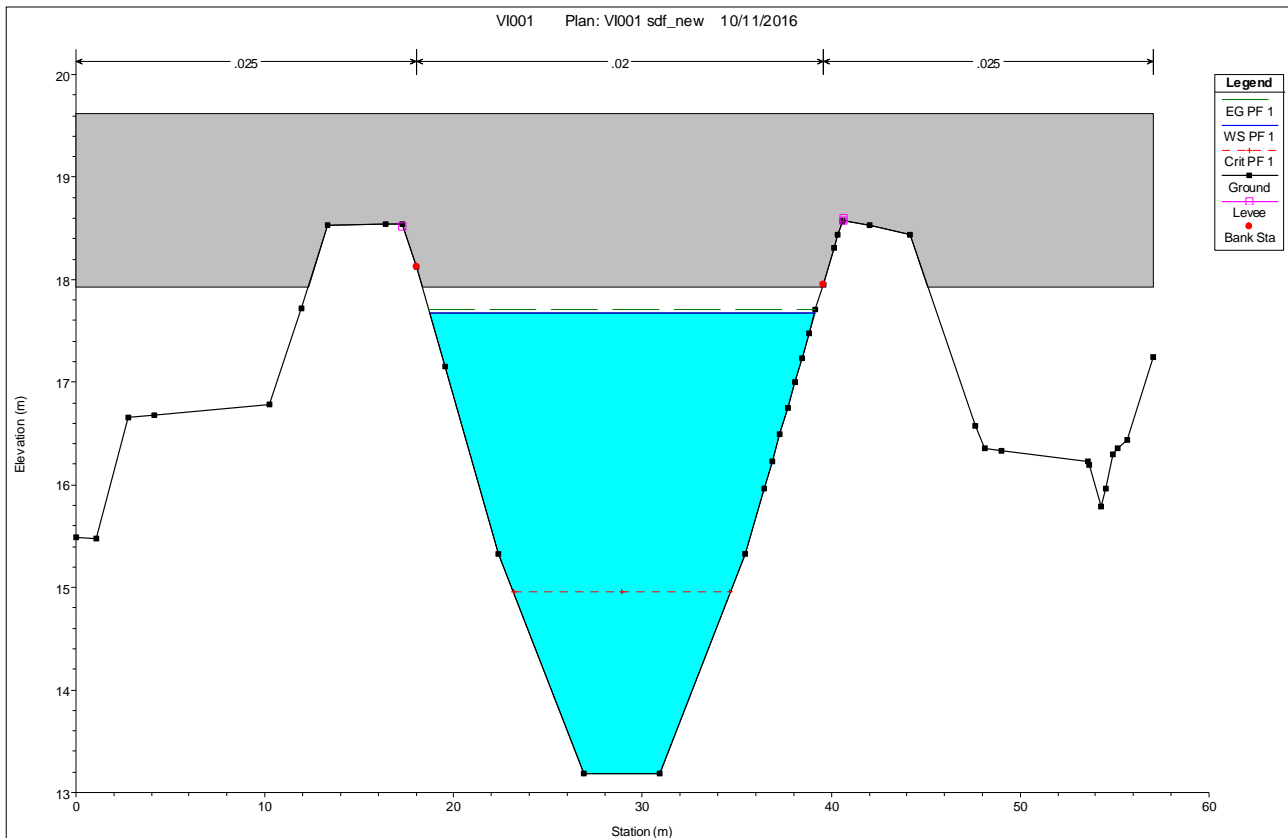


Figura 144: Livello raggiunto nella sezione di monte dello scatolare autostradale nello SF con  $Q_{ms}$

La simulazione numerica per lo stato di fatto mostra che è garantito il deflusso della portata attraverso il ponte dell'autostrada A13. Inoltre, non sono presenti criticità nella restante parte del tratto oggetto di studio.

Nello stato di progetto si è tenuto conto dell'ampliamento del ponte in lunghezza, lasciando la sezione inalterata. La lunghezza di progetto del ponte è pari a 38.42 m.

Il corso d'acqua, con le medesime condizioni di portata, in corrispondenza del ponte ha lo stesso comportamento sia nello stato di fatto che nello stato di progetto: il flusso non interferisce mai con la struttura e la geometria del ponte non comporta variazioni in altezza o di restringimento dell'alveo. L'unica variazione che si ha, conseguente all'allargamento del ponte, è la diminuzione del franco di sicurezza di 3 cm. Per questo motivo viene riportato il solo profilo per lo stato di progetto, che vale quindi anche per lo stato di fatto. Il grado di riempimento al di sotto del ponte è pari al 95%.

Di seguito si riporta il profilo di rigurgito dello stato di progetto.

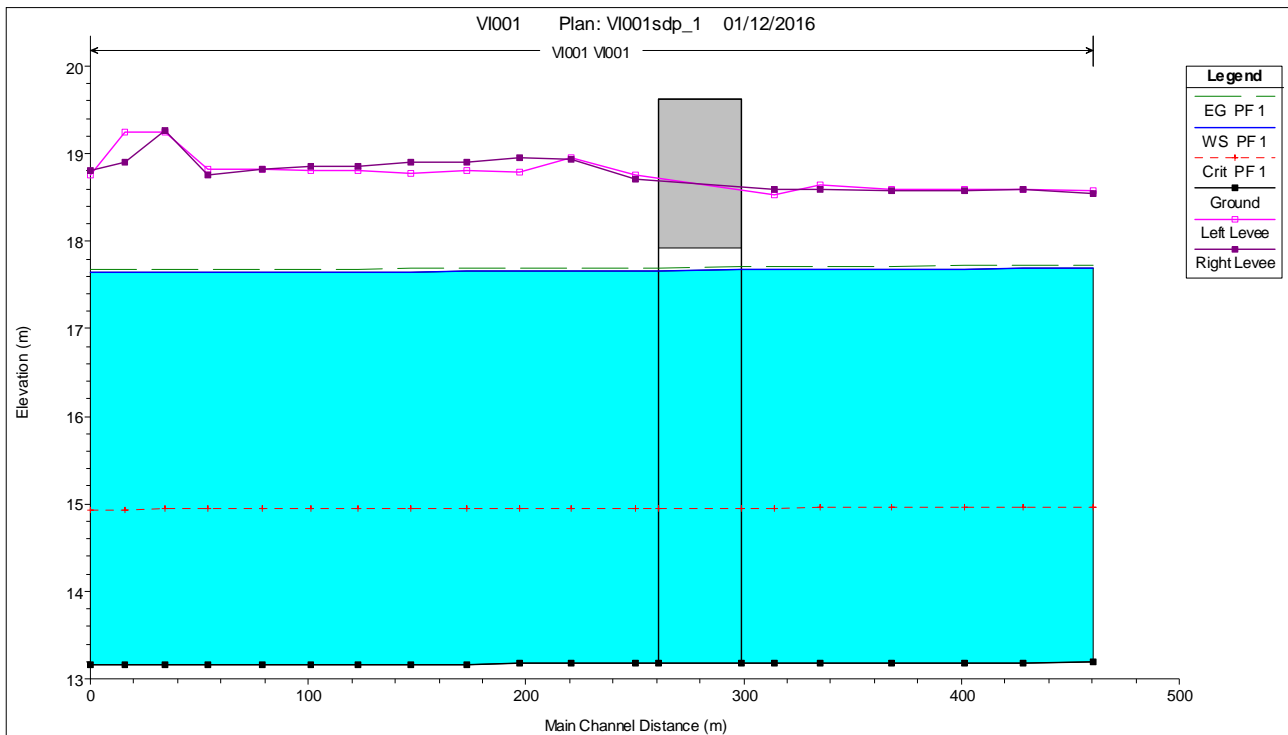


Figura 145: Profili di rigurgito dello stato di progetto in corrispondenza dell'autostrada A13 con  $Q_{ms}$

Si riporta di seguito la tabella con i dati dell'attraversamento.

Plan: VI001_sdp_1 VI001 VI001 RS: 290 Profile: PF 1				
		Element	Inside BR US	Inside BR DS
E.G. US. (m)	17.71	E.G. Elev (m)	17.71	17.70
W.S. US. (m)	17.68	W.S. Elev (m)	17.68	17.66
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	47.00	Crit W.S. (m)	14.95	14.95
Q Bridge (m <sup>3</sup> /s)	47.00	Max Chl Dpth (m)	4.50	4.49
Q Weir (m <sup>3</sup> /s)		Vel Total (m/s)	0.82	0.82
Weir Sta Lft (m)		Flow Area (m <sup>2</sup> )	57.63	57.64
Weir Sta Rgt (m)		Froude # Chl	0.15	0.15
Weir Submerg		Specif Force (m <sup>3</sup> )	105.89	105.73
Weir Max Depth (m)		Hydr Depth (m)	2.82	2.82
Min El Weir Flow (m)	19.62	W.P. Total (m)	22.75	22.75
Min El Prs (m)	17.93	Conv. Total (m <sup>3</sup> /s)	5354.8	5357.1
Delta EG (m)	0.02	Top Width (m)	20.41	20.42
Delta WS (m)	0.02	Frctn Loss (m)		
BR Open Area (m <sup>2</sup> )	62.89	C & E Loss (m)		
BR Open Vel (m/s)	0.82	Shear Total (N/m <sup>2</sup> )	1.91	1.91
Coef of Q		Power Total (N/m s)	0.00	0.00
Br Sel Method	Momentum			

Figura 146: Parametri idraulici del ponte autostradale A13 – canale Emiliano Romagnolo

**- FASE REALIZZATIVA -**

Per la fase realizzativa, viene verificato il comportamento idraulico nei pressi del ponte in modo tale che si abbia un franco di 3 m al di sotto della quota arginale attuale. La realizzazione dell'allargamento dell'impalcato del ponte sul Canale Emiliano Romagnolo avviene mediante uno sbancamento della sommità dell'argine di 2 m per consentire la posa delle fondazioni. Per questo motivo è necessario verificare la portata massima transitabile durante la fase di realizzazione, in modo tale che sia garantito un franco di sicurezza di 1 metro al di sotto della quota di fondo scavo. Essendo la quota arginale attuale pari a 18.54 m s.l.m., il livello massimo che l'acqua può raggiungere in questa fase è pari a 15.54 m s.l.m..

Si è verificata la configurazione con diverse portate e condizione a valle di moto uniforme.

Condizioni al contorno di riferimento per la modellazione idraulica

Per l'implementazione dei modelli idraulici, le condizioni al contorno di cui si è tenuto conto sono le seguenti:

- Condizione di monte: le portate di riferimento adottate per la modellazione idraulica sono pari a:
  - o Simulazione n. 1:  $Q = 10.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 2:  $Q = 15.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 3:  $Q = 20.00 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
  - o Simulazione n. 4:  $Q = 30.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Condizione di valle:
  - o Formazione del moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto in esame ( $i=0.008\%$ ).

I risultati della modellazione idraulica sono riportati nella figura seguente, che mostra il confronto tra i profili del corso d'acqua con le diverse portate considerate.

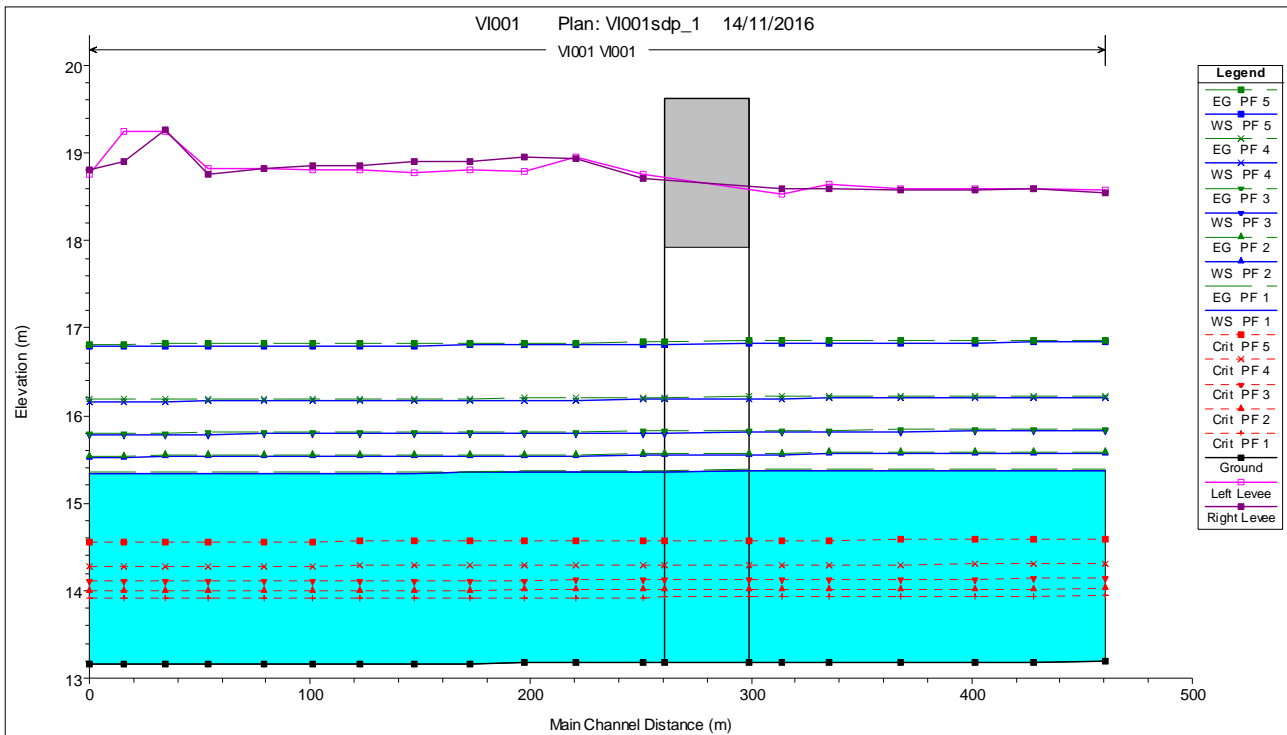


Figura 147: Profilo idraulico del canale Emiliano Romagnolo nella fase realizzativa

Come è possibile vedere, il livello supera la quota di 15.54 m s.l.m. sulla sezione a monte del ponte per tutte le portate maggiori di 15 m<sup>3</sup>/s, mentre la portata di 10 m<sup>3</sup>/s consente il rispetto di un franco sulla quota di sommità attuale dell'argine di 3.20 m, adeguato per una fase realizzativa. La portata limite è pari a 12 m<sup>3</sup>/s, a cui corrisponde un livello idrico di 15.56 m s.l.m., che consente di avere il franco pari a 3.00 m.

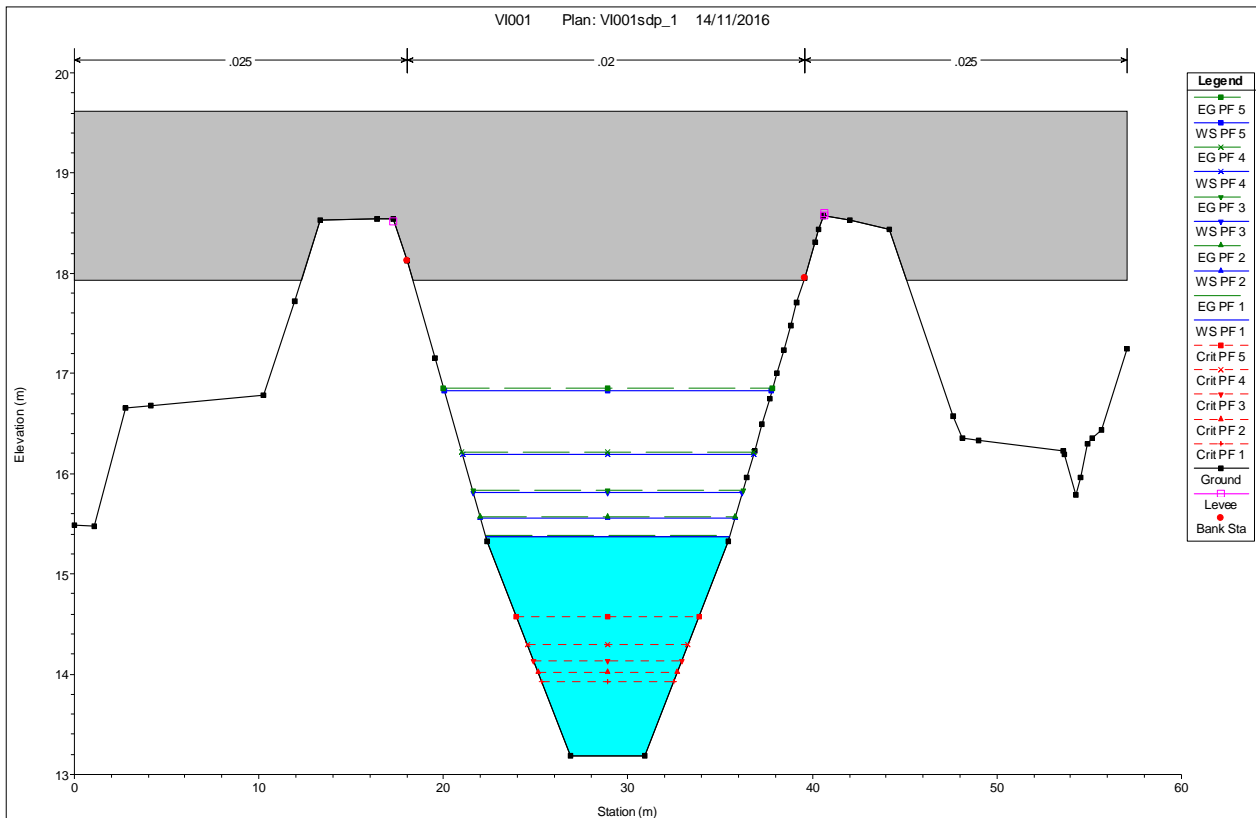


Figura 148: Sezione in corrispondenza del ponte durante la realizzazione delle opere

Sarà quindi necessario avere un controllo sui livelli a monte del ponte sul canale Emiliano Romagnolo. Inoltre, dovendo mantenere un franco considerevole rispetto alla quota arginale attuale, sarà necessario eseguire i lavori in periodo di magra del canale, quando non sono presenti le acque di irrigazione.

#### - FASI REALIZZATIVE – CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate sulle fasi realizzative dell'opera per il canale Emiliano Romagnolo, ne emerge la necessità di attuare sia dei controlli in continuo sui livelli della corrente che di valutare delle possibili limitazioni di portata da concordare con l'ente gestore. Sarà quindi necessario l'installazione di un misuratore di livello a monte della zona delle lavorazioni che verifichi il non superamento dei livelli di sicurezza impostati nelle simulazioni.

Questi accorgimenti rendono necessario vincolare i lavori in alveo alle stagioni meno a rischio, in periodo di magra del canale. Le lavorazioni che interessano l'alveo dovranno quindi essere fatte prevalentemente in fase di asciutta.

## 11. INTERFERENZE IDROGRAFICHE MINORI

### 11.1 Canali analizzati con l'ipotesi di moto uniforme

Di seguito si esaminano i canali che attraversano la sede autostradale mediante tombini scatolari o circolari che sono situati nell'ambito di competenza del Consorzio della Bonifica Renana e del Consorzio di Bonifica della Pianura Ferrarese.

*Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**-1: Fossi privati ricadenti nell'area di competenza del Consorzio della Bonifica Renana Occidentale, tra la Pk 1+070 e la Pk 26+550*

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T001	scolo privato	1+232	Privato	Minore	Condotta circolare
T002	scolo privato	1+714	Privato	Minore	Condotta circolare
T003	scolo privato	1+912	Privato	Minore	Condotta circolare
T004	fosso	2+292	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T005	scolo privato	2+575	Privato	Minore	Condotta circolare
T006	fosso	3+189	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T007	scolo privato	3+477	Privato	Minore	Condotta circolare
T008	fosso	3+718	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T009	fosso	3+956	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T010	scolo Carsè	4+199	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T011	fosso	4+315	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T012	fosso	4+569	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T013	fosso	4+787	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T014	fosso	4+914	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T015	fosso	5+170	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T016	fosso	5+375	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare

T017	scolo privato	5+423	Privato	Minore	Condotta circolare
T018	fosso	5+686	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T019	fosso	5+888	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T020	scolo privato	6+118	Privato	Minore	Condotta circolare
T021	scolo privato	6+464	Privato	Minore	Condotta circolare
T022	fosso	6+601	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T023	scolo privato	6+885	Privato	Minore	Condotta circolare
T024	fosso	7+166	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T025	scolo privato	7+357	Privato	Minore	Condotta circolare
T026	scolo privato	7+512	Privato	Minore	Condotta circolare
T028	scolo privato		Privato	Minore	Scatolare
T029	scolo privato	7+962	Privato	Minore	Condotta circolare
T030	scolo privato	7+967	Privato	Minore	Condotta circolare
T031	scolo privato	7+880	Privato	Minore	Scatolare
T032	scolo privato	8+103	Privato	Minore	Scatolare
T033	scolo privato	8+110	Privato	Minore	Condotta circolare
T034	scolo privato	8+048	Privato	Minore	Scatolare
T035	fosso	8+236	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T036	fosso	8+429	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T037	fosso	8+556	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T038	scolo privato	8+842	Privato	Minore	Scatolare
T039	fosso	8+968	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T040	fosso	9+172	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T041	fosso	9+637	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T042	fosso	9+759	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T043	fosso	9+897	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T044	fosso	10+324	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T045	fosso	10+359	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T046	scolo privato	10+602	Privato	Minore	Scatolare

T047	fosso	11+225	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T048	scolo privato	11+486	Privato	Minore	Condotta circolare
T049	scolo privato	11+617	Privato	Minore	Condotta circolare
T050	scolo privato	11+619	Privato	Minore	Scatolare
T051	scolo privato	11+621	Privato	Minore	Scatolare
T052	scolo privato	11+624	Privato	Minore	Scatolare
T053	scolo privato	11+996	Privato	Minore	Scatolare
T054	scolo privato	12+517	Privato	Minore	Condotta circolare
T055	scolo privato	12+524	Privato	Minore	Scatolare
T056	scolo privato	12+532	Privato	Minore	Scatolare
T057	scolo privato	12+764	Privato	Minore	Scatolare
T058	fosso	12+906	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T059	fosso	13+090	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T060	scolo privato	13+180	Privato	Minore	Condotta circolare
T063	fosso	13+771	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T064	fosso	13+947	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T065	fosso	14+135	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T066	scolo privato	14+374	Privato	Minore	Condotta circolare
T068	scolo privato	14+507	Privato	Minore	Condotta circolare
T069	scolo privato	14+678	Privato	Minore	Condotta circolare
T070	scolo privato	14+854	Privato	Minore	Condotta circolare
T071	scolo privato	14+990	Privato	Minore	Condotta circolare
T072	fosso	15+154	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T073	scolo privato	15+344	Privato	Minore	Condotta circolare
T074	scolo privato	15+719	Privato	Minore	Condotta circolare
T075	scolo privato	15+858	Privato	Minore	Condotta circolare
T076	scolo privato	16+194	Privato	Minore	Condotta circolare
T077	scolo privato	16+277	Privato	Minore	Scatolare
T078	scolo privato	16+381	Privato	Minore	Condotta circolare
T080	fosso	17+023	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T081	scolo privato	17+261	Privato	Minore	Condotta circolare
T082	scolo privato	17+385	Privato	Minore	Condotta circolare
T083	scolo privato	17+515	Privato	Minore	Condotta circolare
T084	scolo privato	17+821	Privato	Minore	Condotta circolare
T085	scolo privato	18+033	Privato	Minore	Condotta circolare



T086	scolo privato	18+043	Privato	Minore	Scatolare
T087	scolo privato	18+171	Privato	Minore	Condotta circolare
T088	scolo privato	18+307	Privato	Minore	Scatolare
T089	scolo privato	18+413	Privato	Minore	Condotta circolare
T090	scolo privato	18+513	Privato	Minore	Condotta circolare
T091	scolo privato	18+533	Privato	Minore	Condotta circolare
T092	scolo privato	18+652	Privato	Minore	Condotta circolare
T093	scolo privato	18+856	Privato	Minore	Scatolare
T094	scolo privato	18+864	Privato	Minore	Scatolare
T095	scolo privato	19+103	Privato	Minore	Scatolare
T096	scolo privato	19+288	Privato	Minore	Scatolare
T097	scolo privato	19+357	Privato	Minore	Condotta circolare
T098	scolo privato	19+728	Privato	Minore	Condotta circolare
T100	scolo privato	20+418	Privato	Minore	Condotta circolare
T101	scolo privato	20+669	Privato	Minore	Scatolare
T102	fosso	20+737	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T103	fosso	20+946	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Scatolare
T104	fosso	21+077	Consorzio di Bonifica Renana	Minore	Condotta circolare
T105	scolo privato	21+185	Privato	Minore	Condotta circolare
T106	scolo privato	21+200	Privato	Minore	Condotta circolare
T107	scolo privato	21+801	Privato	Minore	Condotta circolare
T108	scolo privato	22+058	Privato	Minore	Condotta circolare
T109	scolo privato	22+133	Privato	Minore	Condotta circolare
T110	scolo privato	22+536	Privato	Minore	Scatolare
T111	scolo privato	22+871	Privato	Minore	Scatolare
T112	scolo privato	23+214	Privato	Minore	Condotta circolare
T113	scolo privato	23+223	Privato	Minore	Scatolare
T114	scolo privato	23+506	Privato	Minore	Condotta circolare
T115	scolo privato	23+517	Privato	Minore	Scatolare
T116	scolo privato	23+756	Privato	Minore	Condotta circolare
T117	scolo privato	23+960	Privato	Minore	Condotta circolare
T118	scolo privato	24+240	Privato	Minore	Condotta circolare
T119	scolo privato	24+250	Privato	Minore	Condotta circolare
T120	scolo privato	24+868	Privato	Minore	Condotta circolare

Tabella 11.1-2: Corsi d'acqua artificiali ricadenti nell'area di competenza del Consorzio di Bonifica della Pianura Ferrarese, tra la Pk 26+550 e la Pk 33+600

CODICE WBS	NOME	Pk	ENTE GESTORE	RANGO	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA ALL'ALTEZZA DELL'A13
T121 bis	scolo privato	26+587	Privato	Minore	Condotta circolare
T122	scolo privato	27+144	Privato	Minore	Condotta circolare
T123	scolo privato	27+697	Privato	Minore	Condotta circolare
T124	scolo privato	28+734	Privato	Minore	Condotta circolare
T125	scolo privato	29+110	Privato	Minore	Condotta circolare
T126	fosso	29+169	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T128	fosso	29+588	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T129	fosso	29+769	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T130	fosso	30+016	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T131	Deviazione Margosa	30+257	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T133	Deviazione Margosa	30+773	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T134	Deviazione Margosa	31+051	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T135	Deviazione Margosa	31+189	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Condotta circolare
T138	scolo privato	31+823	Privato	Minore	Condotta circolare
T139	scolo privato	32+244	Privato	Minore	Condotta circolare
T140	scolo privato	32+467	Privato	Minore	Scatolare
T141	scolo privato	32+711	Privato	Minore	Scatolare
T142	Scolo Madonna dei Boschi	32+975	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Scatolare
T144	scolo privato	33+505	Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara	Minore	Scatolare

### 11.1.1 Definizione della portata di progetto

Lo studio del comportamento idrodinamico dei canali artificiali in esame prevede la verifica in condizioni di moto uniforme del grado di riempimento dei tombini circolari presenti in ciascun attraversamento autostradale.

L'analisi del rilievo topografico ha permesso di individuare le caratteristiche geometriche dei fossi in esame. Sono state ricostruite le sezioni trapezoidali a monte di ciascun canale e successivamente sono state individuate le diverse pendenze dei canali in prossimità dell'attraversamento.

Note le caratteristiche geometriche dei fossi è stato possibile determinare la portata massima sostenibile mediante la formula di Chezy riportata di seguito.

$$Q = AK_s R^{2/3} \sqrt{i}$$

Il valore del coefficiente di Strickler attribuito al tratto di alveo è pari a  $K_s = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Nella tabella di seguito sono riportati le caratteristiche dei tombini e le portate massime sostenibili.

**Tabella *Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.*-3: Dati geometrici e Portate massime sostenibili dei fossi ricadenti nell'area di competenza del Consorzio della Bonifica Renana**

WBS	PK [km]	QUOTA MONTE (ovest) m slm	QUOTA VALLE (est) m slm	LUNGHEZZA [m]	FORMA	base (l) [m]	altezza (h) diametro (Ø) [m]	Q [m³/s]
T001	1+232	34.54	34.60	35.00	CIRC.	0.40	0.40	0.051
T002	1+714	31.48	31.36	26.00	CIRC.	1.00	1.00	1.064
T003	1+912	31.12	31.27	27.00	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T004	2+292	31.39	31.15	27.00	CIRC.	1.00	1.00	1.476
T005	2+575	29.36	29.14	26.60	CIRC.	1.10	1.10	1.836
T006	3+189	27.75	27.71	24.40	CIRC.	1.00	1.00	0.528
T007	3+477	27.68	27.59	24.00	CIRC.	0.90	0.90	0.603
T008	3+718	26.08	25.79	27.00	CIRC.	1.00	1.00	1.623
T009	3+956	25.51	25.73	26.90	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T010	4+199	24.78	24.85	25.00	RETT.	1.50	1.70	2.379
T011	4+315	24.85	25.18	27.30	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T012	4+569	24.56	24.67	27.10	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T013	4+787	24.54	25.62	26.70	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T014	4+914	24.19	24.37	27.00	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T015	5+170	24.06	24.29	24.10	RETT.	1.00	1.00	0.688
T016	5+375	23.73	23.70	25.20	CIRC.	1.00	1.00	0.450

T017	5+423	23.69	23.69	32.50	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T018	5+686	23.13	23.25	28.20	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T019	5+888	22.84	22.98	28.30	CIRC.	0.90	0.90	0.441
T020	6+118	22.54	22.86	27.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T021	6+464	22.40	22.21	35.10	CIRC.	1.40	1.40	2.355
T022	6+601	23.90	23.90	27.60	RETT.	0.80	0.80	0.380
T023	6+885	21.48	21.49	28.40	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T024	7+166	21.75	21.55	27.40	CIRC.	1.00	1.00	1.115
T025	7+357	22.27	22.26	24.00	CIRC.	1.00	1.00	0.266
T026	7+512	20.84	20.77	29.20	CIRC.	1.00	1.00	0.639
T027	7+727	21.26	21.21	36.10	CIRC.	1.00	1.00	0.486
T028	7+880	21.63	21.62	7.10	RETT.	1.00	1.00	0.578
T029	7+962	21.13	20.85	26.50	CIRC.	0.80	0.80	0.740
T030	7+967	22.67	20.87	29.30	CIRC.	1.00	1.00	3.999
T031	8+048	21.37	21.25	7.20	RETT.	1.00	1.00	1.987
T032	8+103	21.40	21.40	24.10	RETT.	1.00	1.00	0.688
T033	8+110	21.26	21.24	7.10	RETT.	1.00	1.00	0.817
T034	8+048	21.58	21.06	7.00	RETT.	1.00	1.00	4.195
T035	8+236	20.63	20.58	32.20	CIRC.	1.00	1.00	0.514
T036	8+429	20.32	20.26	27.00	CIRC.	1.00	1.00	0.738
T037	8+556	20.15	20.02	27.80	CIRC.	1.00	1.00	1.071
T038	8+842	19.84	19.94	26.70	RETT.	0.90	0.90	0.520
T039	8+968	19.88	19.87	24.90	CIRC.	1.00	1.00	0.261
T040	9+172	18.81	19.14	31.10	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T041	9+637	18.51	18.68	26.10	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T042	9+759	18.82	18.73	24.15	RETT.	1.10	1.00	1.072
T043	9+897	17.21	17.14	26.50	CIRC.	1.00	1.00	0.805
T044	10+324	17.16	17.18	27.40	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T045	10+359	16.47	16.35	24.30	RETT.	3.00	2.00	11.900
T046	10+602	16.07	16.02	27.10	CIRC.	1.00	1.00	0.560
T047	11+225	14.46	14.52	36.00	CIRC.	1.00	1.00	0.700

T048	11+486	14.73	14.53	34.80	CIRC.	0.8NORD- 1SUD	0.80	0.655
T049	11+617	15.64	15.64	70.80	CIRC.	0.30	0.30	0.024
T050	11+619	15.64	15.64	29.00	CIRC.	0.30	0.30	0.024
T051	11+621	15.80	15.80	31.70	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T052	11+624	15.75	15.75	31.70	CIRC.	0.60	0.60	0.149
T053	11+996	13.27	13.15	42.60	CIRC.	0.8NORD- 1SUD	0.80	0.458
T054	12+517	13.15	13.19	28.50	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T055	12+524	12.73	12.69	28.80	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T056	12+532	13.76	13.70	28.00	CIRC.	0.60	0.60	0.155
T057	12+764	12.45	12.45	37.40	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T058	12+906	11.72	11.57	43.20	CIRC.	1.00	1.00	0.923
T059	13+090	13.52	13.50	75.40	CIRC.	0.80	0.80	0.117
T060	13+180	13.16	14.73	16.00	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T061	13+553	11.06	11.02	26.80	RETT.	1.80	2.30	3.881
T063	13+771	11.69	11.57	29.00	CIRC.	1.10	1.10	1.299
T064	13+947	11.41	11.33	29.20	CIRC.	1.00	1.00	0.820
T065	14+135	11.04	11.00	30.00	CIRC.	1.00	1.00	0.572
T066	14+374	10.32	10.50	31.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T067	14+411	9.45	9.40	25.50	RETT.	4.34	3.32	24.115
T068	14+507	11.36	11.40	25.90	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T069	14+678	10.80	10.76	27.80	CIRC.	1.00	1.00	0.594
T070	14+854	10.40	10.38	26.70	CIRC.	1.00	1.00	0.429
T071	14+990	9.38	9.33	30.00	CIRC.	1.15	1.15	0.773
T072	15+154	9.82	9.85	28.30	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T073	15+344	9.39	9.38	28.00	CIRC.	1.00	1.00	0.296
T074	15+719	8.05	8.08	26.60	RETT.	1.50	2.00	2.912
T075	15+858	9.00	8.97	29.20	CIRC.	1.00	1.00	0.502
T076	16+194	8.88	8.87	30.00	CIRC.	0.80	0.80	0.131
T077	16+277	8.92	8.74	24.20	RETT.	1.84	2.03	7.646
T078	16+381	8.93	9.03	27.10	CIRC.	1.00	1.00	0.700

T079	16+707	7.67	7.73	25.00	RETT.	4.00	2.63	16.009
T080	17+023	8.67	8.56	27.00	CIRC.	1.10	1.10	1.289
T081	17+261	8.63	8.70	27.00	CIRC.	1.10	1.10	0.903
T082	17+385	8.67	8.63	27.70	CIRC.	1.10	1.10	0.767
T083	17+515	8.52	8.51	28.00	CIRC.	1.00	1.00	0.247
T084	17+821	8.37	8.43	29.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T085	18+033	8.02	8.01	27.60	CIRC.	1.00	1.00	0.283
T086	18+043	9.30	9.27	24.00	RETT.	1.00	1.00	0.544
T087	18+171	8.76	8.74	28.70	CIRC.	1.00	1.00	0.344
T088	18+307	10.19	10.12	24.00	RETT.	1.00	1.10	0.938
T089	18+413	8.58	8.62	30.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T090	18+513	9.28	9.34	30.00	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T091	18+533	9.84	9.84	24.40	RETT.	2.00	2.00	4.371
T092	18+652	7.92	7.92	32.20	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T093	18+856	9.71	9.81	24.40	RETT.	1.00	1.50	1.141
T094	18+864	9.73	9.71	24.30	RETT.	1.00	1.50	0.732
T095	19+103	9.86	9.95	24.40	RETT.	1.06	0.82	0.576
T096	19+288	9.86	9.81	24.80	RETT.	1.30	1.20	1.255
T097	19+357	8.07	8.14	27.10	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T098	19+728	6.95	6.75	27.80	CIRC.	1.00	1.00	1.107
T099	20+176	6.66	6.52	25.40	RETT.	2.00	2.60	10.091
T100	20+418	7.07	6.93	32.70	CIRC.	2 TUBI	0.50	0.175
T101	20+669	7.18	7.28	29.00	RETT.	1.20	2.00	2.107
T102	20+737	8.23	8.04	28.00	RETT.	1.00	1.00	1.268
T103	20+946	7.14	7.15	27.10	RETT.	1.00	2.00	1.609
T104	21+077	8.19	8.16	29.40	CIRC.	1.00	1.00	0.500
T105	21+185	8.64	8.64	34.40	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T106	21+200	7.91	7.91	35.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T107	21+801	10.50	10.52	76.90	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T108	22+058	9.56	9.55	66.30	RETT.	3.00	1.00	0.788
T109	22+133	9.91	10.04	27.50	CIRC.	1.00	1.00	0.700

T110	22+536	9.58	9.57	25.30	RETT.	1.00	1.50	0.507
T111	22+871	9.09	9.12	25.30	RETT.	1.00	1.50	1.141
T112	23+214	7.53	7.54	29.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T113	23+223	8.75	8.76	25.20	RETT.	1.00	1.40	1.049
T114	23+506	7.74	7.76	30.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T115	23+517	8.76	8.78	25.00	RETT.	1.00	1.00	0.688
T116	23+756	8.33	8.25	26.00	RETT.	1.00	1.30	1.187
T117	23+960	7.14	7.33	34.40	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T118	24+240	7.11	7.11	29.00	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T119	24+250	6.33	7.15	29.20	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T120	24+868	7.02	7.02	30.80	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T121	25+210	6.80	6.80	40.00	RETT.	0.50	3.50	1.019

**Tabella Errore.** Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-4: Dati geometrici e portate massime sostenibili dei fossi ricadenti nell'area di competenza del Consorzio di Bonifica della Pianura Ferrarese

WBS	PK [km]	QUOTA MONTE (ovest) m slm	QUOTA VALLE (est) m slm	LUNGHEZZA [m]	FORMA	base (l) [m]	altezza (h) diametro (Ø) [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]
T121 bis	26+587	8.22	7.86	40.70	CIRC.	1.00	1.00	1.227
T122	27+144	7.50	7.50	31.50	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T123	27+697	6.86	6.83	28.60	CIRC.	1.00	1.00	0.423
T124	28+734	5.74	5.74	26.80	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T125	29+110	5.40	5.46	28.60	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T126	29+169	5.09	5.09	31.50	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T127	29+291	3.52	3.50	27.00	RETT.	3.90	3.10	11.724
T128	29+588	4.58	4.58	28.90	CIRC.	1.00	1.00	0.759
T129	29+769	4.52	4.53	30.70	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T130	30+016	4.70	4.79	30.60	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T131	30+257	4.91	4.40	30.60	CIRC.	1.00	1.00	1.684
T132	30+402	3.65	3.65	30.20	RETT.	2.30	3.00	8.860
T133	30+773	5.06	5.06	27.10	CIRC.	0.70	0.70	0.270

T134	31+051	5.51	5.39	25.70	CIRC.	1.00	1.00	0.892
T135	31+189	6.22	6.03	26.00	CIRC.	1.00	1.00	1.115
T136	31+340	5.70	5.71	27.00	RETT.	1.85	1.20	2.011
T137	31+621	6.19	6.17	25.30	RETT.	6.00	2.00	11.448
T138	31+823	6.85	6.85	24.10	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T139	32+244	8.09	7.96	24.00	CIRC.	1.00	1.00	0.960
T140	32+467	8.23	8.11	25.30	CIRC.	1.00	1.00	0.899
T141	32+711	8.07	8.02	28.90	CIRC.	1.00	1.00	0.651
T142	32+975	8.38	8.46	31.20	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T143	33+307	8.16	8.19	33.50	RETT.	6.00	2.00	18.209
T144	33+505	8.20	8.70	32.00	CIRC.	1.00	1.00	0.700

### 11.1.2 Verifiche idrauliche

La verifica del comportamento idrodinamico dei fossi in esame, nell'ipotesi di moto uniforme, è stata realizzata confrontando la portata di riferimento ante-operam con la portata di progetto post-operam.

La tabella seguente riporta, per ciascun fosso analizzato, il nome, la progressiva chilometrica (Pk), la sezione idraulica ante-operam, la portata massima ante-operam, la sezione idraulica post-operam, la portata massima post-operam.

Per tutti i casi analizzati è evidente che la portata massima post-operam è uguale o maggiore della portata massima ante-operam.

*Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**1-5 : Confronto tra portata di ciascun fosso ante e post operam dei fossi ricadenti nell'area di competenza del Consorzio della Bonifica Renana*

WBS	PK [km]	FORMA	base (l) [m]	altezza (h) diametro (Ø) [m]	Q [m³/s]	FORM A	base (l) [m]	altezza (h) diametro (Ø) [m]	Q [m³/s]
T001	1+232	CIRC.	0.40	0.40	0.051	CIRC.	0.40	0.40	0.051
T002	1+714	CIRC.	1.00	1.00	1.064	CIRC.	1.00	1.00	1.064
T003	1+912	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T004	2+292	CIRC.	1.00	1.00	1.476	RETT.	1.00	1.00	1.742
T005	2+575	CIRC.	1.10	1.10	1.836	RETT.	1.00	1.00	1.680
T006	3+189	CIRC.	1.00	1.00	0.528	CIRC.	1.00	1.00	0.528



T007	3+477	CIRC.	0.90	0.90	0.603	CIRC.	0.90	0.90	0.603
T008	3+718	CIRC.	1.00	1.00	1.623	CIRC.	1.00	1.00	1.623
T009	3+956	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T010	4+199	RETT.	1.50	1.70	2.379	RETT.	1.50	1.70	2.379
T011	4+315	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T012	4+569	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T013	4+787	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T014	4+914	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T015	5+170	RETT.	1.00	1.00	0.688	RETT.	1.00	1.00	0.688
T016	5+375	CIRC.	1.00	1.00	0.450	CIRC.	1.00	1.00	0.450
T017	5+423	CIRC.	1.00	1.00	0.584	RETT.	1.00	1.00	0.688
T018	5+686	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T019	5+888	CIRC.	0.90	0.90	0.441	CIRC.	0.90	0.90	0.441
T020	6+118	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T021	6+464	CIRC.	1.40	1.40	2.355	CIRC.	1.40	1.40	2.355
T022	6+601	RETT.	0.80	0.80	0.380	RETT.	0.80	0.80	0.380
T023	6+885	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T024	7+166	CIRC.	1.00	1.00	1.115	CIRC.	1.00	1.00	1.115
T025	7+357	CIRC.	1.00	1.00	0.266	CIRC.	1.00	1.00	0.266
T026	7+512	CIRC.	1.00	1.00	0.639	CIRC.	1.00	1.00	0.639
T027	7+727	CIRC.	1.00	1.00	0.486	CIRC.	1.00	1.00	0.486
T028	7+880	RETT.	1.00	1.00	0.578	RETT.	1.00	1.00	0.578
T029	7+962	CIRC.	0.80	0.80	0.740	CIRC.	0.80	0.80	0.740
T030	7+967	CIRC.	1.00	1.00	3.999	CIRC.	1.00	1.00	0.943
T031	8+048	RETT.	1.00	1.00	1.987	RETT.	1.00	1.00	1.987
T032	8+103	RETT.	1.00	1.00	0.688	RETT.	1.00	1.00	0.688
T033	8+110	RETT.	1.00	1.00	0.817	RETT.	1.00	1.00	0.817
T034	8+048	RETT.	1.00	1.00	4.195	RETT.	1.00	1.00	4.195
T035	8+236	CIRC.	1.00	1.00	0.514	CIRC.	1.00	1.00	0.514
T036	8+429	CIRC.	1.00	1.00	0.738	RETT.	1.00	1.00	0.871
T037	8+556	CIRC.	1.00	1.00	1.071	RETT.	1.00	1.00	1.263

T038	8+842	RETT.	0.90	0.90	0.520	RETT.	0.90	0.90	0.520
T039	8+968	CIRC.	1.00	1.00	0.261	CIRC.	1.00	1.00	0.261
T040	9+172	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T041	9+637	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T042	9+759	RETT.	1.10	1.00	1.072	RETT.	1.10	1.00	1.072
T043	9+897	CIRC.	1.00	1.00	0.805	CIRC.	1.00	1.00	0.805
T044	10+324	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	3.00	3.13	0.700
T045	10+359	RETT.	3.00	2.00	11.900	RETT.	3.00	2.00	11.900
T046	10+602	CIRC.	1.00	1.00	0.560	CIRC.	1.00	1.00	0.560
T047	11+225	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T048	11+486	CIRC.	0.8NORD- 1SUD	0.80	0.655	CIRC.	0.8NORD- 1SUD	0.80	0.655
T049	11+617	CIRC.	0.30	0.30	0.024	CIRC.	0.30	0.30	0.024
T050	11+619	CIRC.	0.30	0.30	0.024	CIRC.	0.30	0.30	0.024
T051	11+621	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T052	11+624	CIRC.	0.60	0.60	0.149	CIRC.	0.60	0.60	0.149
T053	11+996	CIRC.	0.8NORD- 1SUD	0.80	0.458	RETT.	1.00	1.00	0.980
T054	12+517	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T055	12+524	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T056	12+532	CIRC.	0.60	0.60	0.155	CIRC.	0.60	0.60	2.126
T057	12+764	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T058	12+906	CIRC.	1.00	1.00	0.923	CIRC.	1.00	1.00	0.923
T059	13+090	CIRC.	0.80	0.80	0.117	RETT.	0.80	0.80	0.117
T060	13+180	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T061	13+553	RETT.	1.80	2.30	3.881	RETT.	1.80	2.30	3.881
T063	13+771	CIRC.	1.10	1.10	1.299	RETT.	1.00	1.00	1.188
T064	13+947	CIRC.	1.00	1.00	0.820	CIRC.	1.00	1.00	0.820
T065	14+135	CIRC.	1.00	1.00	0.572	CIRC.	1.00	1.00	0.572
T066	14+374	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T067	14+411	RETT.	4.34	3.32	24.115	RETT.	4.34	3.32	24.115
T068	14+507	CIRC.	1.00	1.00	0.584	RETT.	1.00	1.00	0.688
T069	14+678	CIRC.	1.00	1.00	0.594	RETT.	1.00	1.00	0.701

T070	14+854	CIRC.	1.00	1.00	0.429	RETT.	1.00	1.00	0.506
T071	14+990	CIRC.	1.15	1.15	0.773	CIRC.	1.15	1.15	0.773
T072	15+154	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T073	15+344	CIRC.	1.00	1.00	0.296	RETT.	1.00	1.00	0.349
T074	15+719	RETT.	1.50	2.00	2.912	RETT.	1.50	2.00	2.912
T075	15+858	CIRC.	1.00	1.00	0.502	CIRC.	1.00	1.00	0.502
T076	16+194	CIRC.	0.80	0.80	0.131	CIRC.	0.80	0.80	0.131
T077	16+277	RETT.	1.84	2.03	7.646	RETT.	1.84	2.03	7.646
T078	16+381	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T079	16+707	RETT.	4.00	2.63	16.009	RETT.	4.00	2.63	16.009
T080	17+023	CIRC.	1.10	1.10	1.289	CIRC.	1.10	1.10	1.289
T081	17+261	CIRC.	1.10	1.10	0.903	RETT.	1.00	1.00	0.826
T082	17+385	CIRC.	1.10	1.10	0.767	RETT.	1.00	1.00	0.702
T083	17+515	CIRC.	1.00	1.00	0.247	CIRC.	1.00	1.00	0.247
T084	17+821	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T085	18+033	CIRC.	1.00	1.00	0.283	CIRC.	1.00	1.00	0.283
T086	18+043	RETT.	1.00	1.00	0.544	RETT.	1.00	1.00	0.544
T087	18+171	CIRC.	1.00	1.00	0.344	CIRC.	1.00	1.00	0.344
T088	18+307	RETT.	1.00	1.10	0.938	RETT.	1.00	1.10	0.831
T089	18+413	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T090	18+513	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T091	18+533	RETT.	2.00	2.00	4.371	RETT.	2.00	2.00	4.371
T092	18+652	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T093	18+856	RETT.	1.00	1.50	1.141	RETT.	1.00	1.50	1.141
T094	18+864	RETT.	1.00	1.50	0.732	RETT.	1.00	1.50	0.732
T095	19+103	RETT.	1.06	0.82	0.576	RETT.	1.06	0.82	0.576
T096	19+288	RETT.	1.30	1.20	1.255	RETT.	1.30	1.20	1.255
T097	19+357	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T098	19+728	CIRC.	1.00	1.00	1.107	CIRC.	1.00	1.00	1.107
T099	20+176	RETT.	2.00	2.60	10.091	RETT.	2.00	2.60	10.091
T100	20+418	CIRC.	2 TUBI	0.50	0.175	CIRC.	2 TUBI	0.50	0.175

T101	20+669	RETT.	1.20	2.00	2.107	RETT.	1.20	2.00	2.107
T102	20+737	RETT.	1.00	1.00	1.268	RETT.	1.00	1.00	1.268
T103	20+946	RETT.	1.00	2.00	1.609	RETT.	1.00	2.00	1.609
T104	21+077	CIRC.	1.00	1.00	0.500	CIRC.	1.00	1.00	0.500
T105	21+185	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T106	21+200	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T107	21+801	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T108	22+058	RETT.	3.00	1.00	0.788	RETT.	3.00	1.00	0.788
T109	22+133	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T110	22+536	RETT.	1.00	1.50	0.507	RETT.	1.00	1.50	0.507
T111	22+871	RETT.	1.00	1.50	1.141	RETT.	1.00	1.50	1.141
T112	23+214	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T113	23+223	RETT.	1.00	1.40	1.049	RETT.	1.00	1.40	1.049
T114	23+506	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T115	23+517	RETT.	1.00	1.00	0.688	RETT.	1.00	1.00	0.688
T116	23+756	RETT.	1.00	1.30	1.187	RETT.	1.00	1.30	1.187
T117	23+960	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T118	24+240	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T119	24+250	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T120	24+868	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T121	25+210	RETT.	0.50	3.50	1.019	RETT.	0.50	3.50	1.019

**Tabella Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.-6** : Confronto tra portata di ciascun fosso ante e post operam dei fossi ricadenti nell'area di competenza del Consorzio di Bonifica della Pianura Ferrarese

WBS	PK [km]	FORMA	base (l) [m]	altezza (h) diametro (Ø) [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	FORMA	base (l) [m]	altezza (h) diametro (Ø) [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]
T121 bis	26+587	CIRC.	1.00	1.00	1.227	CIRC.	1.00	1.00	1.227
T122	27+144	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T123	27+697	CIRC.	1.00	1.00	0.423	CIRC.	1.00	1.00	0.423
T124	28+734	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T125	29+110	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700

T126	29+169	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T127	29+291	RETT.	3.90	3.10	11.724	RETT.	3.90	3.10	11.724
T128	29+588	CIRC.	1.00	1.00	0.759	CIRC.	1.00	1.00	0.759
T129	29+769	CIRC.	1.00	1.00	0.700	CIRC.	1.00	1.00	0.700
T130	30+016	CIRC.	1.00	1.00	0.584	CIRC.	1.00	1.00	0.584
T131	30+257	CIRC.	1.00	1.00	1.684	CIRC.	1.00	1.00	1.684
T132	30+402	RETT.	2.30	3.00	8.860	RETT.	2.30	3.00	8.860
T133	30+773	CIRC.	0.70	0.70	0.270	CIRC.	0.70	0.70	0.270
T134	31+051	CIRC.	1.00	1.00	0.892	CIRC.	1.00	1.00	0.892
T135	31+189	CIRC.	1.00	1.00	1.115	CIRC.	1.00	1.00	1.115
T136	31+340	RETT.	1.85	1.20	2.011	RETT.	1.85	1.20	2.011
T137	31+621	RETT.	6.00	2.00	11.448	RETT.	6.00	2.00	11.448
T138	31+823	CIRC.	1.00	1.00	0.584	RETT.	1.00	1.00	0.688
T139	32+244	CIRC.	1.00	1.00	0.960	CIRC.	1.00	1.00	0.960
T140	32+467	CIRC.	1.00	1.00	0.899	CIRC.	1.00	1.00	0.899
T141	32+711	CIRC.	1.00	1.00	0.651	RETT.	1.00	1.00	0.768
T142	32+975	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826
T143	33+307	RETT.	6.00	2.00	18.209	RETT.	6.00	2.00	18.209
T144	33+505	CIRC.	1.00	1.00	0.700	RETT.	1.00	1.00	0.826

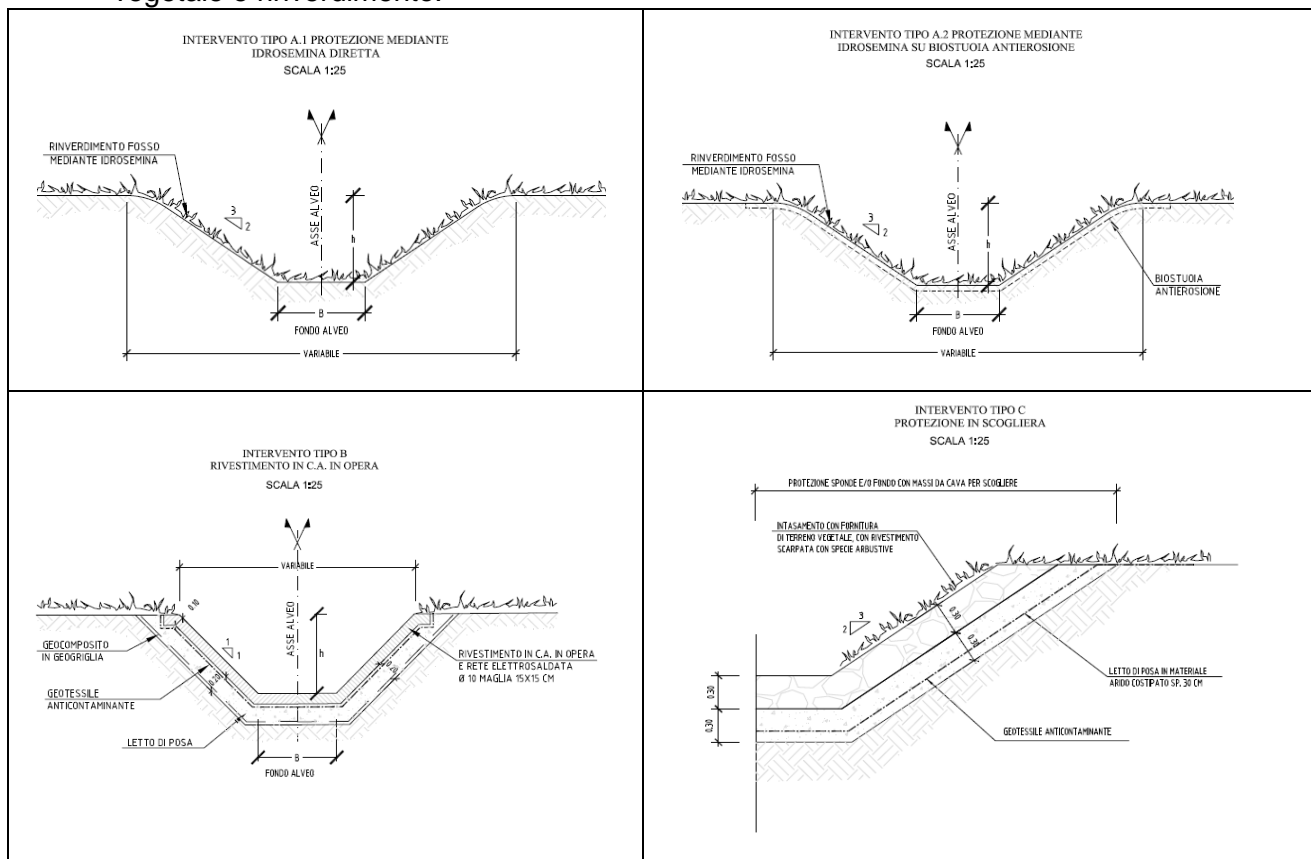
## 11.2 Descrizione dei presidi di mitigazione idraulica

### 11.2.1 Tombini scatoari

L'intervento prevede prioritariamente il ripristino dell'efficienza idraulica della sezione di deflusso per un tratto di 5.00 m a monte e valle dell'attraversamento prolungato al fine di garantire il regolare deflusso della corrente.

Gli interventi si dividono in quattro tipologie adottate in funzione della velocità della corrente, della sistemazione d'alveo preesistente, della sinuosità dell'alveo.

- esecuzione di semina eseguita con attrezzatura a pressione e con l'impiego di collante, in quantitativo sufficiente per assicurare l'aderenza del seme e del concime alla falda di scarpata;
- esecuzione di semina eseguita con attrezzatura a pressione e con l'impiego di collante, in quantitativo sufficiente per assicurare l'aderenza del seme e del concime alla falda di scarpata protetta con stuoia antierosione;
- rivestimento in c.a. del fondo e delle sponde;
- rivestimento del fondo e delle sponde con scogliera in pietrame sciolto intasato con terreno vegetale e rinverdimento.

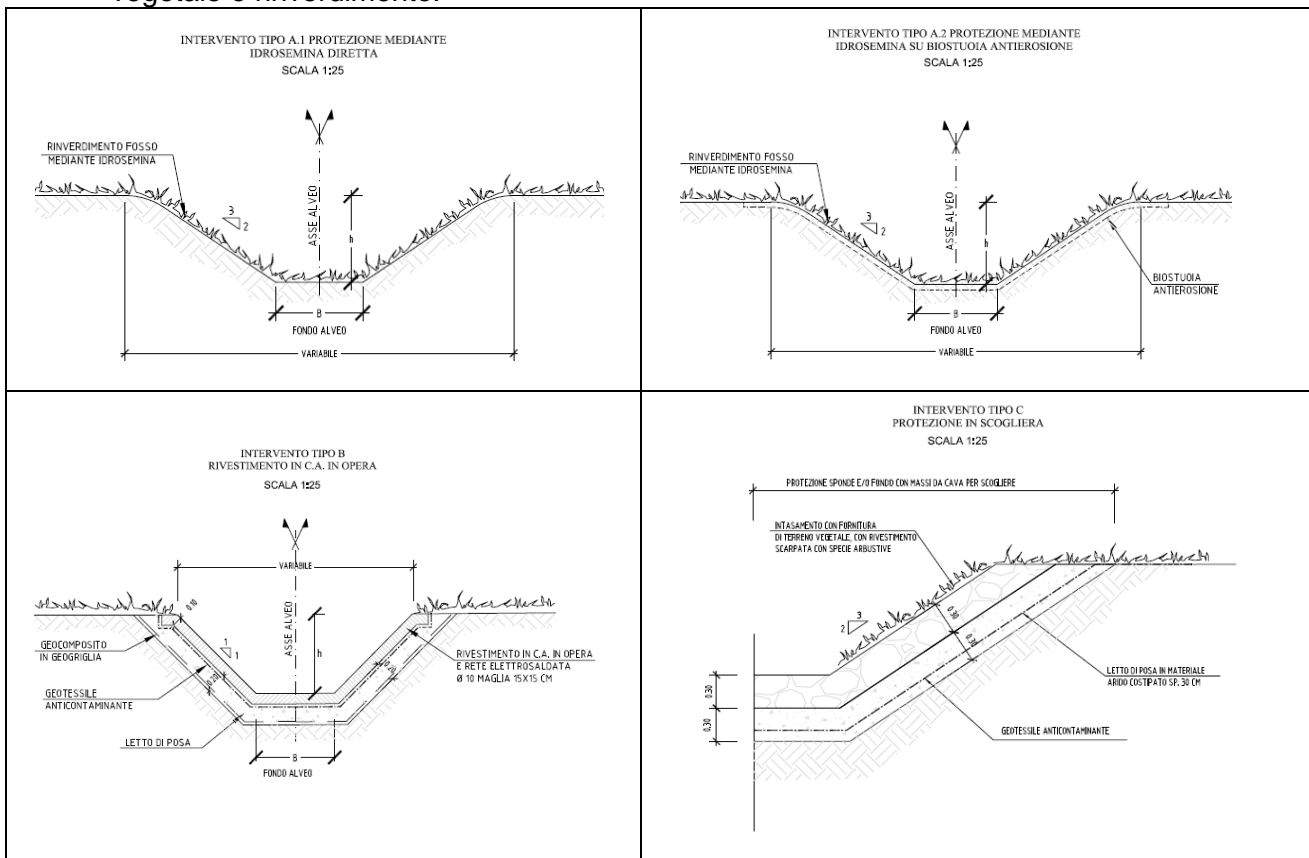


## 11.2.2 Tombini circolari

L'intervento prevede prioritariamente il ripristino dell'efficienza idraulica della sezione di deflusso per un tratto di 5.00 m a monte e valle dell'attraversamento prolungato al fine di garantire il regolare deflusso della corrente.

Gli interventi si dividono in quattro tipologie adottate in funzione della velocità della corrente, della sistemazione d'alveo preesistente, della sinuosità dell'alveo.

- esecuzione di semina eseguita con attrezzatura a pressione e con l'impiego di collante, in quantitativo sufficiente per assicurare l'aderenza del seme e del concime alla falda di scarpata;
- esecuzione di semina eseguita con attrezzatura a pressione e con l'impiego di collante, in quantitativo sufficiente per assicurare l'aderenza del seme e del concime alla falda di scarpata protetta con stuoia antierosione;
- rivestimento in c.a. del fondo e delle sponde;
- rivestimento del fondo e delle sponde con scogliera in pietrame sciolto intasato con terreno vegetale e rinverdimento.



## **12. FENOMENI DI EROSIONE E SCALZAMENTO IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE VIARIE**

### **12.1 Generalità**

Nel presente capitolo si analizza lo scalzamento massimo atteso del fondo alveo in corrispondenza delle pile dei ponti in occasione di eventi di piena.

Nel tratto autostradale in oggetto si incontrano questo tipo di interferenze in corrispondenza dell'attraversamento dei seguenti corsi d'acqua:

- Fiume Reno;
- Canale Diversivo - Navile;
- Scolo Calcarata.

Lo scalzamento, causato dallo scavo e dall'erosione di materiale dal letto e dalle sponde dell'alveo, come conseguenza dell'azione erosiva della corrente, può mettere in crisi la stabilità di un ponte, fino ad esporne totalmente le fondazioni.

L'erosione in corrispondenza di un ponte con pile in alveo è frutto di tre diversi effetti:

1. PROGRESSIVA VARIAZIONE DIFFUSA: deposito od erosione con variazione a lungo termine della pendenza dell'alveo (quindi della quota del fondo), dovuta all'evoluzione altimetrica dell'alveo a monte ed a valle del ponte, sia in relazione alle variazioni cicliche e progressive, sia alle eventuali variazioni che si verificano nel corso di ogni singolo evento di piena;
2. EROSIONE GENERALIZZATA DOVUTA A CONTRAZIONE: rimozione del materiale di fondo lungo tutta o gran parte della larghezza dell'alveo. Questa componente dell'erosione è il risultato della contrazione dei filetti dovuta al restringimento della sezione causato dalla presenza delle pile in alveo.
3. EROSIONE TRANSITORIA LOCALIZZATA: erosione transitoria rapida che si verifica durante gli eventi di morbida e piena in corrispondenza di ostacoli, come le pile dei ponti, che determinano una brusca variazione nella direzione dei filetti fluidi, con formazione di vortici ed accelerazioni locali. La buca di erosione si approfondisce con l'aumentare della velocità della corrente contro le pile e viene ricolmata al diminuire della stessa. Tale erosione può portare nel corso di una piena alla riduzione della capacità portante delle pile del ponte, fino al crollo delle stesse.



## 12.2 Progressiva variazione diffusa

---

Il progressivo abbassamento od innalzamento dell'alveo può essere dovuto a cause naturali cicliche od a conseguenze di interventi dell'uomo sull'alveo o sul bacino imbrifero, come la sottrazione di materiale da cave in alveo, la costruzione di dighe o traverse, le variazioni nell'utilizzo del suolo nel bacino (urbanizzazione, deforestazione, riduzione delle pratiche agricole, rivestimenti d'alveo, tagli di meandri, variazioni di pendenza mediante briglie, ecc.).

Nell'ambito del presente studio non sono stati tenuti in conto questi effetti per la stima dei quali sarebbe necessaria un'analisi molto più estesa dei corsi d'acqua considerati.

## 12.3 Erosione generalizzata dovuta a contrazione

---

Questo tipo di erosione, dovuta alla riduzione della sezione trasversale dell'alveo ad opera di un attraversamento, implica la rimozione di materiale dal letto e dalle sponde lungo tutta o gran parte della sezione dell'alveo, causata dall'aumento delle velocità e dell'azione di trascinamento in corrispondenza del restringimento. Tale erosione si esplica sull'intera sezione di deflusso e su scale temporali dell'ordine di grandezza della durata degli eventi di piena.

## 12.4 Valutazione dell'erosione generalizzata dovuta a contrazione

---

### **Formule empiriche**

L'argomento dell'erosione generalizzata è stato trattato in un articolo redatto dai Proff. Ingg. S. Franzetti e F. Ballio ("Sulla vulnerabilità idraulica dei ponti per erosione generalizzata" – D.I.I.A.R., Politecnico di Milano, 1997).

Riassumendo brevemente i contenuti di queste analisi si conclude che è possibile stimare la profondità d'erosione generalizzata attraverso la valutazione della profondità d'acqua che il corso d'acqua tende a raggiungere in corrispondenza della sezione ristretta causata dalle pile del ponte rispetto all'altezza d'acqua che si avrebbe in condizioni indisturbate.

L'articolo esprime il rapporto tra queste due altezze d'acqua attraverso la formula:

$$\frac{h_p}{h_a} = \left( \frac{Q_p \cdot W_a}{Q_a \cdot W_p} \right)^{\frac{6}{7}}$$

dove:

$h_p$	profondità dell'acqua al ponte a seguito del processo erosivo;
$h_a$	profondità dell'acqua a monte del ponte;
$W_p$	larghezza in superficie della corrente al ponte;
$W_a$	larghezza in superficie della corrente a monte del ponte;
$Q_p$	portata d'acqua al ponte;
$Q_a$	portata d'acqua nella parte centrale dell'alveo (golene escluse);

Tale formulazione può essere ritenuta attendibile sotto le seguenti ipotesi:

- condizione di corrente lenta a monte ed in corrispondenza del ponte;
- passaggio sotto il ponte senza funzionamenti in pressione;
- granulometria dell'alveo al ponte uguale ai tratti d'alveo limitrofi (assenza di fenomeni di corazzamento del fondo).

Una volta ottenuto il valore dell'altezza d'acqua al ponte che il corso d'acqua tende a raggiungere attraverso fenomeni erosivi è possibile valutare l'entità della profondità d'erosione con la formula:

$$e_c = h_p - h_0$$

dove:

$e_c$	profondità di scavo;
$h_p$	profondità dell'acqua al ponte;
$h_0$	profondità dell'acqua prima dell'inizio dell'erosione;

## Risultati

La seguente tabella riassume i valori utilizzati nel calcolo ed i risultati ottenuti per i tre viadotti considerati in situazione di stato di fatto e di progetto:

	$h_a$ (monte)	$h_0$	$h_p$	$Q_p$	$Q_a$	$W_p$	$W_a$	<b>erosione</b>
	m	m	m	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m	m	<b>m</b>
<b>Fiume Reno Stato di fatto</b>	10.82	11.03	11.71	677	677	190.91	209.4	<b>0.68</b>
<b>Fiume Reno Stato di progetto</b>	10.82	11.03	11.71	677	677	190.91	209.4	<b>0.68</b>
<b>Canale Diversivo Navile Stato di fatto</b>	3.18	3.17	3.41	35	35	24.33	26.4	<b>0.24</b>

<b>Canale Diversivo Navile Stato di progetto</b>	3.18	3.17	3.39	35	35	25.73	27.76	<b>0.22</b>
<b>Scolo Calcarata Stato di fatto</b>	10.35	10.29	11.94	90	90	25.19	29.75	<b>1.65</b>
<b>Scolo Calcarata Stato di progetto</b>	10.82	10.33	11.87	90	90	25.63	28.56	<b>1.54</b>

Fiume Reno: non sussistono variazioni tra l'assetto di stato di fatto e di progetto nella disposizione delle pile dunque i fenomeni erosivi non subiranno prevedibili modificazioni; è prevista una riprofilatura d'alveo che permette, a seguito dei lavori di ampliamento della sede stradale, di ridurre leggermente il fenomeno erosivo che comunque si attesta su valori massimi accettabili; in ogni caso è opportuno prevedere la posa di scogliere a protezione delle pile.

Fiume Diversivo Navile: non sussistono variazioni tra l'assetto di stato di fatto e di progetto nella disposizione delle pile dunque i fenomeni erosivi non subiranno prevedibili modificazioni; è prevista una riprofilatura d'alveo che permette, a seguito dei lavori di ampliamento della sede stradale, di ridurre leggermente il fenomeno erosivo che comunque si attesta su valori massimi accettabili; in ogni caso è opportuno prevedere la posa di scogliere a protezione delle pile.

Scolo Calcarata: non sussistono variazioni tra l'assetto di stato di fatto e di progetto nella disposizione delle pile dunque i fenomeni erosivi non subiranno prevedibili modificazioni; è prevista una riprofilatura d'alveo che permette, a seguito dei lavori di ampliamento della sede stradale, di ridurre leggermente il fenomeno erosivo che comunque si attesta su valori massimi accettabili; in ogni caso è opportuno prevedere la posa di scogliere a protezione delle pile.

## 12.5 Erosione transitoria localizzata

L'erosione transitoria localizzata comporta la rimozione di materiale nell'intorno degli elementi collocati in alveo che ostruiscono il flusso, in particolare delle pile dei ponti.

La presenza della pila in alveo causa un aumento della velocità dovuta al restringimento della sezione disponibile per il deflusso. Nel caso di pile circolari, in corrispondenza della pila si ha la formazione di un grosso vortice che interessa planimetricamente tutta l'area circostante la pila e che è il principale responsabile dell'erosione. Il fenomeno dell'erosione localizzata dipende da numerosi parametri legati sia alle caratteristiche della corrente e dell'alveo (portata, battente,

velocità della corrente, capacità di trasporto, caratteristiche del materiale dell'alveo, ecc.), sia a quelle dell'ostacolo (forma e dimensioni, angolo di attacco della direzione di flusso rispetto alla pila in caso di pile a dimensione longitudinale prevalente).

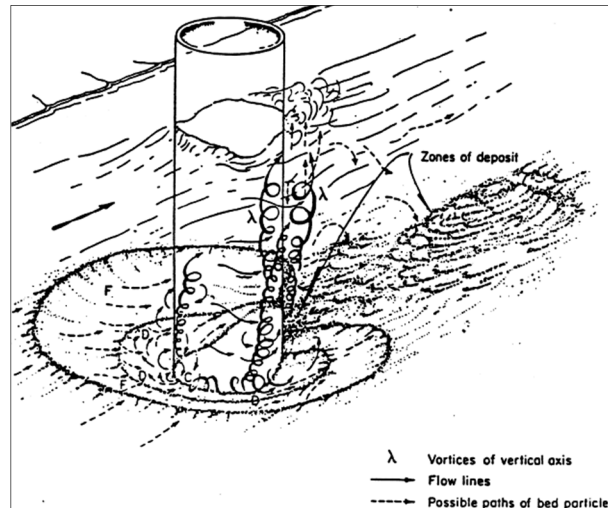


Figura 149: Esempio di erosione localizzata per una pila circolare.

Poiché l'entità dello scalzamento dipende in modo importante dall'altezza liquida, essa, in generale, risulta maggiore nelle fasi di piena. Durante la fase crescente della piena aumentano la portata, l'altezza liquida e la velocità dell'acqua, fino ad un valore di soglia che inficia la stabilità del fondo alveo e determina lo scavo improvviso della fossa di erosione in corrispondenza delle pile.

La fossa di erosione è situata in corrispondenza dell'attacco delle pile da parte della corrente liquida e, nella fase crescente della piena, è caratterizzata da una pendenza della scarpata, verso monte maggiore dell'angolo di attrito del terreno, in quanto la scarpata stessa è sostenuta dai moti vorticosi che si generano all'interno della fossa. Verso valle, dopo la pila, la pendenza della scarpata è minore dell'angolo di attrito del terreno. Quando la piena è in fase decrescente si riducono le forze vorticosi che sostenevano la scarpata di monte, determinando il "franamento" della scarpata con parziale ricoprimento della fossa. Perciò le misure di profondità della fossa di erosione effettuate a conclusione dell'evento di piena sono poco significative e si rileva la necessità di misurare l'erosione durante la piena.

Nelle pile con dimensione longitudinale prevalente ed inclinate rispetto alla corrente il fenomeno dell'erosione è simile, ma la fossa di massima erosione si riscontra nella parte di valle della pila ed è maggiore di quella che si genera a monte di una pila allineata con la corrente.

## 12.6 Valutazione dell'erosione transitoria localizzata

### Formule empiriche

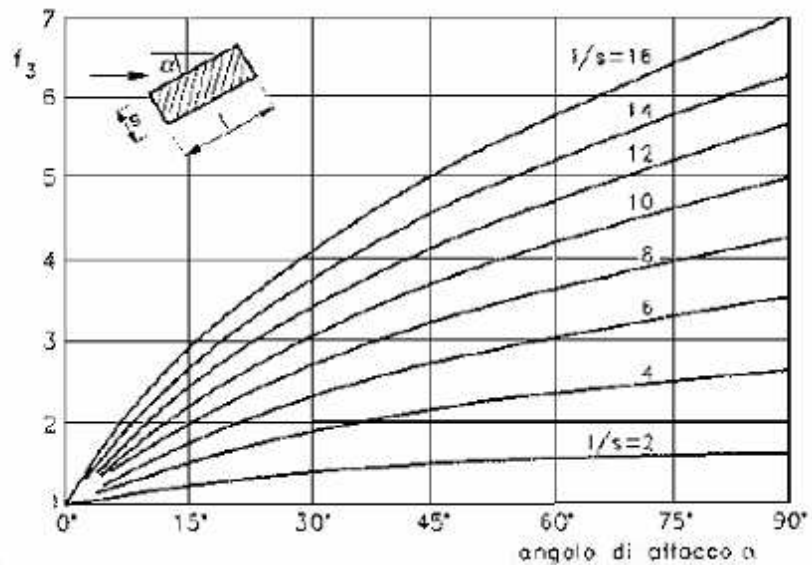
L'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è influenzata dalla forma delle stesse e dalla loro inclinazione rispetto alla direzione della corrente, oltre che naturalmente dalle caratteristiche dell'alveo e del flusso in corrispondenza delle pile stesse.

Di seguito viene descritta la formulazione utilizzata per il calcolo dell'erosione localizzata, ovvero la formula di Breusers et Al. (1977).

$$\frac{d_s}{b} = f_1 \left( \frac{V_0}{V_c} \right) \cdot 2 \tanh \left( \frac{h_0}{b} \right) \cdot f_2 (forma) \cdot f_3 \left( \alpha, \frac{1}{b} \right)$$

dove:

- $d_s$  profondità di scavo a partire dal fondo del terreno indisturbato;
- $b$  larghezza della pila;
- $V_0$  velocità media della corrente indisturbata;
- $V_c$  velocità critica di trascinamento relativa al materiale di diametro  $d$  (per i miscugli si adotta  $d \approx d_{50}$  e si può ottenere la velocità critica dalla  $V_c = 0,85 \sqrt{2gd_{50}(\gamma_s - \gamma) / \gamma}$  dove  $\gamma_s$  è il peso specifico del materiale di fondo e  $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua;
- $d_{50}$  dimensione media del materiale;
- $\alpha$  angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila;
- $f_1$  coefficiente che tiene conto delle caratteristiche del materiale in rapporto a quelle della corrente, pari a:
- $f_1 = 0$  per  $(V_0/V_c) < 0,5$ ;
- $f_1 = (2 \cdot V_0/V_c) - 1$  per  $0,5 < (V_0/V_c) < 1,0$ ;
- $f_1 = 1$  per  $(V_0/V_c) > 1,0$ ;
- $f_2$  coefficiente di forma, pari a:
- $f_2 = 1,00$  per pile circolari o con fronti arrotondate;
- $f_2 = 0,75$  per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente;
- $f_2 = 1,30$  per pile rettangolari;
- $f_3$  coefficiente funzione della forma e dell'inclinazione della pila.



### Risultati

La seguente tabella riassume i valori utilizzati nel calcolo ed i risultati ottenuti per i viadotti considerati:

I risultati sono stati differenziati per tipologie di pile omogenee per velocità e quote di terreno. Il modello utilizzato è di tipo monodimensionale, ma riesce a distinguere tra le velocità medie che si formano sull'alveo inciso e quelle che si formano sulle golene.

	Quota imposta pila	profondità di scavo (m)	larghezza pila (m)	altezza della corrente (m)	velocità media della corrente (m/s)	velocità critica (m/s)	materiale del fondo (kg/m <sup>3</sup> )	dimensione del materiale (m)	angolo di attacco	$f_1$	$f_2$	$f_3$
	(m slm)											
		$d_s$	$b$	$h_0$ (valle)	$V_0$ (valle)	$V_c$	$g_s$	$d_{50}$	$a$			
<b>Fiume Reno PILA P3</b>	<b>14.29</b>	<b>3.00</b>	1.50	6.05	0.33	0.238	1800	0.005	0	1	1	1
<b>Fiume Reno PILA P4</b>	<b>9.50</b>	<b>4.50</b>	1.50	10.84	0.78	0.337	1800	0.01	3	1	1	1.5
<b>Fiume Reno PILA P5</b>	<b>14.18</b>	<b>3.00</b>	1.50	6.16	0.38	0.238	1800	0.005	0	1	1	1
<b>Fiume Reno PILA P6</b>	<b>15.18</b>	<b>2.99</b>	1.50	5.16	0.38	0.238	1800	0.005	0	1	1	1

<b>Fiume Reno PILA P7</b>	<b>15.80</b>	<b>2.99</b>	1.50	4.54	0.38	0.238	1800	0.005	0	1	1	1
<b>Fiume Reno PILA P8</b>	<b>16.22</b>	<b>2.98</b>	1.50	4.12	0.38	0.238	1800	0.005	0	1	1	1
<b>Canale Diversivo Navile</b>	<b>13.20</b>	<b>7.09</b>	4.00	3.33	0.84	0.151	1800	0.002	0	1	1.3	1
<b>Scolo Calcarata</b>	<b>7.20</b>	<b>1.99</b>	1.00	3.13	1.30	0.151	1800	0.002	0	1	1	1

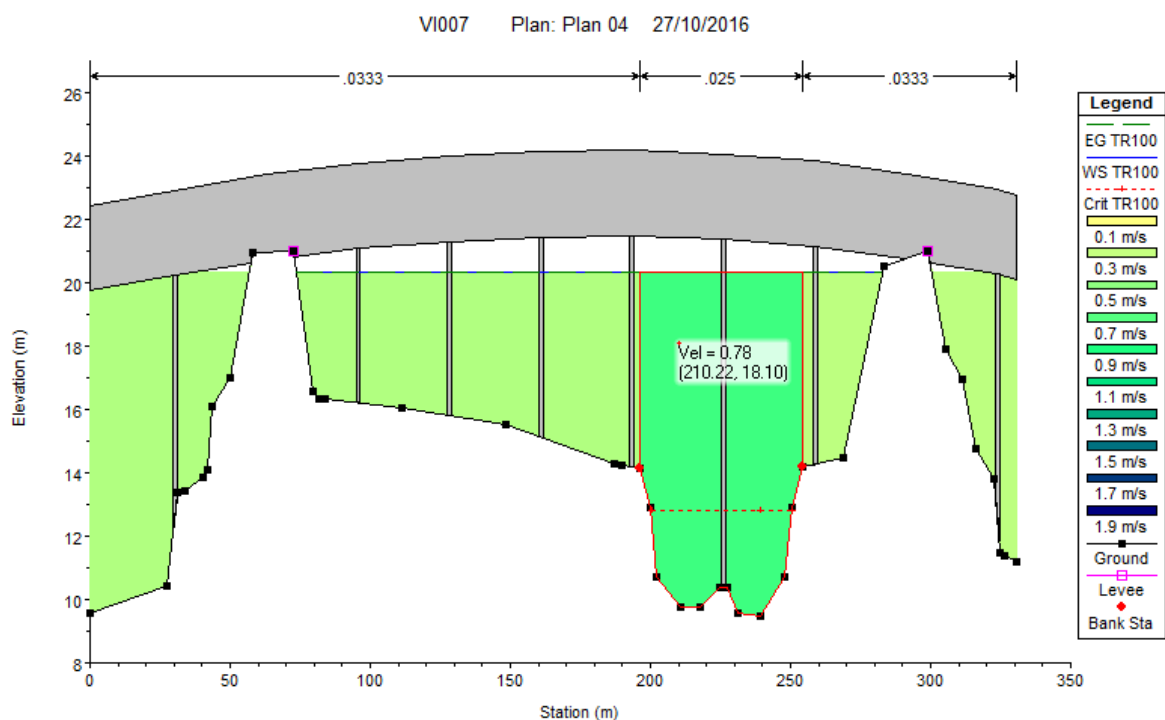


Figura 150: Fiume Reno - Distribuzione delle velocità.

Occorre sottolineare che nell'ambito in cui la formula è stata ricavata la durata delle sperimentazioni è prolungata fino a raggiungere un valore prossimo al valore massimo asintotico dell'erosione, mentre nella realtà le condizioni idrauliche, pur pericolose, hanno durata limitata nel tempo, così che l'evoluzione del fenomeno può interrompersi non raggiungendo il valore massimo che potrebbe compromettere la stabilità dell'attraversamento. Inoltre, inevitabilmente, nella modellazione sperimentale non vengono tenuti in conto gli eventuali effetti del corazzamento, della coesione del materiale di fondo e del suo grado di

compattazione. Queste considerazioni non vogliono comunque negare il valore dei risultati ottenuti, che si ritengono attendibili almeno in termini di ordine di grandezza.



## 13. SISTEMI DI PROTEZIONE CONTRO L'EROSIONE LOCALIZZATA

### 13.1 Generalità

Esistono differenti dispositivi atti a contenere il fenomeno dell'erosione al piede delle pile in alveo:

- cassoni di fondazione;
- collari (hanno il compito di intercettare e deviare la corrente discendente a monte dell'ostacolo);
- sistemi di pali di piccolo diametro posti a monte delle pile;
- scogliere radenti.

Alcuni di questi sistemi sono stati oggetto di indagini sperimentali su modelli di pile circolari ed isolate, per studiarne l'efficacia, da cui risulta:

- a) *cassoni di fondazione*: riescono a ridurre del 33% l'erosione se sono posti ad una profondità di  $0,5b$  rispetto al fondo alveo e se hanno larghezza pari a  $3b$  (con  $b$  larghezza della pila);
- b) *collari*: esiste un limite superiore per il posizionamento del collare oltre il quale la sua efficacia si annulla; l'efficacia aumenta sensibilmente con il diminuire della quota di posizionamento ed i migliori risultati si hanno con posizionamento al di sotto del fondo alveo; per collari circolari concentrici alla pila la riduzione dell'erosione è più efficace quanto maggiori sono le dimensioni del collare rispetto a quelle della pila; i risultati sono tanto migliori quanto maggiore è la scabrezza della superficie del collare. L'efficacia dei collari si manifesta a monte dell'ostacolo, ma rimangono i fenomeni di erosione a valle della protezione, dovuti alle scie di vortici ad asse verticale. Tali fenomeni possono, però, essere contenuti conformando adeguatamente i collari e la loro scabrezza;
- c) *sistemi di pali di piccolo diametro*: sono da collocare a monte della pila da proteggere e risultano molto efficaci (con riduzione del 45% dello scalzamento) nella disposizione particolare di 5 pali a cuneo con angolo di deviazione pari a  $30^\circ$  e con palo di punta distante  $2b$ . Questi sistemi di protezione trovano applicazione nelle vie d'acqua navigabili, dove i pali fungono anche da protezione delle pile nel caso di urti;

- d) *scogliere*: sono il sistema di protezione certamente più diffuso e valido per qualsiasi tipo di fondazione e consistono nella sistemazione di scogliere a ridosso delle pile da proteggere, a monte ed a valle delle stesse. I massi vengono dimensionati in funzione della velocità della corrente. L'intervento protettivo risulta efficace se lo spessore della scogliera è pari almeno a 3 volte il diametro dei massi e se essa si estende per almeno  $2b$  nell'intorno della pila.

Per quanto detto, nei casi trattati si ritiene opportuna la posa di scogliere il cui dimensionamento viene descritto nel paragrafo seguente.

### 13.2 Dimensionamento della protezione delle pile

Prevenire e limitare l'estensione dell'erosione localizzata dovuta all'azione della corrente idrica in corrispondenza di manufatti in alveo è materia di grande interesse. In letteratura sono disponibili numerose e diverse formulazioni per il dimensionamento di tali protezioni, con risultati che, come è ben noto, sono oltremodo variabili.

Come è noto, l'intensità dei fenomeni erosivi provocati dal deflusso delle correnti a pelo libero nei corsi d'acqua è dovuta sia alle azioni tangenziali sulle superfici bagnate, normalmente valutabili per via teorica semplificata in funzione della velocità e della profondità della corrente (assunta monodimensionale), sia alle turbolenze locali, di più difficile schematizzazione e normalmente valutabili solo per via sperimentale. Molte delle varie formulazioni empiriche proposte negli ultimi decenni per il dimensionamento delle protezioni d'alveo con massi tengono conto, infatti, del grado di turbolenza della corrente o comunque considerano l'applicazione di un coefficiente di sicurezza che va aumentato o ridotto in funzione della maggiore o minore turbolenza delle acque.

Di seguito vengono riportate le equazioni utilizzate per il dimensionamento dei massi di protezione per i casi in esame:

- *Izbash* (1970):

$$d = C_t \frac{V^2}{g(s-1)}$$

dove:

- $d$  è il diametro medio dei sedimenti (o delle protezioni),  $d_{50}$  (m);  
 $V$  è la velocità media della corrente nella sezione;

s è il rapporto tra il peso specifico del materiale e quello dell'acqua;  
g è l'accelerazione di gravità;  
C<sub>t</sub> è il coefficiente di turbolenza di Izbash i cui valori sono compresi entro l'intervallo 0,3 (condizioni di bassa turbolenza) ÷ 0,7 (condizioni di alta turbolenza, per esempio nel caso di presenza di risalti multipli).

- U.S. Corp of Engineers (1970):

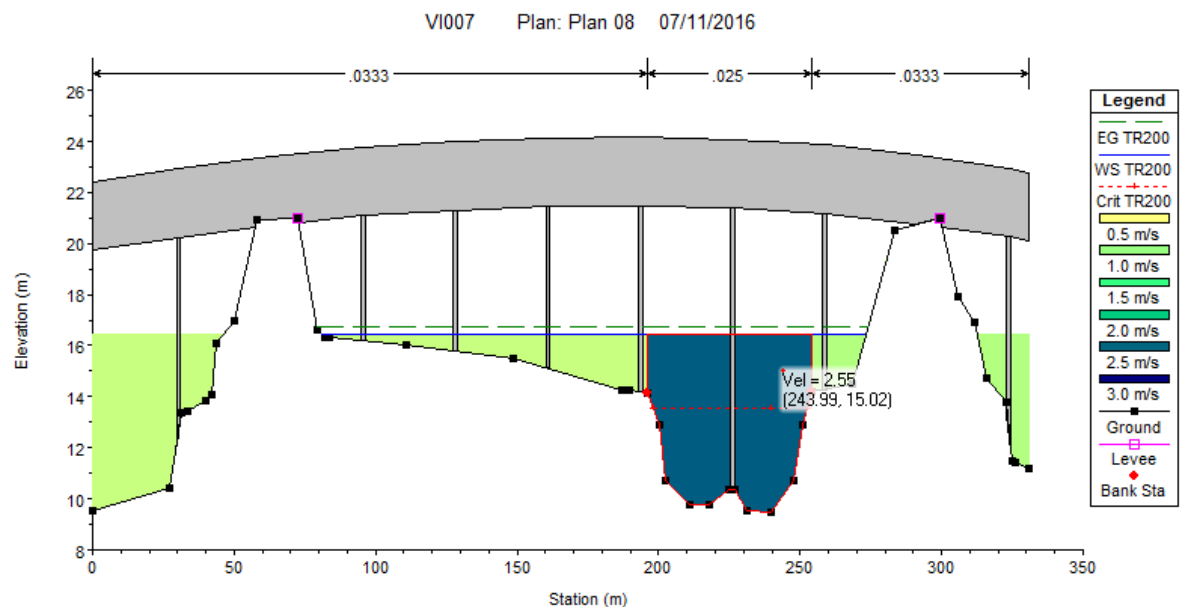
$$d = 0,347 \frac{V^2}{g(s-1)} \quad (\text{per bassa turbolenza})$$

- "Antica" formula pratica:

$$V = 5\sqrt{d} \Rightarrow d = 0,04V^2$$

La velocità media della corrente utilizzata nei calcoli è stata ottenuta dai risultati dalle simulazioni condotte per evento con tempo di ritorno T = 200 anni.

Si arrotonderà per eccesso al fine di garantire un buon margine di sicurezza per le scogliere in progetto. Per quanto riguarda il Fiume Reno al fine di garantire una maggiore sicurezza dell'opera di protezione si è modificata la condizione di valle, da livello imposto a quella di moto uniforme, in quanto con gli anni potrebbero risolvere l'ostruzione del Ponte di Gallo Ferrarese.



Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei calcoli effettuati con le formule descritte.

Tabella: risultati del calcolo del diametro dei massi di protezione delle pile

	velocità media della corrente (m/s)	Densità della scogliera	Coeff. Di turbolenza	Criterio di Izbash	Criterio U.S. Corp of Engineers	Criterio delal formula "Antica"	<b>Diametro massi di progetto</b>
	v[m/s]	$\gamma_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$C_t$	$d_{50}$ [cm]	$d_{50}$ [cm]	$d_{50}$ [cm]	<b><math>d_{50}</math> [cm]</b>
<b>Fiume Reno PILA P3</b>	1.05	2700	0.30	2.0	2.3	4.4	<b>15</b>
<b>Fiume Reno PILA P4</b>	2.76	2700	0.50	22.8	15.9	30.5	<b>40</b>
<b>Fiume Reno PILA P5</b>	1.02	2700	0.30	1.9	2.2	4.2	<b>15</b>
<b>Fiume Reno PILA P6</b>	1.02	2700	0.30	1.9	2.2	4.2	<b>15</b>
<b>Fiume Reno PILA P7</b>	1.02	2700	0.30	1.9	2.2	4.2	<b>15</b>
<b>Fiume Reno PILA P8</b>	1.02	2700	0.30	1.9	2.2	4.2	<b>15</b>
<b>CANALE DIVERSIVO PK 13+500</b>	0.84	2700	0.30	1.3	1.5	2.8	<b>10</b>
<b>SCOLO CALCARATA PK 23+991</b>	1.30	2700	0.30	3.0	3.5	6.8	<b>15</b>

Le opere di protezione, di cui i massi sono dimensionati nella tabella precedente, sono opere diffuse in una fascia in prossimità di ogni attraversamento autostradale e non localizzata alle singole pile.

### 13.3 OPERE DI PROTEZIONE

Dove si prevedono attraversamenti di corsi d'acqua, le cui strutture possono essere interessate dalla corrente, si prevede di intervenire attraverso la realizzazione di una protezione spondale, realizzata con scogliere opportunamente estese sia a monte, sia a valle delle strutture in progetto.

Il dimensionamento delle scogliere prevede di individuare, innanzitutto, il diametro d'equilibrio del materiale costituente le protezioni.

Stevens et al. (1976), dopo accurata analisi dei momenti delle forze agenti sull'elemento solido, giunsero alle seguenti espressioni utili per la determinazione del diametro d'equilibrio su sponda inclinata e quindi per la valutazione dell'opportunità di realizzare scogliere in massi di forma tondeggiante alla rinfusa.

$$\sigma = \frac{21\tau}{(\gamma_s / \gamma - 1)\gamma d_m} = \frac{0,30u_r^2}{(\gamma_s / \gamma - 1)gd_m} \quad (1)$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left( \frac{\cos \lambda}{\frac{2 \sin \Theta}{\sigma \text{tg} \phi} + \sin \lambda} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2} \quad (3)$$

$$C_s = \frac{\cos \Theta \text{tg} \phi}{\sigma' \text{tg} \phi + \sin \Theta \cos \beta} \quad (4)$$

in cui:

$d_m$  è il diametro del masso;

$C_s$  è il coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto P di rotazione (rapporto tra il momento risultante delle forze stabilizzanti e il momento risultante delle forze ribaltanti);

$\Theta$  è la pendenza adottata per la scarpata;

$\phi$  è l'angolo di riposo in acqua dei massi;

$\beta$  è l'angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata;

$\lambda$  è l'angolo diedro tra il piano orizzontale ed il piano inclinato costituente il fondo dell'alveo ( $\text{tg} \lambda = i =$  pendenza del fondo);

$\sigma$  e  $\sigma'$  sono i cosiddetti numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata ed orizzontale ( $\Theta = 0$ );

$\tau$  è l'azione di trascinamento sul masso;

$u_r$  è la velocità della corrente contro il masso.

La velocità  $u_r$  può essere desunta dalla legge logaritmica di distribuzione della velocità sulla verticale Y in un moto assolutamente turbolento (Keulegan, 1938):

$$u(Y) = 2,5 u^* \ln \left( 30,2 \frac{Y}{d_m} \right) \quad (5)$$

in cui:

$$u^* = (\tau/\rho)^{1/2} \quad (6)$$

Integrando la (5) sulla verticale si ottiene per la velocità media  $V$  della corrente:

$$V = 2.5 u^* \ln \left( 12,3 \frac{Y_o}{d_m} \right) \quad (7)$$

in cui  $Y_o$  è il tirante idrico.

Ammettendo che la velocità  $u_r$  sia corrispondente alla profondità  $Y = d_m$ , dalle (5) e (7) si ottiene l'espressione:

$$\frac{u_r}{V} = \frac{3,4}{\ln(12,3 Y_o/d_m)} \quad (8)$$

da utilizzare per il calcolo di  $u_r$ , avendo precedentemente determinato, con i criteri esposti, la velocità media  $V$  e la profondità  $Y_o$ . È però importante ricordare che le (5), (7) e (8) valgono per profondità relative  $Y_o/d_m > 6$ ; nel caso invece in cui la scabrezza sia macroscopica ( $Y_o/d_m < 6$ ) e conseguentemente molto alta la turbolenza e l'aerazione della corrente, si può assumere in via pratica:

$$u_r = V \quad (9)$$

In definitiva le espressioni precedenti consentono di verificare la stabilità di una scogliera. Dati infatti la dimensione  $d_m$  dei massi, l'angolo di scarpata  $\Theta$ , l'angolo di riposo  $\phi$ , calcolata con la (8), o con la (9), la velocità  $u_r$  e la sua direzione, applicando in successione le (1), (2), (3), (4) si giunge a calcolare il coefficiente di sicurezza  $C_s$ . Se questo è maggiore di 1, la scogliera ha sufficiente stabilità; se  $C_s = 1$ , l'equilibrio è al limite; se  $C_s < 1$ , la scogliera è soggetta a franamento. Per una buona sicurezza è auspicabile che  $C_s$  sia almeno pari a 1.3.

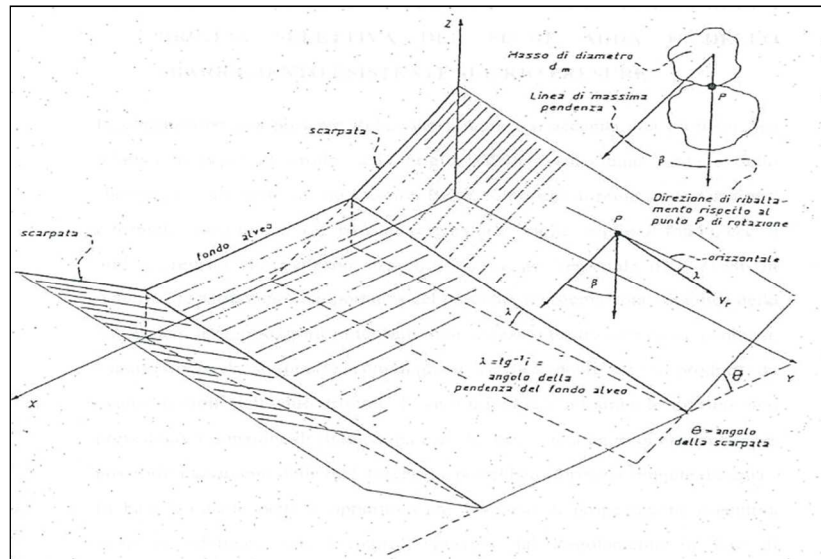


Figura 151:- Parametri caratterizzanti la stabilità delle sponde.

Per il dimensionamento e la verifica delle scogliere a protezione delle opere di attraversamento poste in fregio all'alveo, si è considerata una pendenza di scogliera pari a 2/3 (h/b).

Nella seguente tabella si riportano di valori delle dimensioni ei massi che consento di ottenere un coefficiente di sicurezza pari o superiore a  $C_s = 1.3$ .

	Pend. media	Portata	Velocità della corrente	Battente	Dim. dei massi	Angolo di scarpata	Angolo di attrito	Velocità contro il masso	$\sigma$	$\beta$	$\sigma'$	$C_s$
	i [%]	[m <sup>3</sup> /s]	v[m/s]	[m]	$d_m$ [cm]	$\theta$	$\phi$	$u_r$ [m/s]				
<b>Fiume Reno ALVEO INCISO</b>	0.10	950	1.10	10.84	<b>50</b>	34	45	0.67	0.02	0.014	0.01	<b>1.46</b>
<b>Fiume Reno ALVEO INCISO NO PONTE GALLO</b>	0.10	950	2.55	7.07	<b>50</b>	34	45	1.68	0.10	0.089	0.06	<b>1.34</b>
<b>Fiume Reno GOLENE NO PONTE GALLO</b>	0.10	950	0.77	1.00	<b>20</b>	34	45	0.64	0.04	0.032	0.02	<b>1.43</b>
<b>CANALE NAVILE PK 21+495</b>	0.02	25	1.44	2.36	<b>20</b>	34	45	0.98	0.09	0.078	0.05	<b>1.37</b>
<b>CANALE DIVERSIVO PK 13+500</b>	0.08	92	0.84	5.11	<b>20</b>	34	45	0.50	0.02	0.020	0.01	<b>1.45</b>

<b>FOSSA QUADRA PK 14+411</b>	0.11	13	1.30	2.30	<b>10</b>	34	45	0.78	0.11	0.097	0.07	<b>1.33</b>
<b>FOSSA QUADRA PK 16+708</b>	0.03	7	1.03	1.79	<b>10</b>	34	45	0.65	0.08	0.068	0.04	<b>1.38</b>
<b>SCOLO CALCARATA PK 23+991</b>	0.02	90	1.30	3.13	<b>30</b>	34	45	0.91	0.05	0.044	0.03	<b>1.42</b>
<b>SCOLO TOMBE PK 24+448</b>	0.02	20	0.84	1.85	<b>20</b>	34	45	0.60	0.03	0.029	0.02	<b>1.44</b>
<b>SCOLO RIOLO PK 25+150</b>	0.01	70	0.74	3.44	<b>30</b>	34	45	0.51	0.02	0.014	0.01	<b>1.46</b>
<b>SCOLO SAN PROSPERO PK 25+197</b>	0.03	3	0.51	2.97	<b>10</b>	34	45	0.29	0.02	0.014	0.01	<b>1.46</b>
<b>SCOLO PRINCIPALE PK 28+819</b>	0.05	40	1.45	2.35	<b>30</b>	34	45	1.08	0.07	0.062	0.04	<b>1.39</b>
<b>CANALE TORNIANO PK 29+278</b>	0.02	6	1.30	1.91	<b>20</b>	34	45	0.93	0.08	0.069	0.04	<b>1.38</b>
<b>FOSSA MORGOSA PK 30+401</b>	RIVESTITO IN CA											
<b>FOSSA MORGOSA PK 31+328</b>	0.02	12	1.40	2.20	<b>20</b>	34	45	0.97	0.08	0.075	0.05	<b>1.37</b>
<b>SCOLO SAN MARTINO PK 31+608</b>	0.03	7	0.84	1.01	<b>10</b>	34	45	0.59	0.06	0.056	0.03	<b>1.40</b>
<b>SCOLO UCCELLINO PK 33+294</b>	0.10	1	0.40	1.24	<b>10</b>	34	45	0.27	0.01	0.012	0.01	<b>1.46</b>



## **1. ALLEGATI: PROFILI E SEZIONI DEI CORSI D'ACQUA**

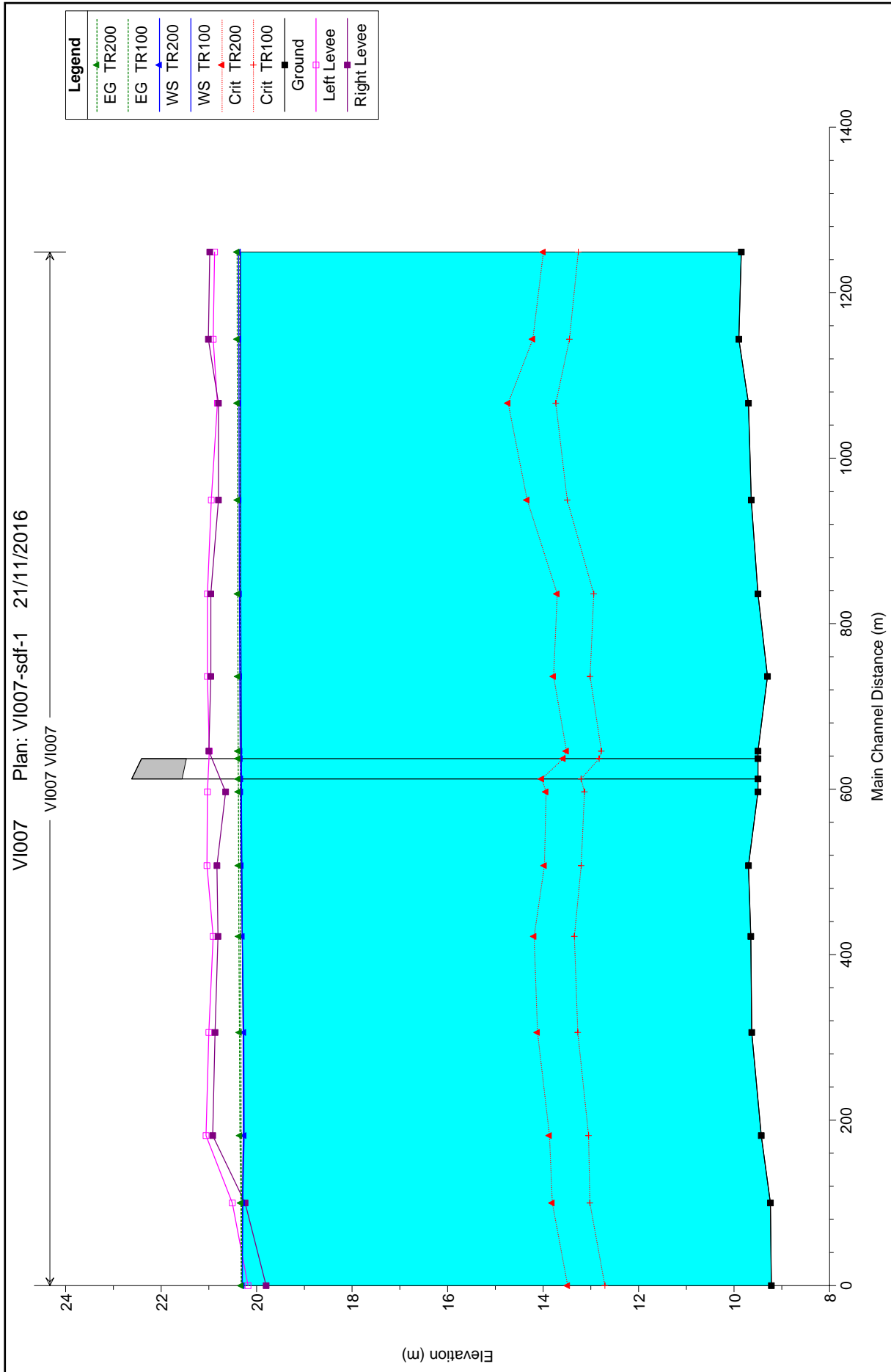
Vengono riportati di seguito i profili, le sezioni e i relativi dati riferiti alla modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto per i corsi d'acqua analizzati nei capitoli 7, 8, 9 e 10.

### **1.1 ALLEGATO 1: Corsi d'acqua di competenza dell'ADB Reno**

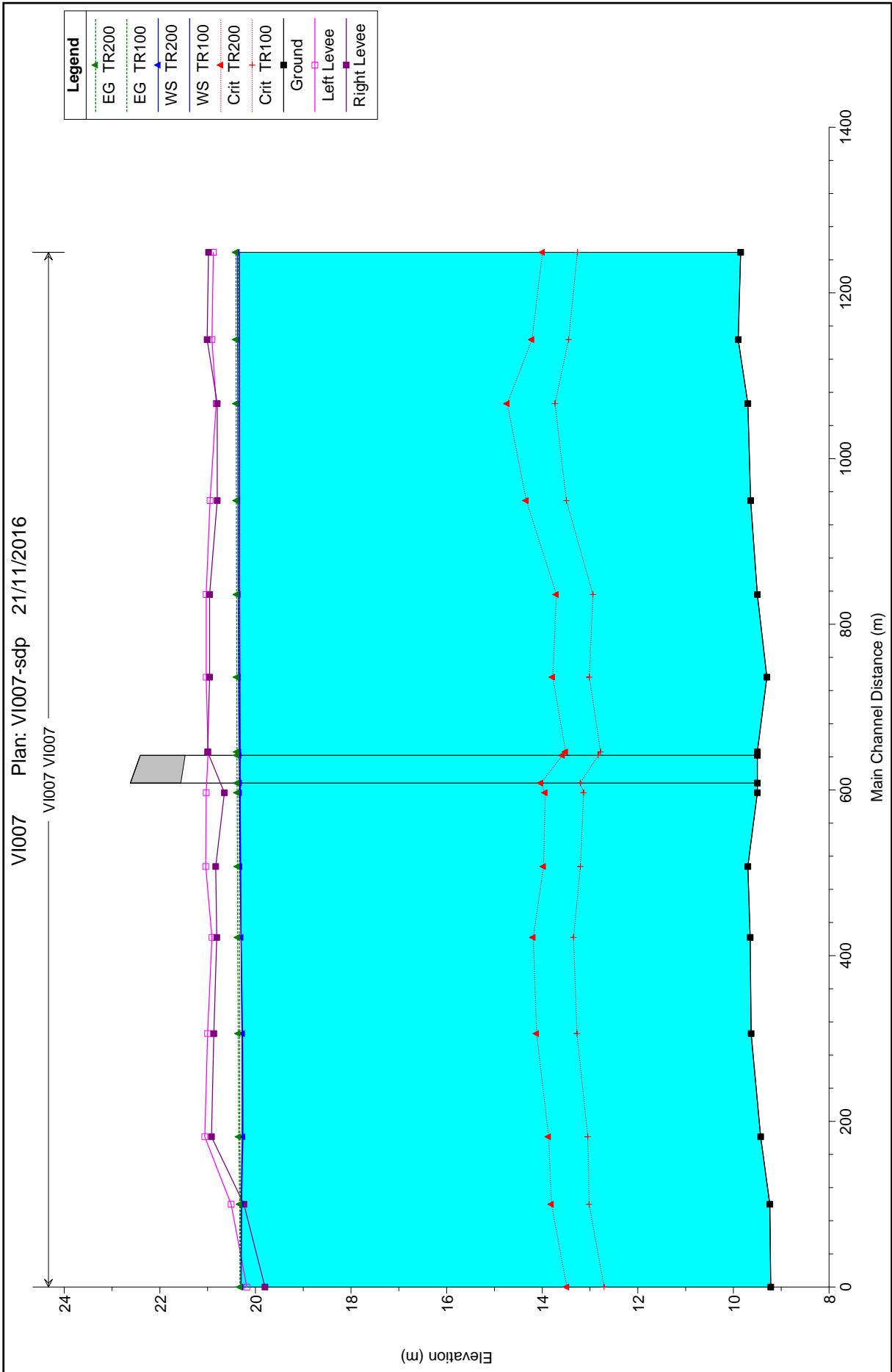
---

#### **1.1.1 Fiume Reno**

# Fiume Reno: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Fiume Reno: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Fiume Reno: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: V1007sdf-1 River: V1007 Reach: V1007

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
V1007	1249.078	TR100	677.00	9.85	20.34	13.26	20.36	0.000016	0.68	1447.64	245.45	0.07
V1007	1249.078	TR200	950.00	9.85	20.38	13.99	20.41	0.000031	0.95	1457.22	245.59	0.10
V1007	1143.817	TR100	677.00	9.90	20.34	13.45	20.35	0.000017	0.71	1427.51	249.22	0.07
V1007	1143.817	TR200	950.00	9.90	20.37	14.22	20.41	0.000033	0.98	1436.62	249.35	0.10
V1007	1066.343	TR100	677.00	9.70	20.33	13.73	20.35	0.000019	0.74	1396.13	253.48	0.08
V1007	1066.343	TR200	950.00	9.70	20.37	14.73	20.40	0.000037	1.04	1404.79	253.63	0.11
V1007	949.3431	TR100	677.00	9.64	20.33	13.49	20.35	0.000018	0.73	1444.32	256.11	0.08
V1007	949.3431	TR200	950.00	9.64	20.37	14.33	20.40	0.000034	1.01	1452.76	256.23	0.10
V1007	835.9042	TR100	677.00	9.50	20.33	12.94	20.35	0.000017	0.73	1396.98	245.93	0.07
V1007	835.9042	TR200	950.00	9.50	20.36	13.70	20.39	0.000034	1.02	1404.20	246.04	0.10
V1007	736.1617	TR100	677.00	9.30	20.33	13.02	20.35	0.000017	0.74	1393.27	245.92	0.08
V1007	736.1617	TR200	950.00	9.30	20.36	13.78	20.39	0.000034	1.03	1400.03	246.03	0.11
V1007	645.8934	TR100	677.00	9.50	20.32	12.78	20.34	0.000018	0.76	1269.26	209.40	0.08
V1007	645.8934	TR200	950.00	9.50	20.35	13.51	20.39	0.000035	1.06	1274.03	209.49	0.11
V1007	636	Bridge										
V1007	596.6711	TR100	677.00	9.50	20.32	13.13	20.34	0.000024	0.85	1160.66	199.91	0.09
V1007	596.6711	TR200	950.00	9.50	20.33	13.94	20.38	0.000046	1.19	1163.89	199.97	0.12
V1007	507.5778	TR100	677.00	9.70	20.31	13.20	20.34	0.000025	0.87	1084.76	180.83	0.09
V1007	507.5778	TR200	950.00	9.70	20.32	13.97	20.38	0.000049	1.22	1086.74	180.87	0.13
V1007	422.0529	TR100	677.00	9.65	20.30	13.34	20.34	0.000032	0.97	959.40	156.68	0.10
V1007	422.0529	TR200	950.00	9.65	20.30	14.19	20.37	0.000062	1.36	959.50	156.69	0.14
V1007	305.9415	TR100	677.00	9.63	20.28	13.27	20.33	0.000040	1.09	835.71	138.61	0.11
V1007	305.9415	TR200	950.00	9.63	20.27	14.12	20.36	0.000080	1.54	833.46	138.55	0.16

HEC-RAS Plan: V1007sdf-1 River: V1007 Reach: V1007 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
V1007	181.3078	TR100	677.00	9.43	20.28	13.05	20.32	0.000036	1.05	860.81	143.04	0.11
V1007	181.3078	TR200	950.00	9.43	20.26	13.87	20.35	0.000072	1.47	858.06	142.96	0.15
V1007	99.96488	TR100	677.00	9.24	20.30	13.02	20.32	0.000019	0.77	1289.55	201.36	0.08
V1007	99.96488	TR200	950.00	9.24	20.29	13.81	20.33	0.000037	1.08	1288.64	201.31	0.11
V1007	3.726012	TR100	677.00	9.22	20.30	12.71	20.31	0.000012	0.61	1715.81	263.69	0.06
V1007	3.726012	TR200	950.00	9.22	20.30	13.48	20.32	0.000023	0.86	1715.81	263.69	0.09

# Fiume Reno: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

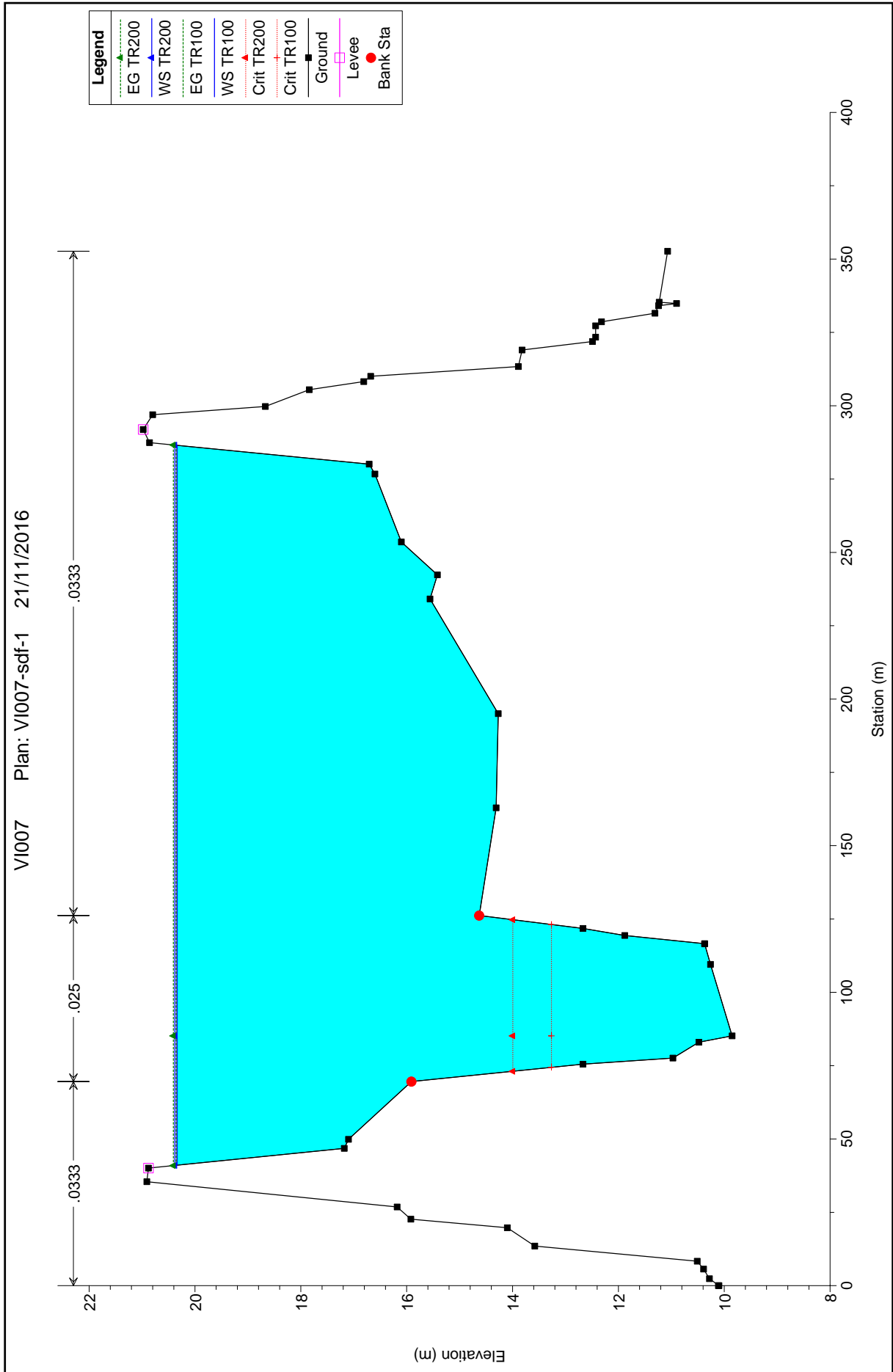
HEC-RAS Plan: VI007sdp River: VI007 Reach: VI007

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI007	1249.078	TR100	677.00	9.85	20.34	13.26	20.36	0.000016	0.68	1447.66	245.45	0.07
VI007	1249.078	TR200	950.00	9.85	20.38	13.99	20.41	0.000031	0.95	1457.26	245.59	0.10
VI007	1143.817	TR100	677.00	9.90	20.34	13.45	20.35	0.000017	0.71	1427.53	249.22	0.07
VI007	1143.817	TR200	950.00	9.90	20.37	14.22	20.41	0.000033	0.98	1436.66	249.35	0.10
VI007	1066.343	TR100	677.00	9.70	20.33	13.73	20.35	0.000019	0.74	1396.14	253.48	0.08
VI007	1066.343	TR200	950.00	9.70	20.37	14.73	20.40	0.000037	1.04	1404.82	253.63	0.11
VI007	949.3431	TR100	677.00	9.64	20.33	13.49	20.35	0.000018	0.73	1444.33	256.11	0.08
VI007	949.3431	TR200	950.00	9.64	20.37	14.33	20.40	0.000034	1.01	1452.80	256.23	0.10
VI007	835.9042	TR100	677.00	9.50	20.33	12.94	20.35	0.000017	0.73	1397.00	245.93	0.07
VI007	835.9042	TR200	950.00	9.50	20.36	13.70	20.39	0.000034	1.02	1404.23	246.04	0.10
VI007	736.1617	TR100	677.00	9.30	20.33	13.02	20.35	0.000017	0.74	1393.29	245.93	0.08
VI007	736.1617	TR200	950.00	9.30	20.36	13.78	20.39	0.000034	1.03	1400.07	246.03	0.11
VI007	645.8934	TR100	677.00	9.50	20.32	12.78	20.34	0.000018	0.76	1269.27	209.40	0.08
VI007	645.8934	TR200	950.00	9.50	20.35	13.51	20.39	0.000035	1.06	1274.06	209.49	0.11
VI007	636	Bridge										
VI007	596.6711	TR100	677.00	9.50	20.32	13.13	20.34	0.000024	0.85	1160.66	199.91	0.09
VI007	596.6711	TR200	950.00	9.50	20.33	13.94	20.38	0.000046	1.19	1163.89	199.97	0.12
VI007	507.5778	TR100	677.00	9.70	20.31	13.20	20.34	0.000025	0.87	1084.76	180.83	0.09
VI007	507.5778	TR200	950.00	9.70	20.32	13.97	20.38	0.000049	1.22	1086.74	180.87	0.13
VI007	422.0529	TR100	677.00	9.65	20.30	13.34	20.34	0.000032	0.97	959.40	156.68	0.10
VI007	422.0529	TR200	950.00	9.65	20.30	14.19	20.37	0.000062	1.36	959.50	156.69	0.14
VI007	305.9415	TR100	677.00	9.63	20.28	13.27	20.33	0.000040	1.09	835.71	138.61	0.11
VI007	305.9415	TR200	950.00	9.63	20.27	14.12	20.36	0.000080	1.54	833.46	138.55	0.16

HEC-RAS Plan: V1007sdp River: V1007 Reach: V1007 (Continued)

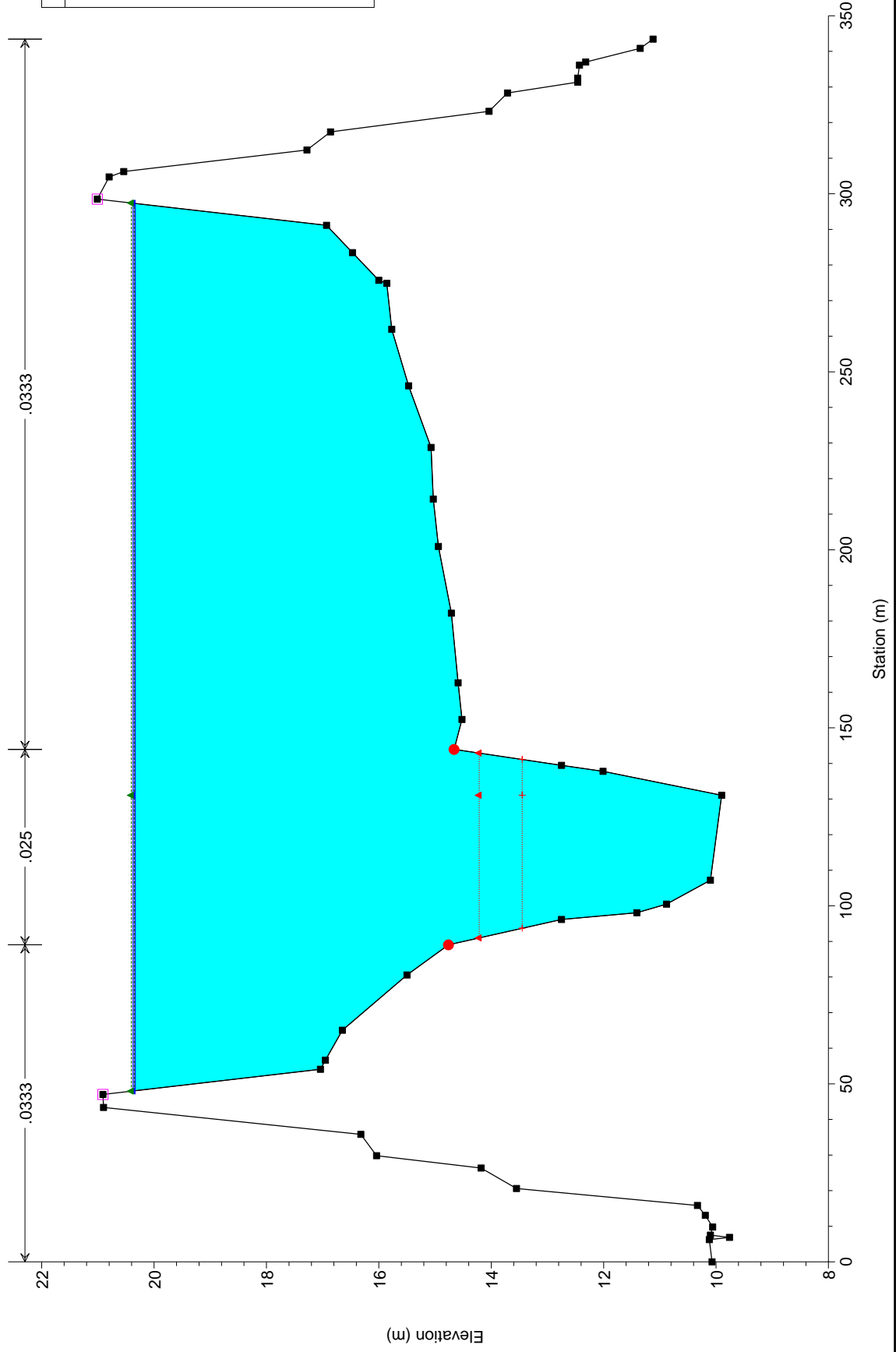
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
V1007	181.3078	TR100	677.00	9.43	20.28	13.05	20.32	0.000036	1.05	860.81	143.04	0.11
V1007	181.3078	TR200	950.00	9.43	20.26	13.87	20.35	0.000072	1.47	858.06	142.96	0.15
V1007	99.96488	TR100	677.00	9.24	20.30	13.02	20.32	0.000019	0.77	1289.55	201.36	0.08
V1007	99.96488	TR200	950.00	9.24	20.29	13.81	20.33	0.000037	1.08	1288.64	201.31	0.11
V1007	3.726012	TR100	677.00	9.22	20.30	12.71	20.31	0.000012	0.61	1715.81	263.69	0.06
V1007	3.726012	TR200	950.00	9.22	20.30	13.48	20.32	0.000023	0.86	1715.81	263.69	0.09

# Fiume Reno: modellazione idraulica dello stato di fatto - sezioni



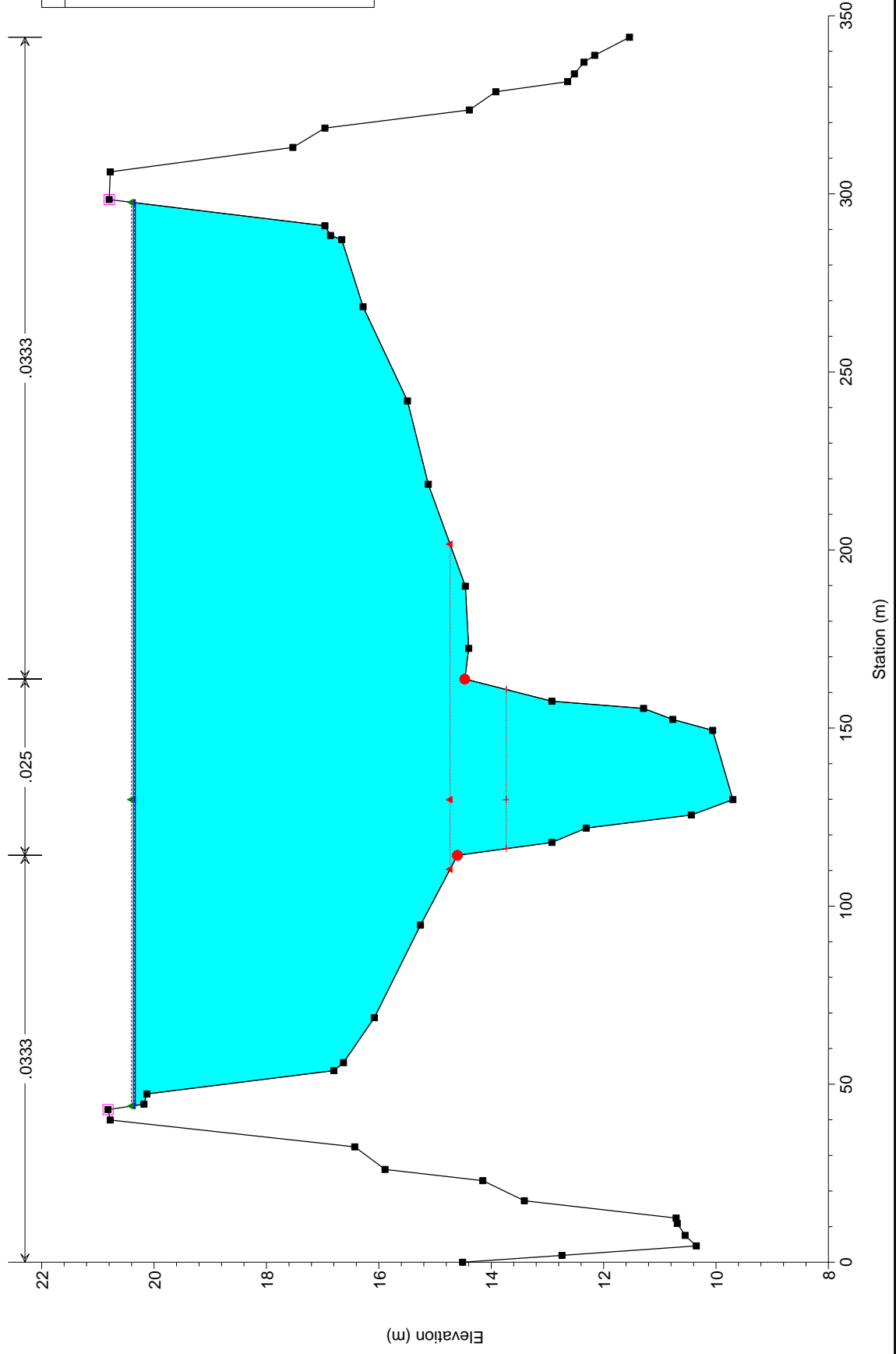


VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016



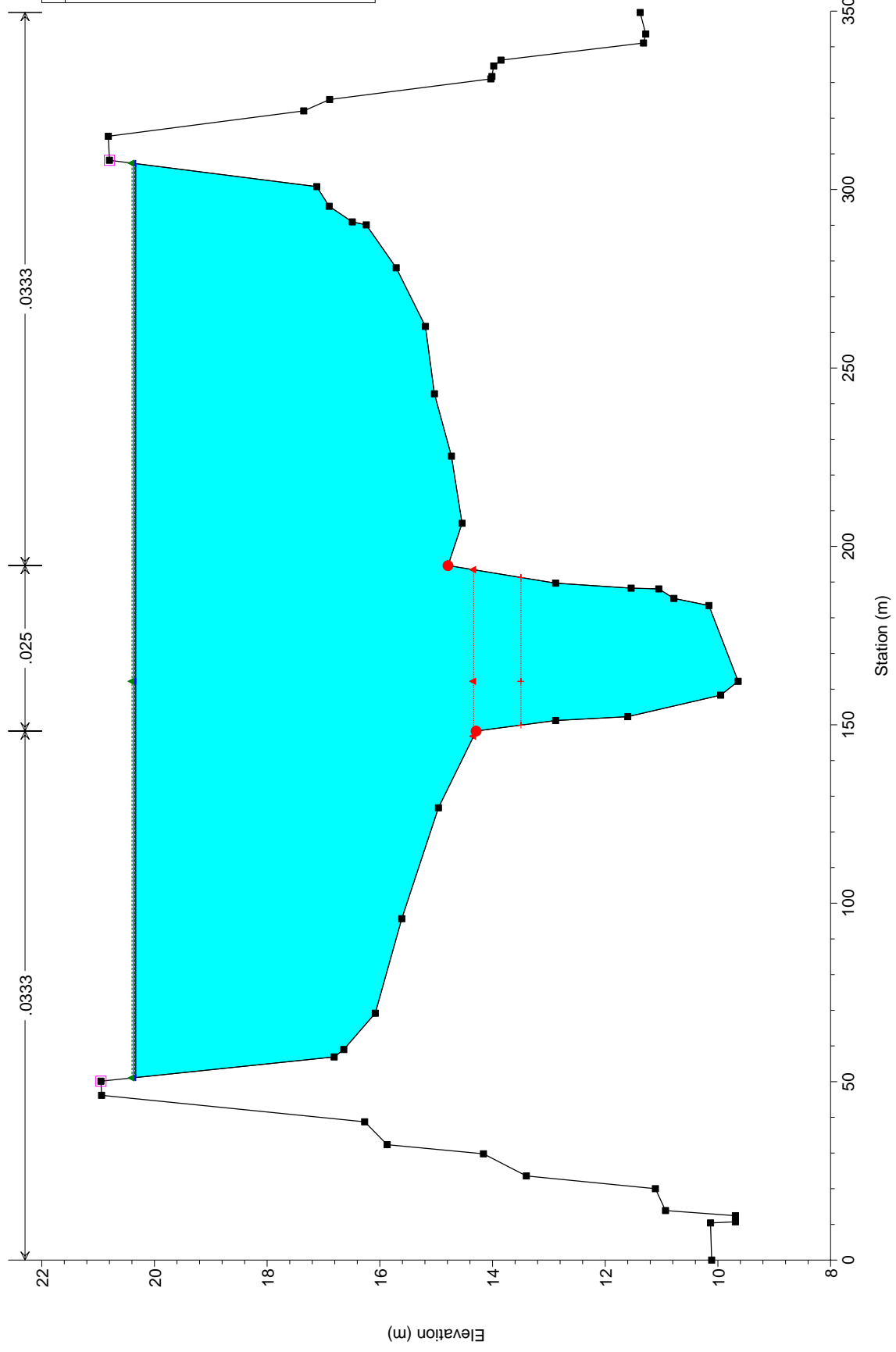
Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
EG TR100	▲
WS TR100	▲
Crit TR200	▲
Crit TR100	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

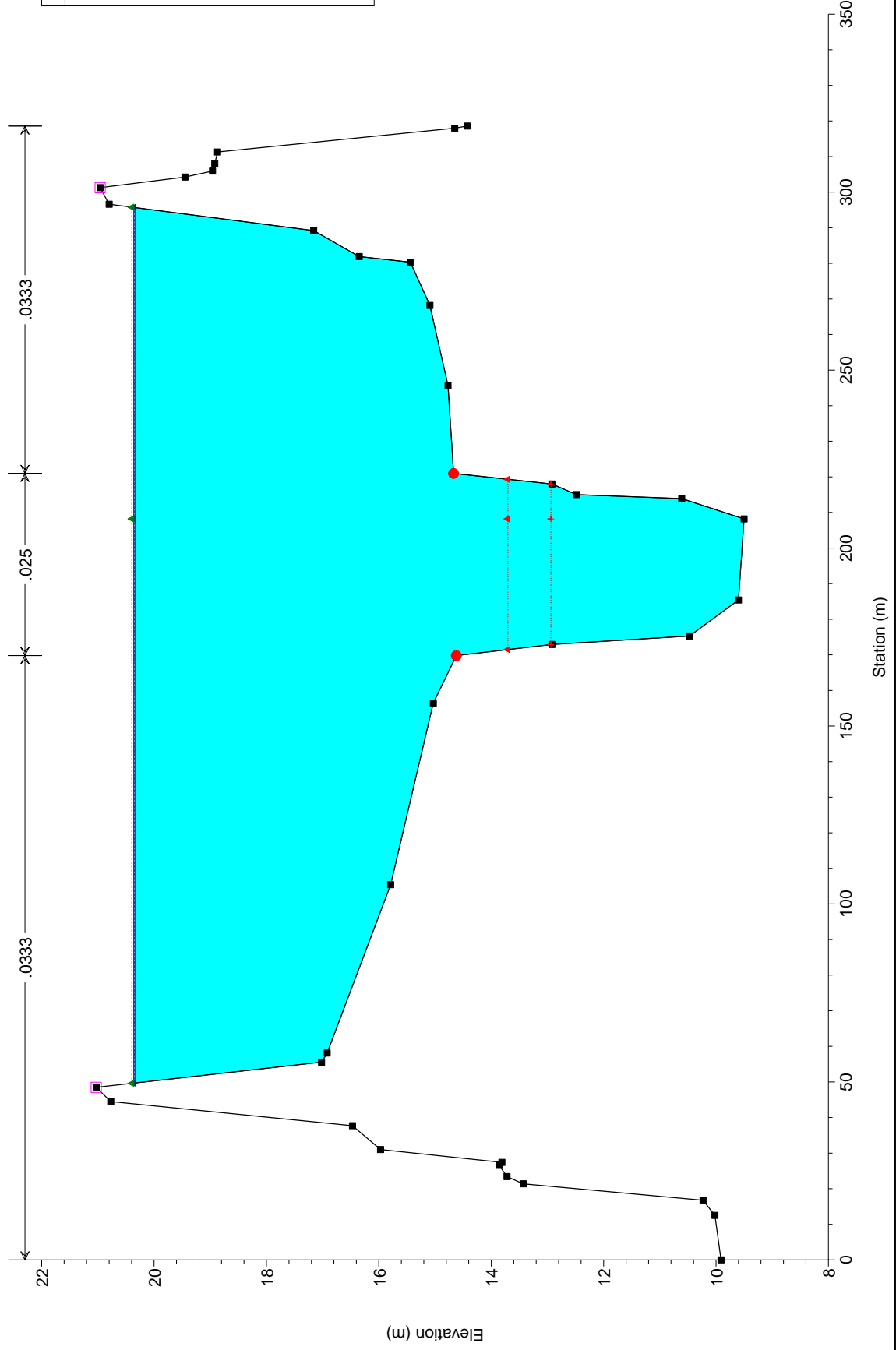


Legend	
EG TR200	Green dashed line with triangle markers
WS TR200	Blue solid line with triangle markers
EG TR100	Green dotted line with triangle markers
WS TR100	Blue solid line with triangle markers
Crit TR200	Red dotted line with triangle markers
Crit TR100	Red dotted line with triangle markers
Ground	Black solid line with square markers
Levee	Cyan shaded area
Bank Sta	Red solid line with circle markers

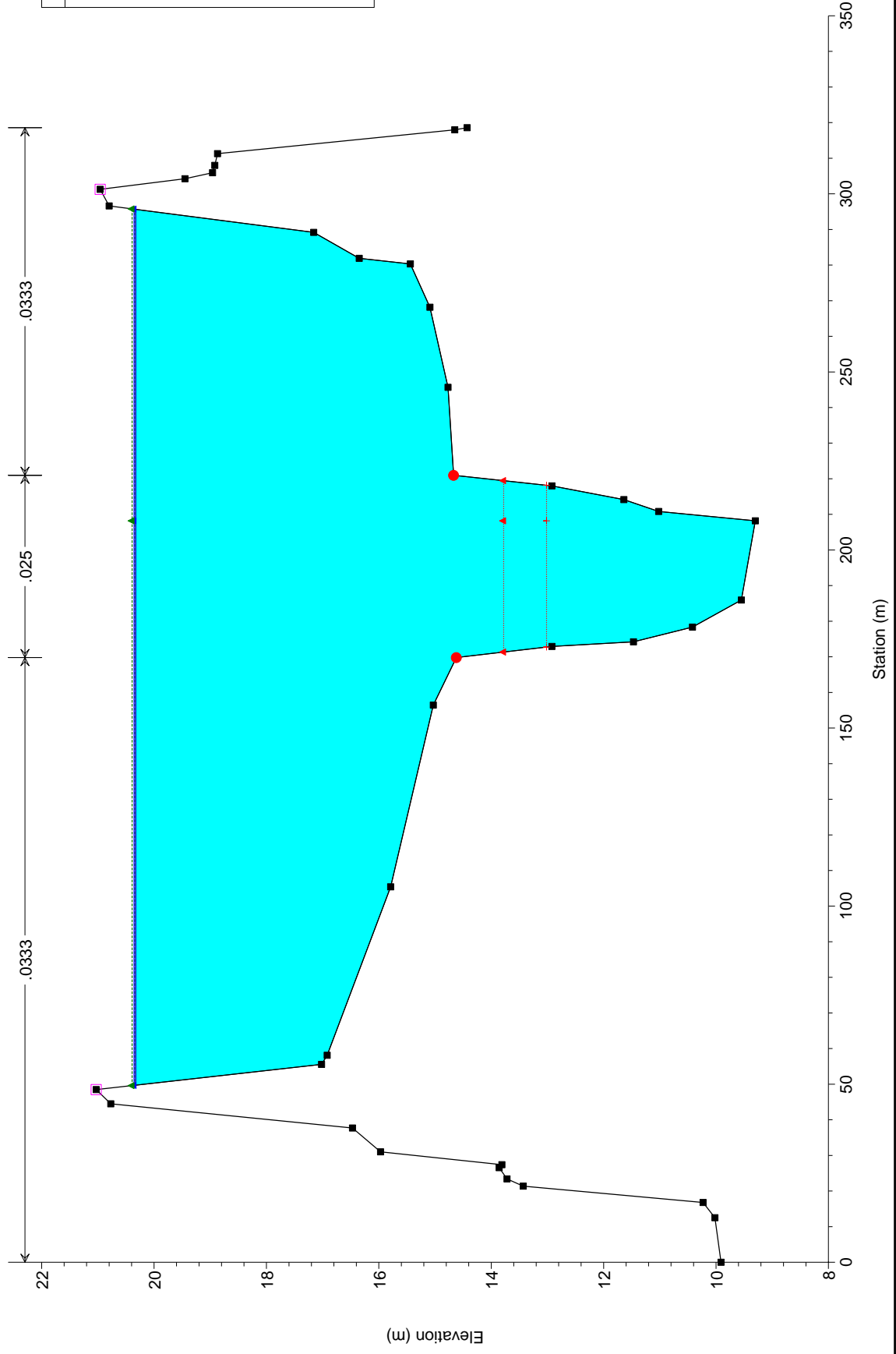
VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016



VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

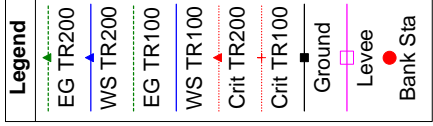
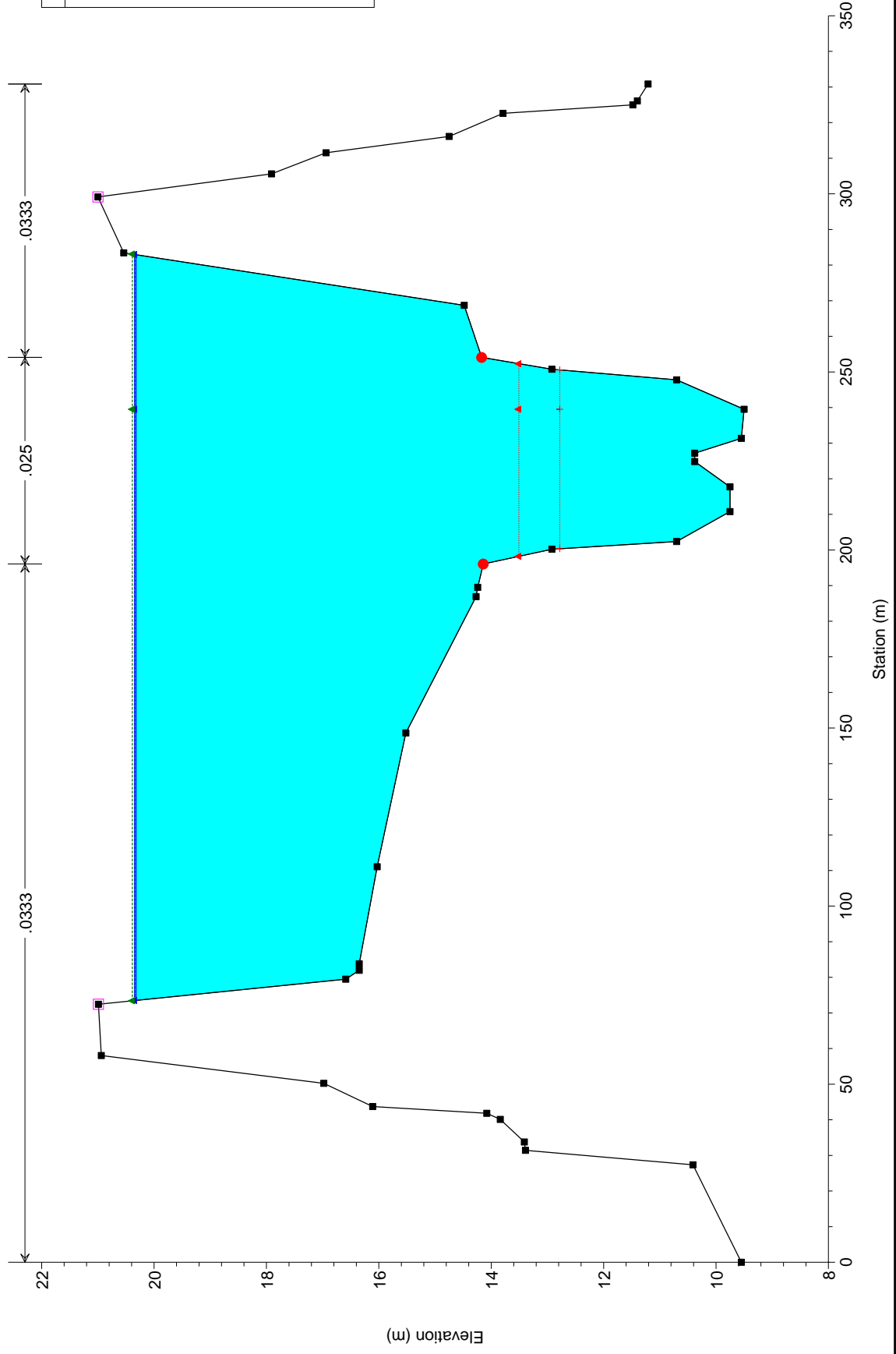


VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

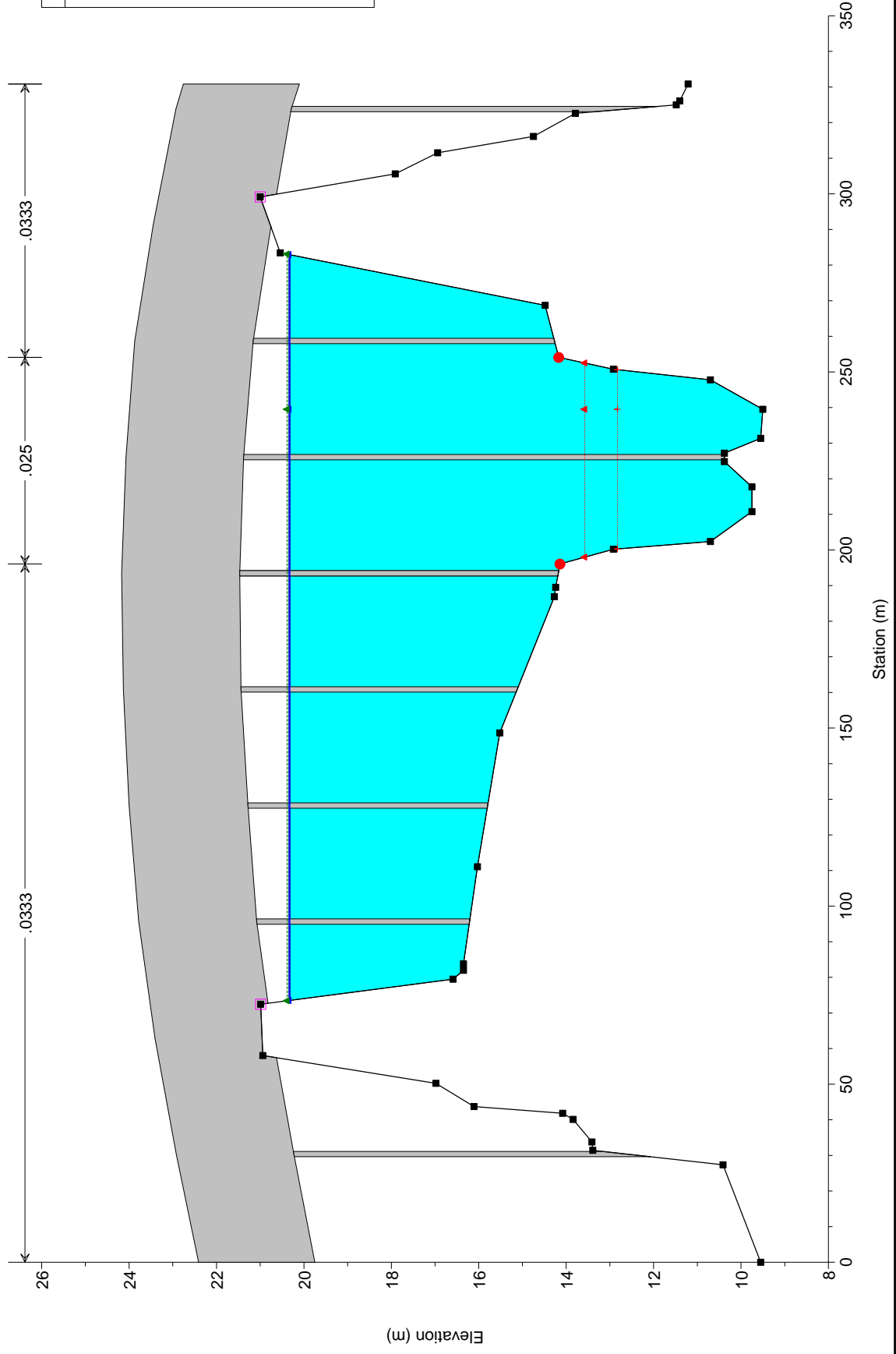


Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
WS TR100	▲
EG TR100	▲
WS TR100	▲
Crit TR200	▲
Crit TR100	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

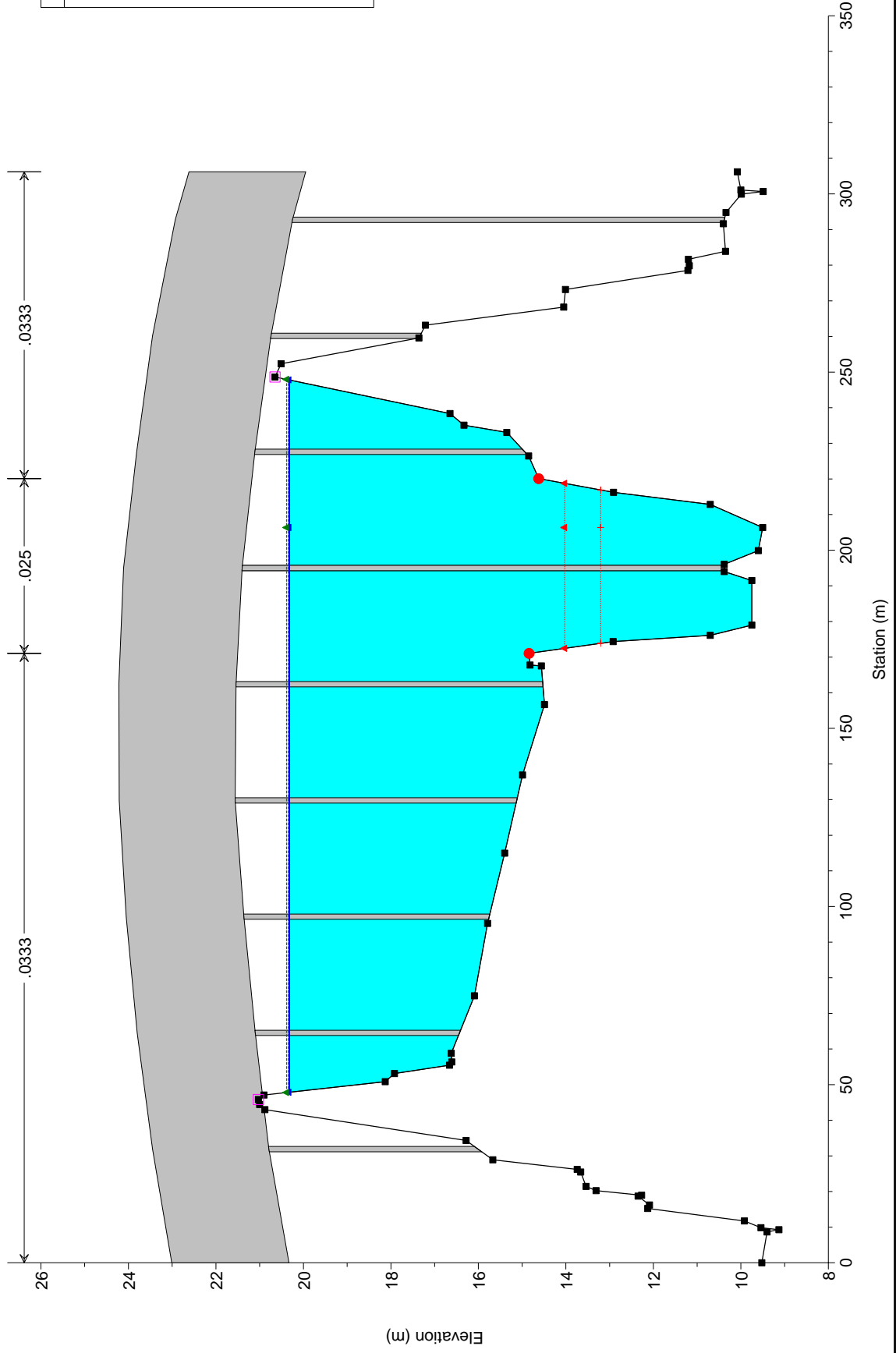
VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016



VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

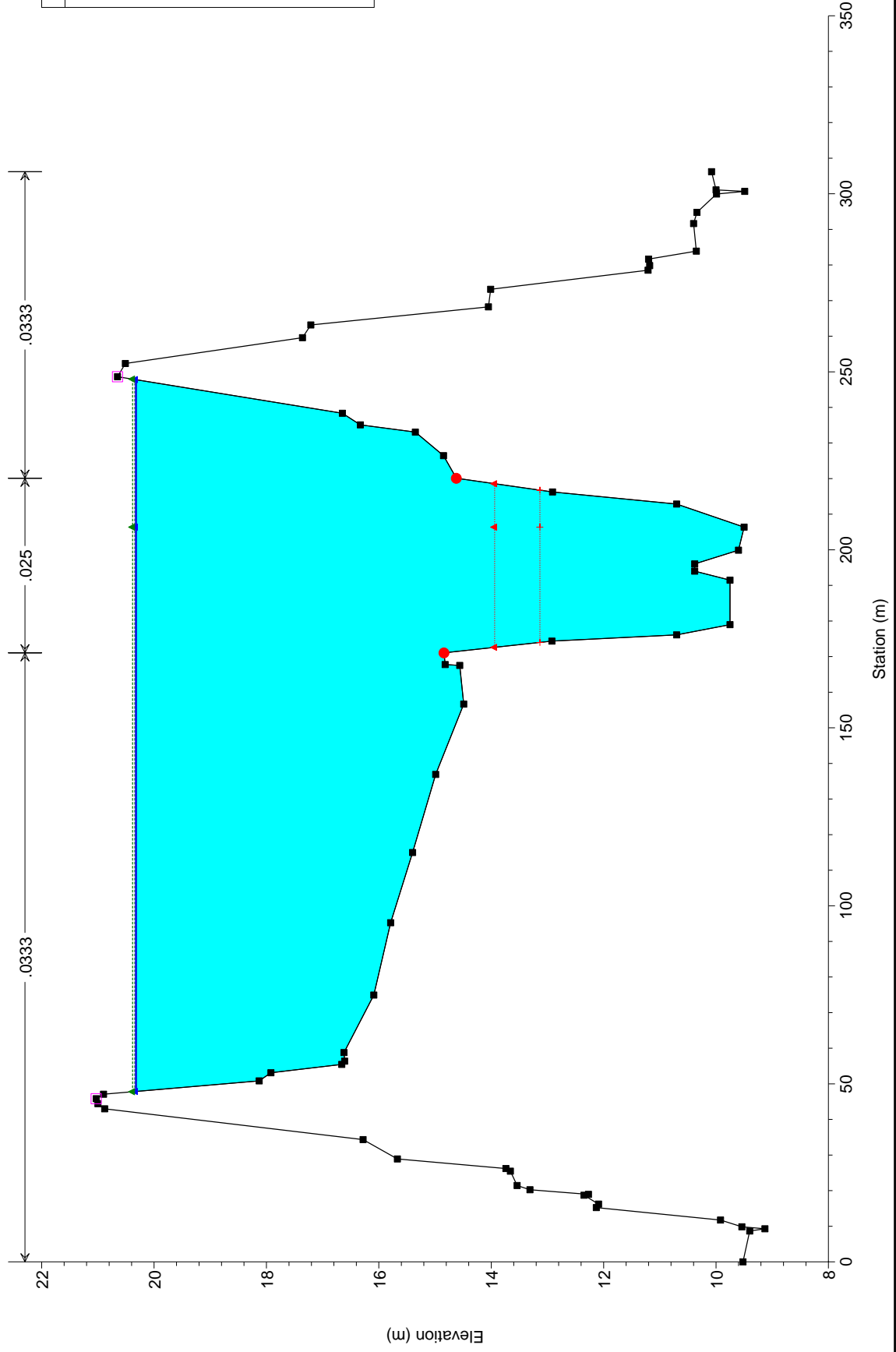


VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

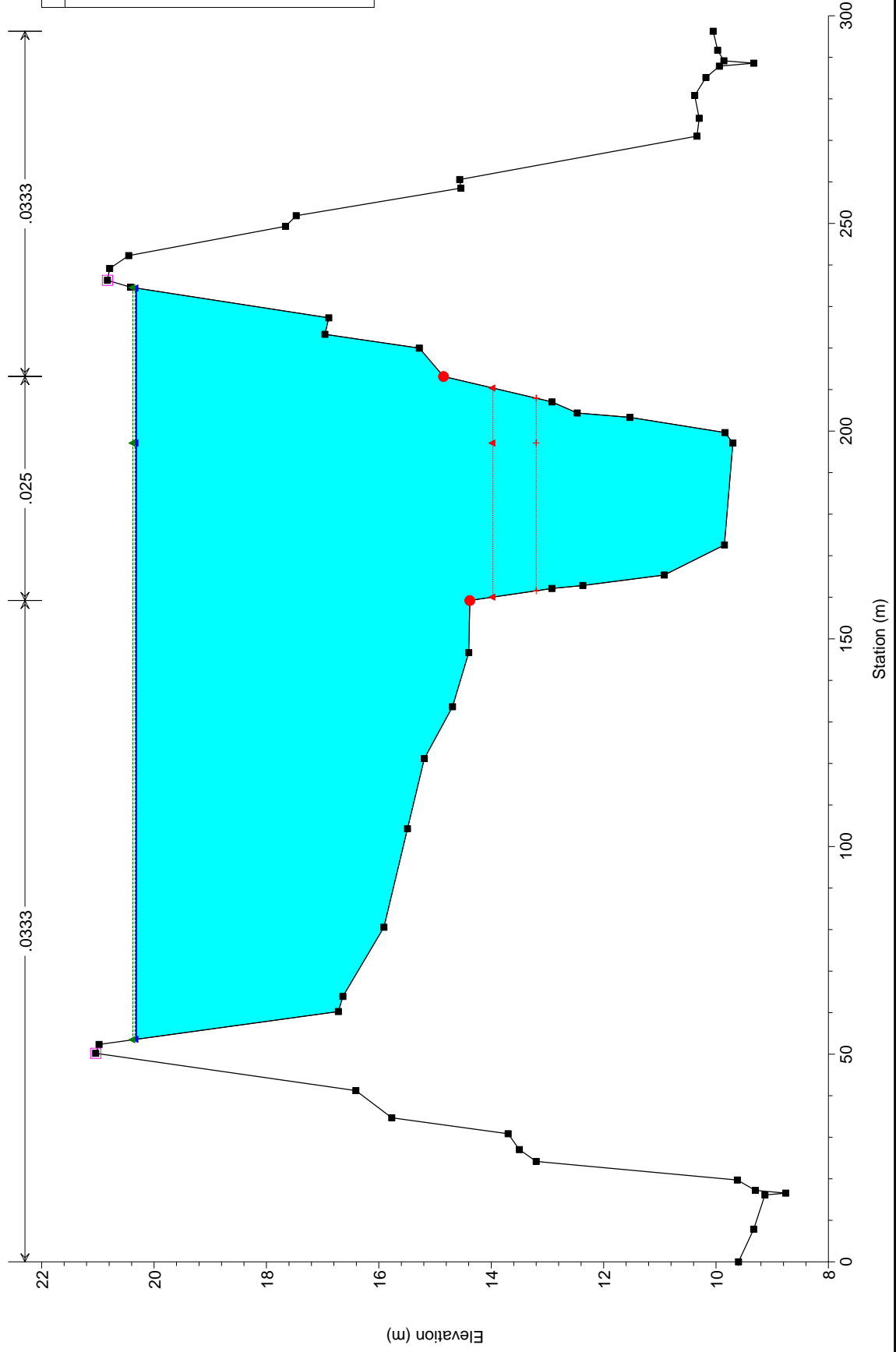




VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

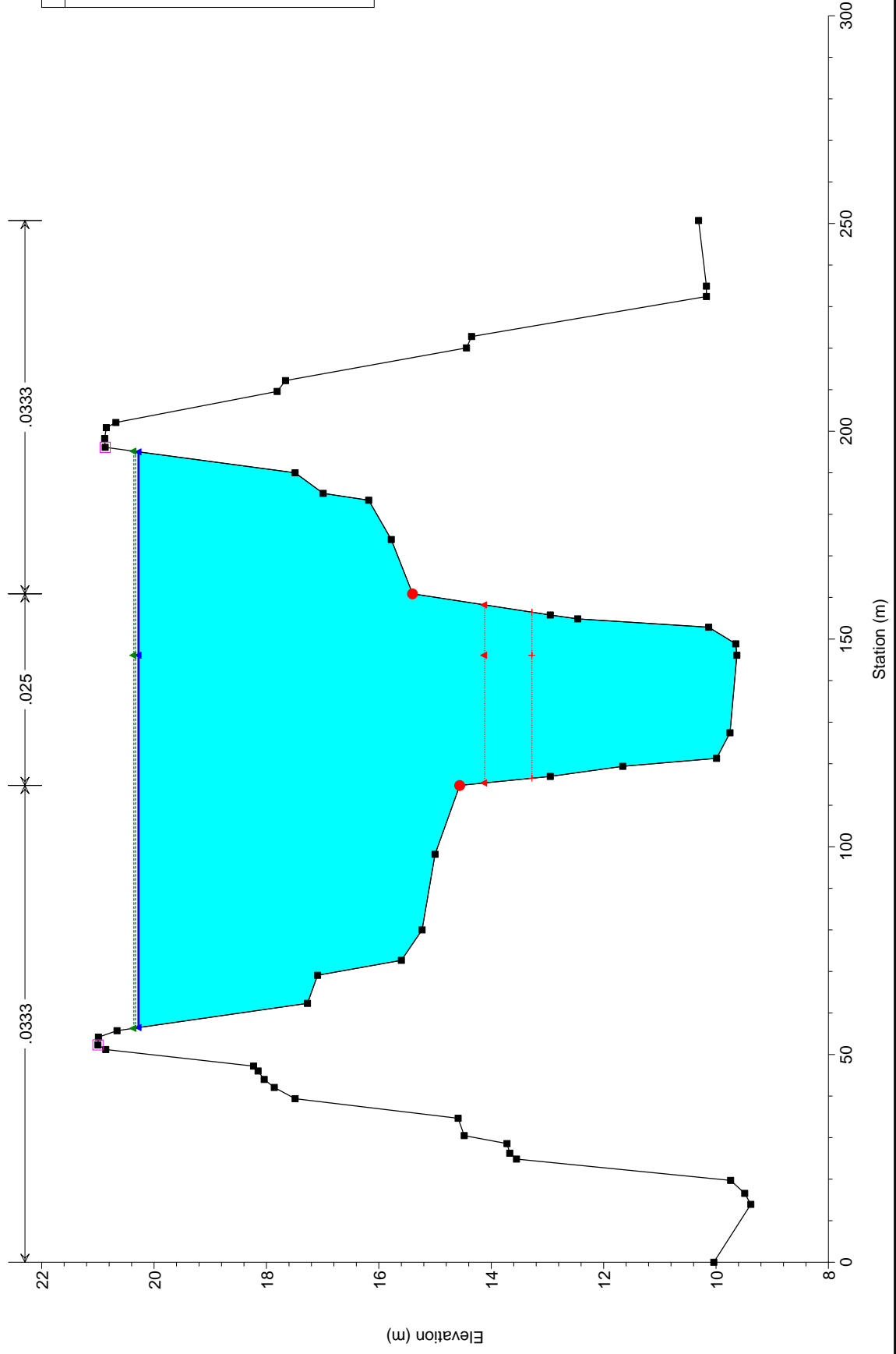


VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016



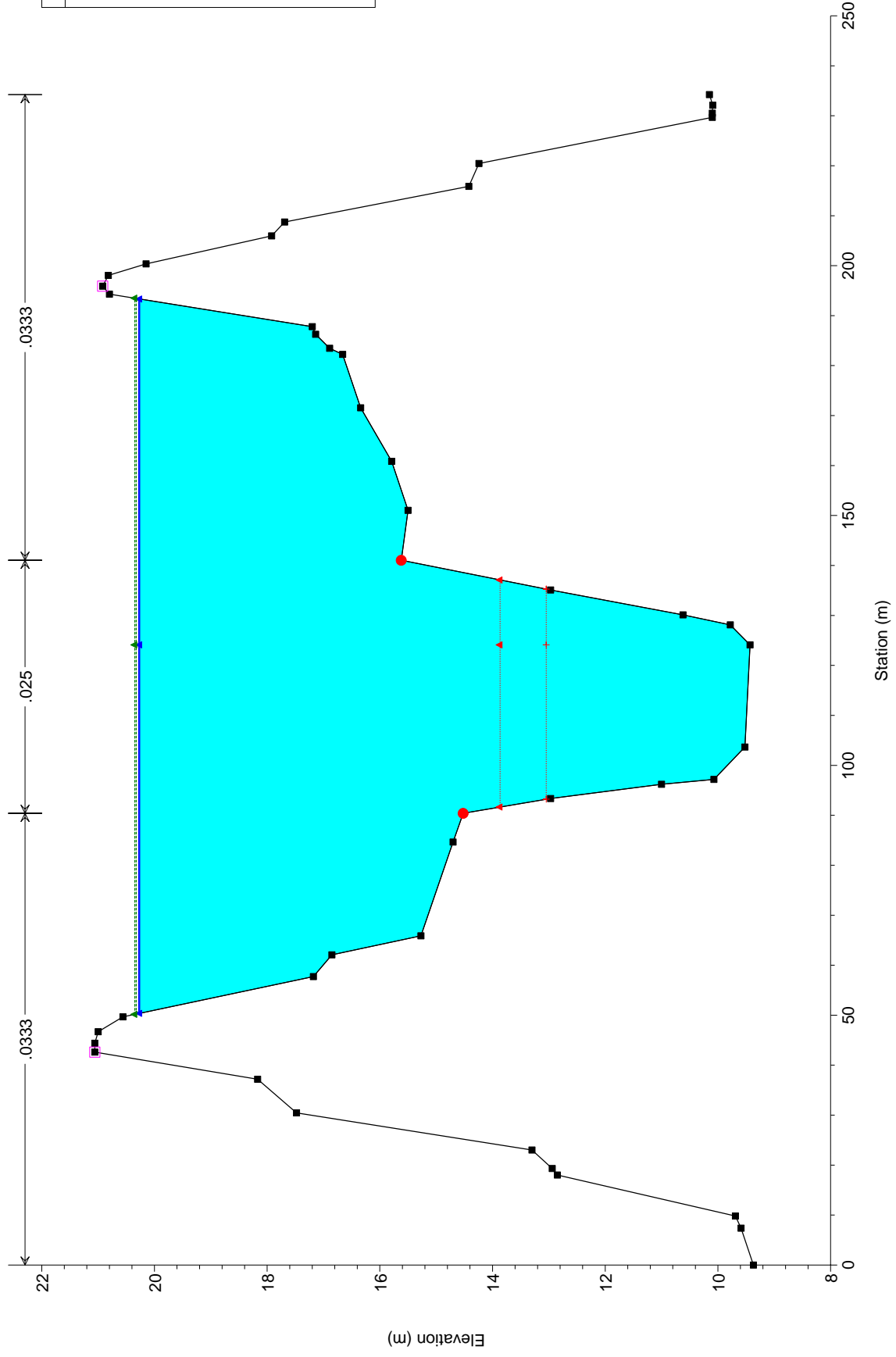


VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016



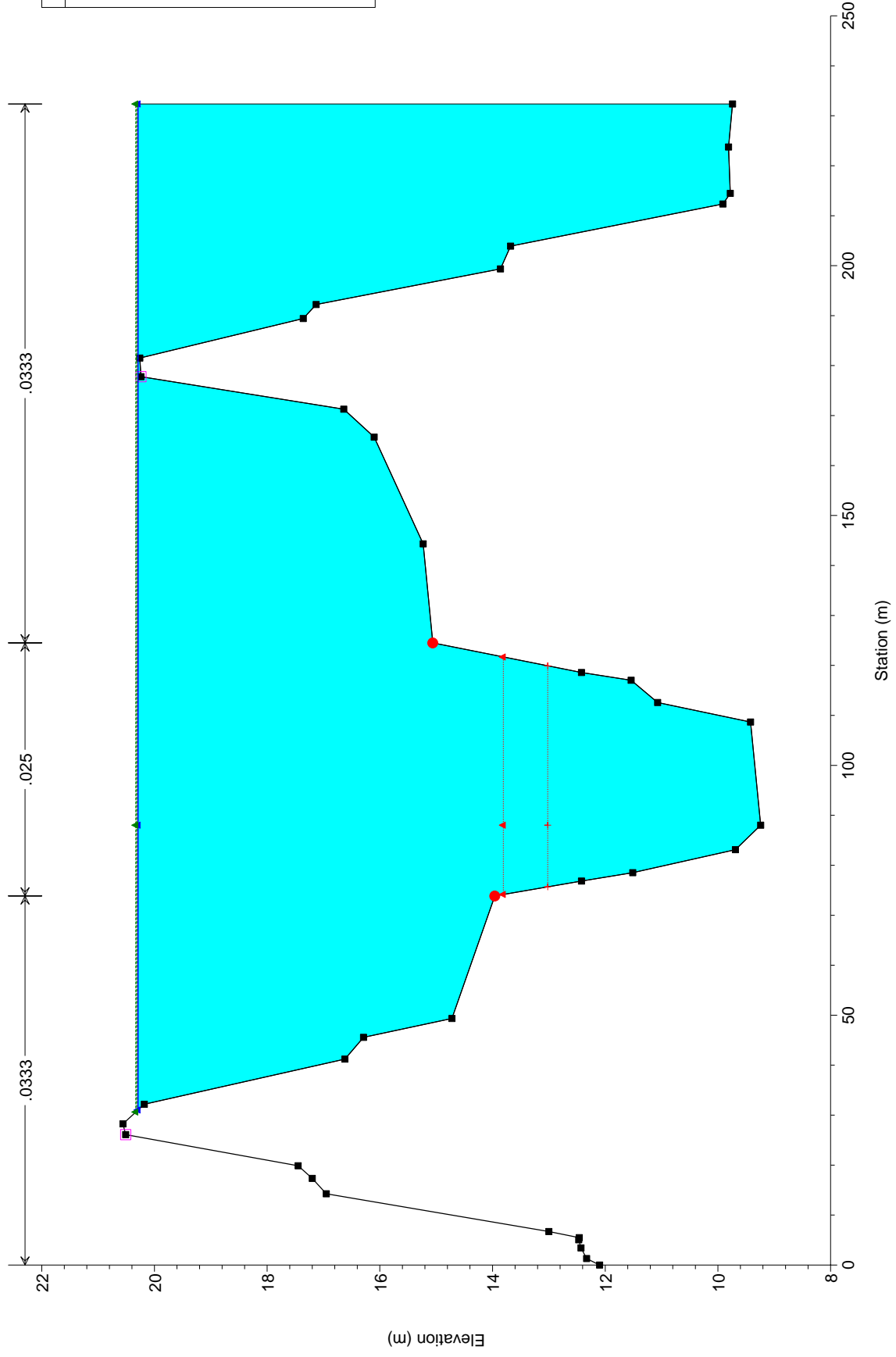
Legend	
EG TR200	▲
EG TR100	▲
WS TR100	▲
WS TR200	▲
Crit TR200	▲
Crit TR100	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

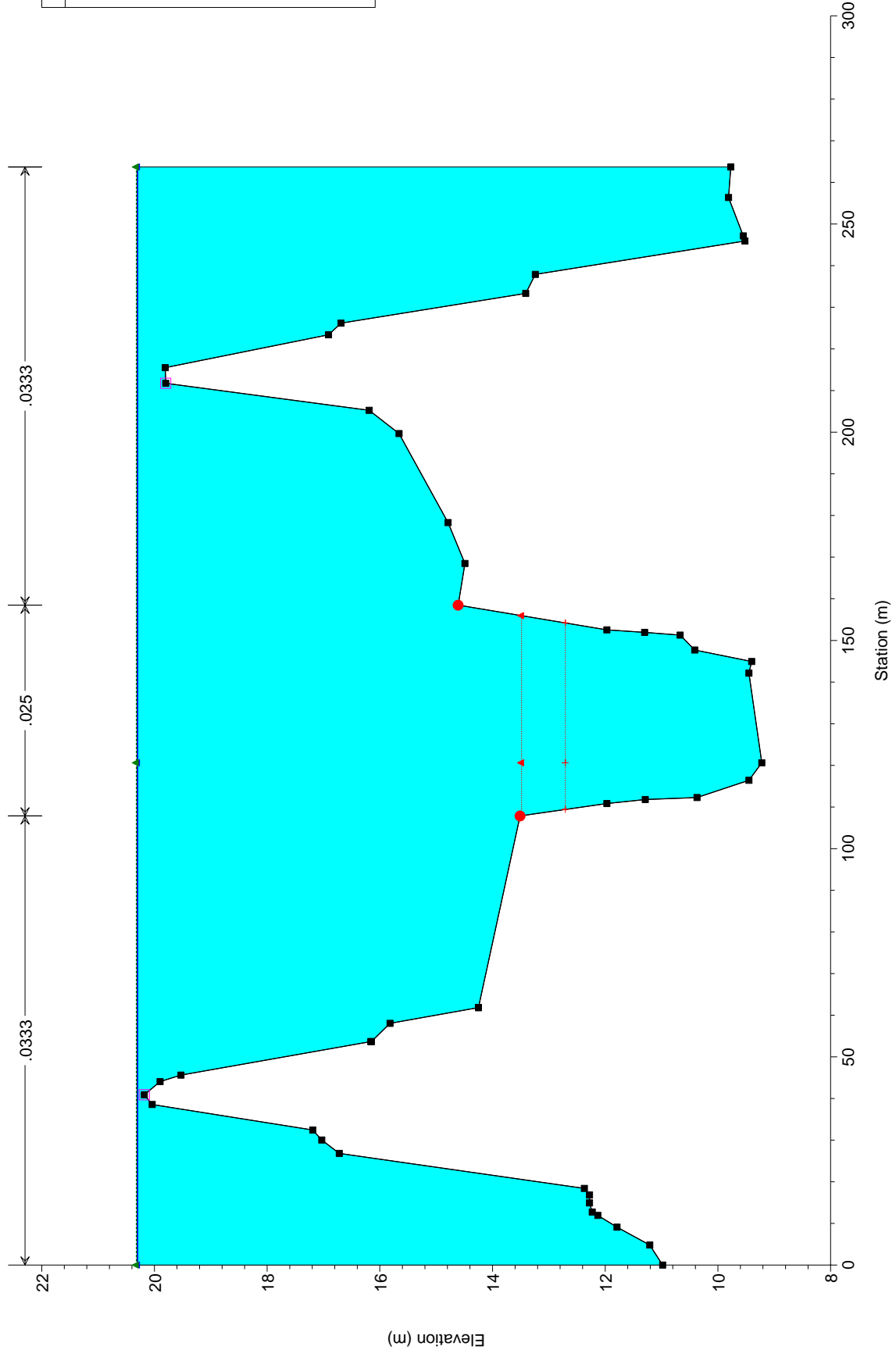


Legend	
EG TR200	Green dashed line with triangles
EG TR100	Green solid line with triangles
WS TR100	Blue solid line with triangles
WS TR200	Blue solid line with triangles
Crit TR200	Red dotted line with triangles
Crit TR100	Red dotted line with triangles
Ground	Black solid line with squares
Levee	Cyan shaded area
Bank Sta	Red circle

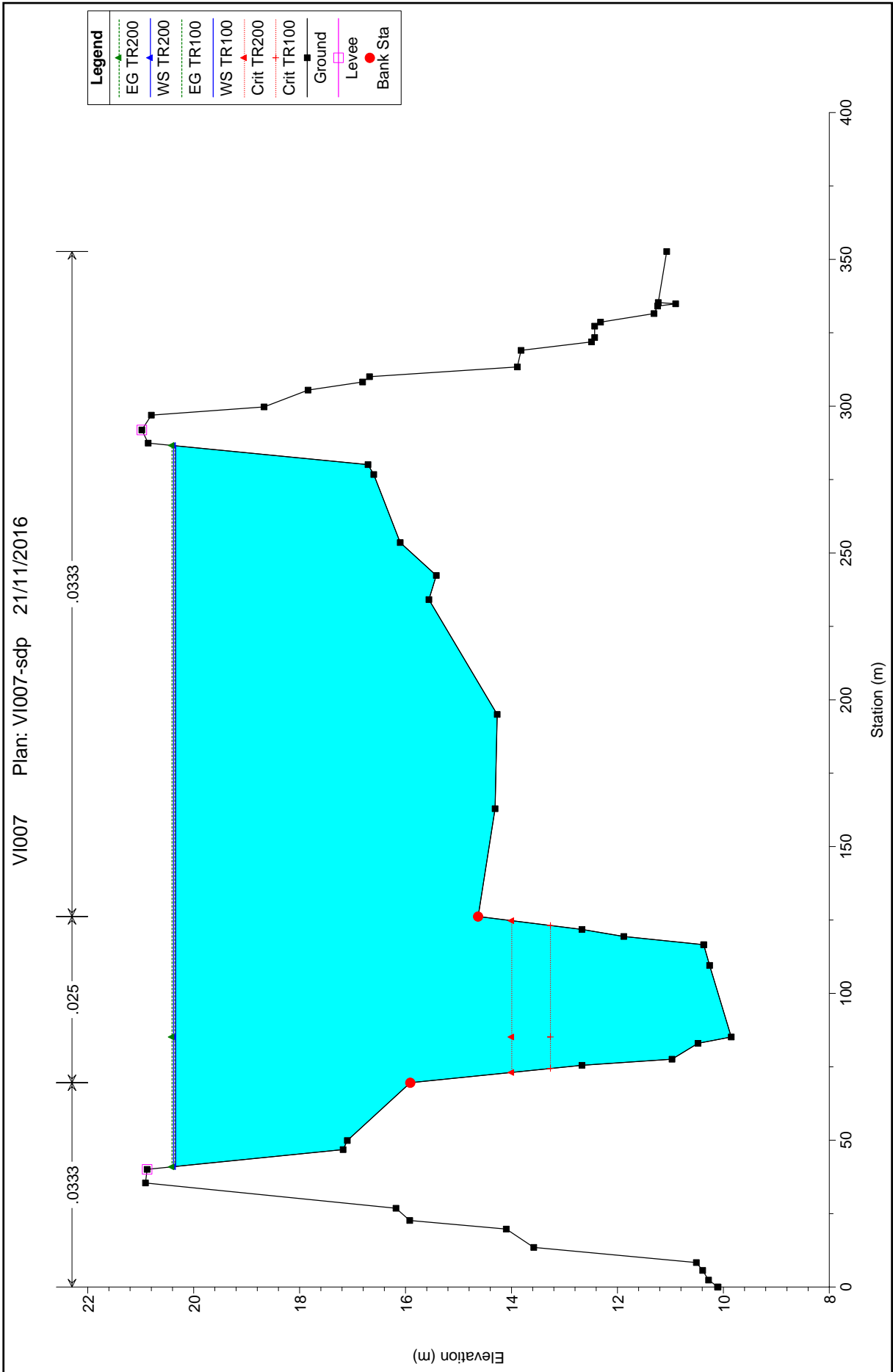
VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016



VI007 Plan: VI007-sdf-1 21/11/2016

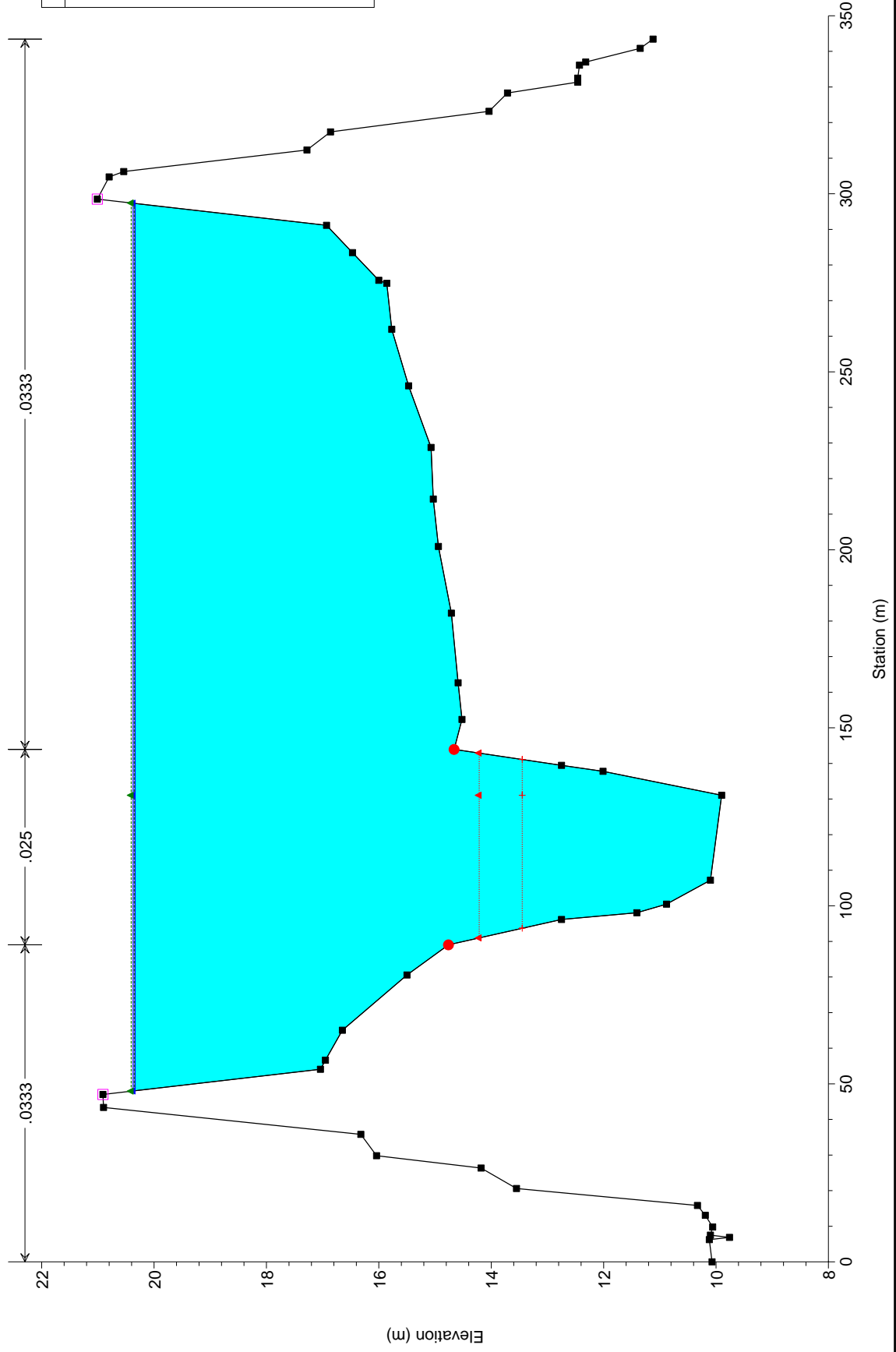


# Fiume Reno: modellazione idraulica dello stato di progetto - sezioni





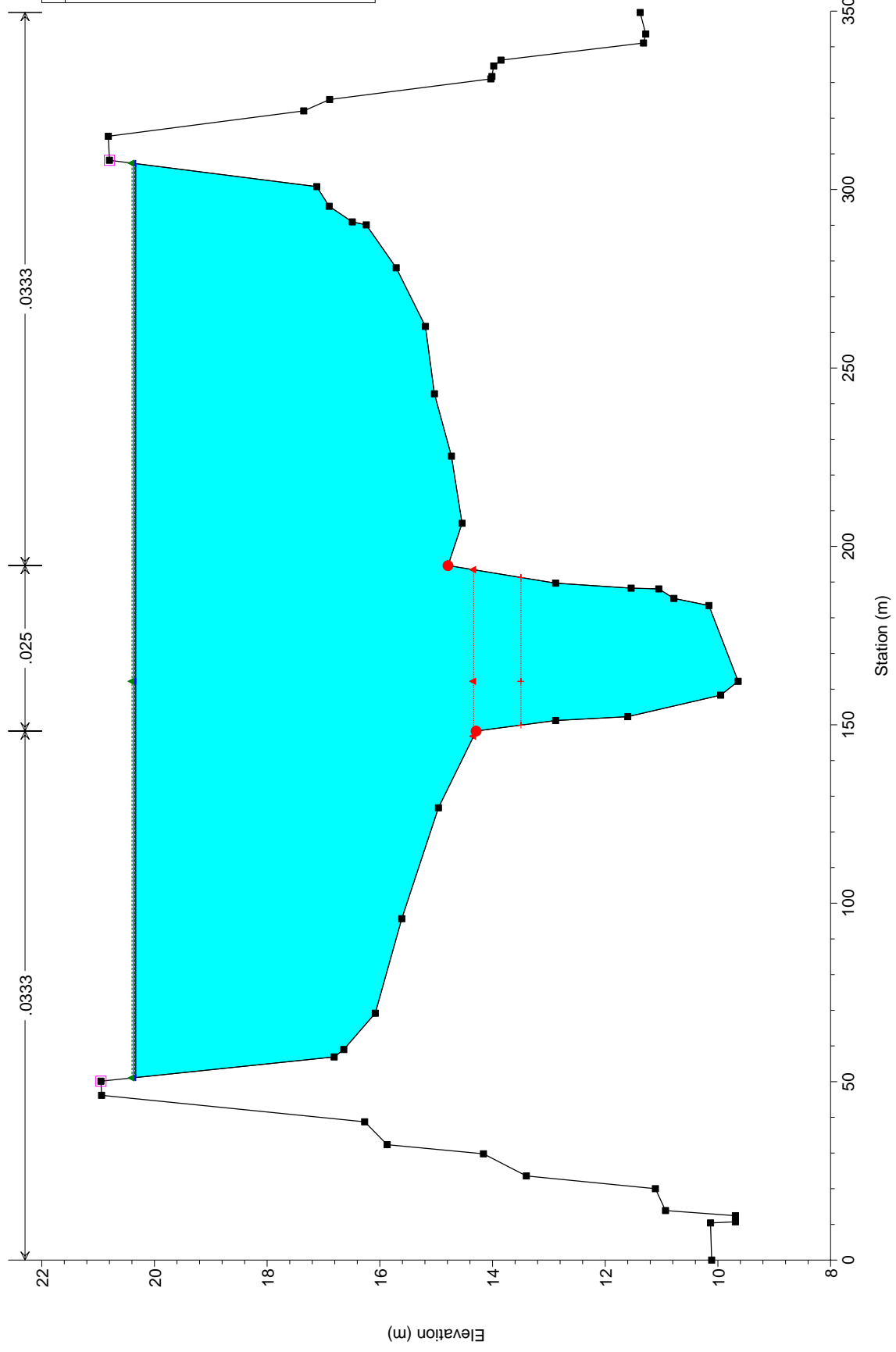
VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016



Legend	
EG TR200	Green line with triangle marker
WS TR200	Blue line with triangle marker
EG TR100	Green line with triangle marker
WS TR100	Blue line with triangle marker
Crit TR200	Red line with triangle marker
Crit TR100	Red line with triangle marker
Ground	Black line with square marker
Levee	Pink square marker
Bank Sta	Red circle marker



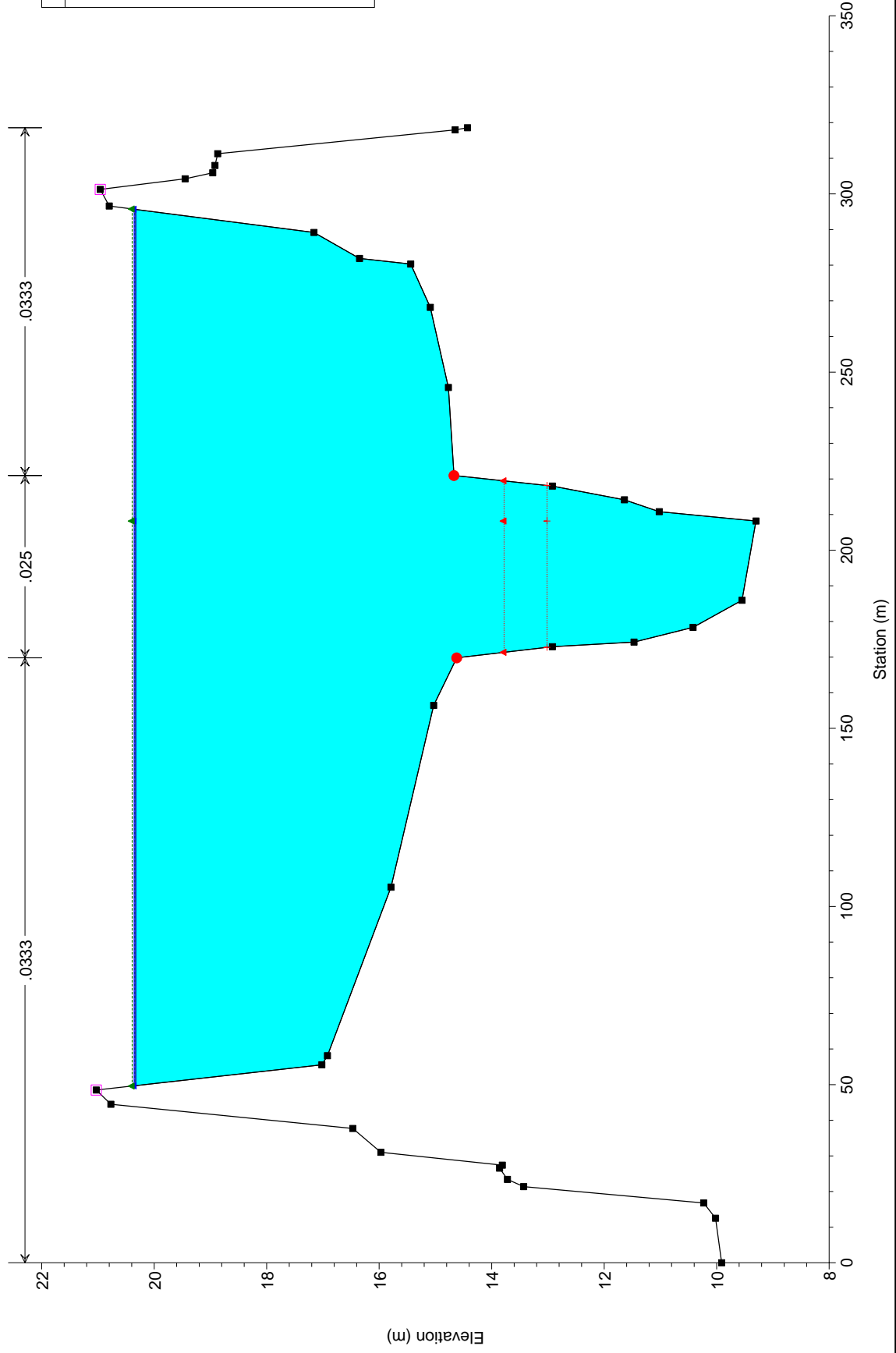
VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016



- Legend**
- EG TR200
  - WS TR200
  - EG TR100
  - WS TR100
  - Crit TR200
  - Crit TR100
  - Ground
  - Levee
  - Bank Sta

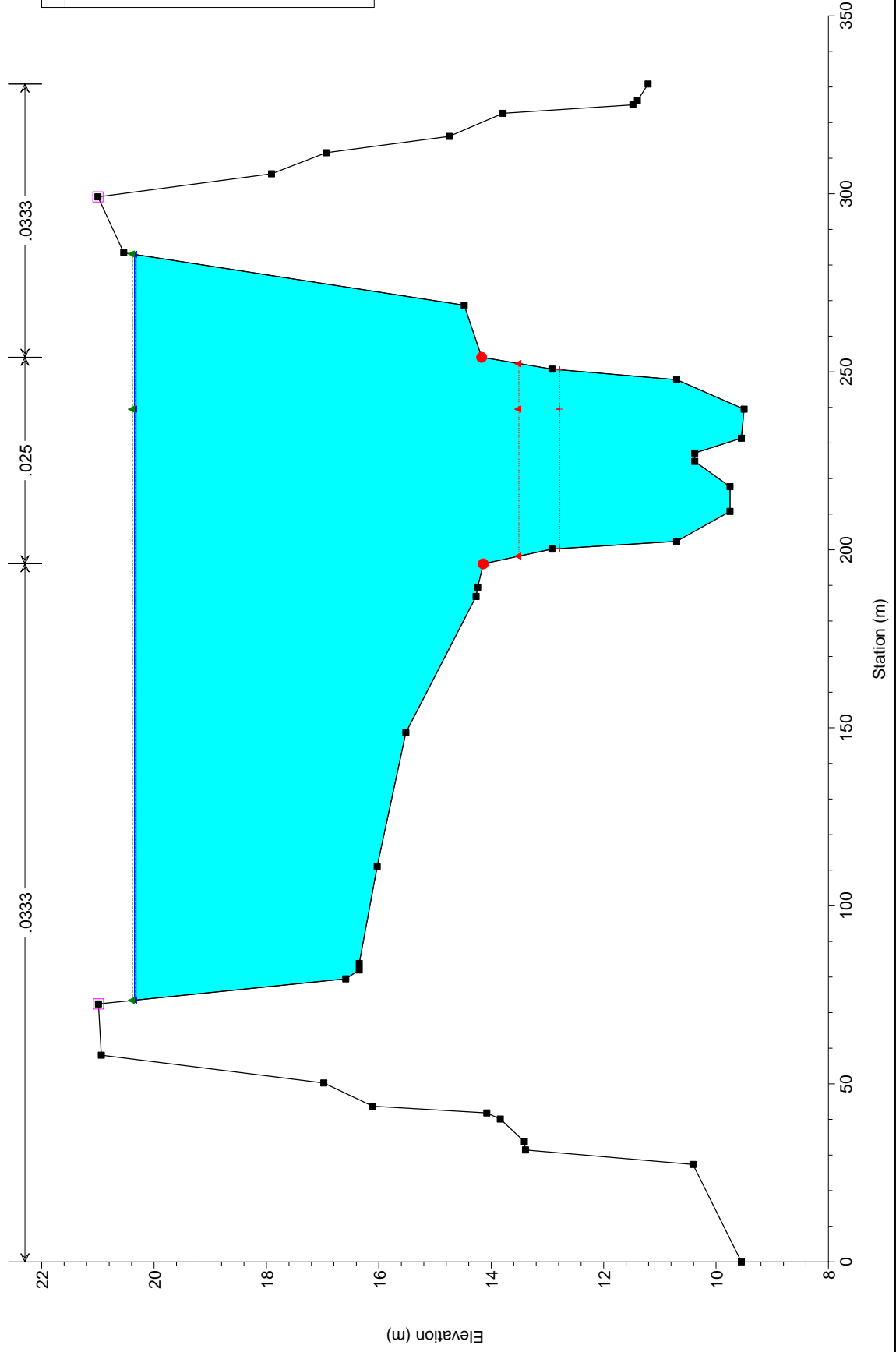


VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016



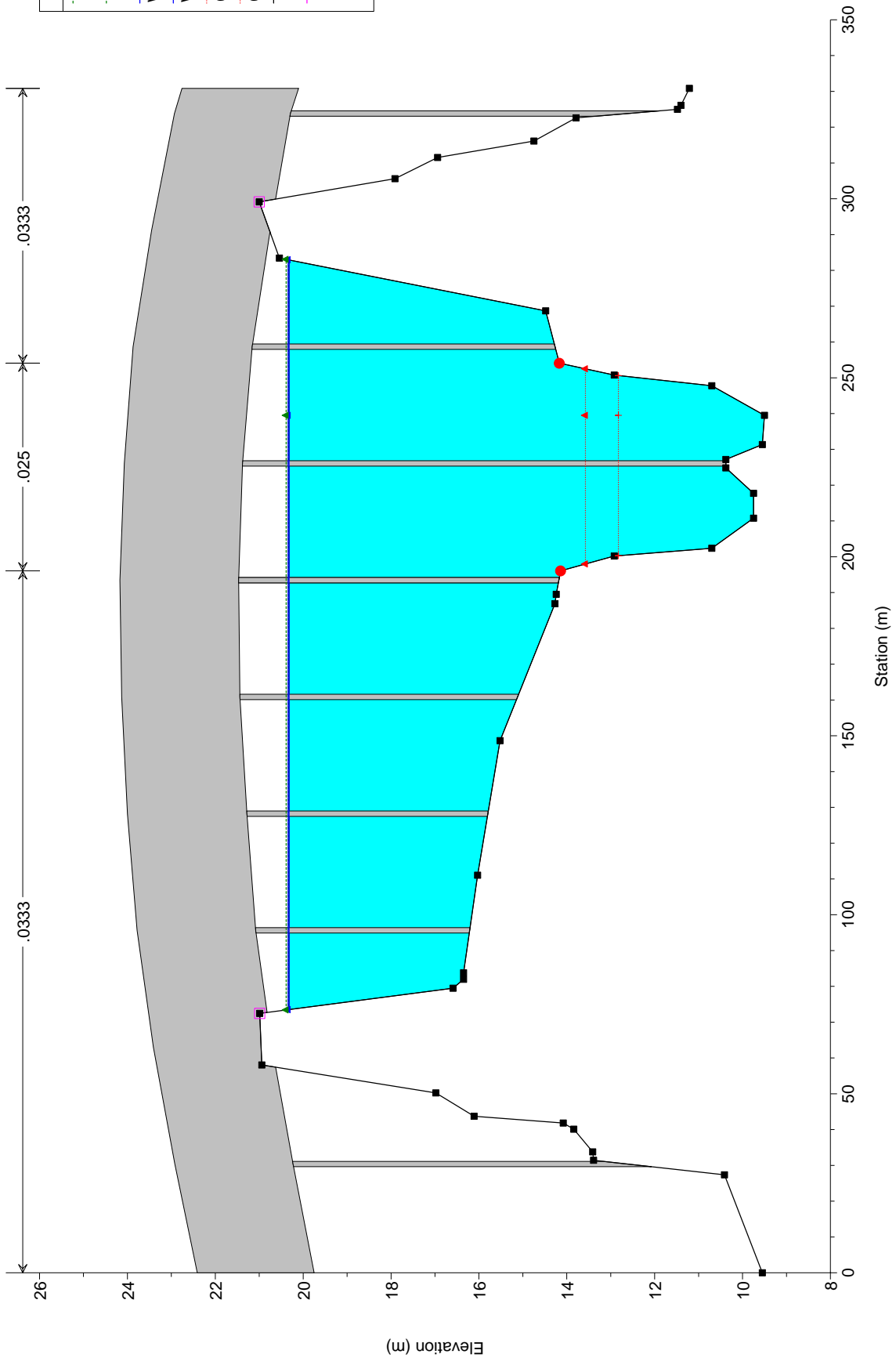
Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
EG TR100	▲
WS TR100	▲
Crit TR200	▲
Crit TR100	▲
Ground	■
Levee	■
Bank Sta	●

VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016



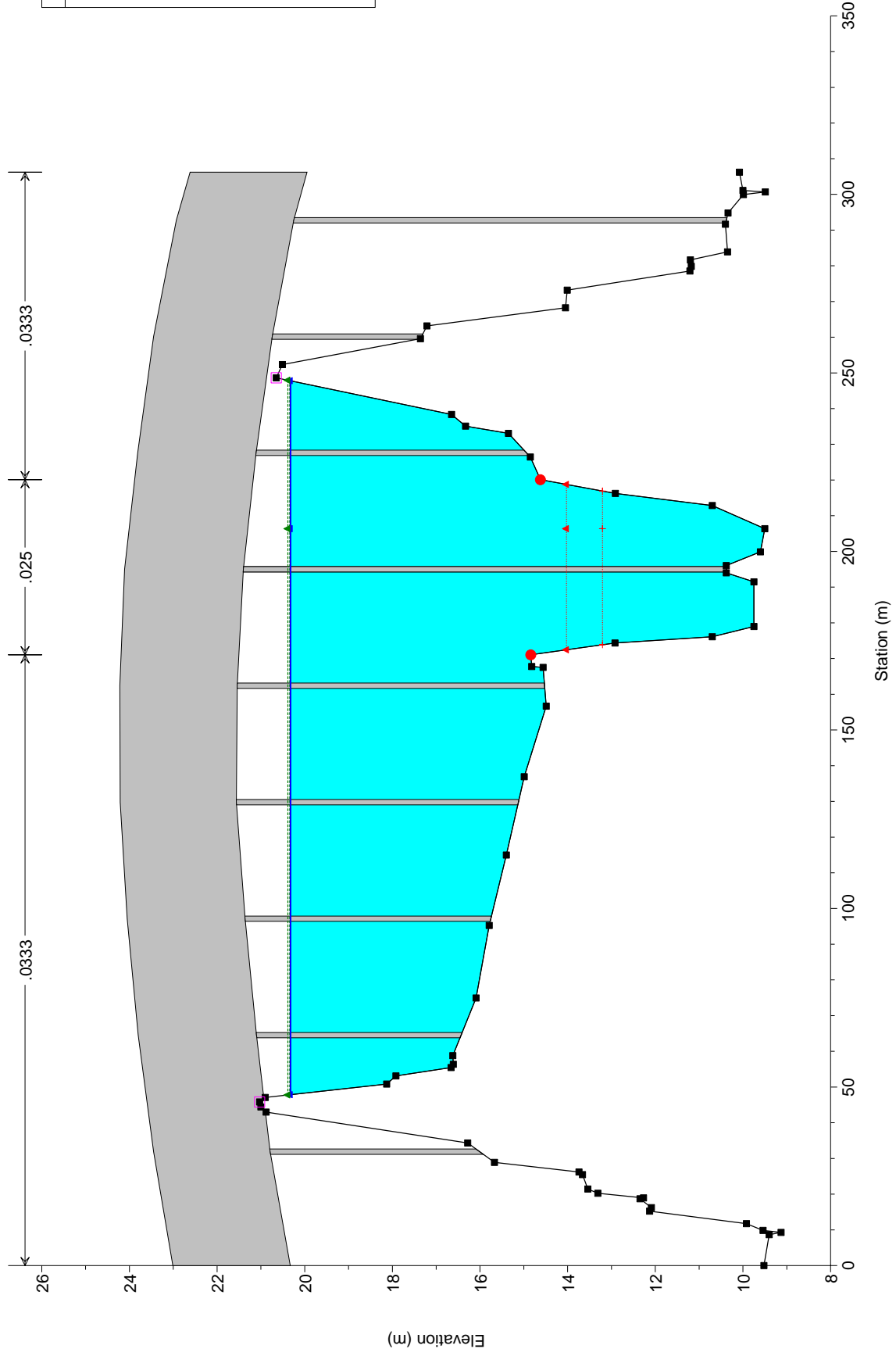
Legend	
EG TR200	Green dashed line with triangles
WS TR200	Blue solid line with triangles
EG TR100	Green dotted line with triangles
WS TR100	Blue solid line with triangles
Crit TR200	Red dotted line with triangles
Crit TR100	Red solid line with triangles
Ground	Black solid line with square markers
Levee	Pink square marker
Bank Sta	Red circle marker

VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016



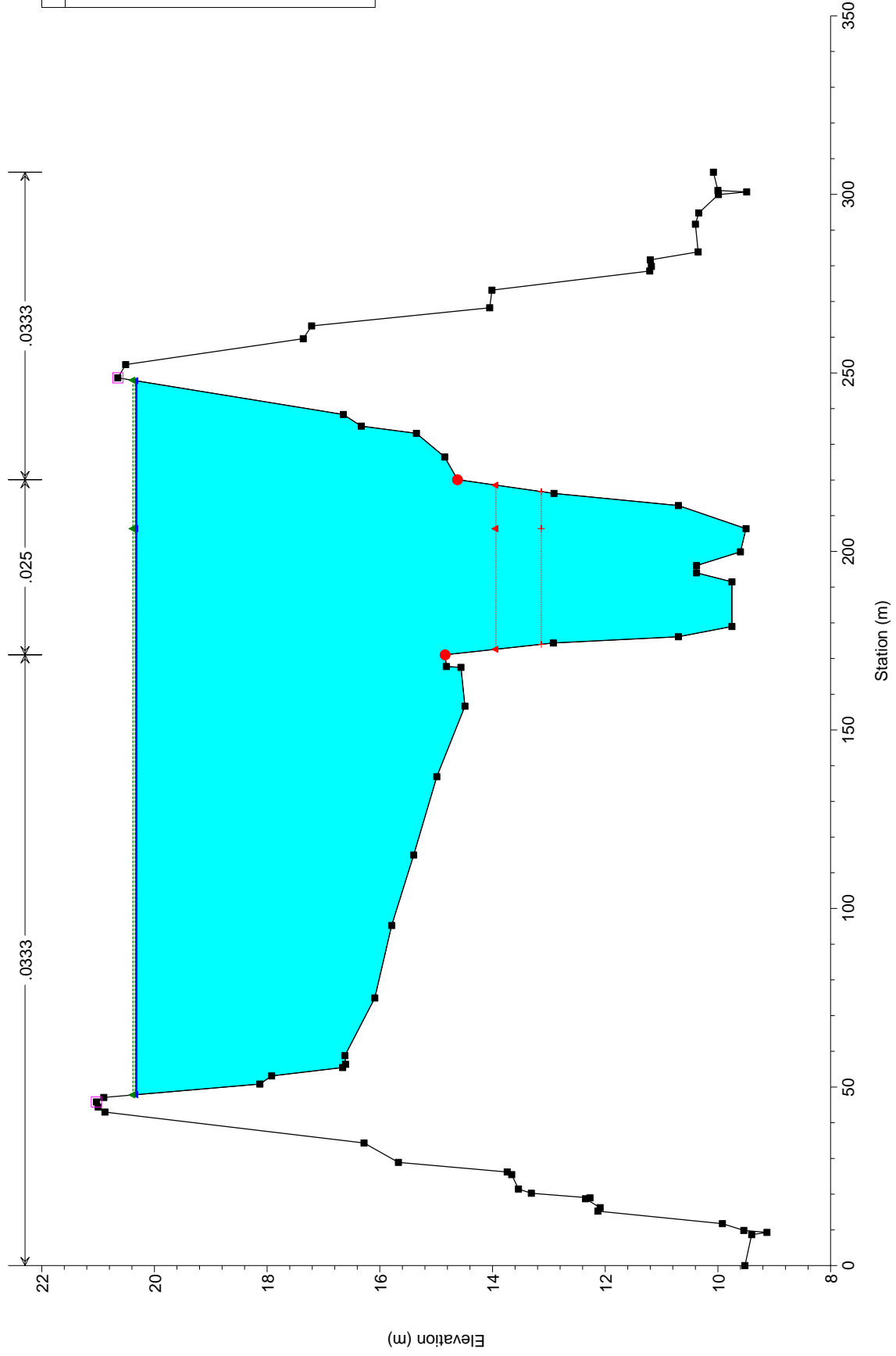
Legend	
EG TR200	Green dashed line with upward-pointing triangle
EG TR100	Blue dashed line with downward-pointing triangle
WS TR200	Blue solid line with upward-pointing triangle
WS TR100	Blue solid line with downward-pointing triangle
Crit TR200	Red dotted line with upward-pointing triangle
Crit TR100	Red dotted line with downward-pointing triangle
Ground	Black solid line with square markers
Levee	Cyan shaded area
Bank Sta	Red solid circle

VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016





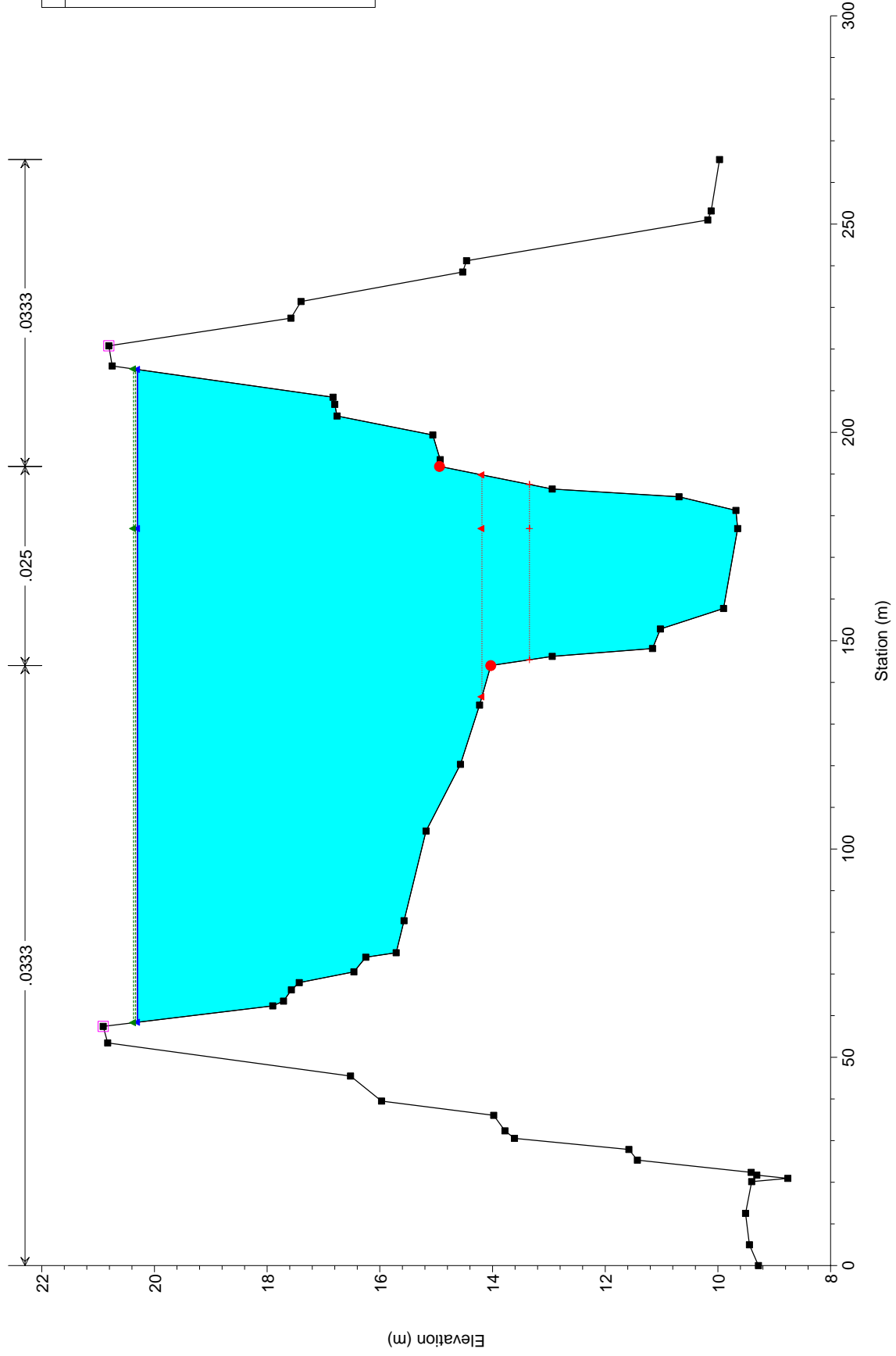
VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016

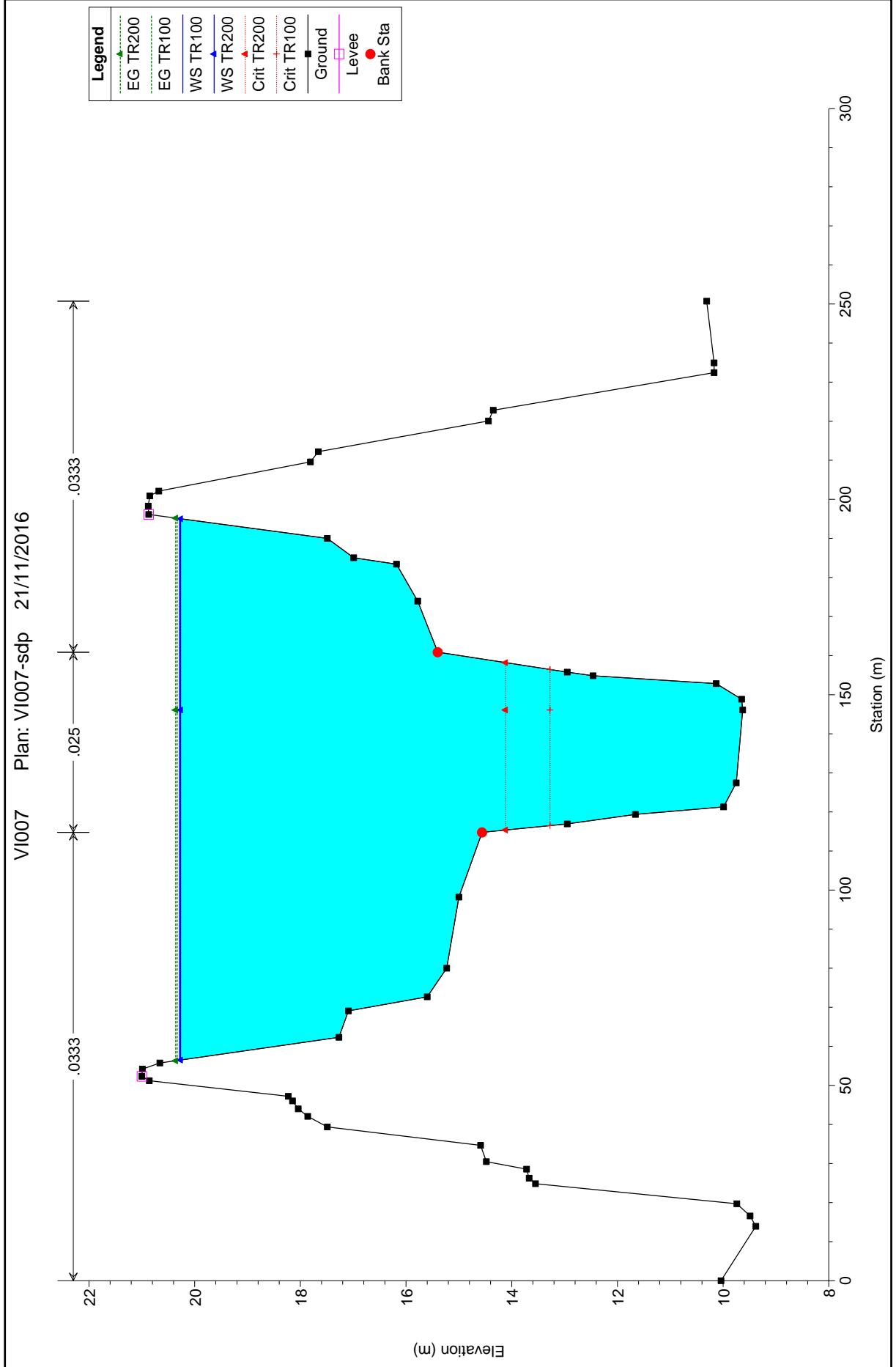


Legend	
EG TR200	Green dashed line with triangles
EG TR100	Green dashed line with triangles
WS TR200	Blue solid line with squares
WS TR100	Blue solid line with squares
Crit TR200	Red dashed line with triangles
Crit TR100	Red dashed line with triangles
Ground	Black solid line with squares
Levee	Cyan shaded area
Bank Sta	Red solid line with circles

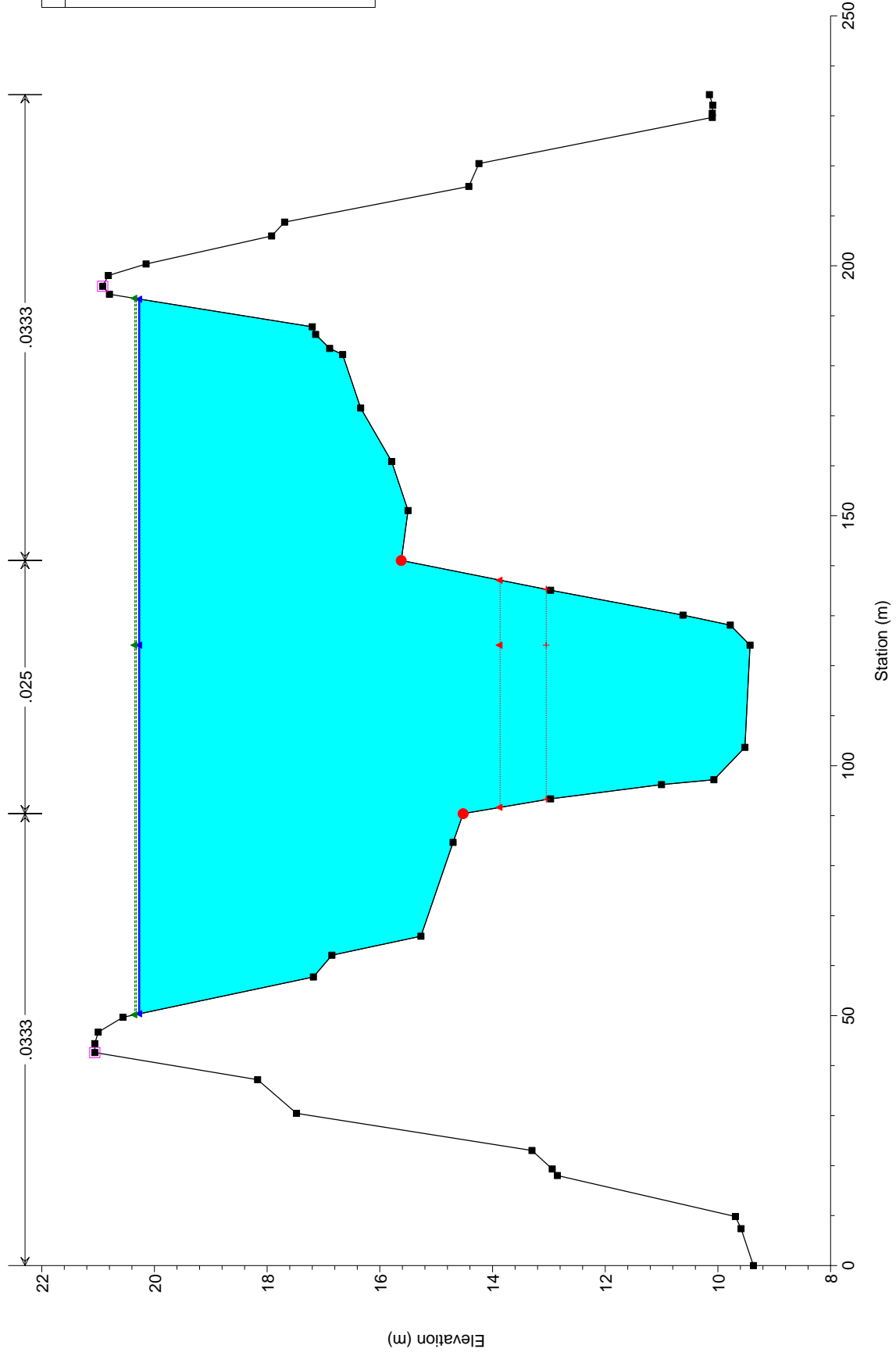


VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016



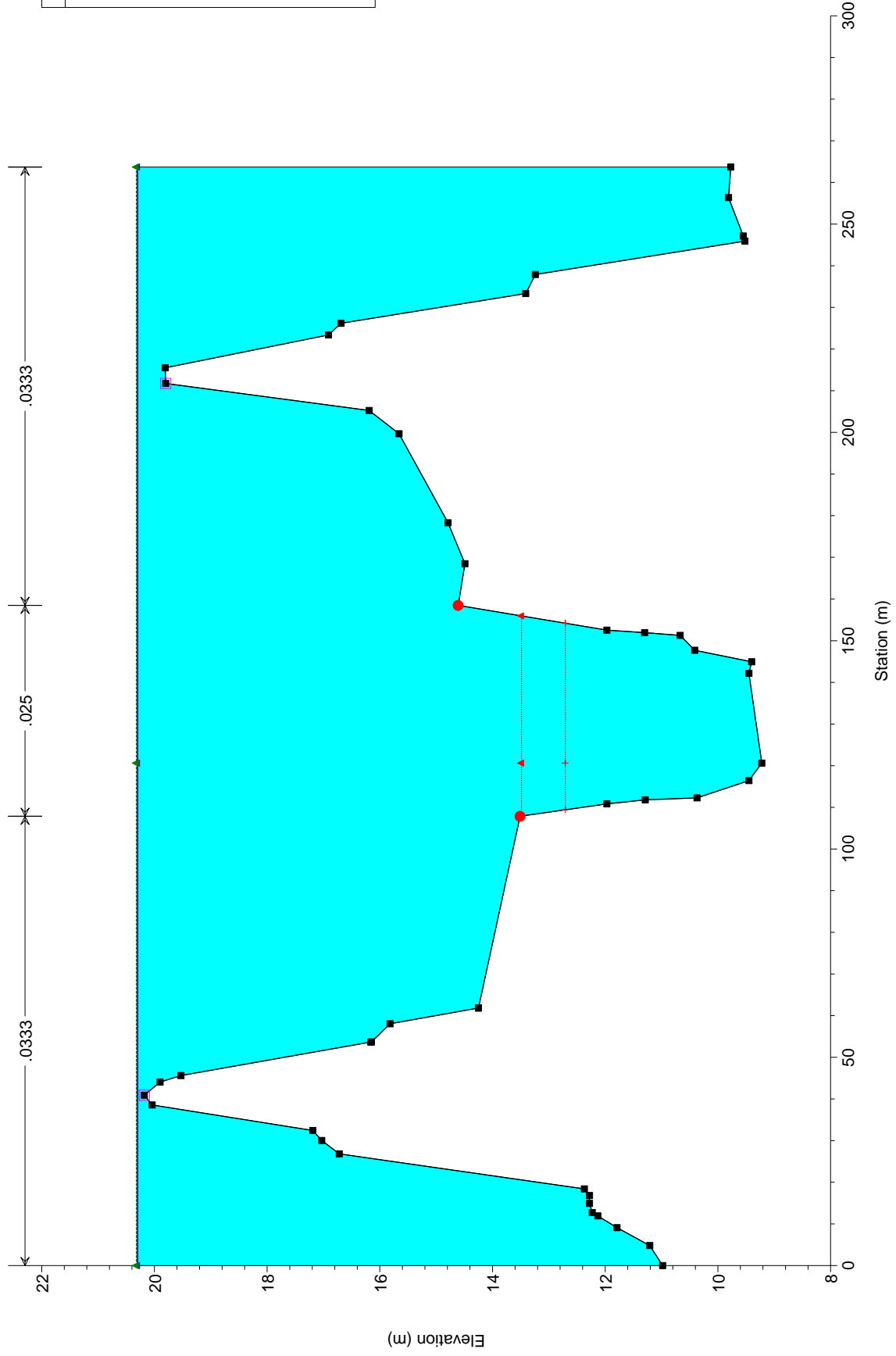


VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016





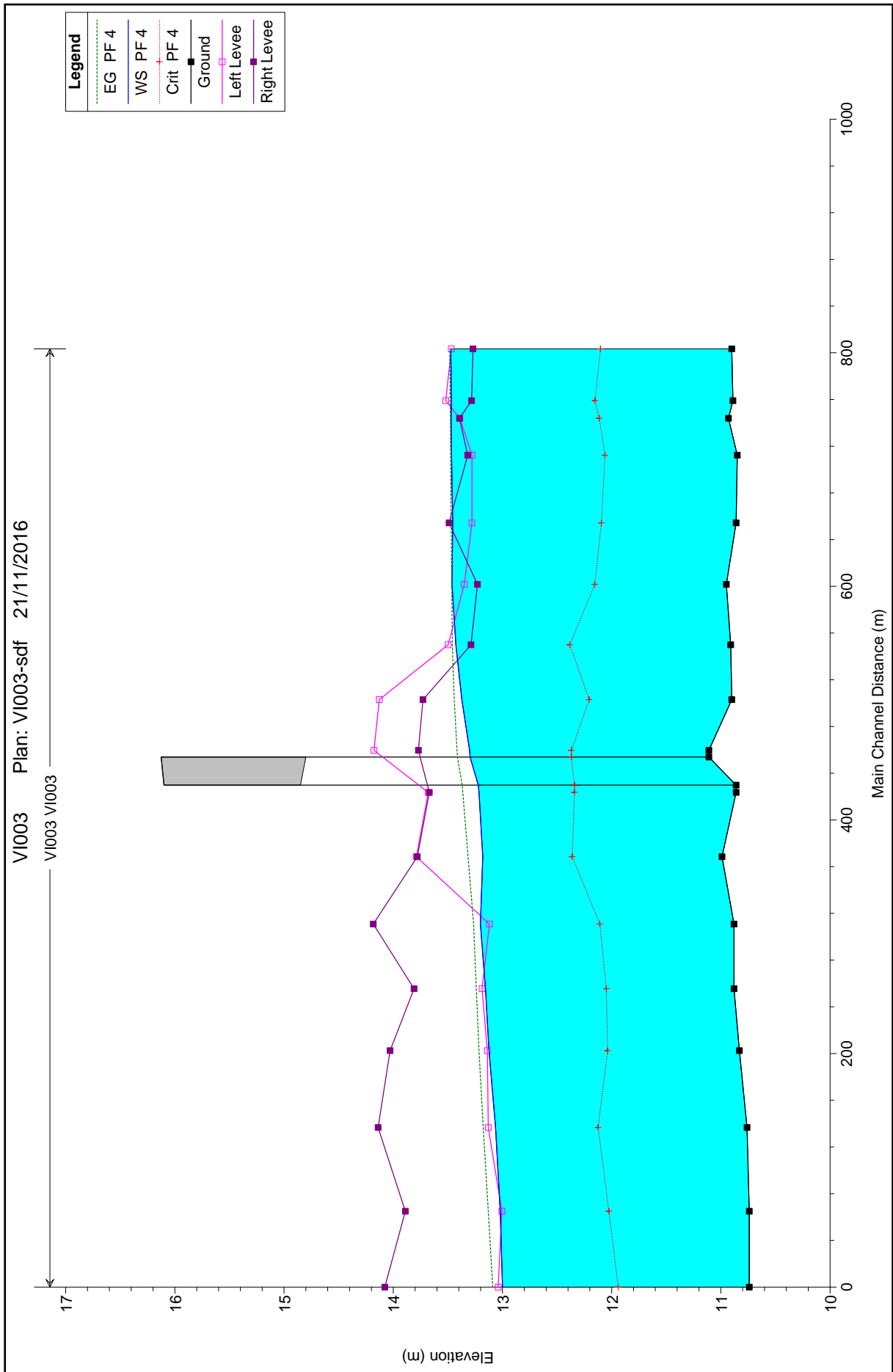
VI007 Plan: VI007-sdp 21/11/2016



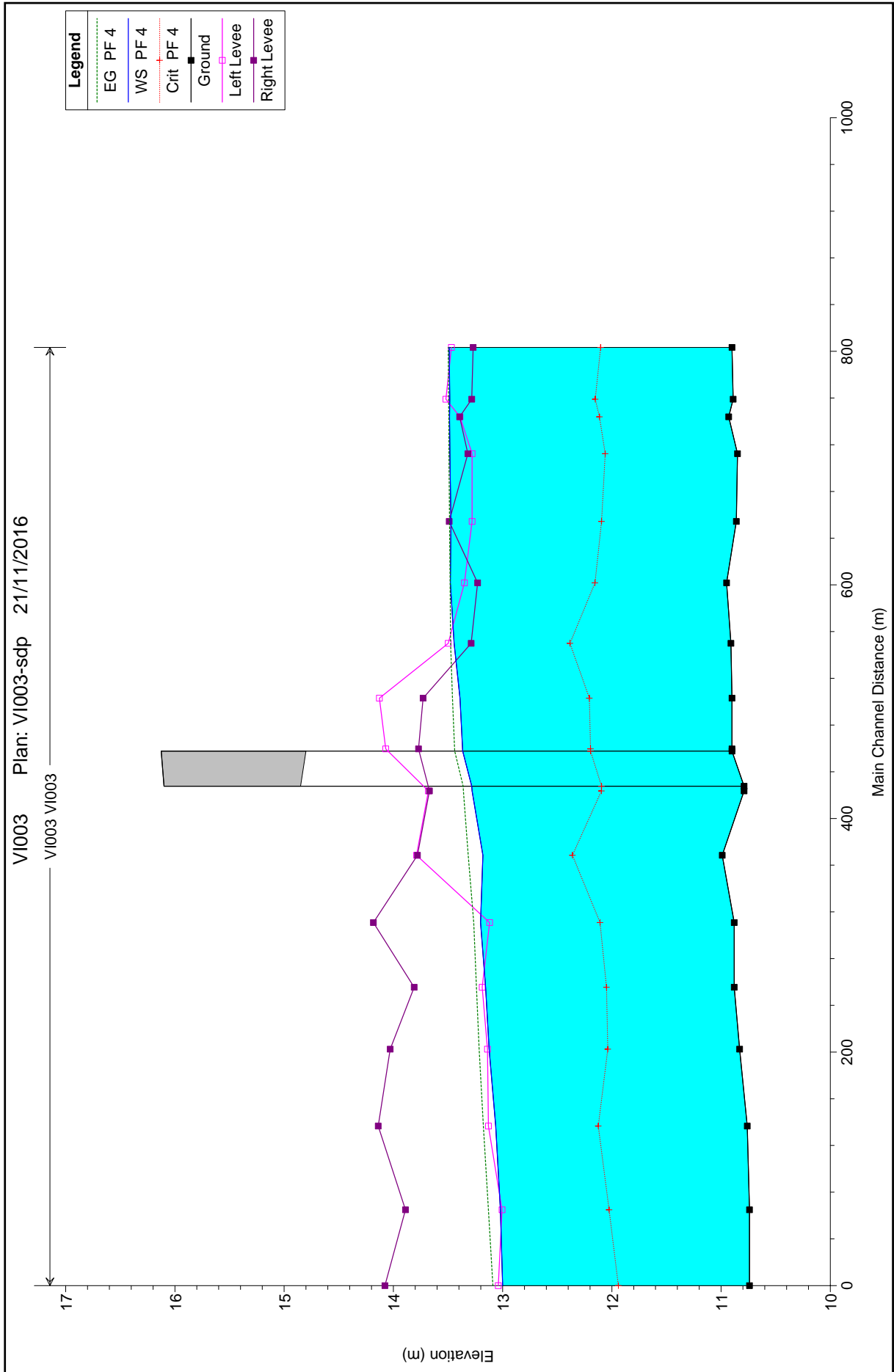
### 1.1.2 Canale Navile



# Canale Navile: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Canale Navile: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Canale Navile: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: V1003.sdf River: V1003 Reach: V1003 Profile: PF 4

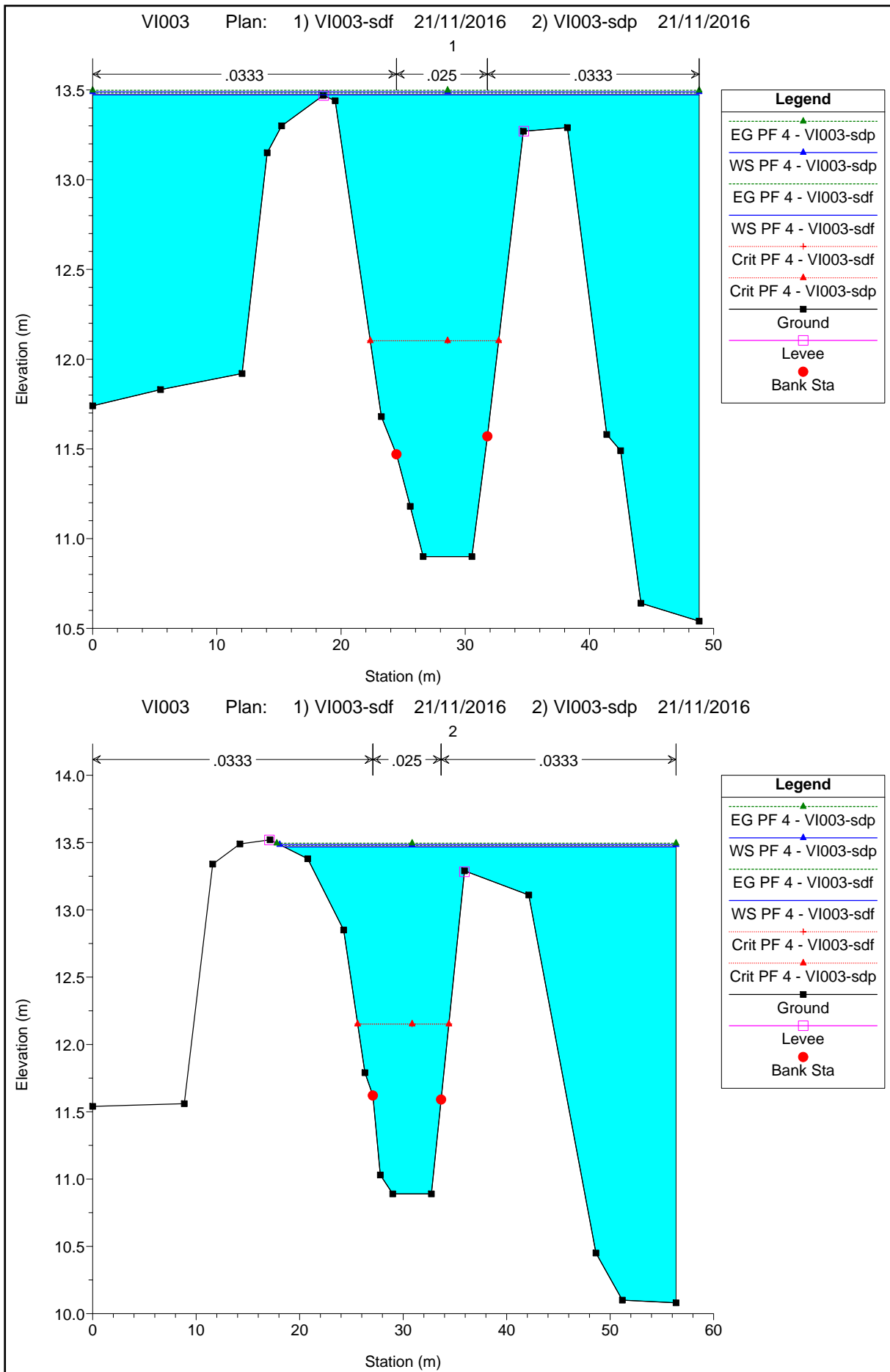
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
V1003	803.5241	PF 4	25.00	10.90	13.47	12.10	13.48	0.000067	0.58	72.39	48.84	0.12
V1003	759.1942	PF 4	25.00	10.89	13.47	12.15	13.48	0.000078	0.62	61.92	37.87	0.13
V1003	744.0953	PF 4	25.00	10.93	13.47	12.11	13.48	0.000056	0.53	82.28	57.57	0.11
V1003	712.5231	PF 4	25.00	10.85	13.47	12.06	13.47	0.000061	0.55	74.04	47.44	0.11
V1003	654.5317	PF 4	25.00	10.86	13.46	12.09	13.47	0.000096	0.70	57.27	35.92	0.14
V1003	601.9124	PF 4	25.00	10.95	13.46	12.15	13.46	0.000019	0.30	123.40	61.56	0.06
V1003	550.1387	PF 4	25.00	10.91	13.43	12.38	13.46	0.000224	1.05	40.08	27.13	0.21
V1003	503.1911	PF 4	25.00	10.90	13.37	12.21	13.44	0.000368	1.30	24.51	14.68	0.27
V1003	459.8098	PF 4	25.00	11.11	13.30	12.37	13.42	0.000667	1.61	18.56	11.79	0.36
V1003	453		Bridge									
V1003	423.8001	PF 4	25.00	10.86	13.21	12.34	13.36	0.000805	1.85	17.34	12.50	0.39
V1003	368.6347	PF 4	25.00	10.99	13.18	12.36	13.32	0.000795	1.74	17.61	12.63	0.39
V1003	311.046	PF 4	25.00	10.88	13.20	12.11	13.26	0.000352	1.22	29.98	31.61	0.27
V1003	255.6427	PF 4	25.00	10.88	13.16	12.05	13.24	0.000435	1.35	21.89	14.79	0.29
V1003	202.7173	PF 4	25.00	10.83	13.12	12.04	13.22	0.000472	1.40	21.24	15.03	0.31
V1003	136.8499	PF 4	25.00	10.76	13.06	12.12	13.18	0.000681	1.69	19.95	13.97	0.36
V1003	65.14782	PF 4	25.00	10.74	13.02	12.03	13.13	0.000588	1.53	20.68	24.77	0.34
V1003	0.185397	PF 4	25.00	10.74	13.00	11.94	13.09	0.000481	1.38	21.44	15.66	0.31

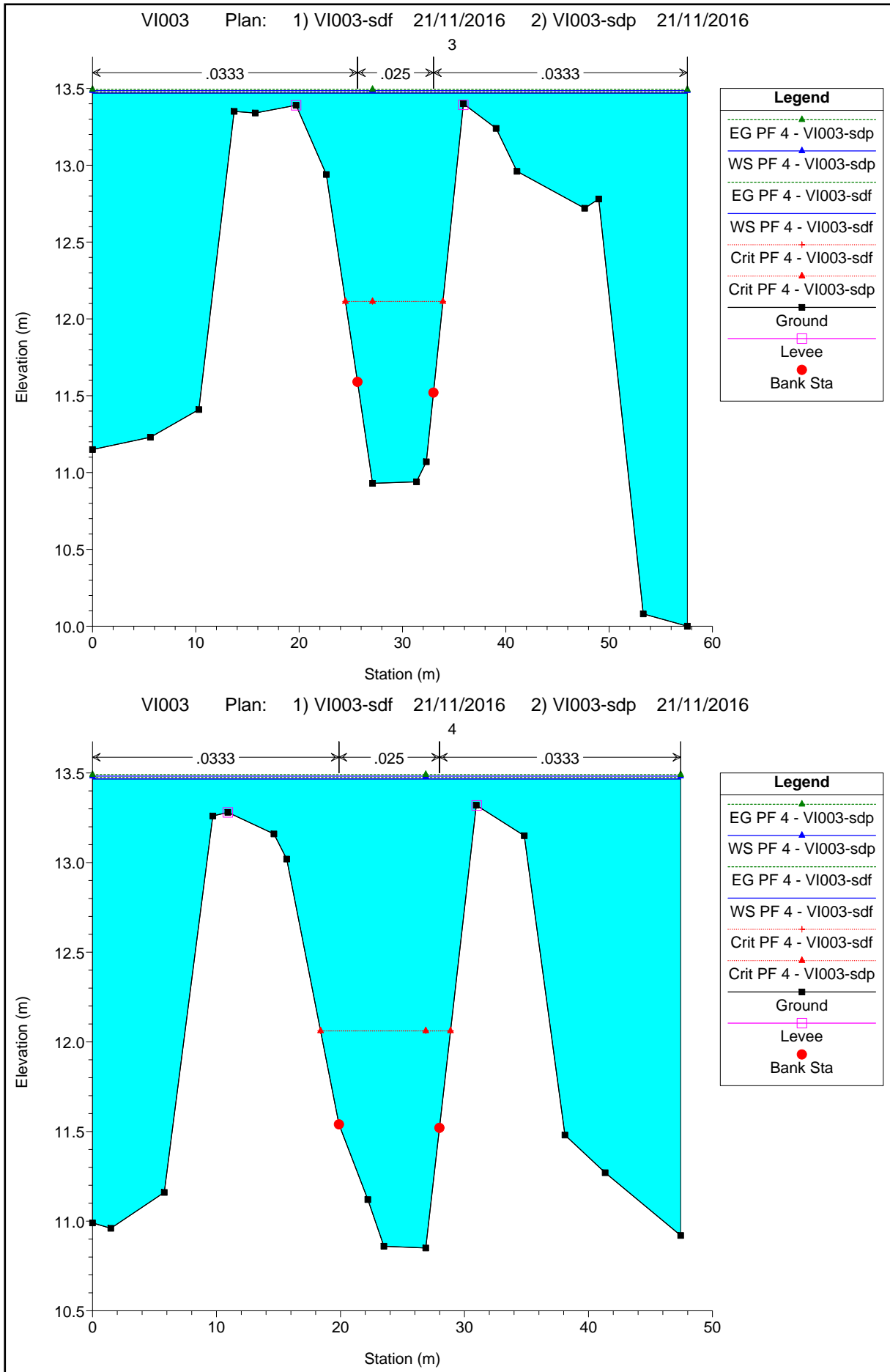
# Canale Navile: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

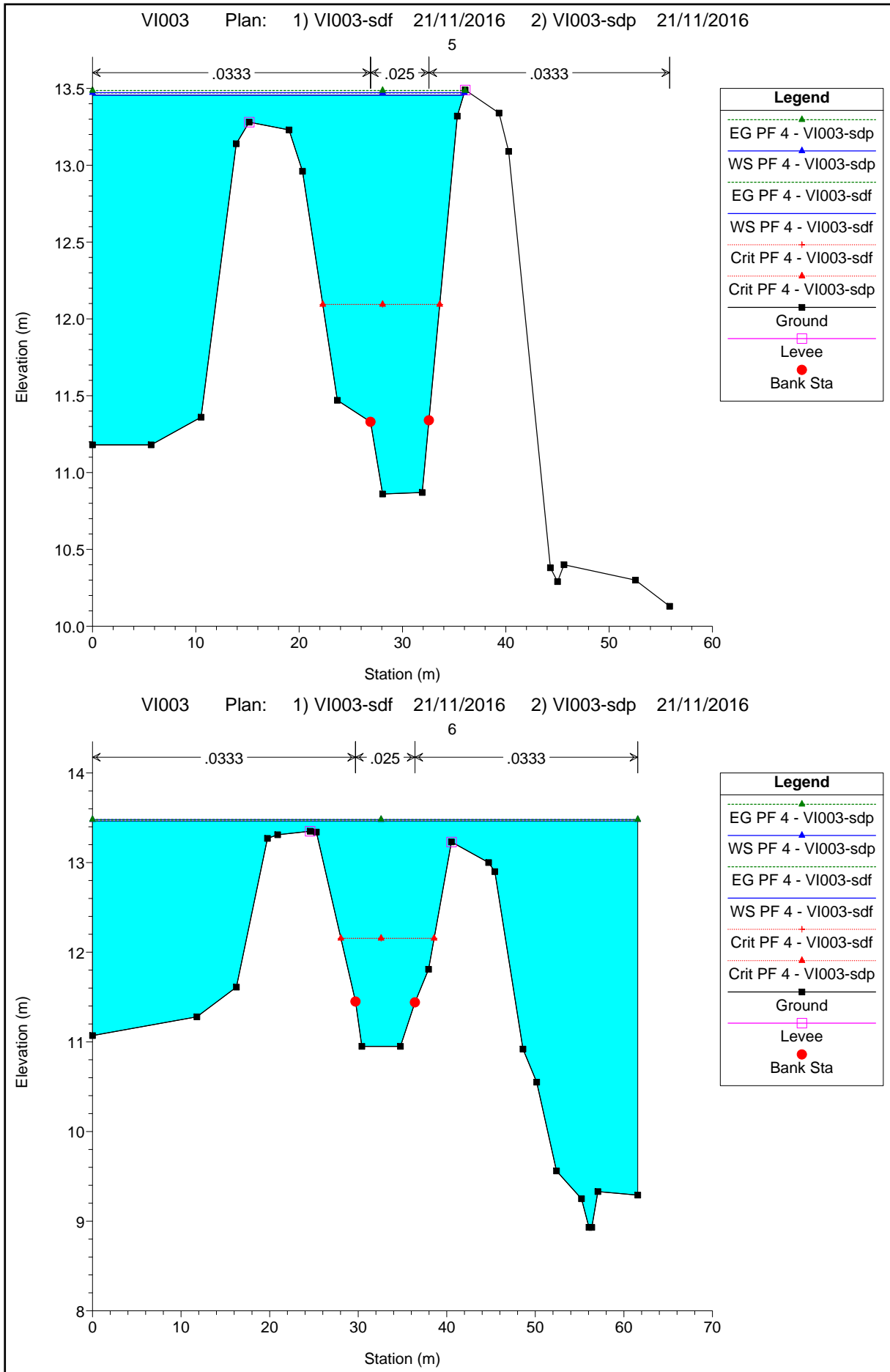
HEC-RAS Plan: VI003-sdp River: VI003 Reach: VI003 Profile: PF 4

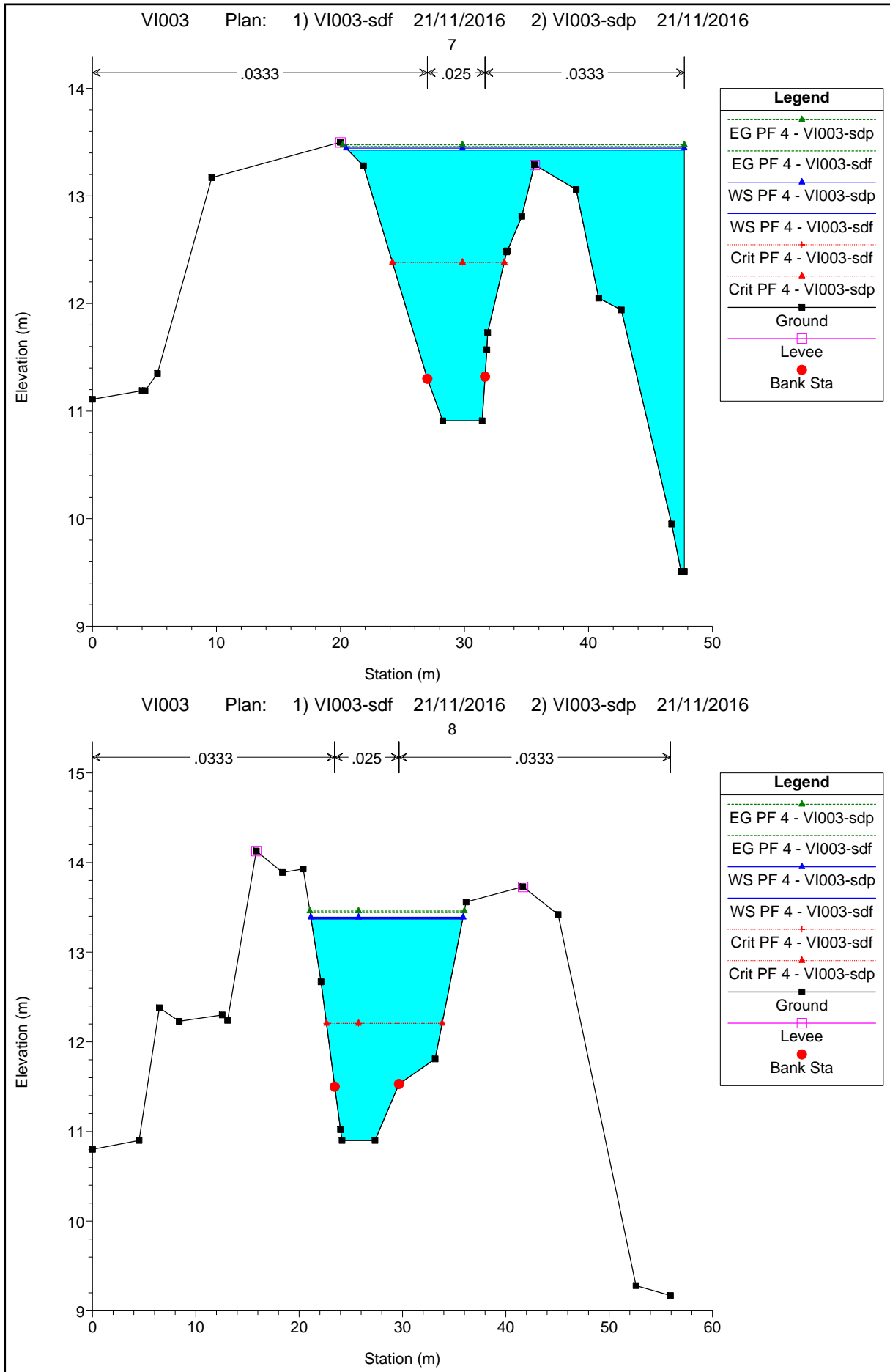
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI003	803.5241	PF 4	25.00	10.90	13.49	12.10	13.50	0.000065	0.57	73.18	48.84	0.12
VI003	759.1942	PF 4	25.00	10.89	13.48	12.15	13.50	0.000076	0.61	62.54	38.29	0.12
VI003	744.0953	PF 4	25.00	10.93	13.49	12.11	13.49	0.000055	0.52	83.21	57.57	0.11
VI003	712.5231	PF 4	25.00	10.85	13.48	12.06	13.49	0.000059	0.54	74.81	47.44	0.11
VI003	654.5317	PF 4	25.00	10.86	13.47	12.09	13.49	0.000093	0.70	57.86	35.99	0.14
VI003	601.9124	PF 4	25.00	10.95	13.48	12.15	13.48	0.000018	0.30	124.41	61.56	0.06
VI003	550.1387	PF 4	25.00	10.91	13.44	12.38	13.48	0.000217	1.03	40.55	27.28	0.21
VI003	503.1911	PF 4	25.00	10.90	13.39	12.21	13.46	0.000357	1.29	24.79	14.74	0.27
VI003	459.8098	PF 4	25.00	10.90	13.37	12.20	13.44	0.000529	1.20	20.80	12.43	0.30
VI003	453		Bridge									
VI003	423.8001	PF 4	25.00	10.79	13.28	12.10	13.36	0.000616	1.25	20.00	12.74	0.32
VI003	368.6347	PF 4	25.00	10.99	13.18	12.36	13.32	0.000795	1.74	17.61	12.63	0.39
VI003	311.046	PF 4	25.00	10.88	13.20	12.11	13.26	0.000352	1.22	29.98	31.61	0.27
VI003	255.6427	PF 4	25.00	10.88	13.16	12.05	13.24	0.000435	1.35	21.89	14.79	0.29
VI003	202.7173	PF 4	25.00	10.83	13.12	12.04	13.22	0.000472	1.40	21.24	15.03	0.31
VI003	136.8499	PF 4	25.00	10.76	13.06	12.12	13.18	0.000681	1.69	19.95	13.97	0.36
VI003	65.14782	PF 4	25.00	10.74	13.02	12.03	13.13	0.000588	1.53	20.68	24.77	0.34
VI003	0.185397	PF 4	25.00	10.74	13.00	11.94	13.09	0.000481	1.38	21.44	15.66	0.31

# Canale Navile: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni

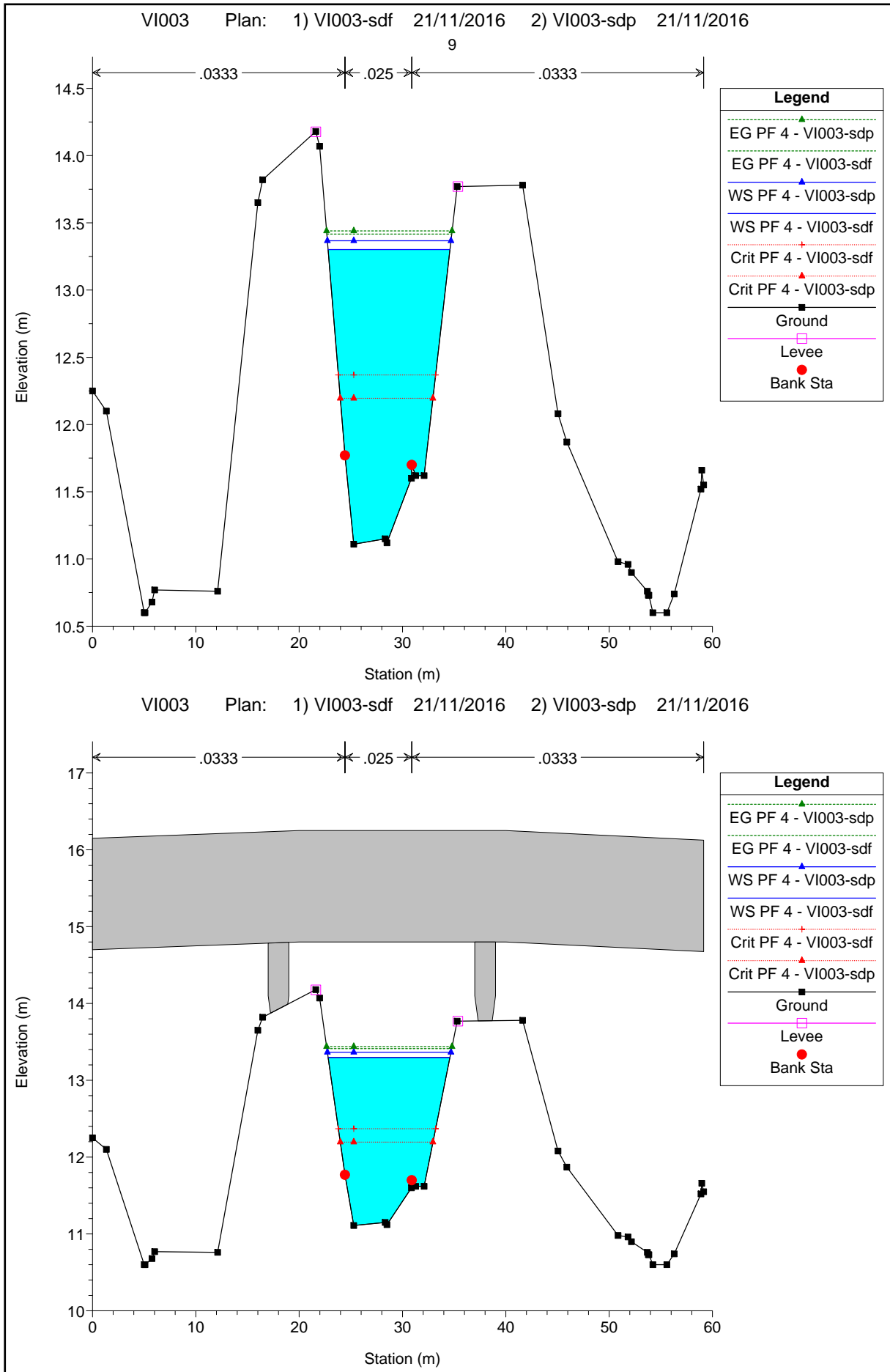


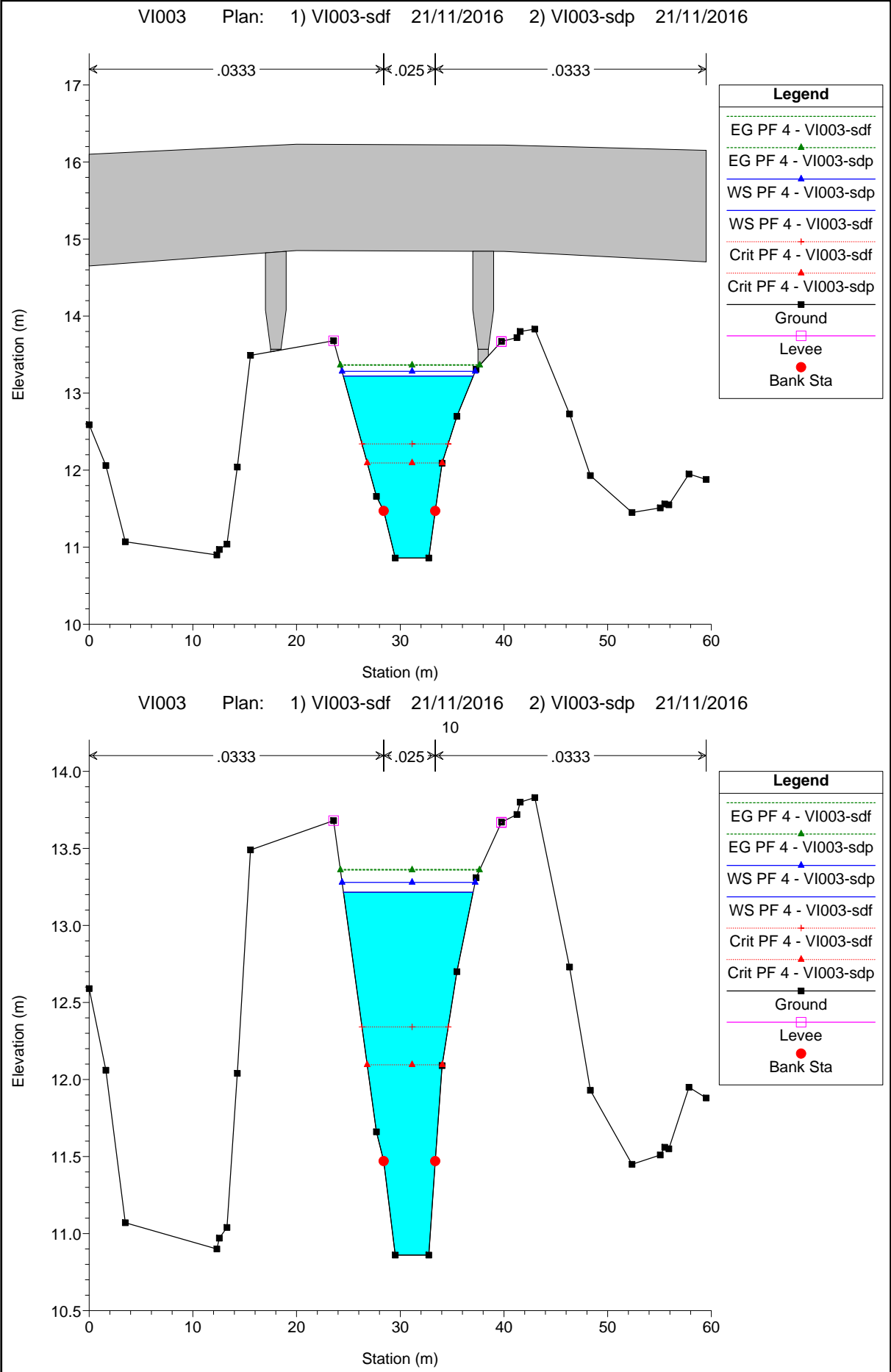


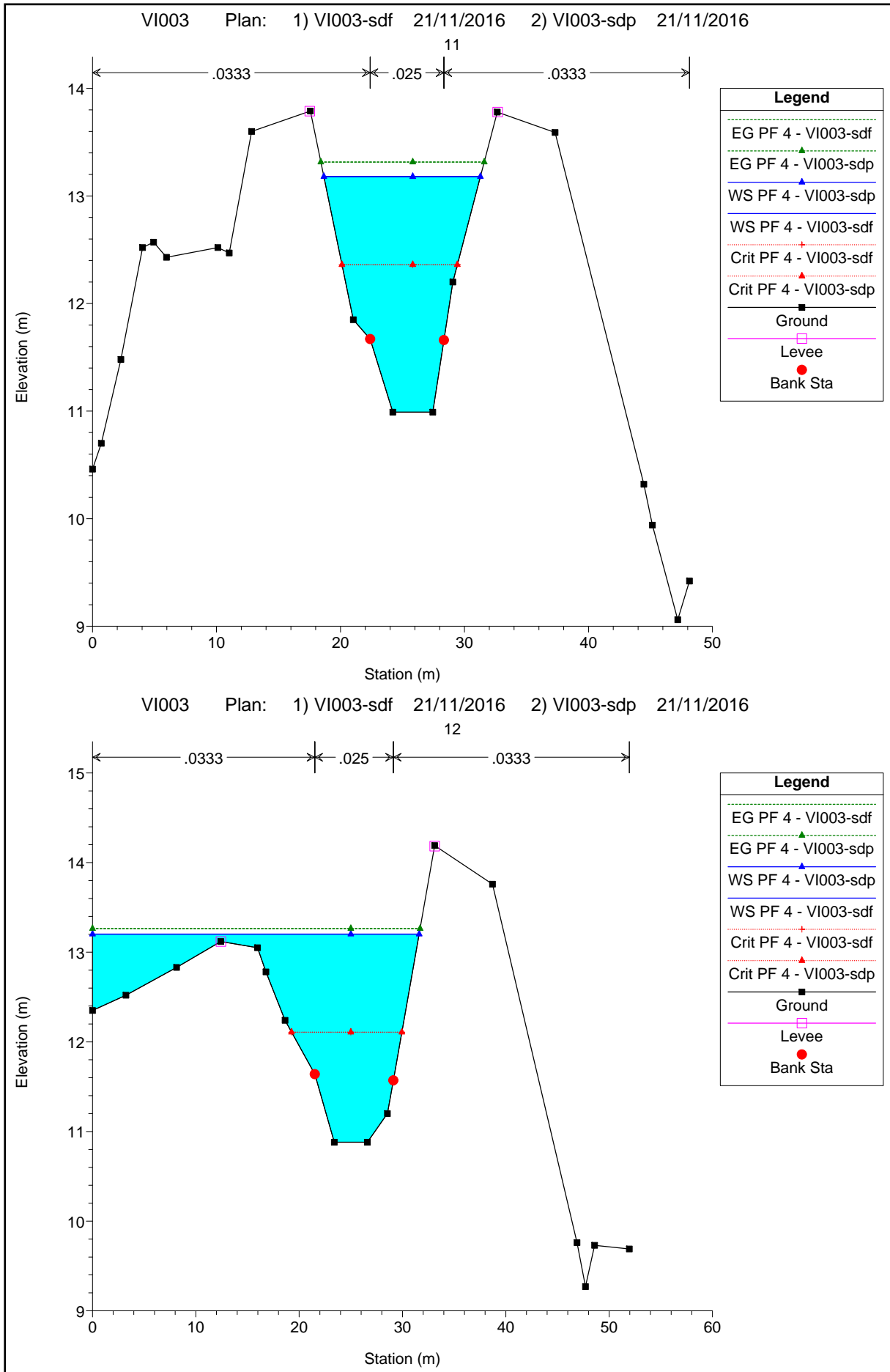


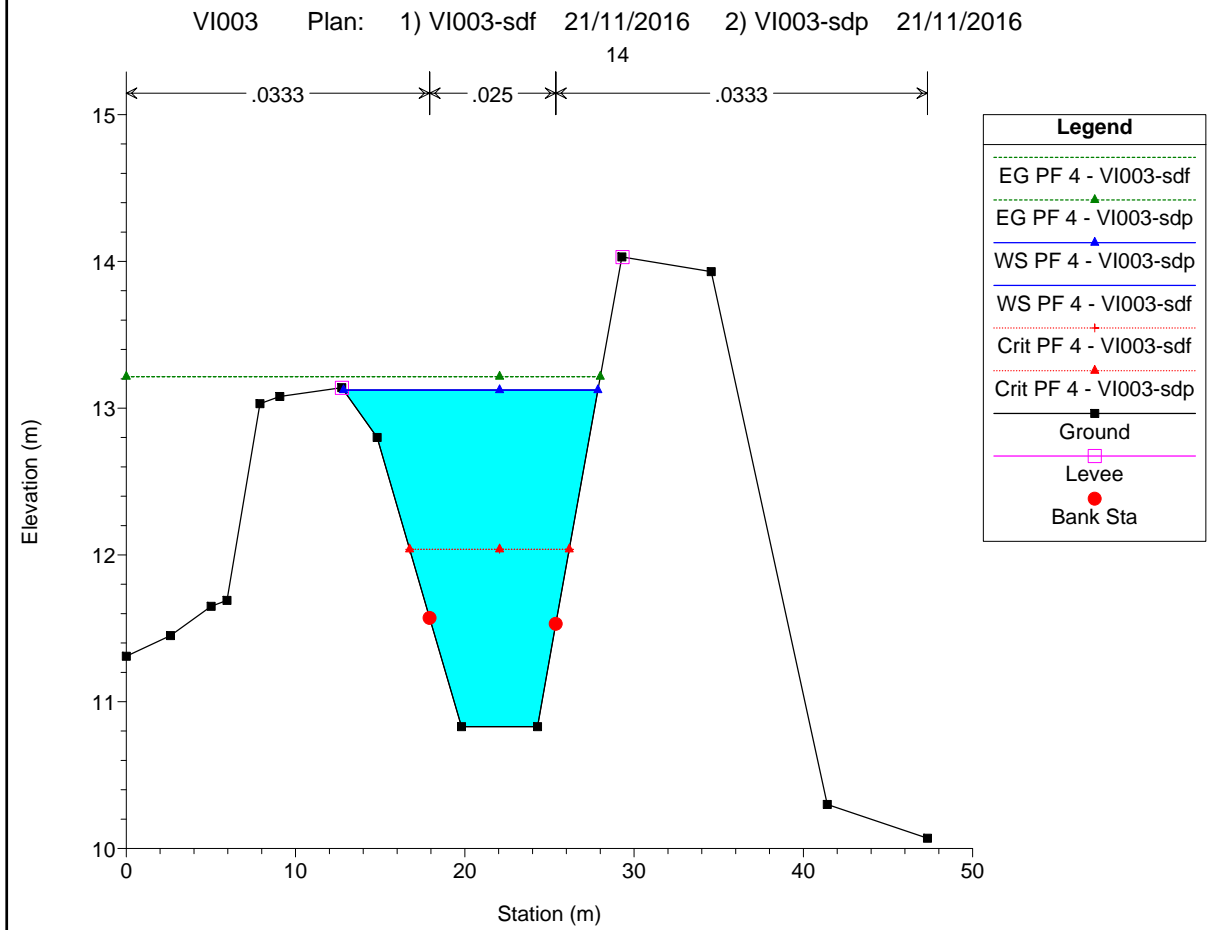
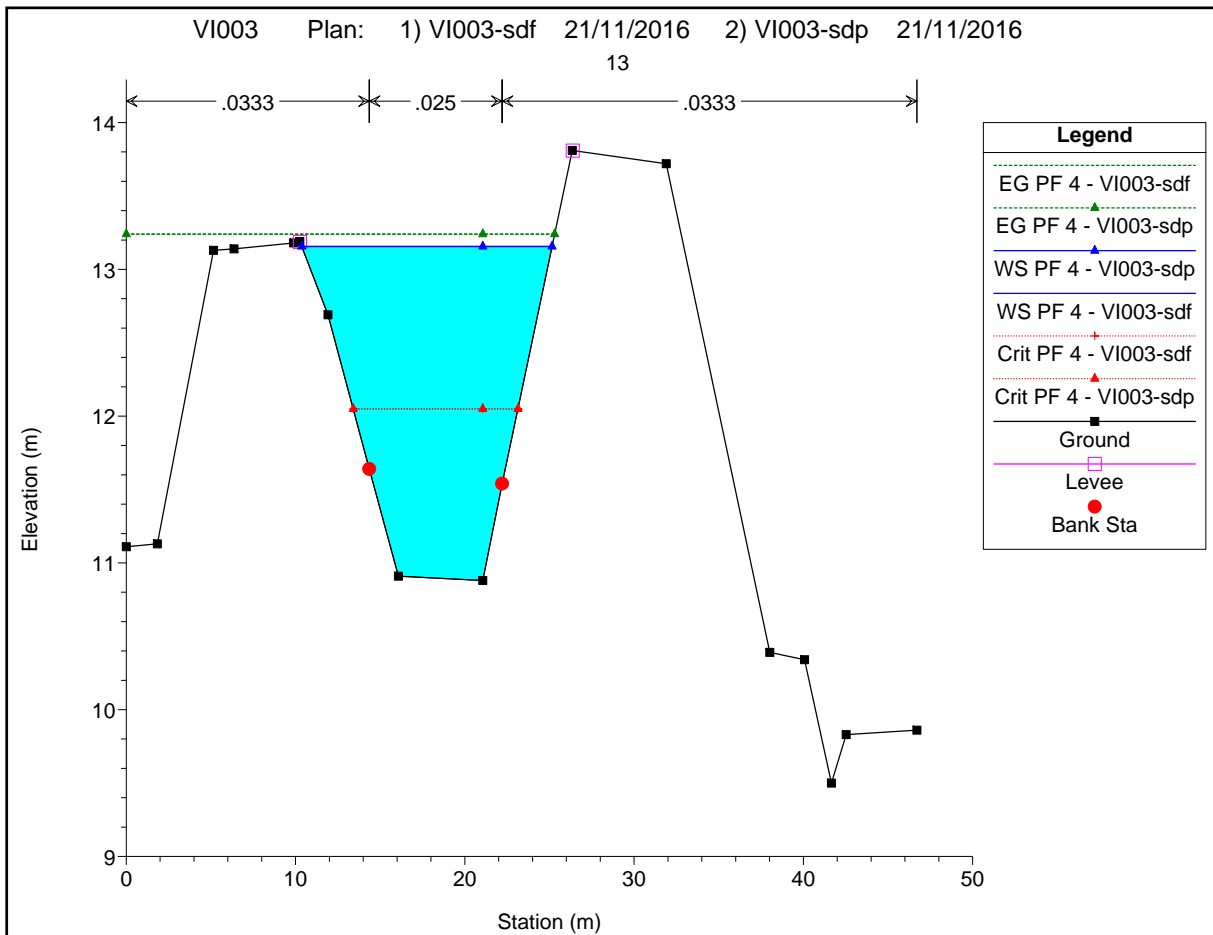


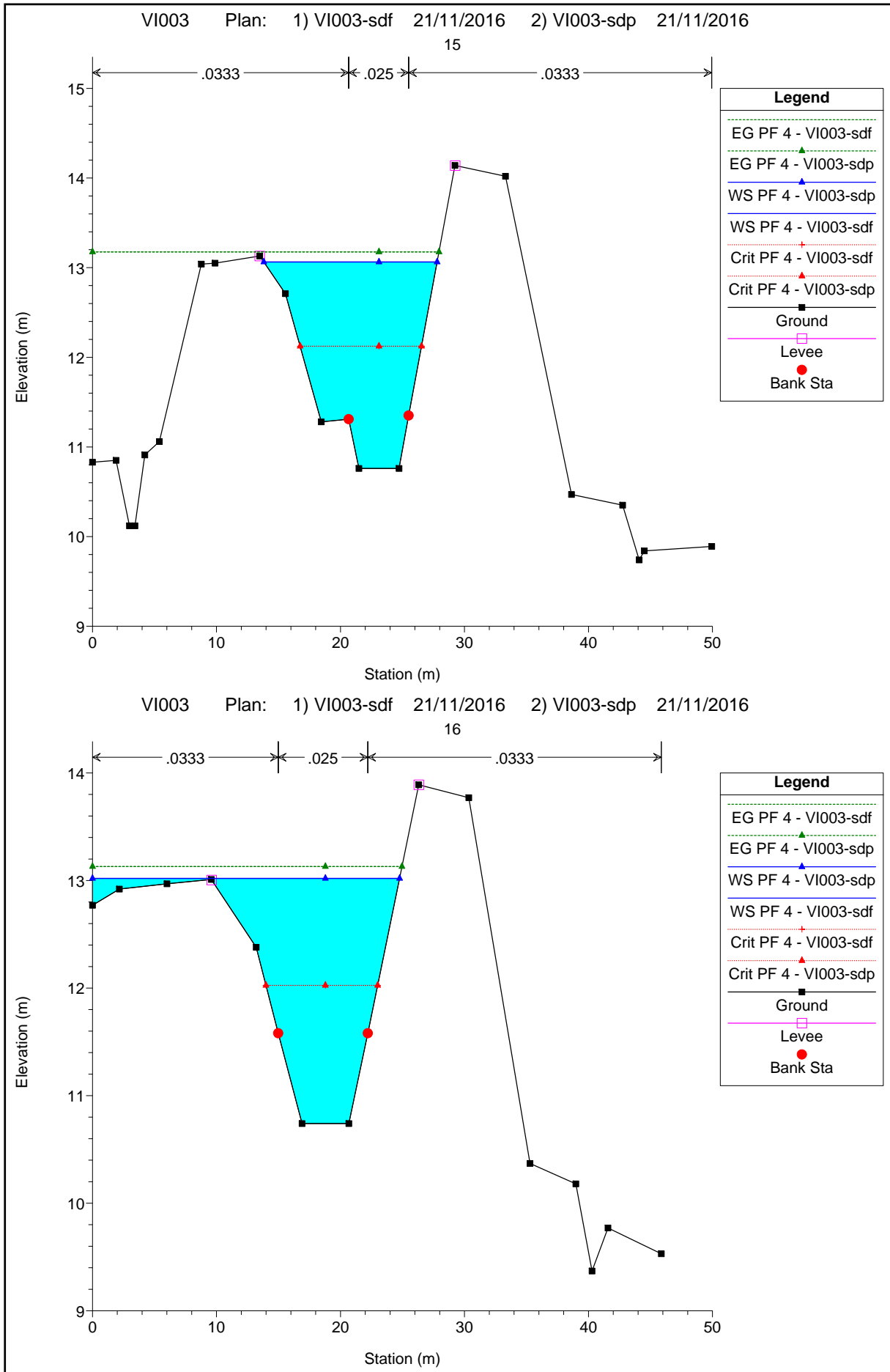






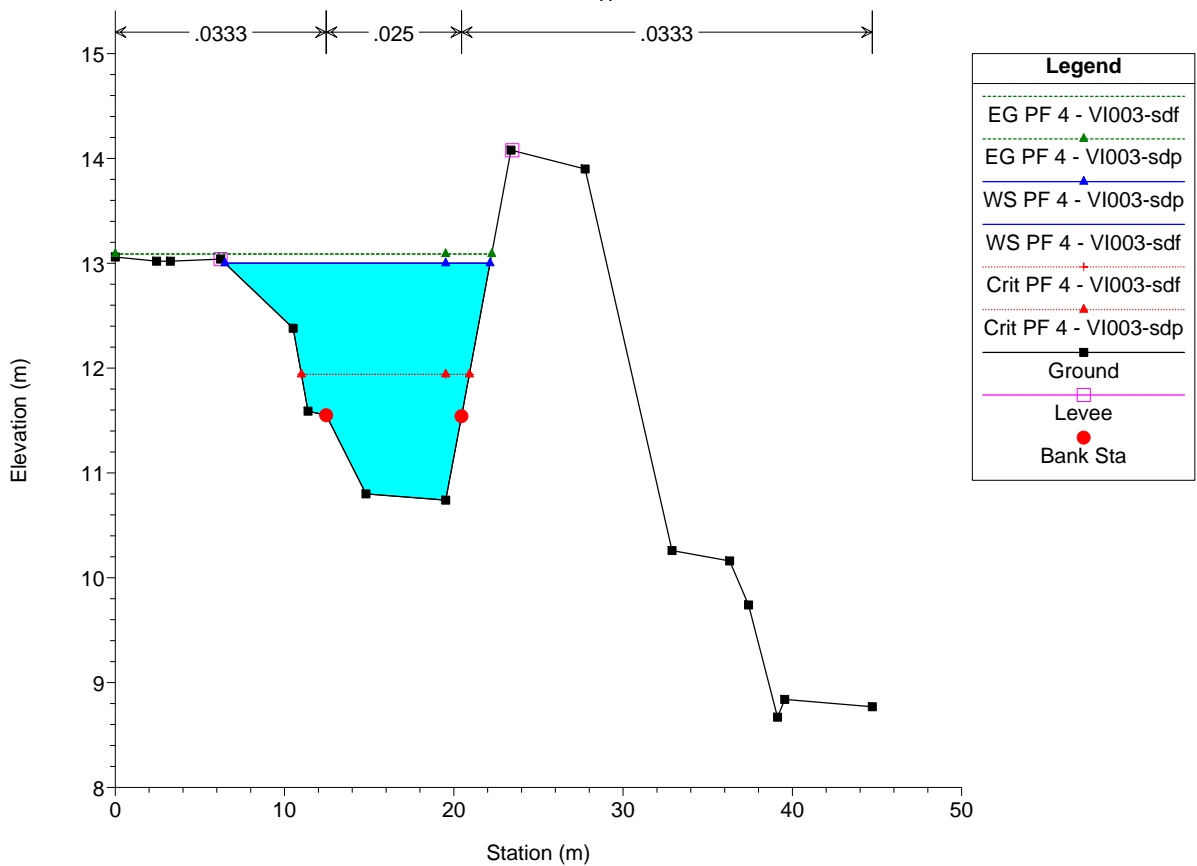






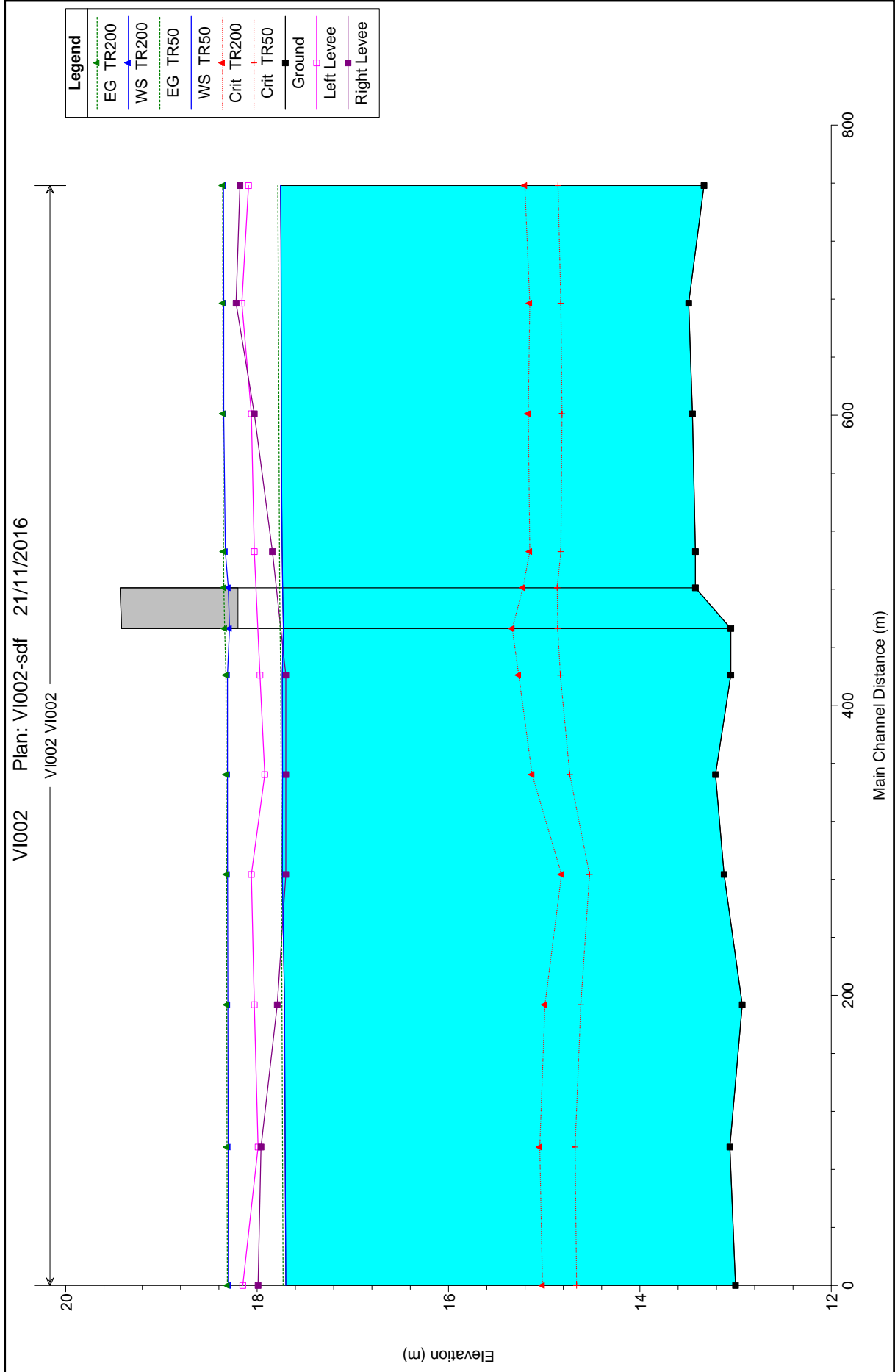
VI003 Plan: 1) VI003-sdf 21/11/2016 2) VI003-sdp 21/11/2016

17



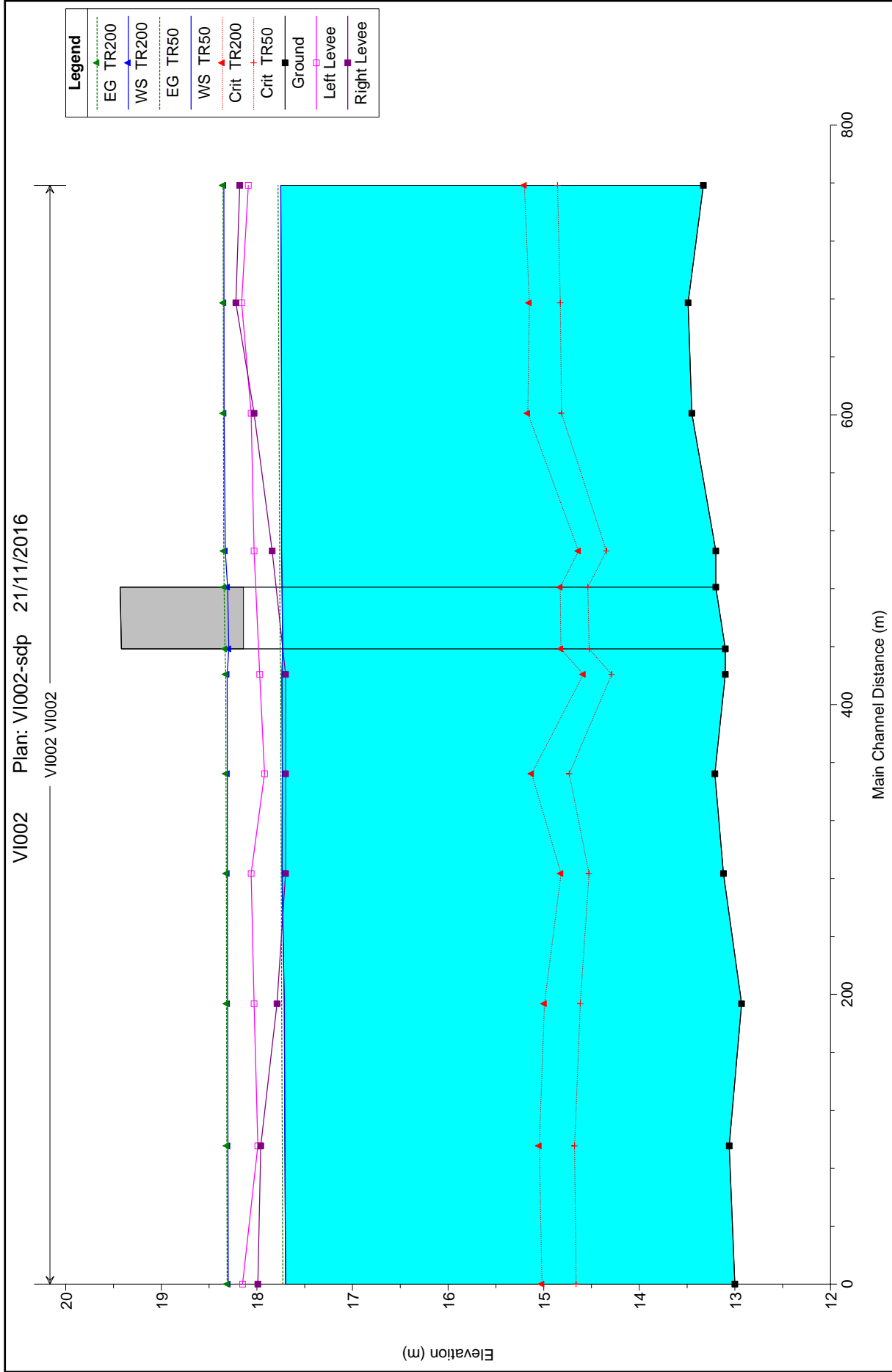
### 1.1.3 Canale Diversivo Navile

# Canale diversivo Navile: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo





# Canale diversivo Navile: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Canale diversivo Navile: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: V1002.sdf River: V1002 Reach: V1002

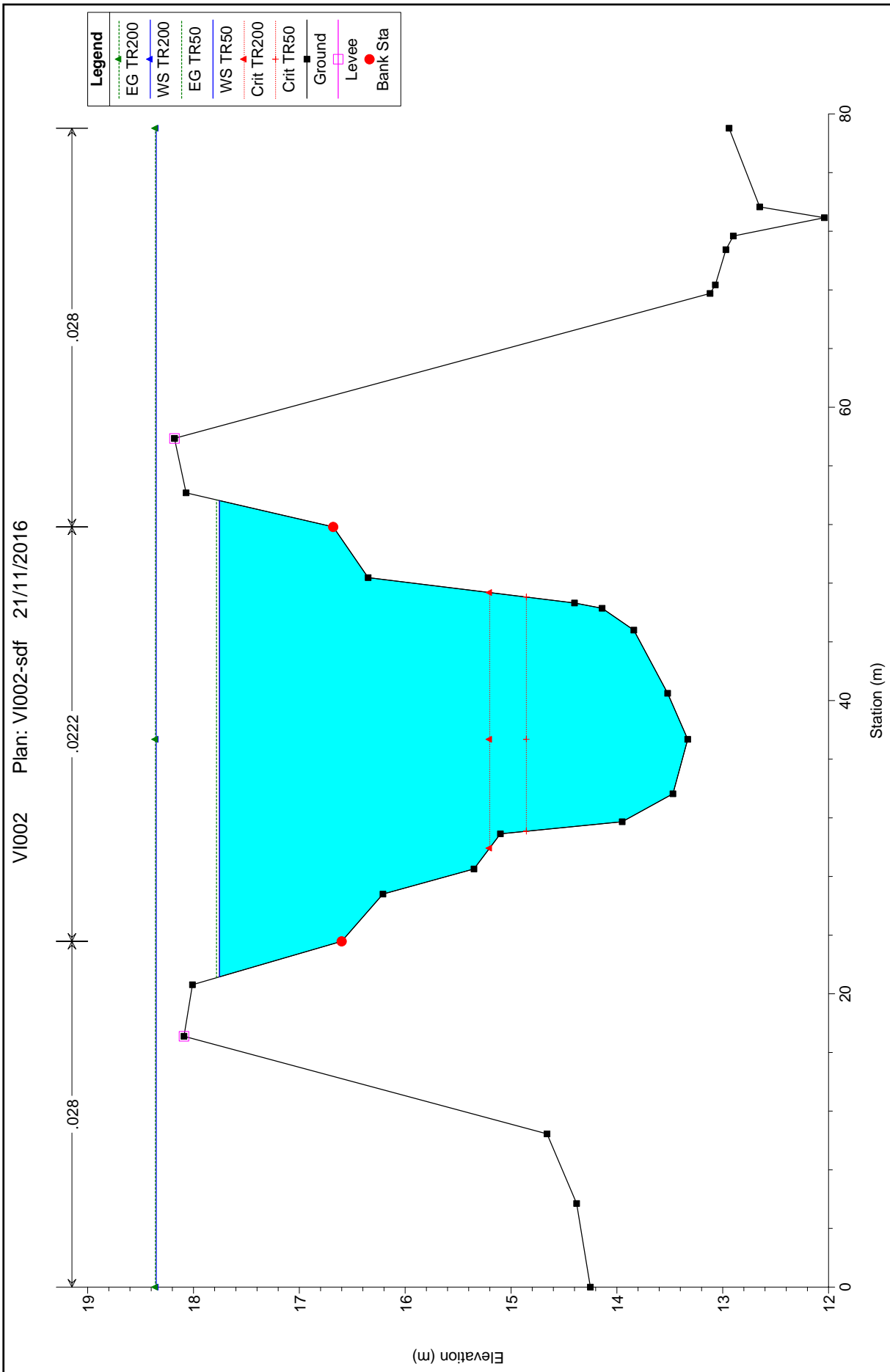
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
V1002	758.3157	TR50	65.10	13.33	17.75	14.86	17.78	0.000067	0.75	89.12	32.48	0.14
V1002	758.3157	TR200	92.12	13.33	18.35	15.20	18.36	0.000021	0.47	254.40	79.02	0.08
V1002	677.2747	TR50	65.10	13.49	17.75	14.83	17.78	0.000067	0.75	88.91	32.20	0.14
V1002	677.2747	TR200	92.12	13.49	18.35	15.15	18.36	0.000022	0.48	248.57	77.60	0.08
V1002	601.0491	TR50	65.10	13.45	17.75	14.81	17.77	0.000061	0.73	91.50	32.82	0.13
V1002	601.0491	TR200	92.12	13.45	18.35	15.17	18.36	0.000018	0.45	264.86	80.27	0.07
V1002	505.991	TR50	65.10	13.42	17.74	14.83	17.77	0.000062	0.74	90.68	32.11	0.13
V1002	505.991	TR200	92.12	13.42	18.33	15.15	18.35	0.000043	0.69	166.10	59.87	0.11
V1002	480	Bridge										
V1002	420.8299	TR50	65.10	13.05	17.74	14.83	17.75	0.000043	0.62	128.11	49.40	0.11
V1002	420.8299	TR200	92.12	13.05	18.31	15.27	18.33	0.000038	0.65	186.62	64.99	0.11
V1002	352.2383	TR50	65.10	13.21	17.73	14.73	17.75	0.000039	0.58	132.66	49.38	0.10
V1002	352.2383	TR200	92.12	13.21	18.31	15.13	18.32	0.000035	0.62	192.08	65.31	0.10
V1002	283.3745	TR50	65.10	13.12	17.74	14.53	17.75	0.000021	0.44	175.38	56.61	0.08
V1002	283.3745	TR200	92.12	13.12	18.31	14.82	18.32	0.000022	0.50	235.23	71.09	0.08
V1002	193.5635	TR50	65.10	12.93	17.71	14.62	17.74	0.000063	0.73	91.51	33.19	0.13
V1002	193.5635	TR200	92.12	12.93	18.31	14.99	18.32	0.000028	0.54	219.76	70.69	0.09
V1002	95.4404	TR50	65.10	13.06	17.71	14.68	17.73	0.000060	0.72	92.41	33.17	0.13
V1002	95.4404	TR200	92.12	13.06	18.30	15.05	18.31	0.000029	0.57	211.04	68.91	0.09
V1002	7.770683	TR50	65.10	13.00	17.70	14.66	17.73	0.000067	0.74	89.43	32.99	0.14
V1002	7.770683	TR200	92.12	13.00	18.30	15.02	18.31	0.000028	0.55	218.33	70.40	0.09

# Canale diversivo Navile: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

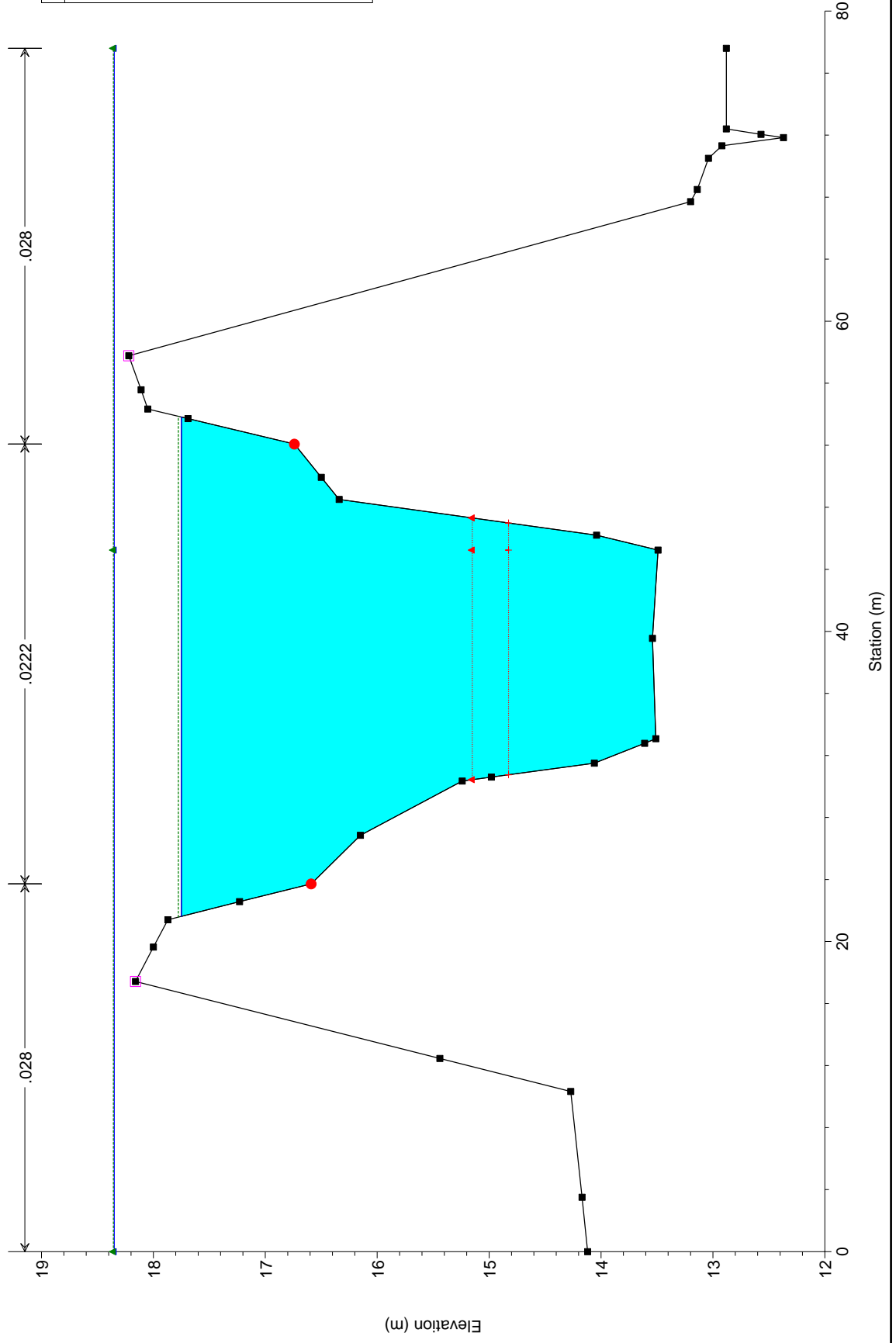
HEC-RAS Plan: VI002-sdp River: VI002 Reach: VI002

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI002	758.3157	TR50	65.10	13.33	17.75	14.86	17.78	0.000067	0.75	88.99	32.46	0.14
VI002	758.3157	TR200	92.12	13.33	18.35	15.20	18.35	0.000021	0.47	253.95	79.02	0.08
VI002	677.2747	TR50	65.10	13.49	17.75	14.83	17.77	0.000067	0.75	88.78	32.19	0.14
VI002	677.2747	TR200	92.12	13.49	18.34	15.15	18.35	0.000022	0.48	248.12	77.60	0.08
VI002	601.0491	TR50	65.10	13.45	17.74	14.81	17.77	0.000061	0.73	91.36	32.80	0.13
VI002	601.0491	TR200	92.12	13.45	18.34	15.17	18.35	0.000018	0.45	264.40	80.27	0.07
VI002	505.991	TR50	65.10	13.20	17.74	14.34	17.76	0.000037	0.61	107.61	32.17	0.10
VI002	505.991	TR200	92.12	13.20	18.33	14.64	18.35	0.000030	0.61	182.85	59.87	0.10
VI002	480	Bridge										
VI002	420.8299	TR50	65.10	13.10	17.74	14.29	17.75	0.000025	0.54	146.38	49.32	0.09
VI002	420.8299	TR200	92.12	13.10	18.31	14.58	18.33	0.000025	0.60	204.85	64.99	0.09
VI002	352.2383	TR50	65.10	13.21	17.73	14.73	17.75	0.000039	0.58	132.66	49.38	0.10
VI002	352.2383	TR200	92.12	13.21	18.31	15.13	18.32	0.000035	0.62	192.08	65.31	0.10
VI002	283.3745	TR50	65.10	13.12	17.74	14.53	17.75	0.000021	0.44	175.38	56.61	0.08
VI002	283.3745	TR200	92.12	13.12	18.31	14.82	18.32	0.000022	0.50	235.23	71.09	0.08
VI002	193.5635	TR50	65.10	12.93	17.71	14.62	17.74	0.000063	0.73	91.51	33.19	0.13
VI002	193.5635	TR200	92.12	12.93	18.31	14.99	18.32	0.000028	0.54	219.76	70.69	0.09
VI002	95.4404	TR50	65.10	13.06	17.71	14.68	17.73	0.000060	0.72	92.41	33.17	0.13
VI002	95.4404	TR200	92.12	13.06	18.30	15.05	18.31	0.000029	0.57	211.04	68.91	0.09
VI002	7.770683	TR50	65.10	13.00	17.70	14.66	17.73	0.000067	0.74	89.43	32.99	0.14
VI002	7.770683	TR200	92.12	13.00	18.30	15.02	18.31	0.000028	0.55	218.33	70.40	0.09

# Canale diversivo Navile: modellazione idraulica dello stato di fatto - sezioni



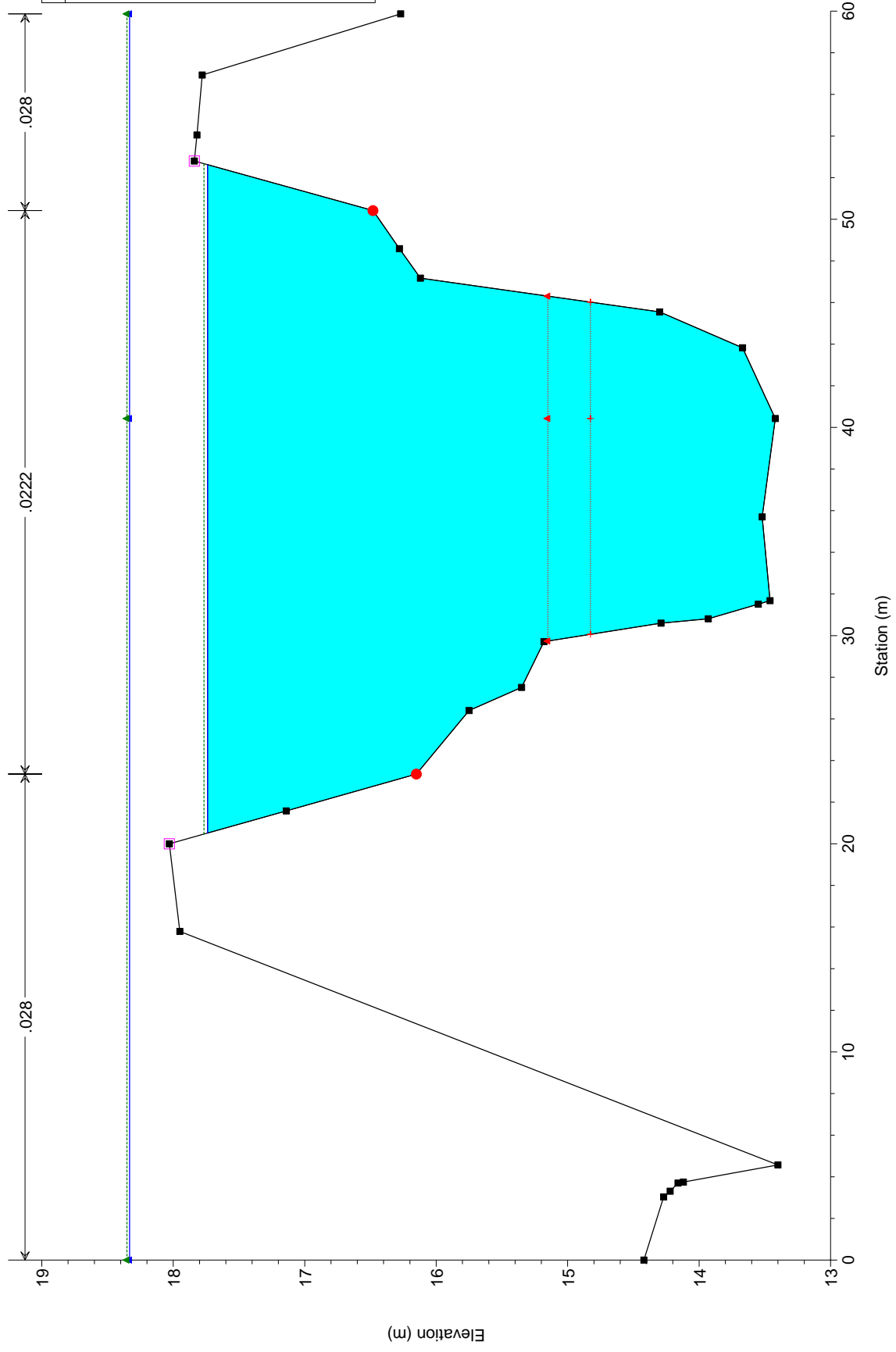
VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016



Legend	
EG TR200	Green dashed line with triangles
WS TR200	Blue solid line with triangles
EG TR50	Green dashed line with triangles
WS TR50	Blue solid line with triangles
Crit TR200	Red dashed line with triangles
Crit TR50	Red dashed line with triangles
Ground	Black solid line with squares
Levee	Pink square
Bank Sta	Red circle

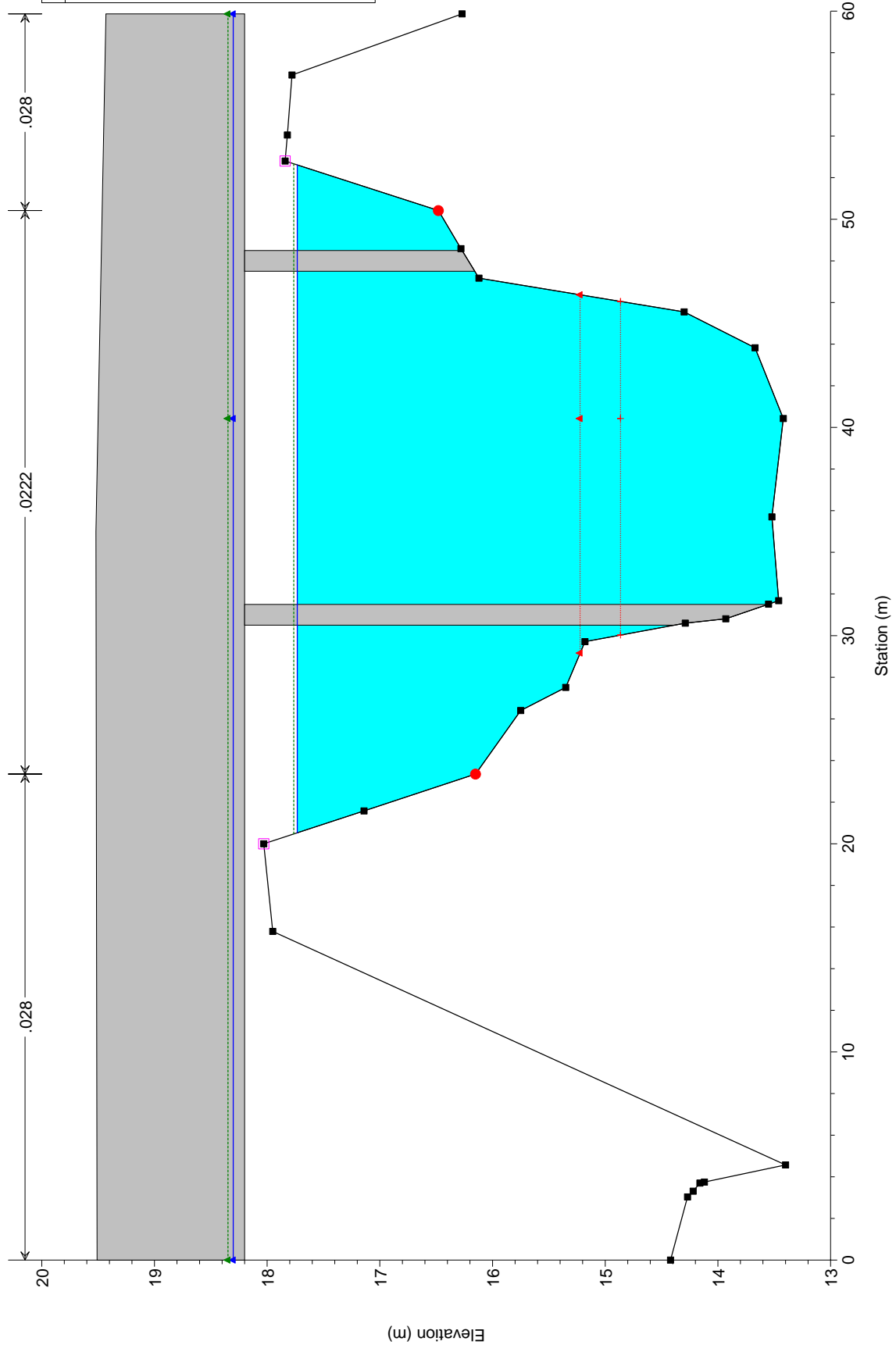


VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016



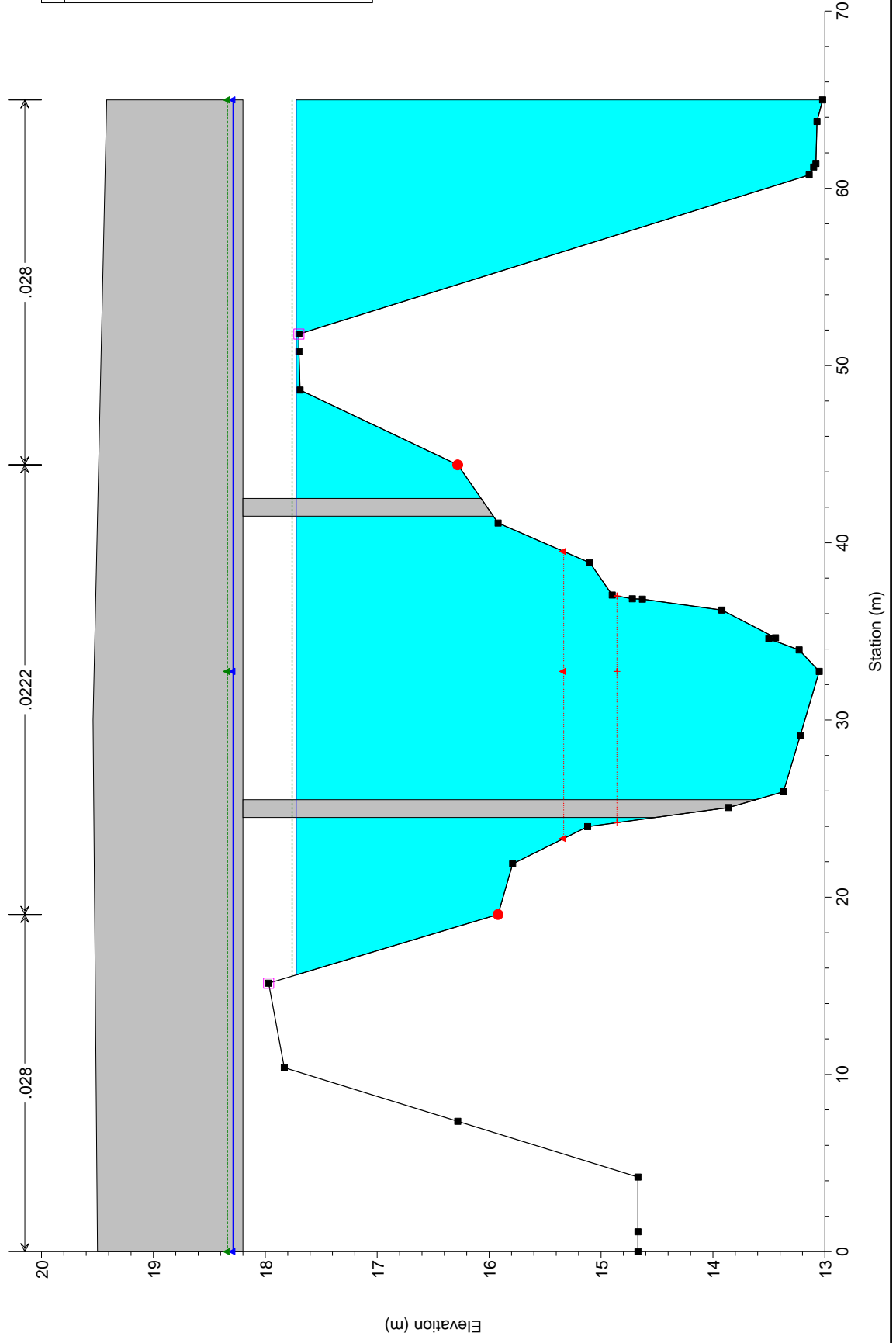
Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▼
EG TR50	▲
WS TR50	▼
Crit TR200	▲
Crit TR50	▼
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016





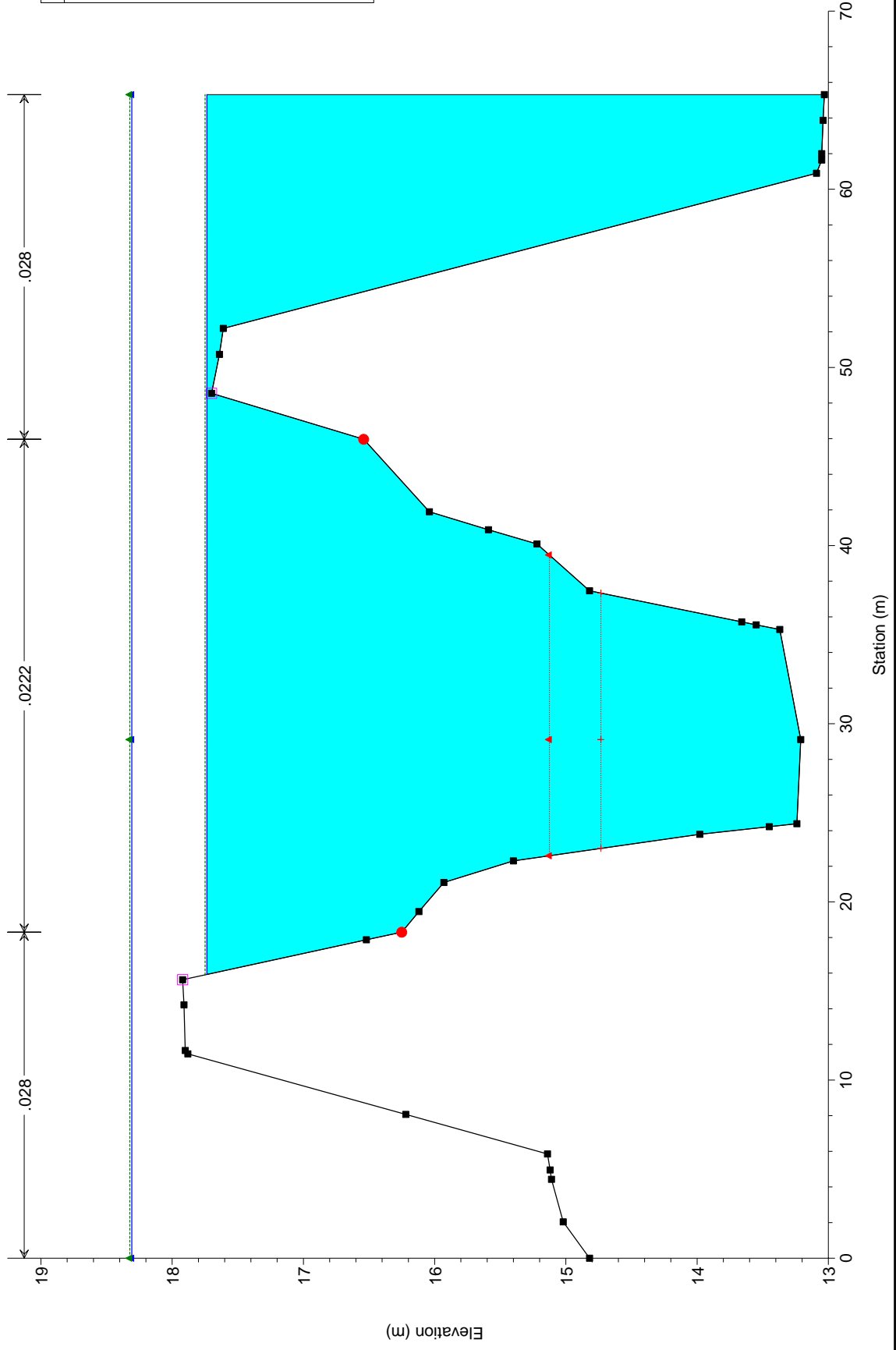
VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016



Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
EG TR50	▲
WS TR50	▲
Crit WS TR200	▲
Crit WS TR50	▲
Ground	■
Levee	■
Bank Sta	●

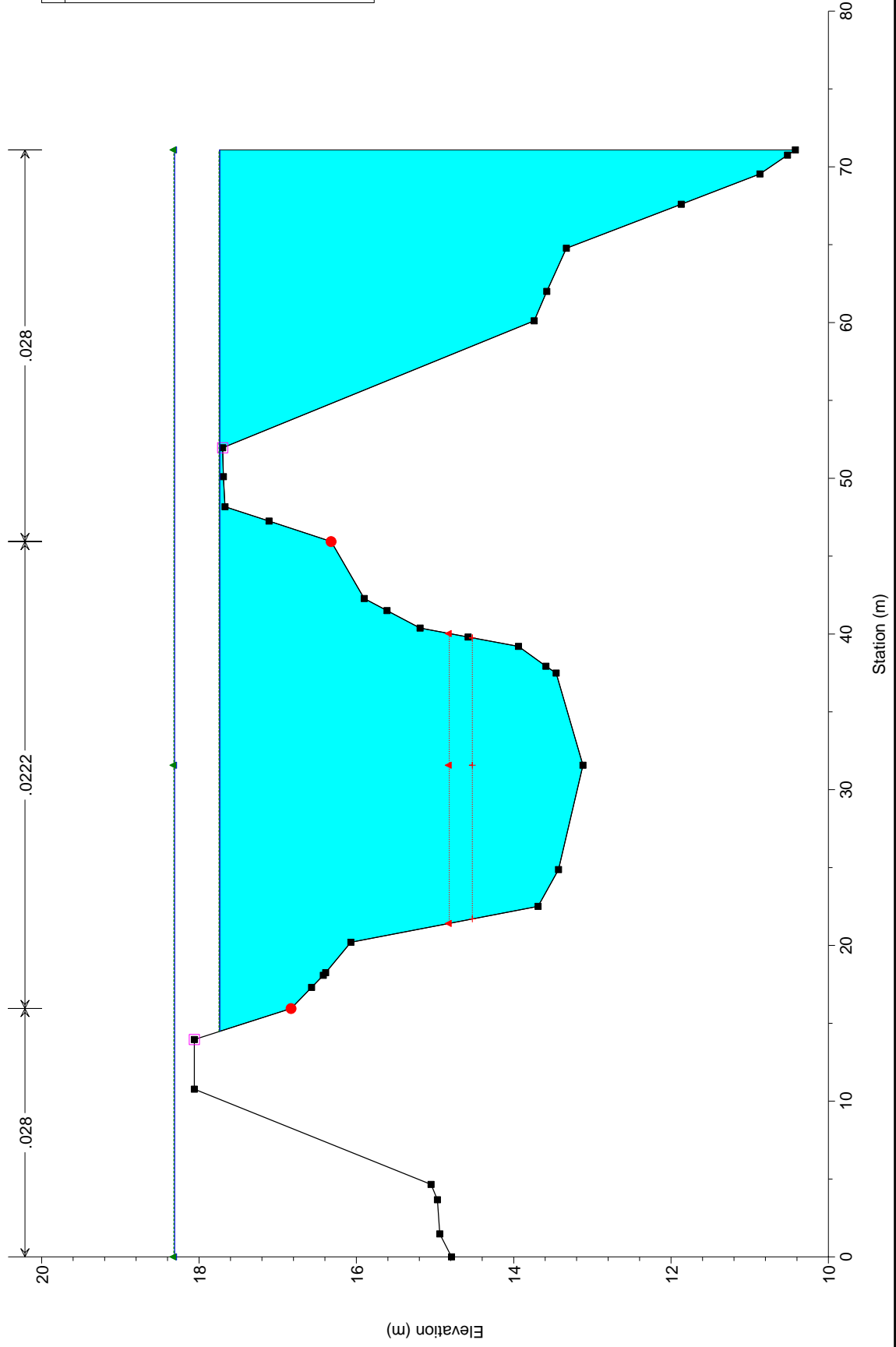


VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016



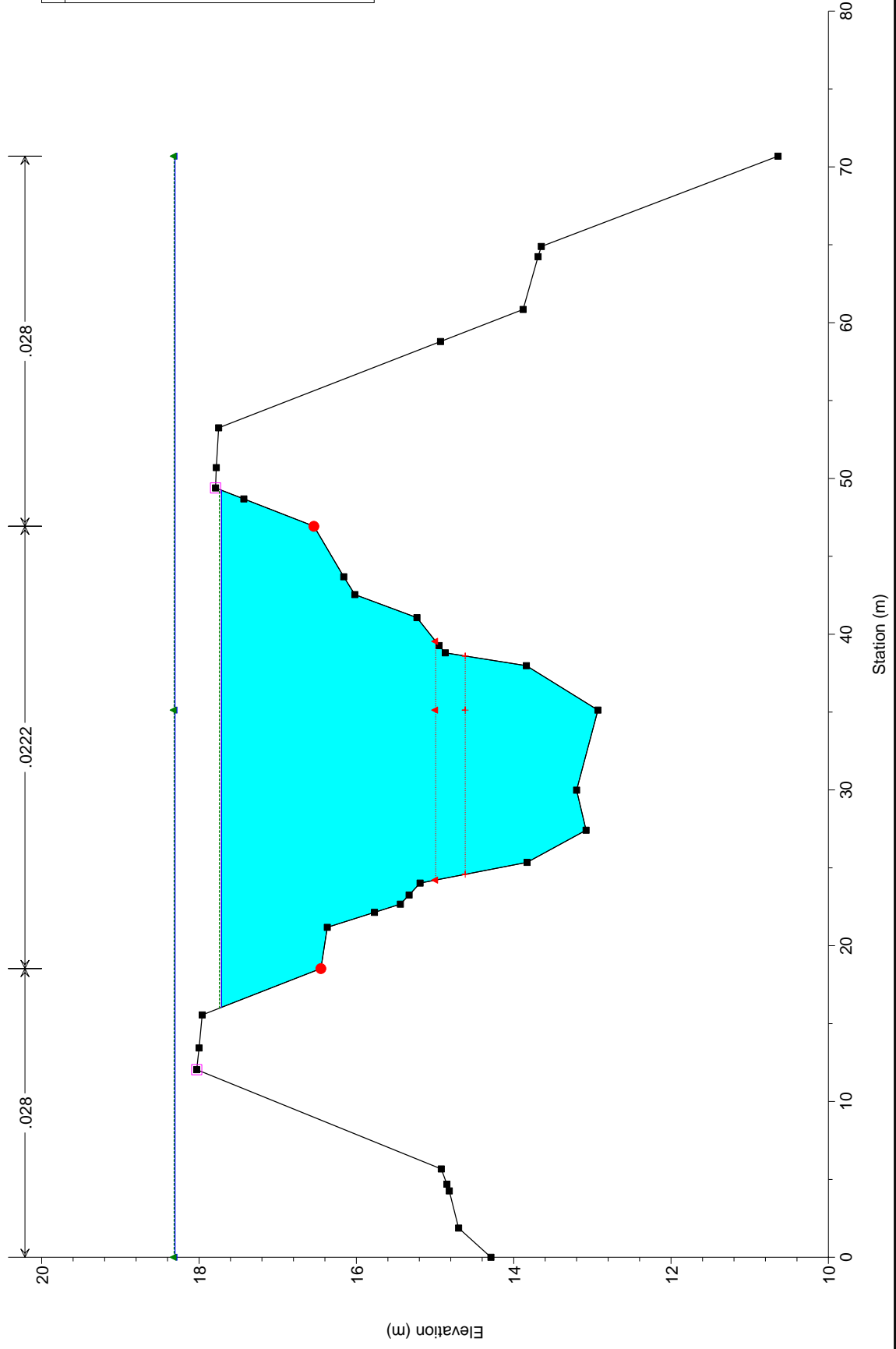
Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
EG TR50	▲
WS TR50	▲
Crit TR200	▲
Crit TR50	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016



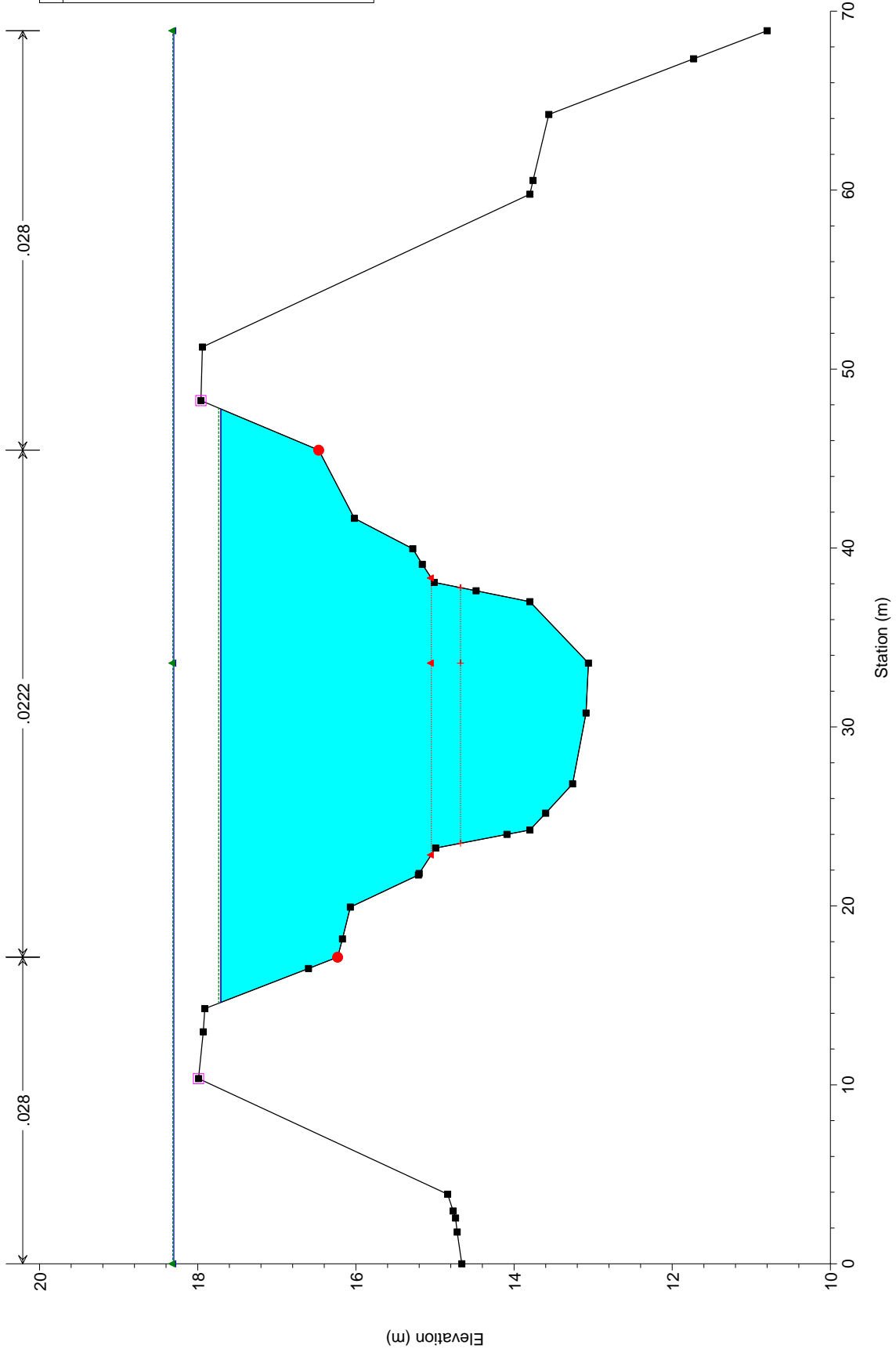
Legend	
EG TR200	Green dashed line with downward triangle
WS TR200	Blue solid line with downward triangle
EG TR50	Green dashed line with downward triangle
WS TR50	Blue solid line with downward triangle
Crit TR200	Red solid line with upward triangle
Crit TR50	Magenta solid line with upward triangle
Ground	Black solid line with square
Levee	Pink square
Bank Sta	Red circle

V1002 Plan: V1002-sdf 21/11/2016



Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▼
EG TR50	▲
WS TR50	▼
Crit TR200	▲
Crit TR50	+
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

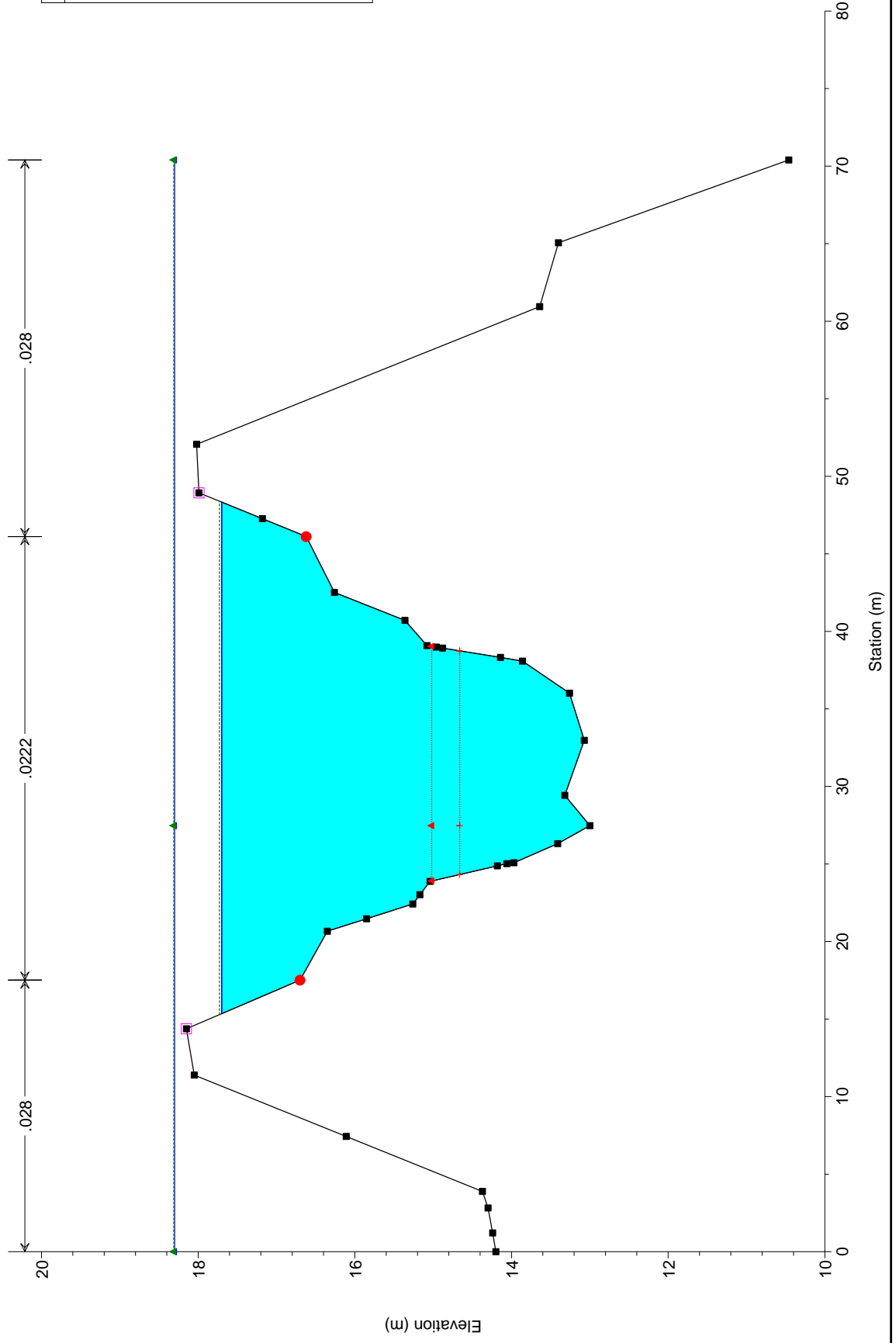
VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016



0.028 0.022 0.028

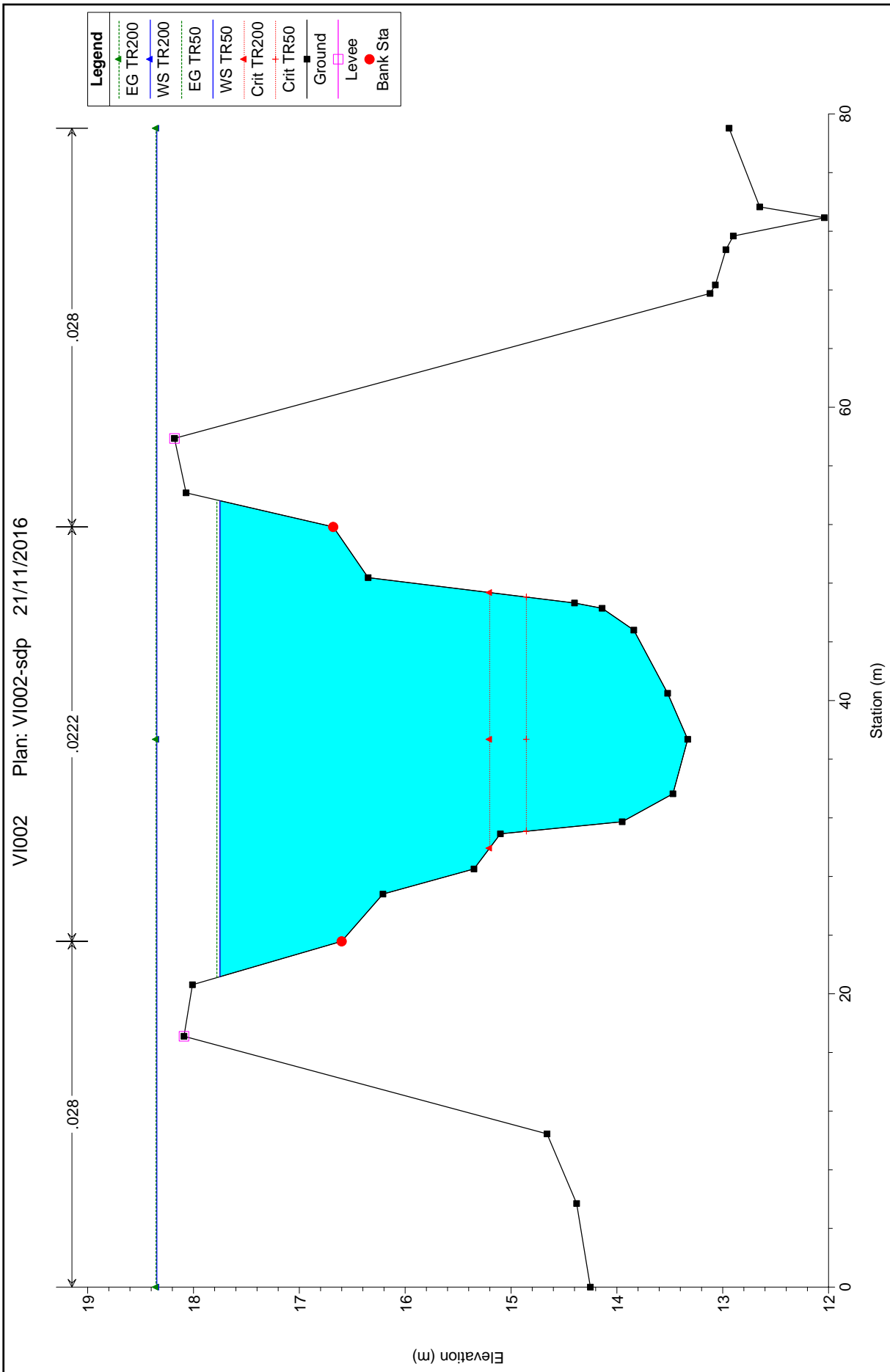
- Legend
- EG TR200
- WS TR200
- EG TR50
- WS TR50
- Crit TR200
- Crit TR50
- Ground
- Levee
- Bank Sta

VI002 Plan: VI002-sdf 21/11/2016



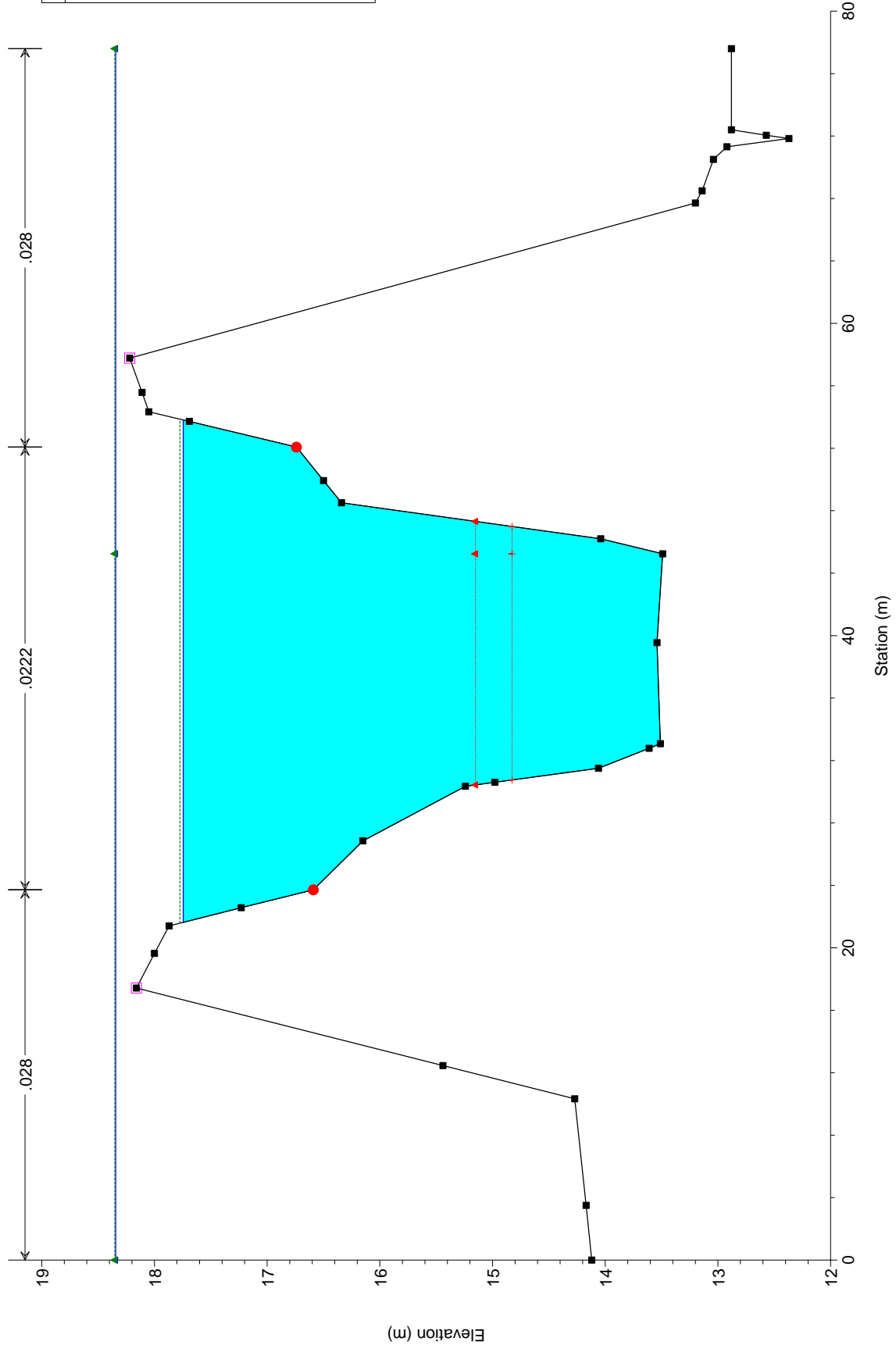
Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
EG TR50	▲
WS TR50	▲
Crit TR200	▲
Crit TR50	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

# Canale diversivo Navile: modellazione idraulica dello stato di progetto - sezioni



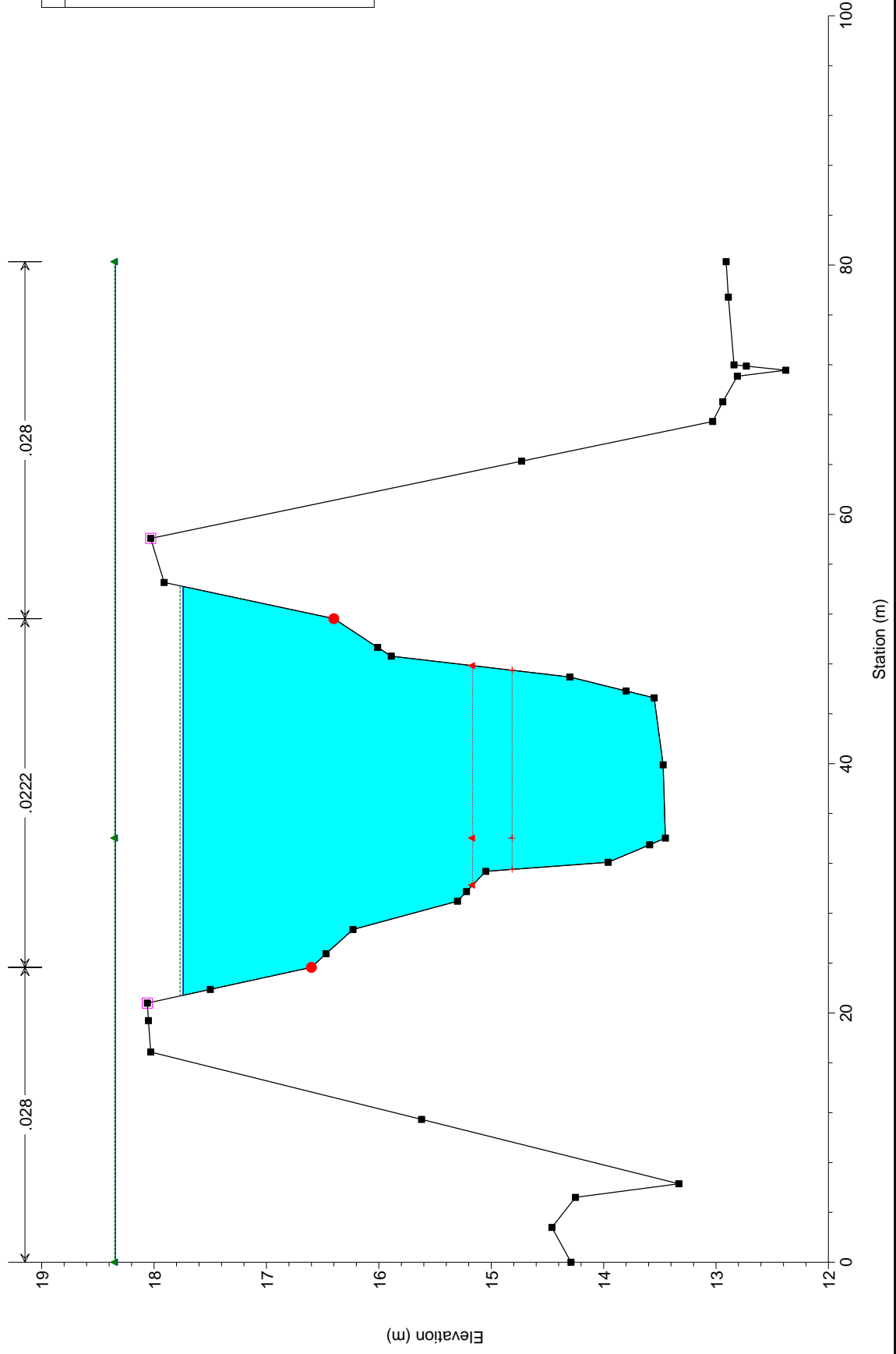


VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



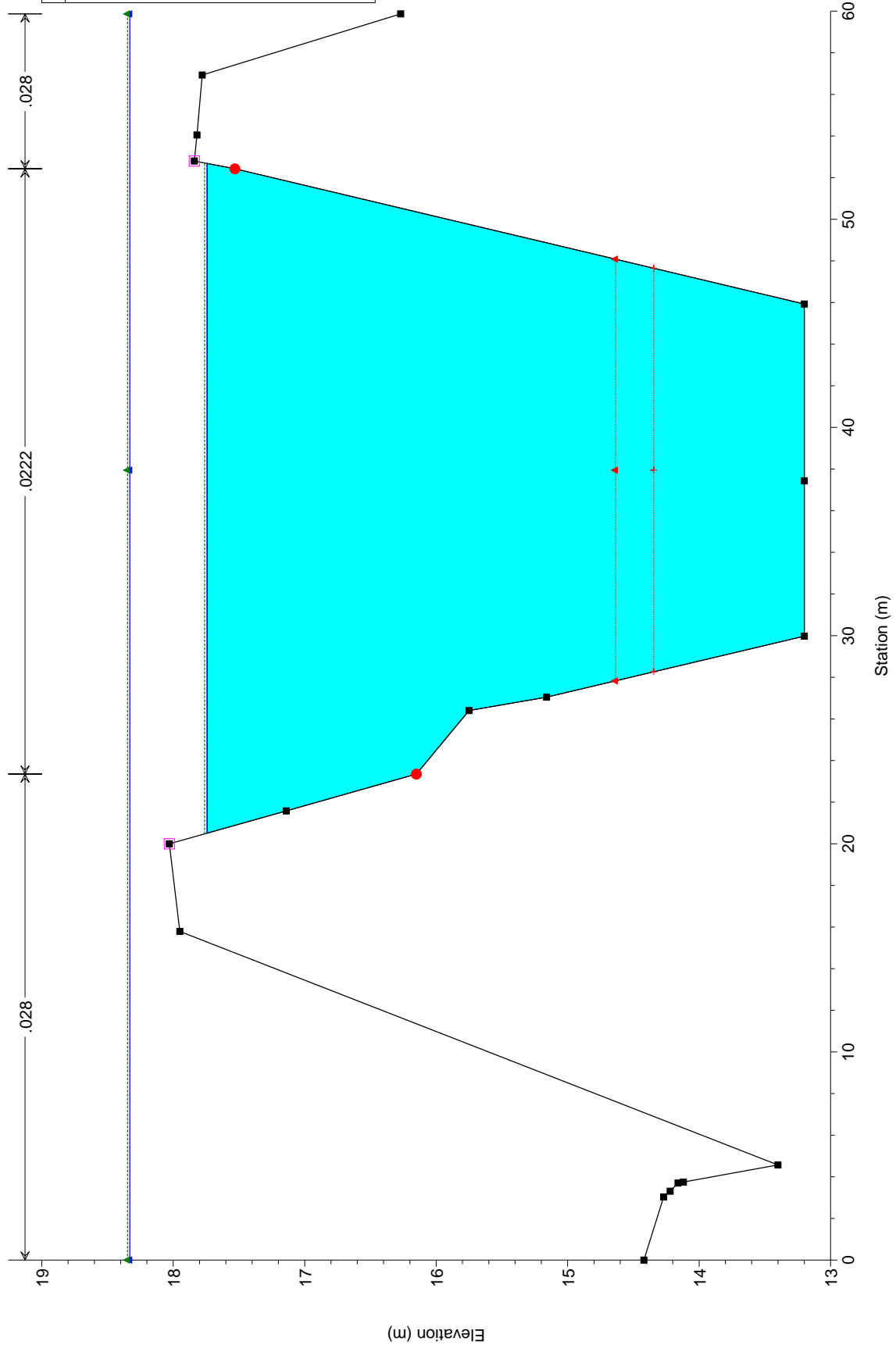
Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▼
EG TR50	▲
WS TR50	▼
Crit TR200	▲
Crit TR50	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016

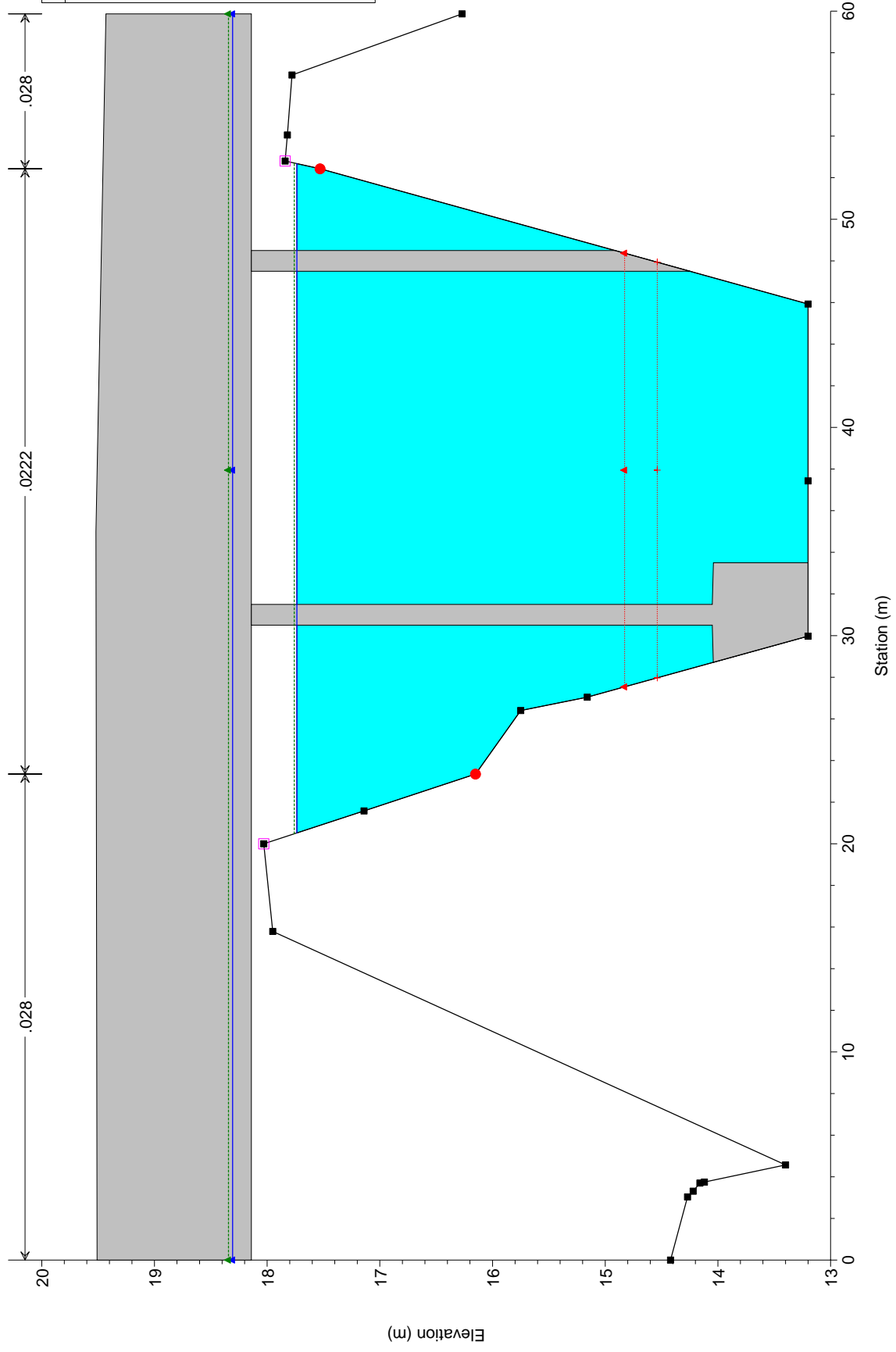


Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
EG TR50	▲
WS TR50	▲
Crit TR200	▲
Crit TR50	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016

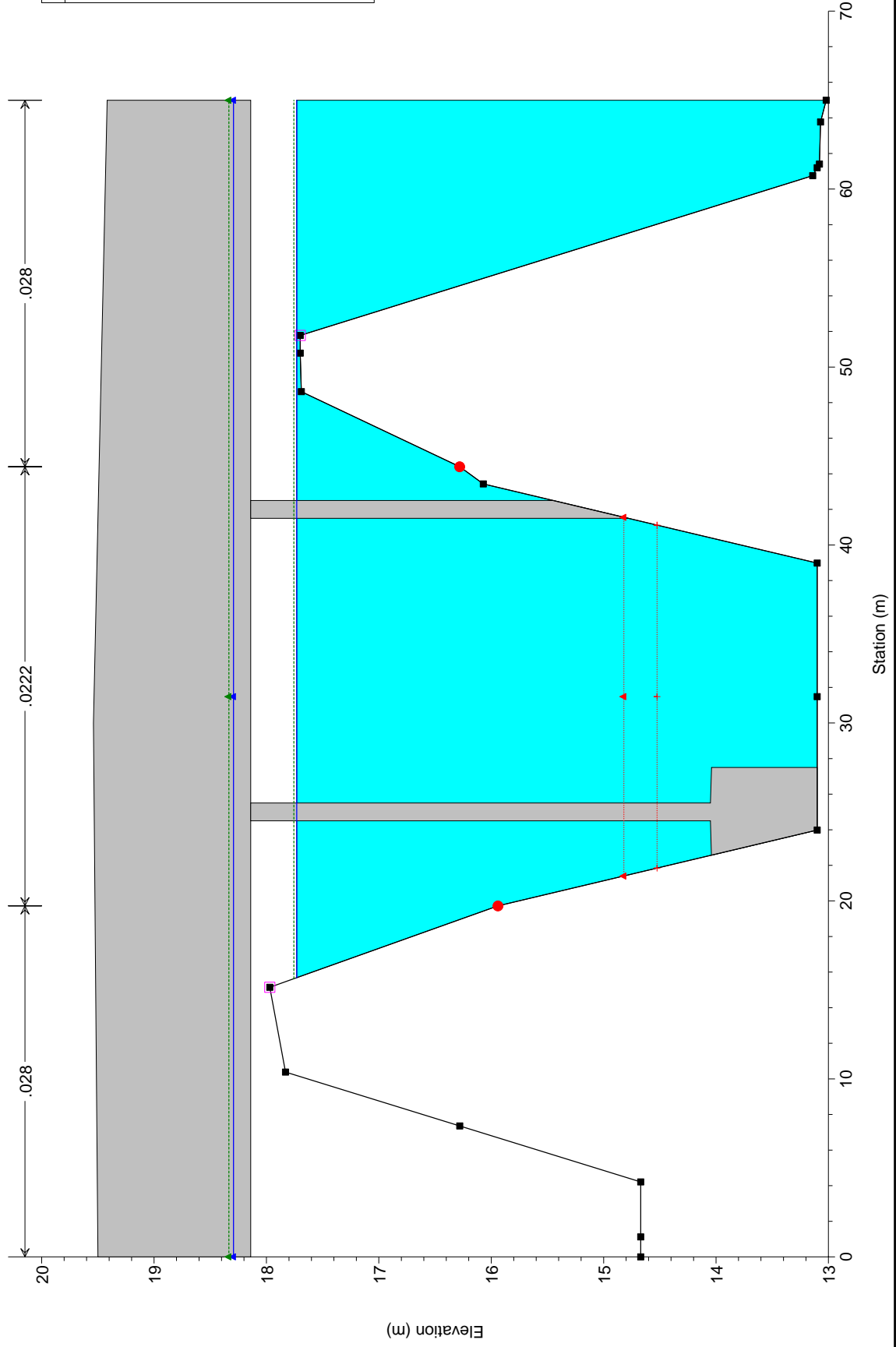


VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



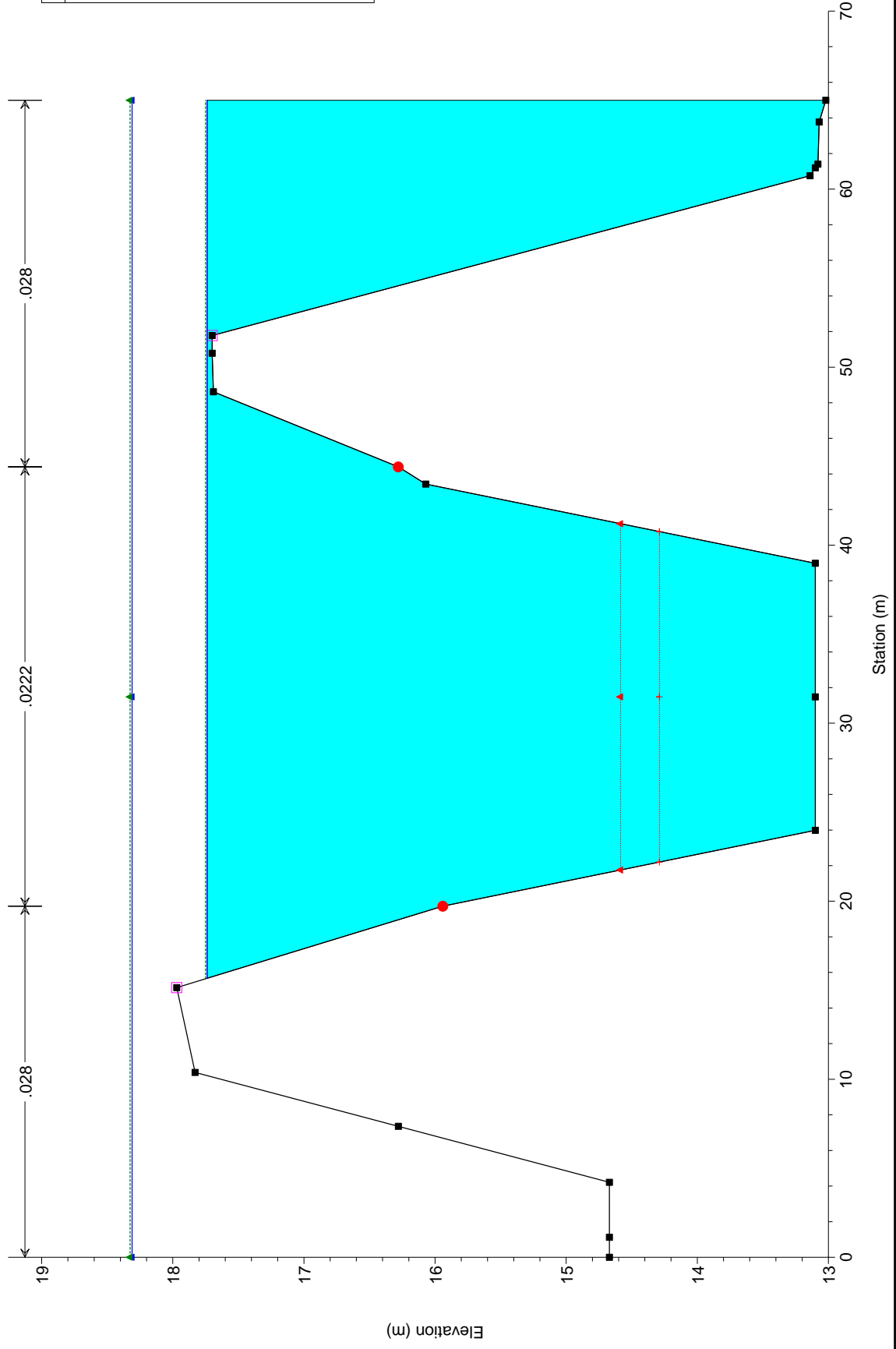
Legend	
EG TR200	Green dashed line with triangle
WS TR200	Blue solid line with triangle
EG TR50	Green dashed line with triangle
WS TR50	Blue solid line with triangle
Crit TR200	Red dashed line with triangle
Crit TR50	Red dashed line with triangle
Ground	Black solid line with square
Levee	Pink square
Bank Sta	Red circle

VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016

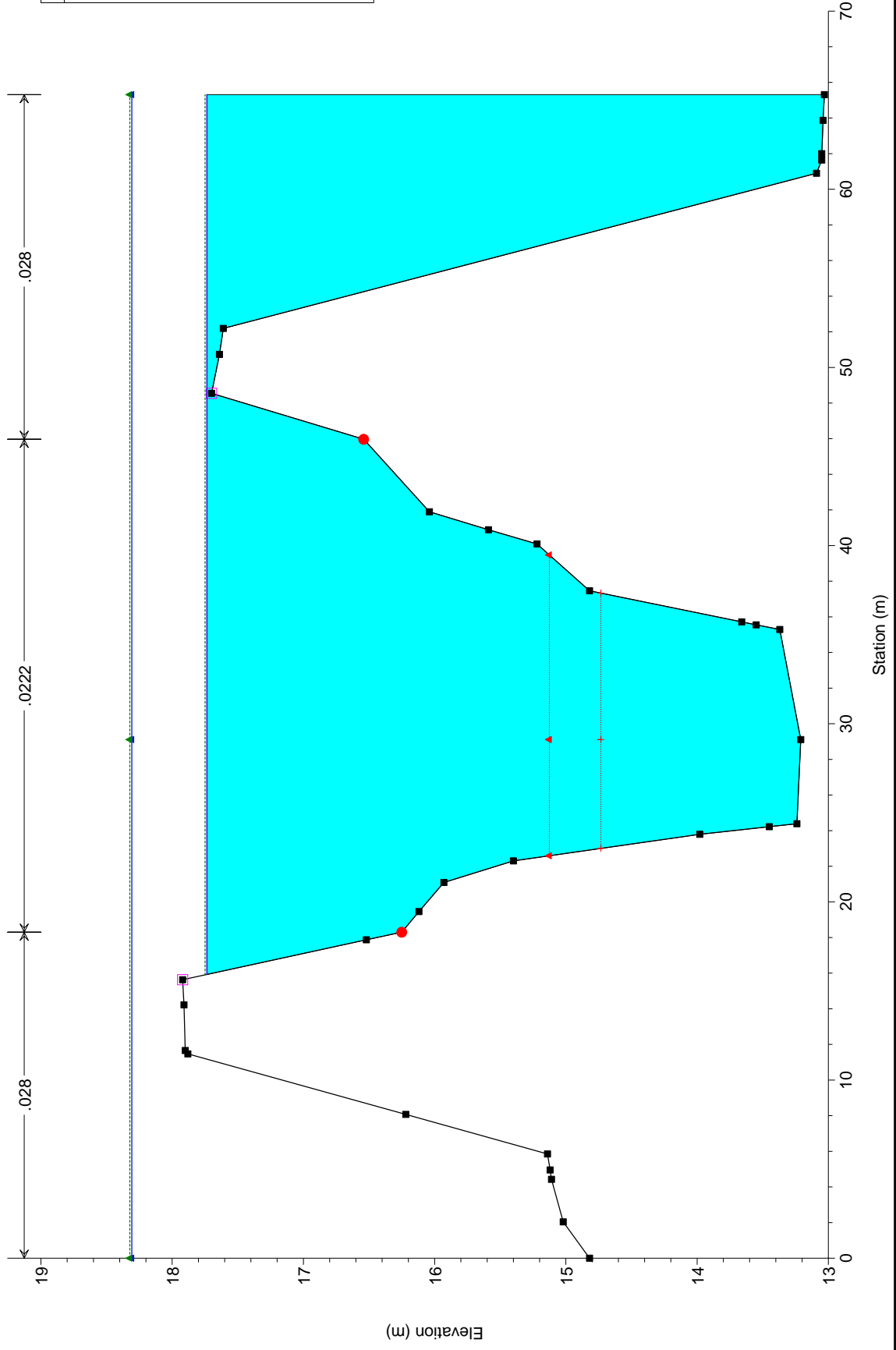


Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▼
EG TR50	●
WS TR50	●
Crit TR200	▲
Crit TR50	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

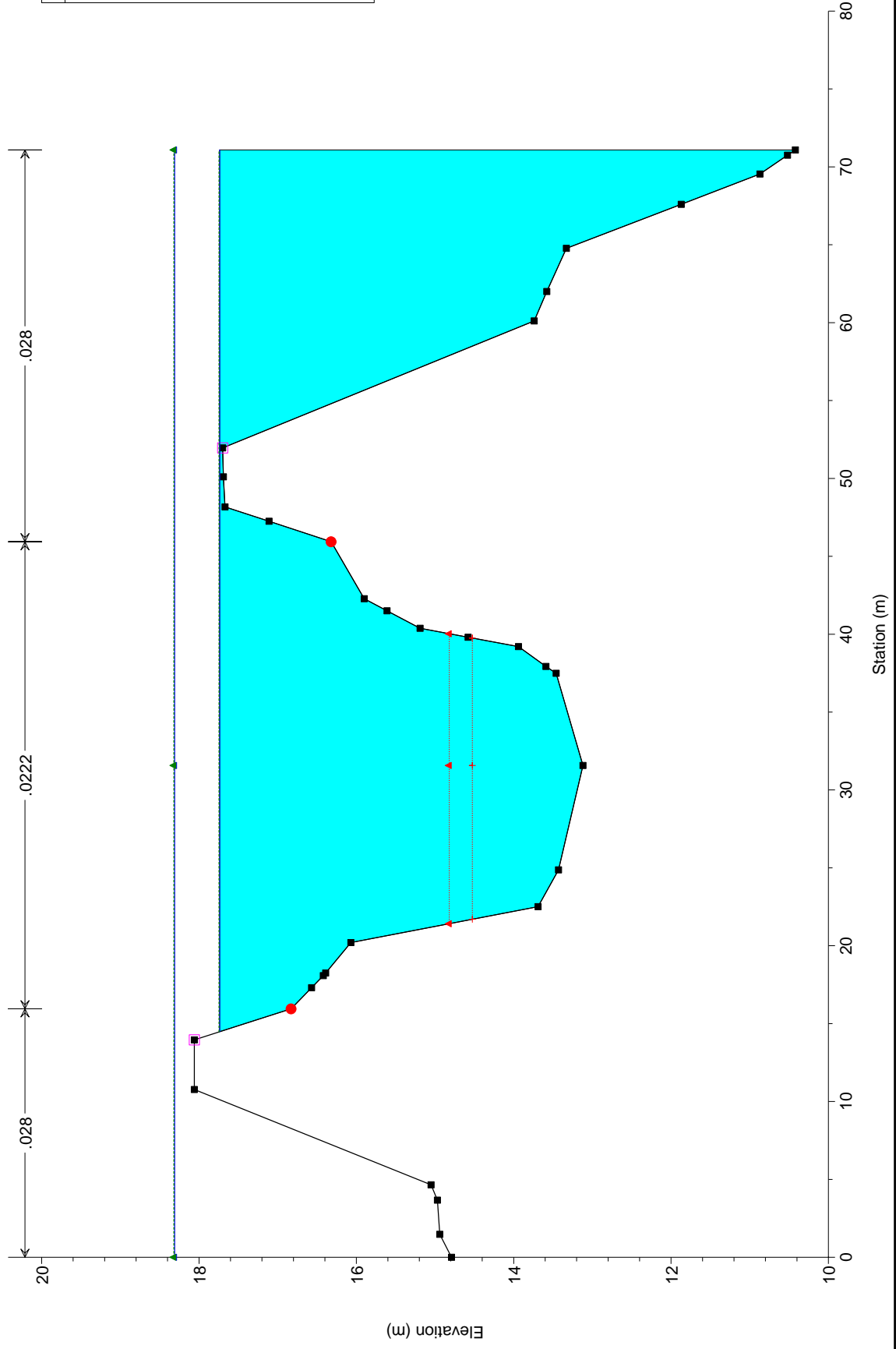
VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



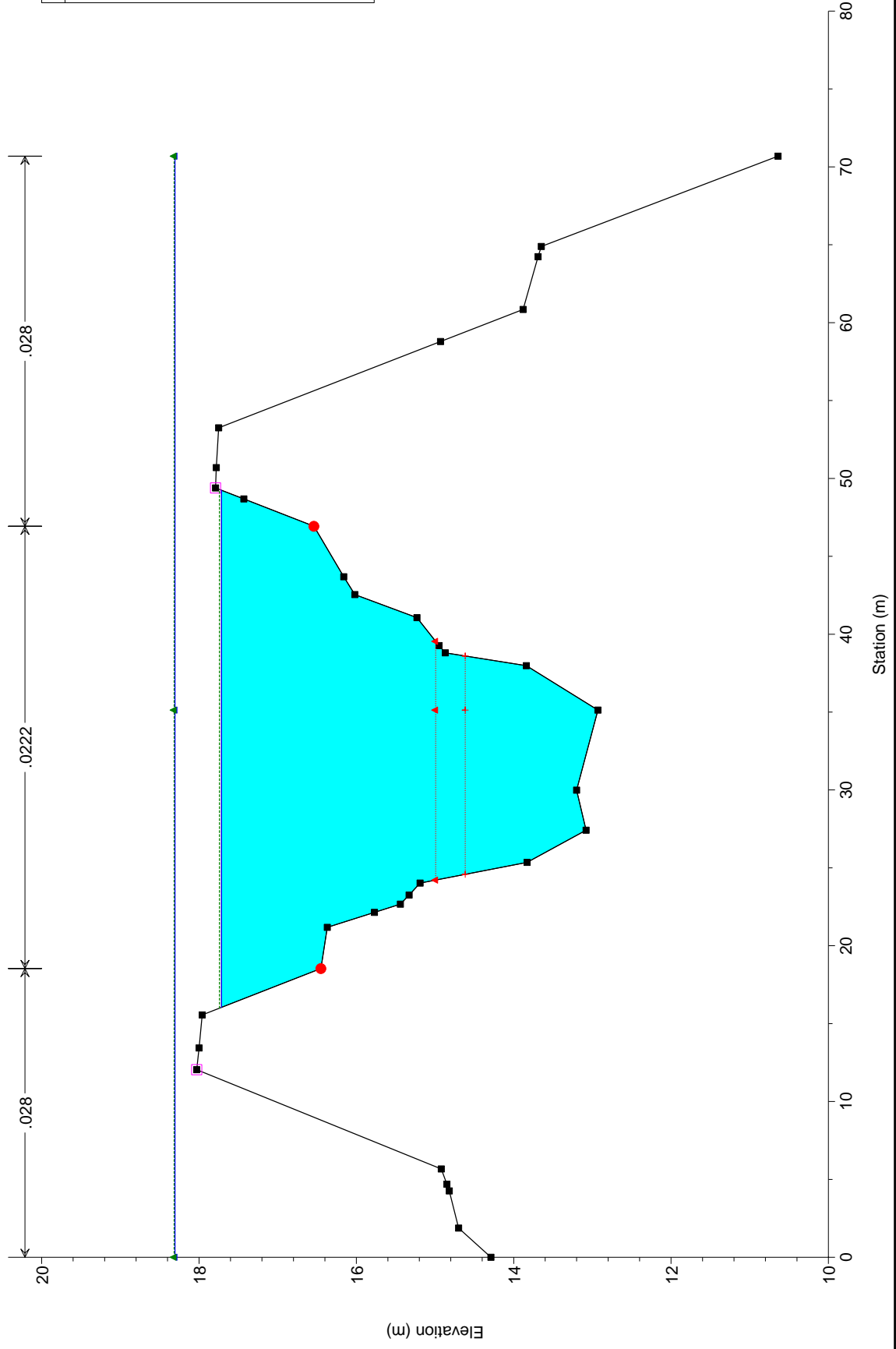
VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



Legend	
EG TR200	▲
WS TR200	▲
WS TR50	▲
Crit TR200	▲
Crit TR50	▲
Ground	■
Levee	□
Bank Sta	●

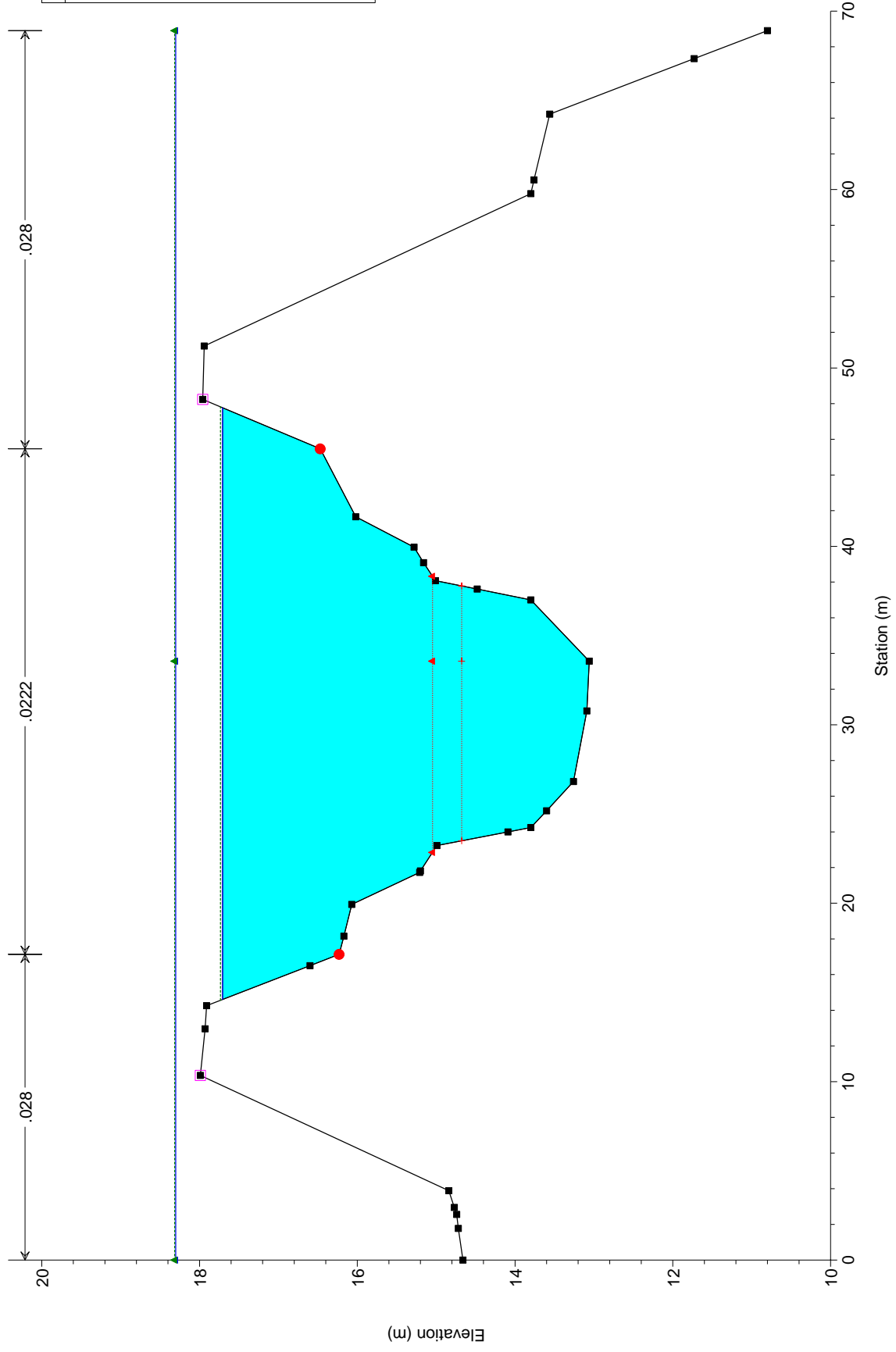


VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



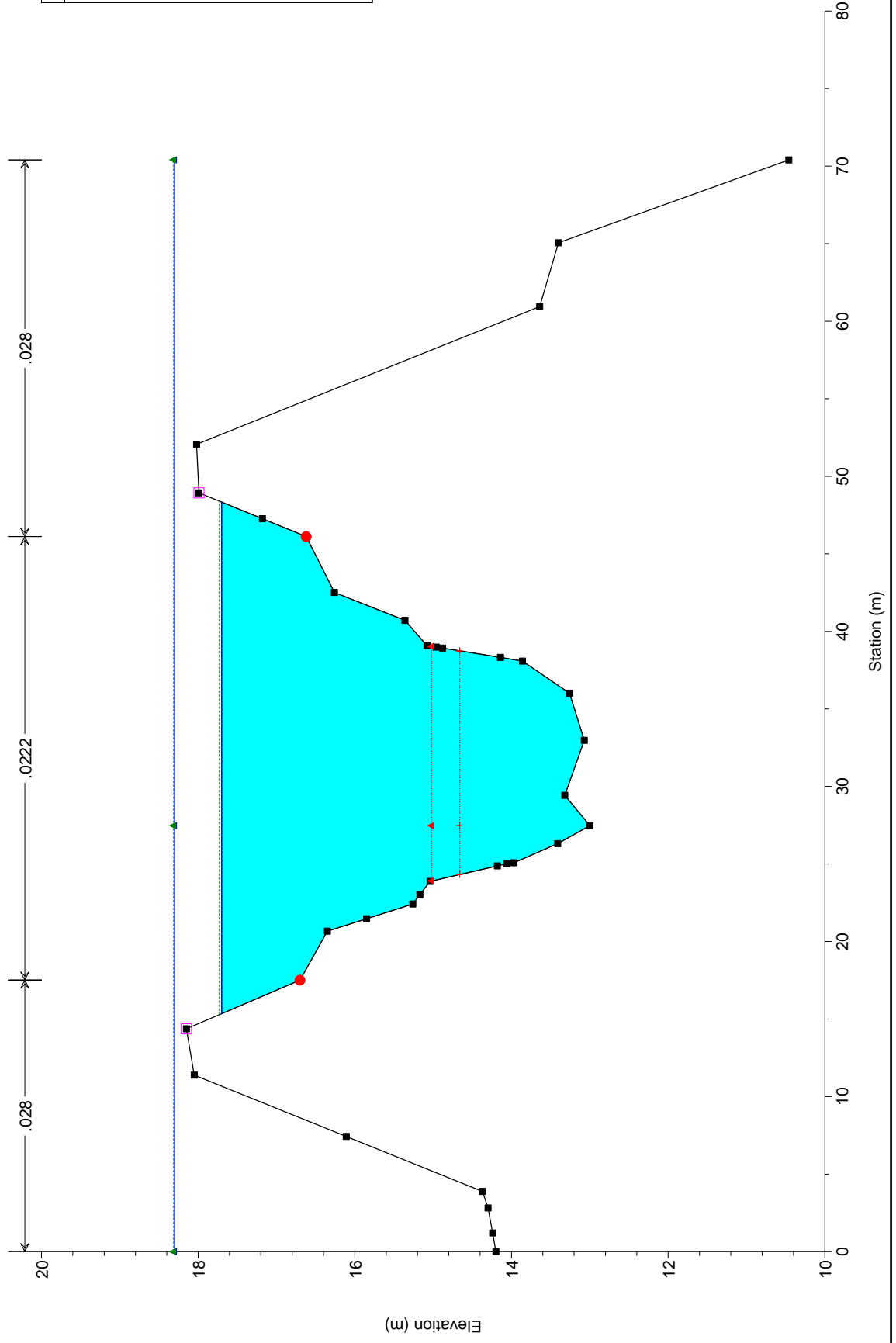
Legend	
EG TR200	Green dashed line with upward-pointing triangle
WS TR200	Blue solid line with downward-pointing triangle
EG TR50	Green dashed line with upward-pointing triangle
WS TR50	Blue solid line with downward-pointing triangle
Crit TR200	Red dashed line with upward-pointing triangle
Crit TR50	Red dashed line with upward-pointing triangle
Ground	Black solid line with square markers
Levee	Cyan shaded area
Bank Sta	Red solid circle

VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



Legend	
EG TR200	Green dashed line with triangle
WS TR200	Blue dashed line with triangle
EG TR50	Green dashed line with triangle
WS TR50	Blue dashed line with triangle
Crit TR200	Red dashed line with triangle
Crit TR50	Red dashed line with plus
Ground	Black solid line with square
Levee	Pink square
Bank Sta	Red circle

VI002 Plan: VI002-sdp 21/11/2016



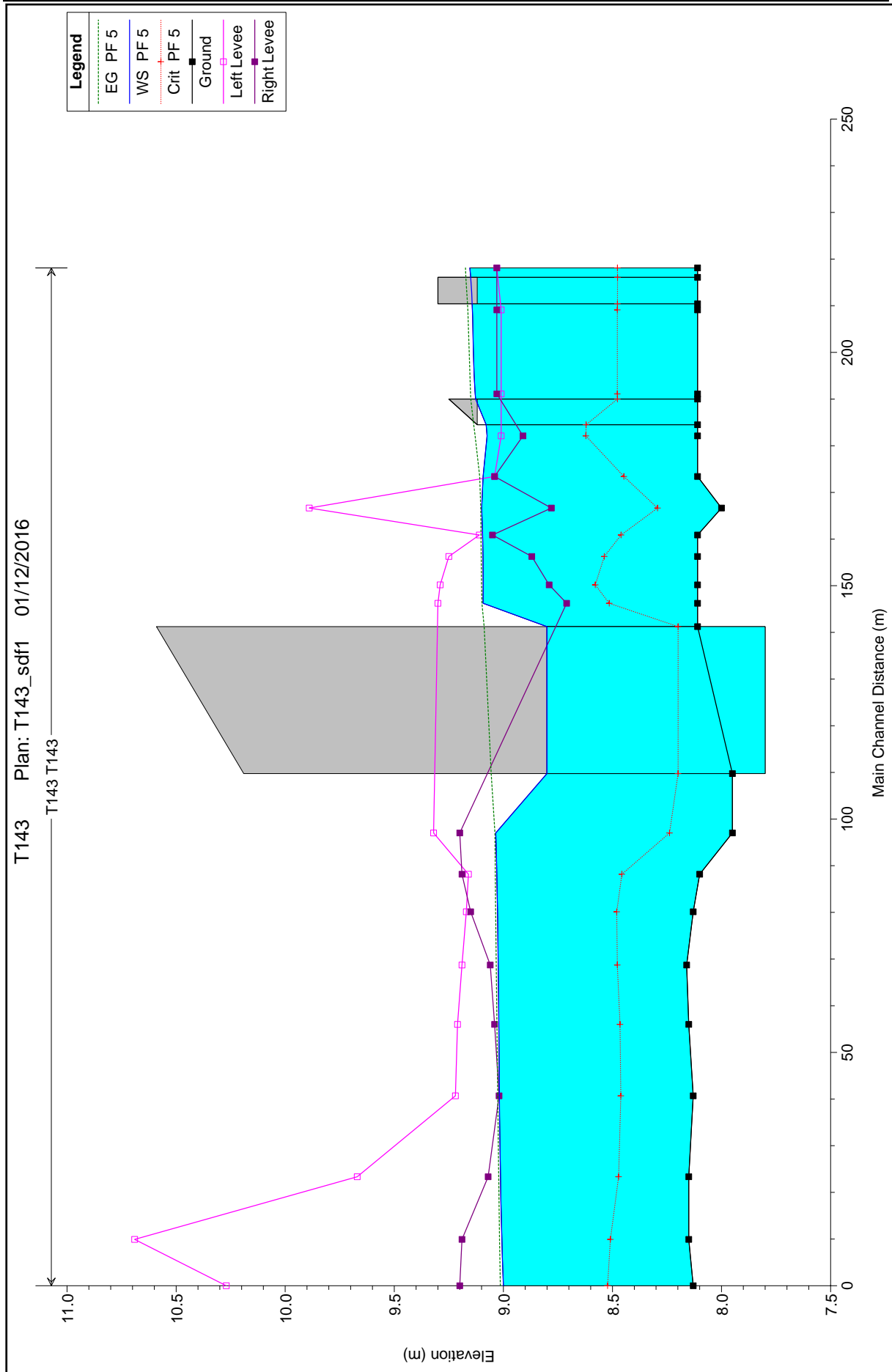
- Legend**
- EG TR200
  - WS TR200
  - EG TR50
  - WS TR50
  - Crit TR200
  - Crit TR50
  - Ground
  - Levee
  - Bank Sta

## 1.2 ALLEGATO 2: Corsi d'acqua di competenza del Consorzio di Bonifica pianura di Ferrara

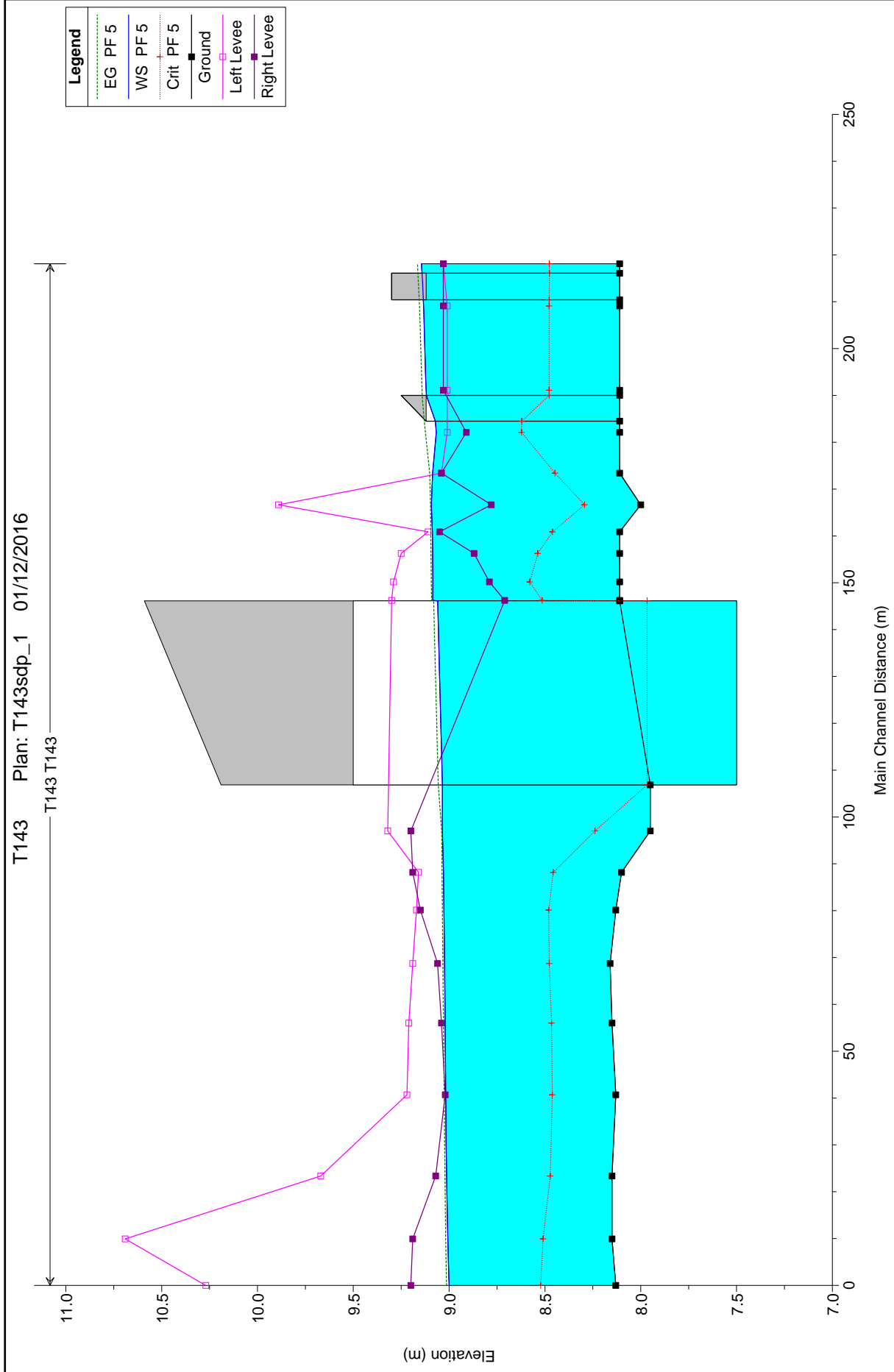
---

### 1.2.1 Scolo Uccellino

# Scolo Uccellino: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Scolo Uccellino: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Scolo Uccellino: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T143sdf\_1 River: T143 Reach: T143 Profile: PF 5

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T143	224	PF 5	1.00	8.11	9.15	8.48	9.17	0.000660	0.63	1.61	1.94	0.20
T143	222		Bridge									
T143	215	PF 5	1.00	8.11	9.14	8.48	9.16	0.000680	0.64	1.59	1.94	0.21
T143	197	PF 5	1.00	8.11	9.13	8.48	9.15	0.000713	0.65	1.56	1.94	0.21
T143	195.5		Bridge									
T143	188.1516	PF 5	1.00	8.11	9.07	8.62	9.13	0.002600	1.05	1.02	3.04	0.36
T143	179.4603	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.45	9.11	0.000562	0.55	1.89	5.54	0.21
T143	172.7016	PF 5	1.00	8.00	9.10	8.29	9.10	0.000086	0.29	3.52	6.04	0.10
T143	166.9135	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.46	9.10	0.000248	0.40	2.66	7.77	0.16
T143	162.3274	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.54	9.10	0.000243	0.42	2.86	8.04	0.16
T143	156.2382	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.58	9.10	0.000263	0.43	3.06	8.23	0.17
T143	152.2992	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.51	9.10	0.000169	0.37	3.47	6.89	0.13
T143	142		Culvert									
T143	103.0764	PF 5	1.00	7.95	9.04	8.24	9.04	0.000076	0.26	3.82	5.23	0.10
T143	94.23524	PF 5	1.00	8.10	9.03	8.46	9.04	0.000210	0.38	2.61	4.33	0.16
T143	86.2001	PF 5	1.00	8.13	9.03	8.48	9.04	0.000242	0.40	2.48	4.24	0.17
T143	74.79369	PF 5	1.00	8.16	9.02	8.48	9.03	0.000244	0.41	2.46	4.16	0.17
T143	62.07475	PF 5	1.00	8.15	9.02	8.47	9.03	0.000240	0.41	2.46	4.07	0.17
T143	46.75965	PF 5	1.00	8.13	9.02	8.46	9.03	0.000230	0.40	2.51	4.14	0.16
T143	29.43226	PF 5	1.00	8.15	9.01	8.47	9.02	0.000226	0.39	2.55	4.38	0.16
T143	16.00098	PF 5	1.00	8.15	9.01	8.51	9.02	0.000330	0.46	2.17	3.78	0.19
T143	6.06605	PF 5	1.00	8.13	9.00	8.52	9.01	0.000430	0.52	1.94	3.34	0.22

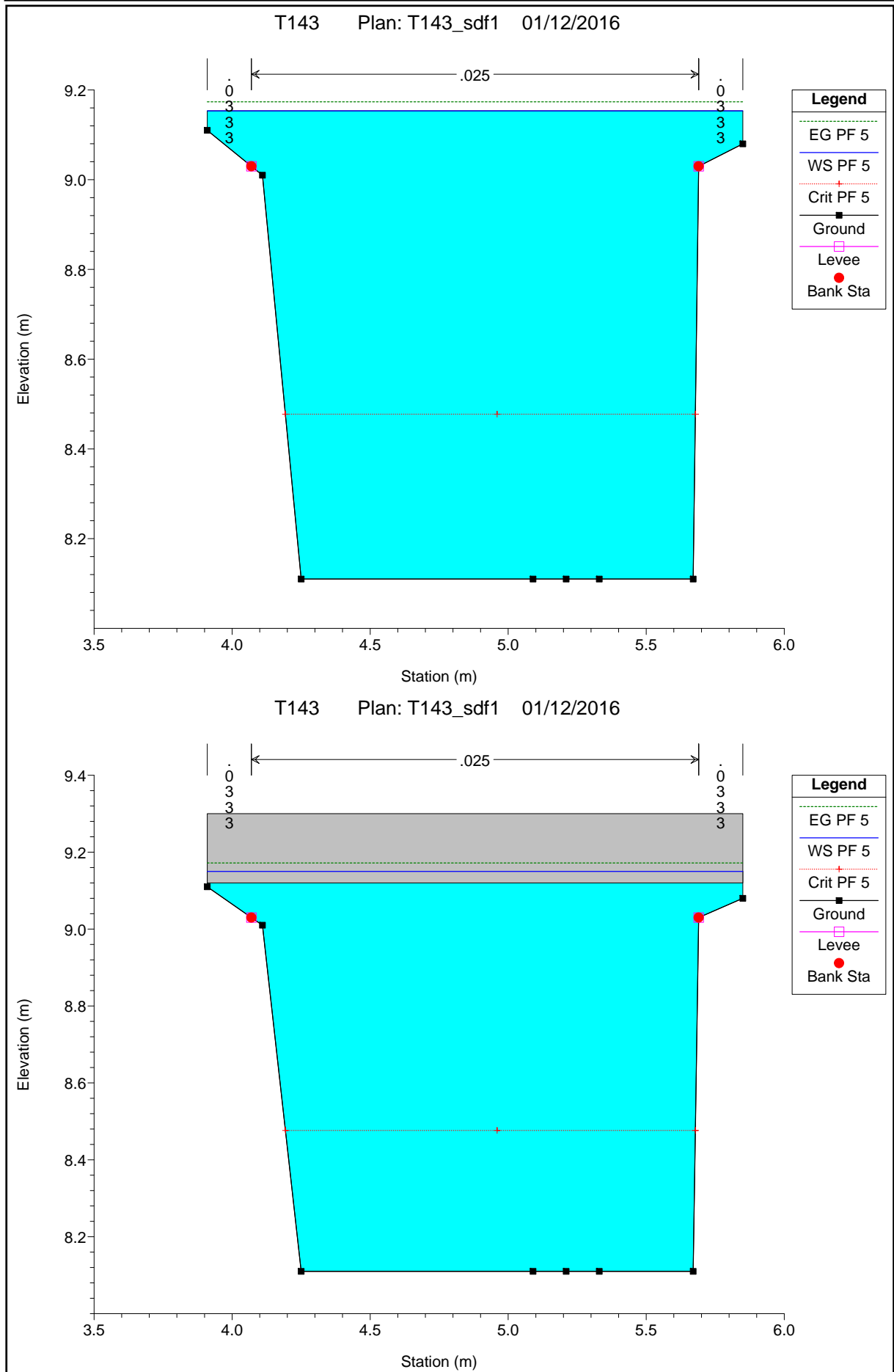
# Scolo Uccellino: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T143sdp\_1 River: T143 Reach: T143 Profile: PF 5

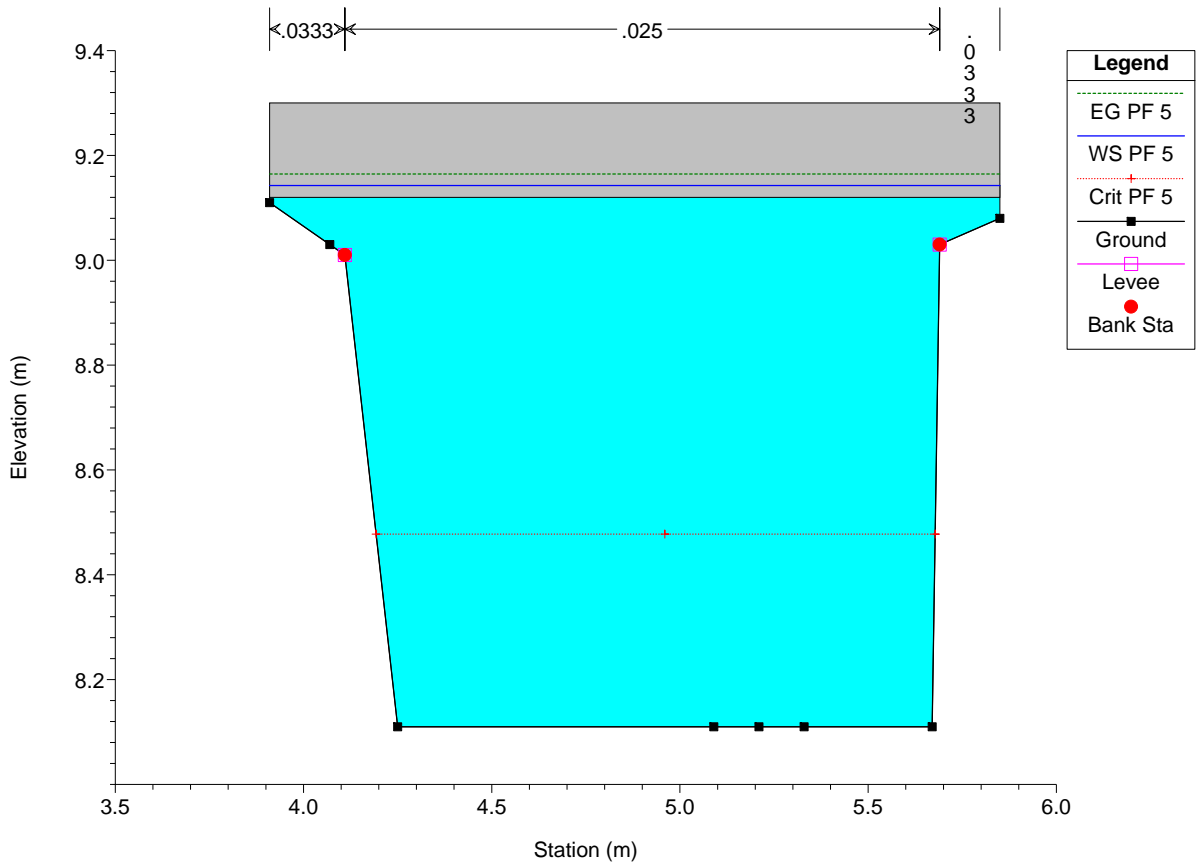
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T143	224	PF 5	1.00	8.11	9.14	8.48	9.16	0.000682	0.64	1.59	1.94	0.21
T143	222	Bridge										
T143	215	PF 5	1.00	8.11	9.13	8.48	9.15	0.000702	0.65	1.57	1.94	0.21
T143	197	PF 5	1.00	8.11	9.12	8.48	9.14	0.000737	0.66	1.55	1.94	0.21
T143	195.5	Bridge										
T143	188.1516	PF 5	1.00	8.11	9.07	8.62	9.12	0.002694	1.06	1.00	2.79	0.37
T143	179.4603	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.45	9.10	0.000585	0.55	1.85	5.17	0.22
T143	172.7016	PF 5	1.00	8.00	9.09	8.29	9.10	0.000088	0.29	3.47	5.76	0.10
T143	166.9135	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.46	9.10	0.000259	0.40	2.61	7.77	0.17
T143	162.3274	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.54	9.09	0.000254	0.42	2.80	8.04	0.17
T143	156.2382	PF 5	1.00	8.11	9.08	8.58	9.09	0.000277	0.44	2.99	8.22	0.17
T143	152.2992	PF 5	1.00	8.11	9.09	8.51	9.09	0.000176	0.37	3.42	6.88	0.14
T143	142	Culvert										
T143	103.0764	PF 5	1.00	7.95	9.04	8.24	9.04	0.000076	0.26	3.82	5.23	0.10
T143	94.23524	PF 5	1.00	8.10	9.03	8.46	9.04	0.000210	0.38	2.61	4.33	0.16
T143	86.2001	PF 5	1.00	8.13	9.03	8.48	9.04	0.000242	0.40	2.48	4.24	0.17
T143	74.79369	PF 5	1.00	8.16	9.02	8.48	9.03	0.000244	0.41	2.46	4.16	0.17
T143	62.07475	PF 5	1.00	8.15	9.02	8.47	9.03	0.000240	0.41	2.46	4.07	0.17
T143	46.75965	PF 5	1.00	8.13	9.02	8.46	9.03	0.000230	0.40	2.51	4.14	0.16
T143	29.43226	PF 5	1.00	8.15	9.01	8.47	9.02	0.000226	0.39	2.55	4.38	0.16
T143	16.00098	PF 5	1.00	8.15	9.01	8.51	9.02	0.000330	0.46	2.17	3.78	0.19
T143	6.06605	PF 5	1.00	8.13	9.00	8.52	9.01	0.000430	0.52	1.94	3.34	0.22



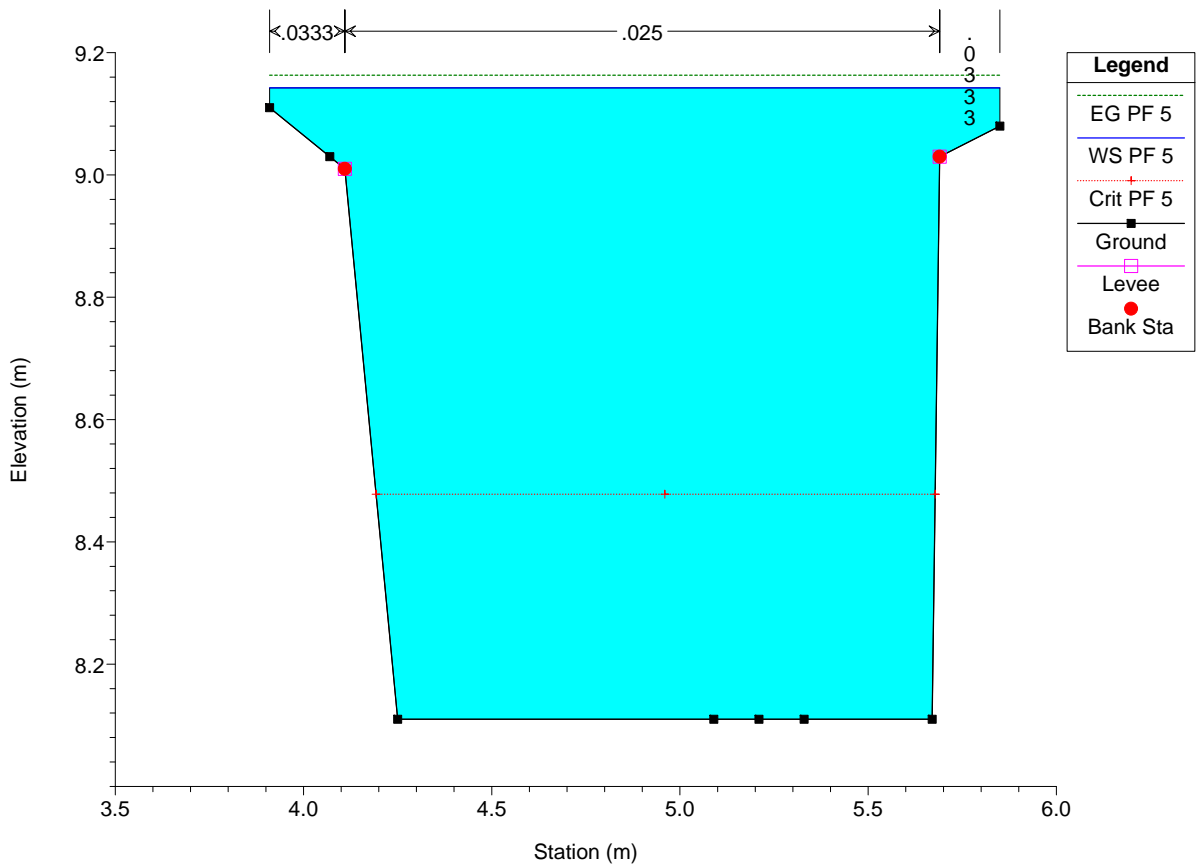
# Scolo Uccellino: modellazione idraulica dello stato di fatto - sezioni



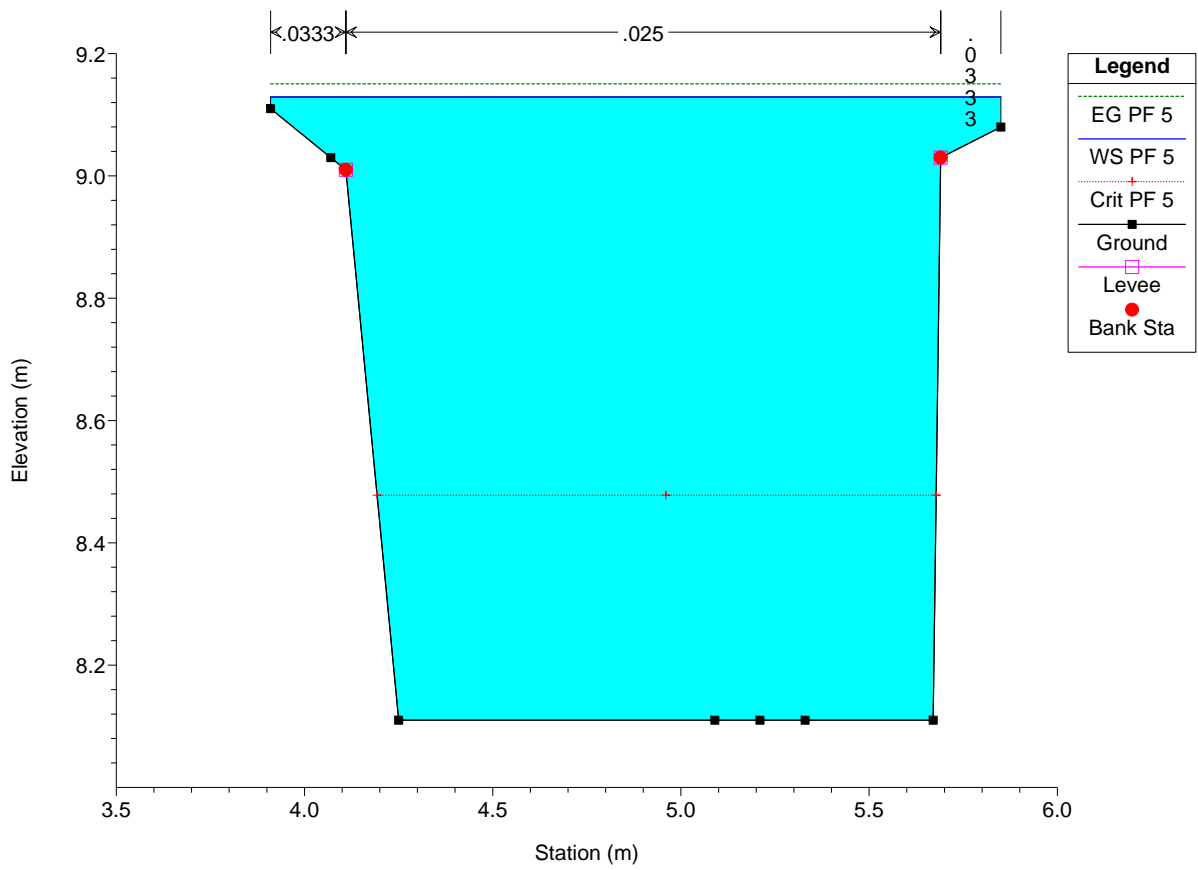
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



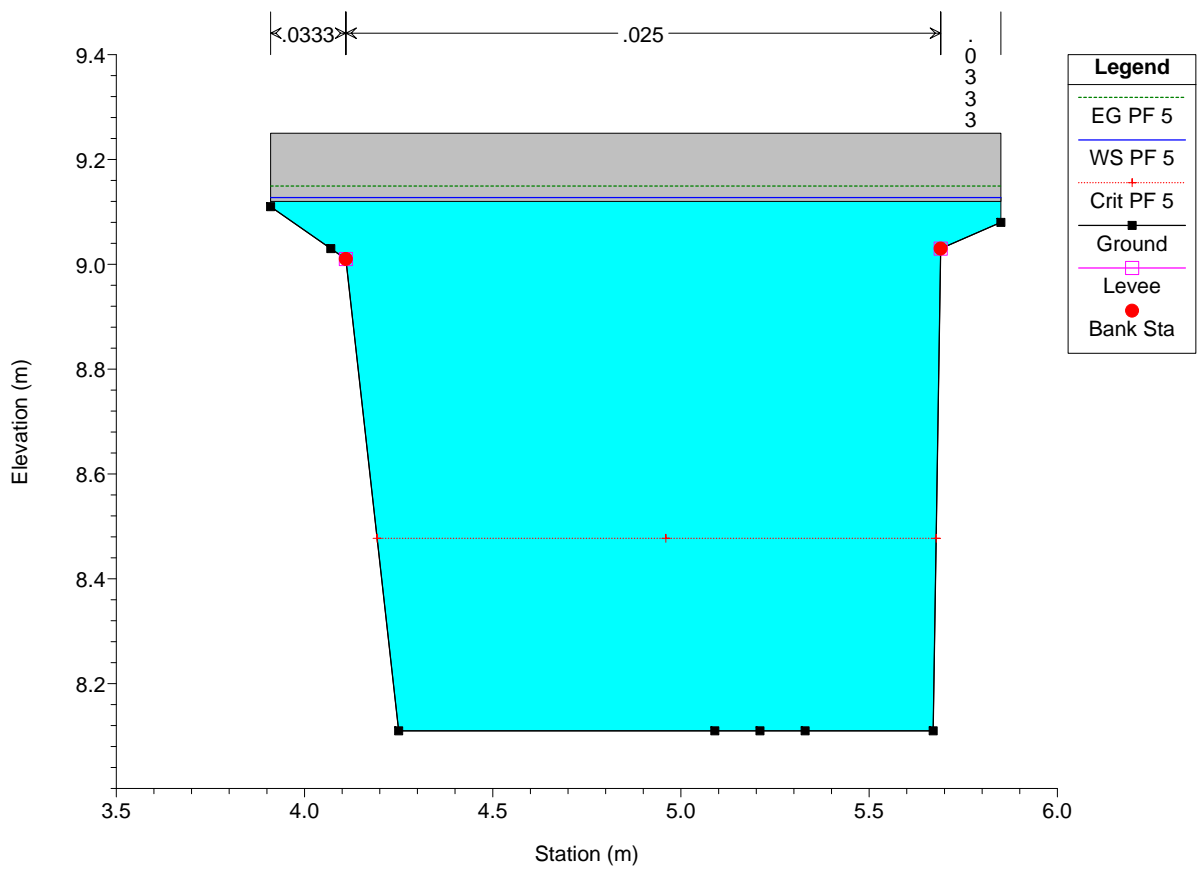
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



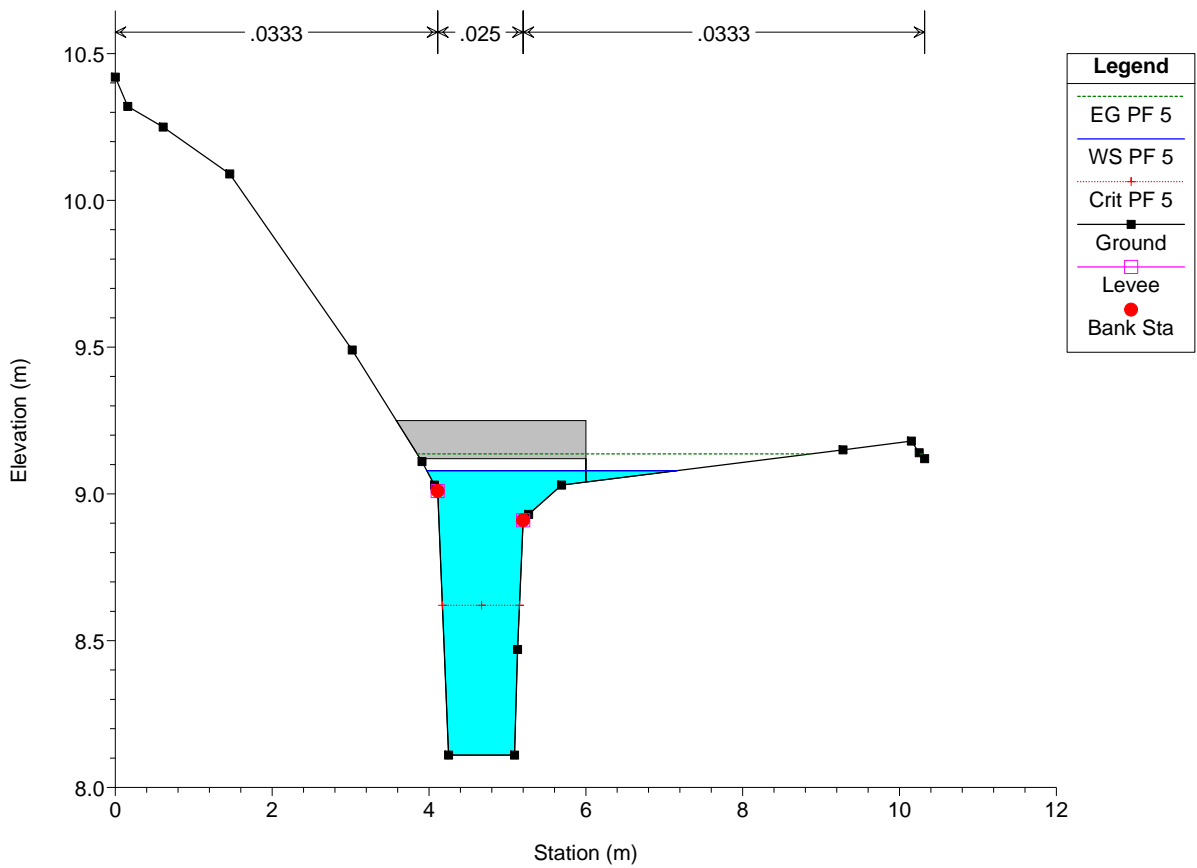
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



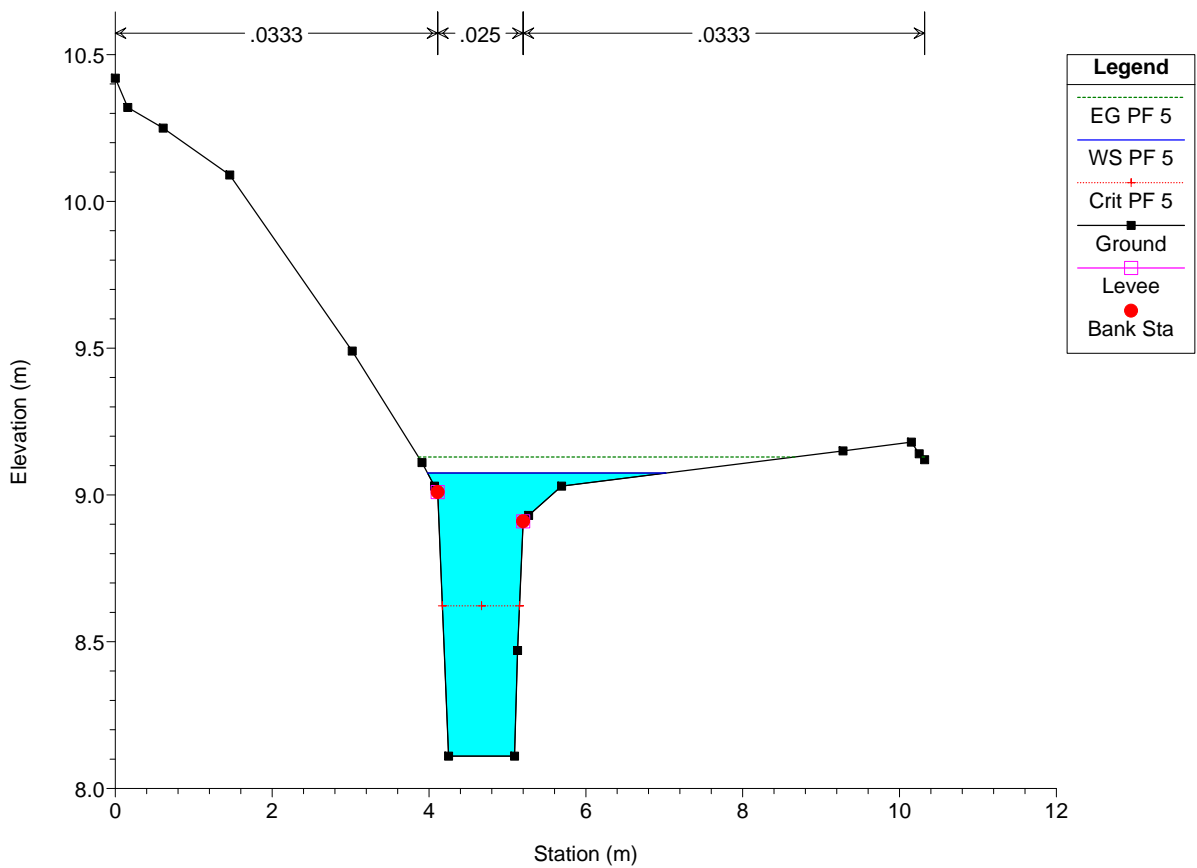
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



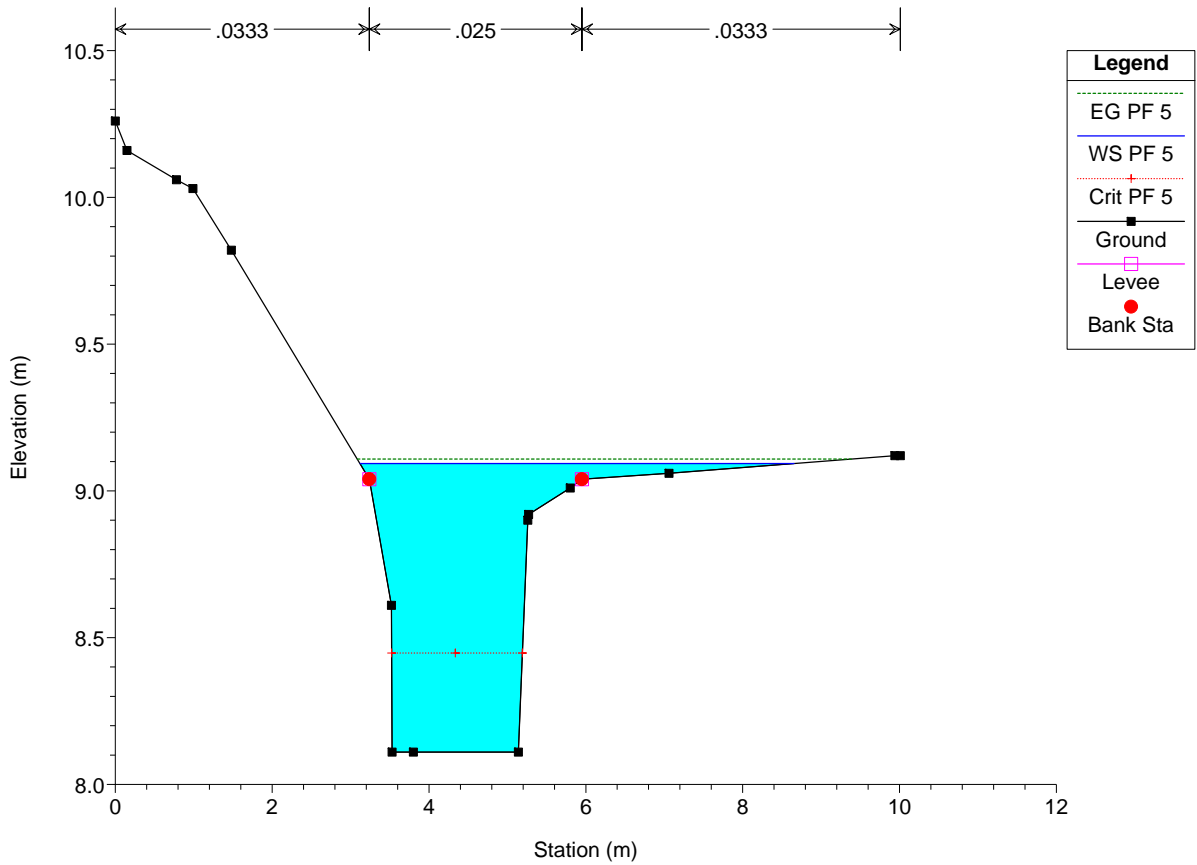
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



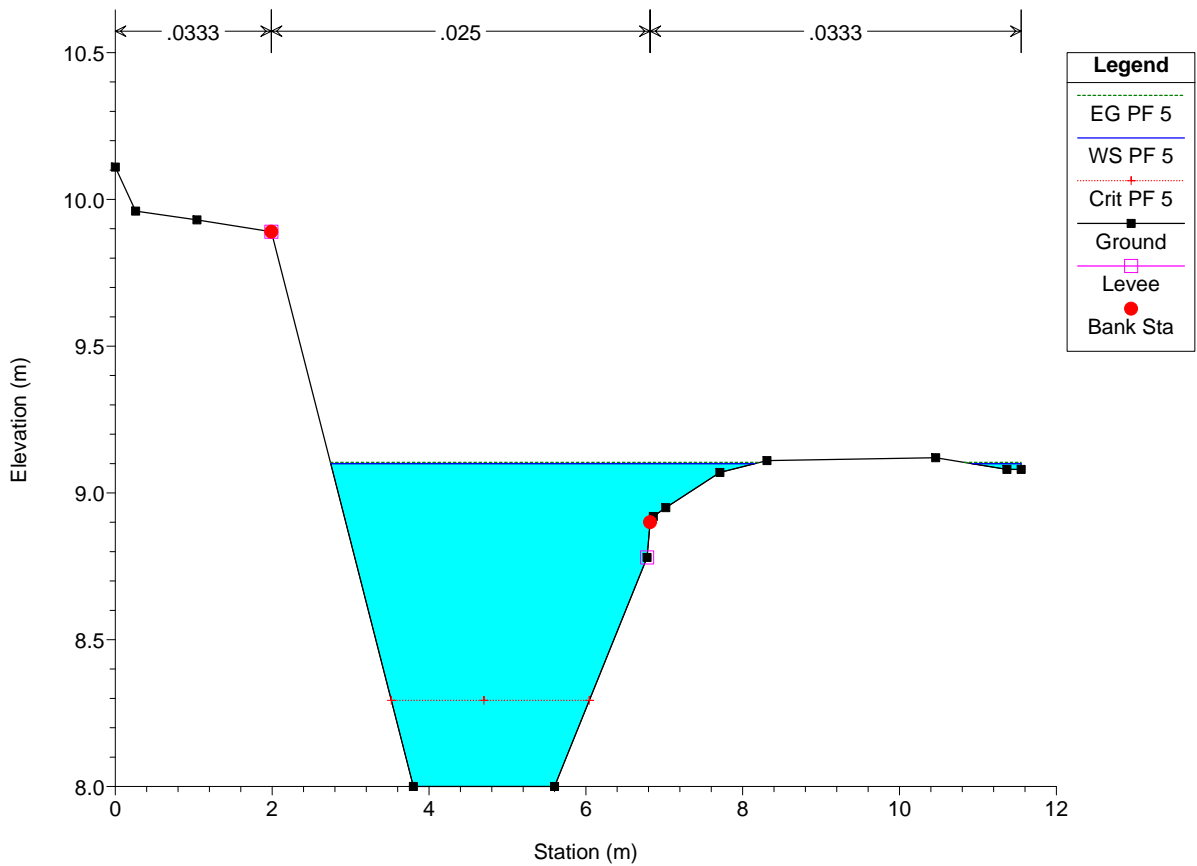
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



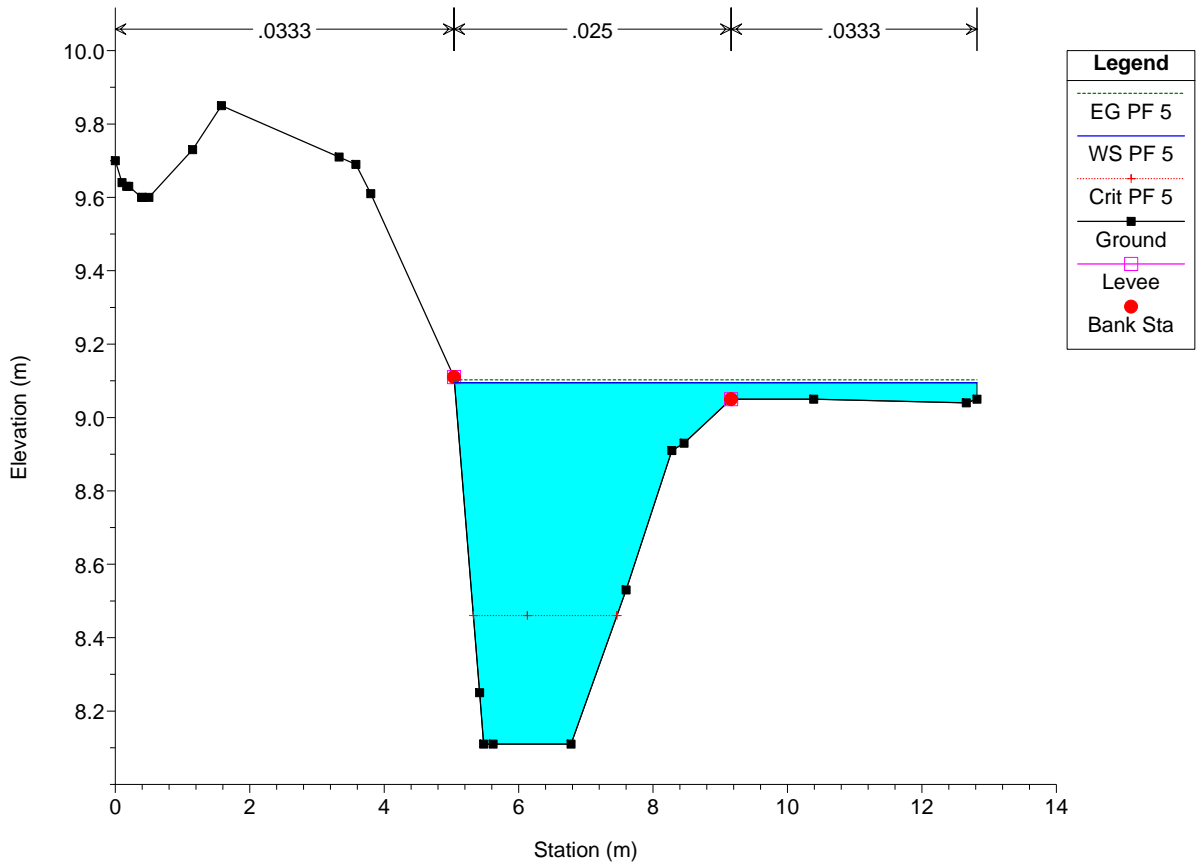
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



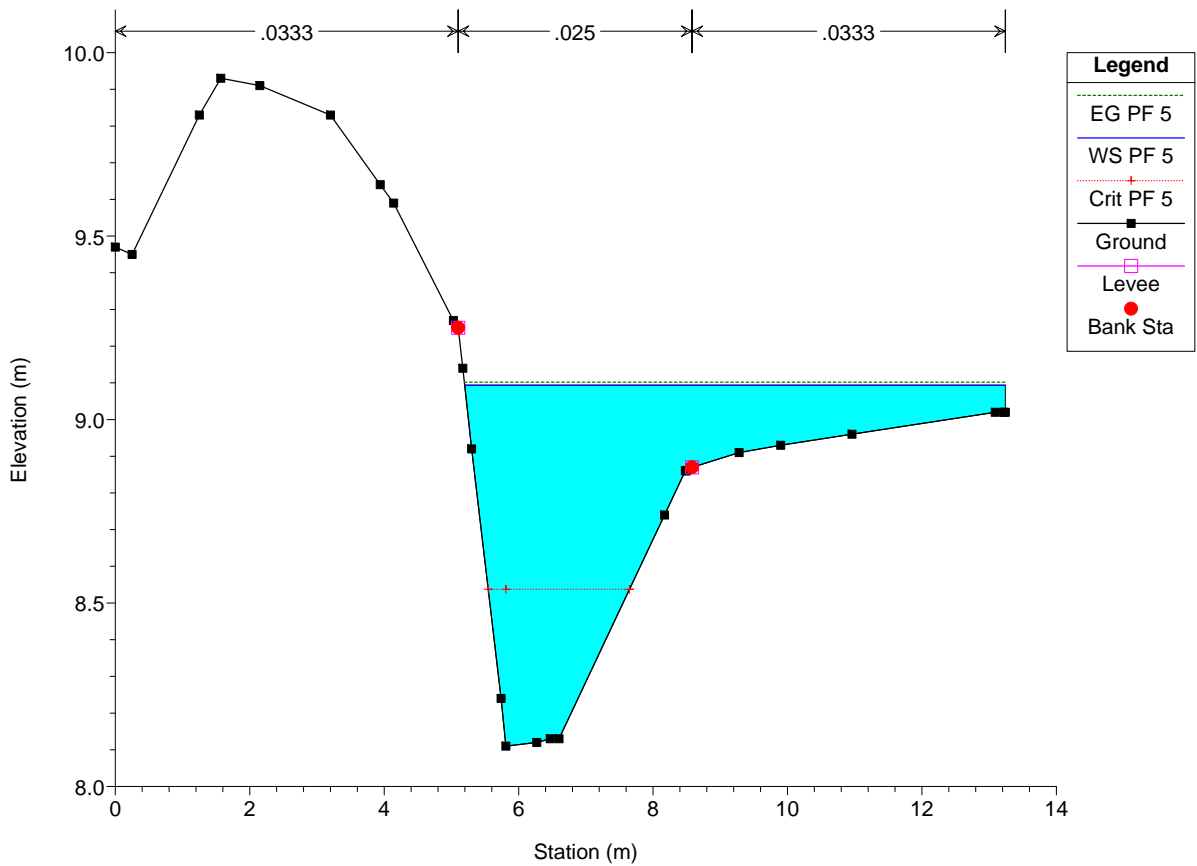
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016

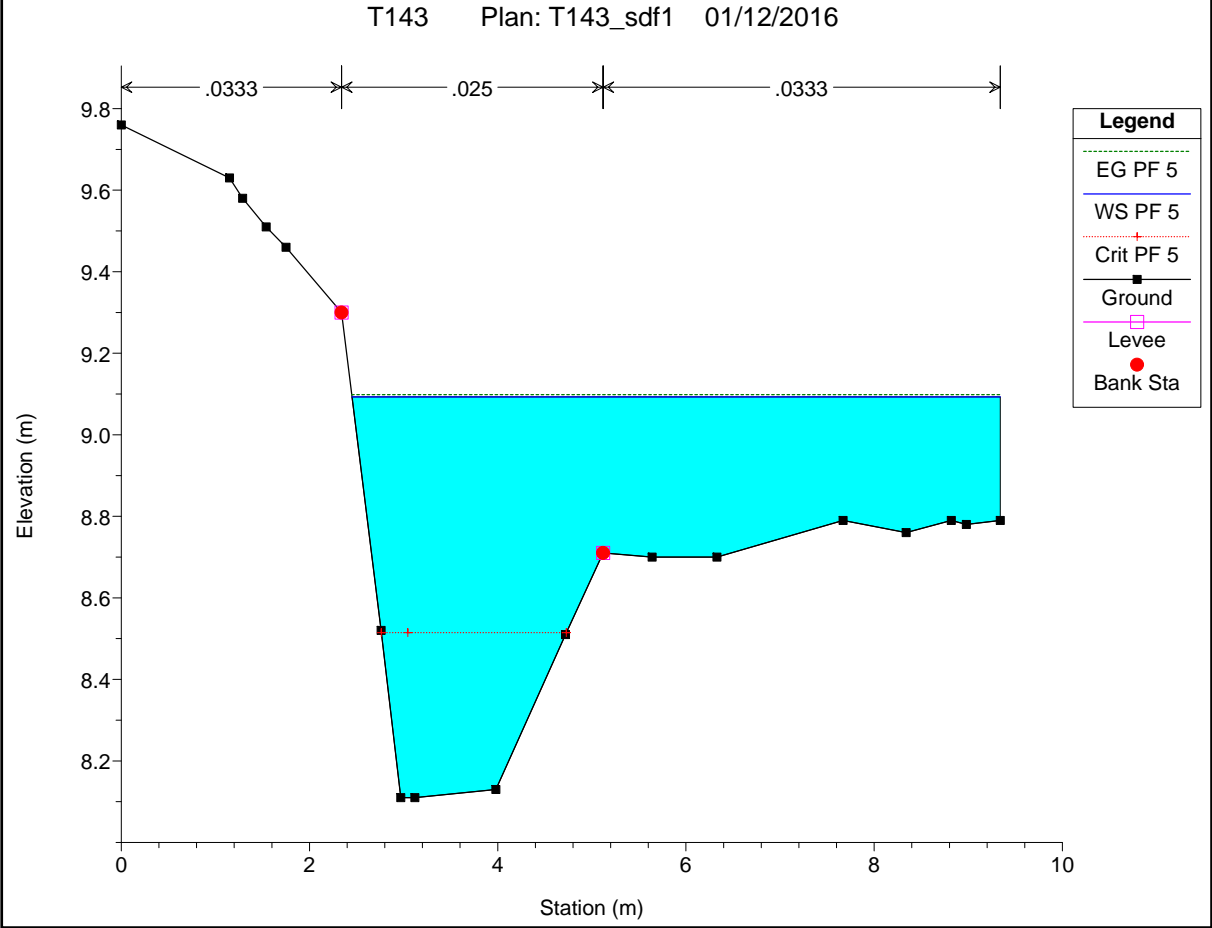
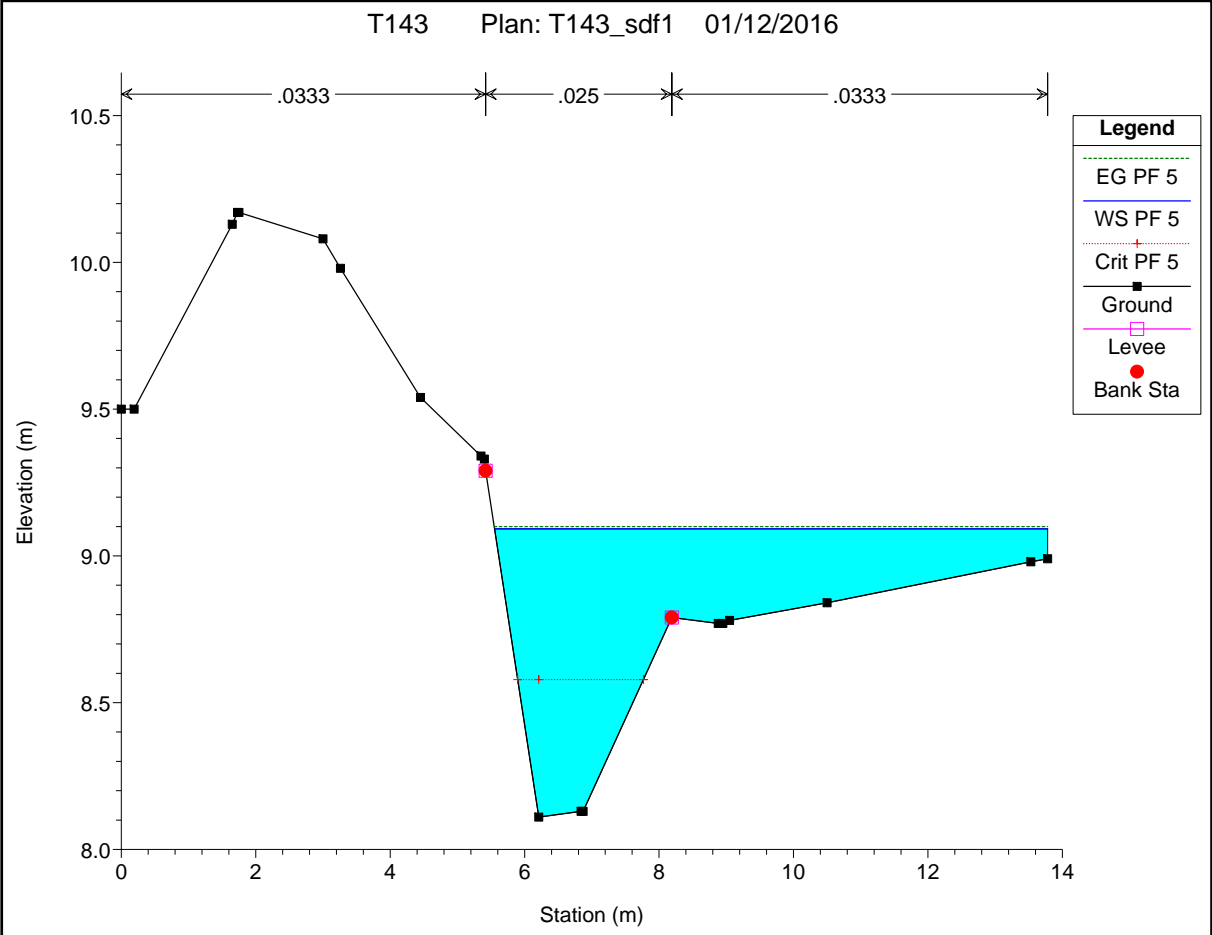


T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016

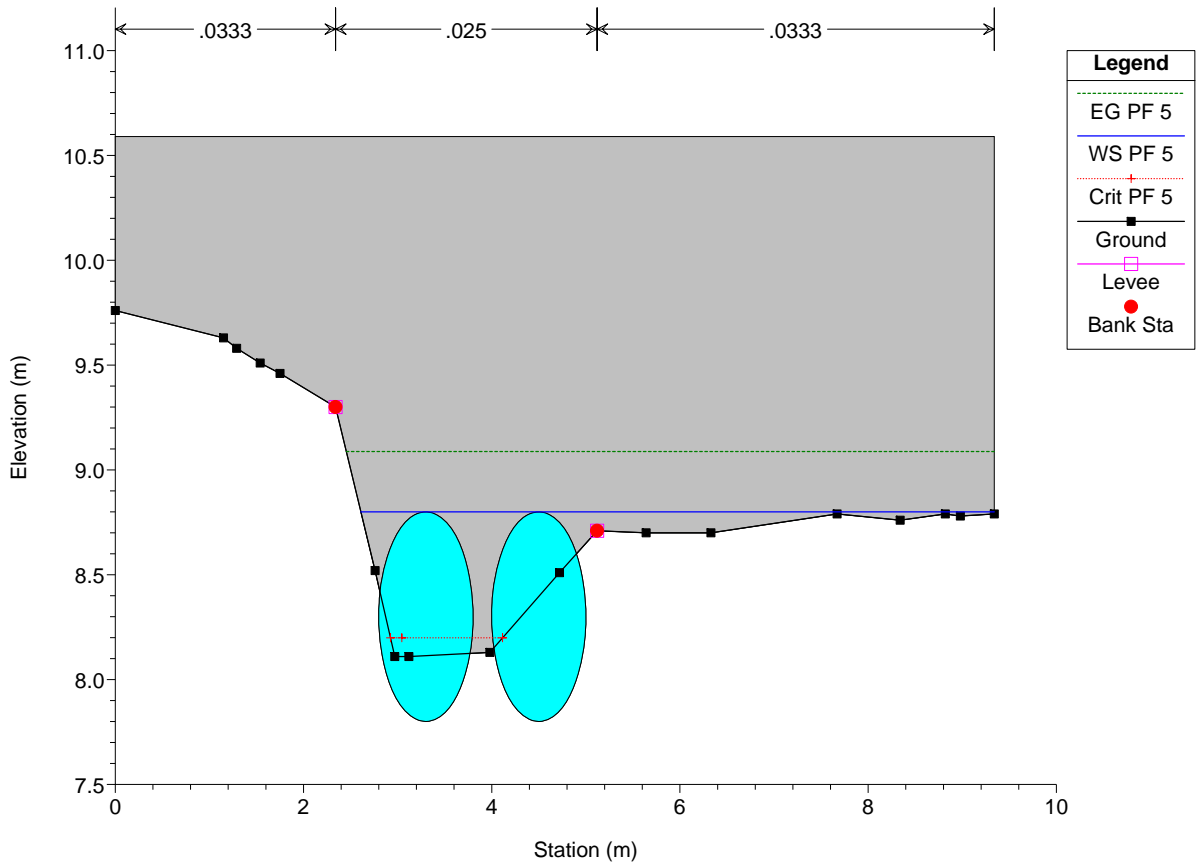


T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016

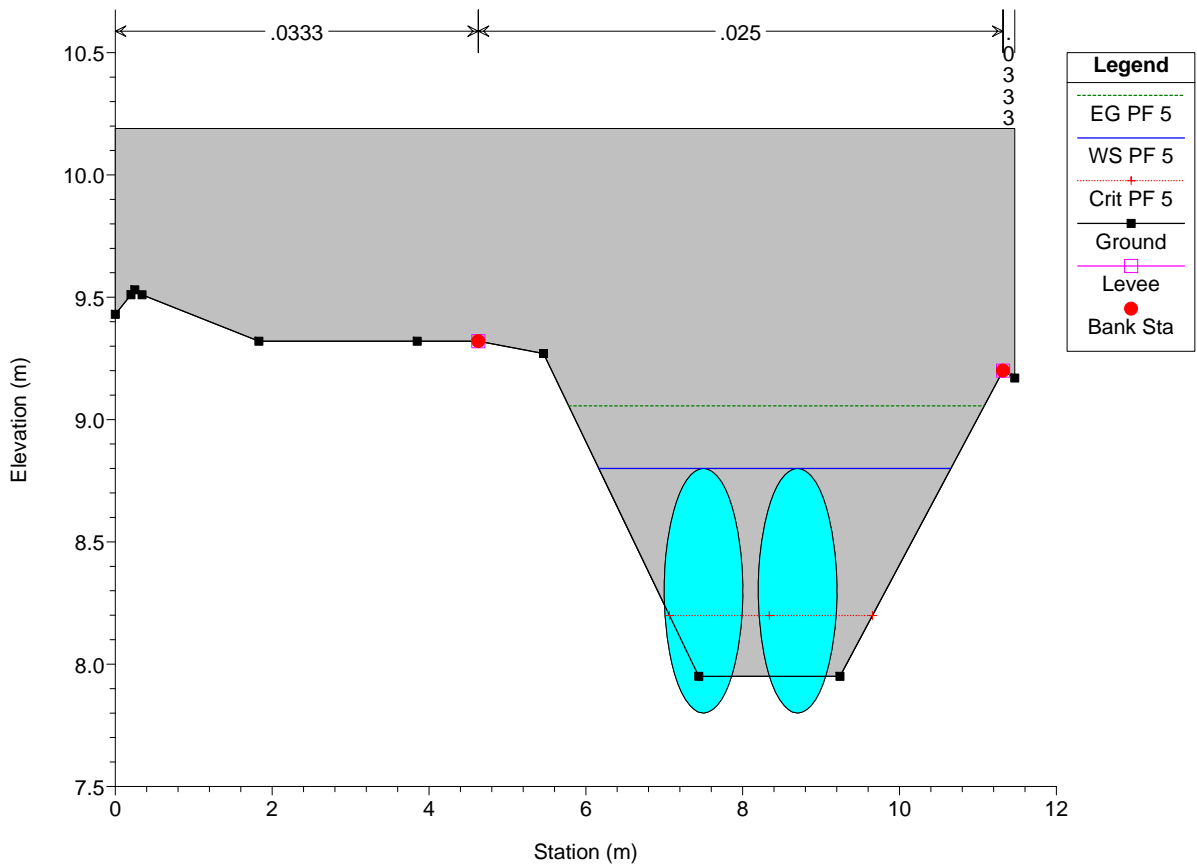




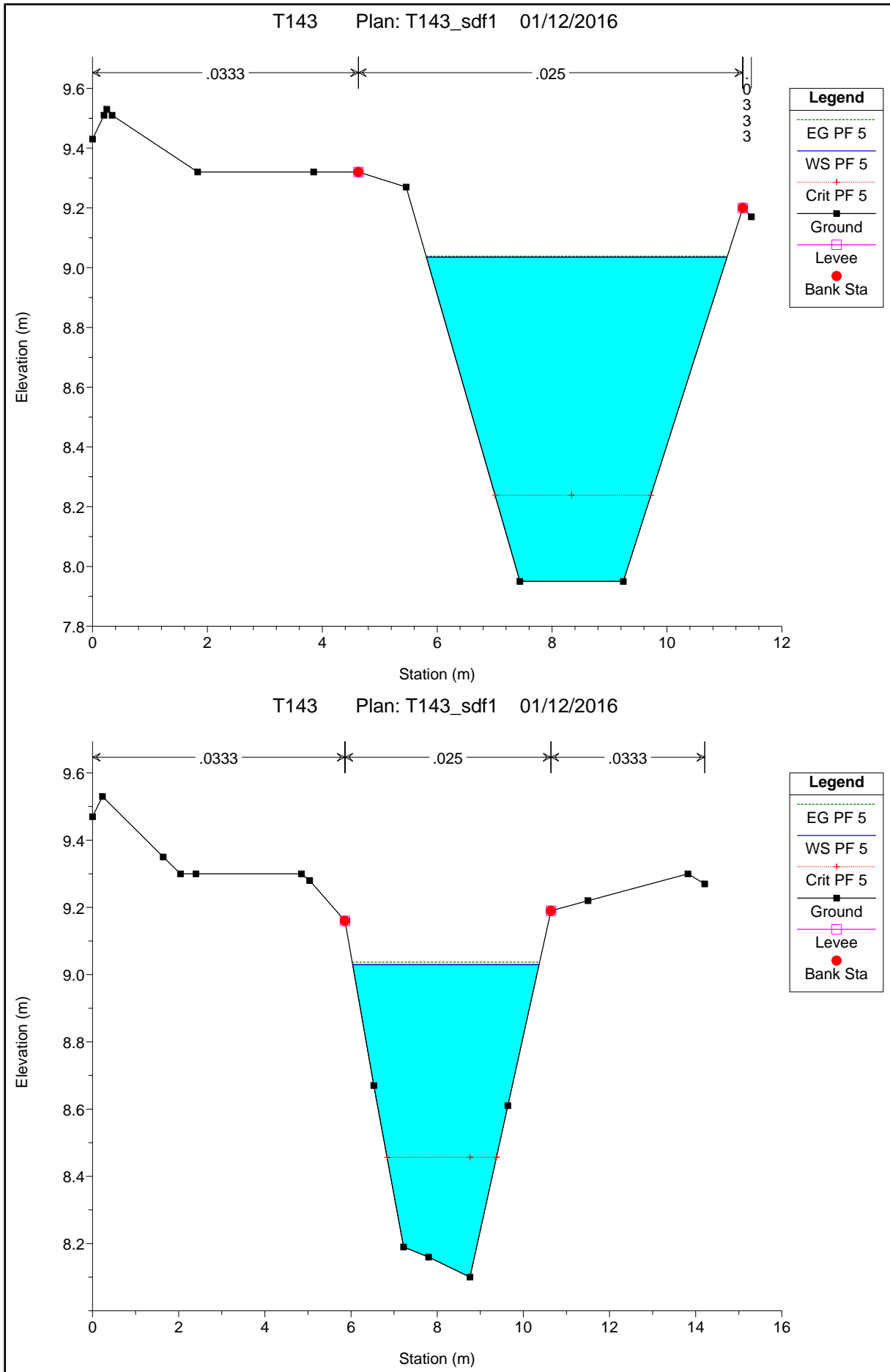
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



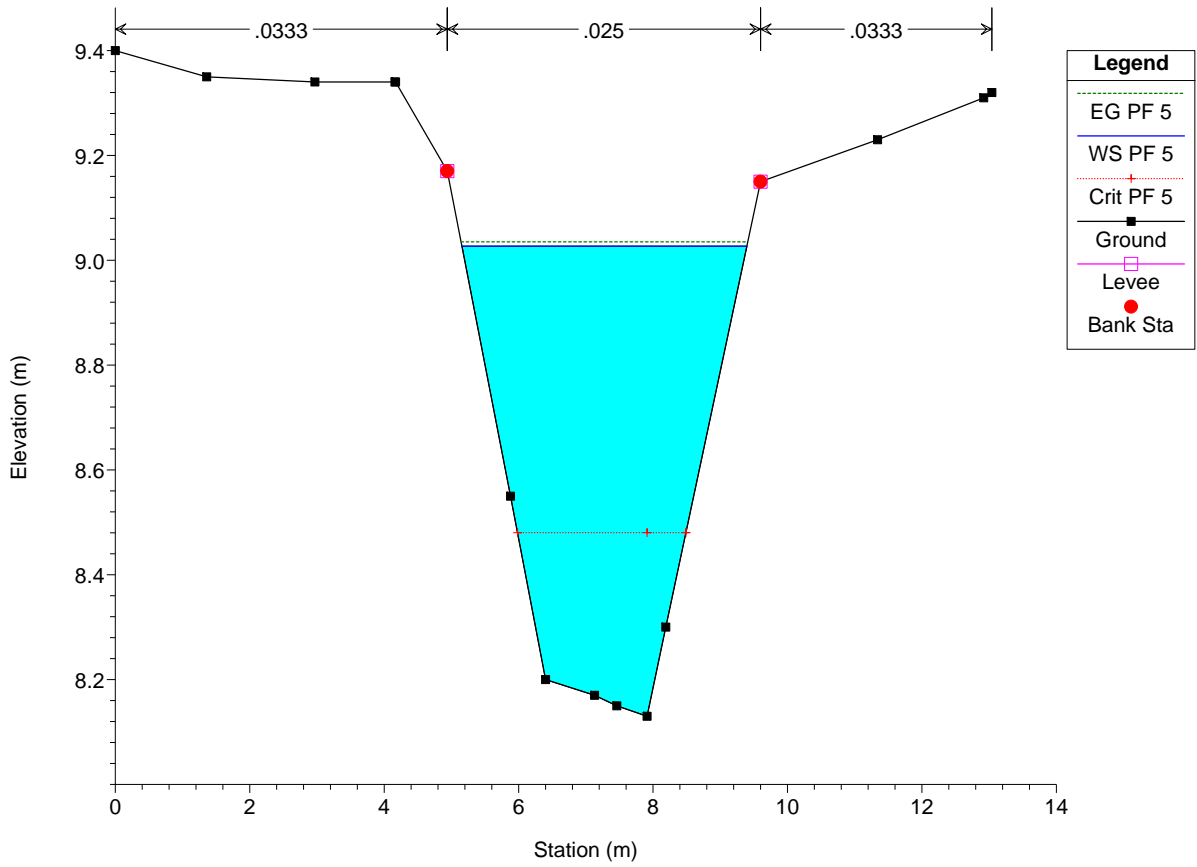
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



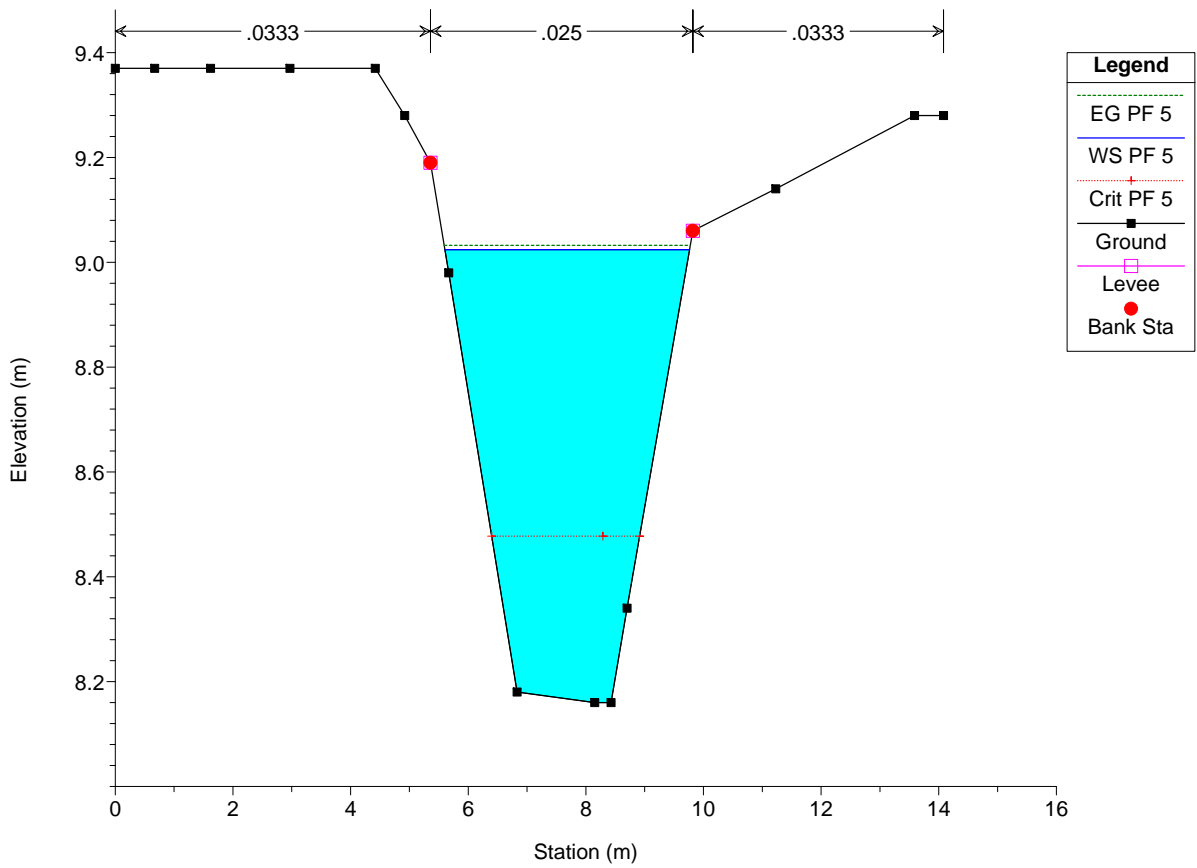




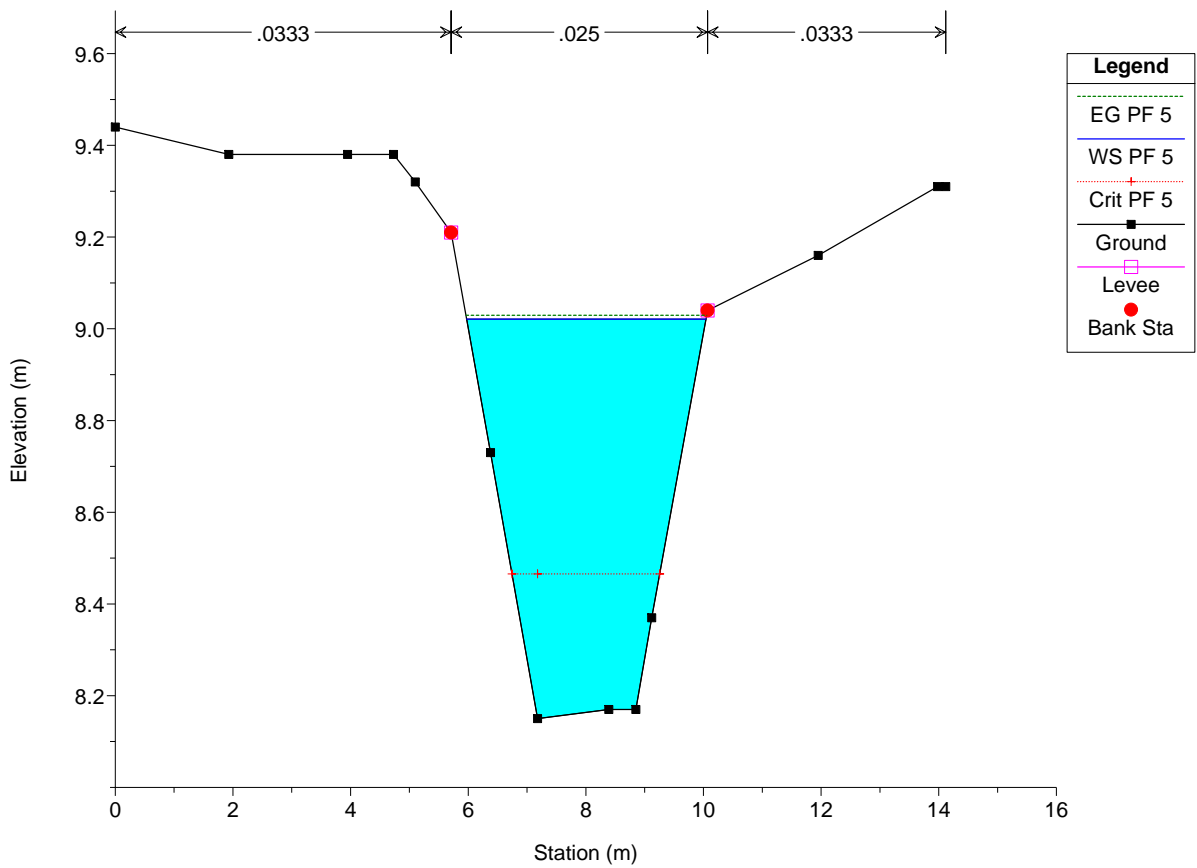
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



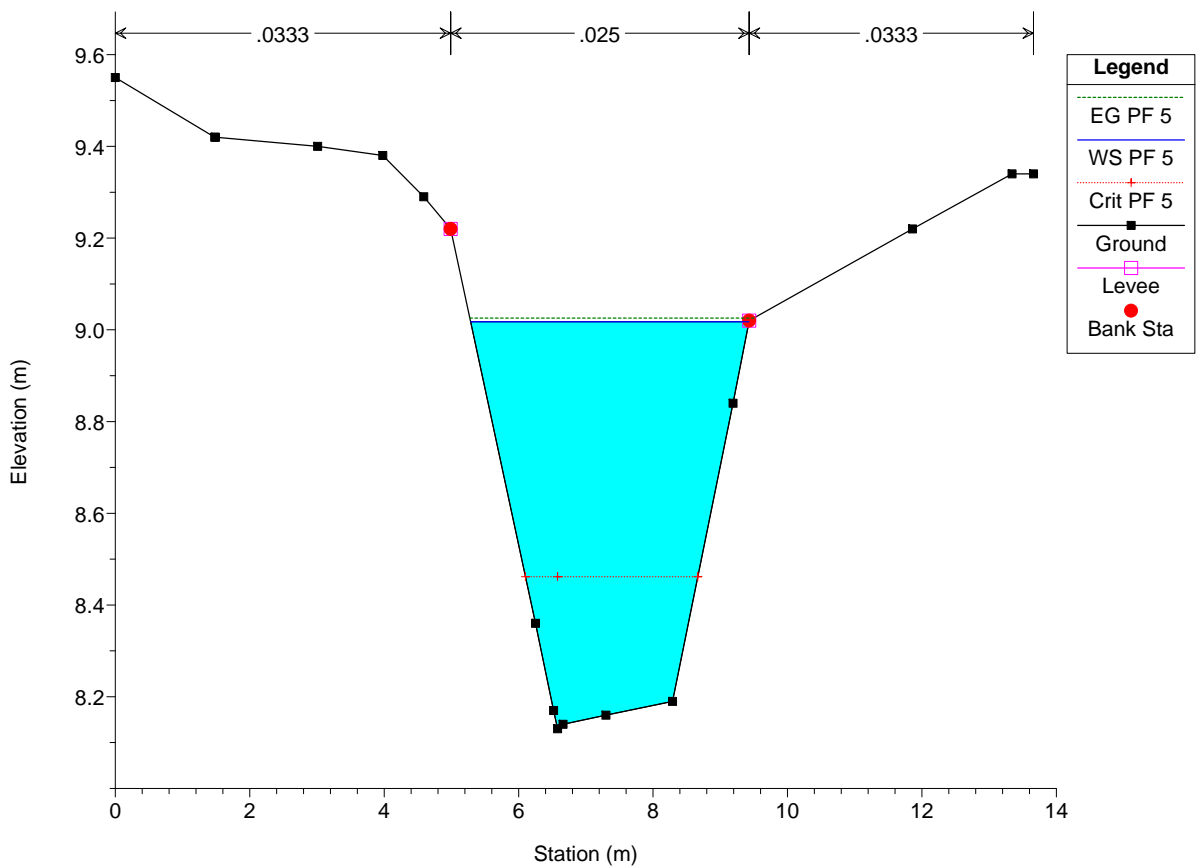
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



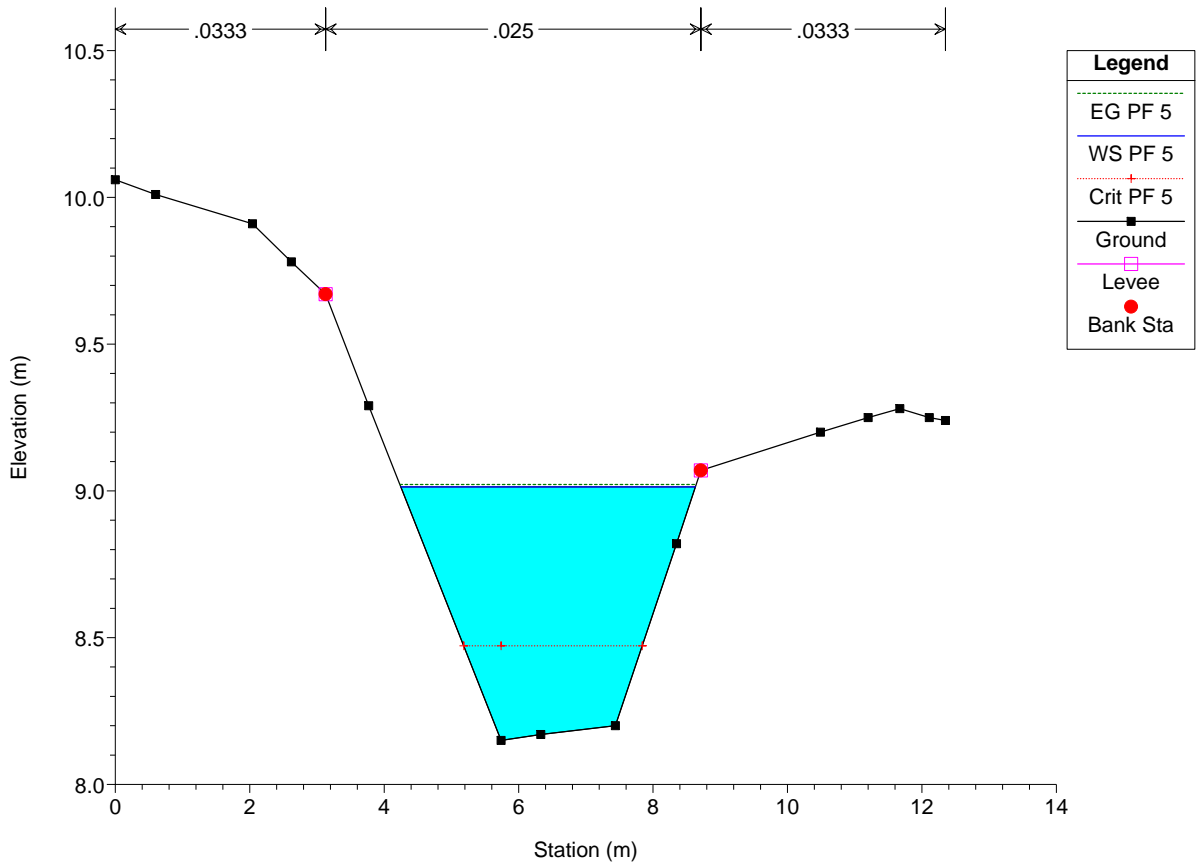
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016



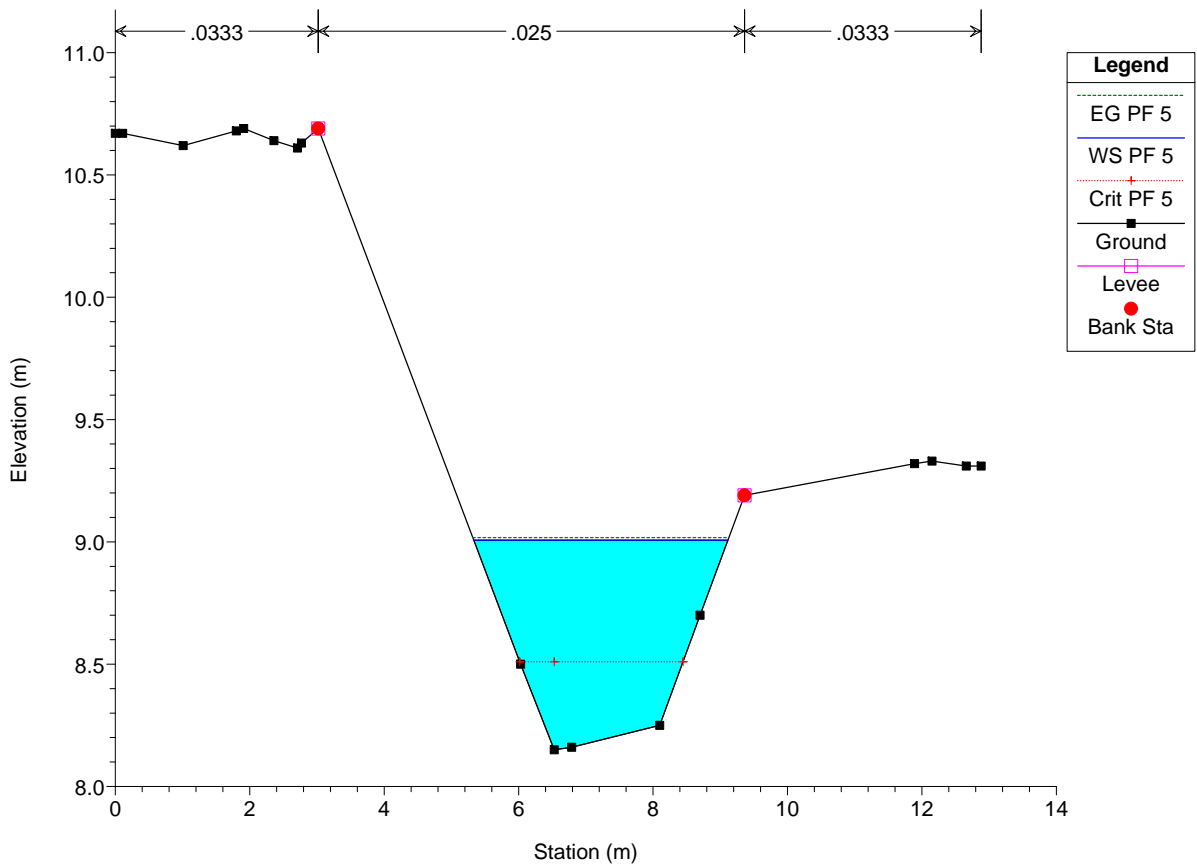
T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016

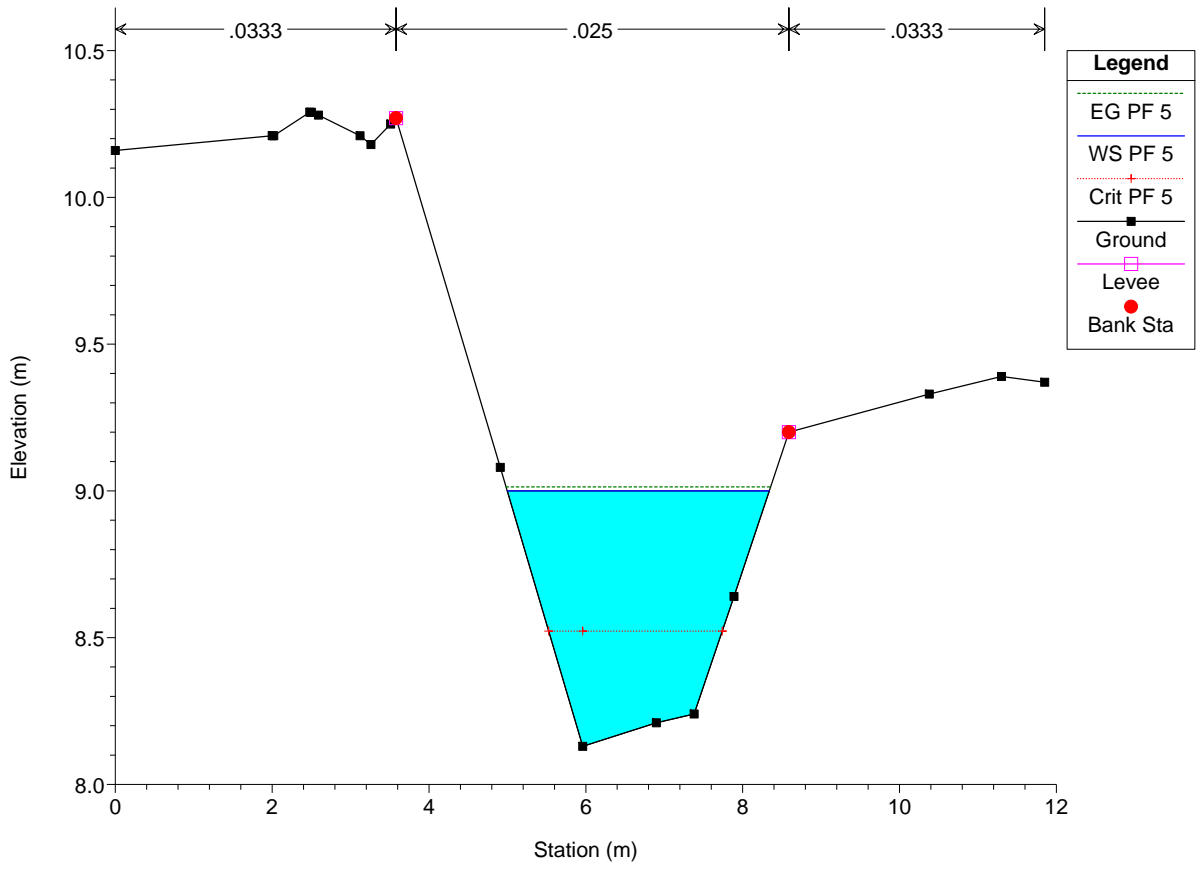


T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016

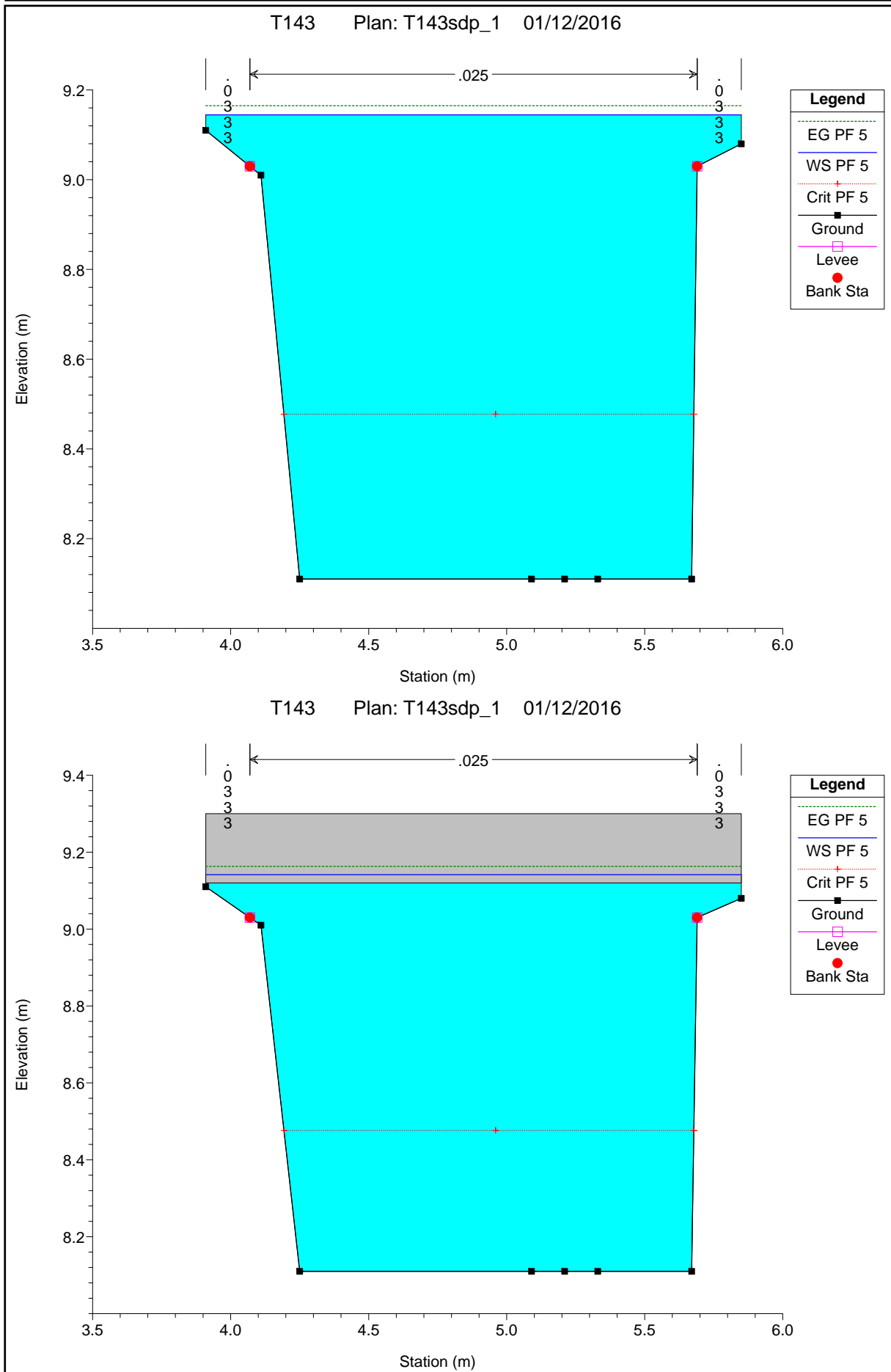


T143 Plan: T143\_sdf1 01/12/2016

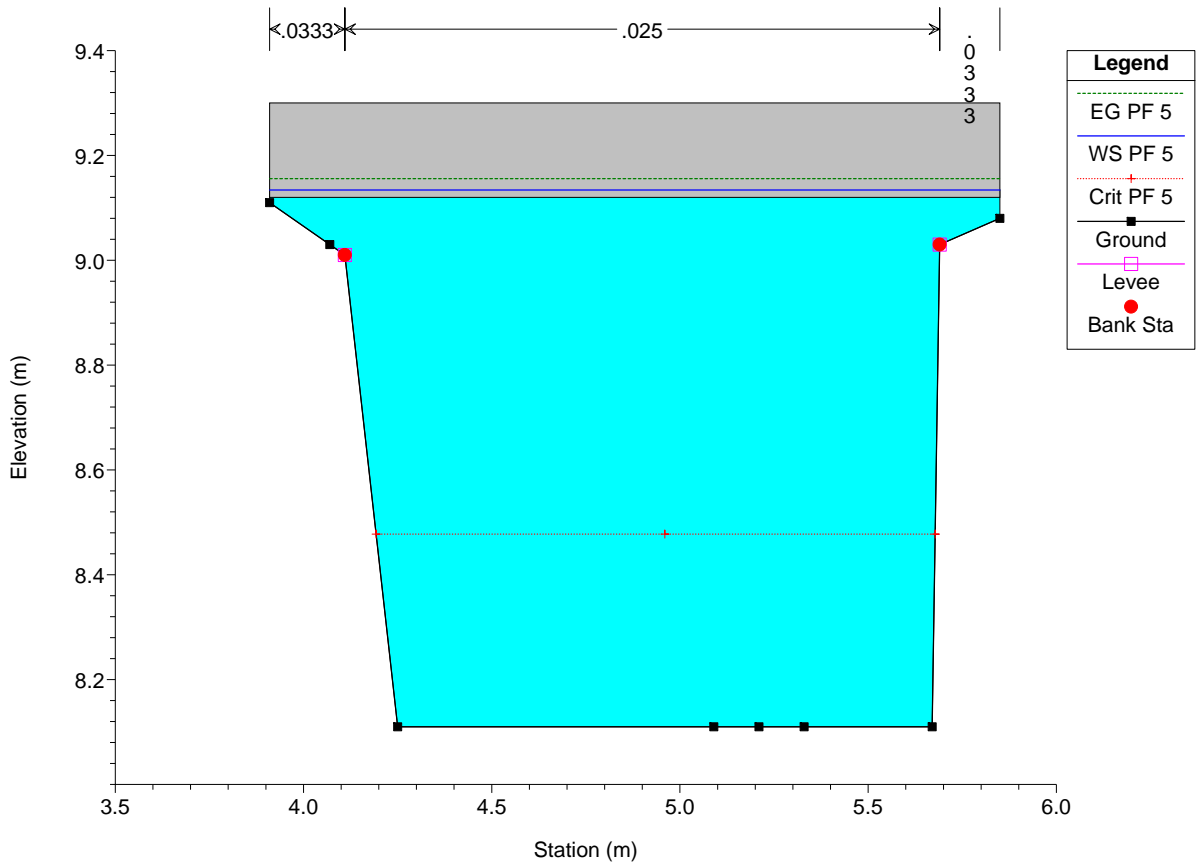




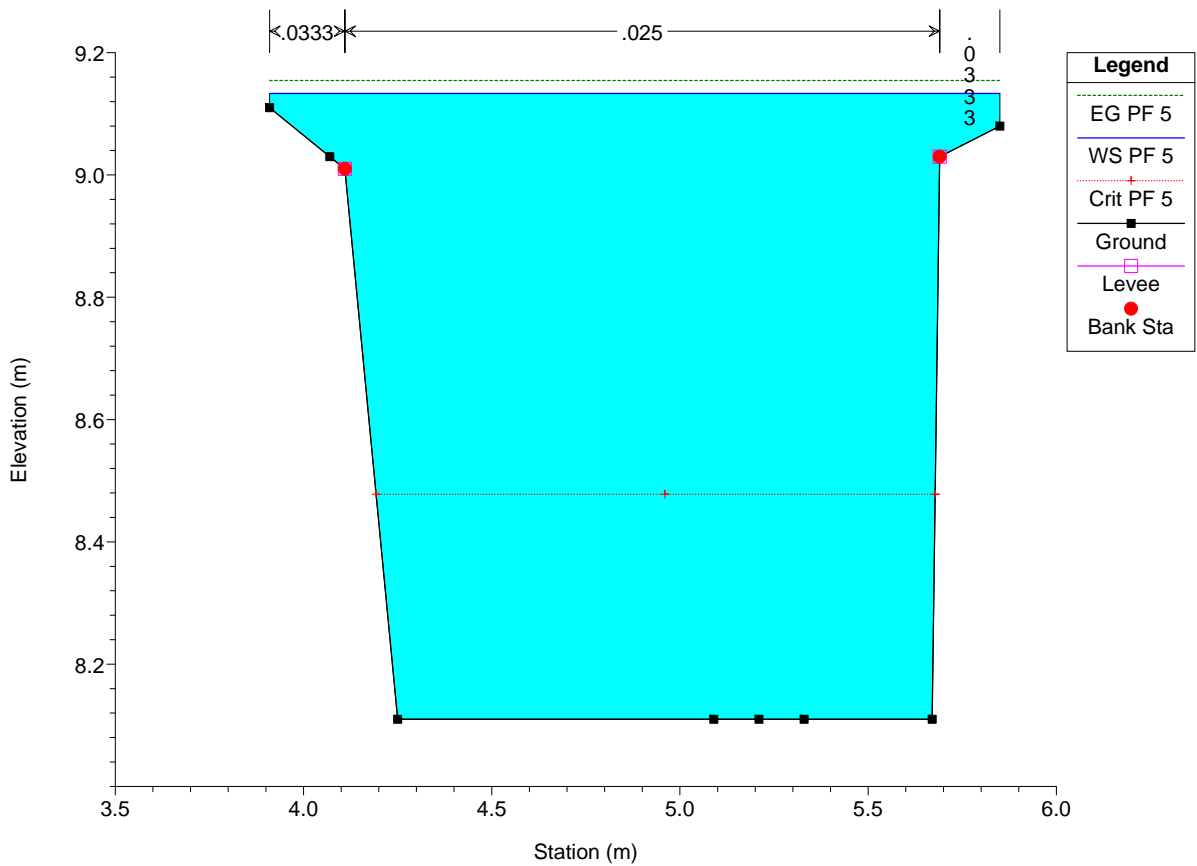
# Scolo Uccellino: modellazione idraulica dello stato di progetto - sezioni



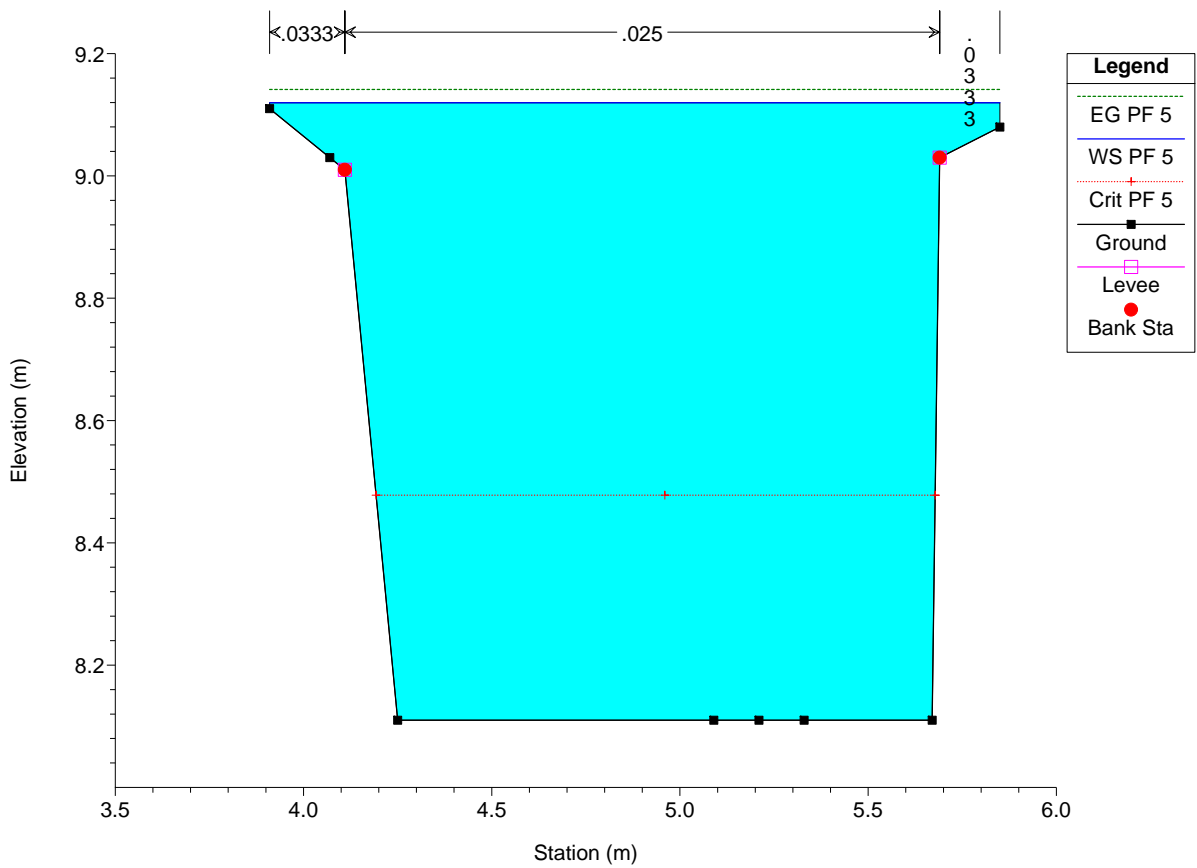
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



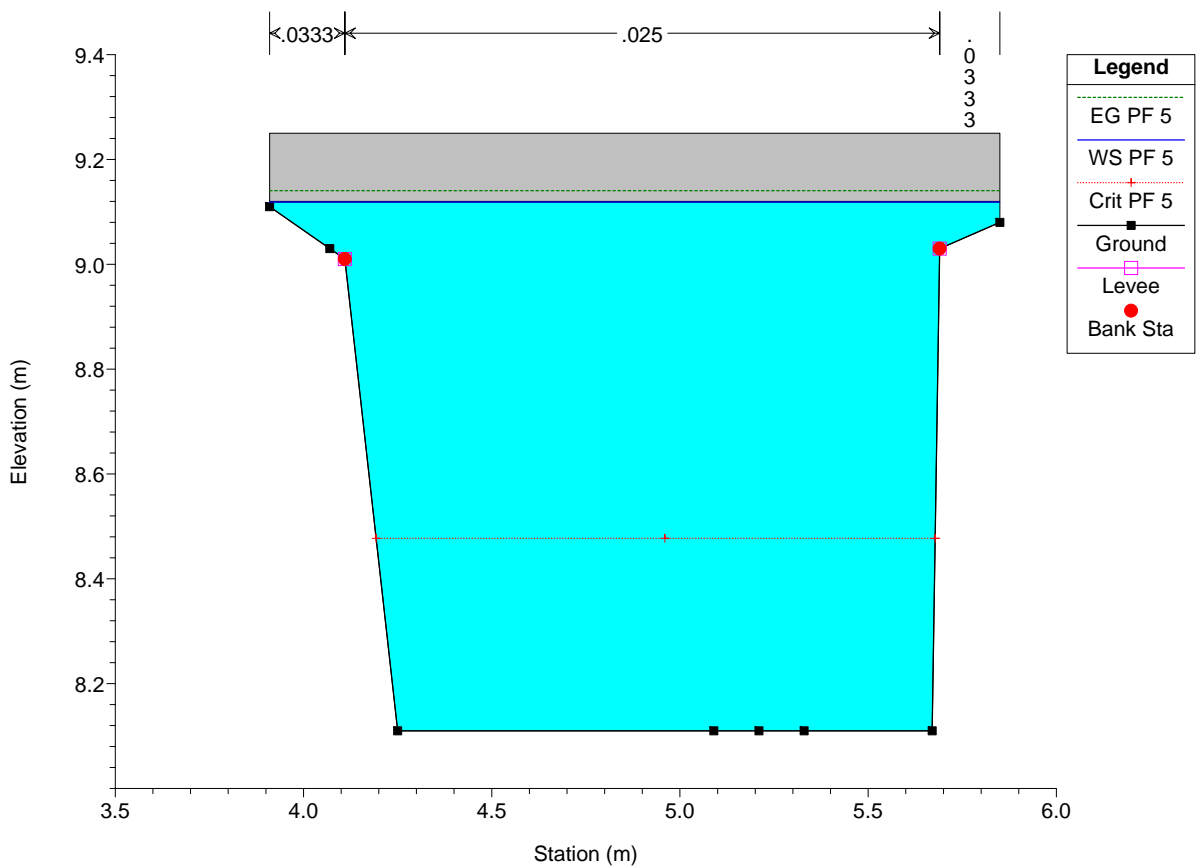
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

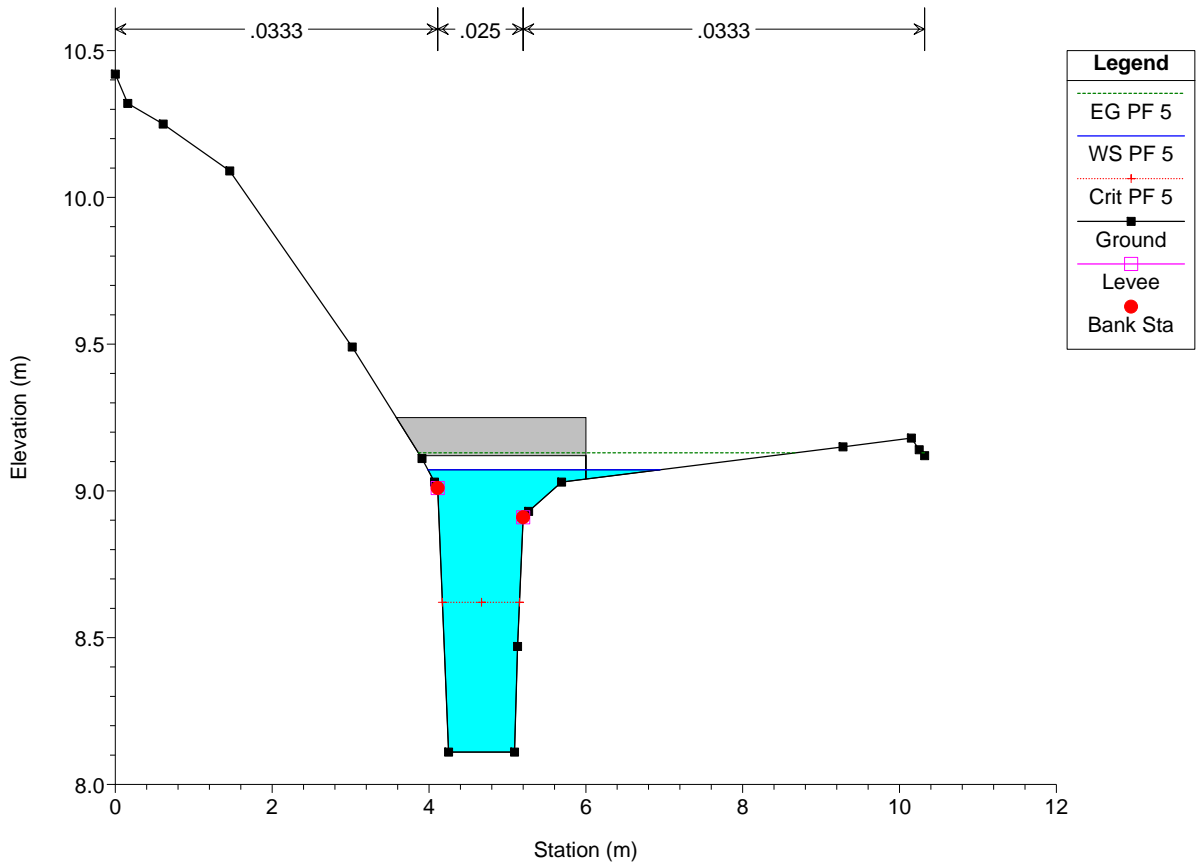


T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

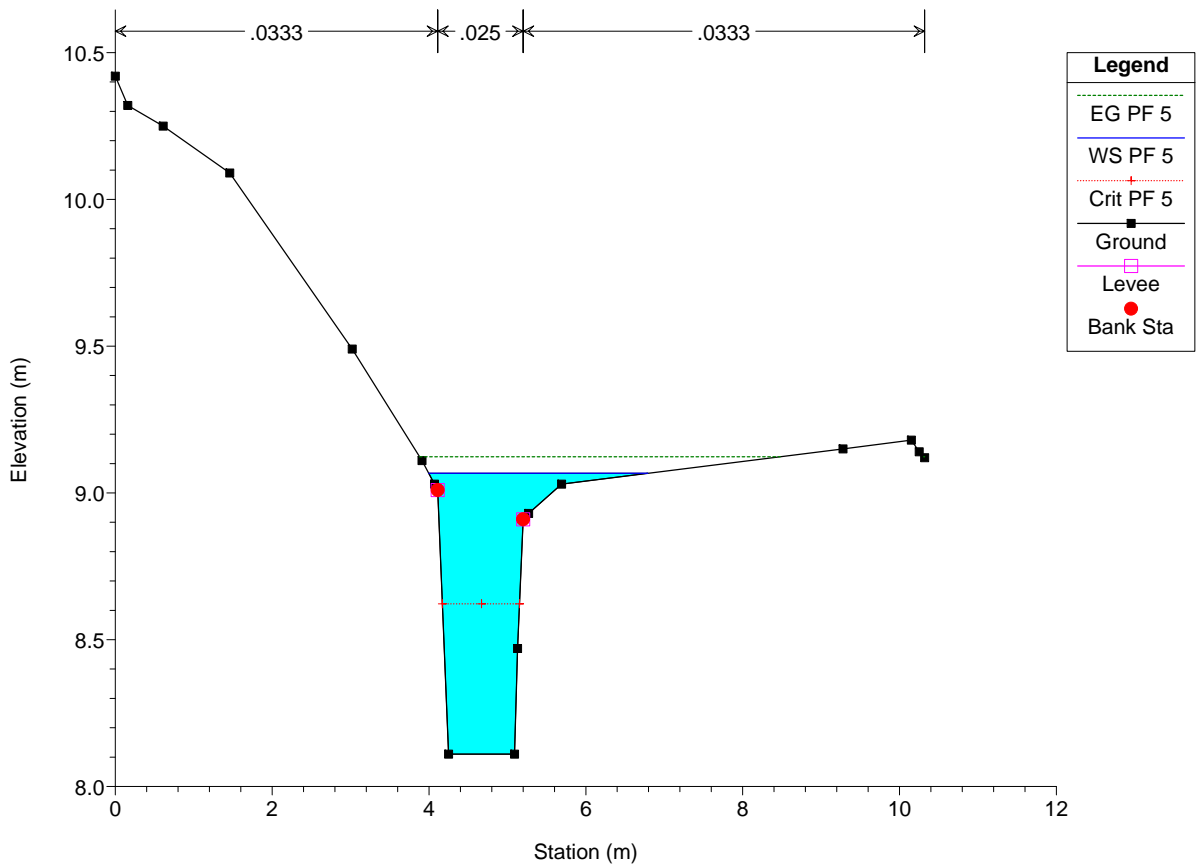




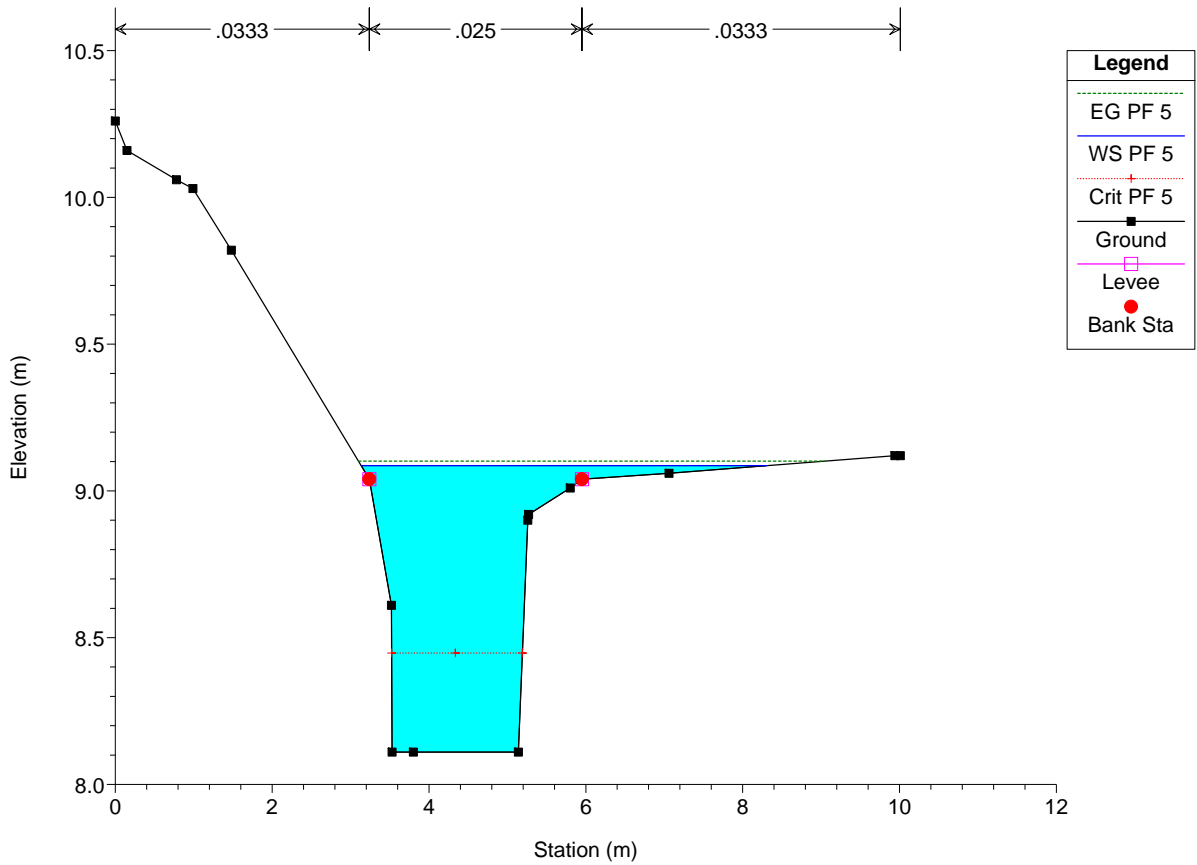
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



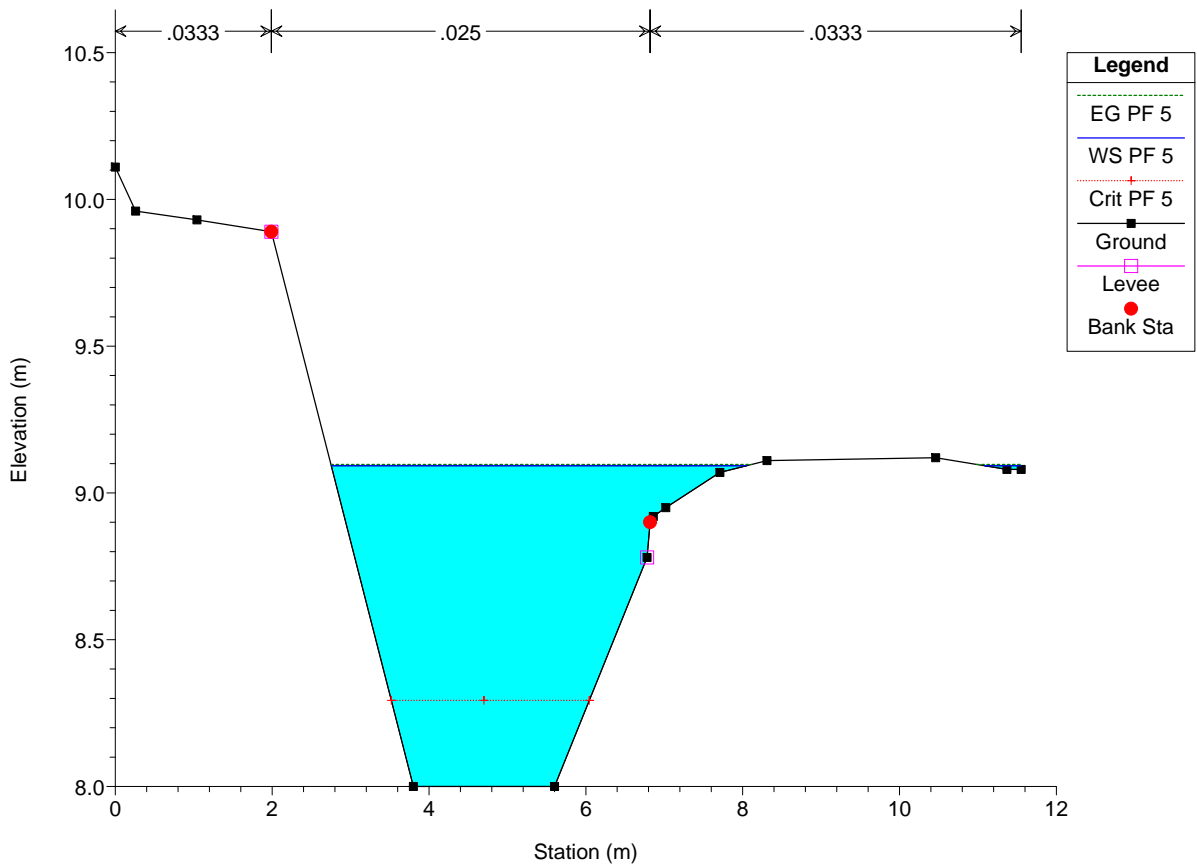
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



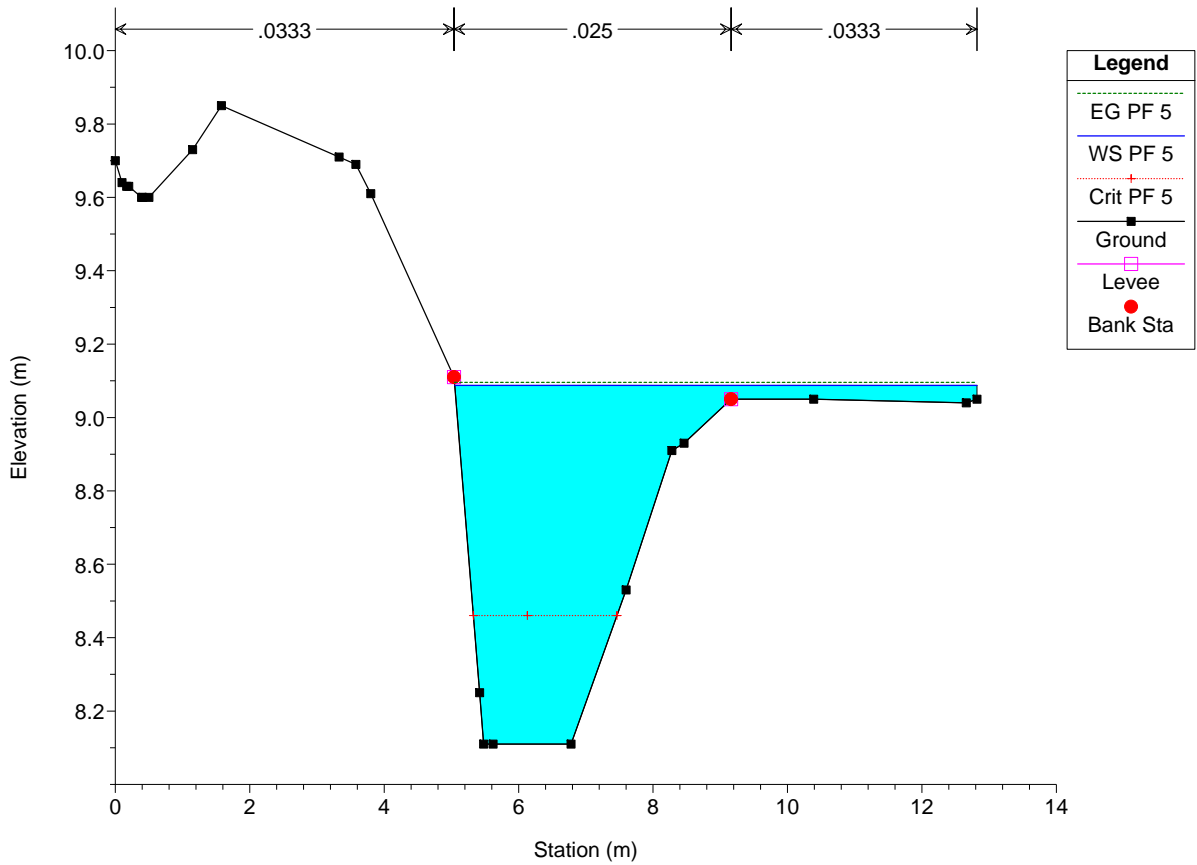
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



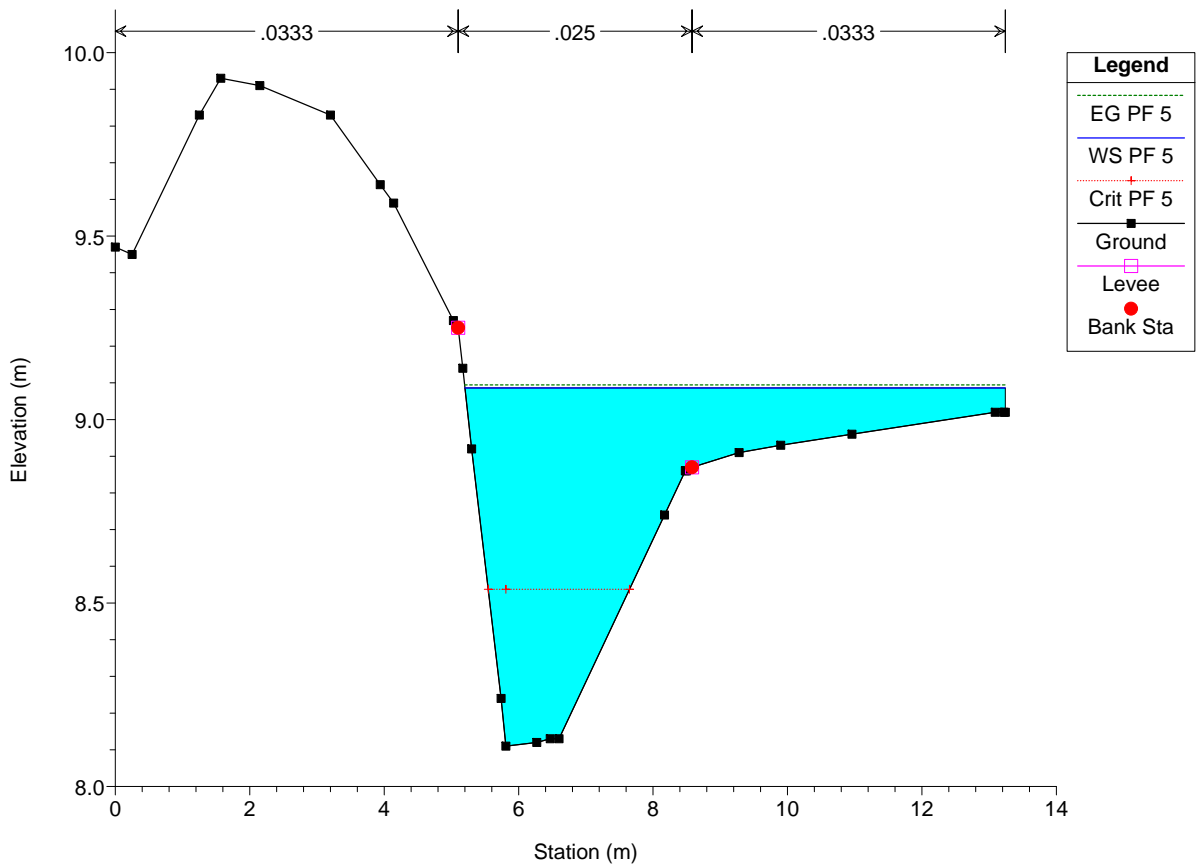
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

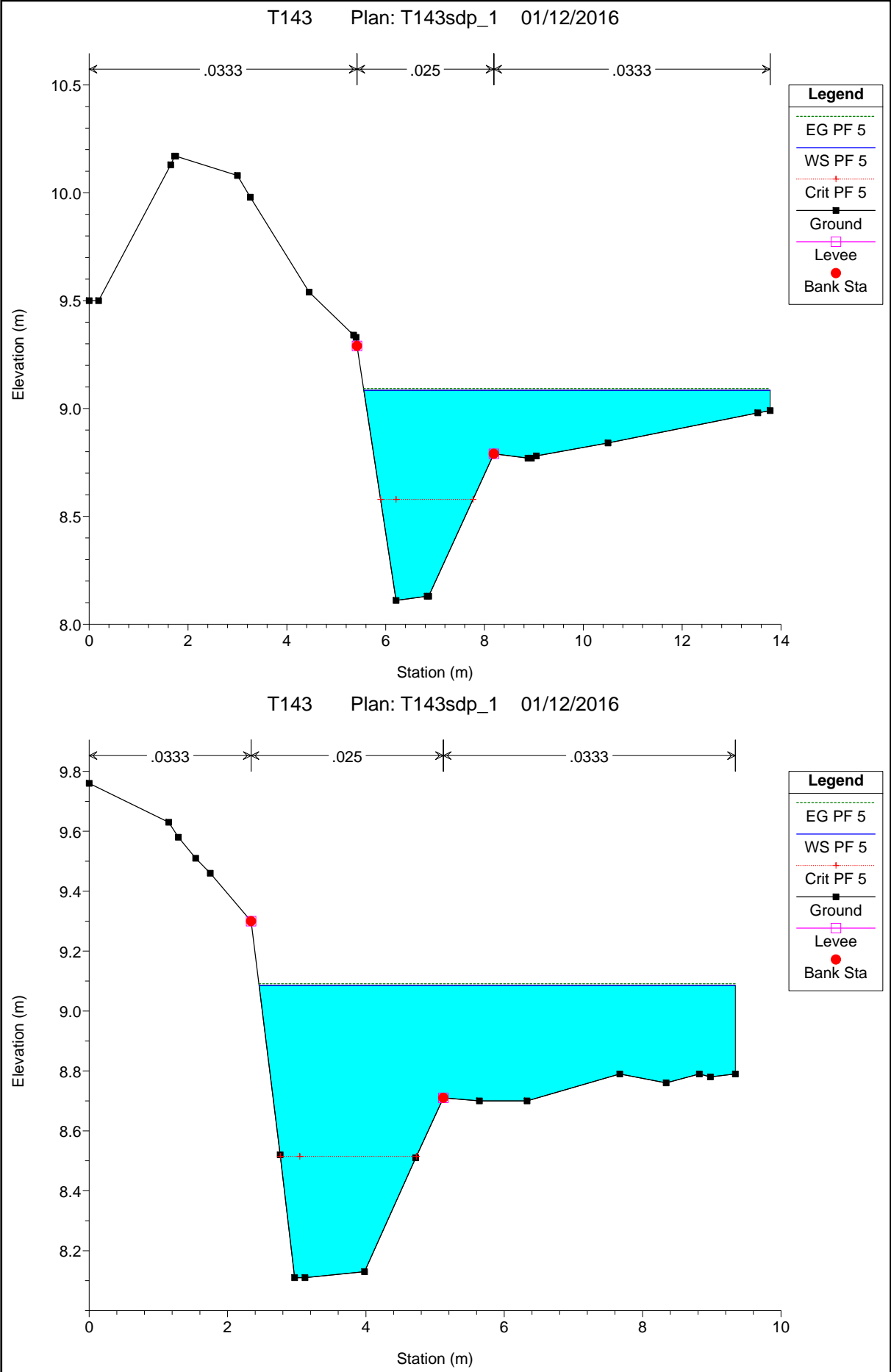


T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

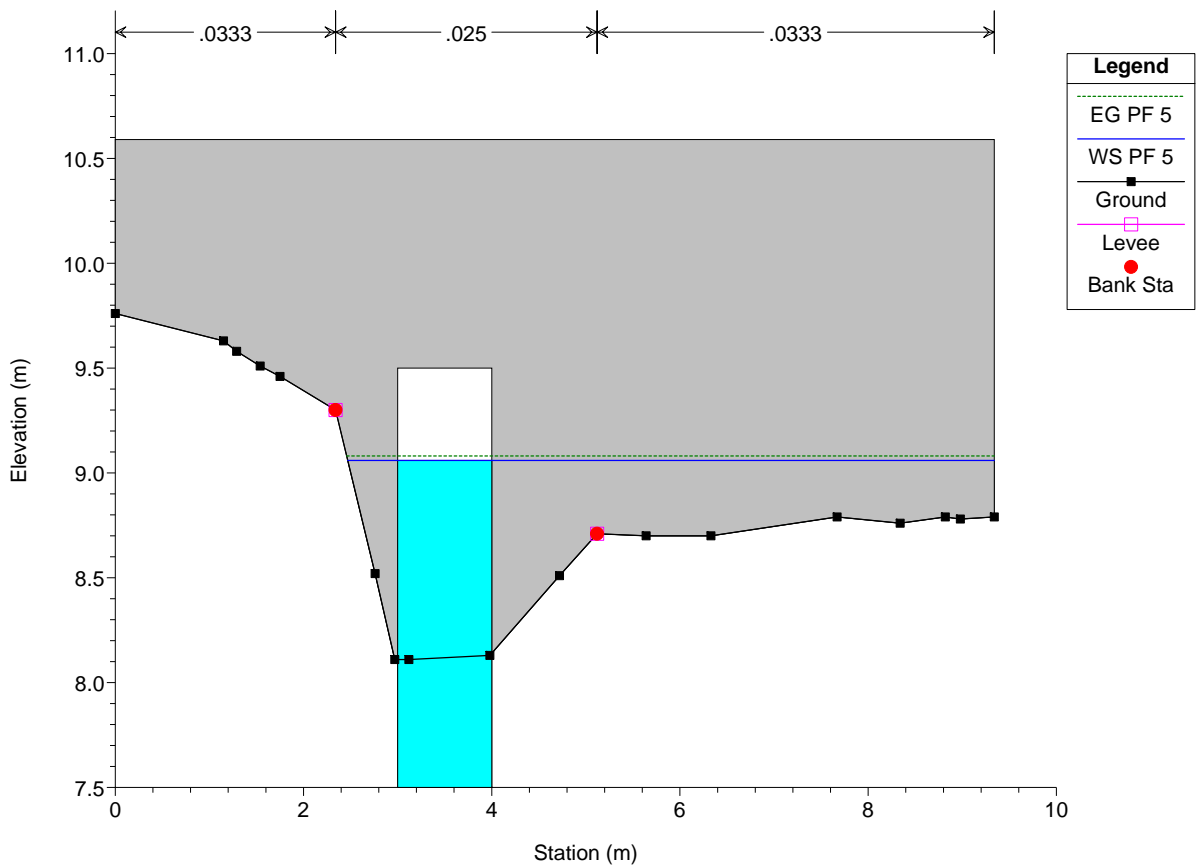


T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

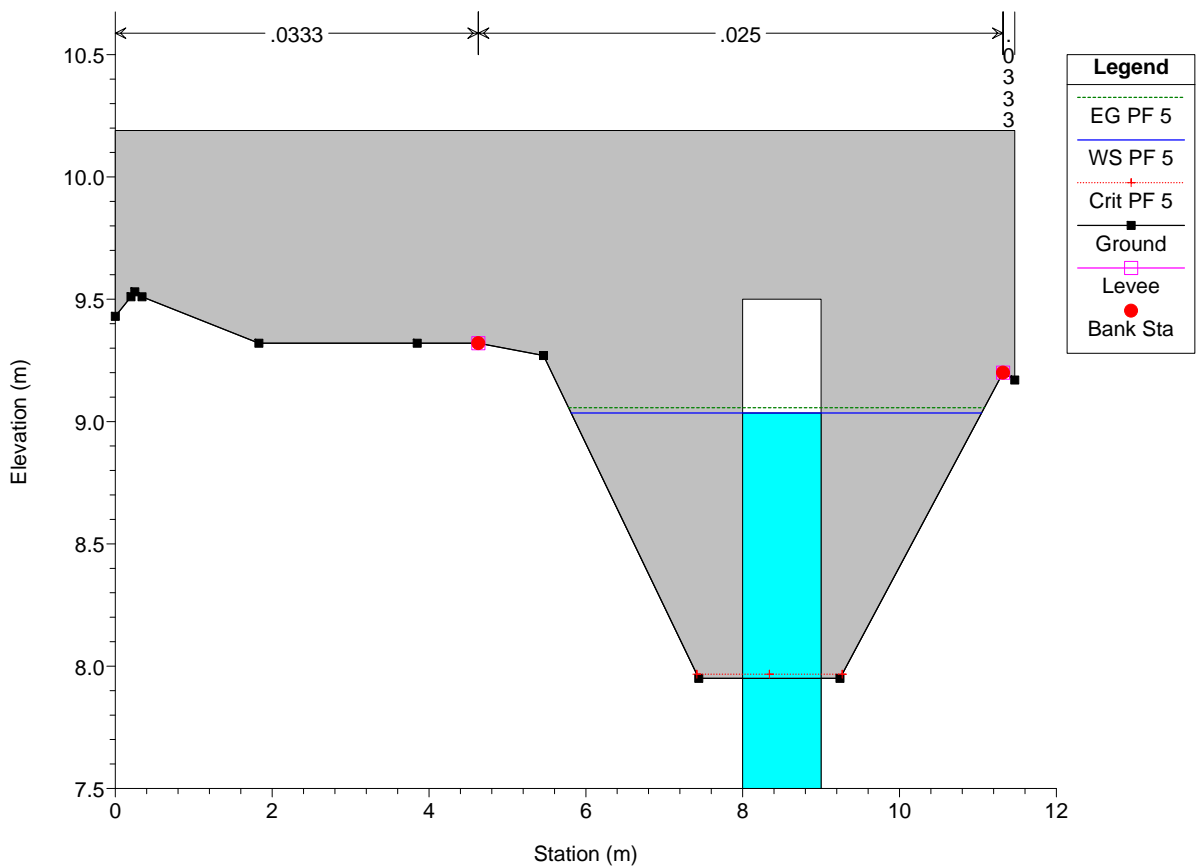


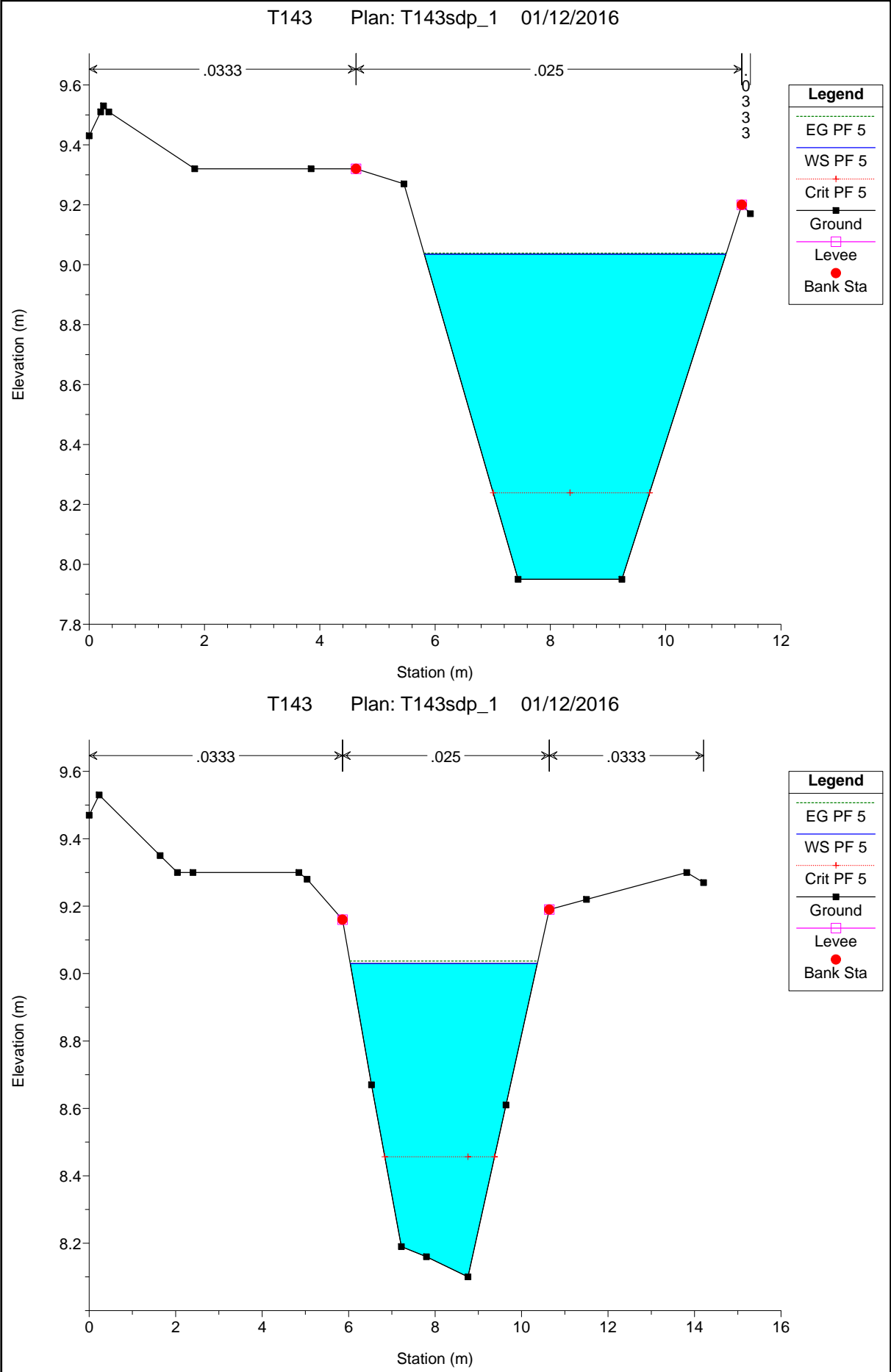


T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

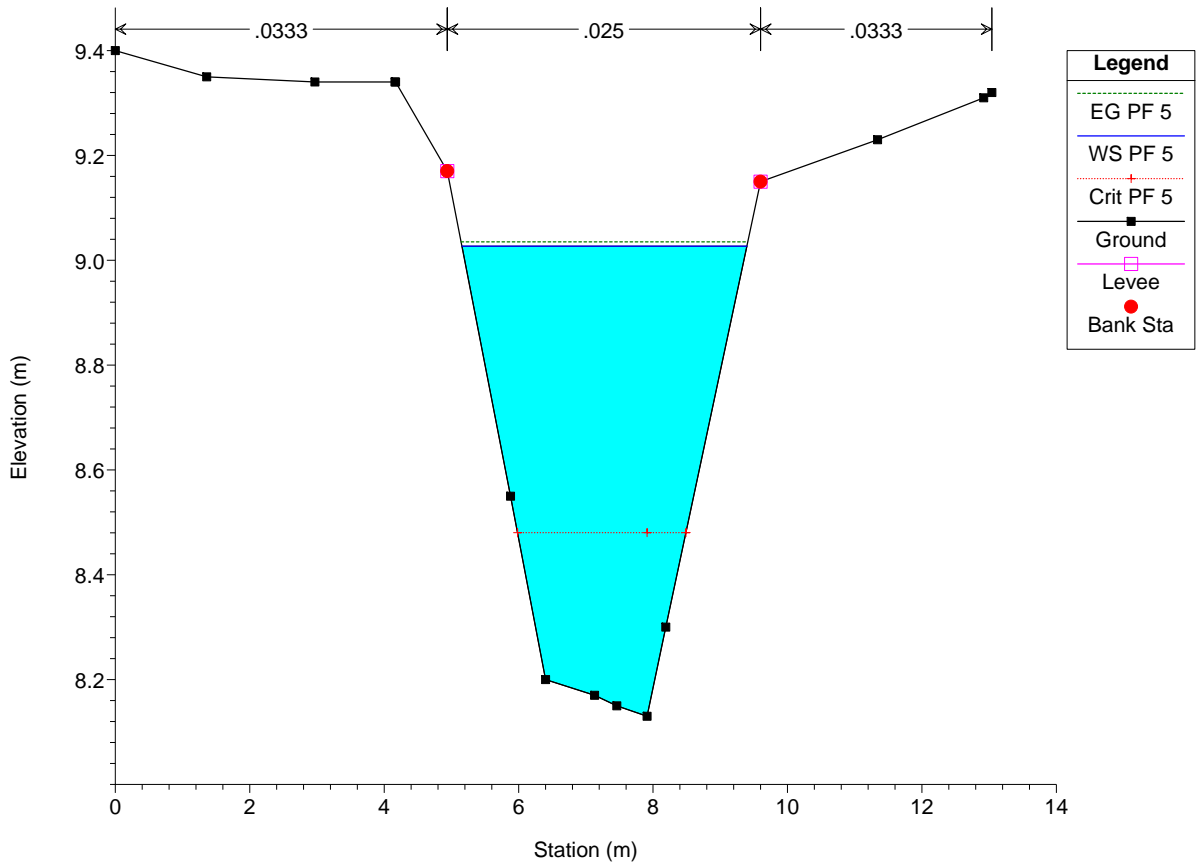


T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

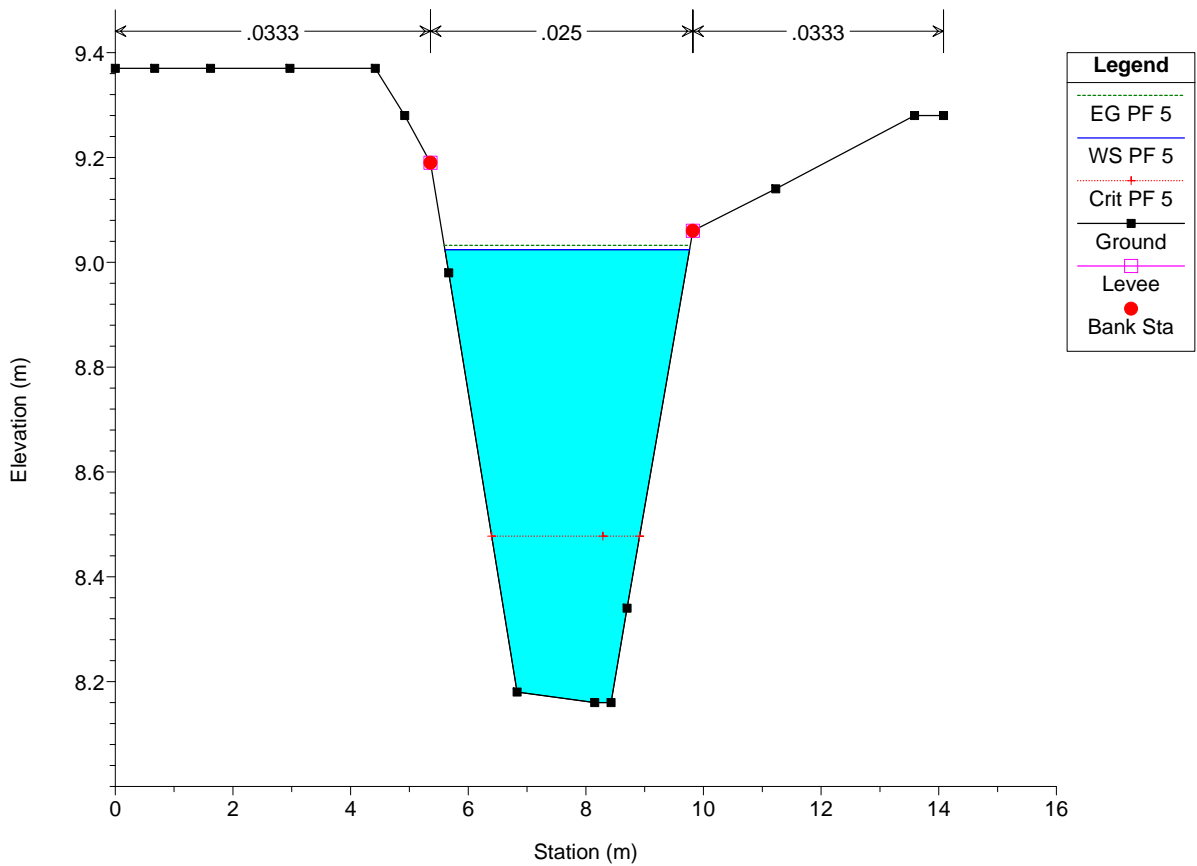




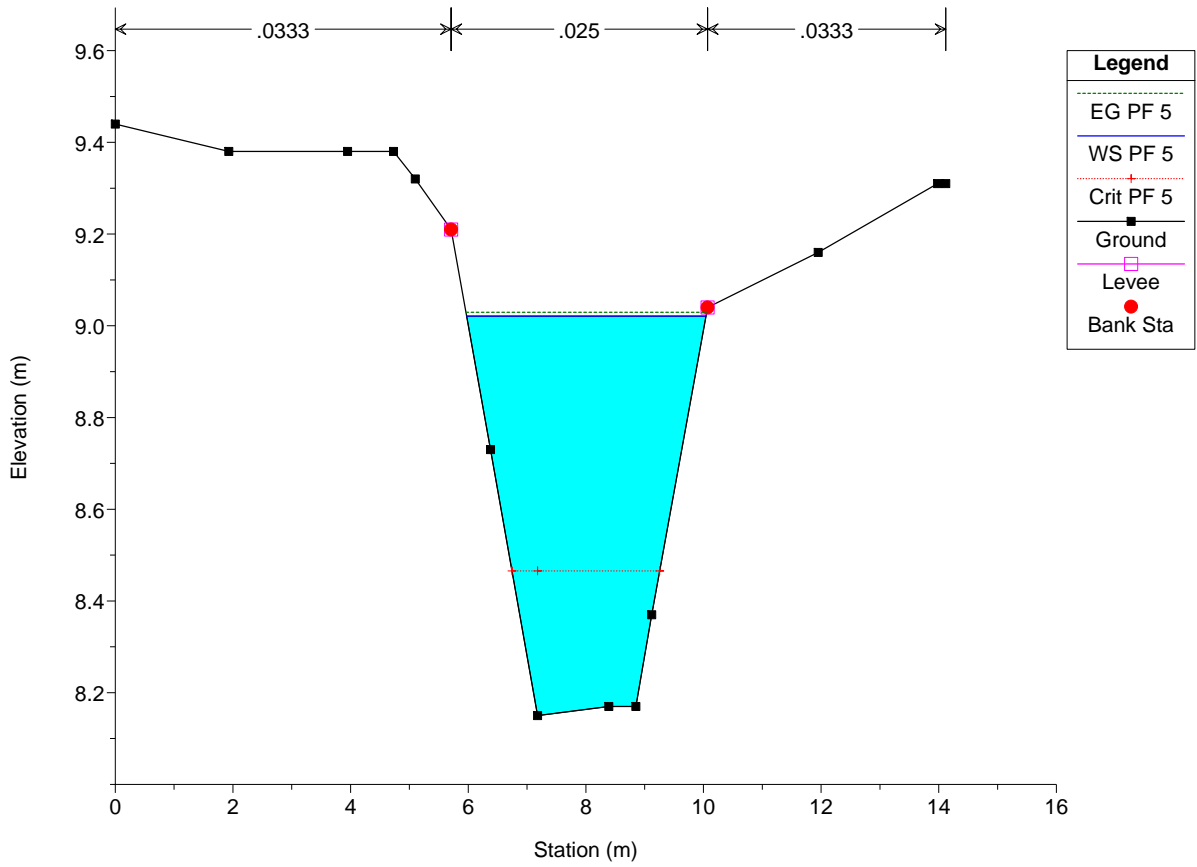
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



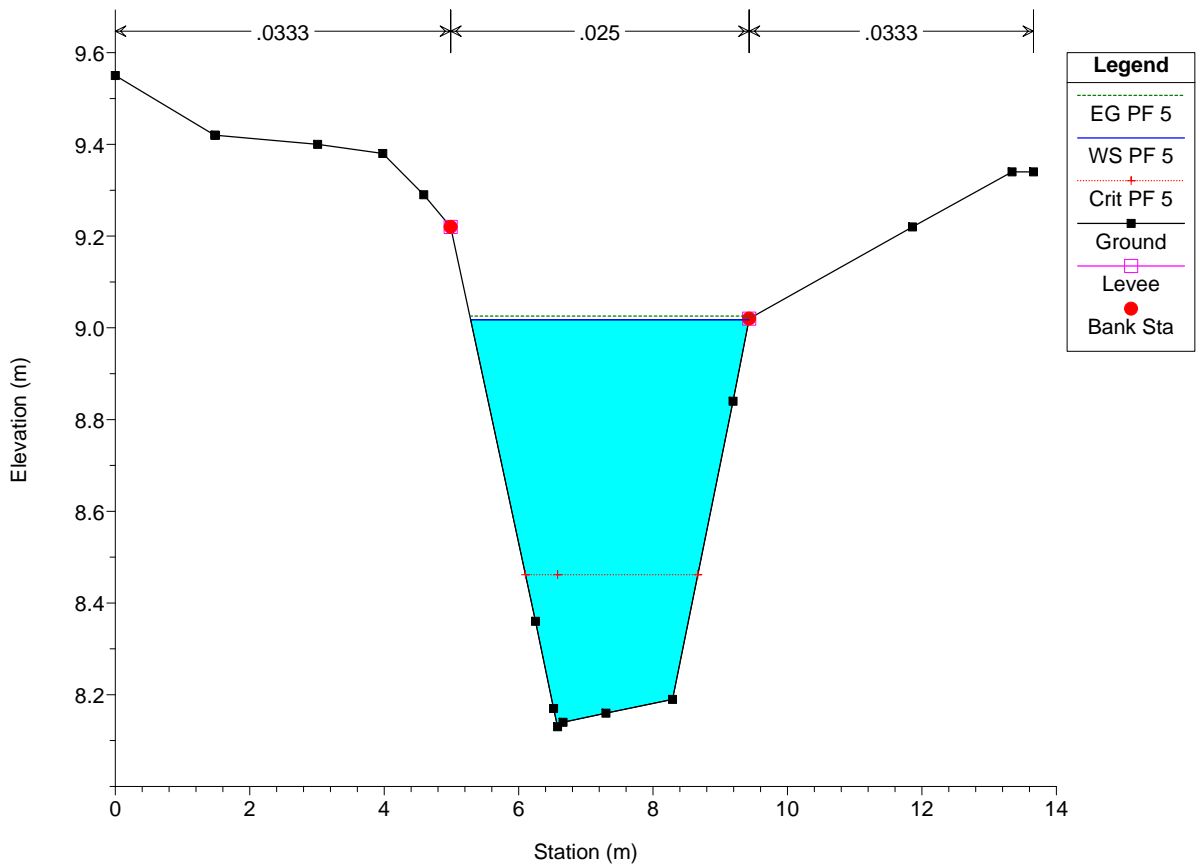
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

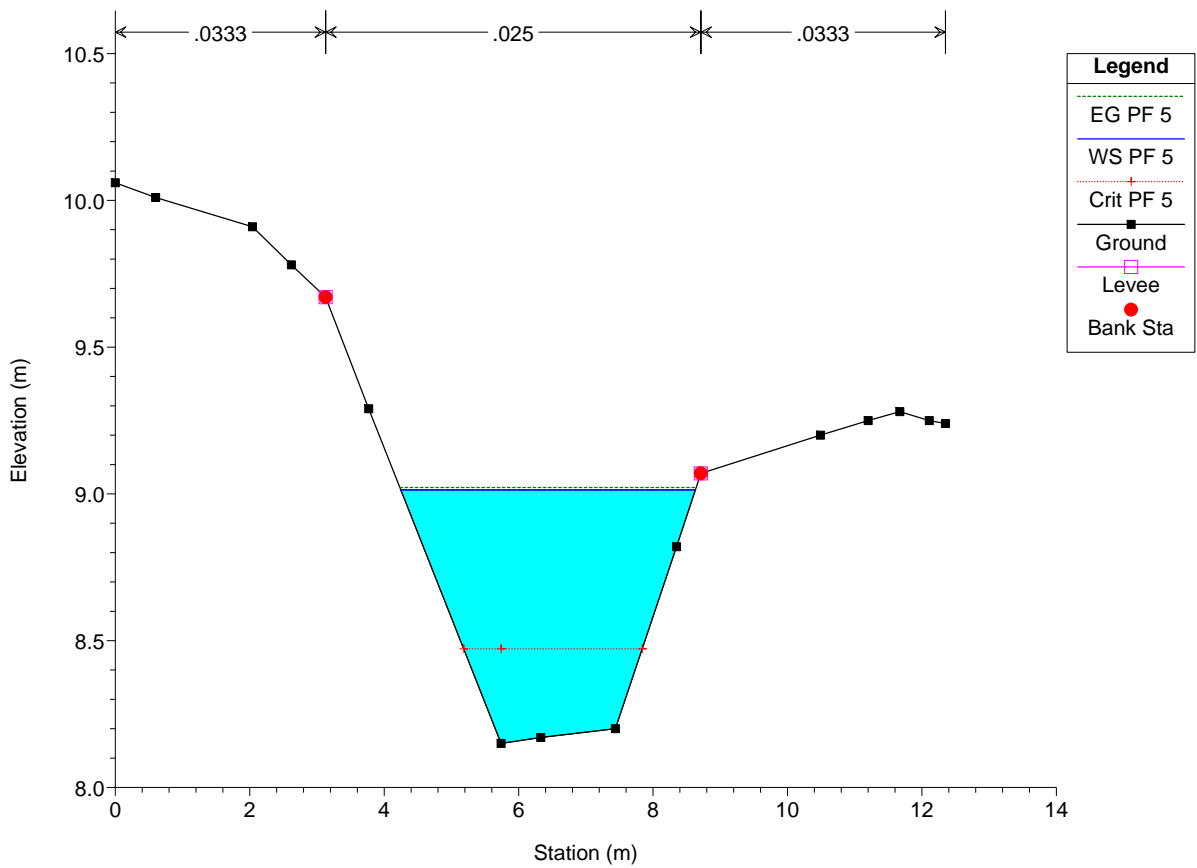


T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

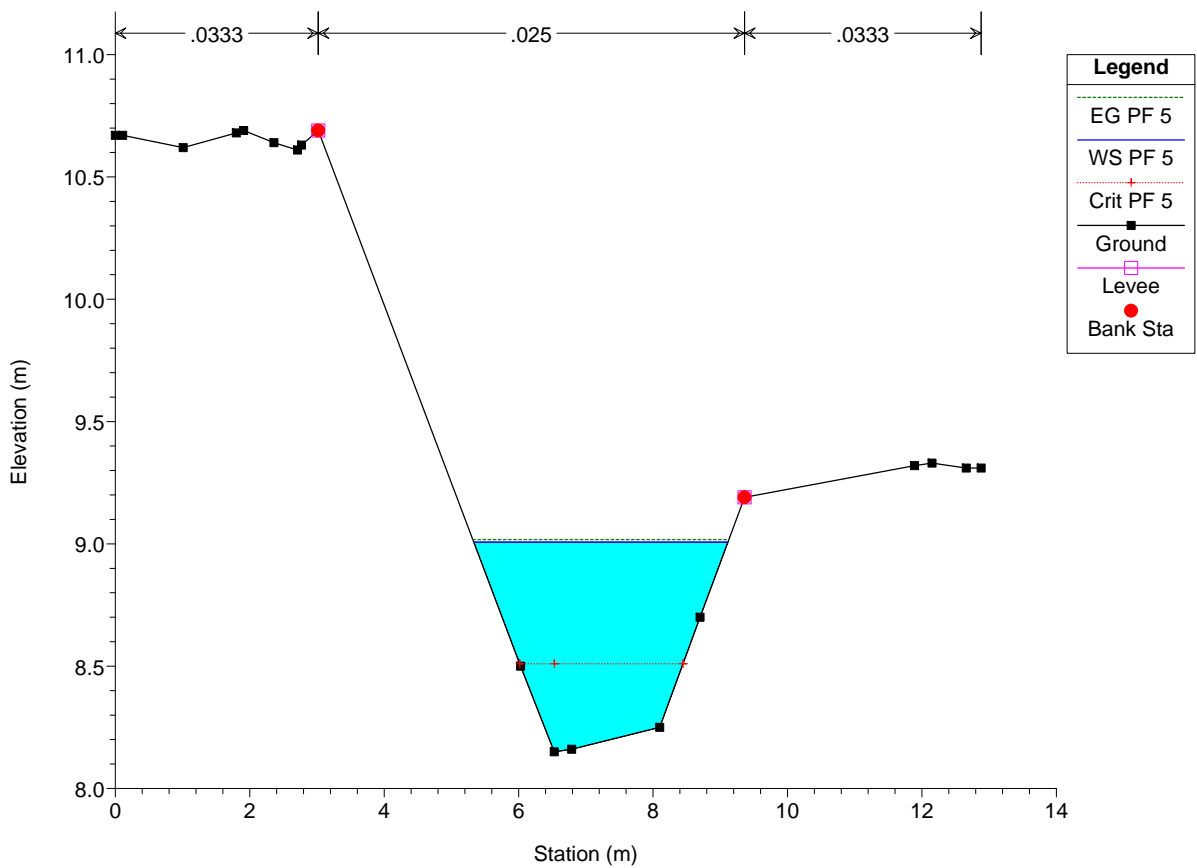




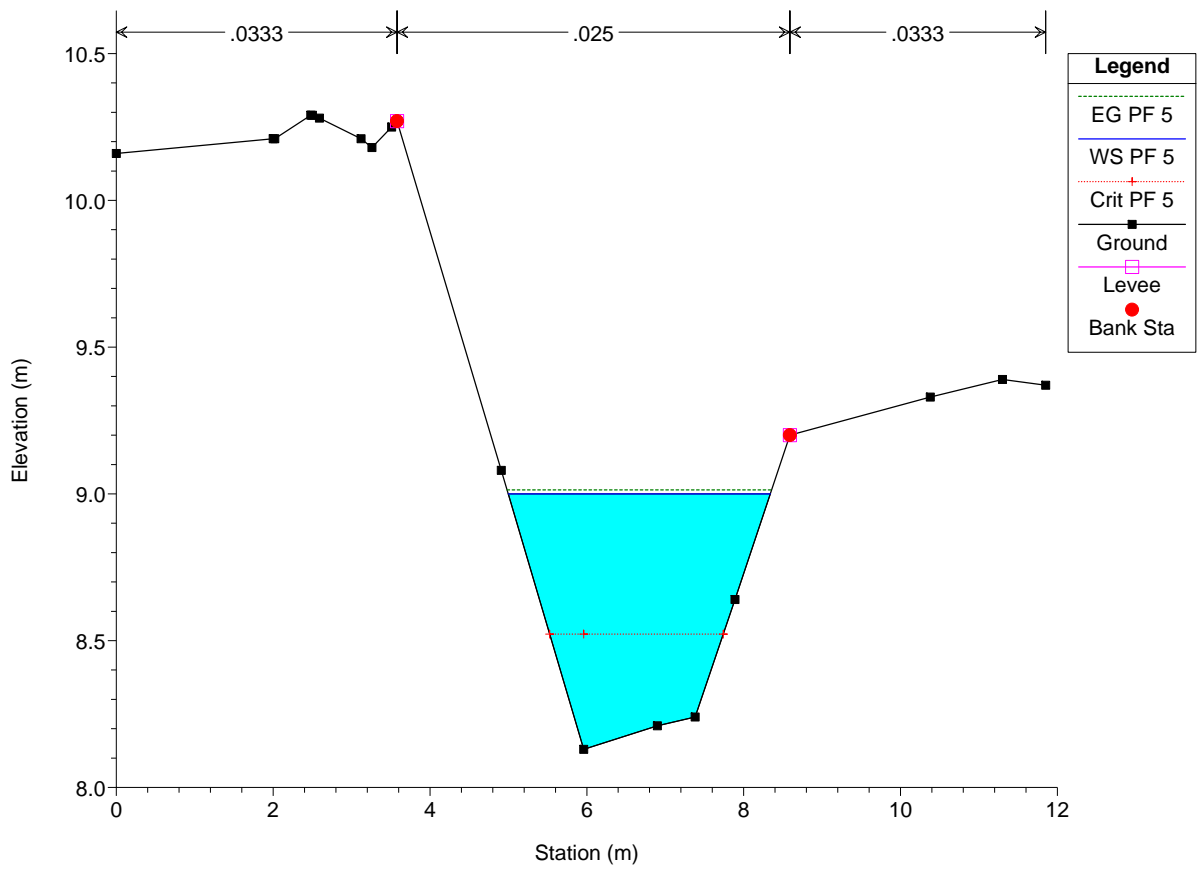
T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016



T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

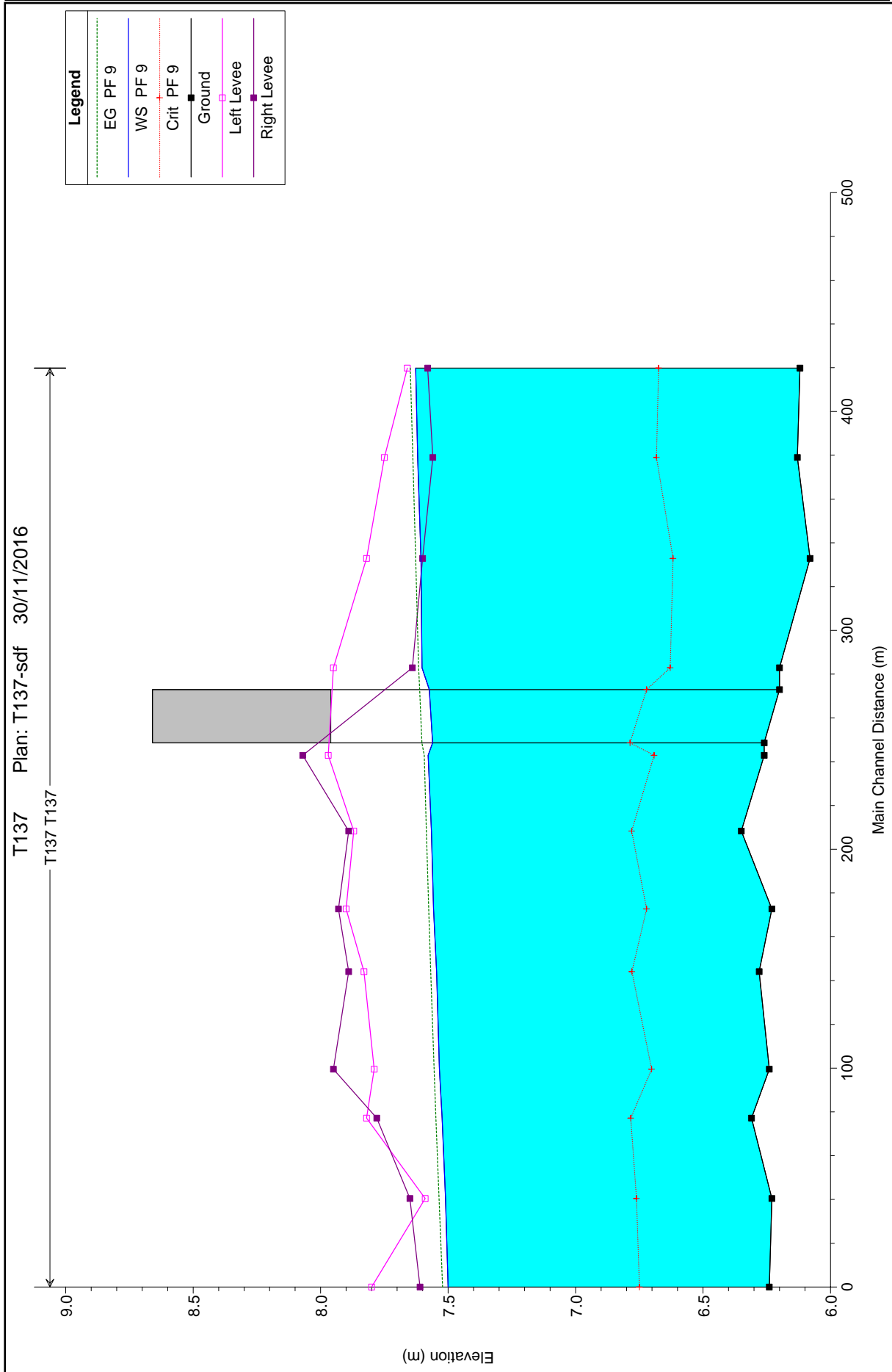


T143 Plan: T143sdp\_1 01/12/2016

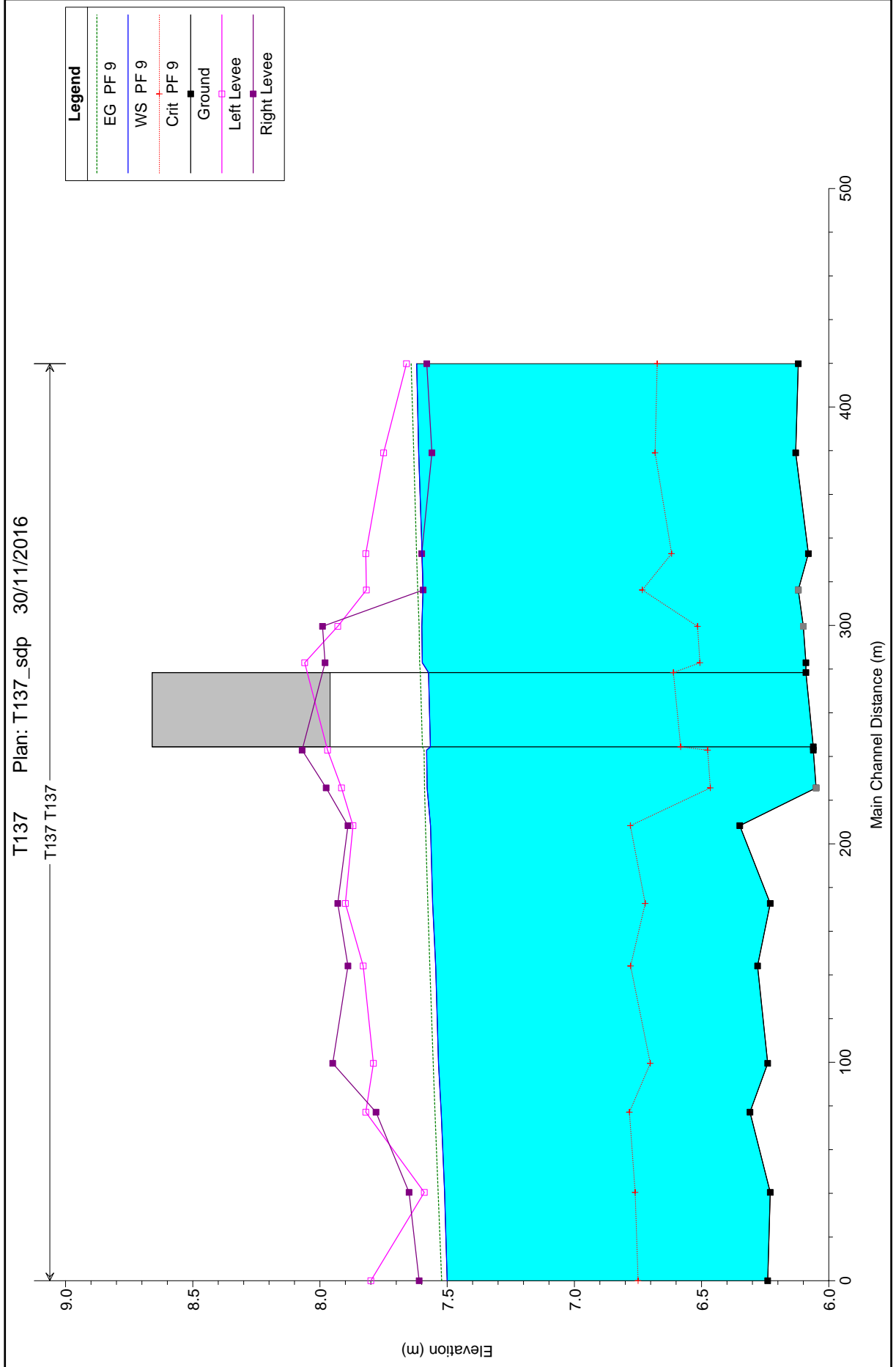


### 1.2.2 Scolo San Martino

# Scolo San Martino: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Scolo San Martino: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



T137 Plan: T137\_sdp 30/11/2016

T137 T137

9.0

8.5

8.0

7.5

7.0

6.5

6.0

Elevation (m)

500

400

300

200

100

0

Main Channel Distance (m)

**Legend**

EG PF 9

WS PF 9

Crit PF 9

Ground

Left Levee

Right Levee

# Scolo San Martino: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T137-sdf River: T137 Reach: T137 Profile: PF 9

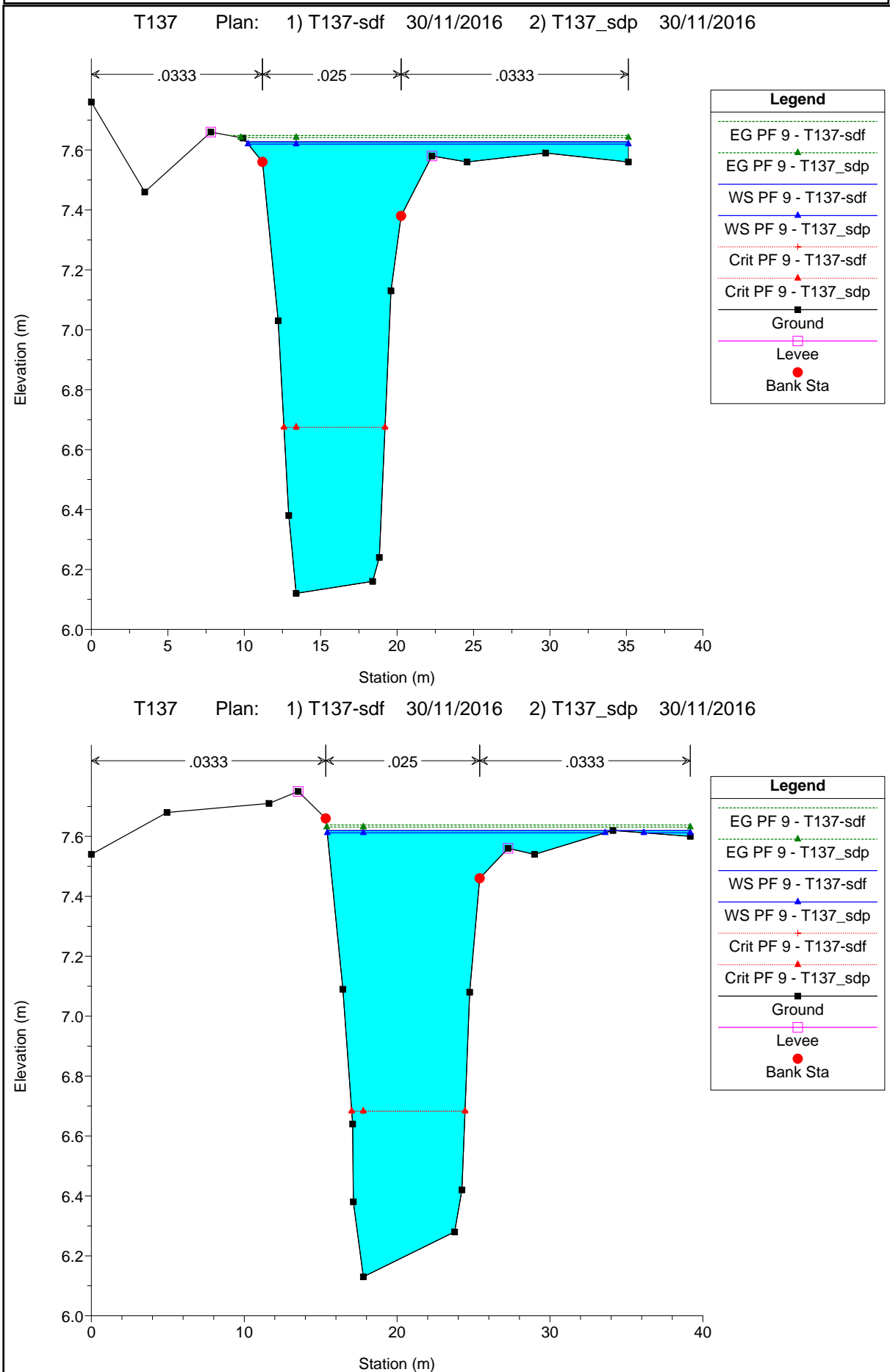
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T137	419.8393	PF 9	7.00	6.12	7.63	6.67	7.65	0.000240	0.65	11.69	24.99	0.19
T137	379.0083	PF 9	7.00	6.13	7.62	6.68	7.64	0.000220	0.61	11.99	23.56	0.18
T137	332.8882	PF 9	7.00	6.08	7.61	6.62	7.63	0.000238	0.64	11.23	18.60	0.19
T137	282.9355	PF 9	7.00	6.20	7.60	6.63	7.62	0.000151	0.52	13.59	11.77	0.15
T137	272.9		Bridge									
T137	242.9461	PF 9	7.00	6.26	7.58	6.69	7.59	0.000183	0.55	12.80	11.83	0.17
T137	208.3643	PF 9	7.00	6.35	7.57	6.78	7.59	0.000261	0.62	11.22	10.78	0.20
T137	172.7635	PF 9	7.00	6.23	7.56	6.72	7.58	0.000241	0.61	11.46	10.71	0.19
T137	144.0888	PF 9	7.00	6.28	7.55	6.78	7.57	0.000301	0.67	10.45	9.91	0.21
T137	99.51899	PF 9	7.00	6.24	7.53	6.70	7.55	0.000272	0.64	10.98	10.48	0.20
T137	77.17843	PF 9	7.00	6.31	7.52	6.78	7.55	0.000331	0.69	10.16	10.01	0.22
T137	40.44237	PF 9	7.00	6.23	7.51	6.76	7.54	0.000347	0.70	10.01	11.05	0.22
T137	2.680542	PF 9	7.00	6.24	7.50	6.75	7.52	0.000287	0.65	10.70	10.42	0.21

# Scolo San Martino: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

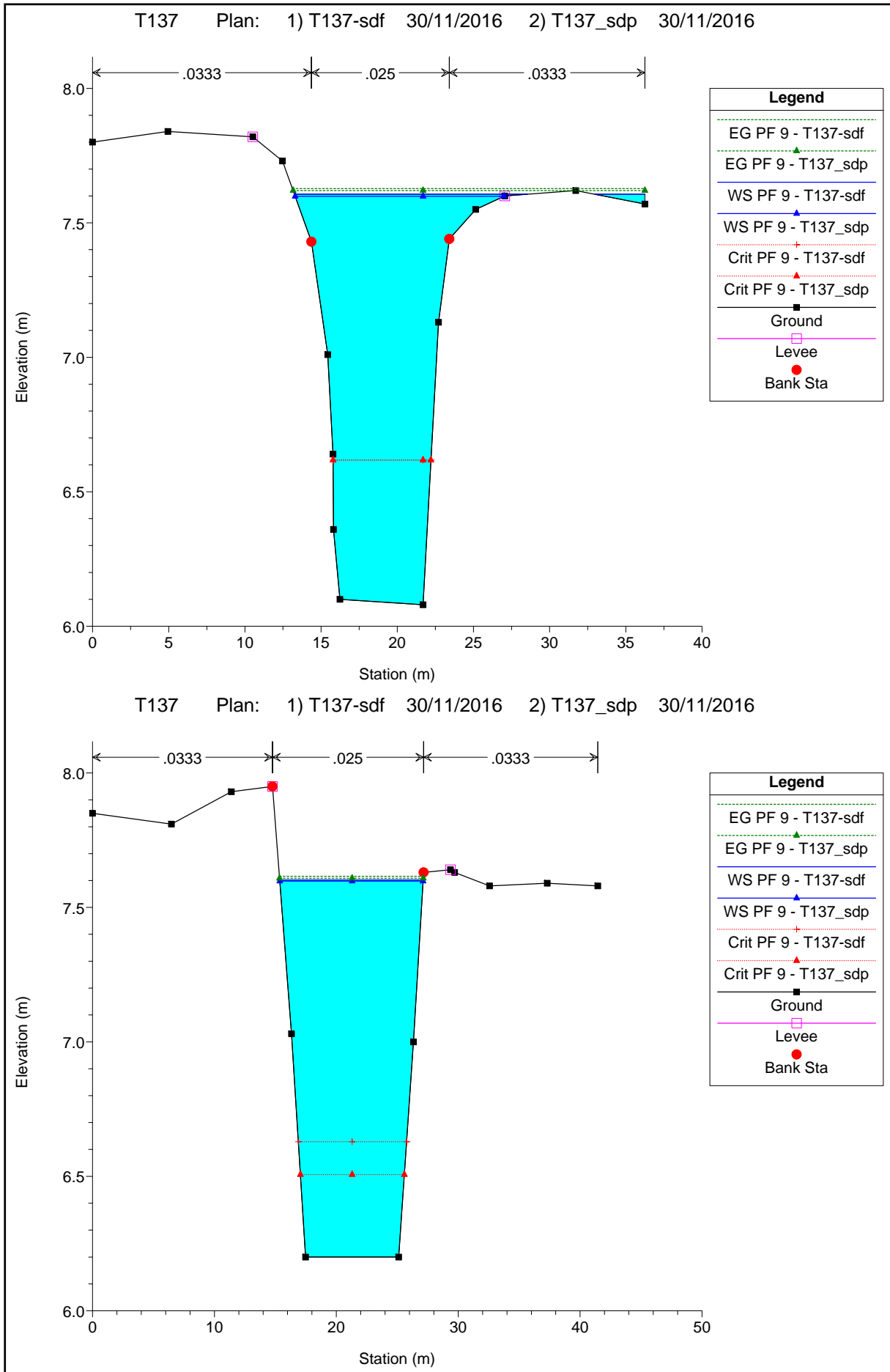
HEC-RAS Plan: T137\_sdp River: T137 Reach: T137 Profile: PF 9

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T137	419.8393	PF 9	7.00	6.12	7.62	6.67	7.64	0.000246	0.65	11.51	24.88	0.19
T137	379.0083	PF 9	7.00	6.13	7.61	6.68	7.63	0.000225	0.61	11.83	21.23	0.18
T137	332.8882	PF 9	7.00	6.08	7.60	6.62	7.62	0.000243	0.65	11.06	13.72	0.19
T137	316.237*	PF 9	7.00	6.12	7.60	6.73	7.62	0.000256	0.64	11.12	16.12	0.20
T137	299.586*	PF 9	7.00	6.10	7.60	6.52	7.61	0.000109	0.46	15.33	12.47	0.13
T137	282.9355	PF 9	7.00	6.09	7.60	6.51	7.61	0.000106	0.45	15.47	12.52	0.13
T137	272.9		Bridge									
T137	242.9461	PF 9	7.00	6.06	7.58	6.48	7.59	0.000104	0.45	15.52	12.43	0.13
T137	225.655*	PF 9	7.00	6.05	7.58	6.47	7.59	0.000101	0.44	15.73	12.58	0.13
T137	208.3643	PF 9	7.00	6.35	7.57	6.78	7.59	0.000261	0.62	11.22	10.78	0.20
T137	172.7635	PF 9	7.00	6.23	7.56	6.72	7.58	0.000241	0.61	11.46	10.71	0.19
T137	144.0888	PF 9	7.00	6.28	7.55	6.78	7.57	0.000301	0.67	10.45	9.91	0.21
T137	99.51899	PF 9	7.00	6.24	7.53	6.70	7.55	0.000272	0.64	10.98	10.48	0.20
T137	77.17843	PF 9	7.00	6.31	7.52	6.78	7.55	0.000331	0.69	10.16	10.01	0.22
T137	40.44237	PF 9	7.00	6.23	7.51	6.76	7.54	0.000347	0.70	10.01	11.05	0.22
T137	2.680542	PF 9	7.00	6.24	7.50	6.75	7.52	0.000287	0.65	10.70	10.42	0.21

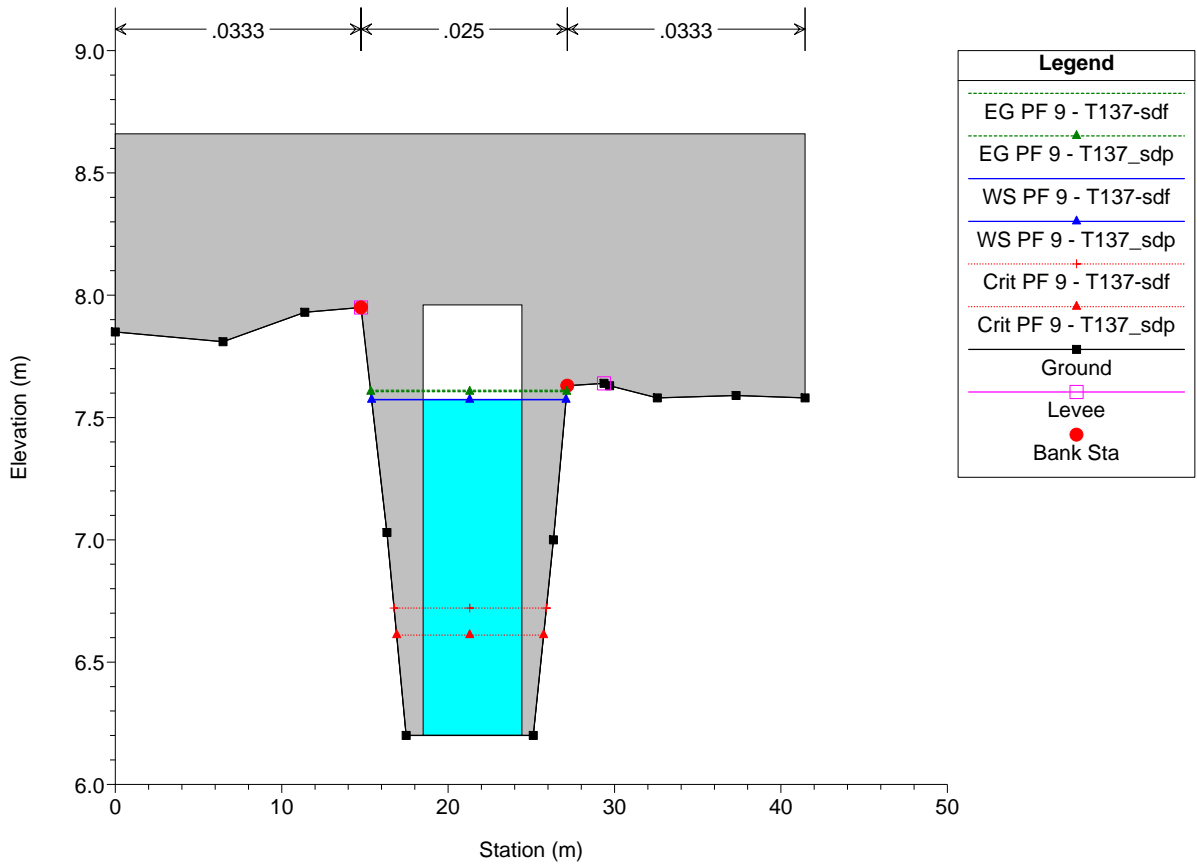
# Scolo San Martino: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni



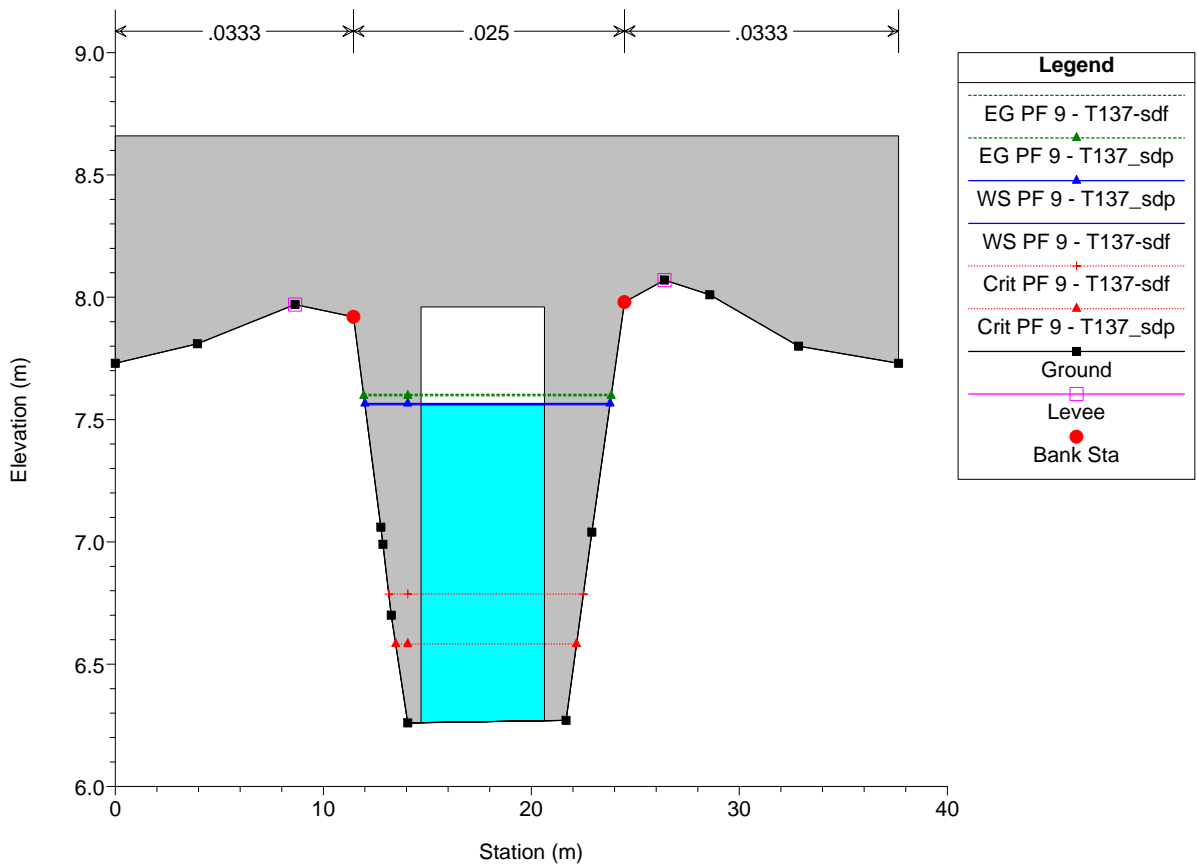


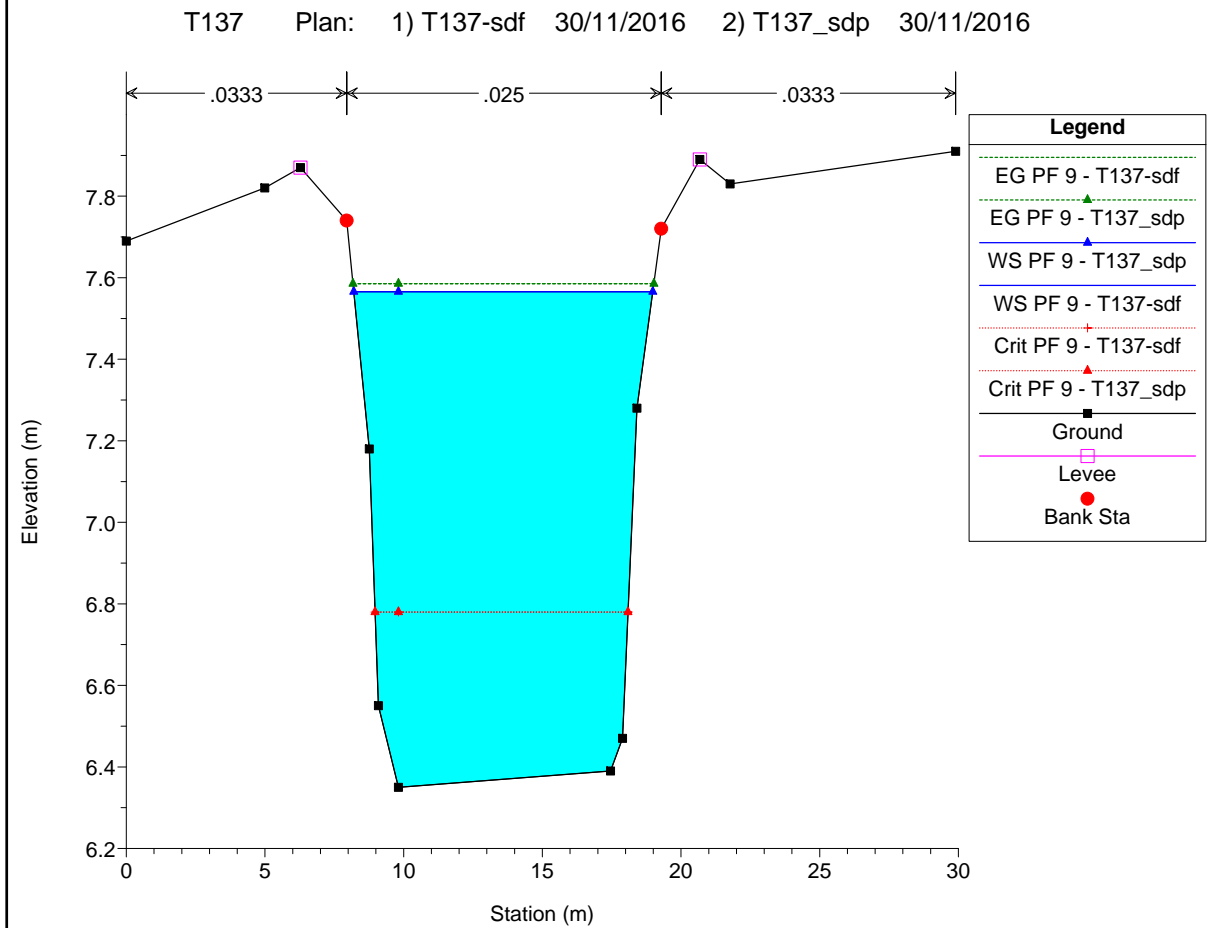
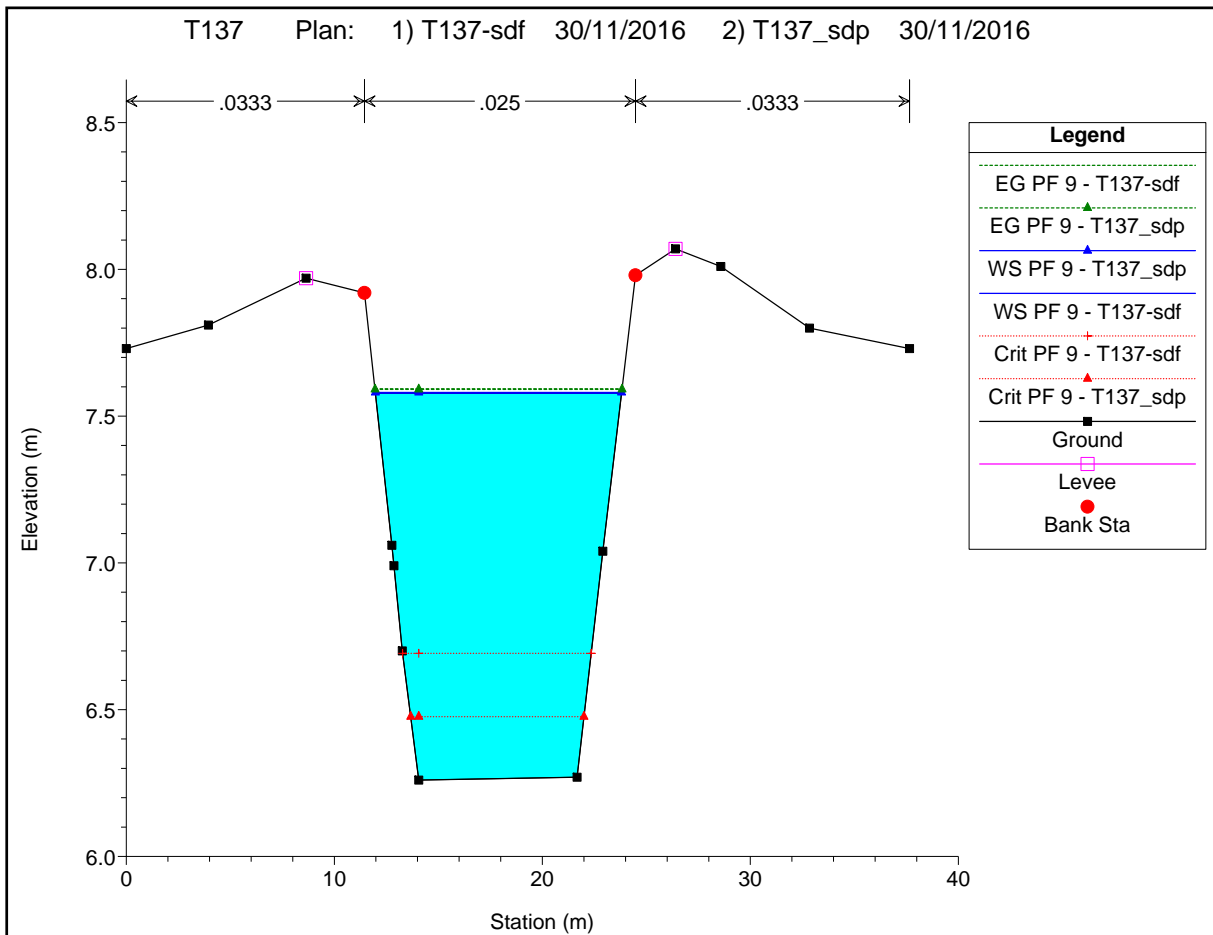


T137 Plan: 1) T137-sdf 30/11/2016 2) T137\_sdp 30/11/2016

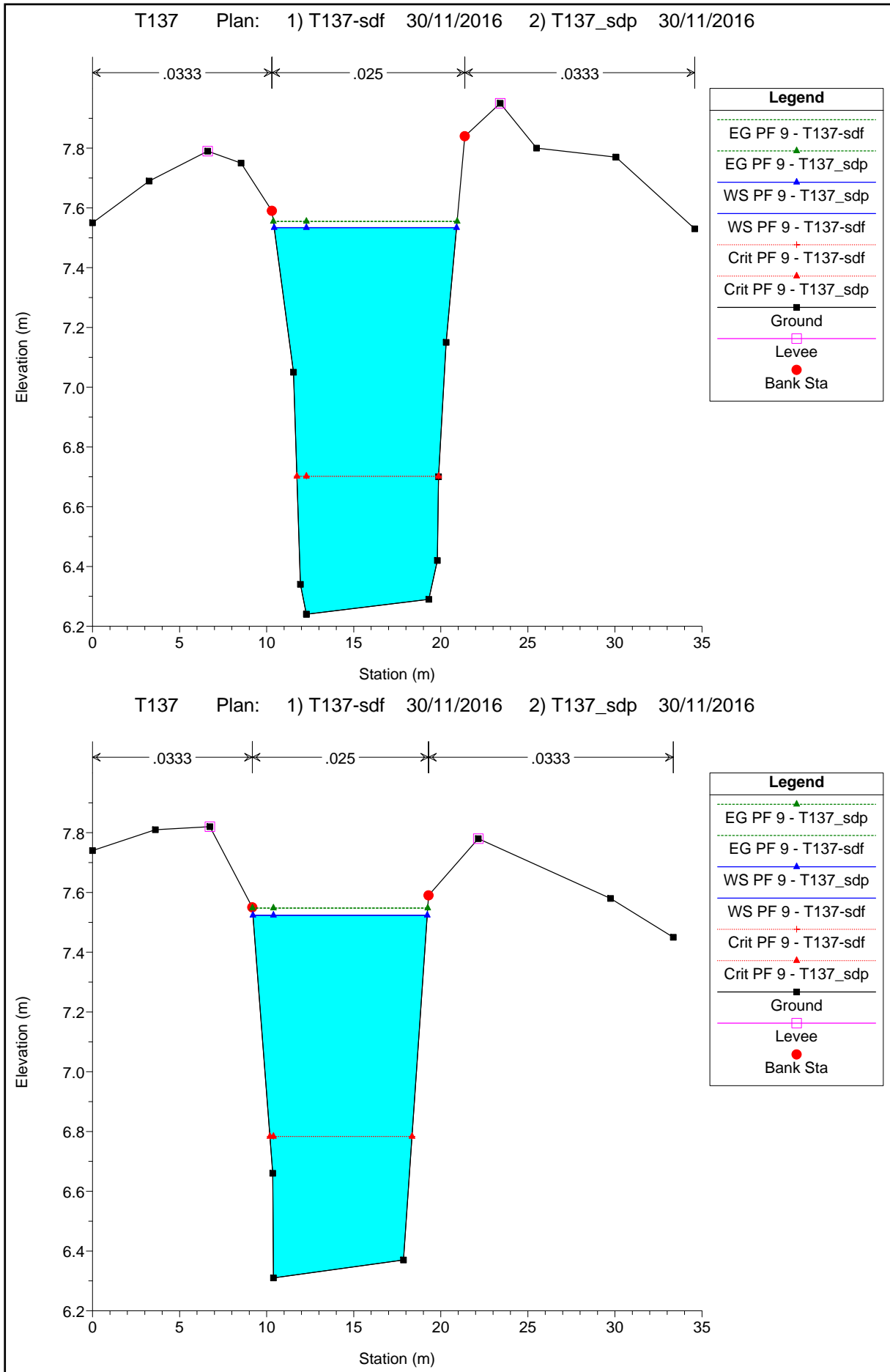


T137 Plan: 1) T137-sdf 30/11/2016 2) T137\_sdp 30/11/2016

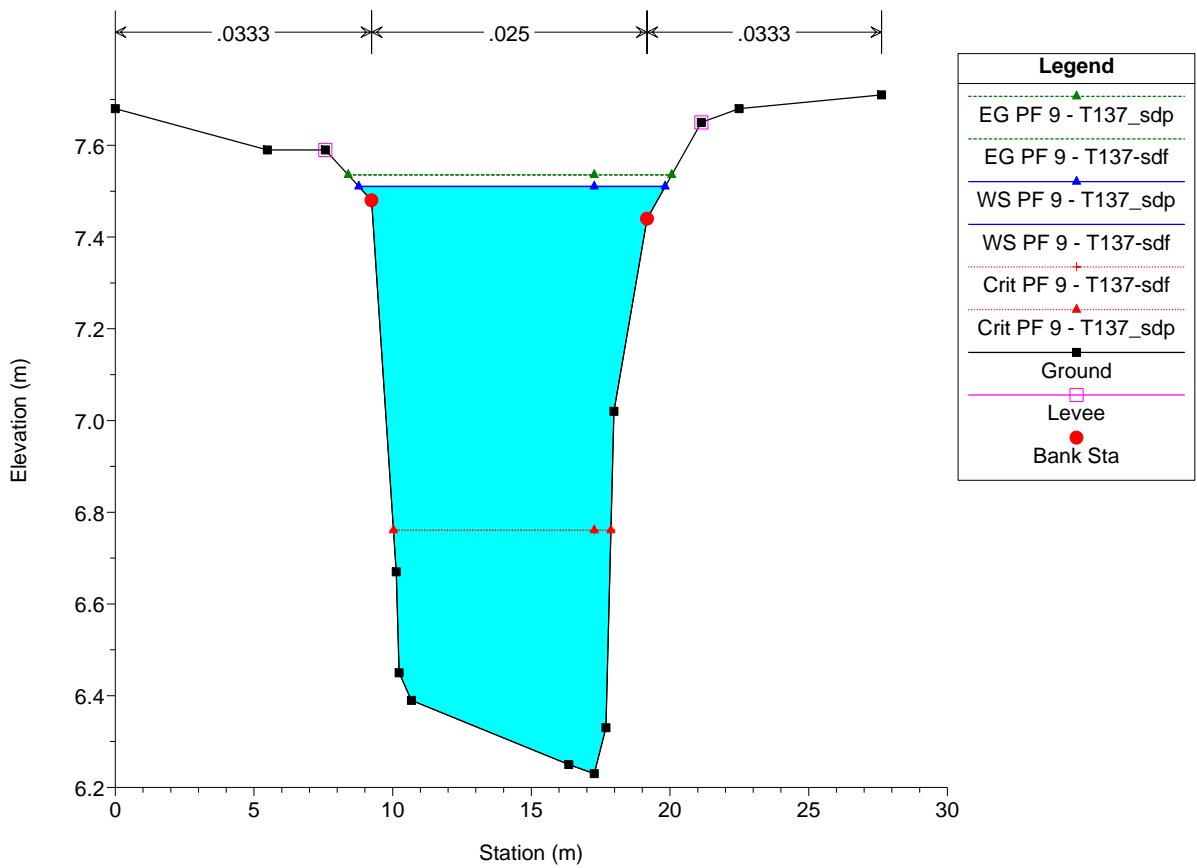




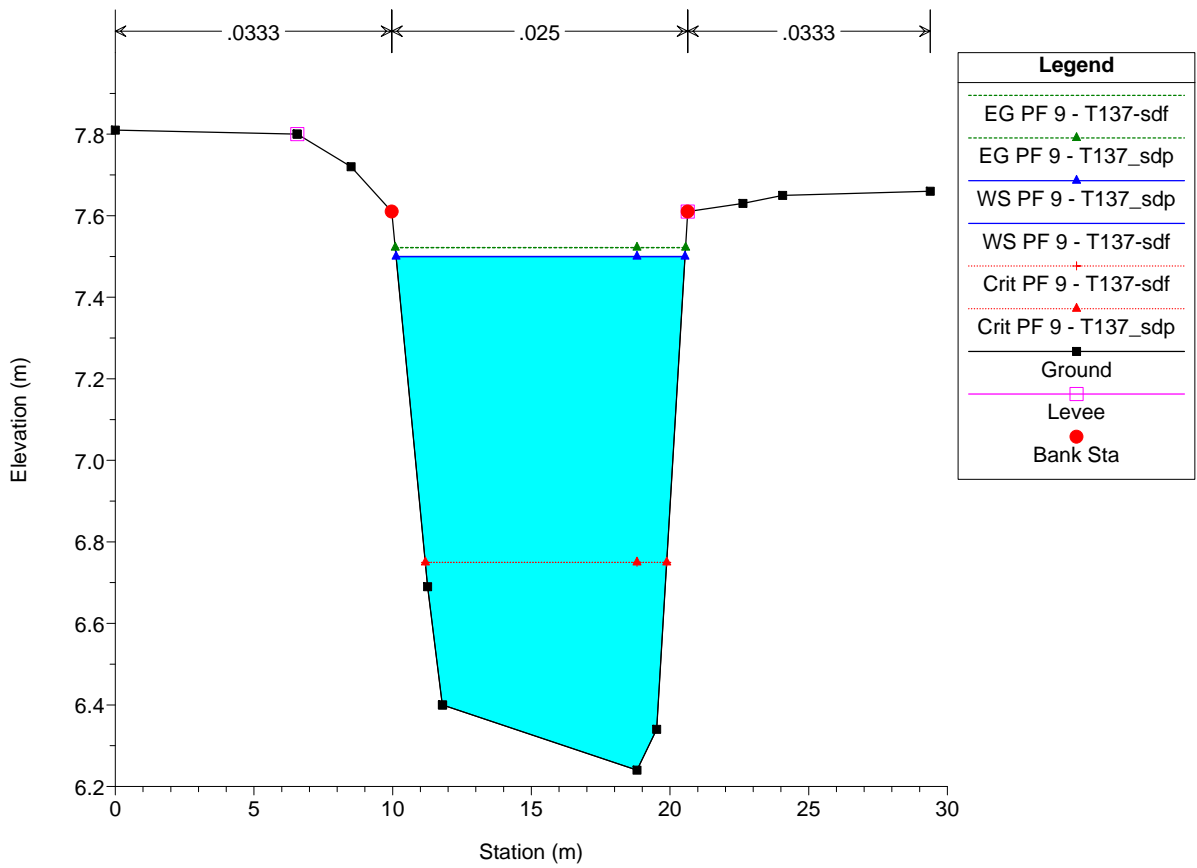




T137 Plan: 1) T137-sdf 30/11/2016 2) T137\_sdp 30/11/2016

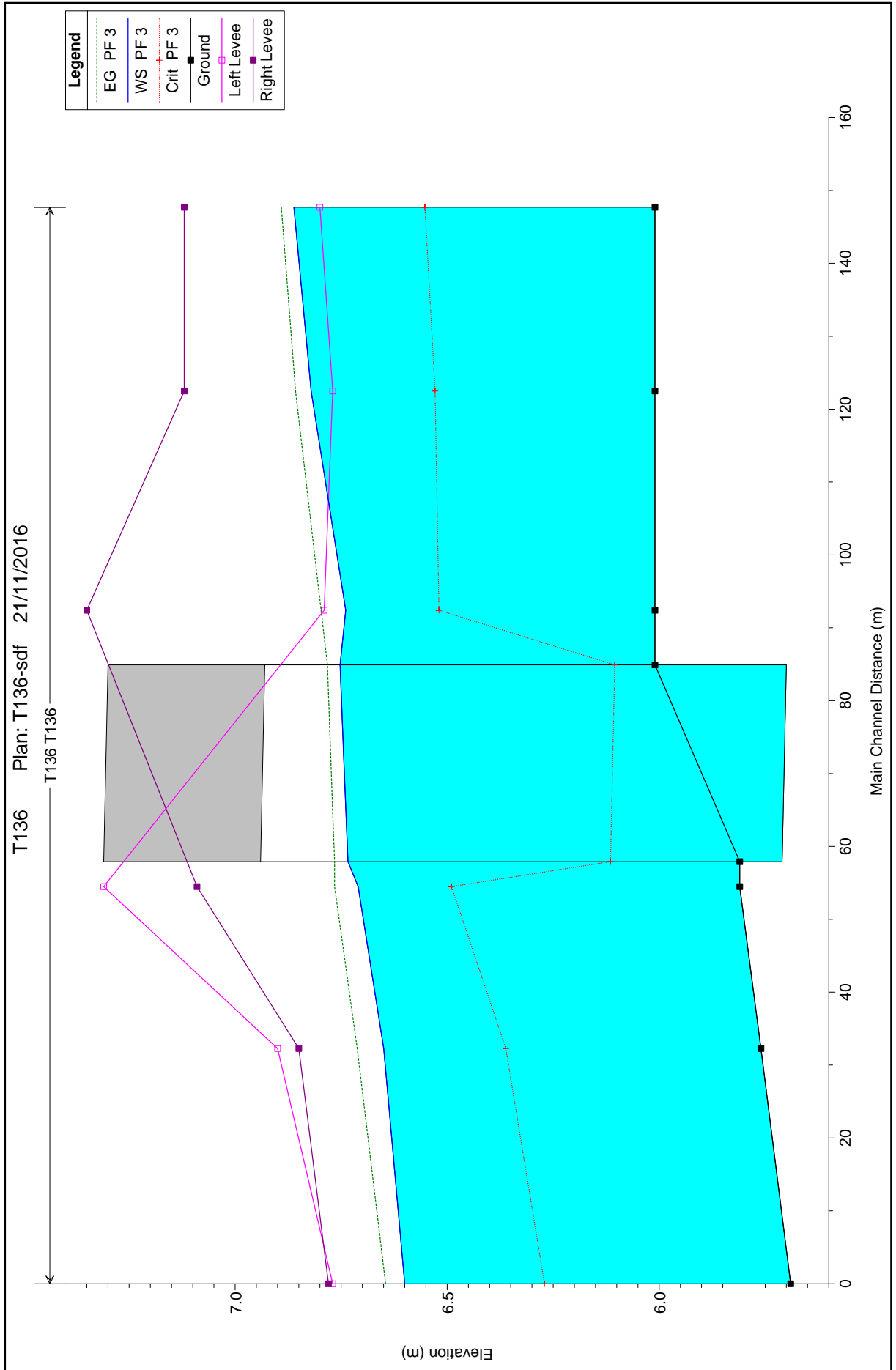


T137 Plan: 1) T137-sdf 30/11/2016 2) T137\_sdp 30/11/2016



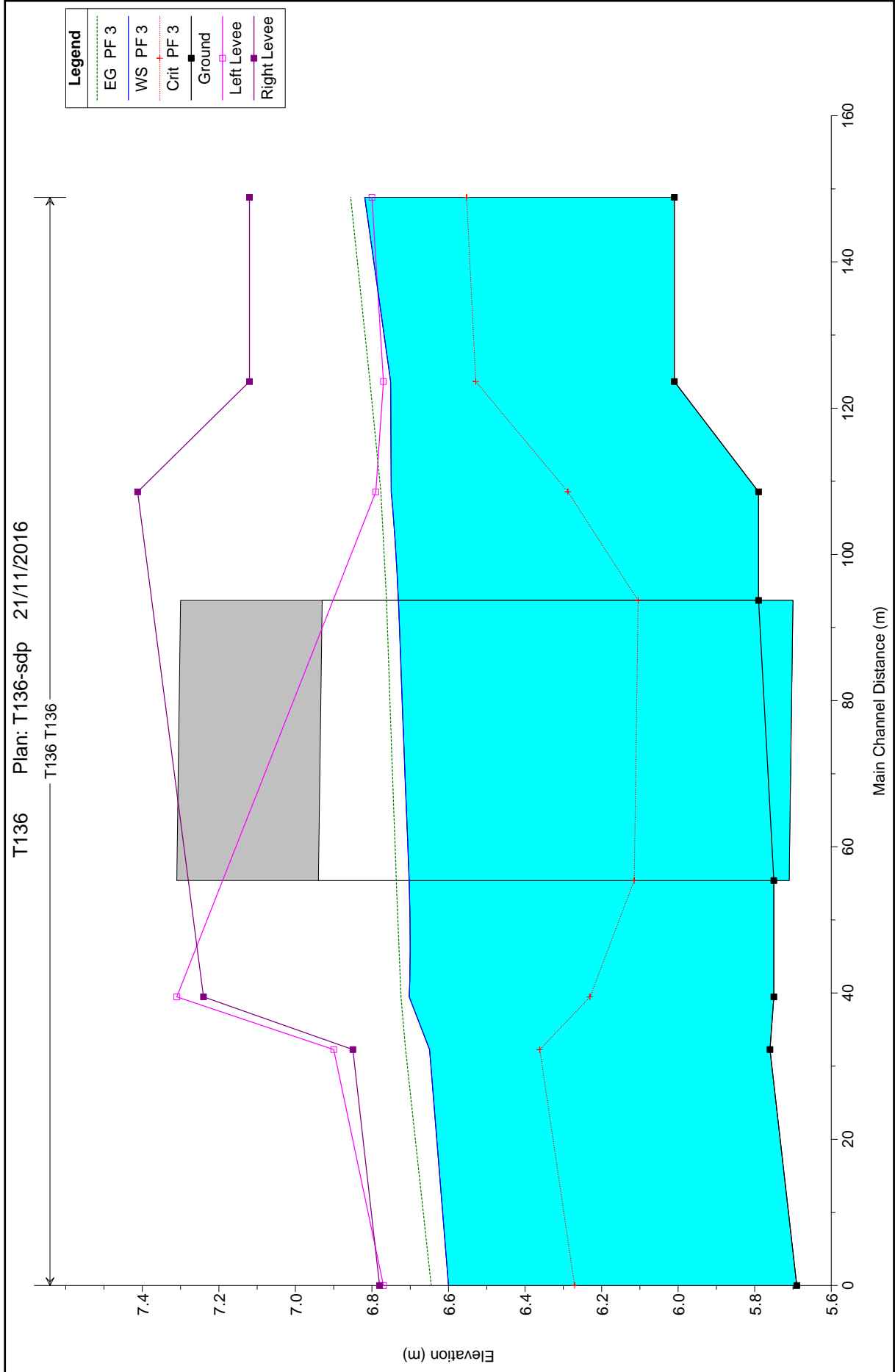
### 1.2.3 Deviazione fossa Margosa

# Deviazione fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo





# Deviazione fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Deviazione fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T136-sdf River: T136 Reach: T136 Profile: PF 3

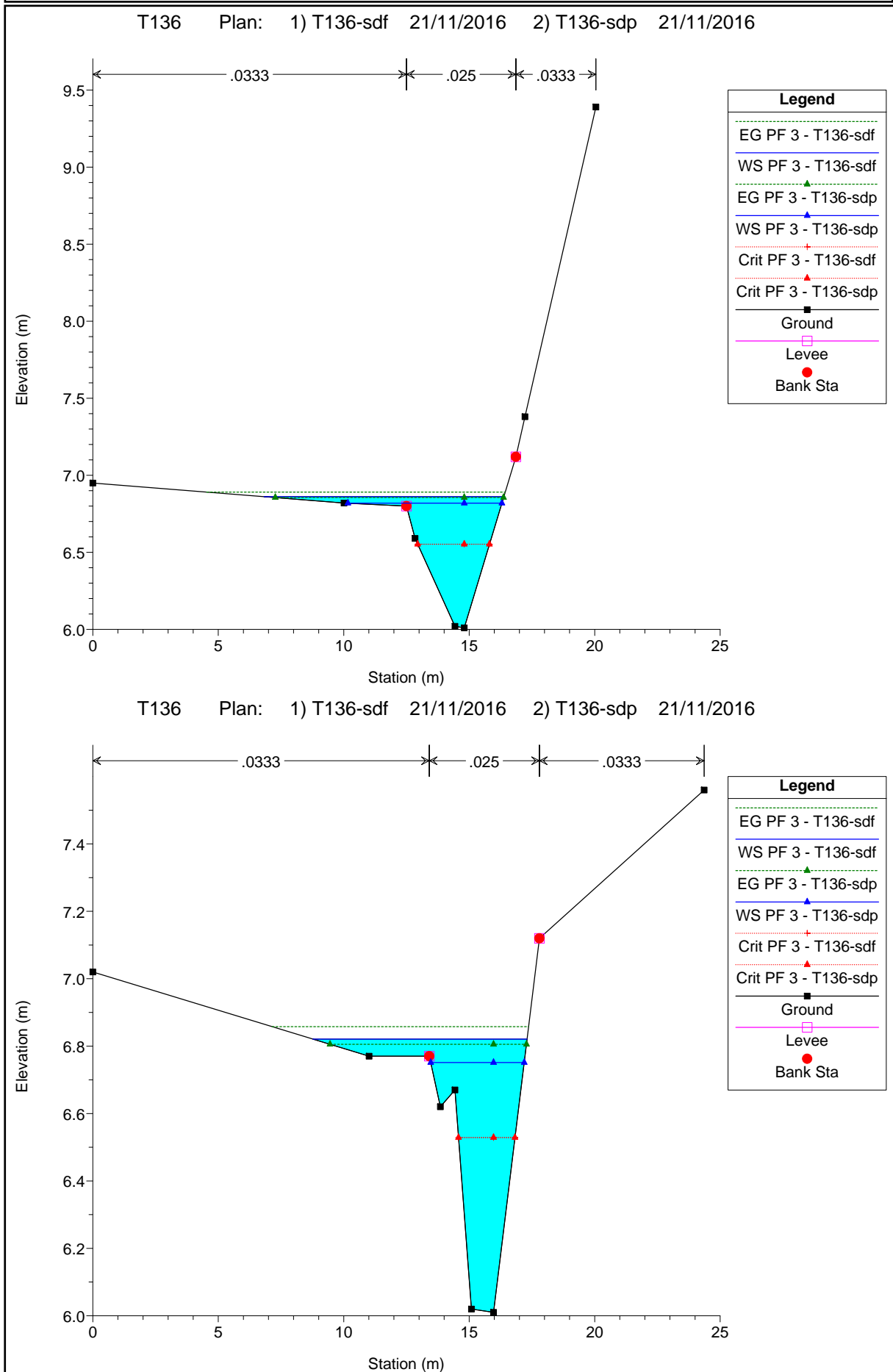
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T136	148.5061	PF 3	1.50	6.01	6.86	6.55	6.89	0.001060	0.77	2.12	9.56	0.35
T136	123.3105	PF 3	1.50	6.01	6.82	6.53	6.86	0.001609	0.86	1.90	8.54	0.41
T136	93.23324	PF 3	1.50	6.01	6.74	6.52	6.80	0.002372	1.07	1.41	3.02	0.50
T136	85.7		Culvert									
T136	55.3023	PF 3	1.50	5.81	6.71	6.49	6.77	0.002388	1.05	1.43	3.19	0.50
T136	33.09388	PF 3	1.50	5.76	6.65	6.36	6.71	0.002344	1.11	1.35	2.35	0.47
T136	0.823795	PF 3	1.50	5.69	6.60	6.27	6.65	0.001590	0.94	1.59	2.88	0.40

# Deviazione fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

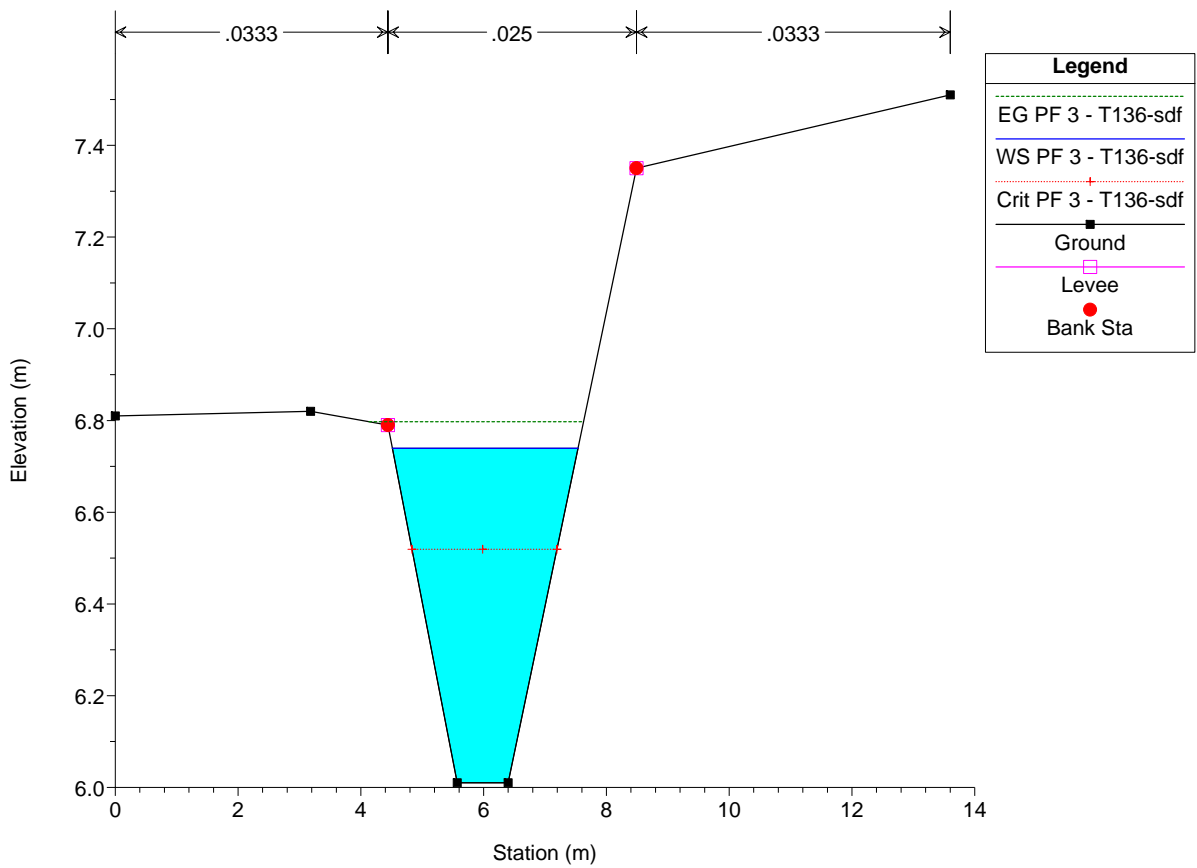
HEC-RAS Plan: T136-sdp River: T136 Reach: T136 Profile: PF 3

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T136	148.5061	PF 3	1.50	6.01	6.82	6.55	6.86	0.001421	0.85	1.78	6.15	0.40
T136	123.3105	PF 3	1.50	6.01	6.75	6.53	6.81	0.002746	1.03	1.46	3.73	0.53
T136	123.2332	PF 3	1.50	5.79	6.75	6.29	6.78	0.000805	0.73	2.06	3.30	0.29
T136	85.7		Culvert									
T136	55.3023	PF 3	1.50	5.75	6.70	6.23	6.72	0.000631	0.65	2.30	3.84	0.27
T136	33.09388	PF 3	1.50	5.76	6.65	6.36	6.71	0.002344	1.11	1.35	2.35	0.47
T136	0.823795	PF 3	1.50	5.69	6.60	6.27	6.65	0.001590	0.94	1.59	2.88	0.40

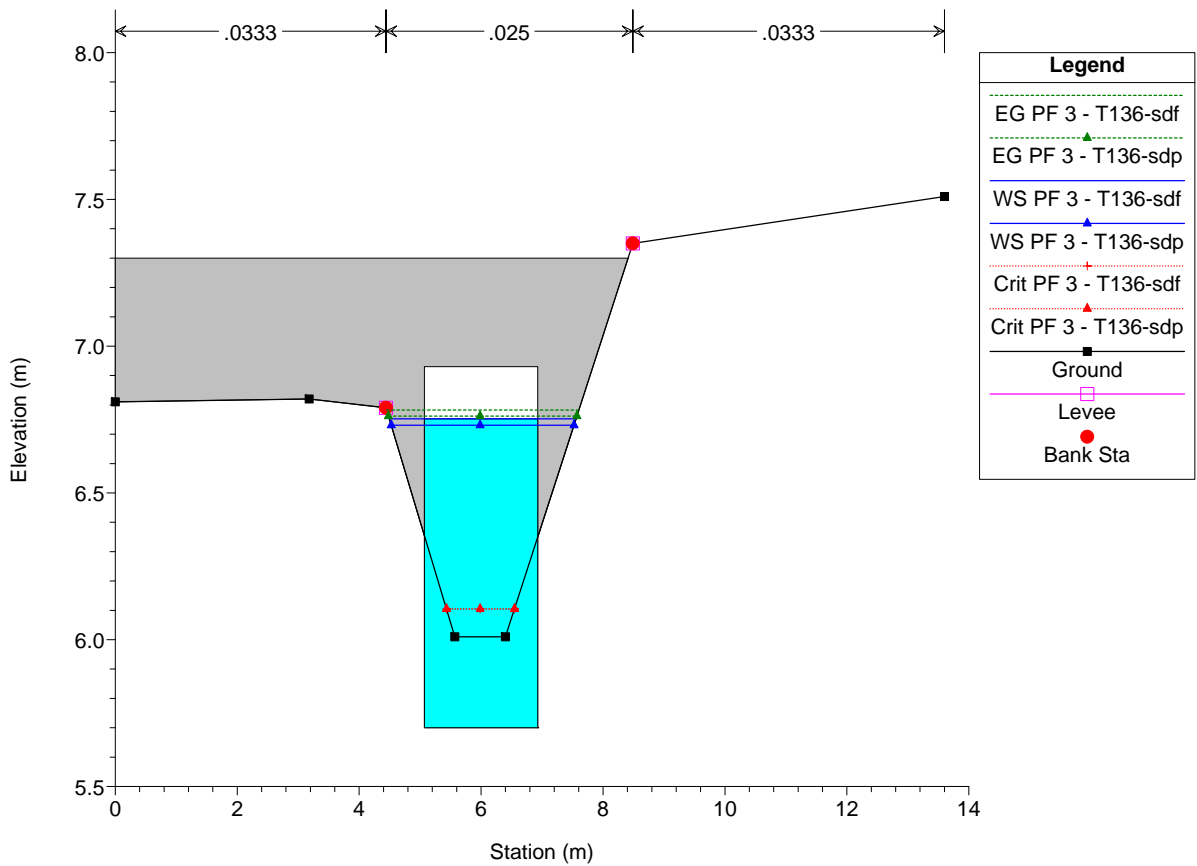
# Deviazione fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni



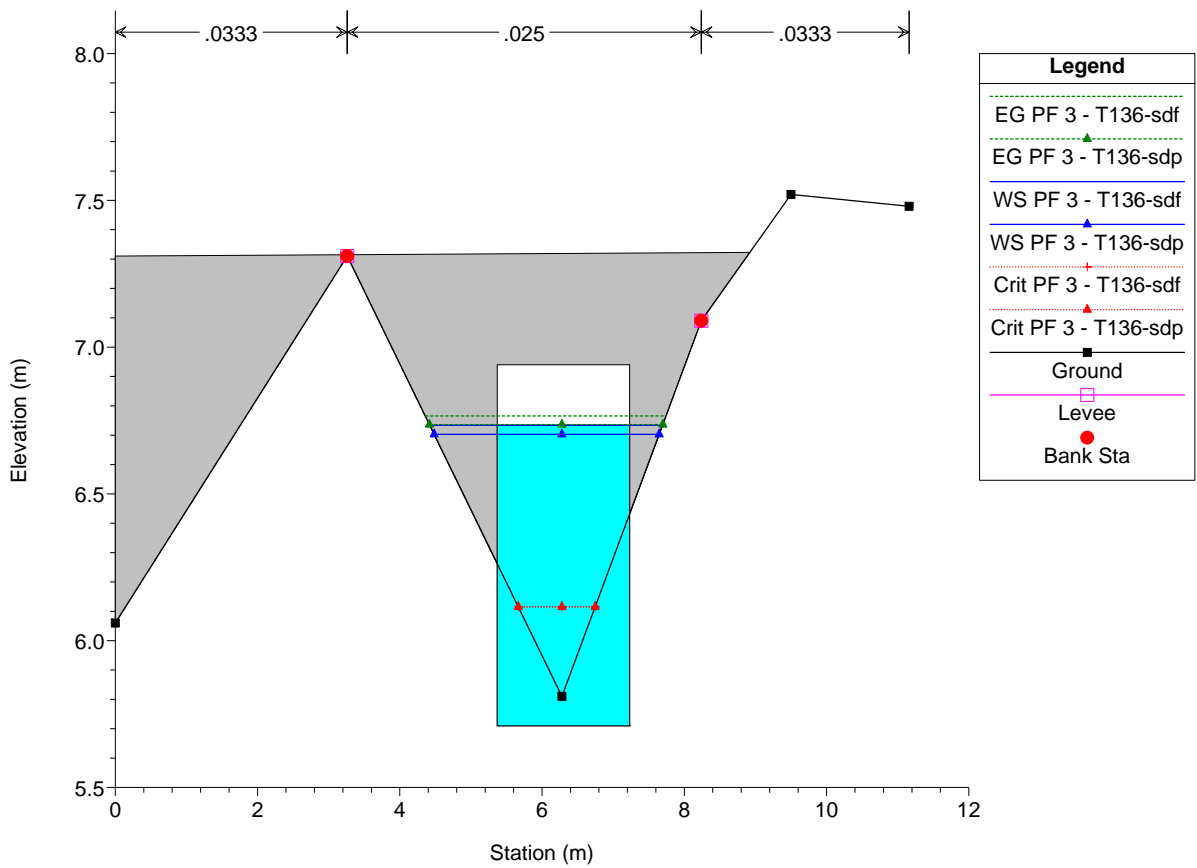
T136 Plan: 1) T136-sdf 21/11/2016 2) T136-sdp 21/11/2016



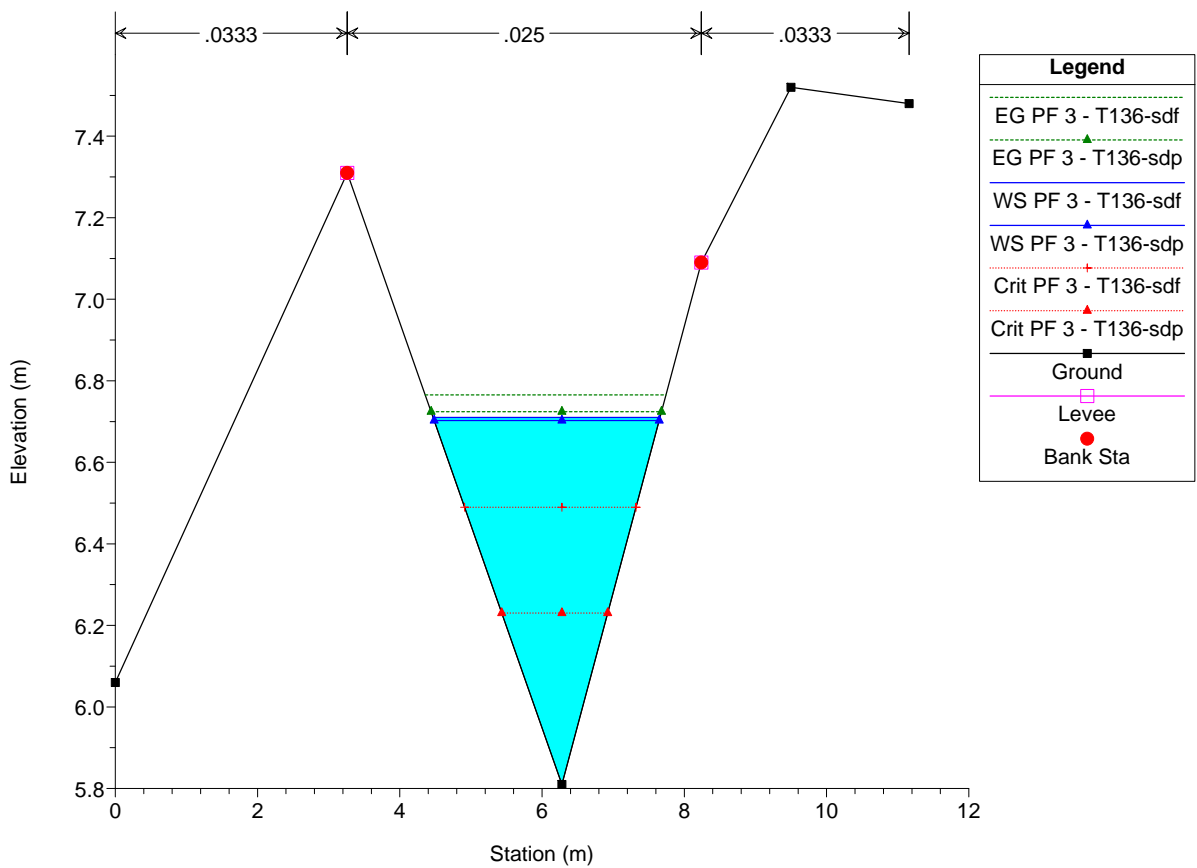
T136 Plan: 1) T136-sdf 21/11/2016 2) T136-sdp 21/11/2016



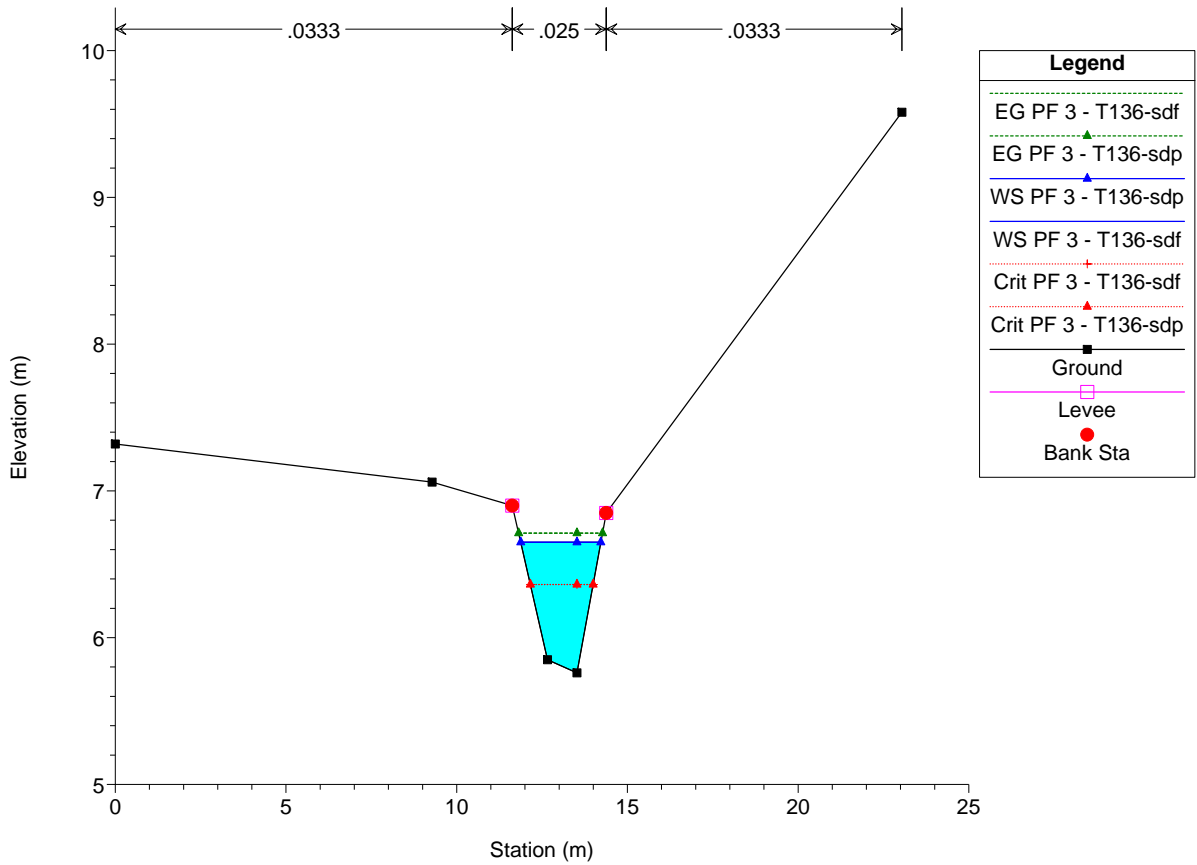
T136 Plan: 1) T136-sdf 21/11/2016 2) T136-sdp 21/11/2016



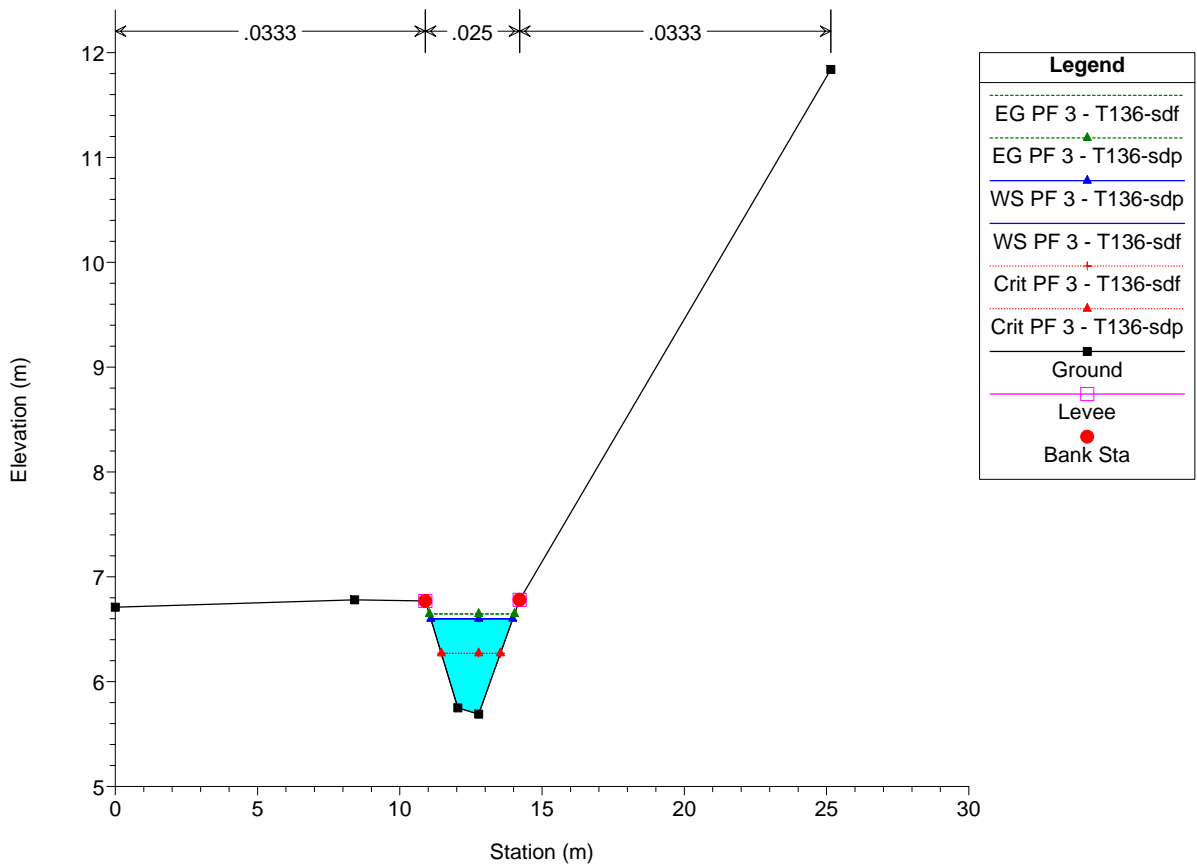
T136 Plan: 1) T136-sdf 21/11/2016 2) T136-sdp 21/11/2016



T136 Plan: 1) T136-sdf 21/11/2016 2) T136-sdp 21/11/2016



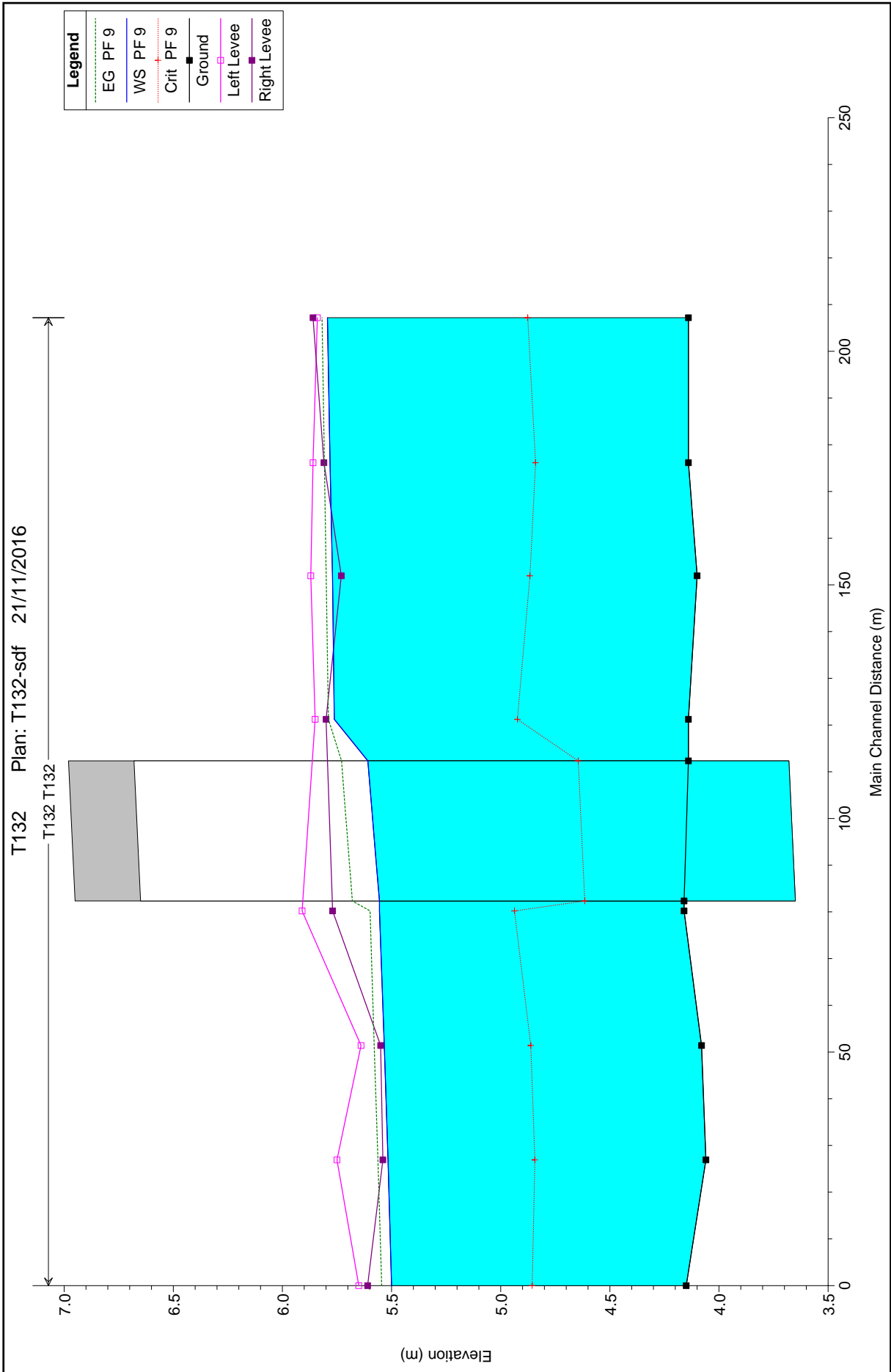
T136 Plan: 1) T136-sdf 21/11/2016 2) T136-sdp 21/11/2016



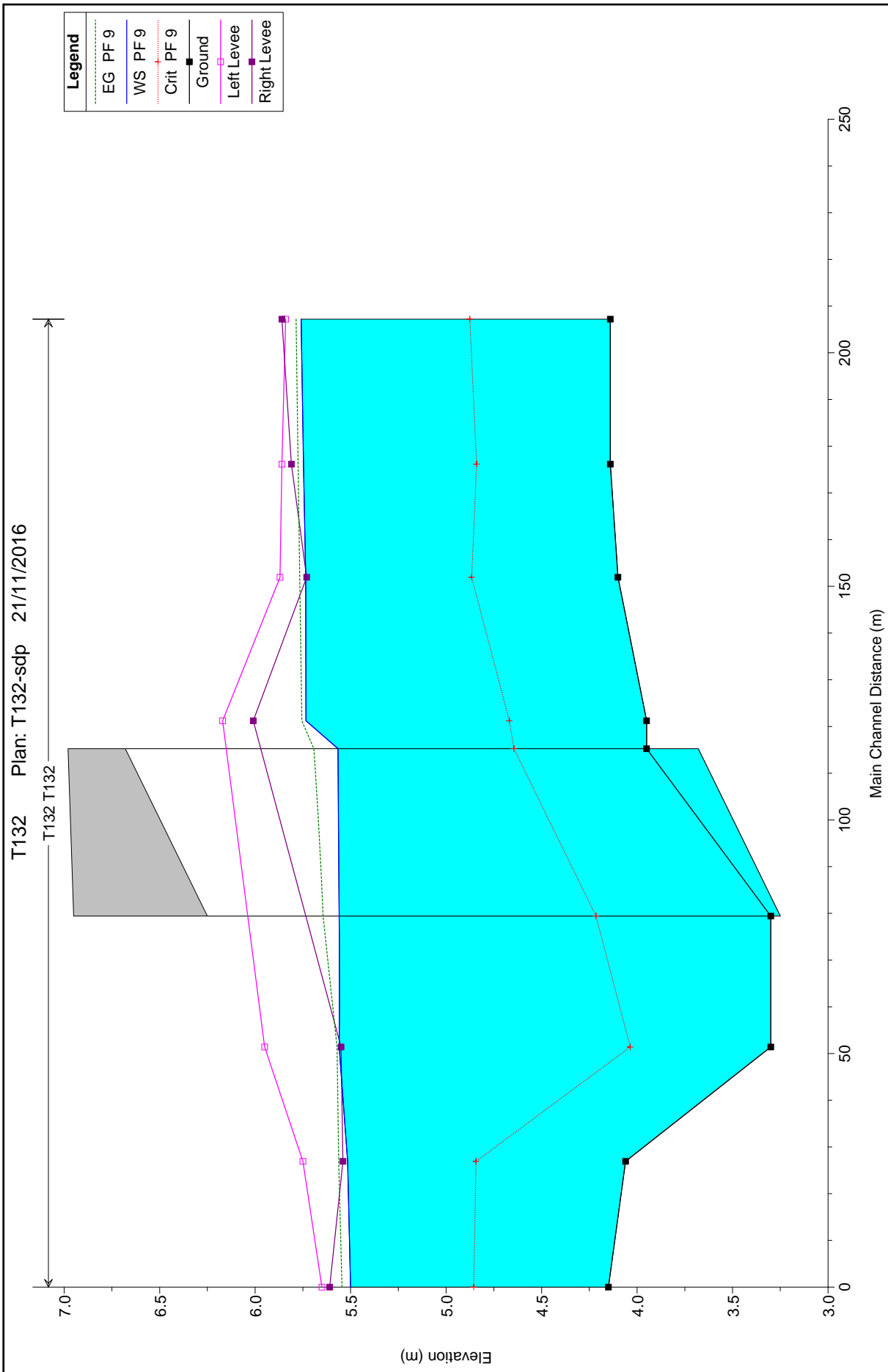
#### 1.2.4 Fossa Margosa



# Fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T132-sdf River: T132 Reach: T132 Profile: PF 9

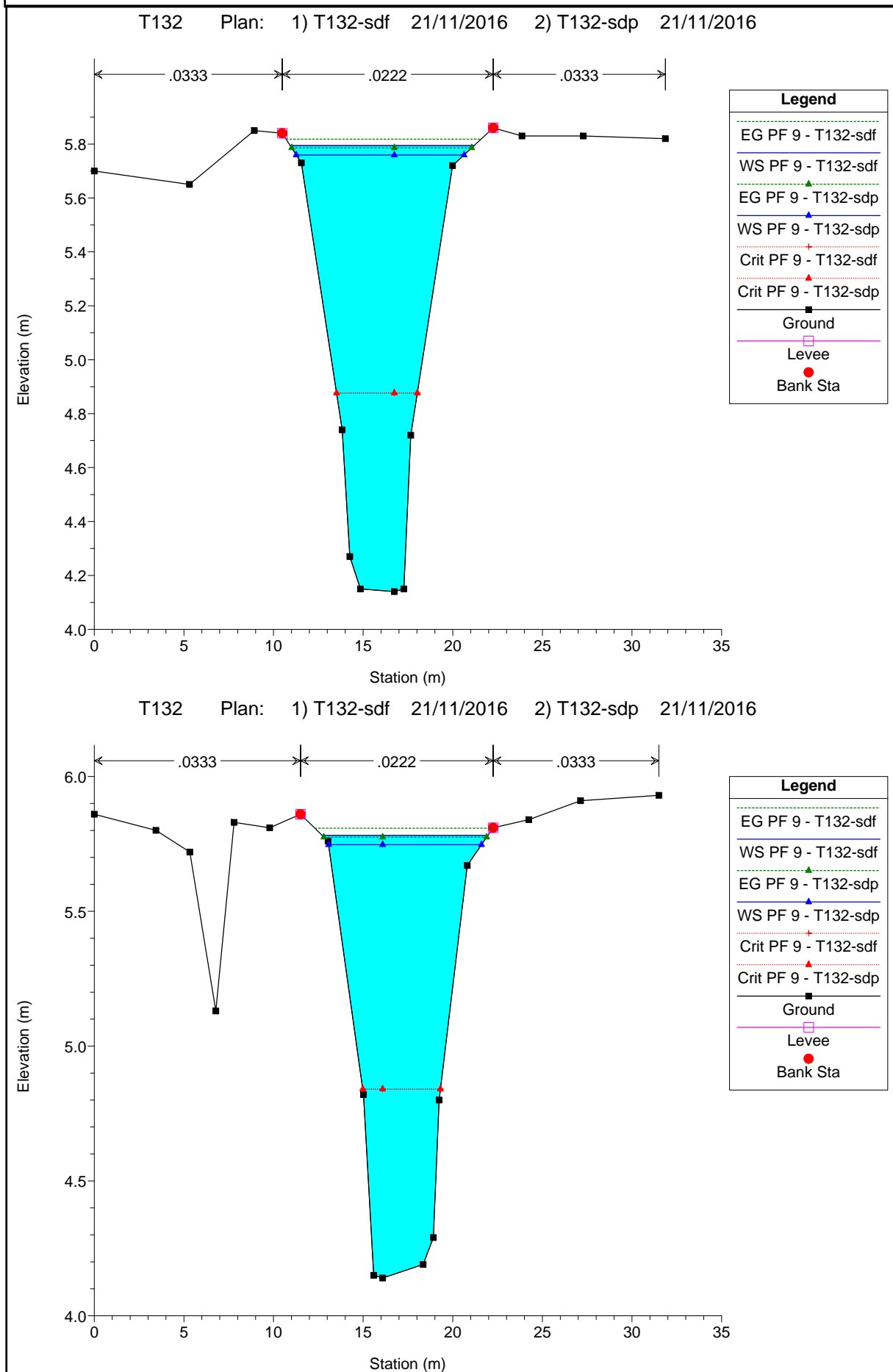
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
T132	207.66	PF 9	6.00	4.14	5.79	4.88	5.82	0.000330	0.69	8.69	10.26	0.24
T132	176.6079	PF 9	6.00	4.14	5.78	4.84	5.81	0.000332	0.72	8.39	9.25	0.24
T132	152.3999	PF 9	6.00	4.10	5.77	4.87	5.80	0.000329	0.75	8.00	10.21	0.24
T132	121.6966	PF 9	6.00	4.14	5.76	4.92	5.79	0.000300	0.73	8.23	8.35	0.23
T132	112.8		Culvert									
T132	80.67581	PF 9	6.00	4.16	5.56	4.94	5.60	0.000581	0.92	6.53	7.76	0.32
T132	51.85791	PF 9	6.00	4.08	5.53	4.86	5.58	0.000719	0.95	6.30	8.16	0.35
T132	27.36987	PF 9	6.00	4.06	5.52	4.84	5.56	0.000682	0.95	6.30	7.78	0.34
T132	0.464779	PF 9	6.00	4.15	5.50	4.86	5.55	0.000573	0.94	6.38	7.02	0.32

# Fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

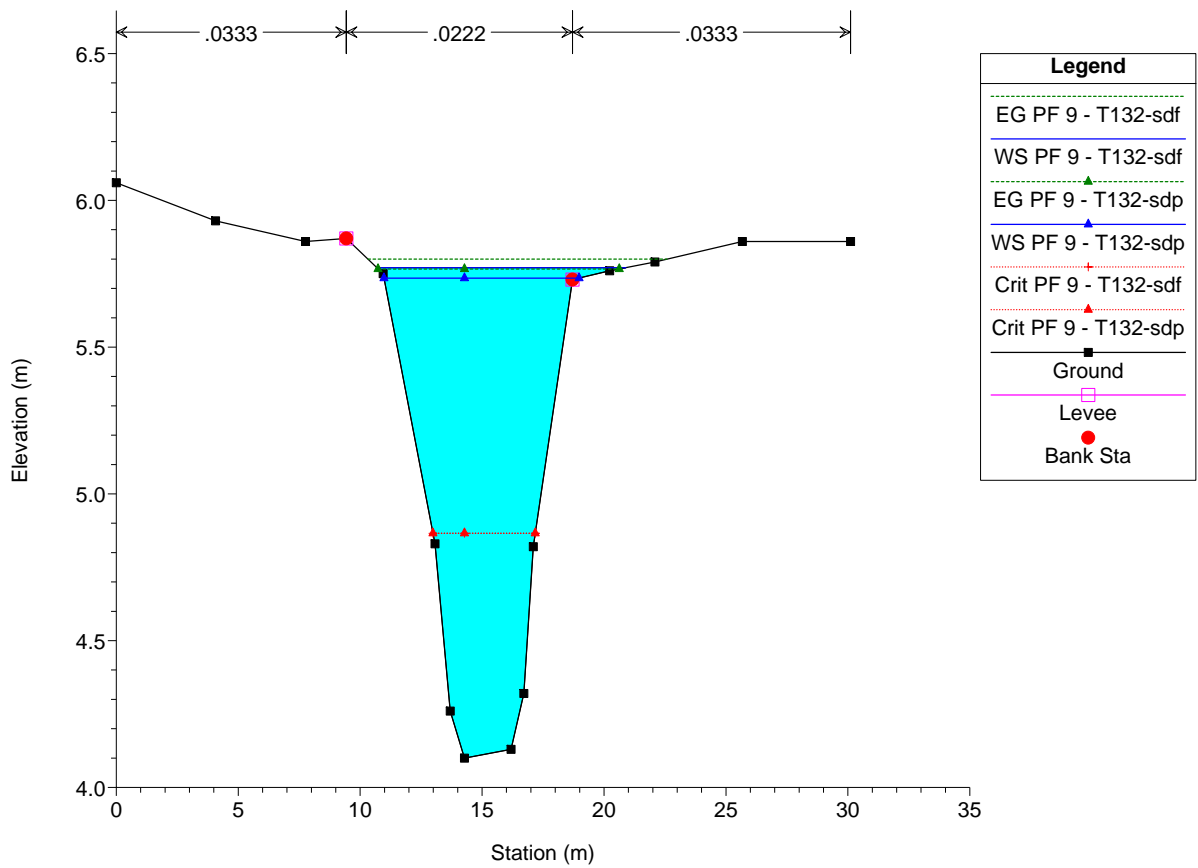
HEC-RAS Plan: T132-sdp River: T132 Reach: T132 Profile: PF 9

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
T132	207.66	PF 9	6.00	4.14	5.76	4.88	5.79	0.000337	0.72	8.35	9.36	0.24
T132	176.6079	PF 9	6.00	4.14	5.75	4.84	5.78	0.000341	0.74	8.08	8.53	0.24
T132	152.3999	PF 9	6.00	4.10	5.74	4.87	5.77	0.000354	0.78	7.68	8.00	0.25
T132	121.6966	PF 9	6.00	3.95	5.73	4.67	5.76	0.000200	0.65	9.21	7.83	0.19
T132	112.8		Culvert									
T132	51.85791	PF 9	6.00	3.30	5.56	4.04	5.57	0.000113	0.47	12.65	11.63	0.14
T132	27.36987	PF 9	6.00	4.06	5.52	4.84	5.56	0.000683	0.95	6.30	7.78	0.34
T132	0.464779	PF 9	6.00	4.15	5.50	4.86	5.55	0.000573	0.94	6.38	7.02	0.32

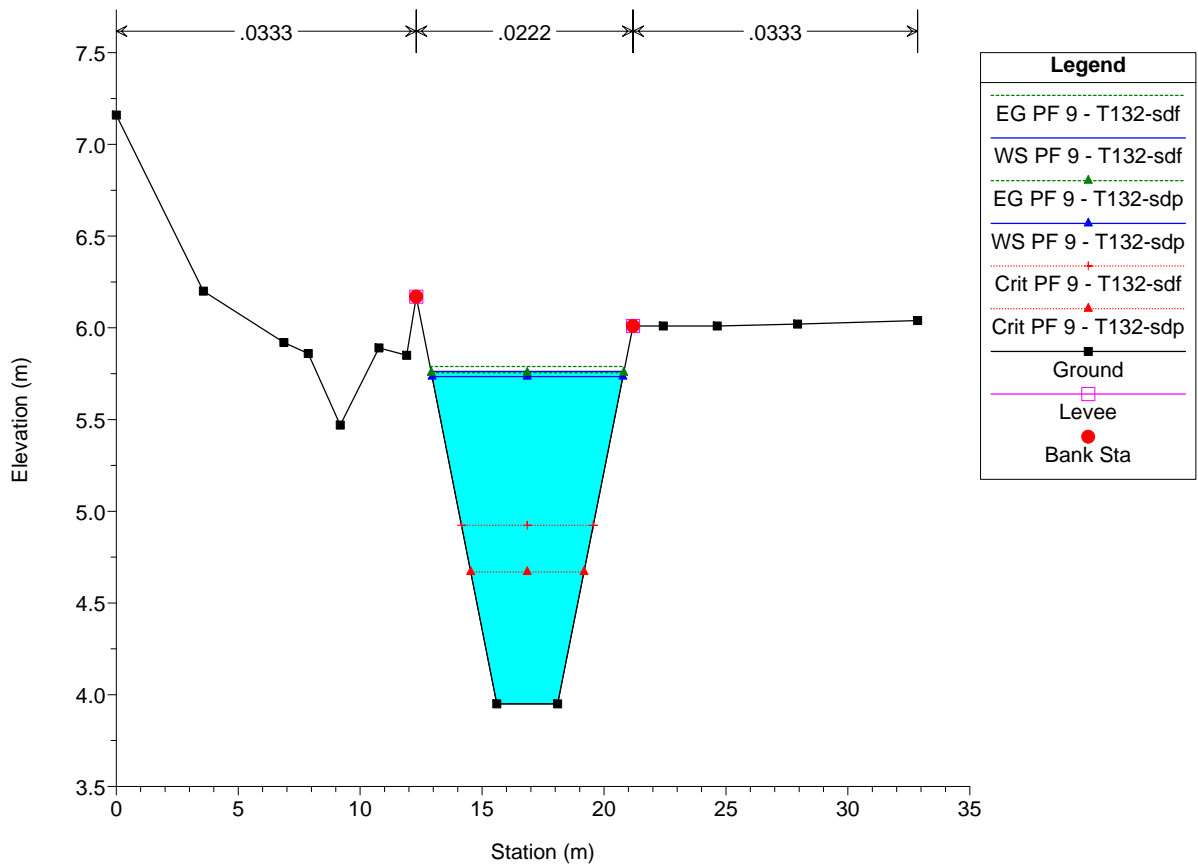
# Fosso Margosa: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni



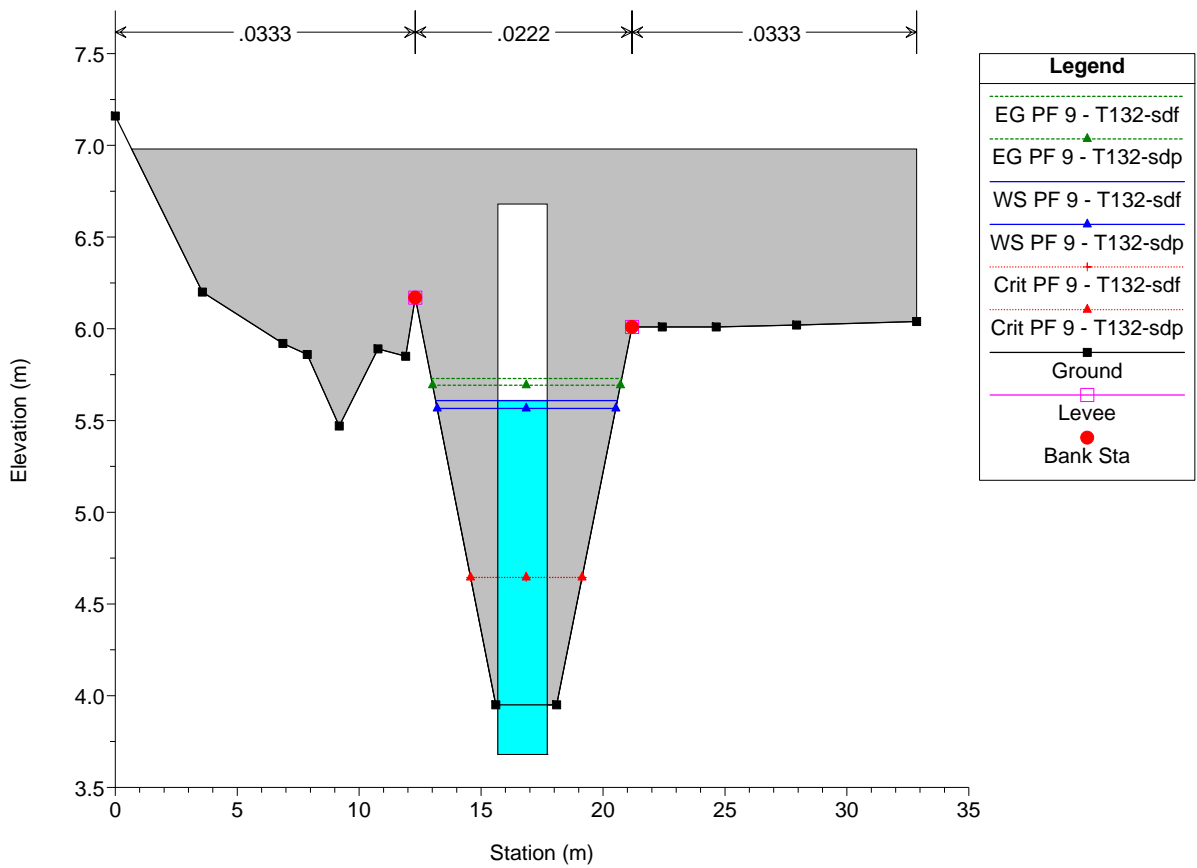
T132 Plan: 1) T132-sdf 21/11/2016 2) T132-sdp 21/11/2016



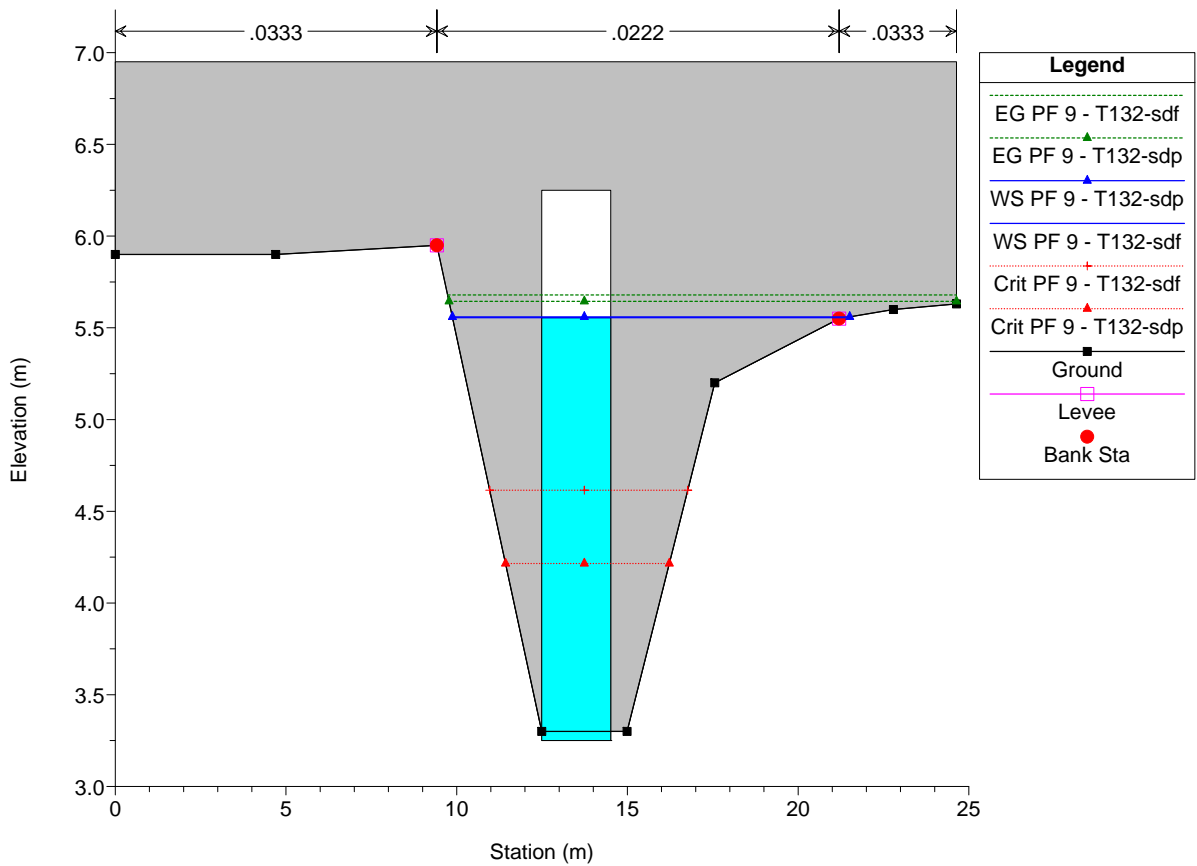
T132 Plan: 1) T132-sdf 21/11/2016 2) T132-sdp 21/11/2016

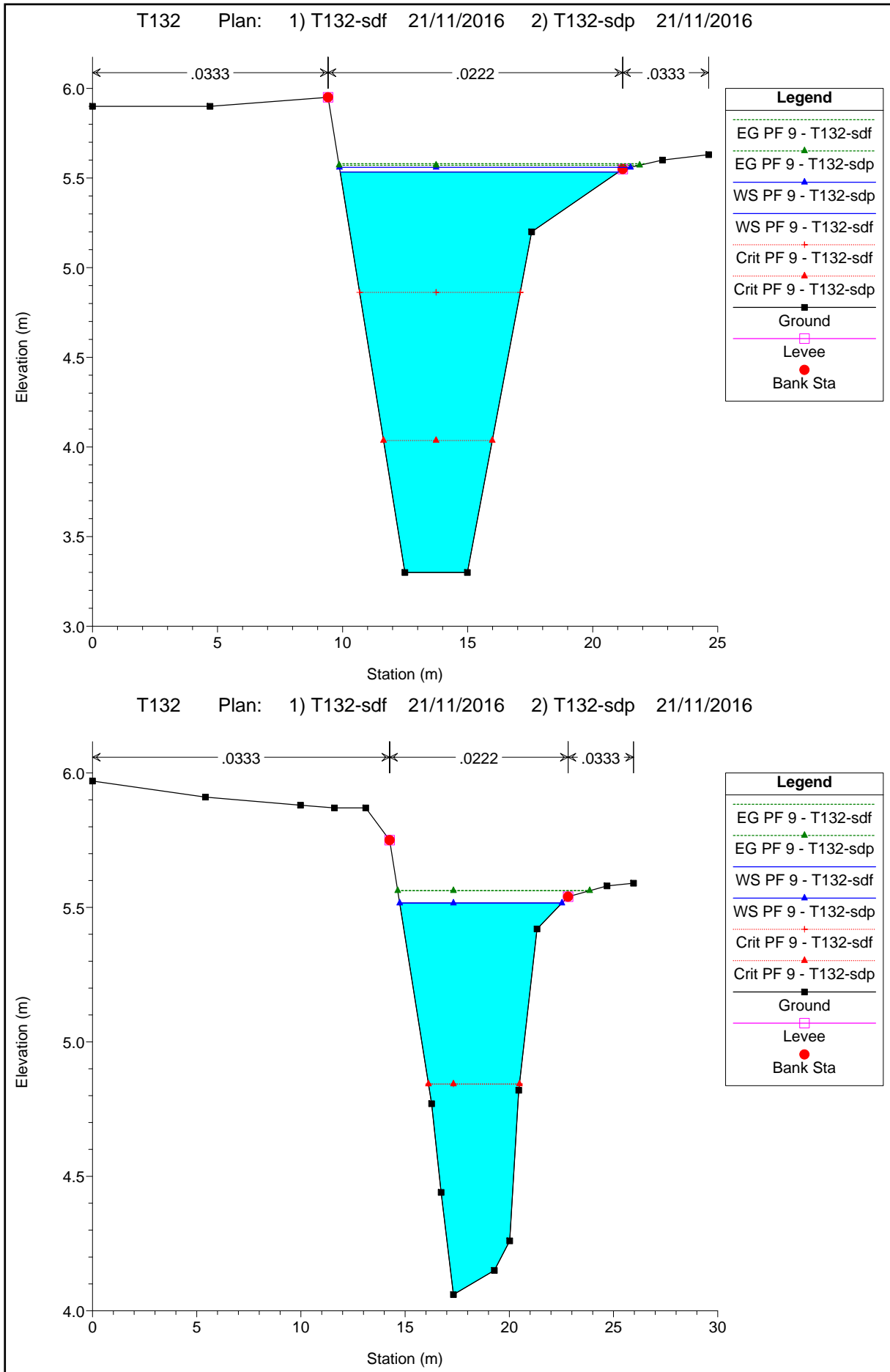


T132 Plan: 1) T132-sdf 21/11/2016 2) T132-sdp 21/11/2016



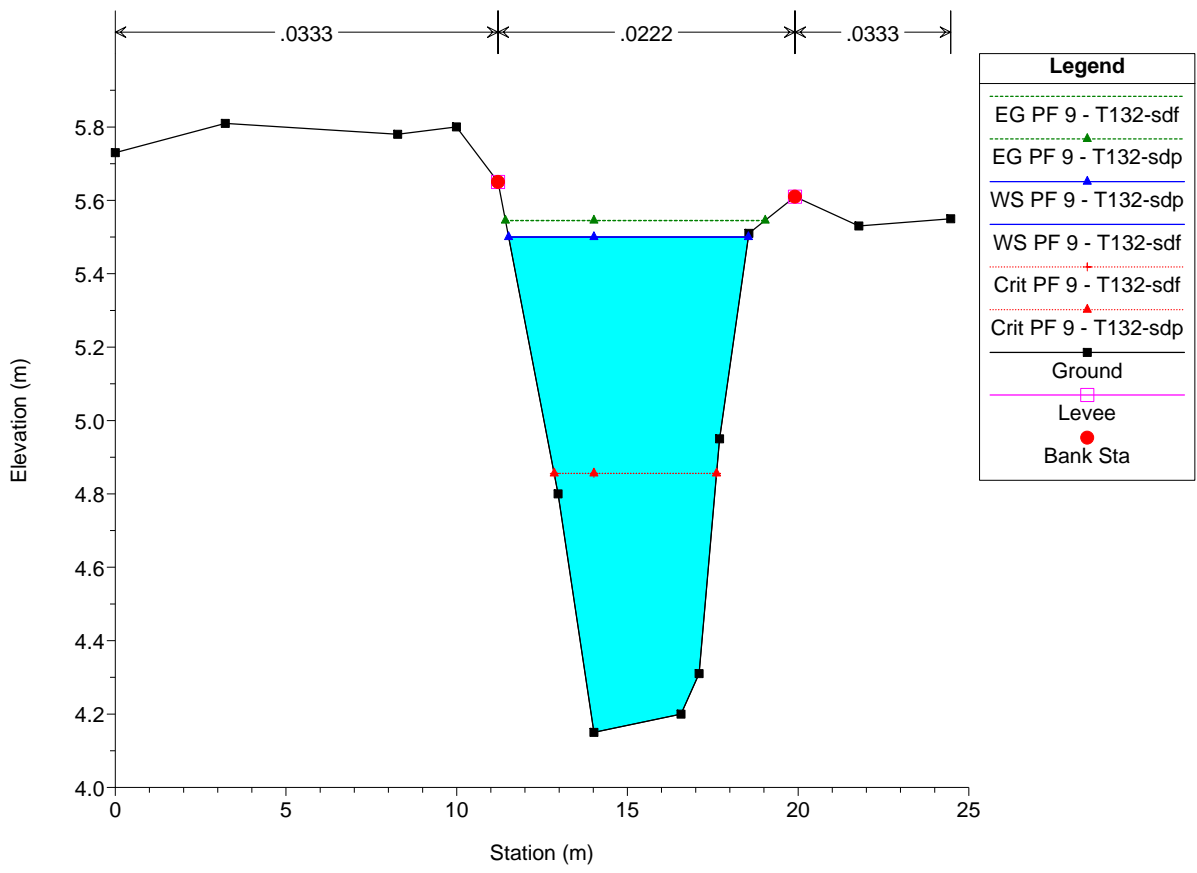
T132 Plan: 1) T132-sdf 21/11/2016 2) T132-sdp 21/11/2016





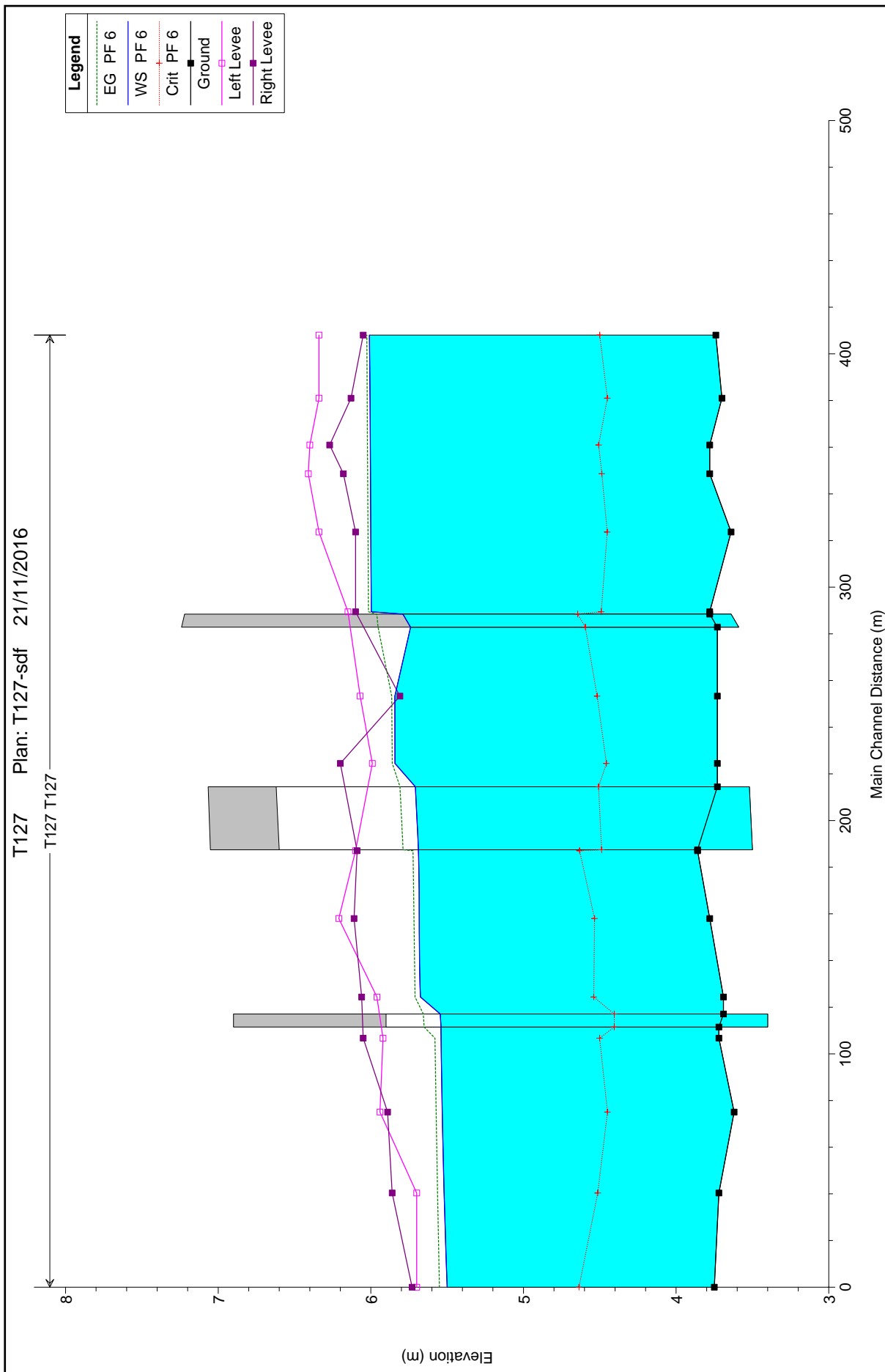


T132 Plan: 1) T132-sdf 21/11/2016 2) T132-sdp 21/11/2016

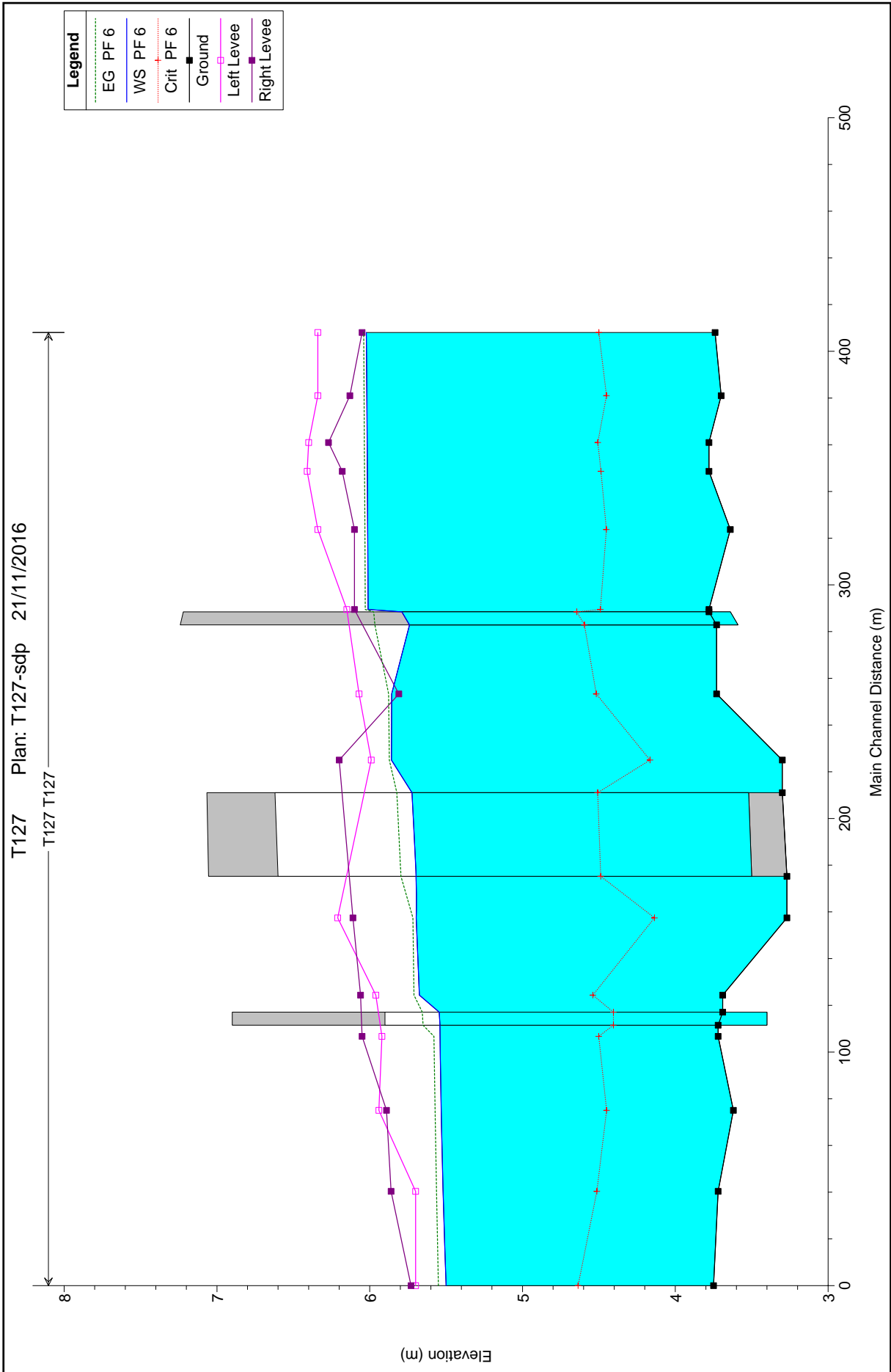


### 1.2.5 Canale Torniano

# Canale Torniano: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Canale Torniano: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Canale Torniano: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T127-sdf River: T127 Reach: T127 Profile: PF 6

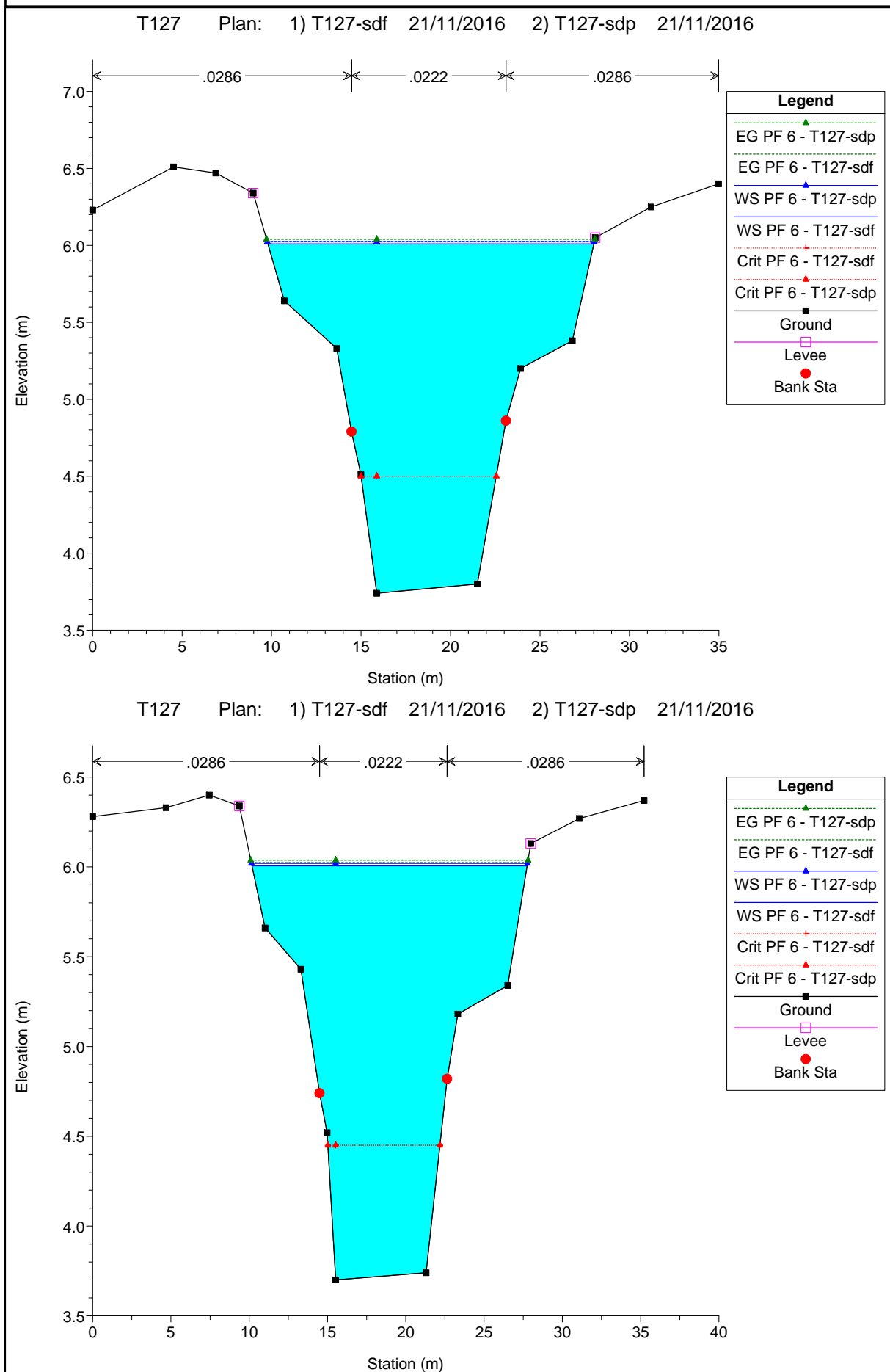
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T127	408.0821	PF 6	12.00	3.74	6.01	4.50	6.03	0.000078	0.61	23.40	18.22	0.14
T127	381.0205	PF 6	12.00	3.70	6.01	4.45	6.02	0.000081	0.62	23.01	17.57	0.14
T127	360.9574	PF 6	12.00	3.78	6.00	4.51	6.02	0.000091	0.64	20.97	16.76	0.14
T127	348.6318	PF 6	12.00	3.78	6.00	4.49	6.02	0.000082	0.62	21.86	18.36	0.14
T127	323.6883	PF 6	12.00	3.64	6.00	4.45	6.02	0.000080	0.62	22.64	17.20	0.14
T127	289.4841	PF 6	12.00	3.78	6.00	4.49	6.02	0.000083	0.63	22.00	16.48	0.14
T127	288.4		Culvert									
T127	253.3236	PF 6	12.00	3.73	5.84	4.52	5.86	0.000106	0.66	21.34	17.07	0.16
T127	224.4915	PF 6	12.00	3.73	5.84	4.46	5.86	0.000093	0.61	22.77	18.39	0.15
T127	212.3		Culvert									
T127	187.0711	PF 6	12.00	3.86	5.69	4.63	5.72	0.000209	0.84	15.26	12.71	0.21
T127	158.0307	PF 6	12.00	3.78	5.68	4.53	5.72	0.000186	0.83	15.60	11.74	0.20
T127	124.3877	PF 6	12.00	3.69	5.68	4.54	5.71	0.000195	0.84	15.10	11.22	0.21
T127	117.0		Culvert									
T127	106.7443	PF 6	12.00	3.72	5.54	4.50	5.58	0.000238	0.89	14.19	11.10	0.23
T127	75.0699	PF 6	12.00	3.62	5.53	4.45	5.57	0.000236	0.90	14.02	10.56	0.22
T127	40.3544	PF 6	12.00	3.72	5.52	4.51	5.56	0.000268	0.93	13.46	10.54	0.24
T127	6.142617	PF 6	12.00	3.75	5.50	4.64	5.55	0.000333	1.00	12.52	10.41	0.27

# Canale Torniano: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

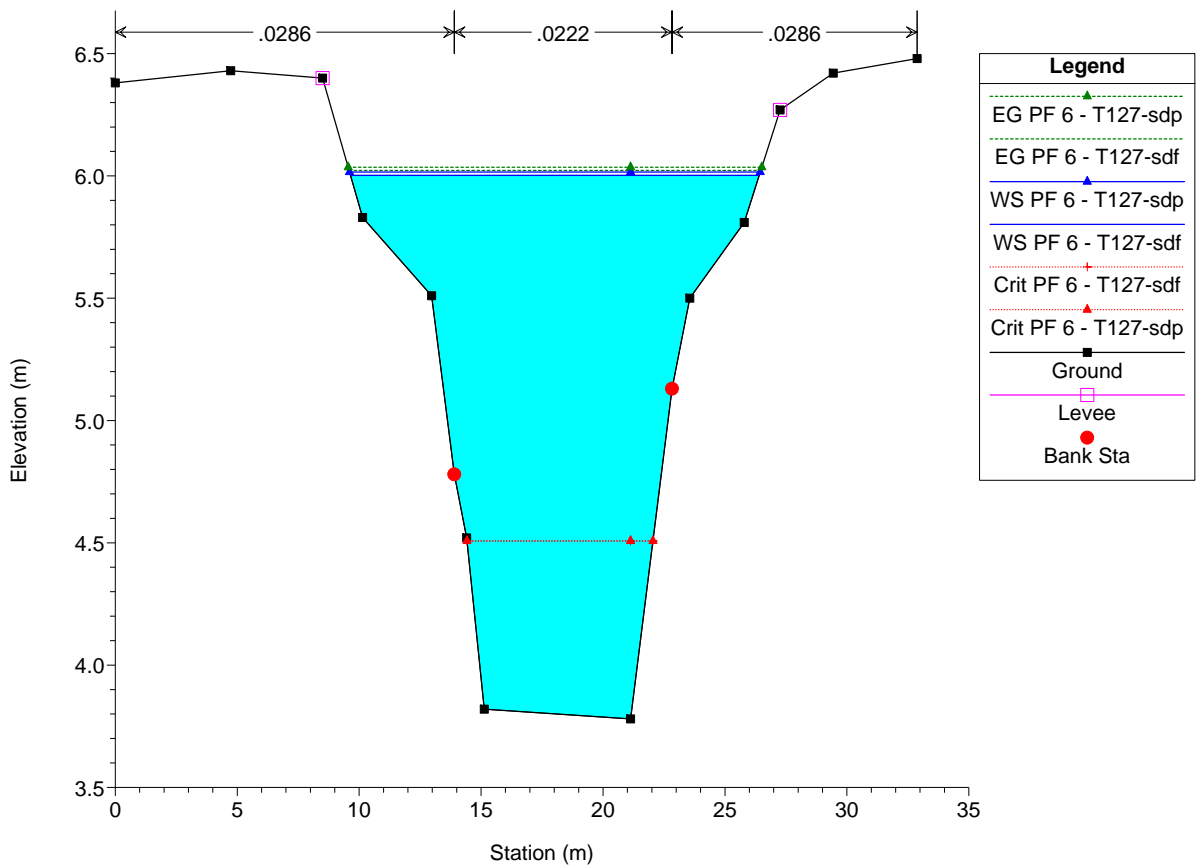
HEC-RAS Plan: T127-sdp River: T127 Reach: T127 Profile: PF 6

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T127	408.0821	PF 6	12.00	3.74	6.02	4.50	6.04	0.000076	0.60	23.65	18.28	0.13
T127	381.0205	PF 6	12.00	3.70	6.02	4.45	6.04	0.000078	0.62	23.24	17.63	0.14
T127	360.9574	PF 6	12.00	3.78	6.02	4.51	6.04	0.000088	0.64	21.19	16.84	0.14
T127	348.6318	PF 6	12.00	3.78	6.02	4.49	6.03	0.000080	0.61	22.11	18.45	0.14
T127	323.6883	PF 6	12.00	3.64	6.01	4.45	6.03	0.000078	0.61	22.87	17.25	0.14
T127	289.4841	PF 6	12.00	3.78	6.01	4.49	6.03	0.000081	0.62	22.23	16.60	0.14
T127	288.4		Culvert									
T127	253.3236	PF 6	12.00	3.73	5.86	4.52	5.88	0.000103	0.66	21.57	17.10	0.15
T127	224.4915	PF 6	12.00	3.30	5.86	4.17	5.87	0.000068	0.55	24.95	18.46	0.12
T127	212.3		Culvert									
T127	158.0307	PF 6	12.00	3.27	5.70	4.14	5.72	0.000125	0.65	18.54	11.28	0.16
T127	124.3877	PF 6	12.00	3.69	5.68	4.54	5.71	0.000195	0.84	15.10	11.22	0.21
T127	117.0		Culvert									
T127	106.7443	PF 6	12.00	3.72	5.54	4.50	5.58	0.000238	0.89	14.19	11.10	0.23
T127	75.0699	PF 6	12.00	3.62	5.53	4.45	5.57	0.000236	0.90	14.02	10.56	0.22
T127	40.3544	PF 6	12.00	3.72	5.52	4.51	5.56	0.000268	0.93	13.46	10.54	0.24
T127	6.142617	PF 6	12.00	3.75	5.50	4.64	5.55	0.000333	1.00	12.52	10.41	0.27

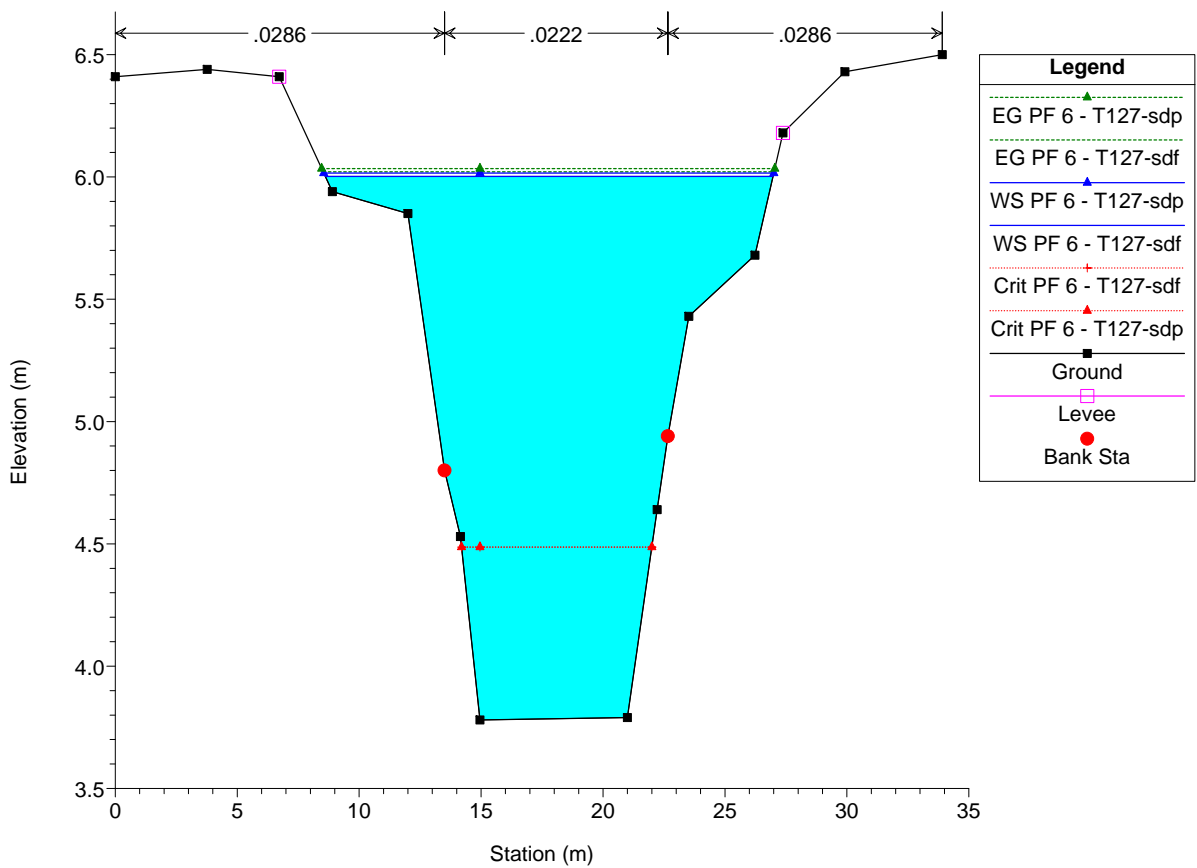
# Canale Torniano: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni



T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



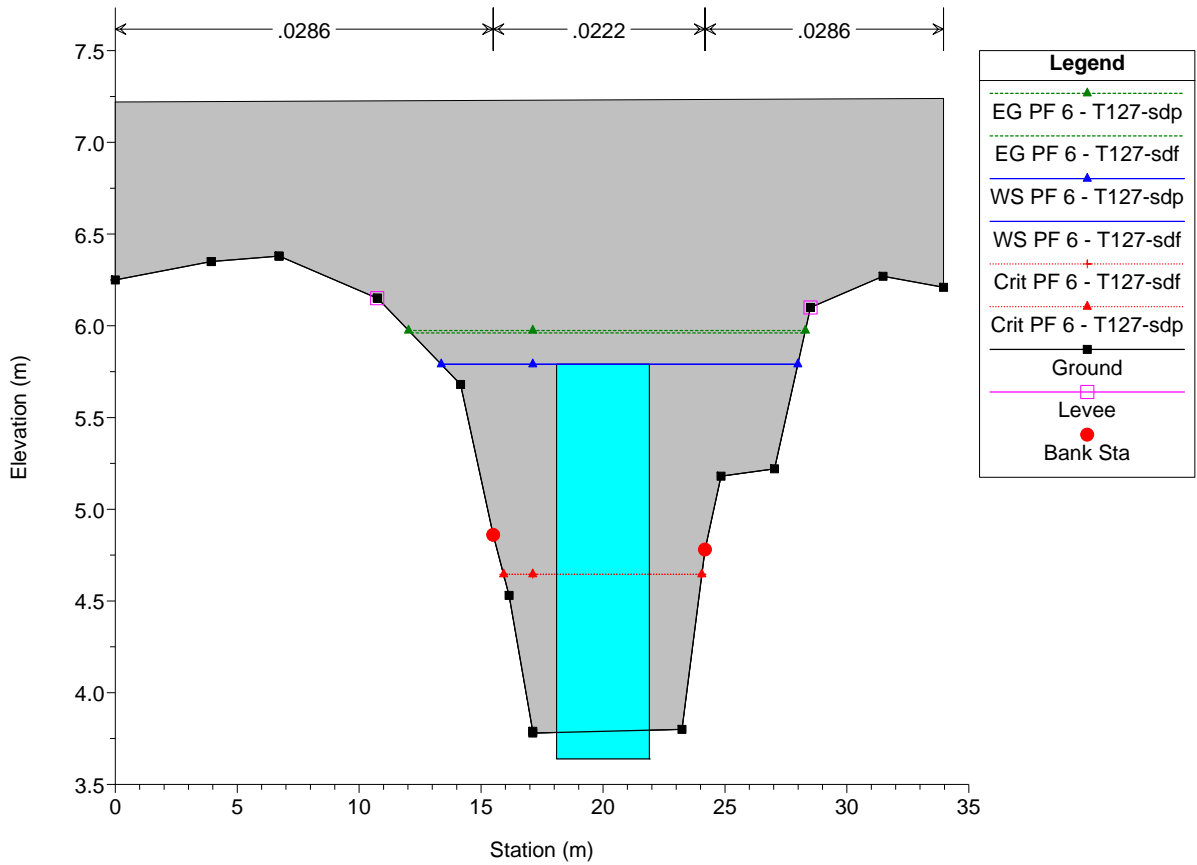
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



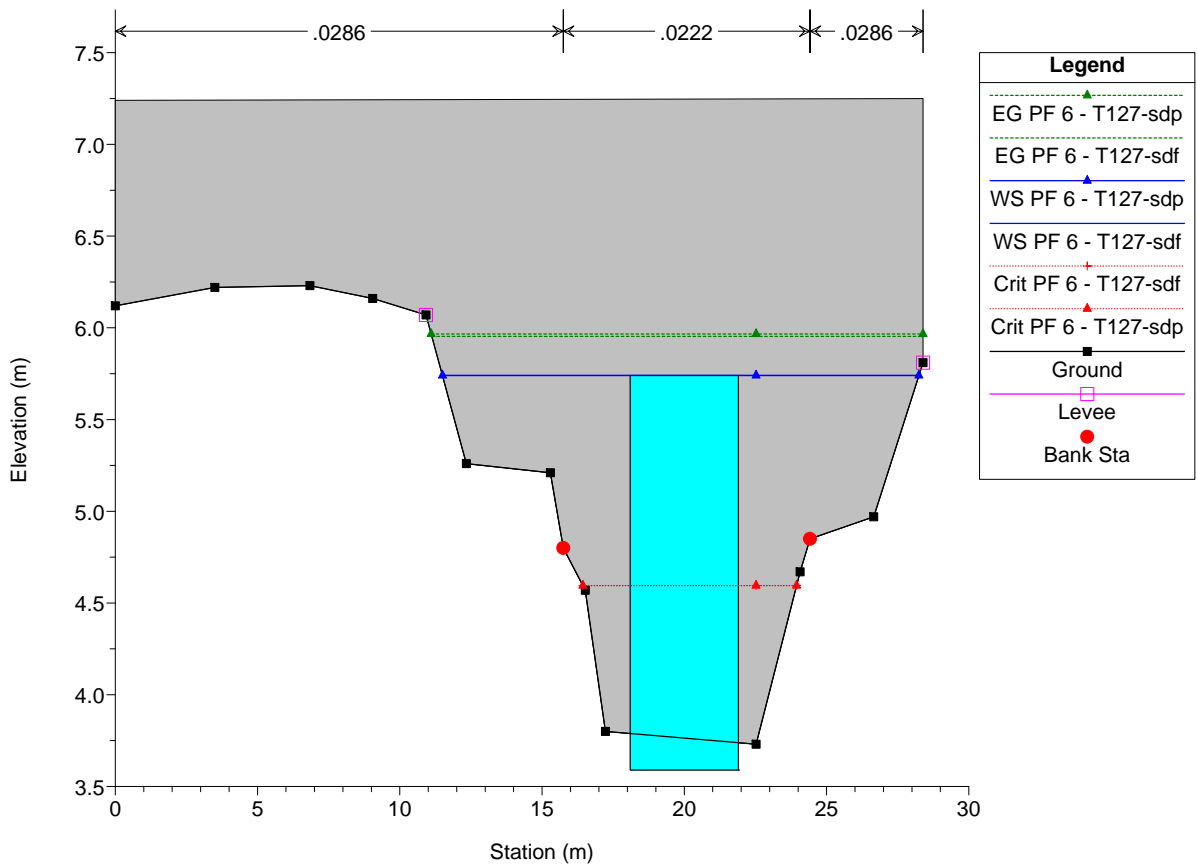




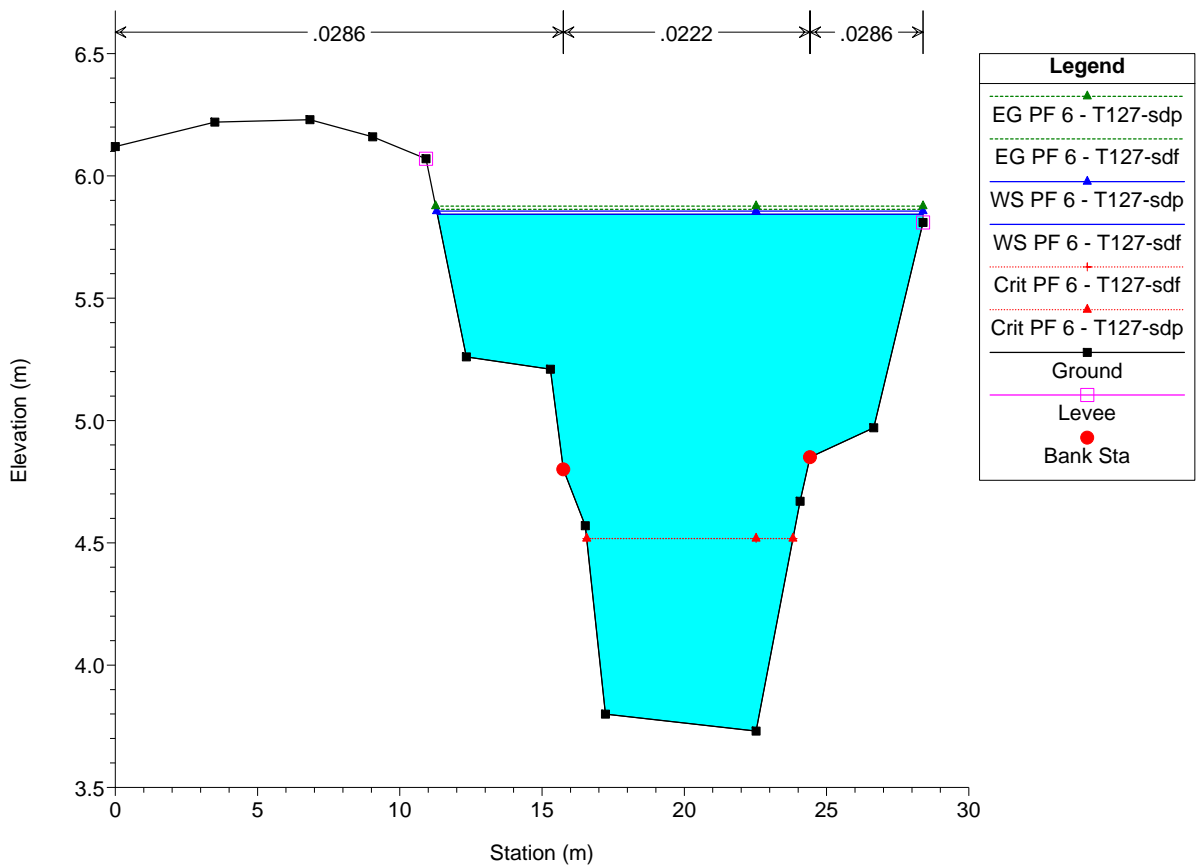
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



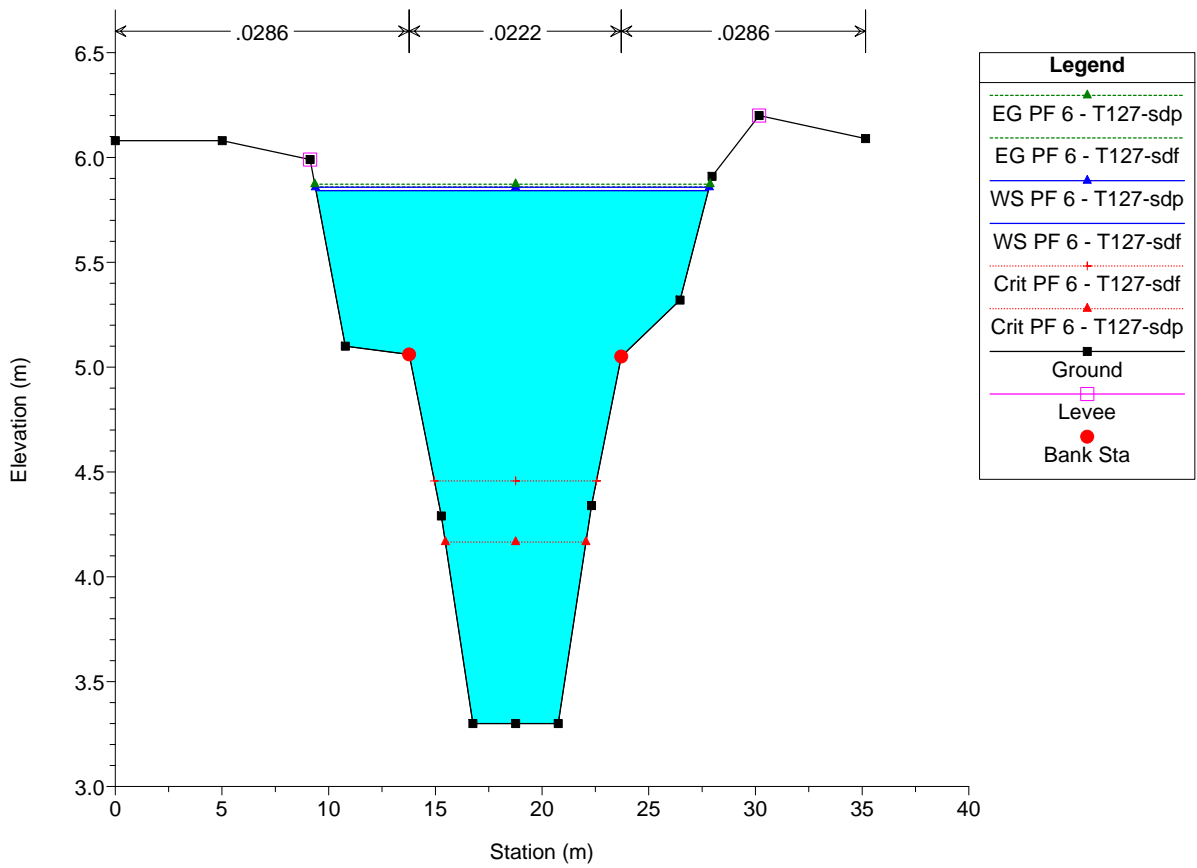
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



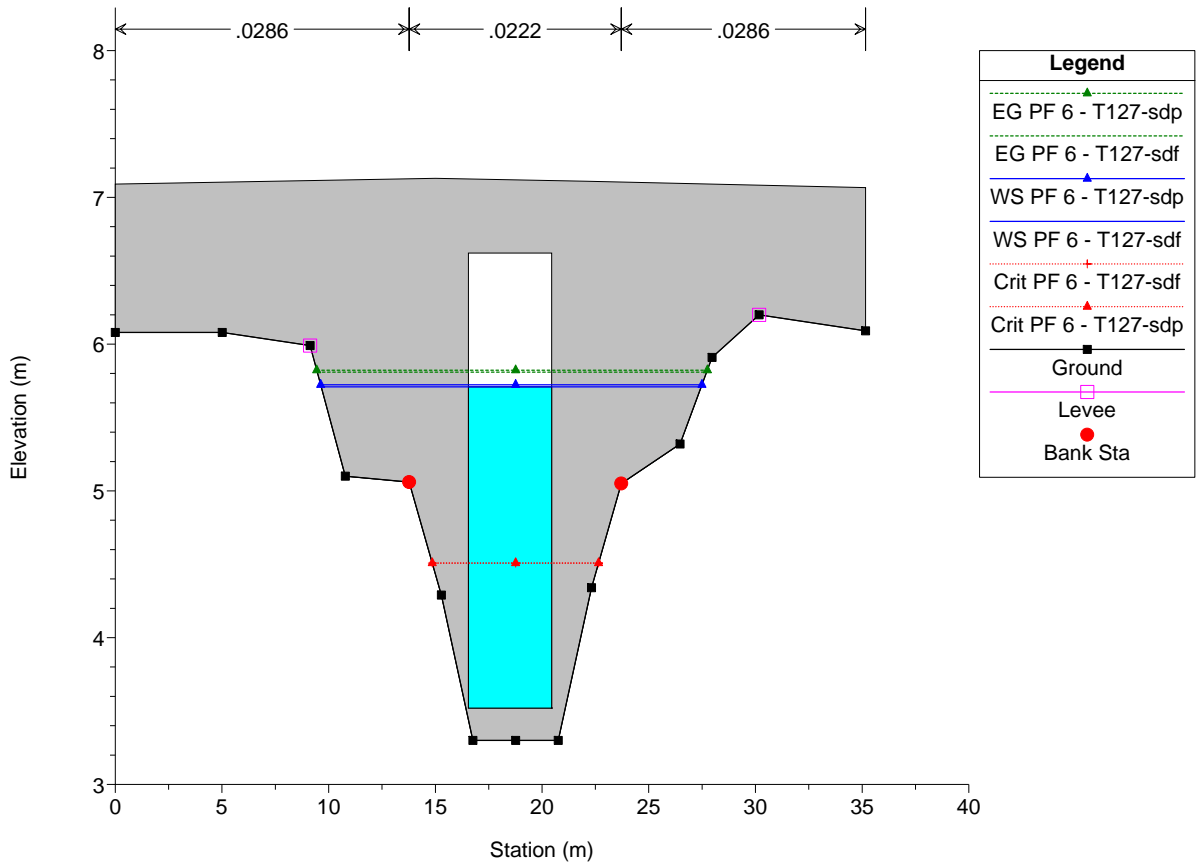
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



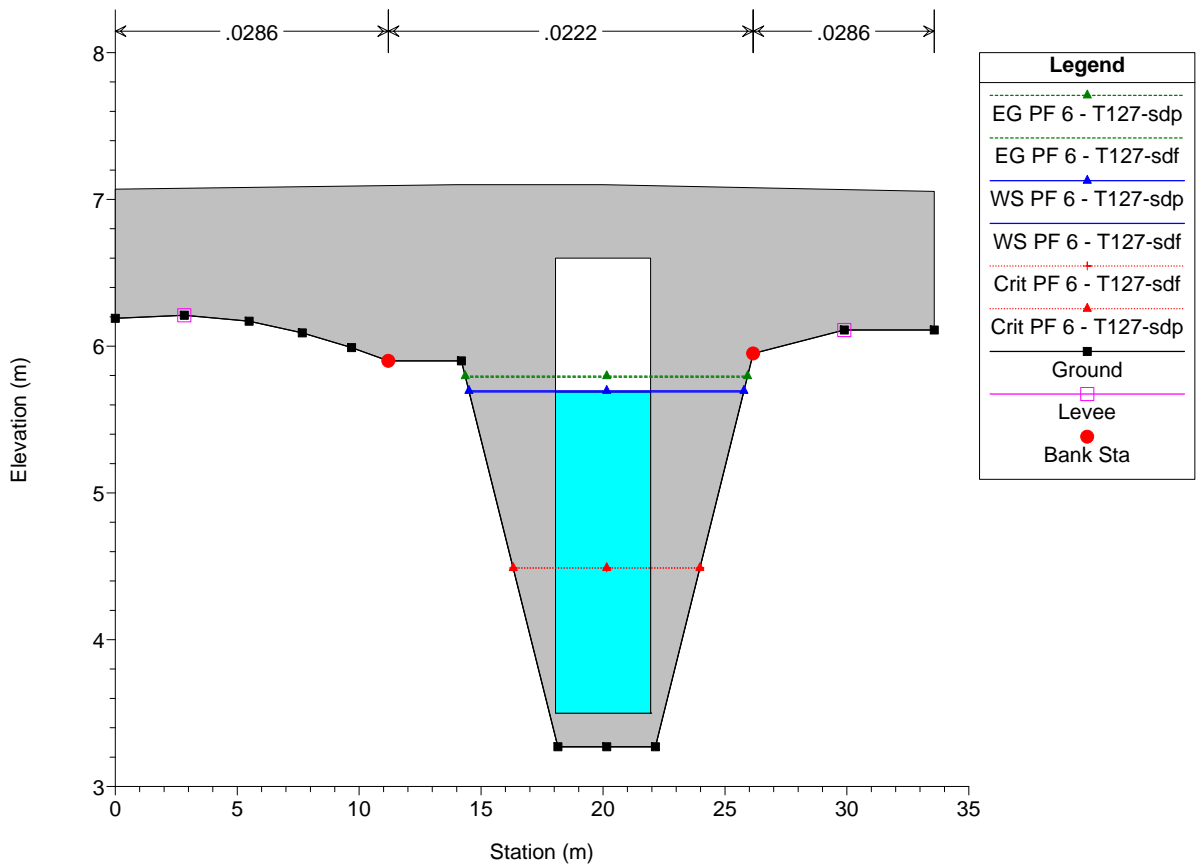
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



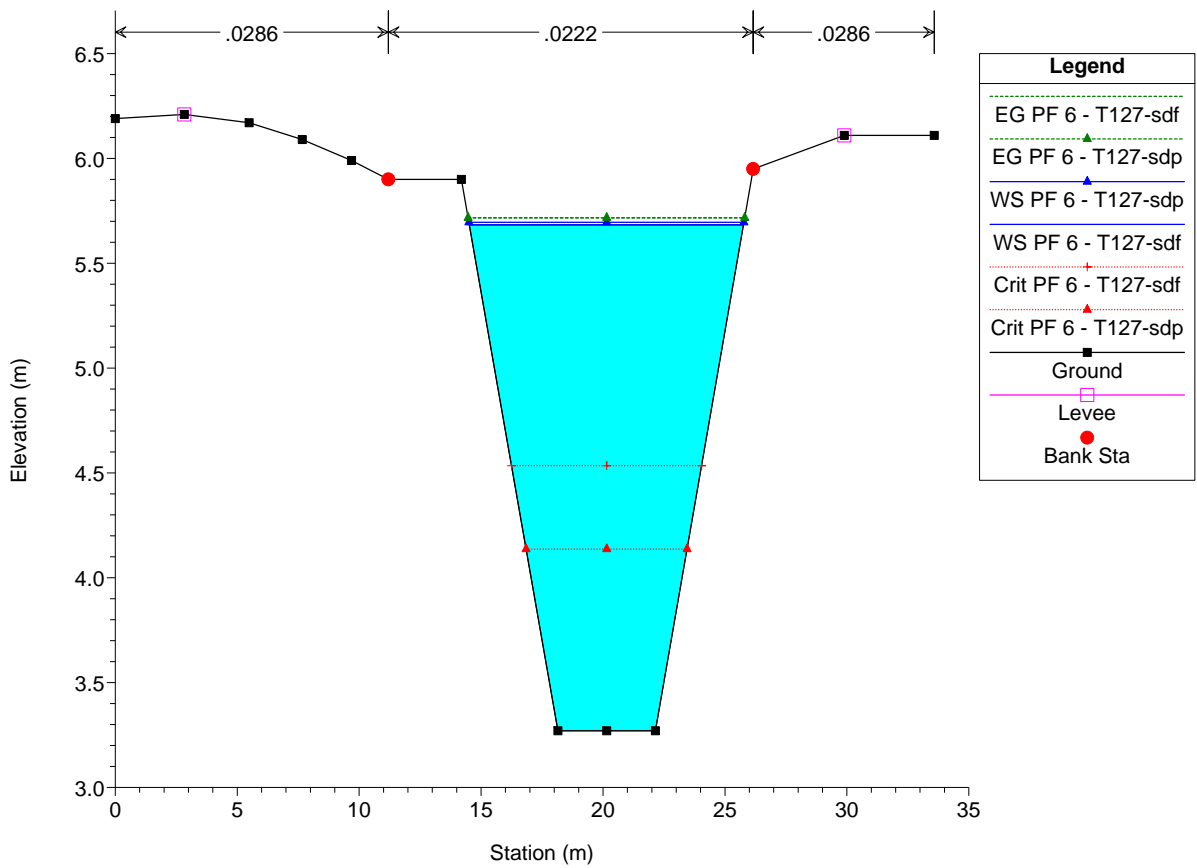
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



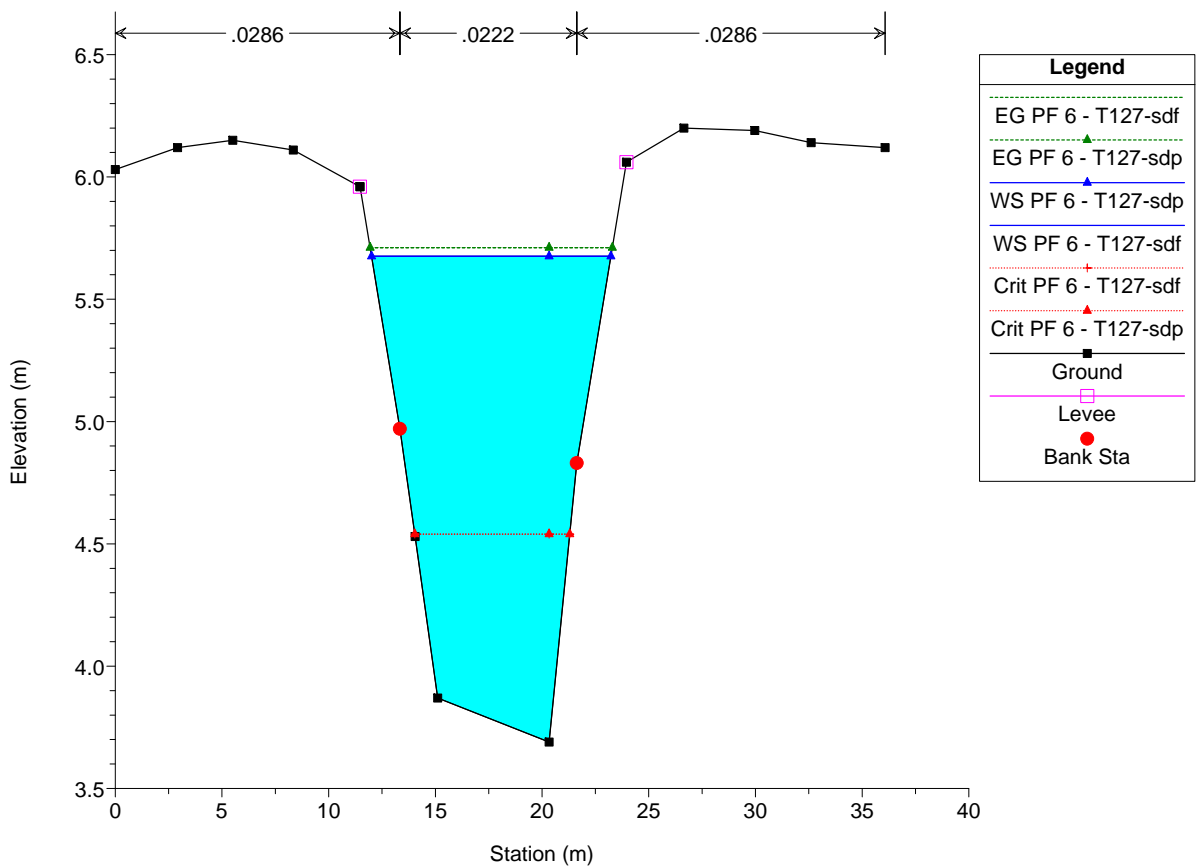
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016

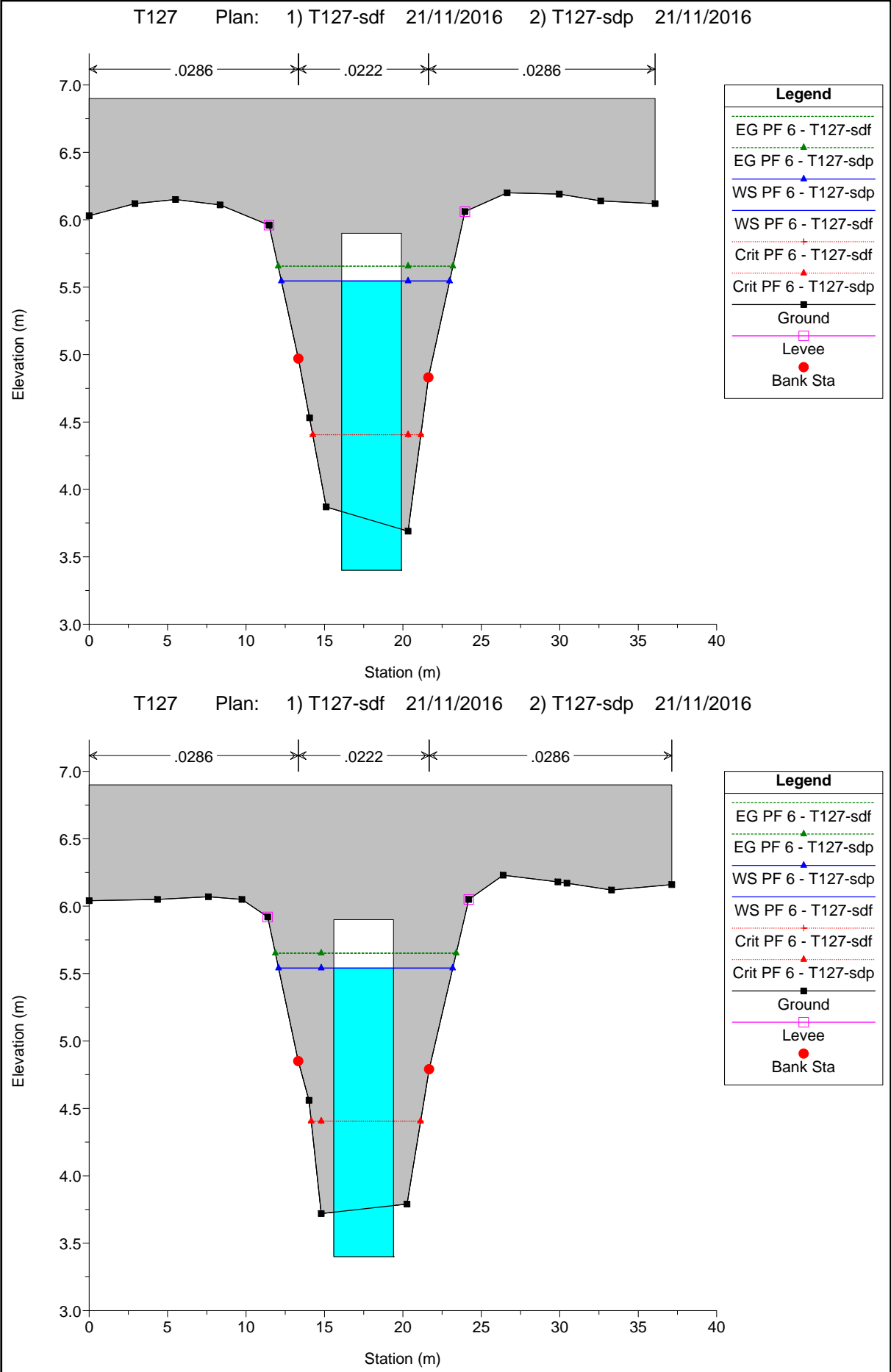


T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



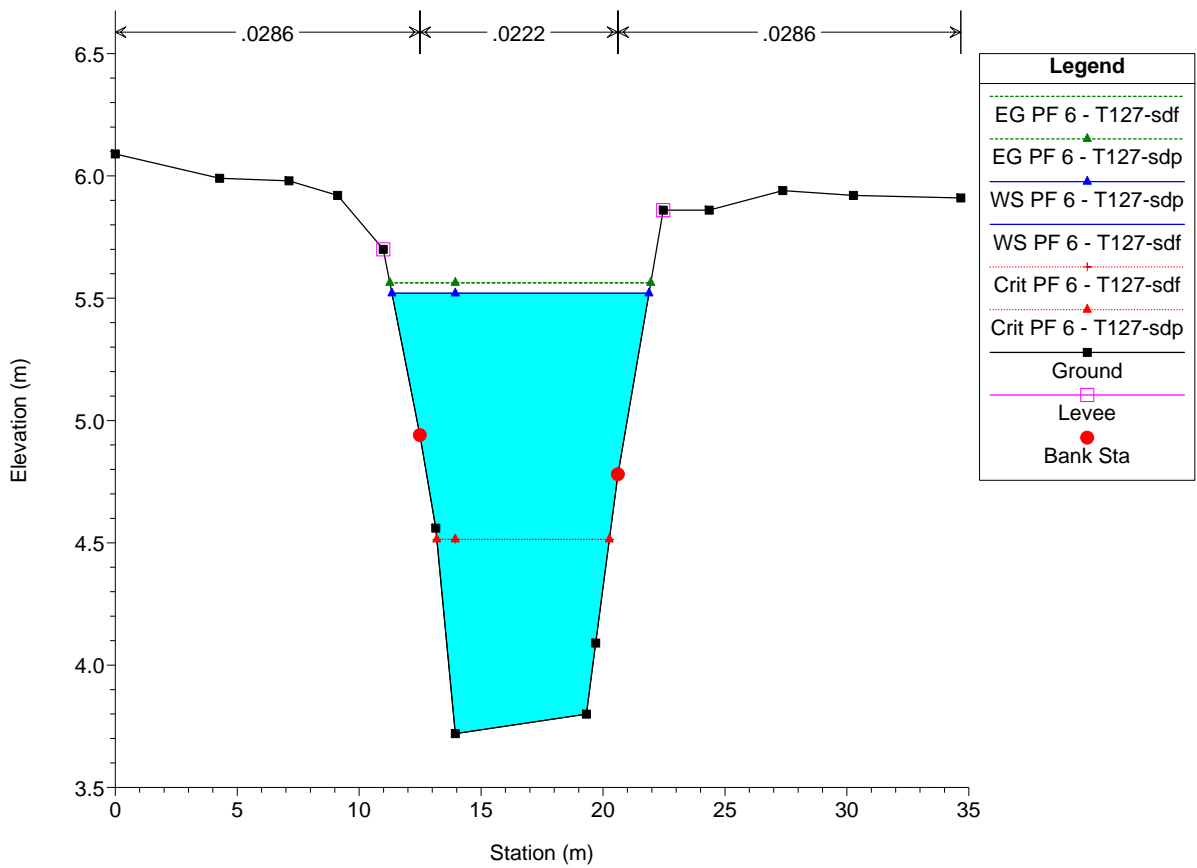
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



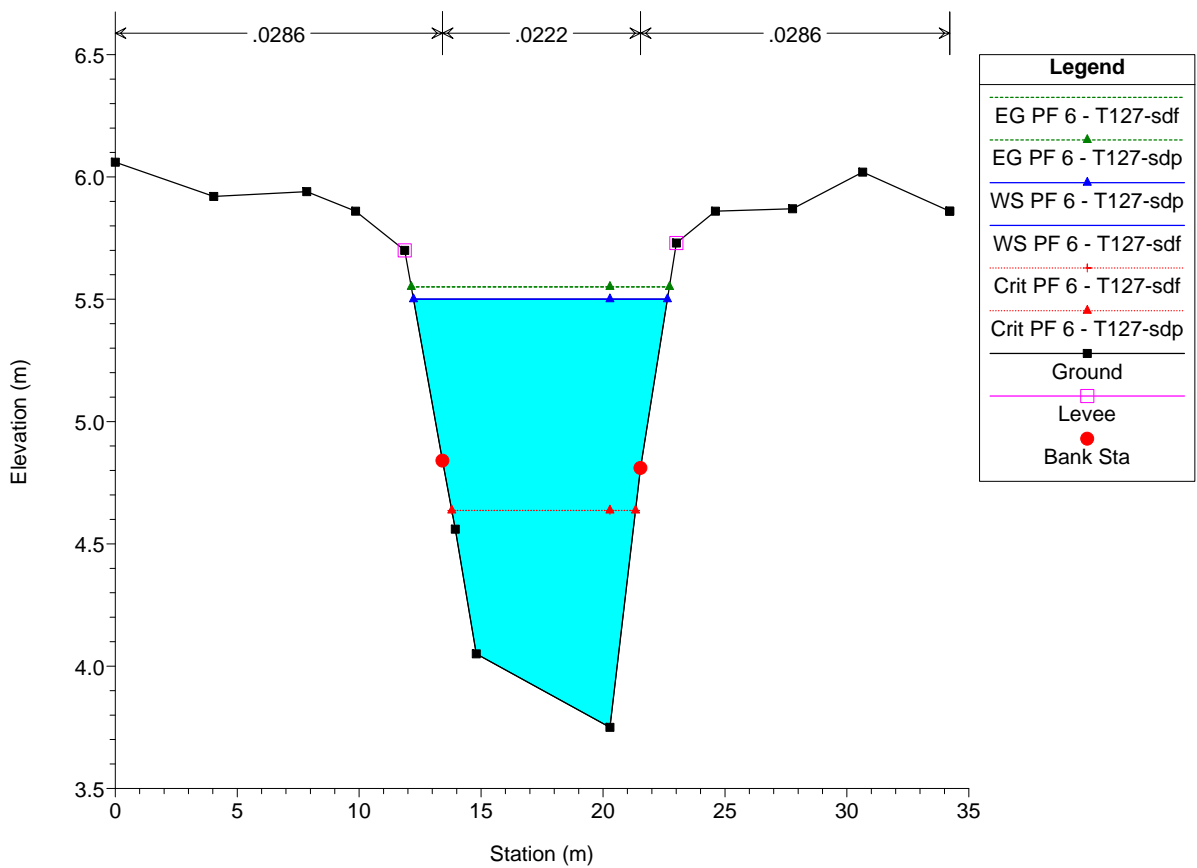




T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



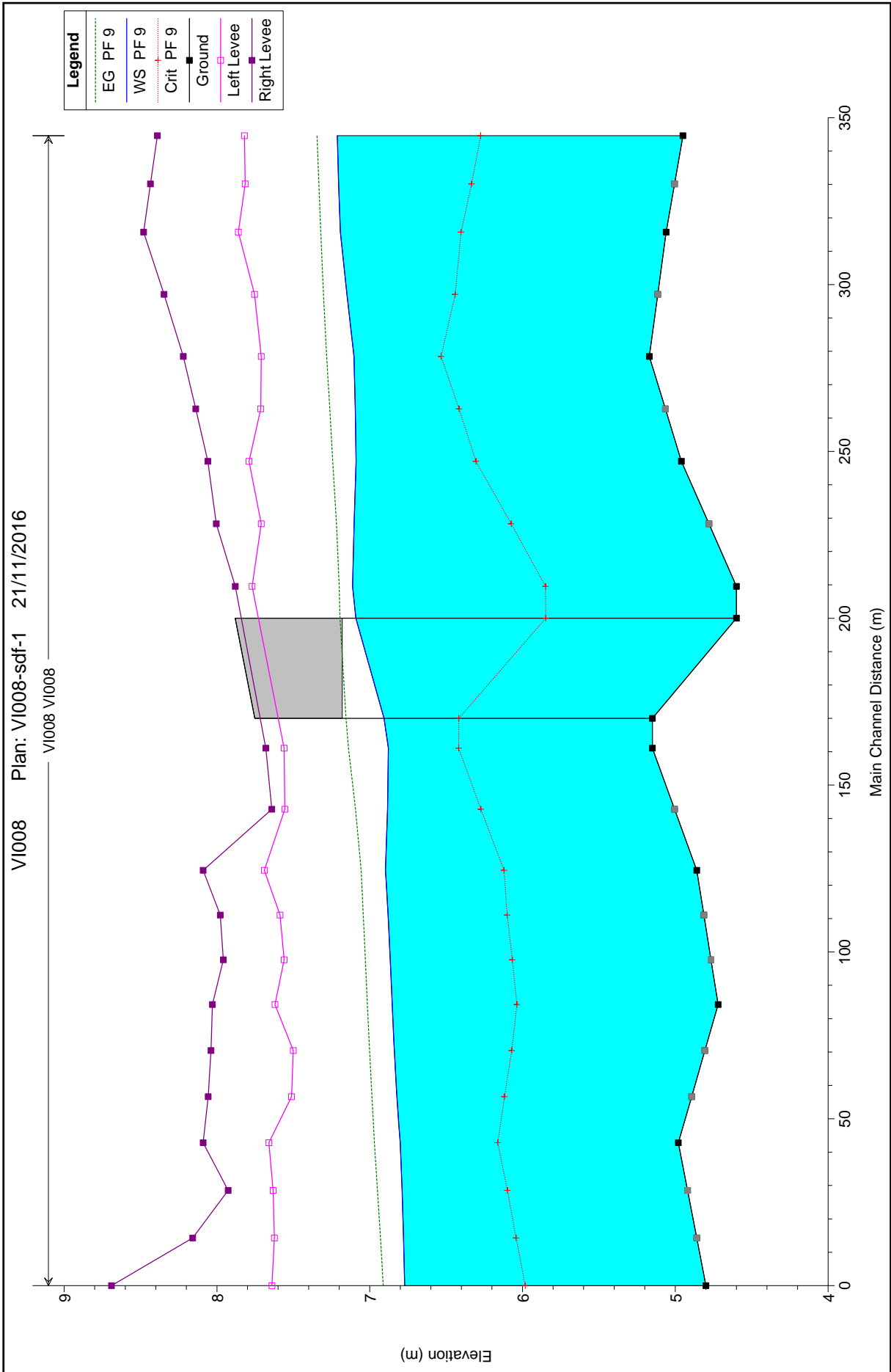
T127 Plan: 1) T127-sdf 21/11/2016 2) T127-sdp 21/11/2016



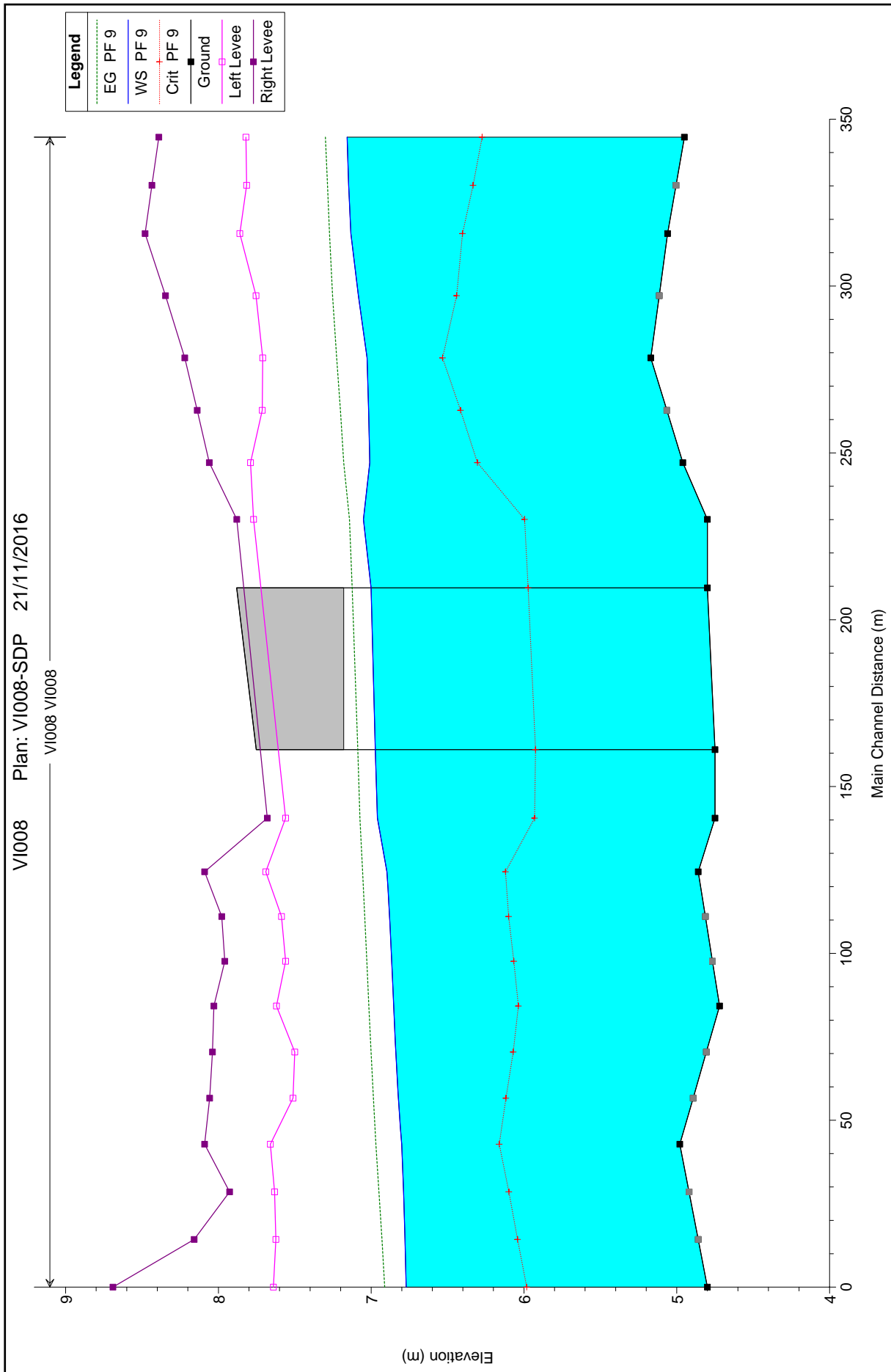


### 1.2.6 Scolo Aldrovandi / scolo principale

# Scolo Principale: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Scolo Principale: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



## Scolo Principale: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: VI008-sdf-1 River: VI008 Reach: VI008 Profile: PF 9

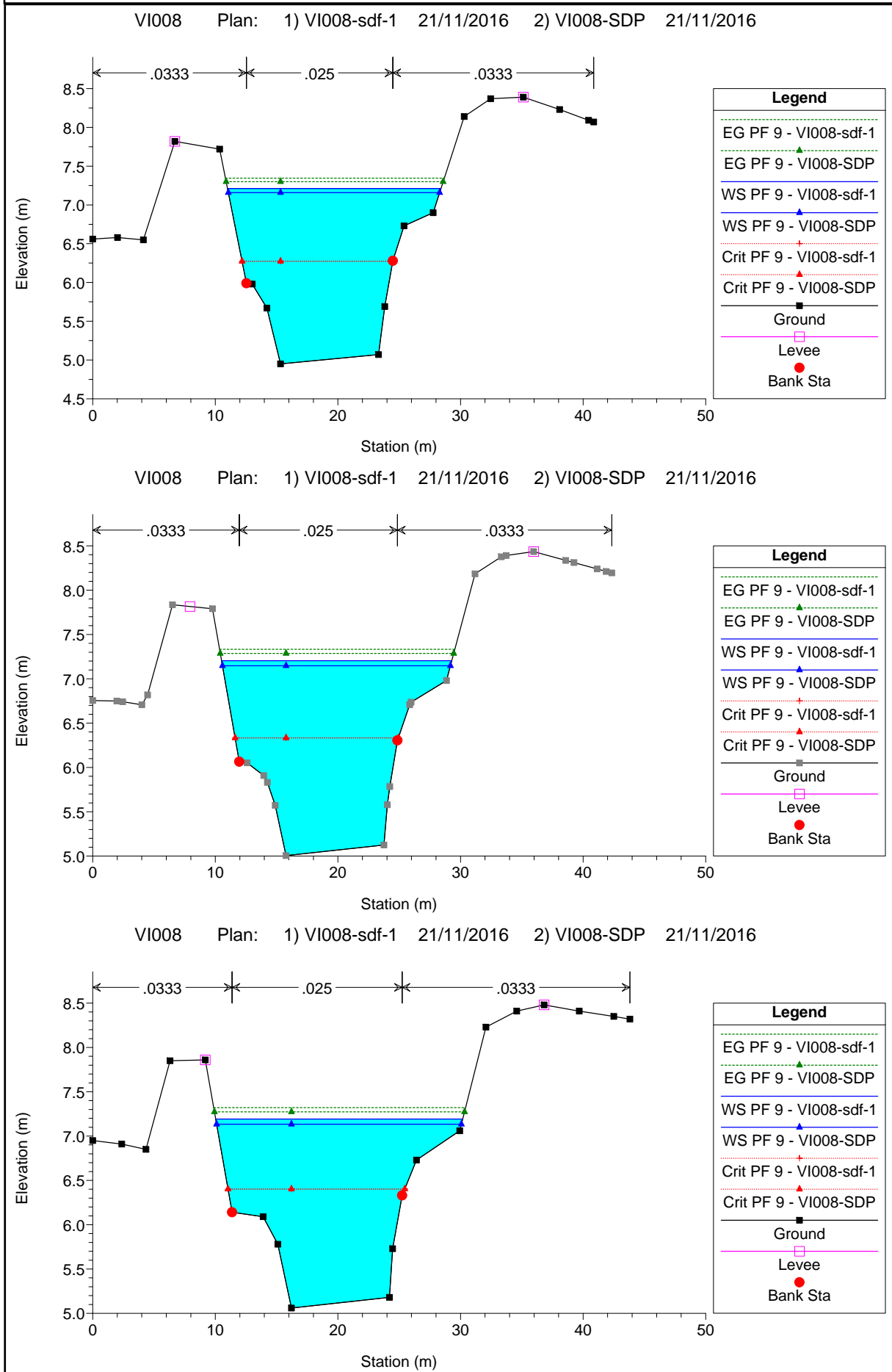
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI008	344.6406	PF 9	40.00	4.95	7.21	6.27	7.34	0.000730	1.64	26.33	17.41	0.37
VI008	330.189*	PF 9	40.00	5.01	7.20	6.33	7.33	0.000764	1.61	26.69	18.78	0.38
VI008	315.7393	PF 9	40.00	5.06	7.19	6.40	7.32	0.000836	1.61	26.66	20.15	0.39
VI008	297.104*	PF 9	40.00	5.11	7.15	6.44	7.30	0.000995	1.77	24.76	19.82	0.43
VI008	278.4689	PF 9	40.00	5.17	7.10	6.53	7.28	0.001218	1.94	23.32	18.53	0.47
VI008	262.768*	PF 9	40.00	5.06	7.09	6.42	7.26	0.001045	1.87	24.16	20.05	0.44
VI008	247.0686	PF 9	40.00	4.96	7.09	6.30	7.24	0.000885	1.78	25.23	19.70	0.41
VI008	228.325*	PF 9	40.00	4.78	7.10	6.07	7.22	0.000587	1.56	29.67	19.99	0.34
VI008	209.5814	PF 9	40.00	4.60	7.11	5.85	7.20	0.000418	1.38	34.14	20.27	0.28
VI008	200		Bridge									
VI008	161.079	PF 9	40.00	5.15	6.88	6.42	7.14	0.001958	2.31	18.82	14.70	0.57
VI008	142.782*	PF 9	40.00	5.01	6.88	6.27	7.09	0.001410	2.08	21.42	16.92	0.49
VI008	124.4866	PF 9	40.00	4.86	6.90	6.12	7.06	0.000996	1.84	25.33	19.64	0.42
VI008	111.076*	PF 9	40.00	4.81	6.88	6.10	7.04	0.000997	1.84	25.07	19.71	0.42
VI008	97.6668*	PF 9	40.00	4.77	6.87	6.07	7.03	0.000999	1.85	24.89	19.89	0.42
VI008	84.25694	PF 9	40.00	4.72	6.85	6.04	7.02	0.000993	1.85	24.84	20.12	0.42
VI008	70.4523*	PF 9	40.00	4.81	6.84	6.07	7.00	0.001020	1.81	24.41	20.11	0.43
VI008	56.6477*	PF 9	40.00	4.89	6.82	6.12	6.99	0.001115	1.81	23.78	19.61	0.44
VI008	42.84309	PF 9	40.00	4.98	6.80	6.16	6.97	0.001312	1.84	22.87	19.48	0.47
VI008	31.2739*	PF 9	40.00	4.92	6.79	6.10	6.95	0.001207	1.78	23.11	18.15	0.45
VI008	19.7047*	PF 9	40.00	4.86	6.78	6.04	6.93	0.001099	1.72	23.74	18.12	0.43
VI008	8.135627	PF 9	40.00	4.80	6.77	5.98	6.91	0.001000	1.66	24.41	18.41	0.42

# Scolo Principale: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

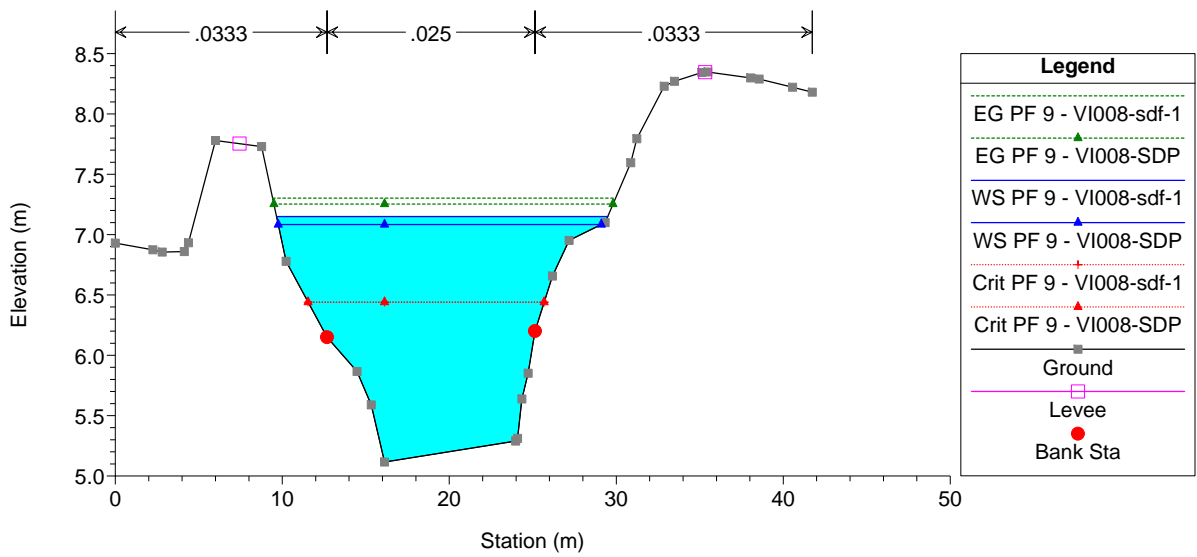
HEC-RAS Plan: VI008-SDP River: VI008 Reach: VI008 Profile: PF 9

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI008	344.6406	PF 9	40.00	4.95	7.16	6.27	7.30	0.000806	1.69	25.39	17.23	0.39
VI008	330.189*	PF 9	40.00	5.01	7.15	6.33	7.29	0.000853	1.67	25.64	18.60	0.40
VI008	315.7393	PF 9	40.00	5.06	7.13	6.40	7.27	0.000947	1.67	25.48	19.97	0.41
VI008	297.104*	PF 9	40.00	5.11	7.08	6.44	7.25	0.001144	1.85	23.48	19.34	0.46
VI008	278.4689	PF 9	40.00	5.17	7.03	6.53	7.23	0.001432	2.04	21.97	17.43	0.51
VI008	262.768*	PF 9	40.00	5.06	7.02	6.42	7.20	0.001221	1.96	22.69	17.39	0.48
VI008	247.0686	PF 9	40.00	4.96	7.01	6.30	7.18	0.001038	1.88	23.67	19.41	0.44
VI008	230.0814	PF 9	40.00	4.80	7.05	6.00	7.14	0.000646	1.34	29.95	18.78	0.34
VI008	200		Bridge									
VI008	140.579	PF 9	40.00	4.75	6.96	5.93	7.07	0.000686	1.50	26.88	15.61	0.35
VI008	124.4866	PF 9	40.00	4.86	6.90	6.12	7.06	0.000996	1.84	25.33	19.64	0.42
VI008	111.076*	PF 9	40.00	4.81	6.88	6.10	7.04	0.000997	1.84	25.07	19.71	0.42
VI008	97.6668*	PF 9	40.00	4.77	6.87	6.07	7.03	0.000999	1.85	24.89	19.89	0.42
VI008	84.25694	PF 9	40.00	4.72	6.85	6.04	7.02	0.000993	1.85	24.84	20.12	0.42
VI008	70.4523*	PF 9	40.00	4.81	6.84	6.07	7.00	0.001020	1.81	24.41	20.11	0.43
VI008	56.6477*	PF 9	40.00	4.89	6.82	6.12	6.99	0.001115	1.81	23.78	19.61	0.44
VI008	42.84309	PF 9	40.00	4.98	6.80	6.16	6.97	0.001312	1.84	22.87	19.48	0.47
VI008	31.2739*	PF 9	40.00	4.92	6.79	6.10	6.95	0.001207	1.78	23.11	18.15	0.45
VI008	19.7047*	PF 9	40.00	4.86	6.78	6.04	6.93	0.001099	1.72	23.74	18.12	0.43
VI008	8.135627	PF 9	40.00	4.80	6.77	5.98	6.91	0.001000	1.66	24.41	18.41	0.42

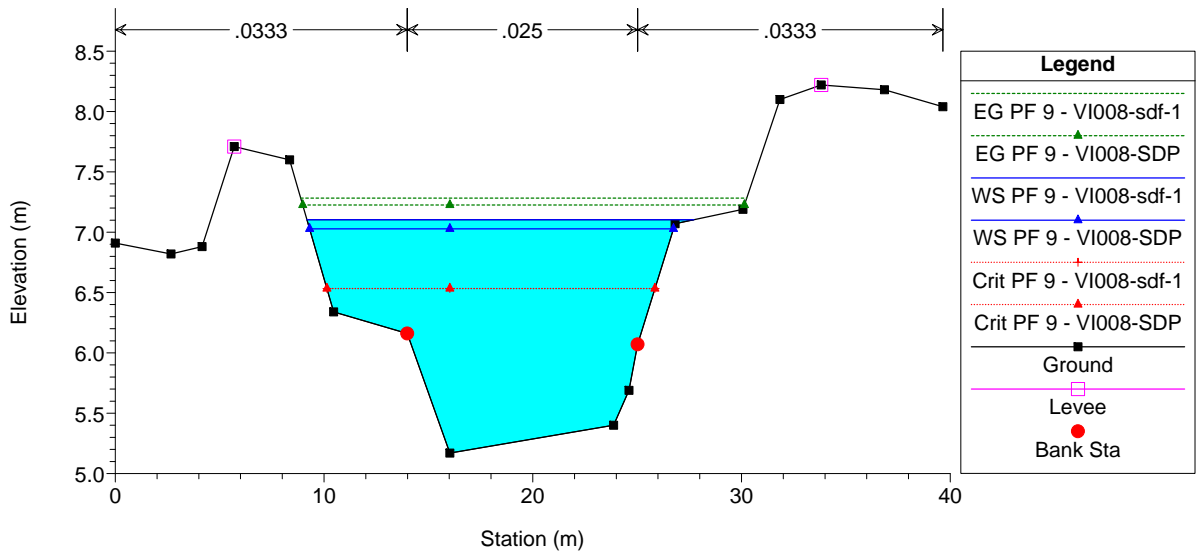
# Scolo Principale: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni



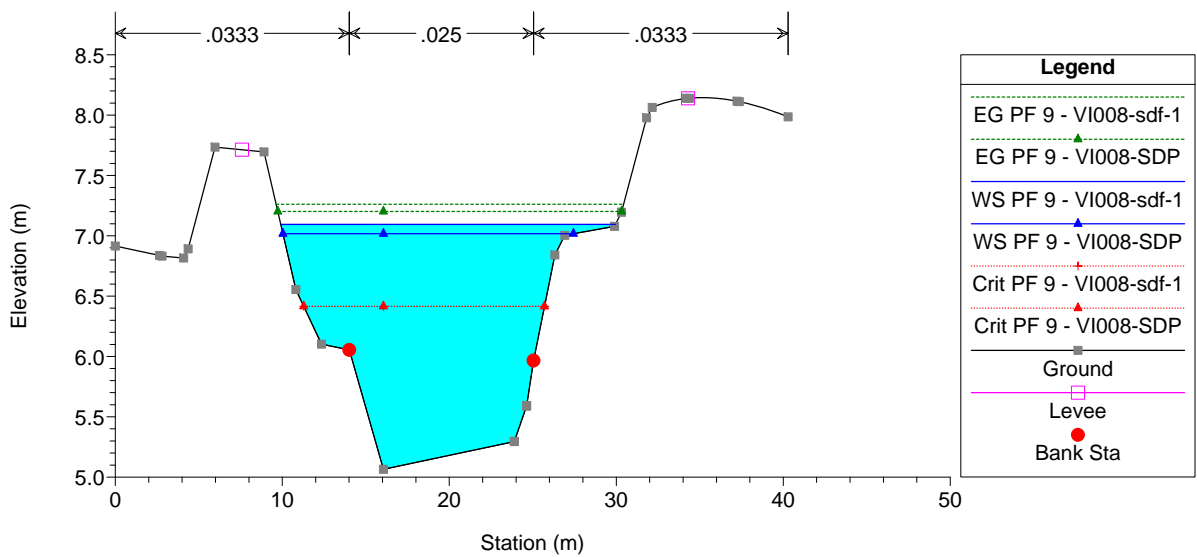
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



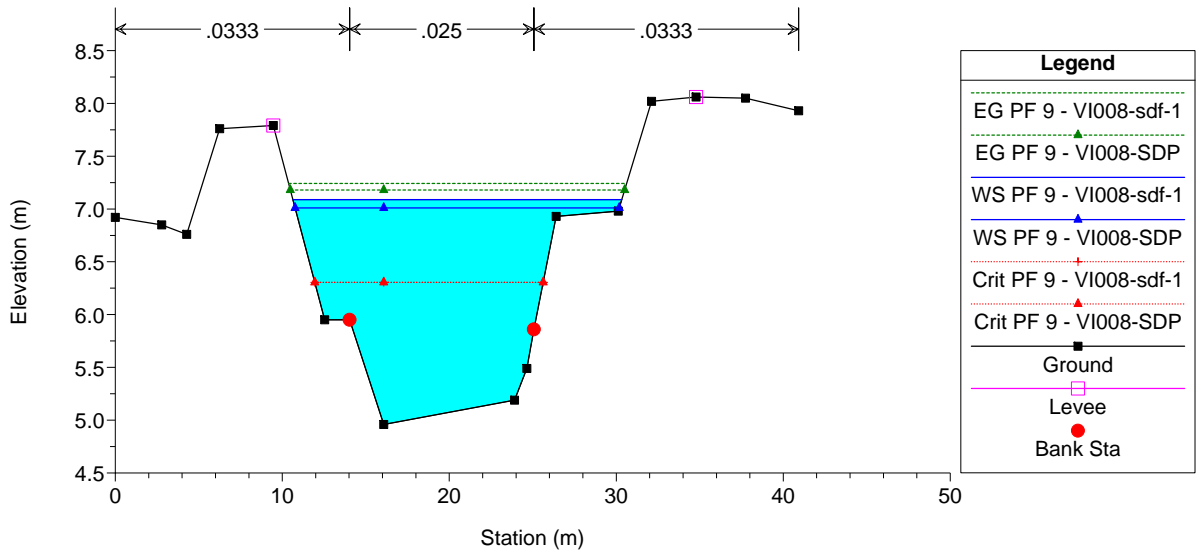
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



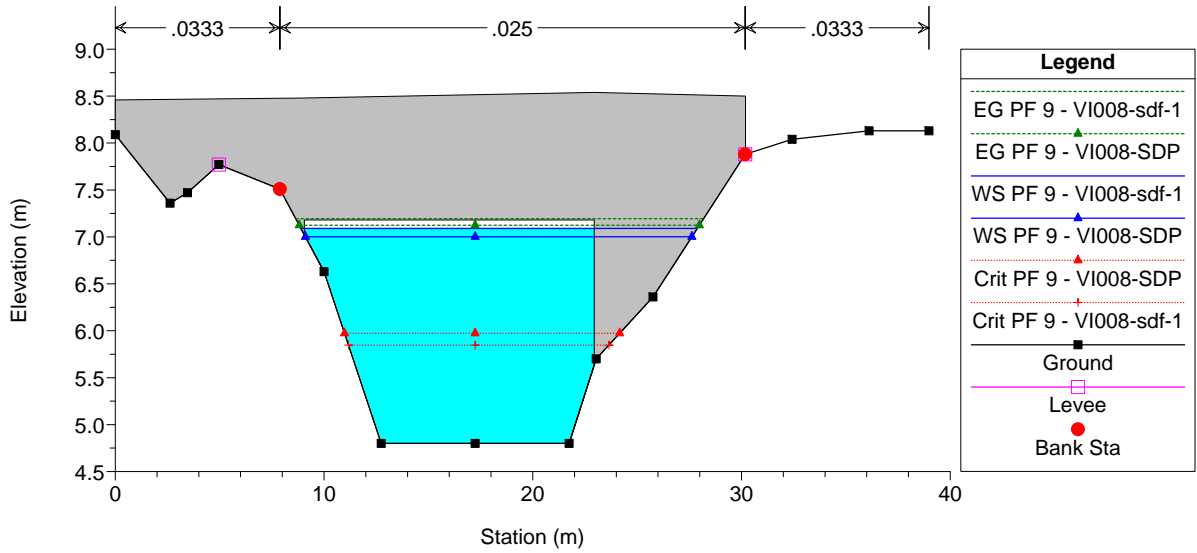
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



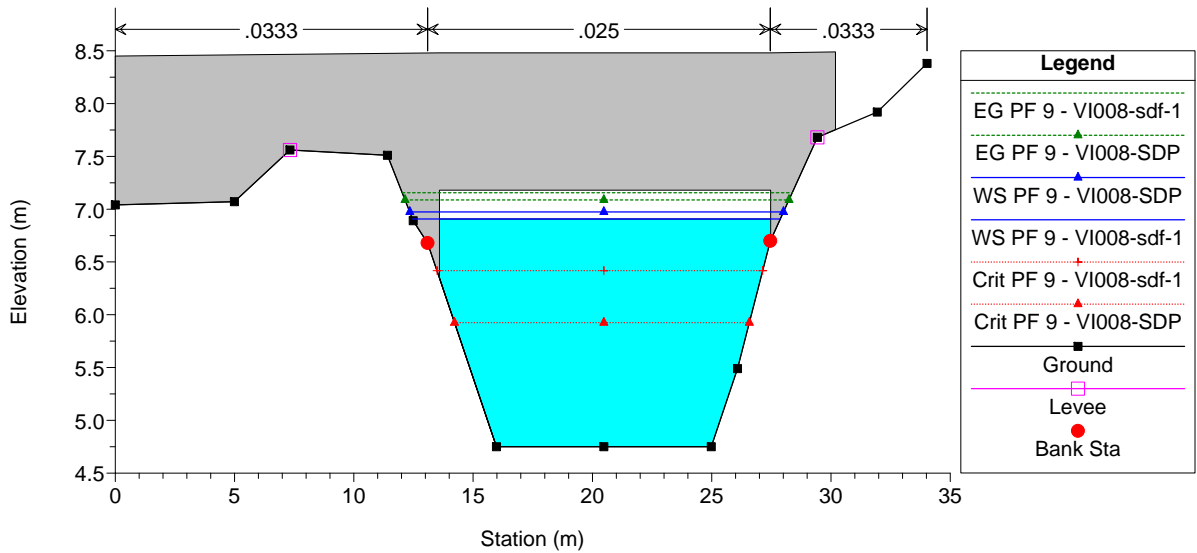
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016

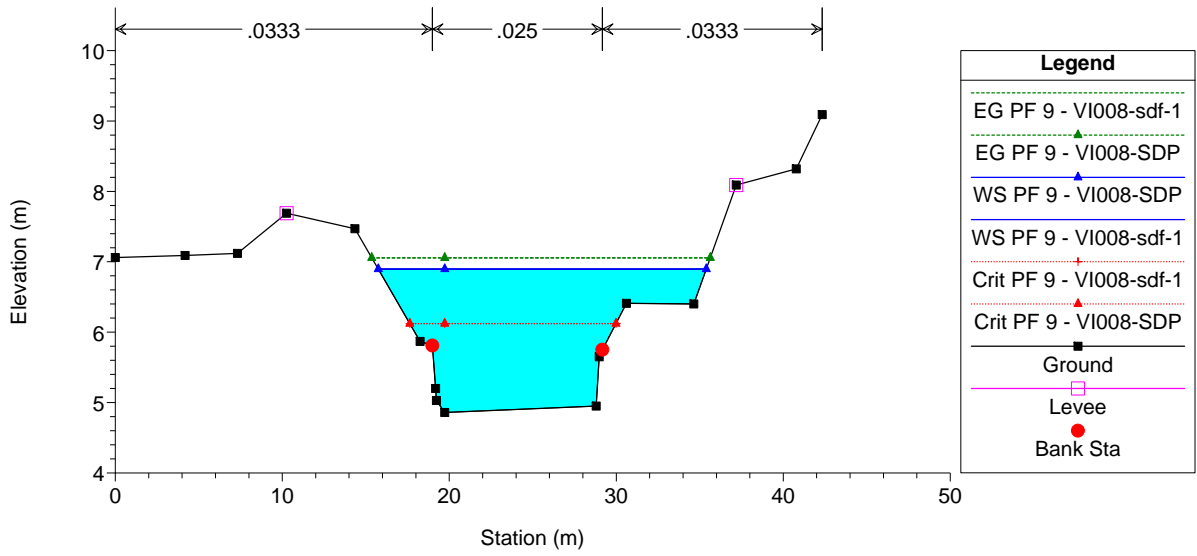


VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016

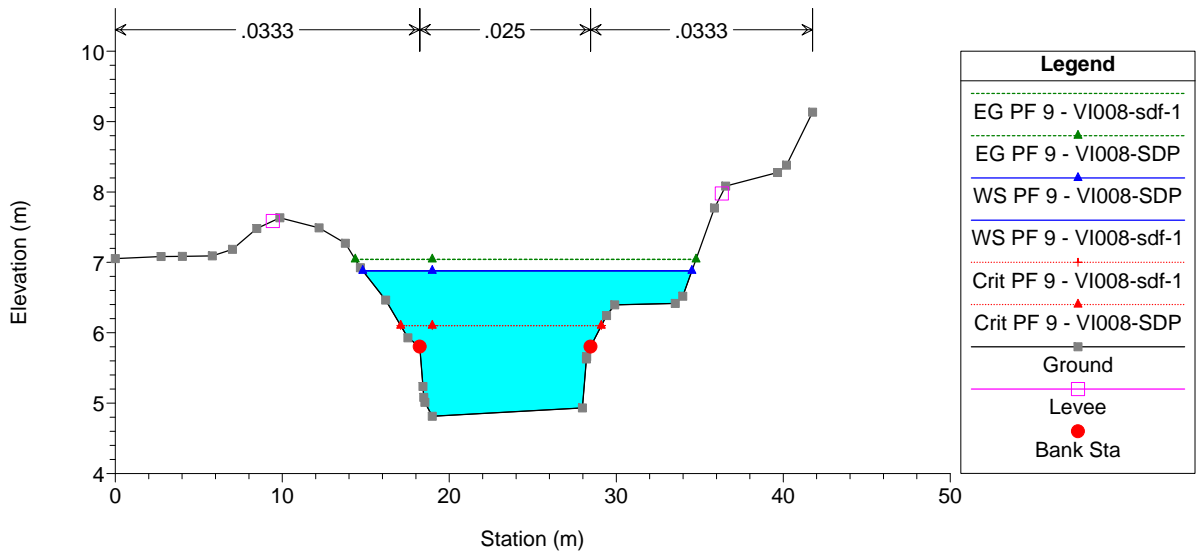




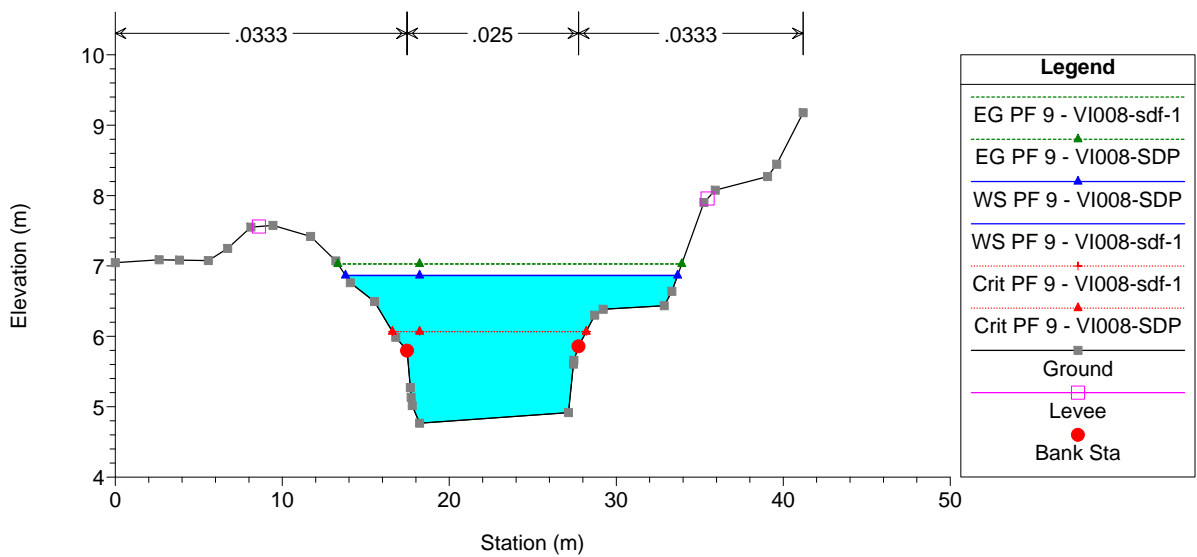
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



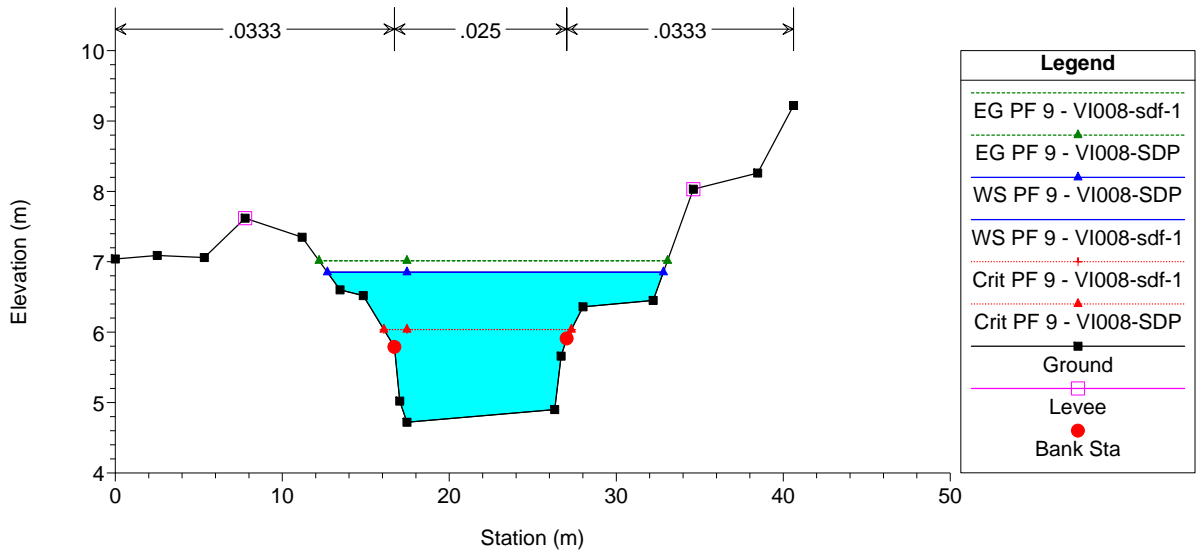
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



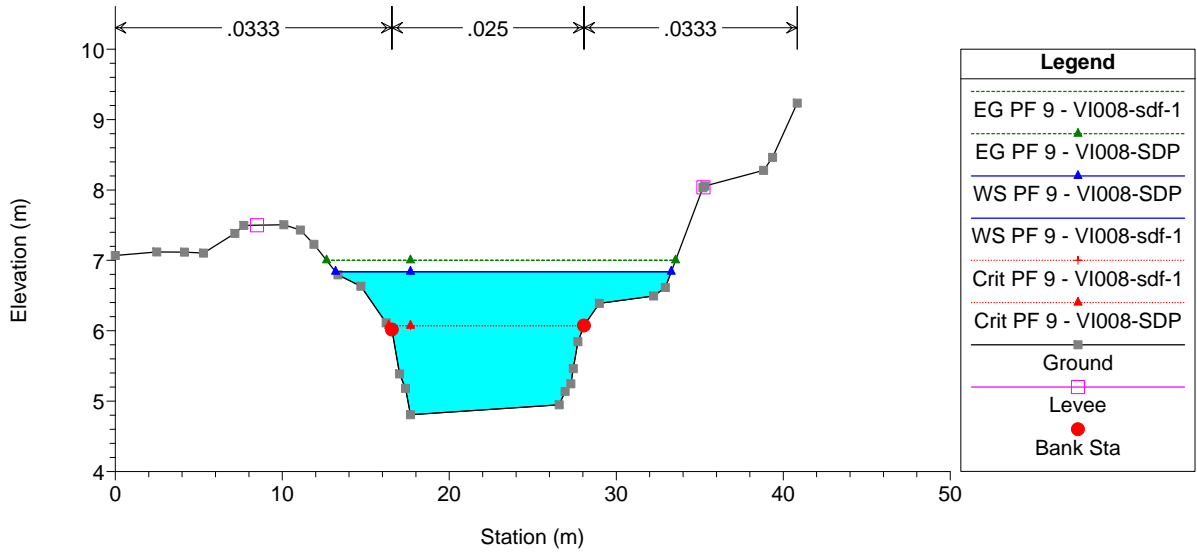
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



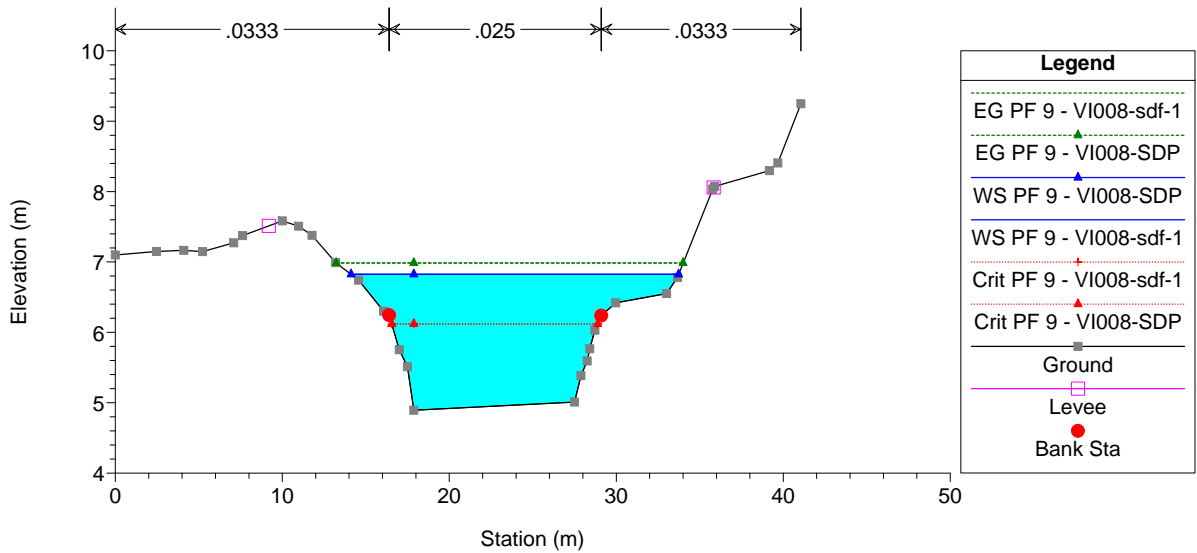
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



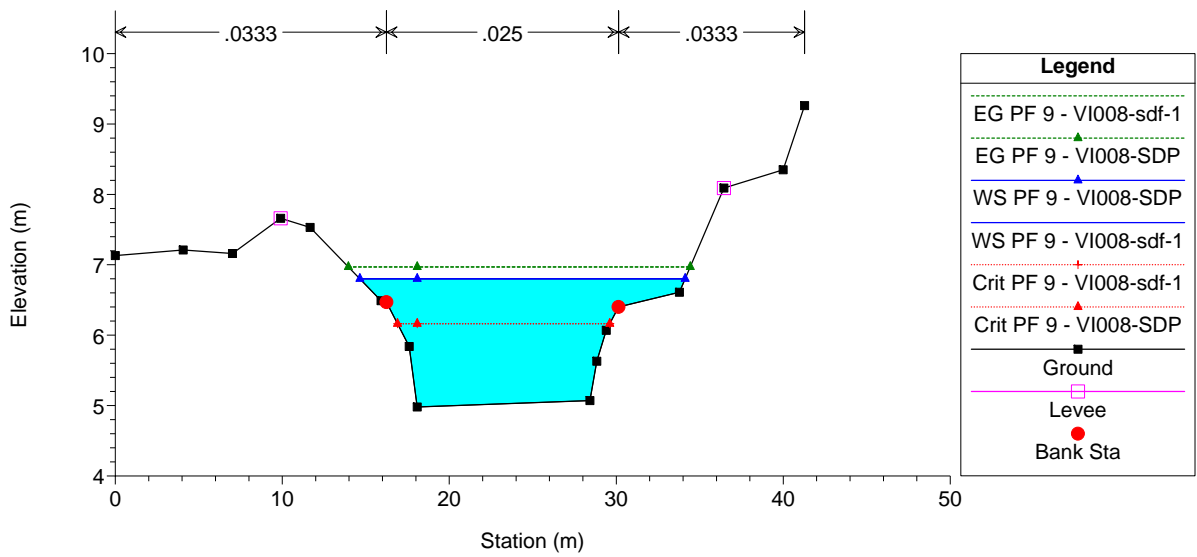
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



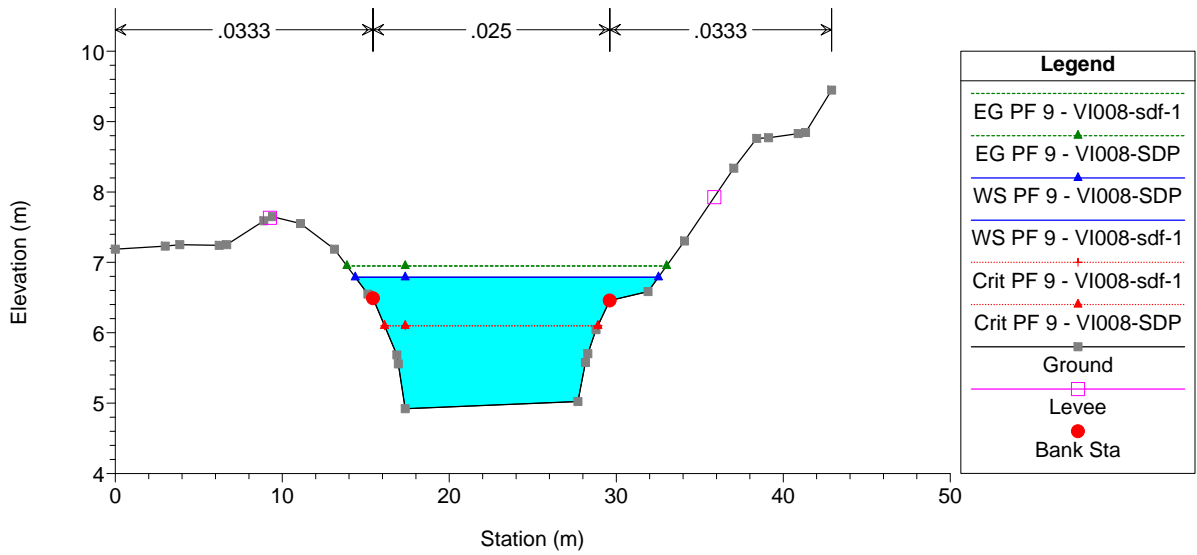
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



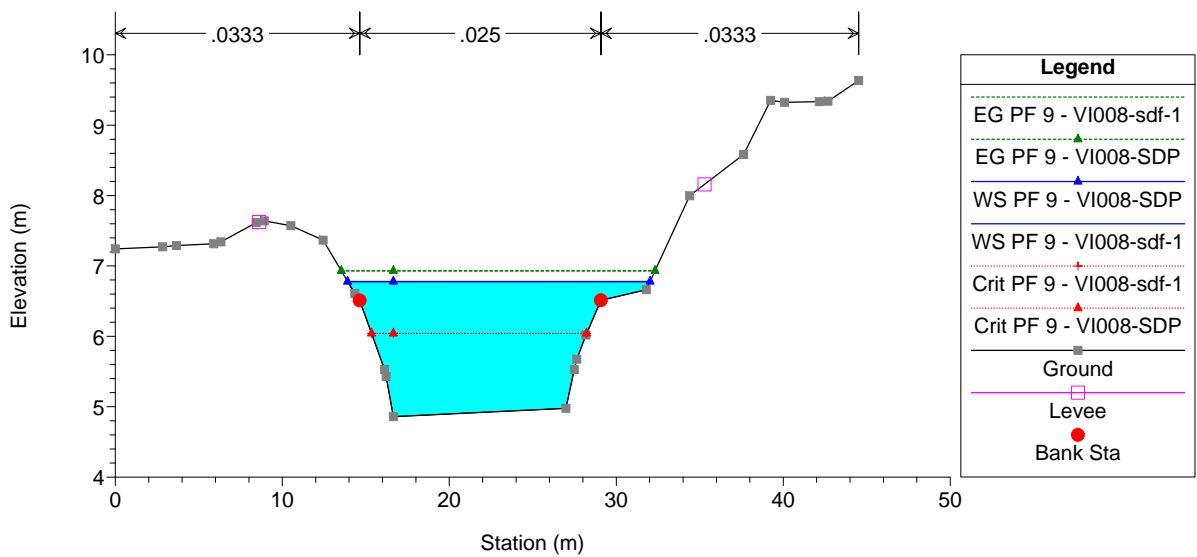
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



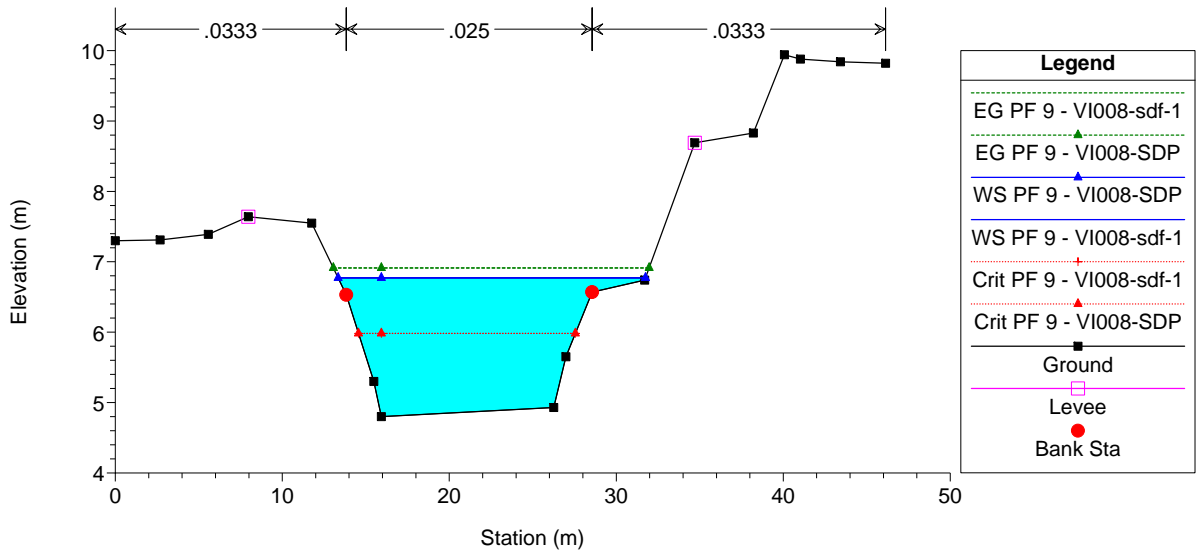
VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016



VI008 Plan: 1) VI008-sdf-1 21/11/2016 2) VI008-SDP 21/11/2016

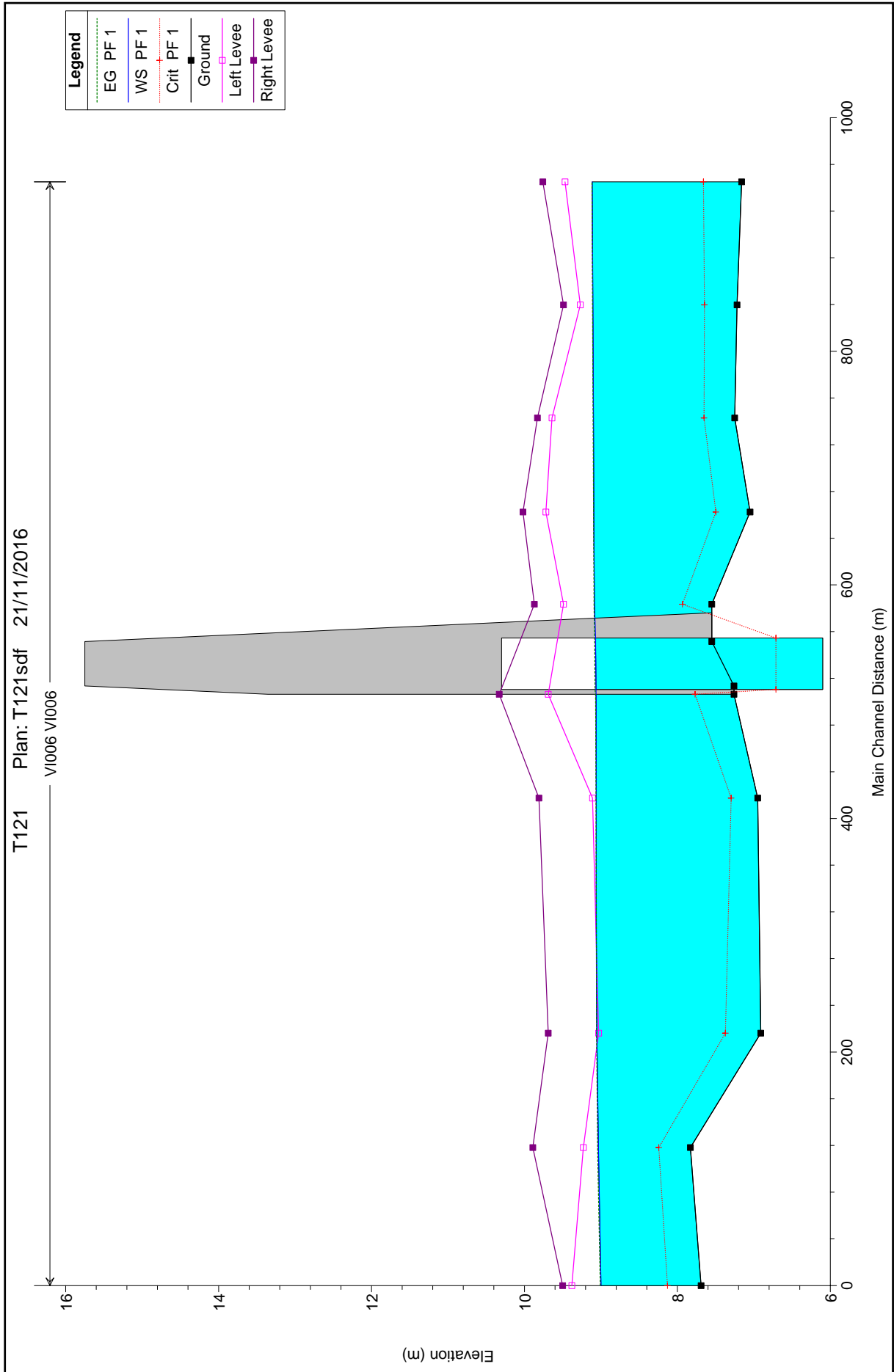


### 1.3 ALLEGATO 3: Corsi d'acqua di competenza del Consorzio di Bonifica Renana

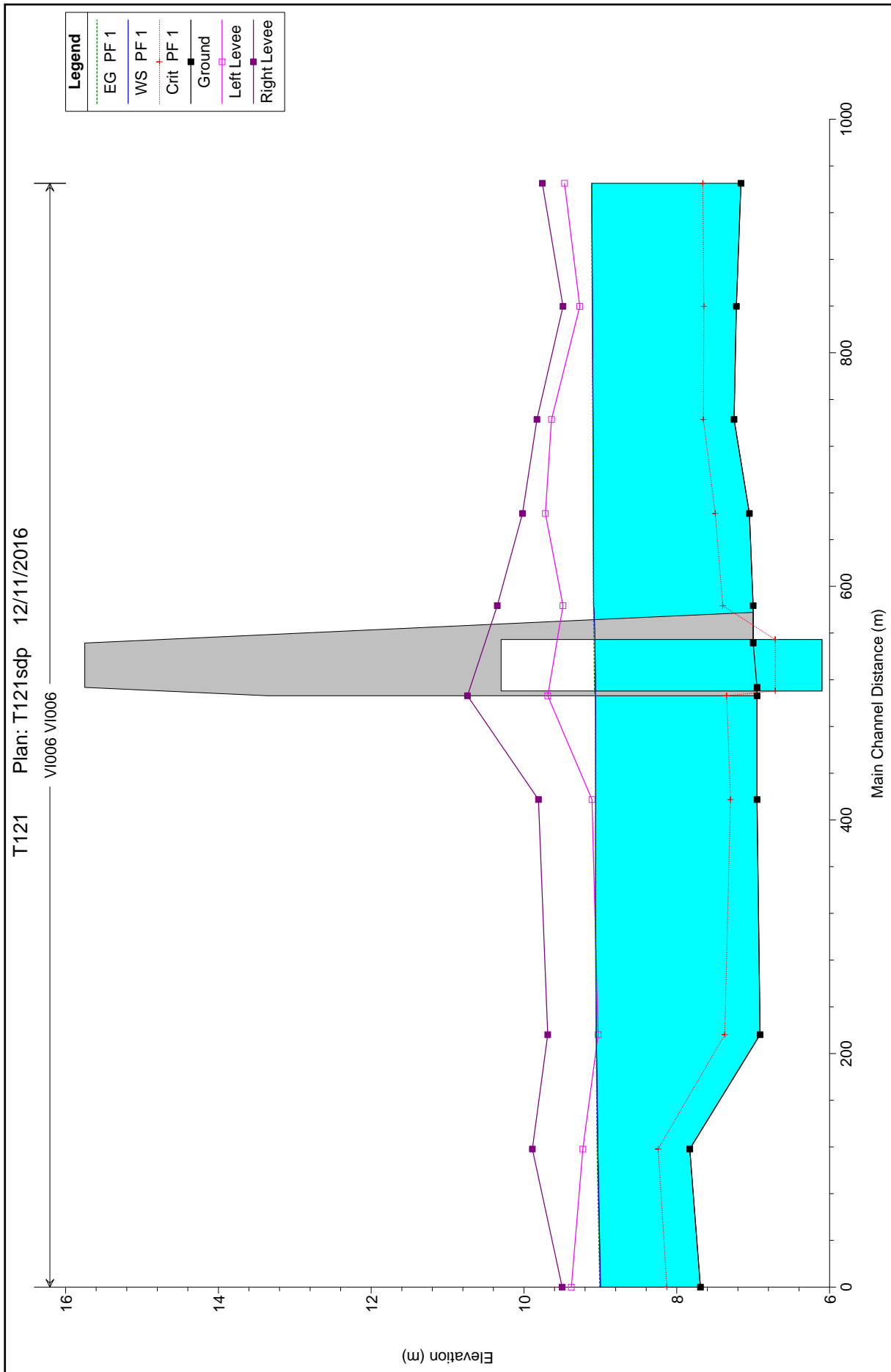
---

#### 1.3.1 Scolo San Prospero

# Scolo San Prospero: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Scolo San Prospero: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Scolo San Prospero: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T121sdf River: V1006 Reach: V1006 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
V1006	945.0915	PF 1	3.00	7.16	9.11	7.66	9.12	0.000077	0.27	11.02	9.31	0.08
V1006	839.7756	PF 1	3.00	7.22	9.11	7.65	9.11	0.000084	0.28	10.70	9.00	0.08
V1006	742.9157	PF 1	3.00	7.25	9.10	7.65	9.10	0.000078	0.27	11.02	9.34	0.08
V1006	662.3356	PF 1	3.00	7.05	9.09	7.50	9.10	0.000058	0.25	12.23	9.63	0.07
V1006	583.4872	PF 1	3.00	7.55	9.09	7.93	9.09	0.000106	0.30	9.85	9.24	0.09
V1006	554		Culvert									
V1006	506.2944	PF 1	3.00	7.26	9.06	7.77	9.07	0.000140	0.35	8.60	7.55	0.10
V1006	417.4331	PF 1	3.00	6.95	9.06	7.30	9.06	0.000033	0.21	14.30	9.11	0.05
V1006	216.1497	PF 1	3.00	6.91	9.05	7.37	9.06	0.000049	0.22	13.85	11.86	0.06
V1006	118.2631	PF 1	3.00	7.83	9.03	8.24	9.04	0.000343	0.48	6.29	7.23	0.16
V1006	7.893958	PF 1	3.00	7.69	9.00	8.13	9.01	0.000253	0.43	7.05	7.68	0.14

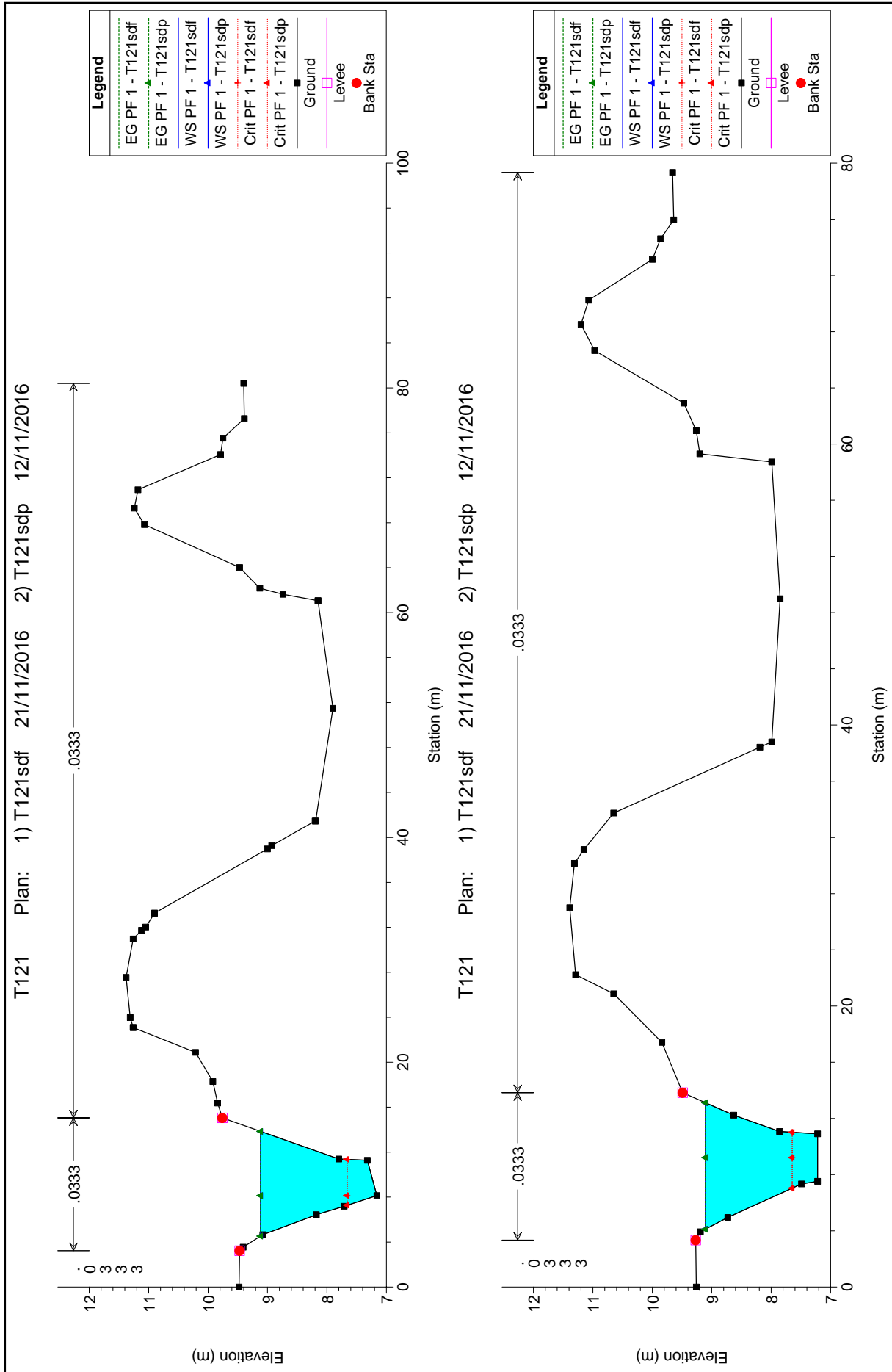


# Scolo San Prospero: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

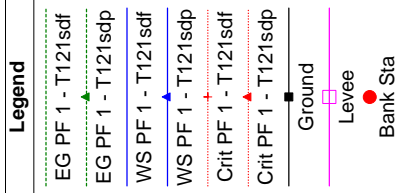
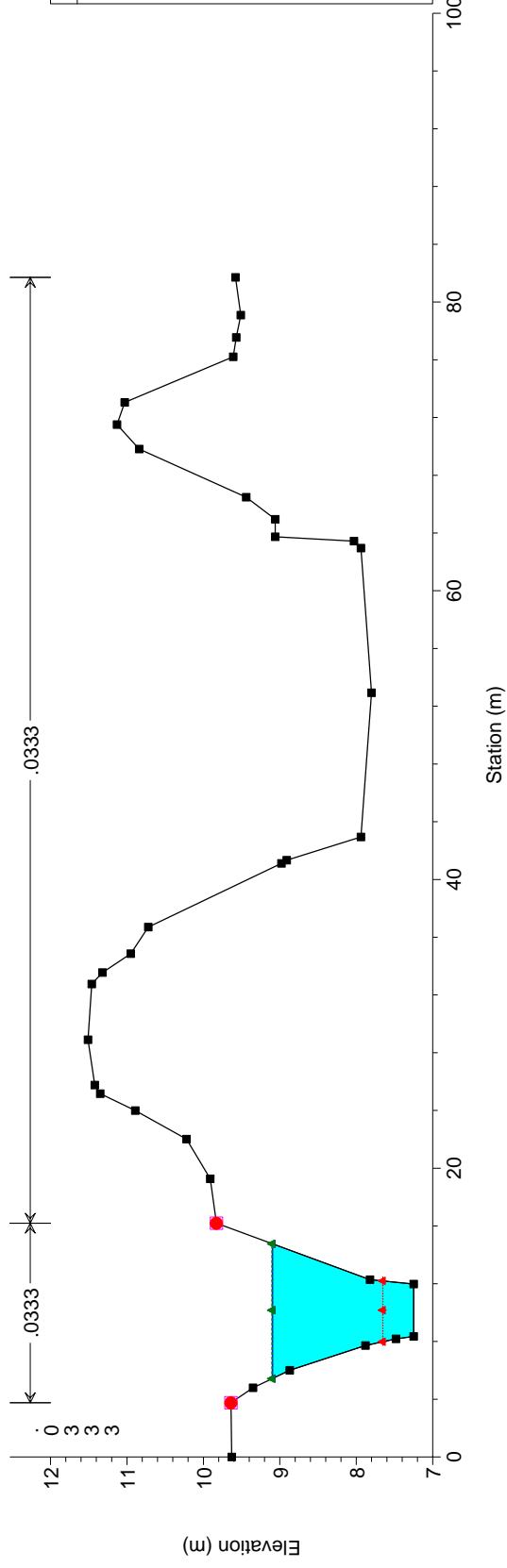
HEC-RAS Plan: T121sdp River: VI006 Reach: VI006 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI006	945.0915	PF 1	3.00	7.16	9.11	7.66	9.12	0.000078	0.27	11.01	9.30	0.08
VI006	839.7756	PF 1	3.00	7.22	9.10	7.65	9.11	0.000084	0.28	10.69	8.99	0.08
VI006	742.9157	PF 1	3.00	7.25	9.10	7.65	9.10	0.000078	0.27	11.01	9.33	0.08
VI006	662.3356	PF 1	3.00	7.05	9.09	7.50	9.09	0.000058	0.25	12.21	9.62	0.07
VI006	583.4872	PF 1	3.00	7.00	9.09	7.40	9.09	0.000039	0.22	13.86	9.95	0.06
VI006	554		Culvert									
VI006	506.2944	PF 1	3.00	6.95	9.06	7.35	9.07	0.000037	0.21	14.10	9.84	0.06
VI006	417.4331	PF 1	3.00	6.95	9.06	7.30	9.06	0.000033	0.21	14.30	9.11	0.05
VI006	216.1497	PF 1	3.00	6.91	9.05	7.37	9.06	0.000049	0.22	13.85	11.86	0.06
VI006	118.2631	PF 1	3.00	7.83	9.03	8.24	9.04	0.000343	0.48	6.29	7.23	0.16
VI006	7.893958	PF 1	3.00	7.69	9.00	8.13	9.01	0.000253	0.43	7.05	7.68	0.14

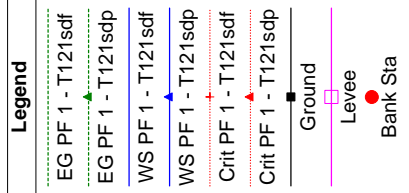
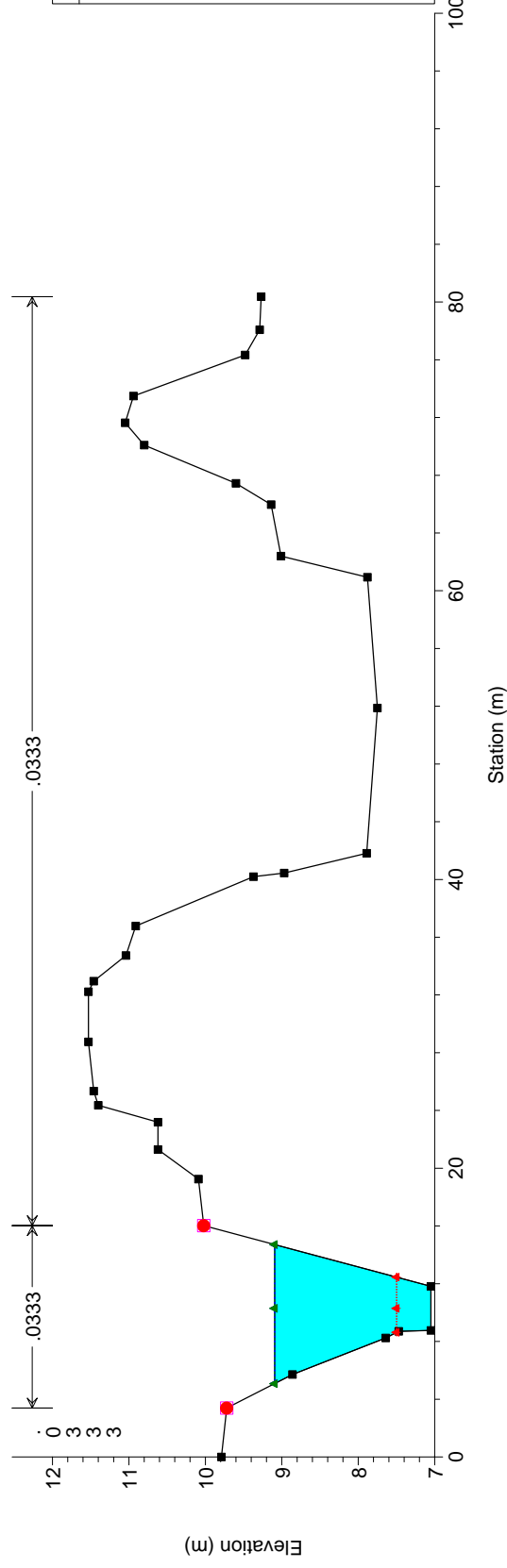
# Scolo San Prospero: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni

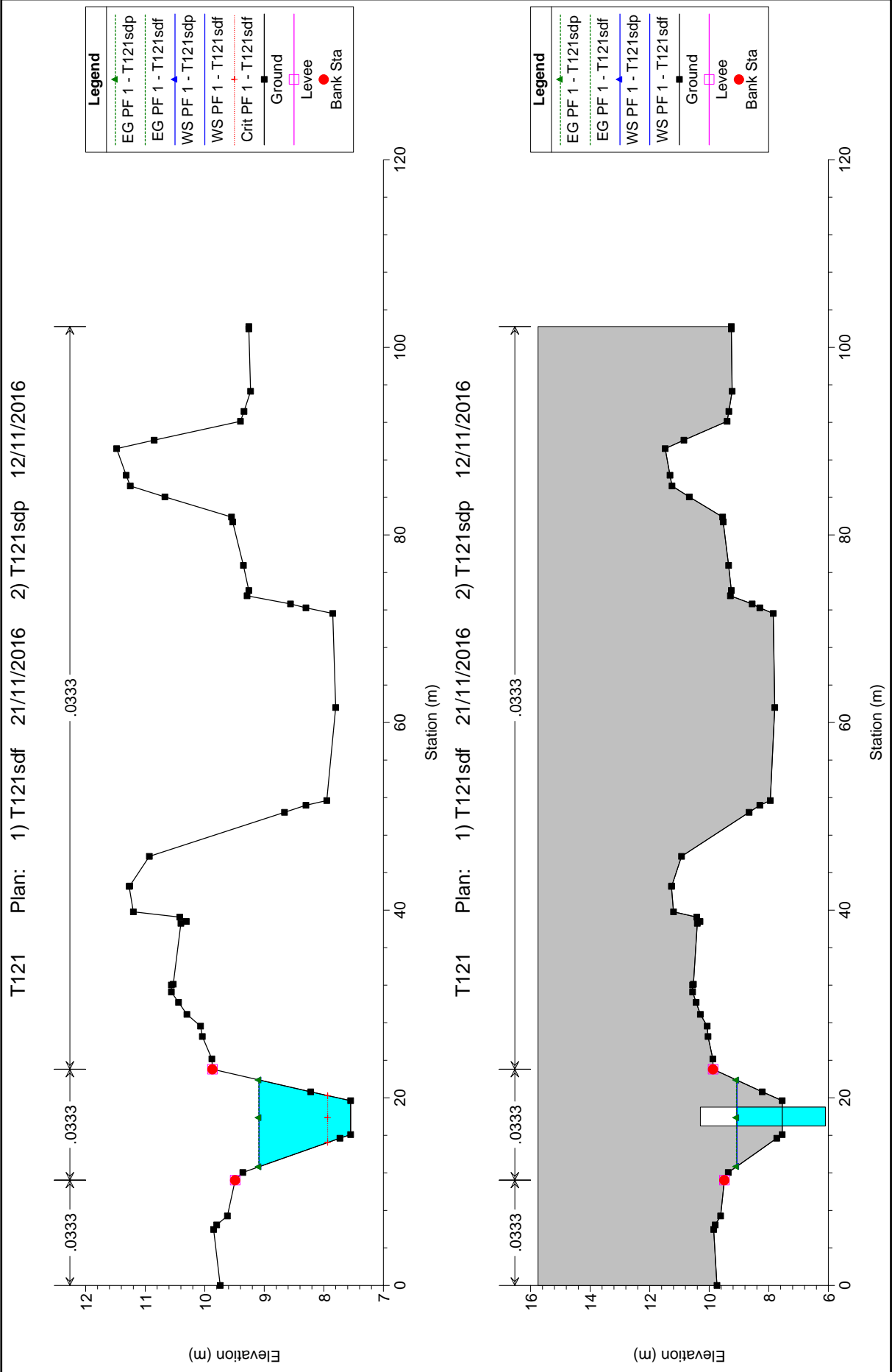


T121 Plan: 1) T121sdf 21/11/2016 2) T121sdp 12/11/2016

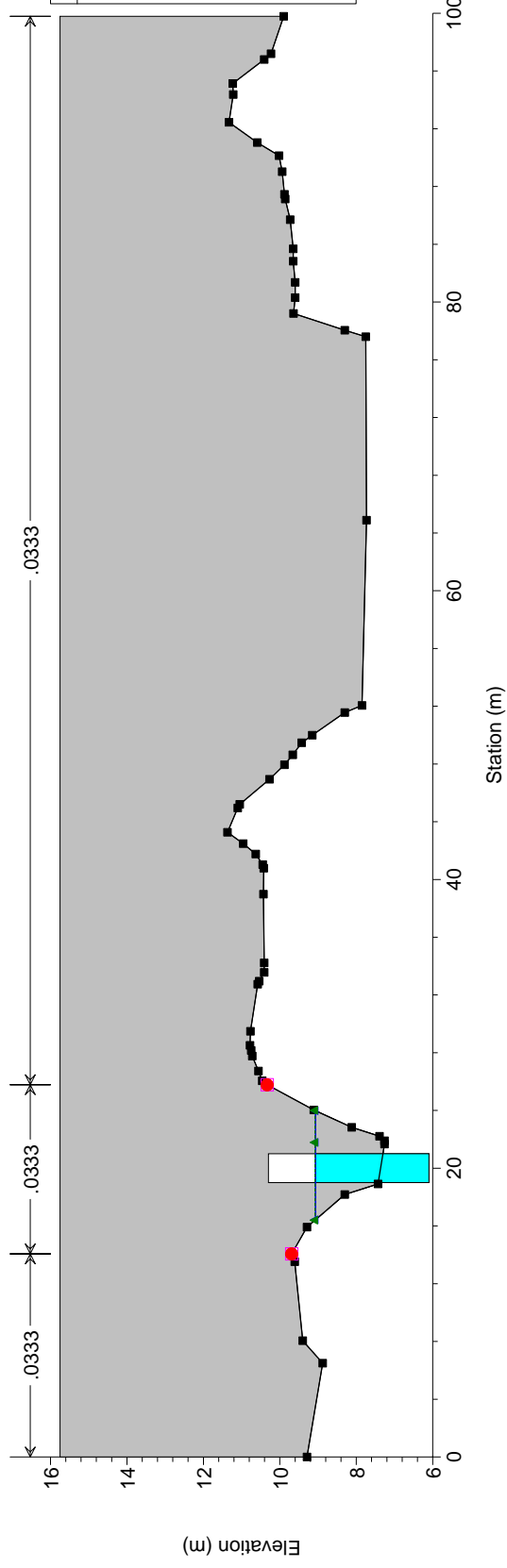


T121 Plan: 1) T121sdf 21/11/2016 2) T121sdp 12/11/2016

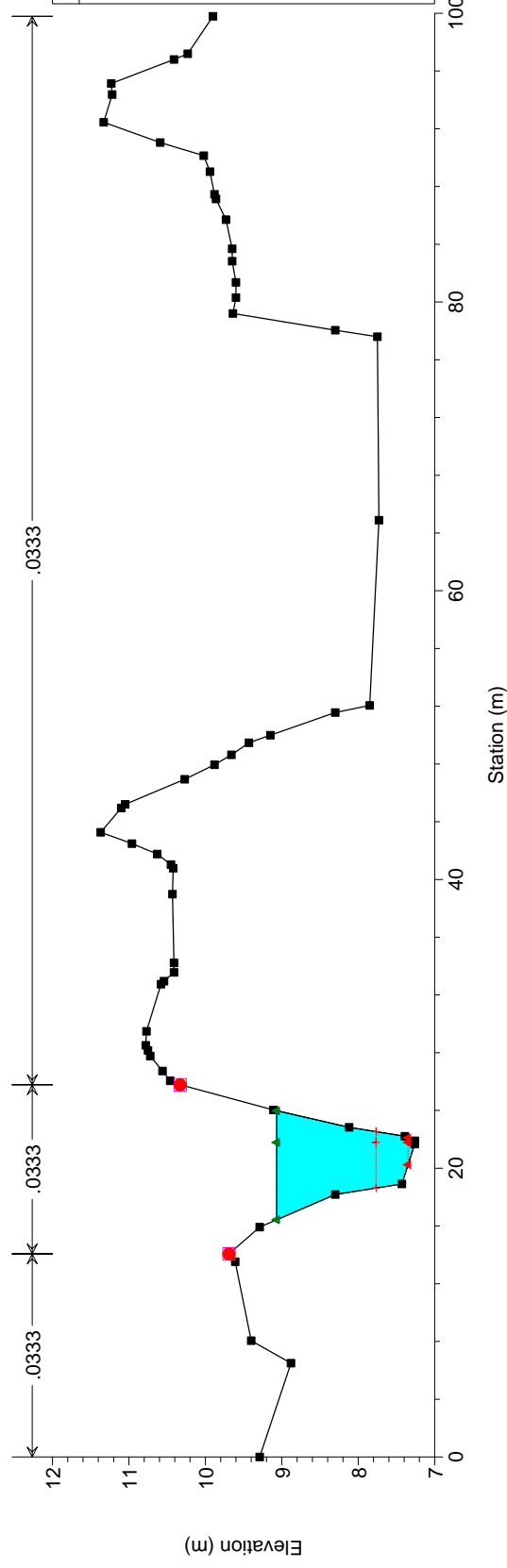




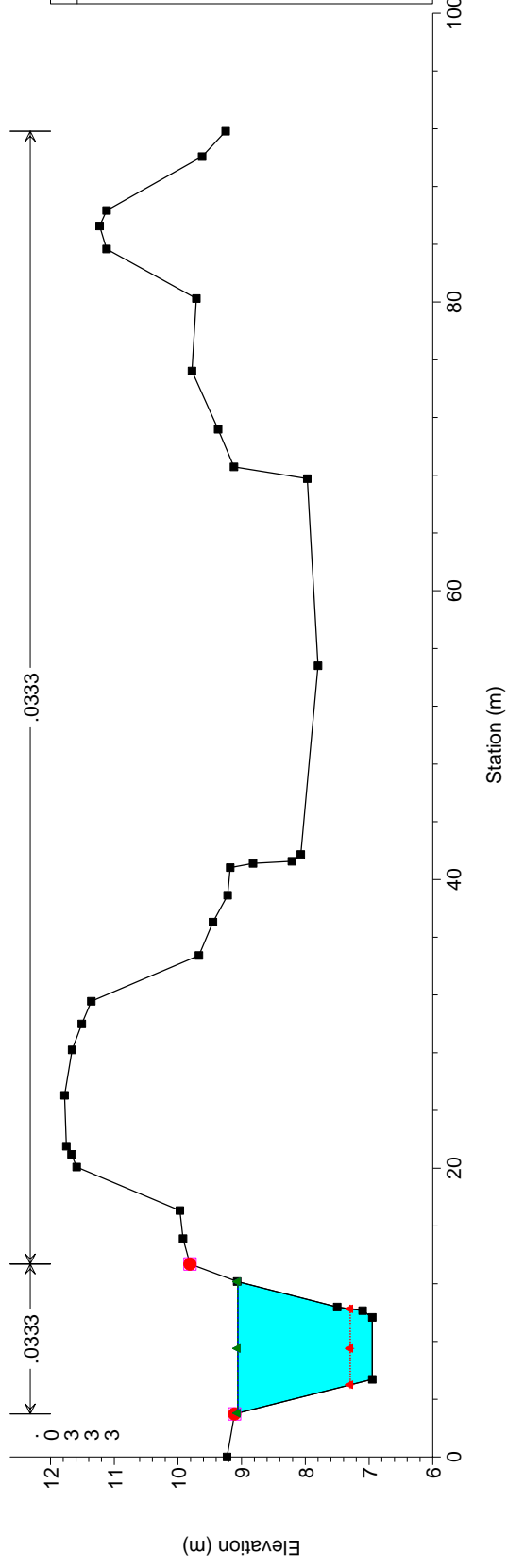
T121 Plan: 1) T121sdf 21/11/2016 2) T121sdp 12/11/2016



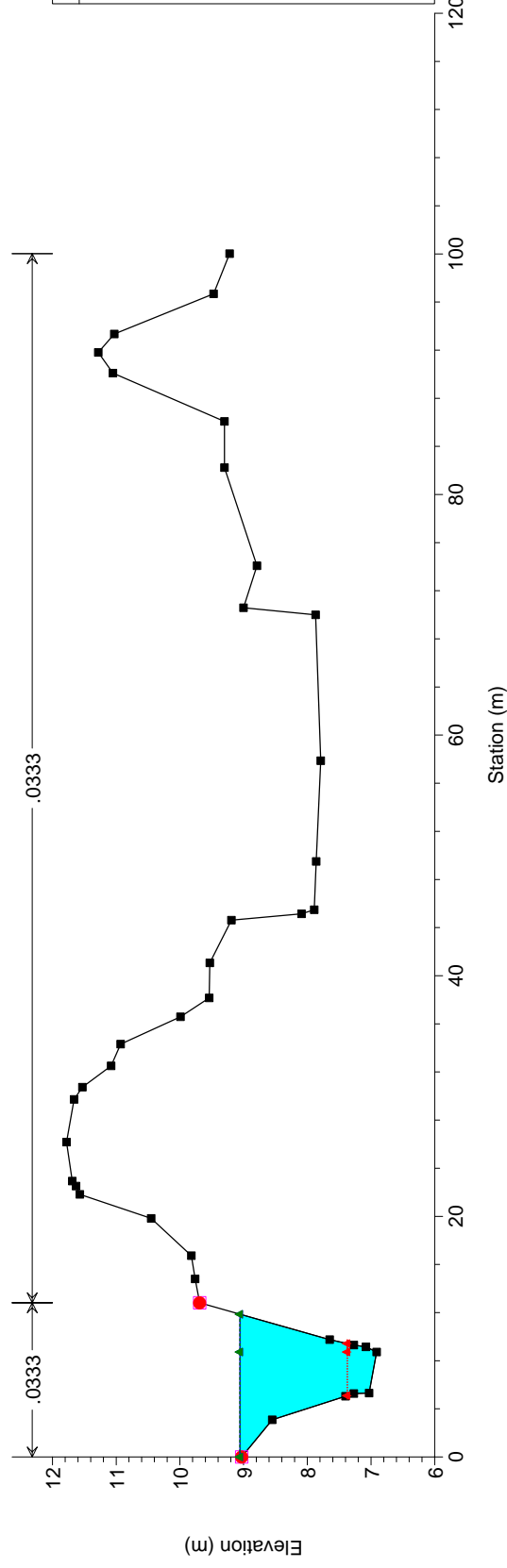
T121 Plan: 1) T121sdf 21/11/2016 2) T121sdp 12/11/2016

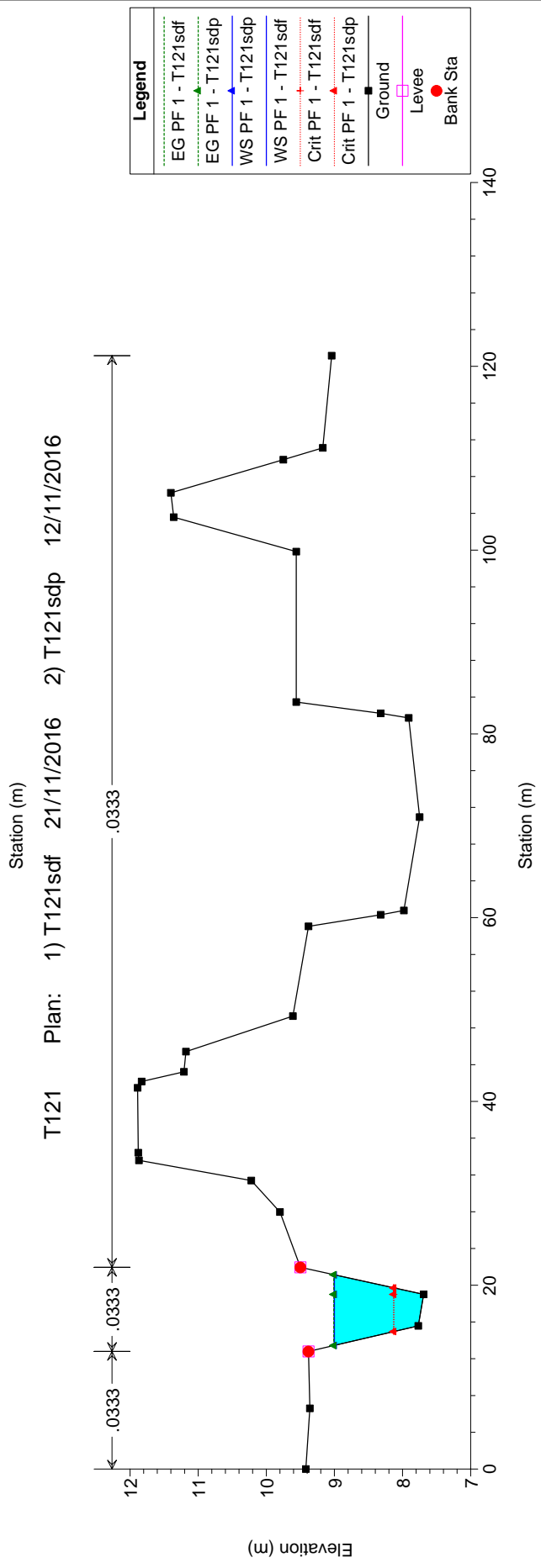
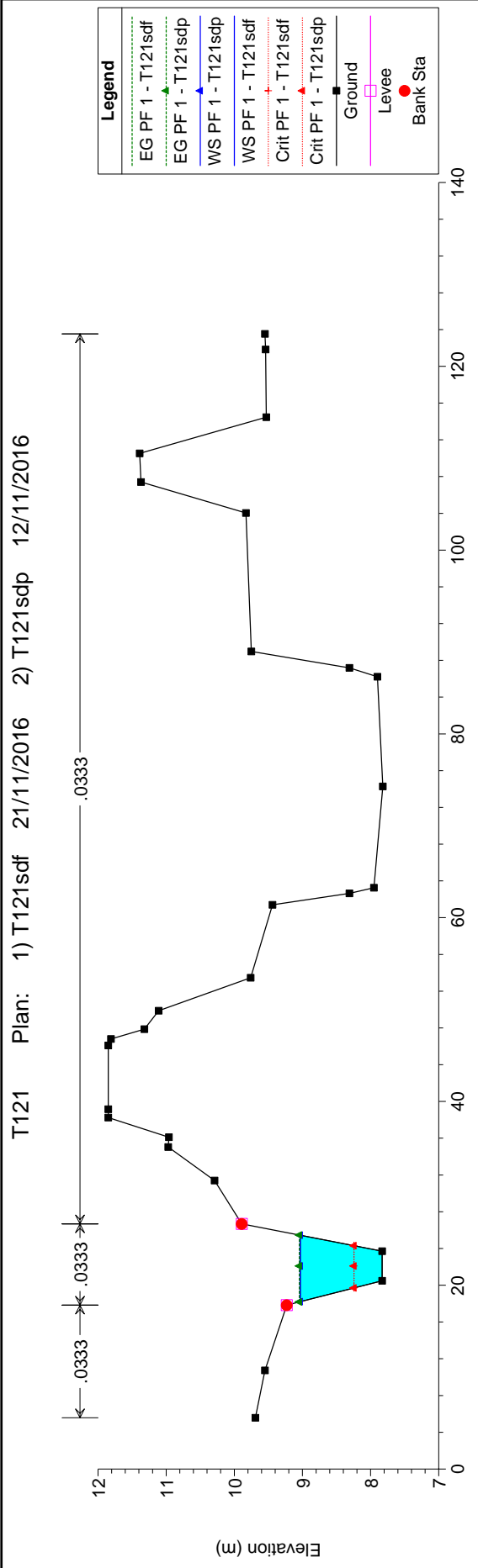


T121 Plan: 1) T121sdf 21/11/2016 2) T121sdp 12/11/2016



T121 Plan: 1) T121sdf 21/11/2016 2) T121sdp 12/11/2016

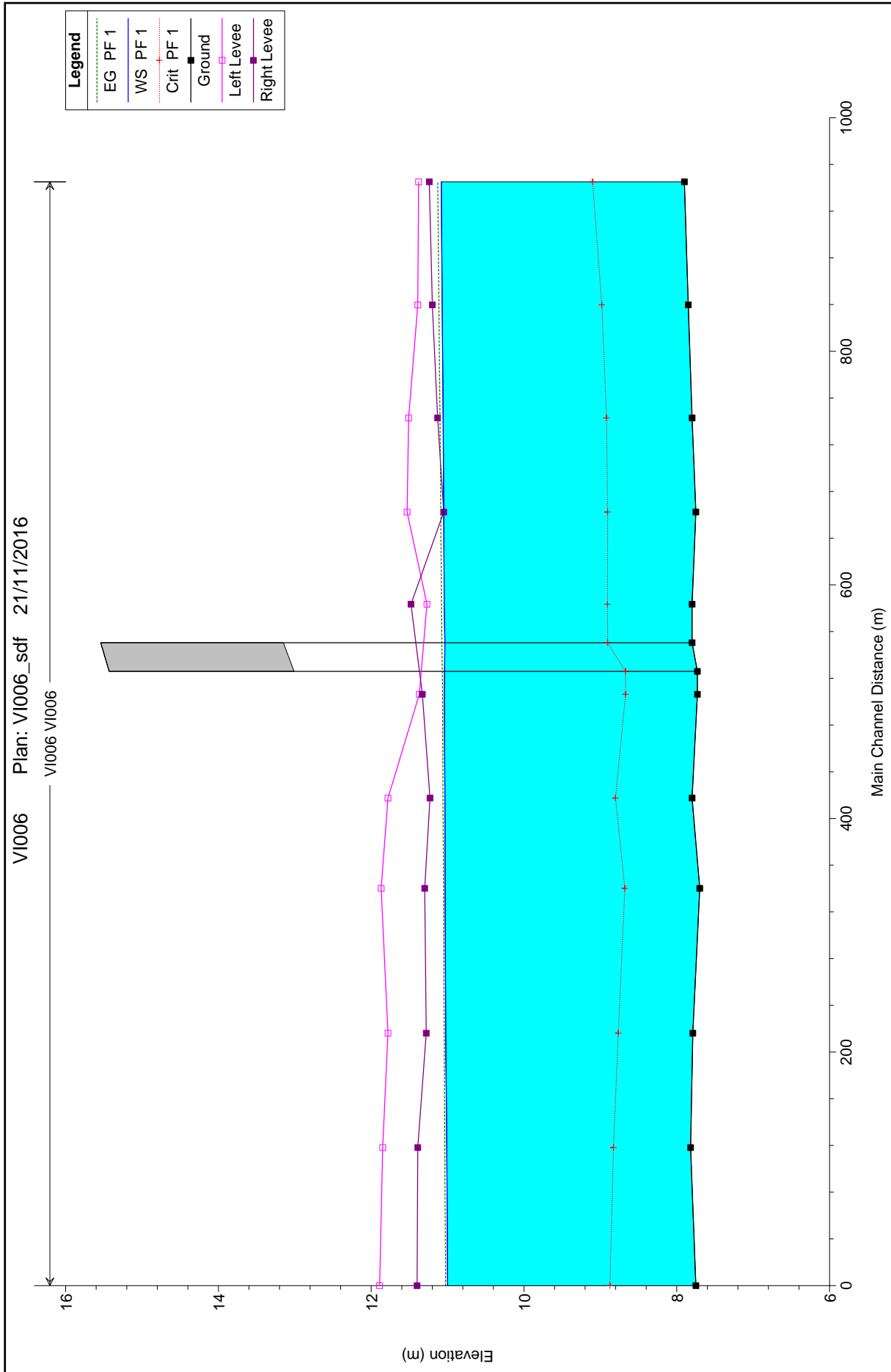




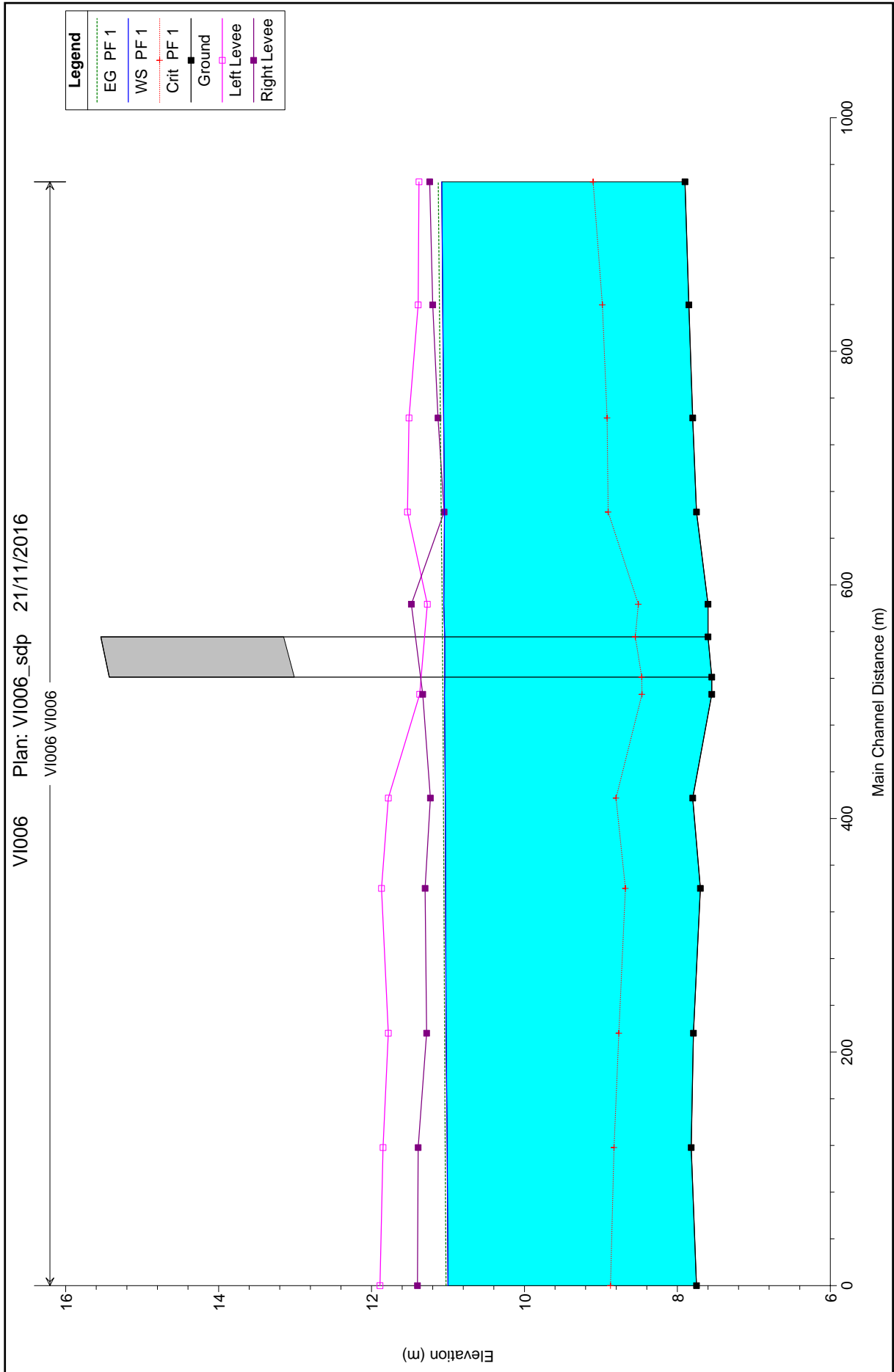
### 1.3.2 Scolo Riolo



# Scolo Riolo: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Scolo Riolo: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Scolo Riolo: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: VI006\_sdf River: VI006 Reach: VI006 Profile: PF 1

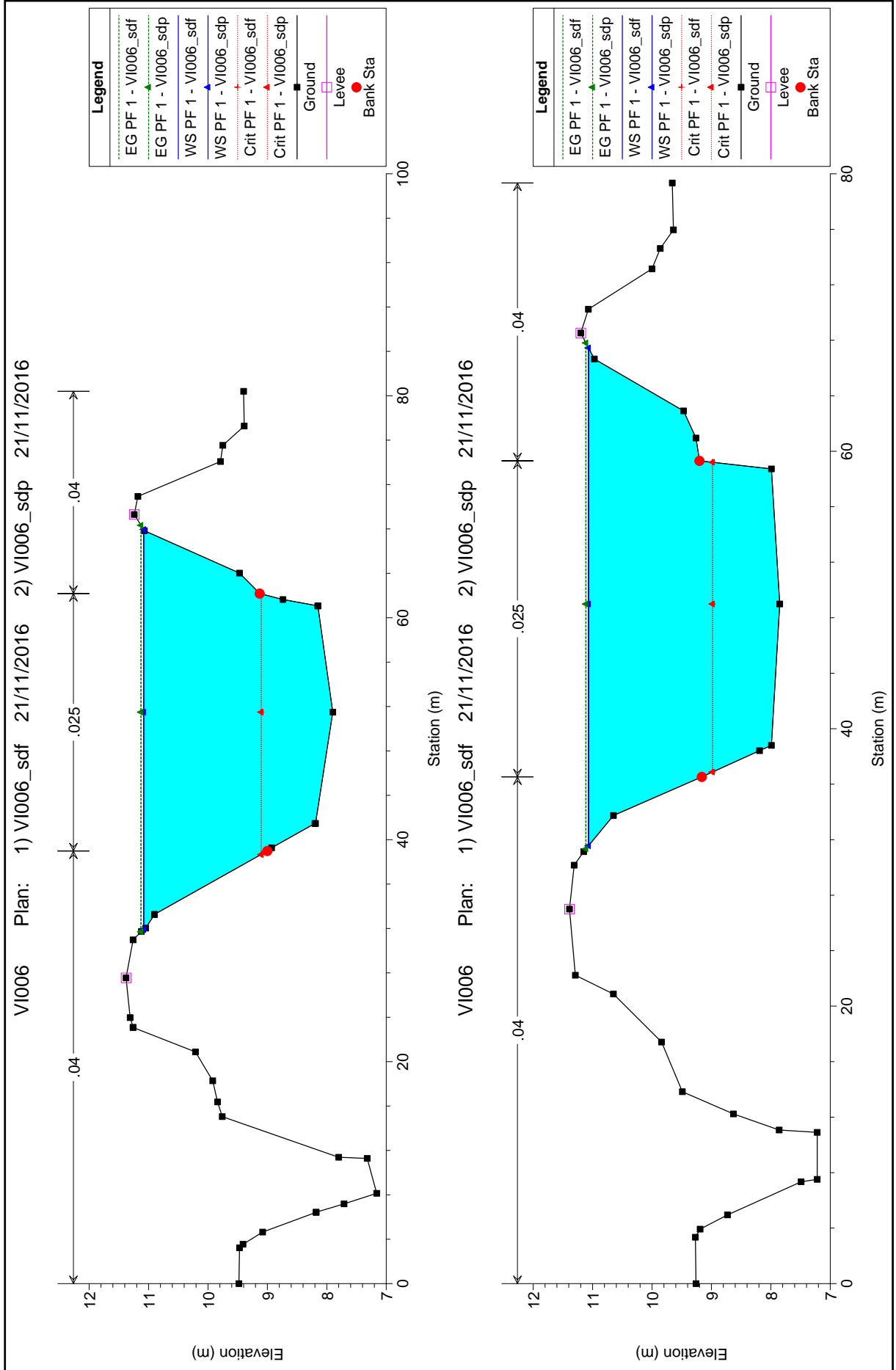
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI006	945.0915	PF 1	70.00	7.90	11.08	9.10	11.13	0.000142	0.97	81.56	36.06	0.18
VI006	839.7756	PF 1	70.00	7.85	11.07	8.98	11.11	0.000134	0.95	83.16	35.91	0.17
VI006	742.9157	PF 1	70.00	7.80	11.06	8.92	11.10	0.000127	0.93	84.89	36.61	0.17
VI006	662.3356	PF 1	70.00	7.75	11.05	8.91	11.09	0.000118	0.91	94.40	45.69	0.16
VI006	583.4872	PF 1	70.00	7.80	11.04	8.91	11.08	0.000109	0.86	93.82	40.17	0.16
VI006	550		Bridge									
VI006	506.2944	PF 1	70.00	7.73	11.04	8.67	11.07	0.000071	0.70	112.32	46.69	0.13
VI006	417.4331	PF 1	70.00	7.80	11.04	8.80	11.06	0.000077	0.72	116.74	51.29	0.13
VI006	340.0851	PF 1	70.00	7.70	11.03	8.68	11.05	0.000066	0.69	125.88	53.50	0.12
VI006	216.1497	PF 1	70.00	7.79	11.02	8.77	11.04	0.000070	0.69	129.12	56.84	0.12
VI006	118.2631	PF 1	70.00	7.82	11.01	8.83	11.04	0.000084	0.74	116.07	56.48	0.14
VI006	7.893958	PF 1	70.00	7.75	11.00	8.88	11.03	0.000092	0.78	116.89	56.98	0.14

# Scolo Riolo: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

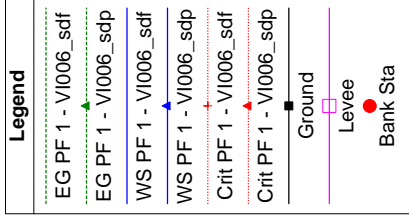
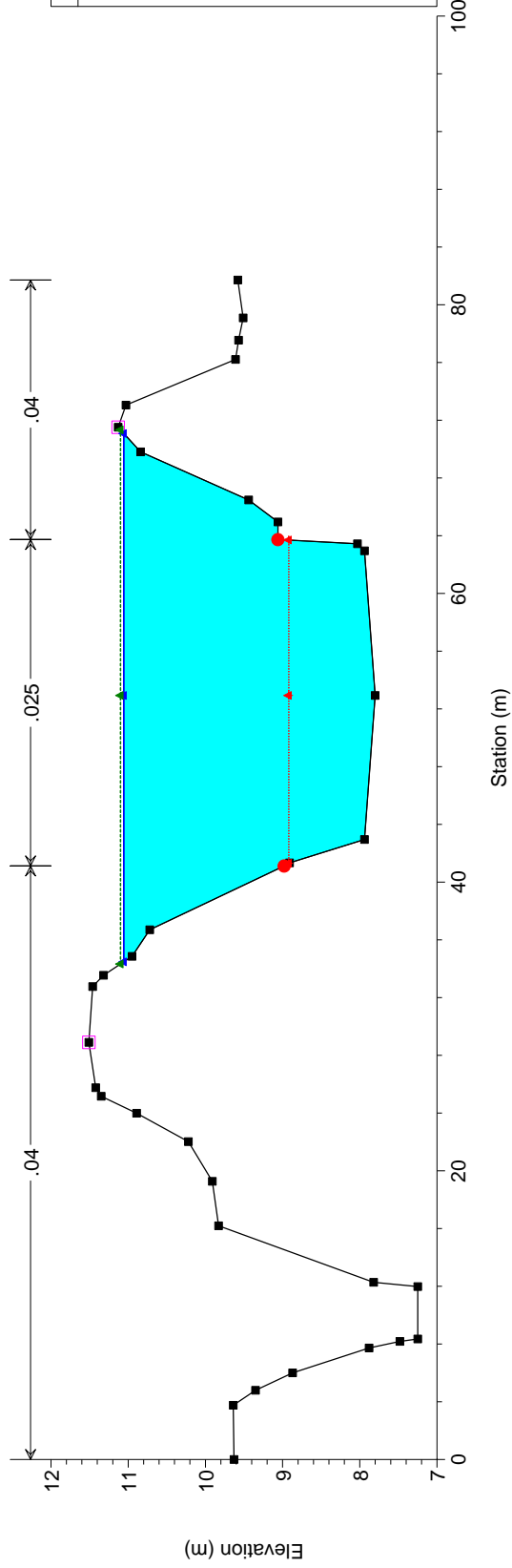
HEC-RAS Plan: VI006\_sdp River: VI006 Reach: VI006 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI006	945.0915	PF 1	70.00	7.90	11.08	9.10	11.13	0.000142	0.97	81.52	36.05	0.18
VI006	839.7756	PF 1	70.00	7.85	11.07	8.98	11.11	0.000134	0.95	83.12	35.89	0.17
VI006	742.9157	PF 1	70.00	7.80	11.06	8.92	11.10	0.000127	0.93	84.84	36.60	0.17
VI006	662.3356	PF 1	70.00	7.75	11.05	8.91	11.09	0.000127	0.95	84.77	36.90	0.17
VI006	583.4872	PF 1	70.00	7.60	11.06	8.51	11.08	0.000063	0.61	114.27	41.92	0.12
VI006	550		Bridge									
VI006	506.2944	PF 1	70.00	7.55	11.05	8.46	11.07	0.000055	0.64	120.71	46.70	0.11
VI006	417.4331	PF 1	70.00	7.80	11.04	8.80	11.06	0.000077	0.72	116.74	51.29	0.13
VI006	340.0851	PF 1	70.00	7.70	11.03	8.68	11.05	0.000066	0.69	125.88	53.50	0.12
VI006	216.1497	PF 1	70.00	7.79	11.02	8.77	11.04	0.000070	0.69	129.12	56.84	0.12
VI006	118.2631	PF 1	70.00	7.82	11.01	8.83	11.04	0.000084	0.74	116.07	56.48	0.14
VI006	7.893958	PF 1	70.00	7.75	11.00	8.88	11.03	0.000092	0.78	116.89	56.98	0.14

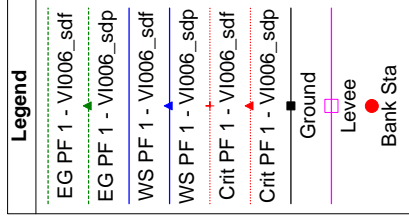
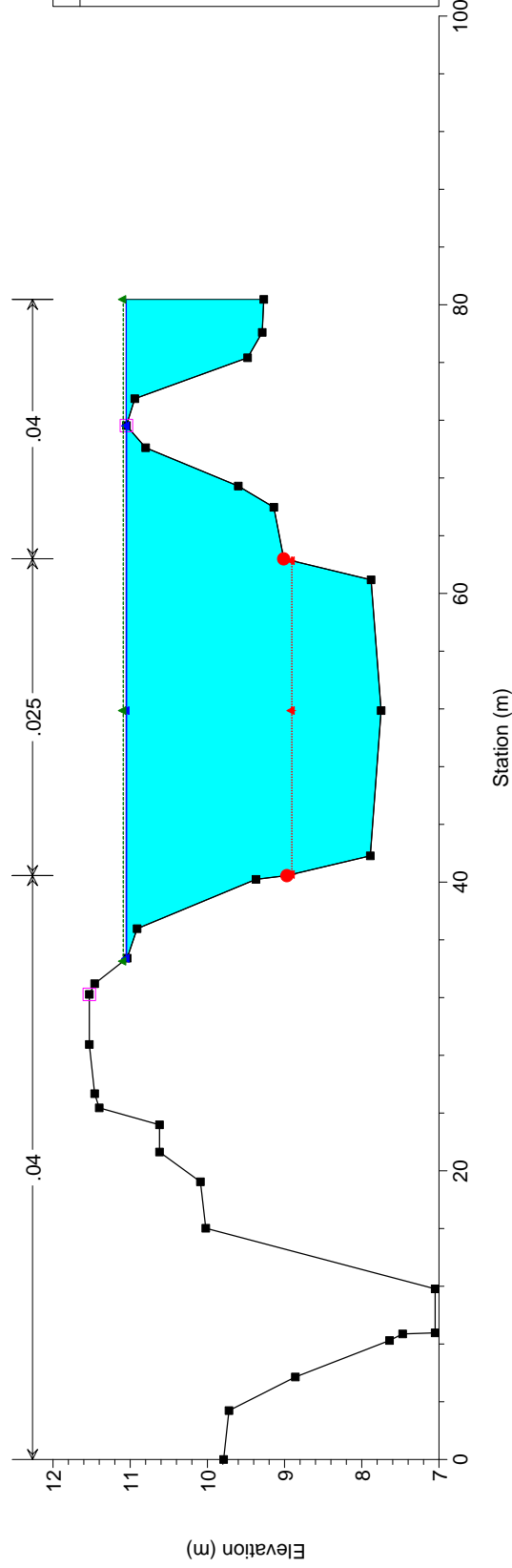
# Scolo Riolo: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni

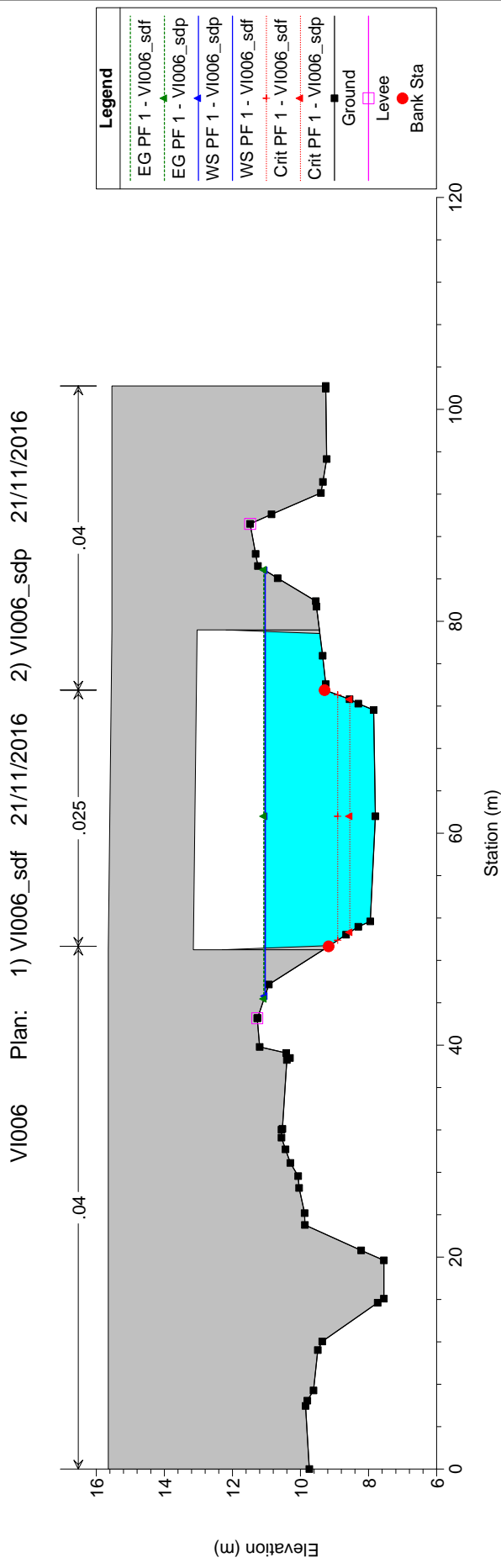
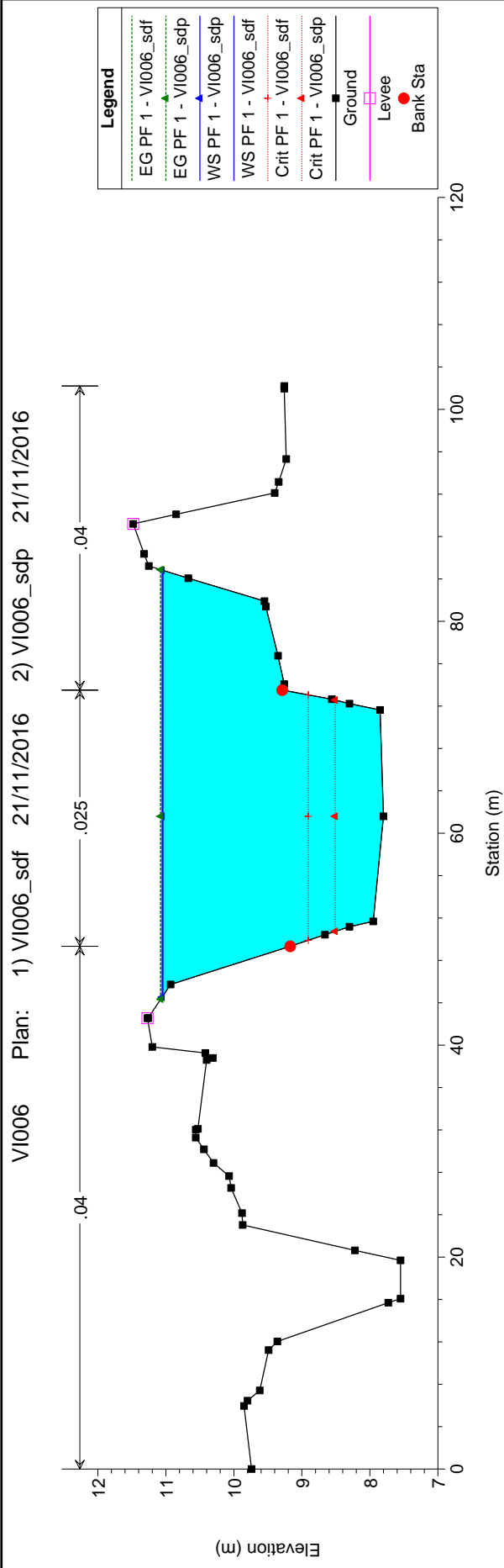


VI006 Plan: 1) VI006\_sdf 21/11/2016 2) VI006\_sdp 21/11/2016

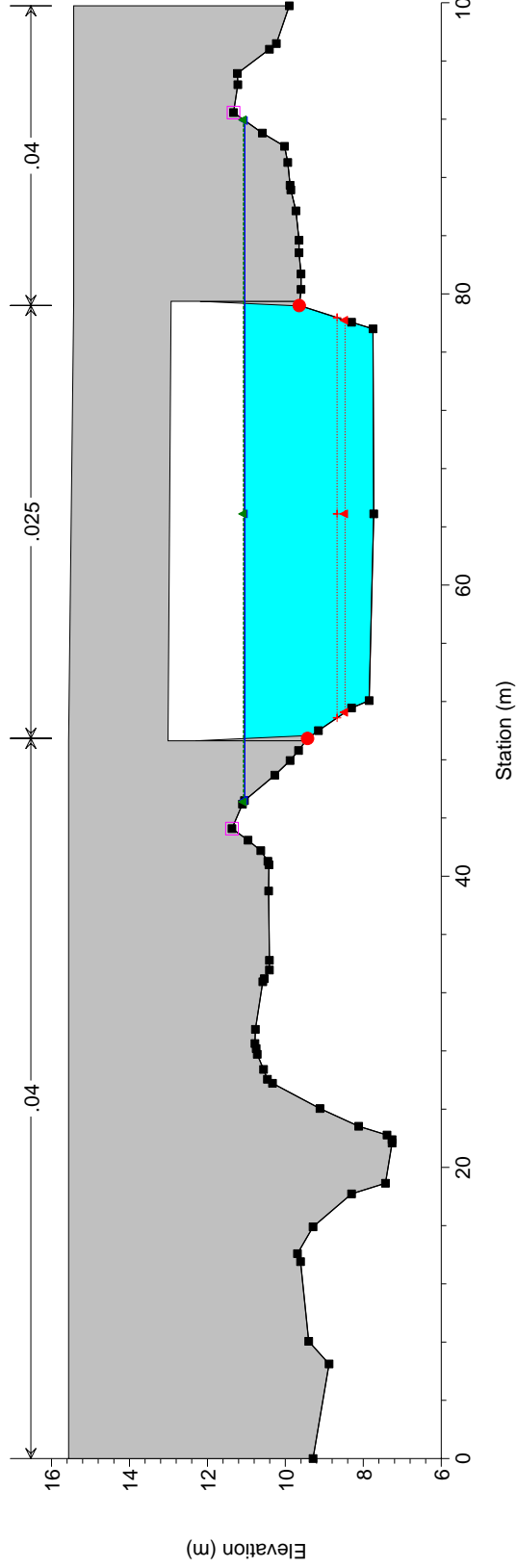


VI006 Plan: 1) VI006\_sdf 21/11/2016 2) VI006\_sdp 21/11/2016

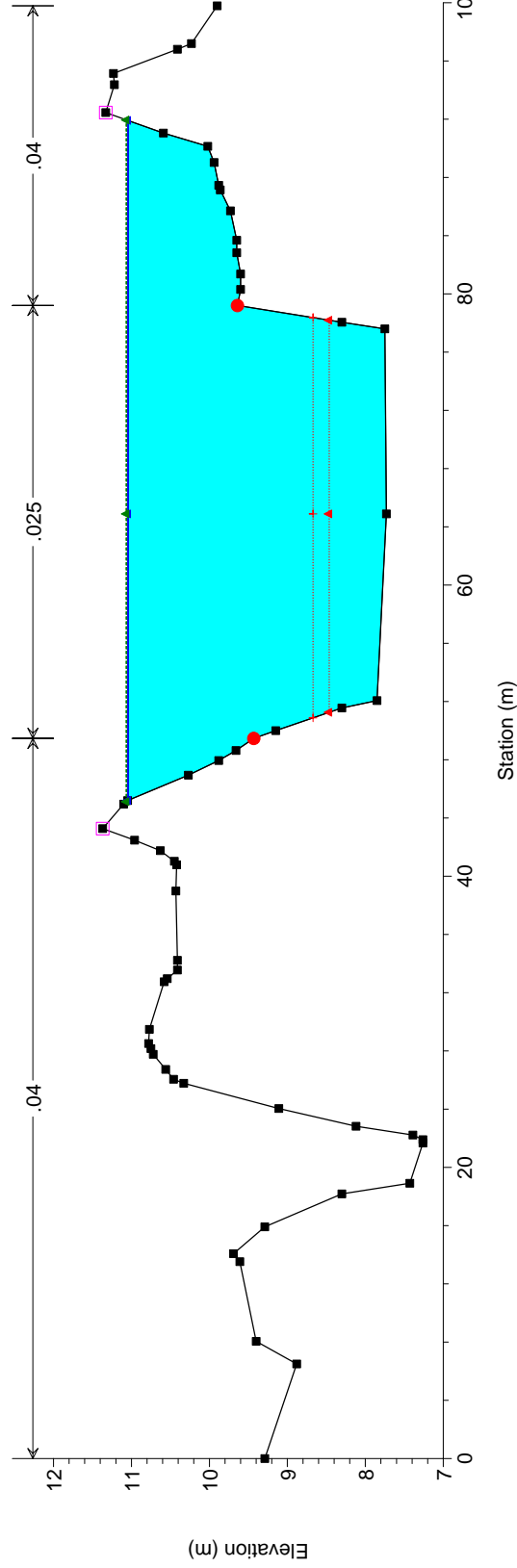




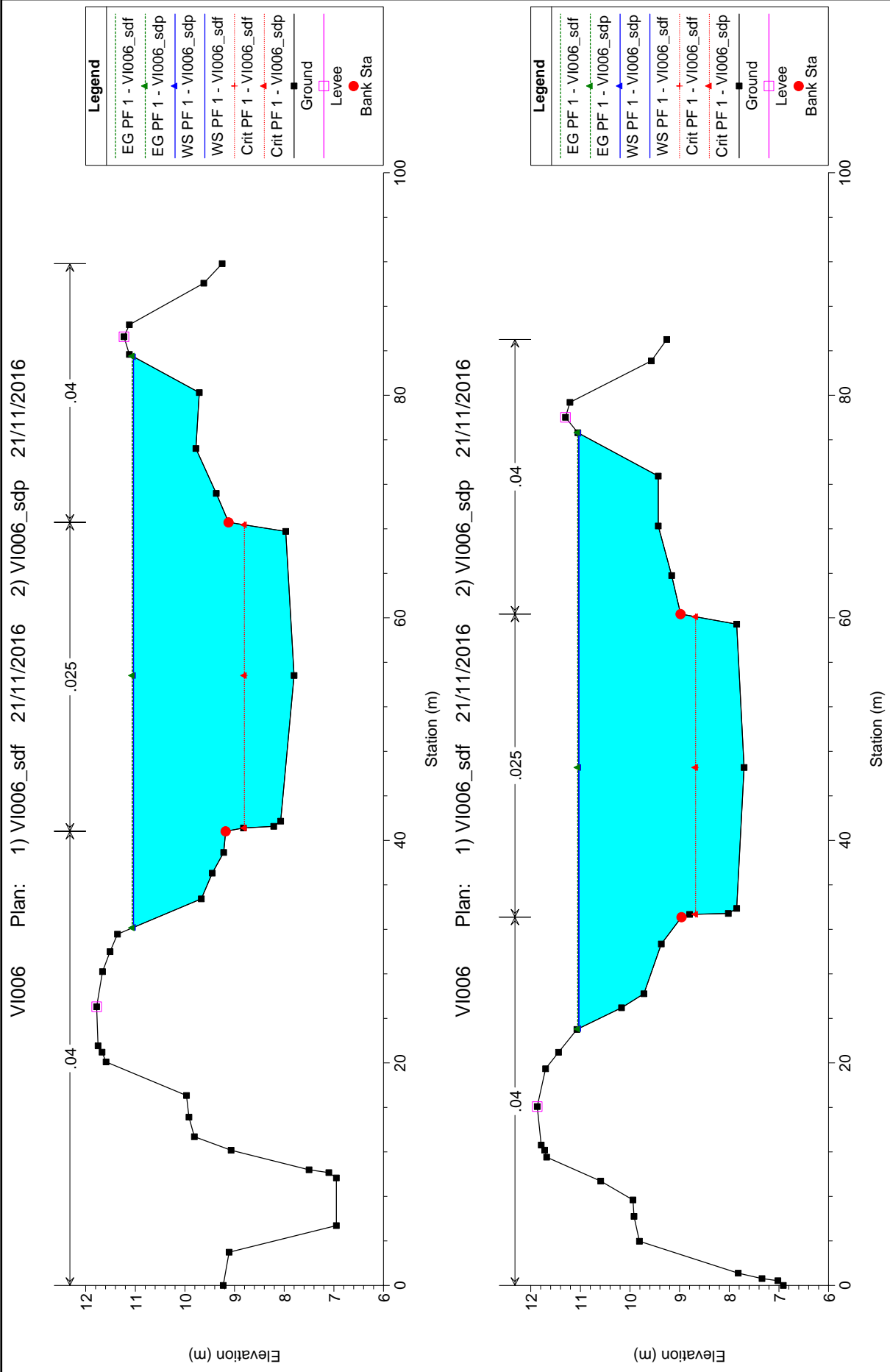
VI006 Plan: 1) VI006\_sdf 21/11/2016 2) VI006\_sdp 21/11/2016



VI006 Plan: 1) VI006\_sdf 21/11/2016 2) VI006\_sdp 21/11/2016

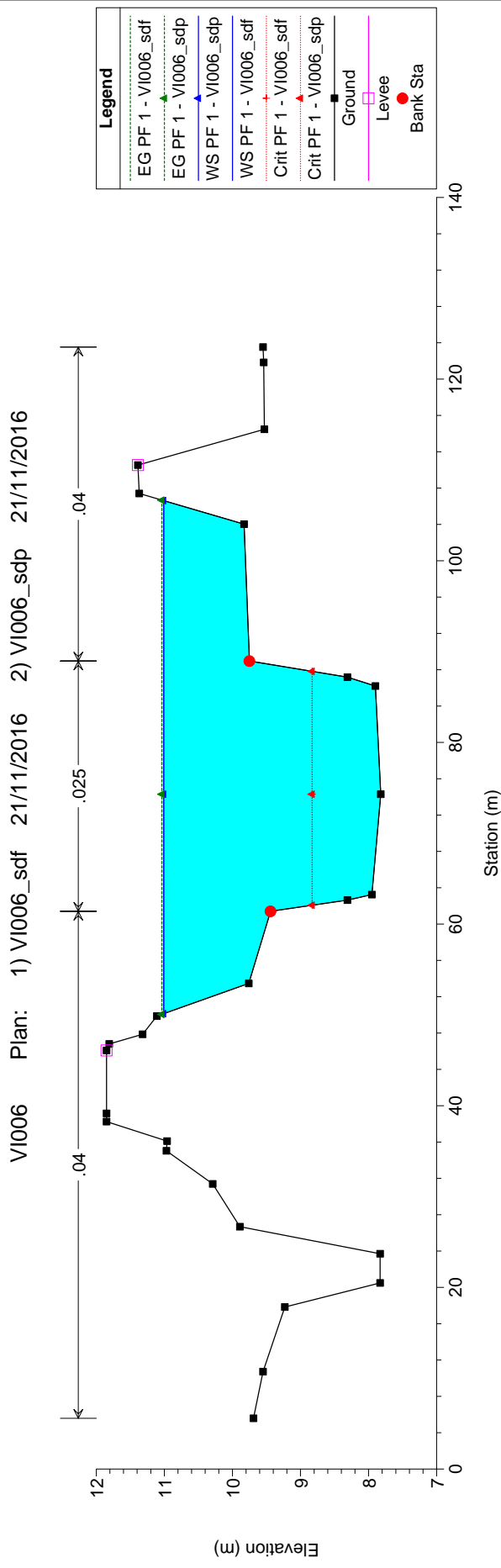
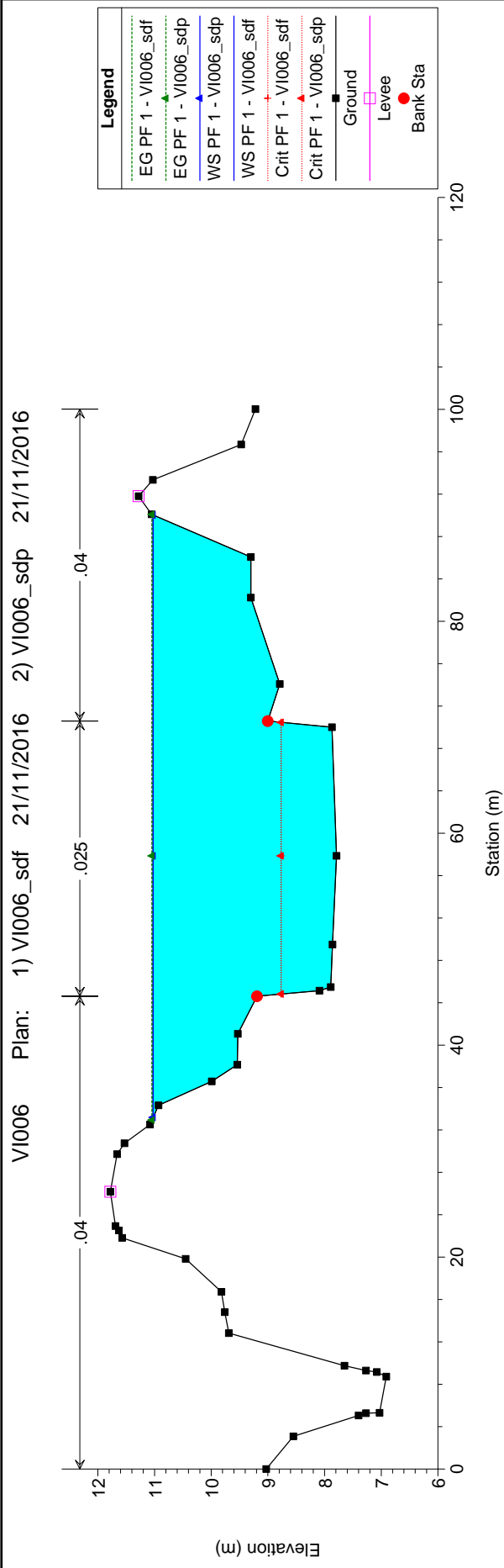


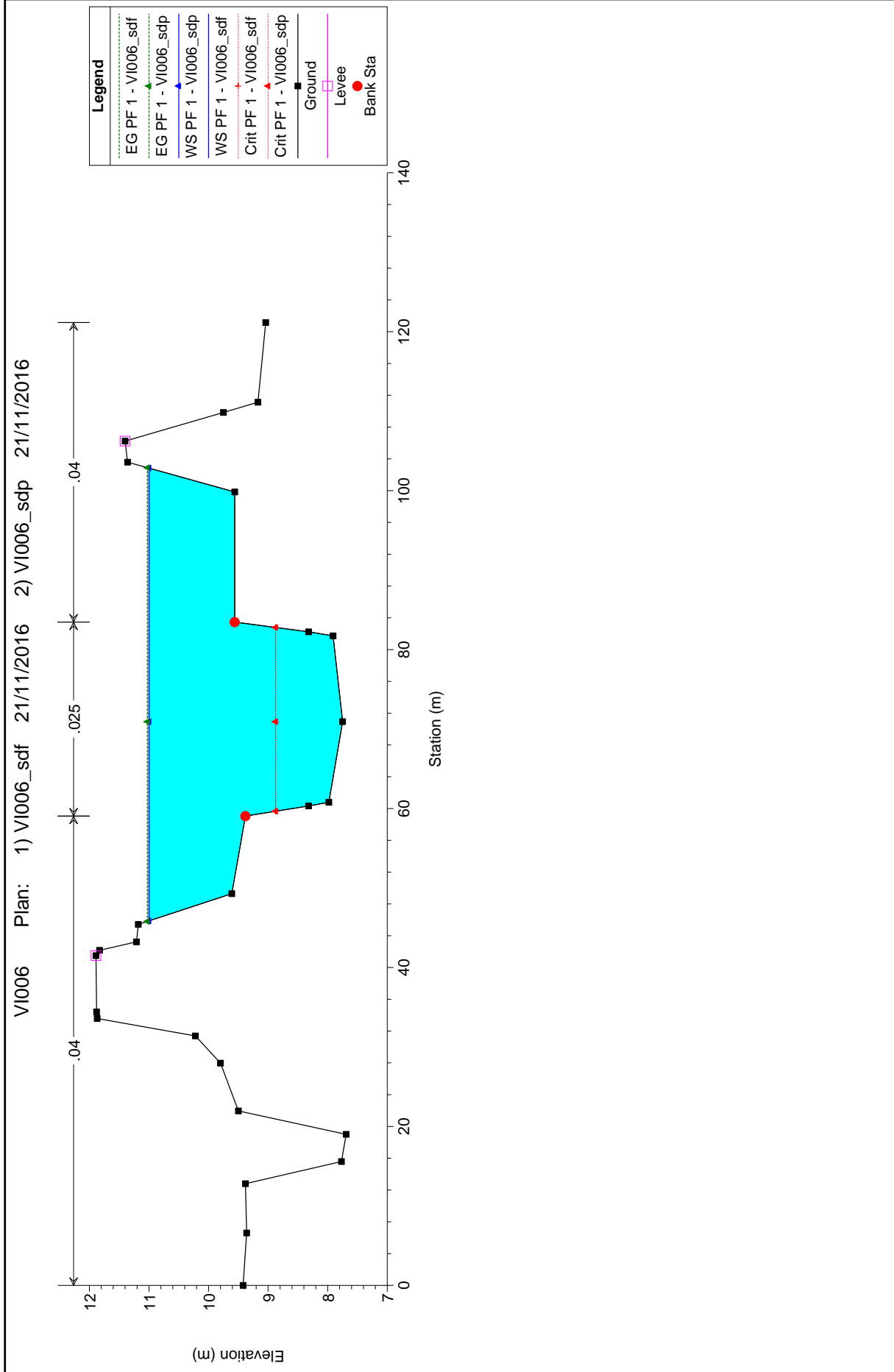




VI006 Plan: 1) VI006\_sdf 21/11/2016 2) VI006\_sdp 21/11/2016

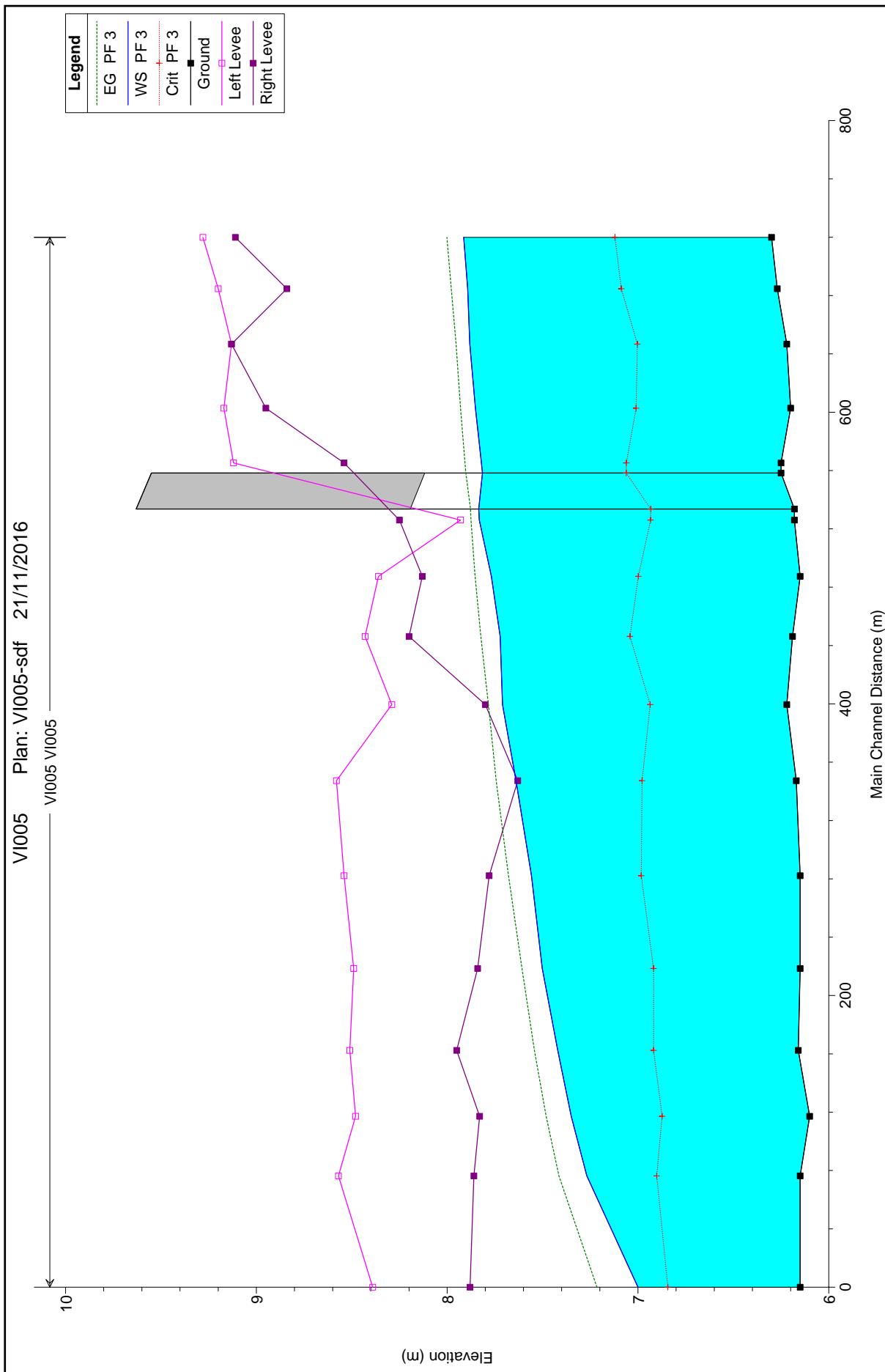
VI006 Plan: 2) VI006\_sdf 21/11/2016 2) VI006\_sdp 21/11/2016



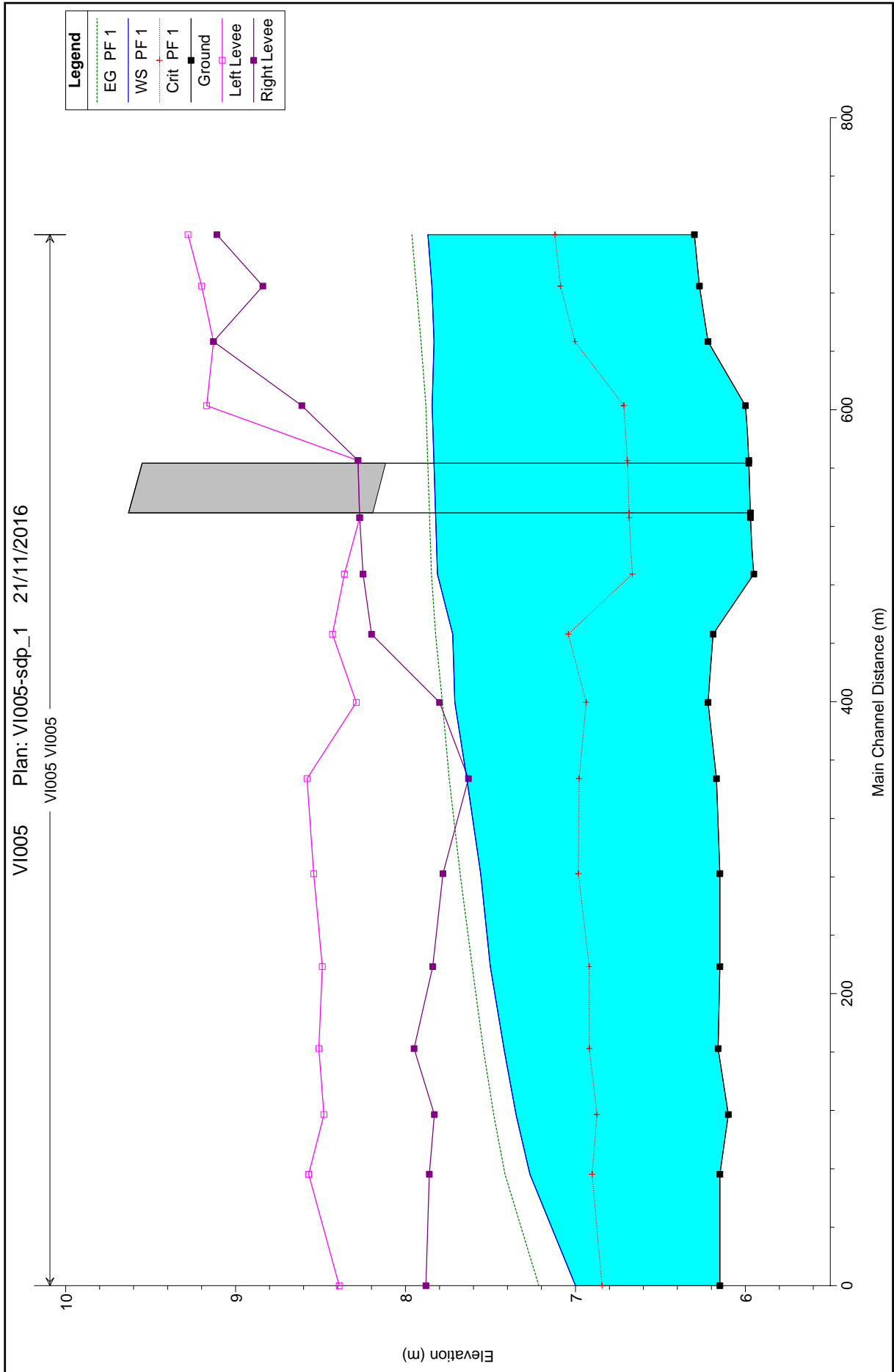


### 1.3.3 Scolo Tombe

# Scolo Tombe: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Scolo Tombe: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Scolo Tombe: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: VI005-sdf River: VI005 Reach: VI005 Profile: PF 3

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI005	720.3166	PF 3	20.00	6.30	7.91	7.12	8.00	0.000640	1.33	16.06	12.03	0.34
VI005	685.1419	PF 3	20.00	6.27	7.89	7.09	7.98	0.000616	1.32	16.27	12.01	0.33
VI005	647.134	PF 3	20.00	6.22	7.88	7.00	7.95	0.000493	1.20	18.14	16.58	0.30
VI005	603.2492	PF 3	20.00	6.20	7.85	7.01	7.93	0.000552	1.26	17.35	14.42	0.32
VI005	565.6887	PF 3	20.00	6.25	7.82	7.06	7.91	0.000647	1.33	16.69	15.53	0.34
VI005	558.7		Bridge									
VI005	526.5084	PF 3	20.00	6.18	7.83	6.93	7.88	0.000342	1.02	24.62	22.14	0.25
VI005	487.9002	PF 3	20.00	6.15	7.77	7.00	7.85	0.000622	1.34	17.74	19.11	0.34
VI005	446.7156	PF 3	20.00	6.19	7.72	7.04	7.82	0.000781	1.46	16.29	17.98	0.38
VI005	399.9413	PF 3	20.00	6.22	7.71	6.94	7.78	0.000590	1.21	17.21	13.24	0.32
VI005	347.7633	PF 3	20.00	6.17	7.64	6.98	7.74	0.000871	1.44	14.50	12.86	0.38
VI005	282.6407	PF 3	20.00	6.15	7.56	6.98	7.68	0.001091	1.56	13.63	12.21	0.42
VI005	218.9885	PF 3	20.00	6.15	7.50	6.92	7.61	0.001003	1.45	14.19	12.16	0.41
VI005	162.8329	PF 3	20.00	6.16	7.42	6.92	7.54	0.001277	1.55	13.13	11.82	0.45
VI005	117.6409	PF 3	20.00	6.10	7.35	6.87	7.48	0.001417	1.61	12.70	11.86	0.47
VI005	76.7481	PF 3	20.00	6.15	7.27	6.90	7.41	0.001803	1.70	11.98	12.34	0.53
VI005	0.449244	PF 3	20.00	6.15	7.00	6.84	7.22	0.003774	2.06	9.75	12.32	0.73

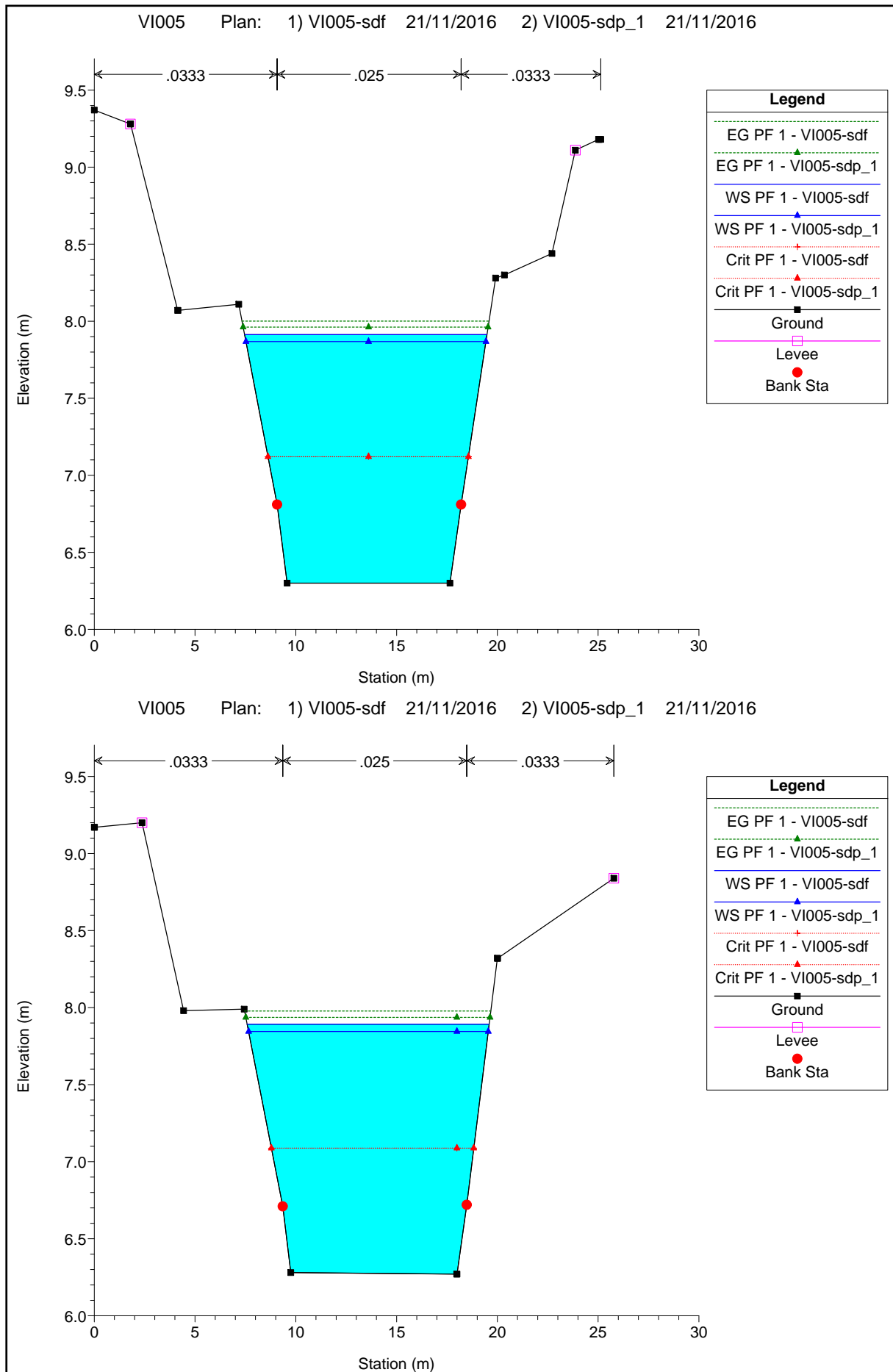
# Scolo Tombe: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: VI005-sdp\_1 River: VI005 Reach: VI005 Profile: PF 1

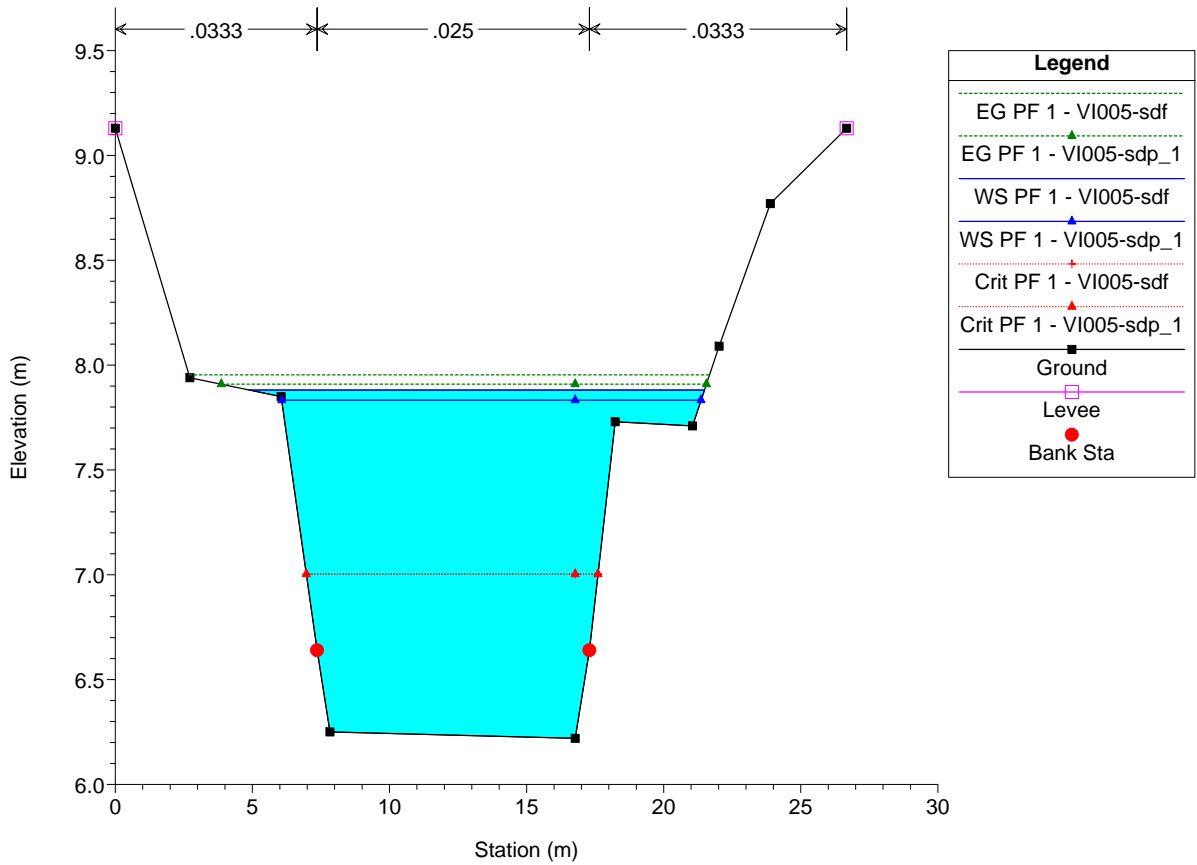
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI005	720.3166	PF 1	20.00	6.30	7.87	7.12	7.96	0.000707	1.38	15.52	11.91	0.35
VI005	685.1419	PF 1	20.00	6.27	7.84	7.09	7.94	0.000684	1.36	15.70	11.89	0.35
VI005	647.134	PF 1	20.00	6.22	7.83	7.00	7.91	0.000546	1.24	17.38	15.29	0.32
VI005	603.2492	PF 1	20.00	6.00	7.84	6.71	7.88	0.000284	0.85	23.55	15.54	0.22
VI005	565.6887	PF 1	20.00	5.98	7.83	6.69	7.87	0.000279	0.84	23.69	15.56	0.22
VI005	558.7		Bridge									
VI005	526.5084	PF 1	20.00	5.97	7.82	6.68	7.86	0.000280	0.85	23.67	15.56	0.22
VI005	487.9002	PF 1	20.00	5.95	7.81	6.66	7.85	0.000275	0.84	23.82	15.59	0.22
VI005	446.7156	PF 1	20.00	6.19	7.72	7.04	7.82	0.000781	1.46	16.29	17.98	0.38
VI005	399.9413	PF 1	20.00	6.22	7.71	6.94	7.78	0.000590	1.21	17.21	13.24	0.32
VI005	347.7633	PF 1	20.00	6.17	7.64	6.98	7.74	0.000871	1.44	14.50	12.86	0.38
VI005	282.6407	PF 1	20.00	6.15	7.56	6.98	7.68	0.001091	1.56	13.63	12.21	0.42
VI005	218.9885	PF 1	20.00	6.15	7.50	6.92	7.61	0.001003	1.45	14.19	12.16	0.41
VI005	162.8329	PF 1	20.00	6.16	7.42	6.92	7.54	0.001277	1.55	13.13	11.82	0.45
VI005	117.6409	PF 1	20.00	6.10	7.35	6.87	7.48	0.001417	1.61	12.70	11.86	0.47
VI005	76.7481	PF 1	20.00	6.15	7.27	6.90	7.41	0.001803	1.70	11.98	12.34	0.53
VI005	0.449244	PF 1	20.00	6.15	7.00	6.84	7.22	0.003774	2.06	9.75	12.32	0.73



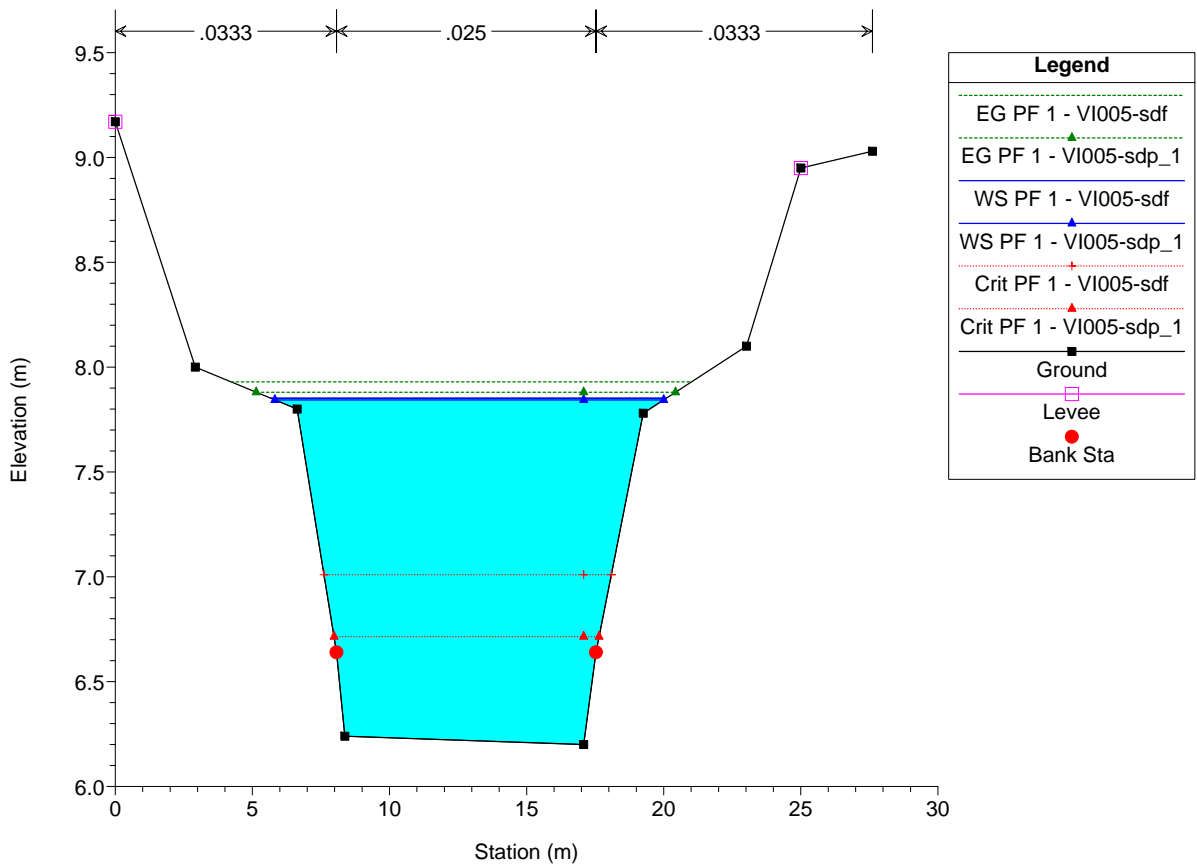
# Scolo Tombe: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni



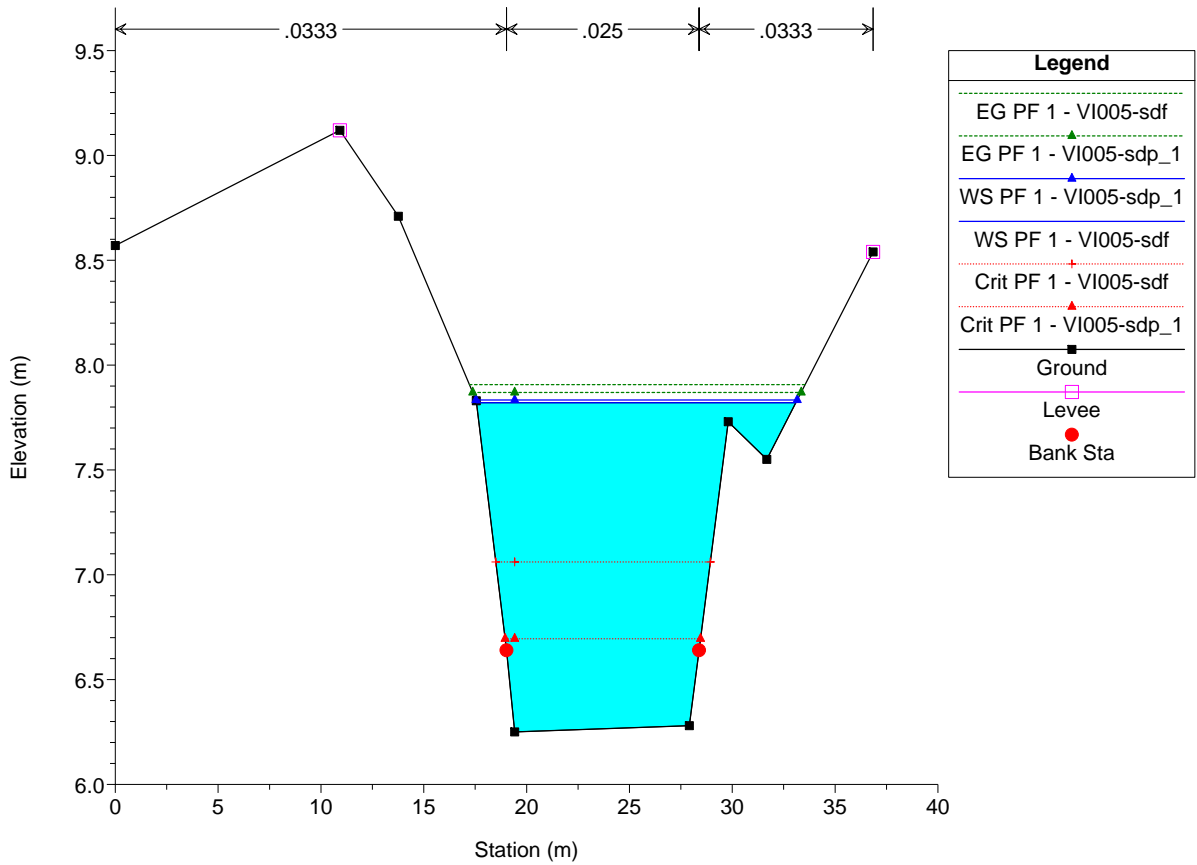
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



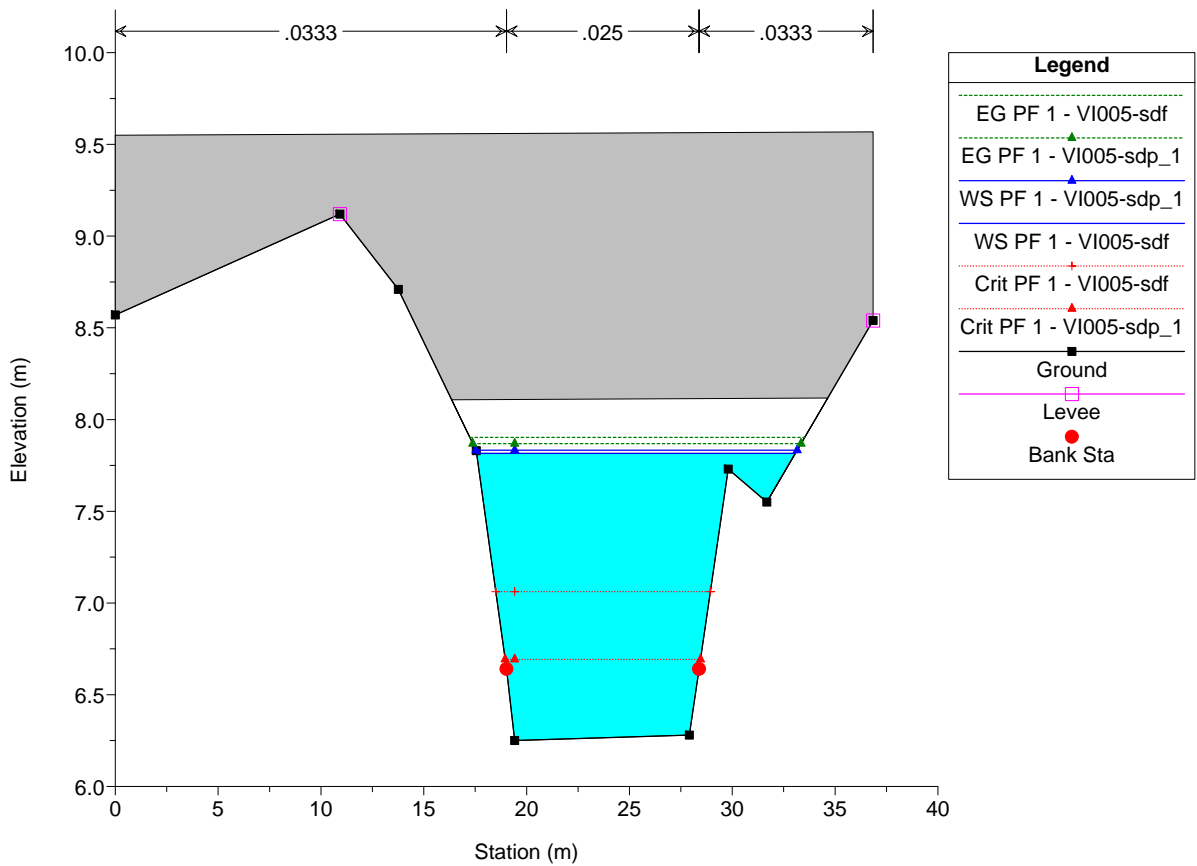
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



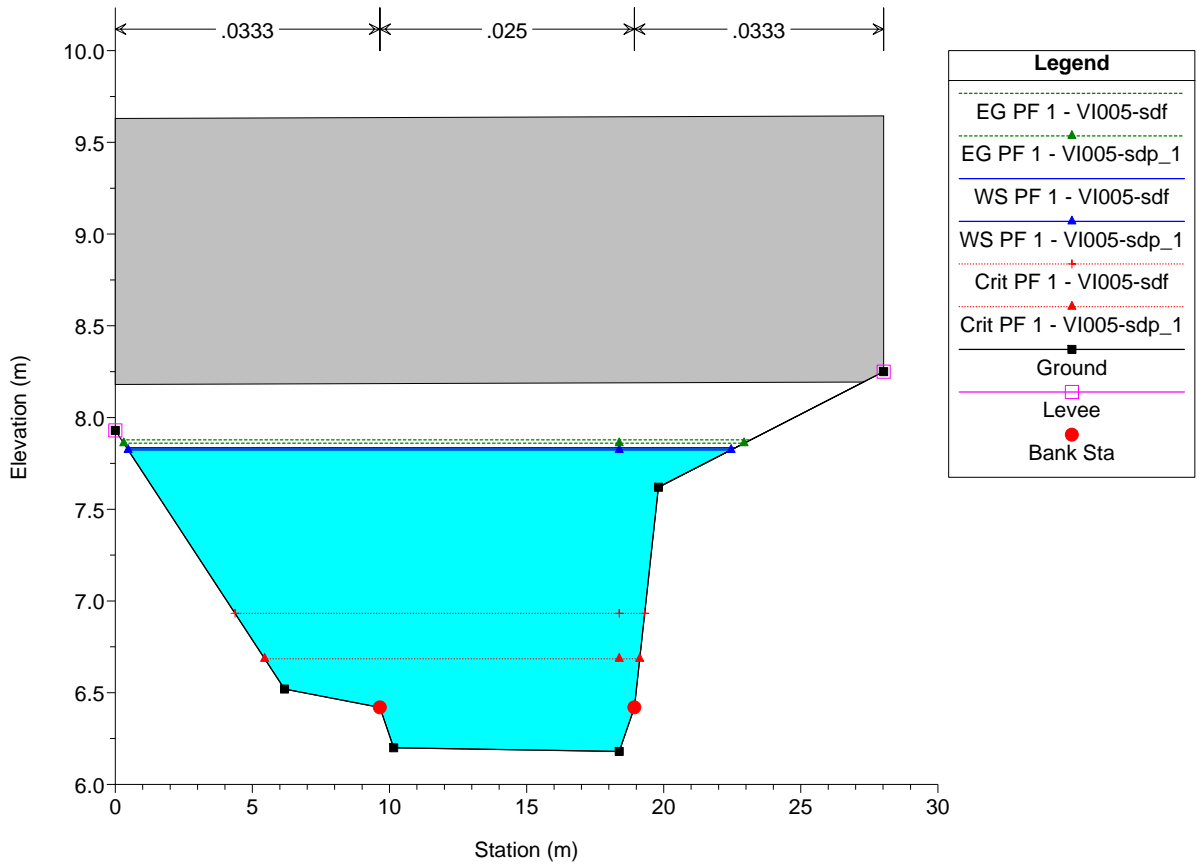
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



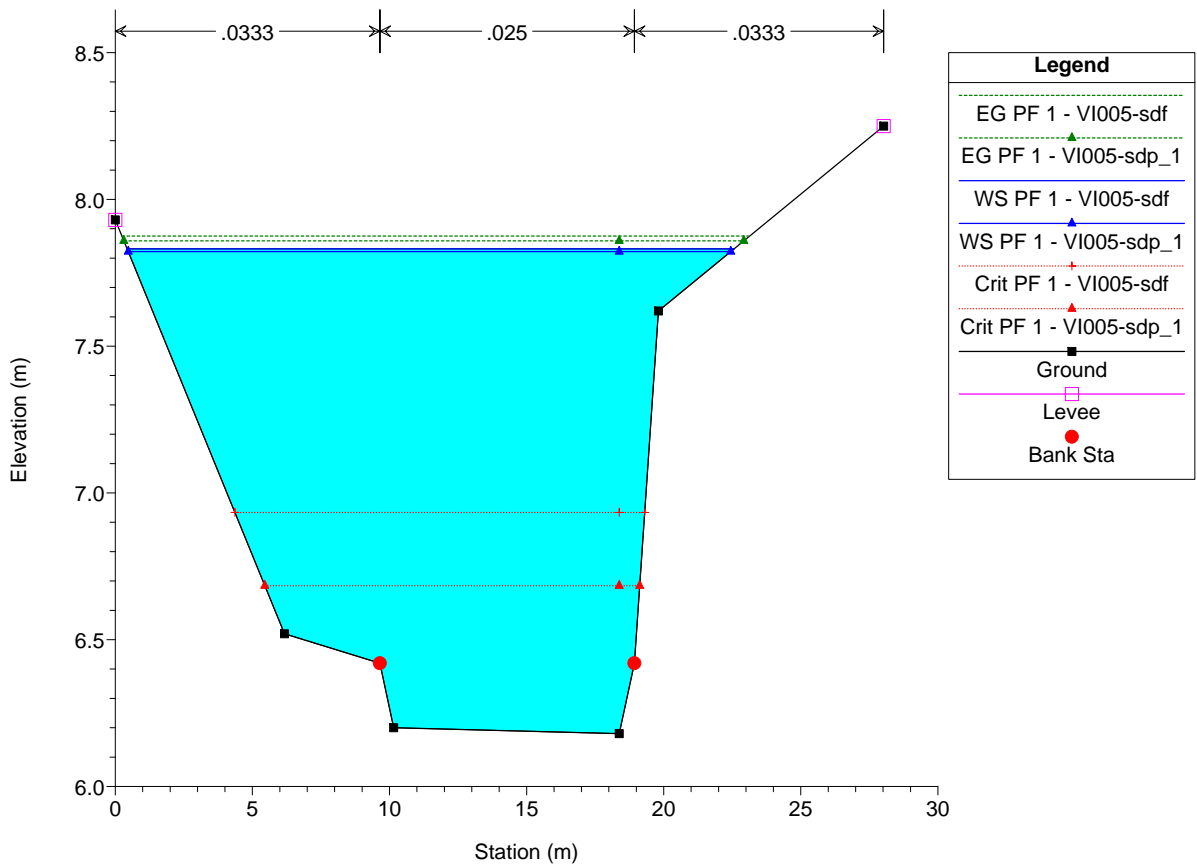
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



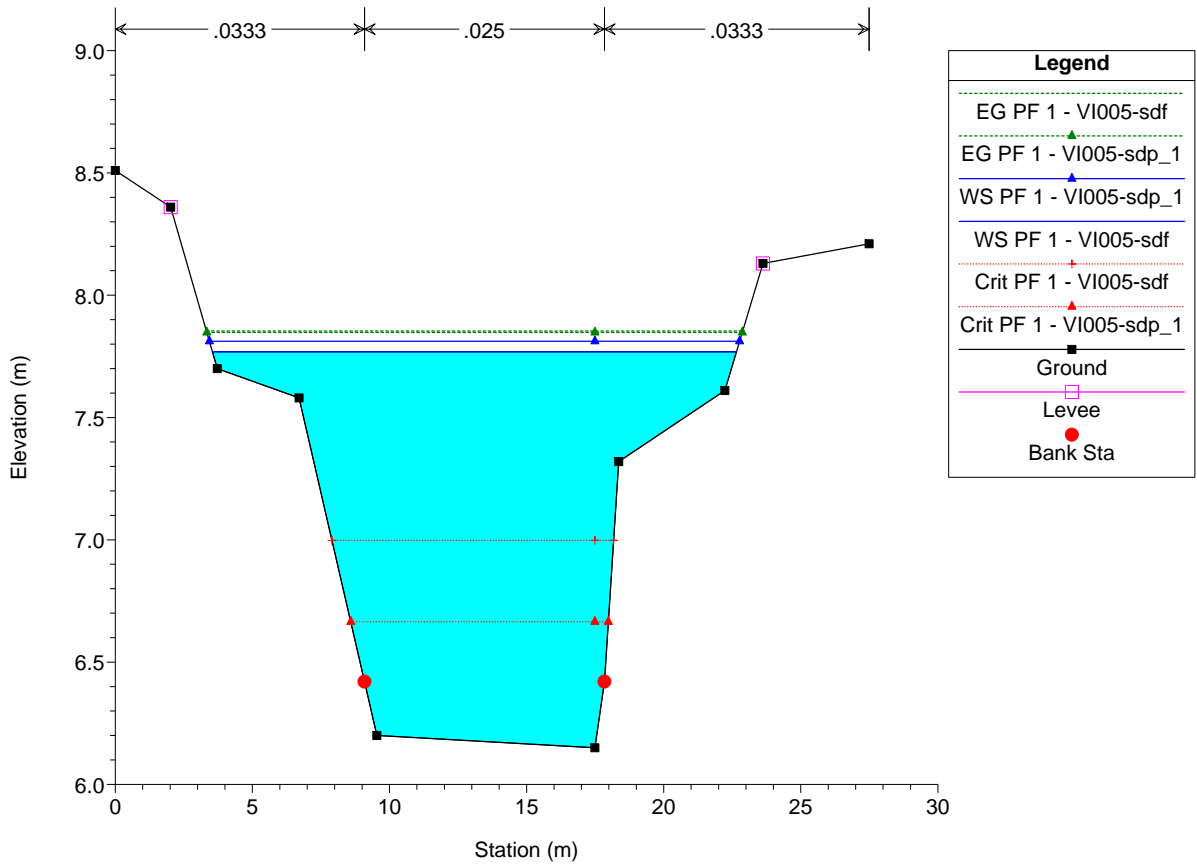
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



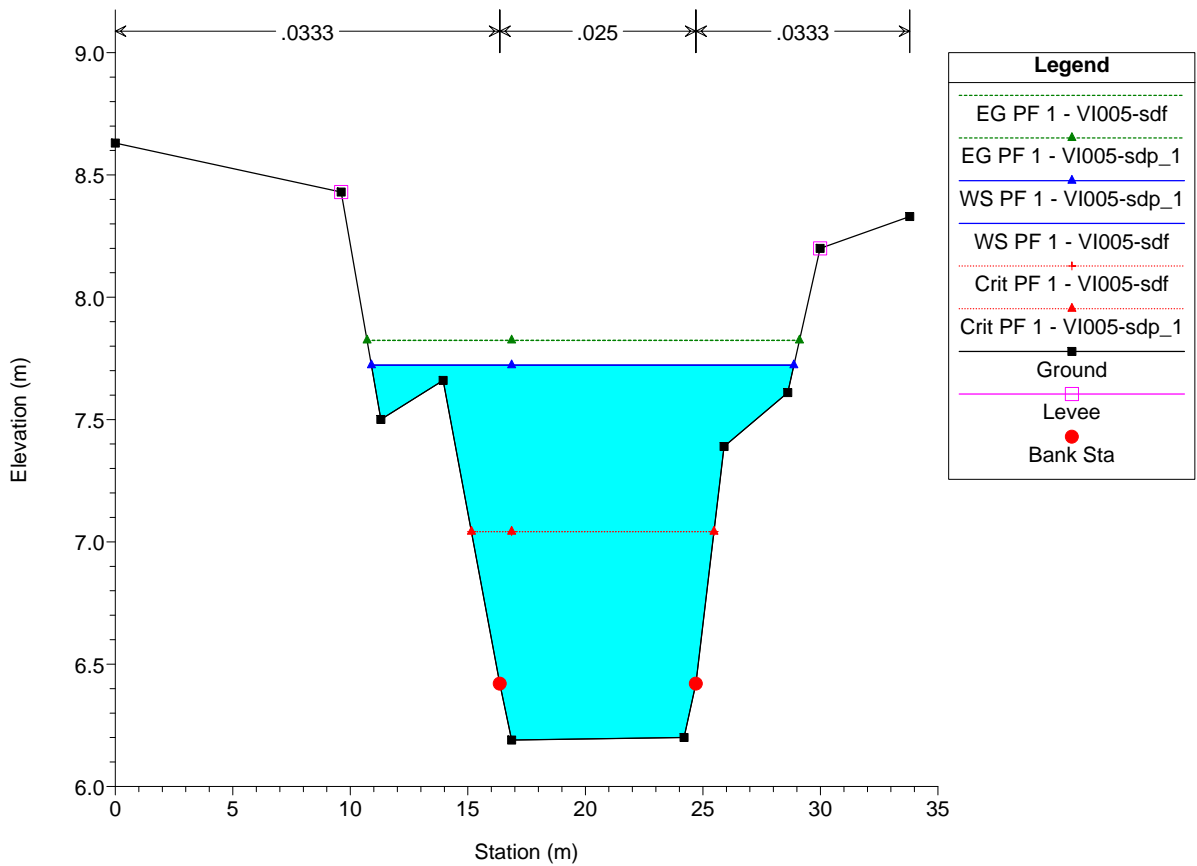
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



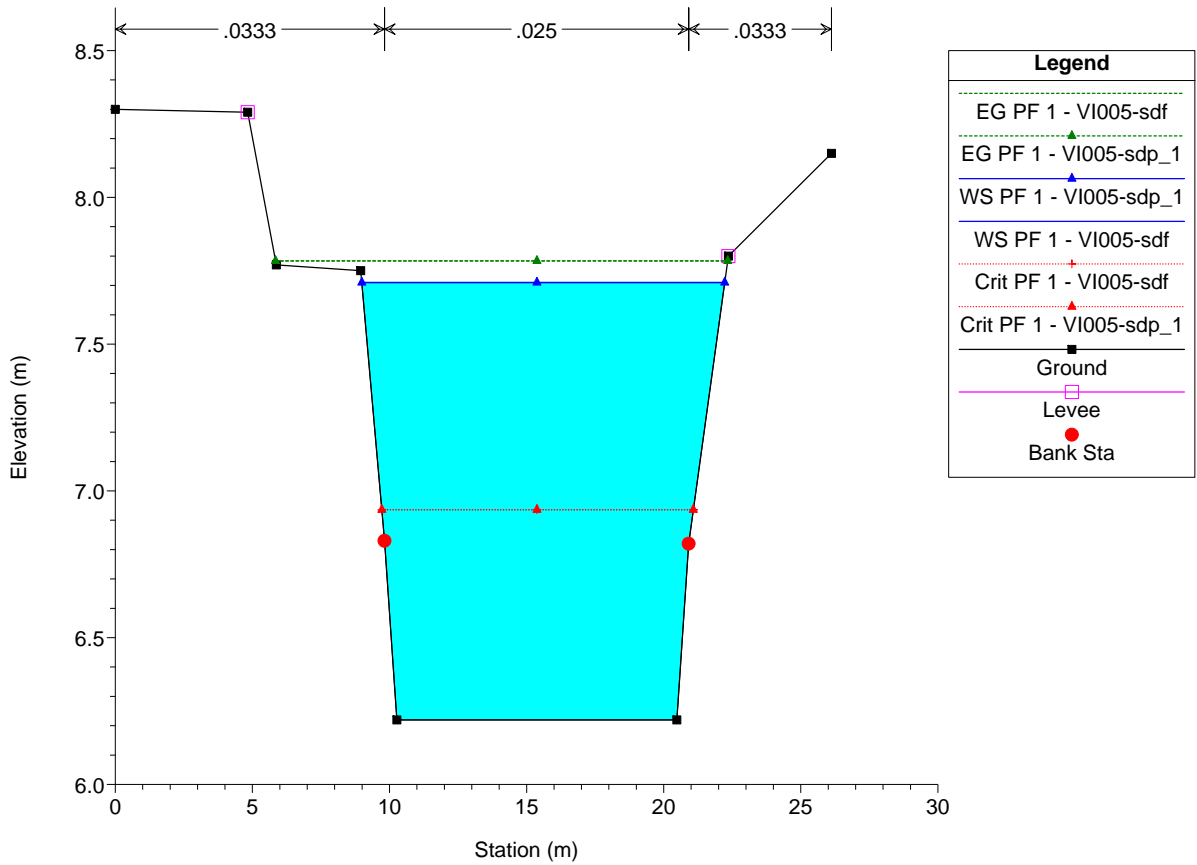
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



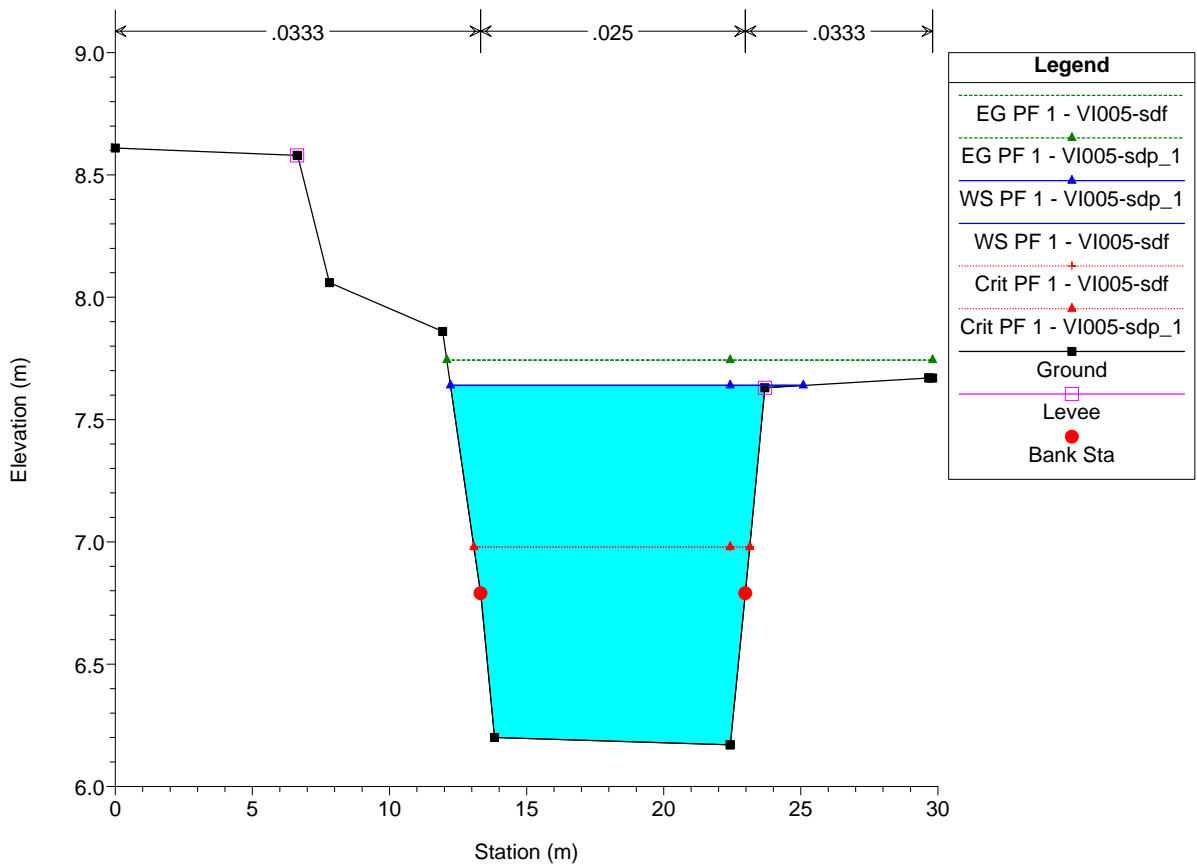
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



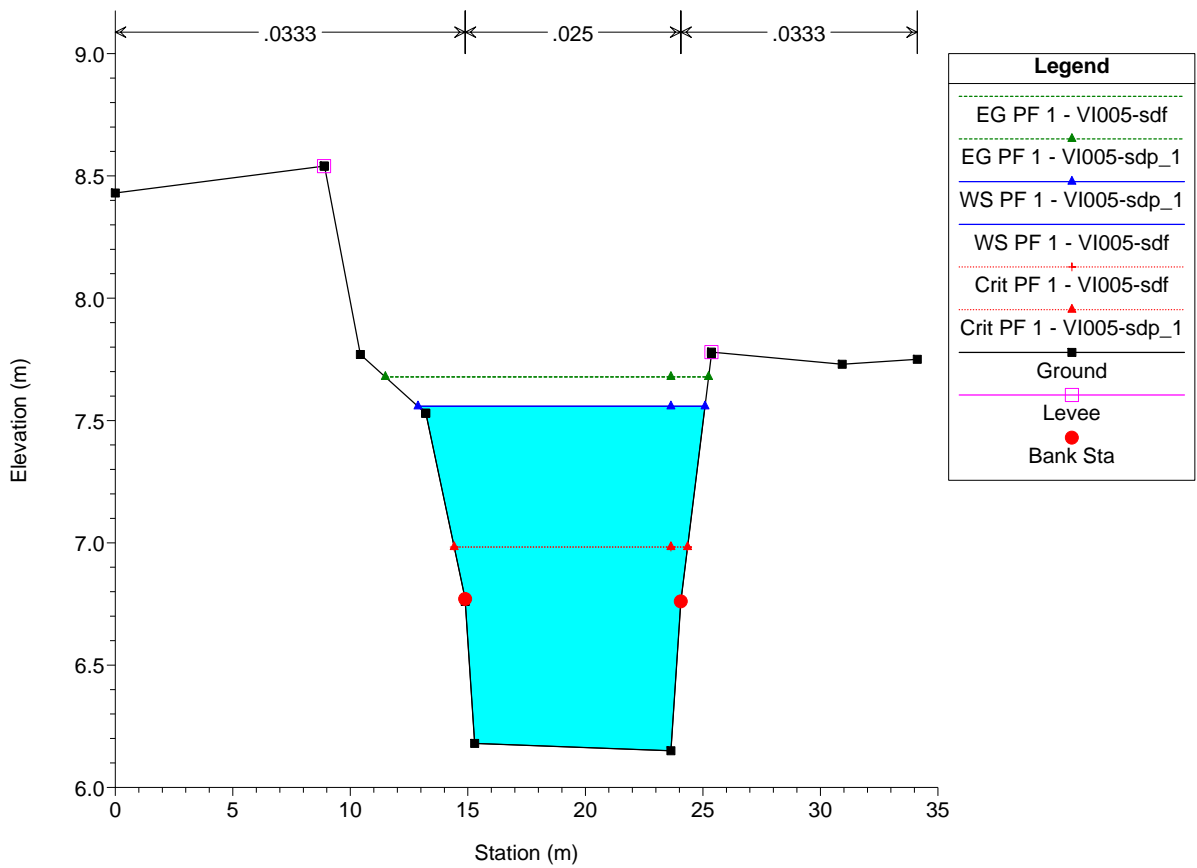
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



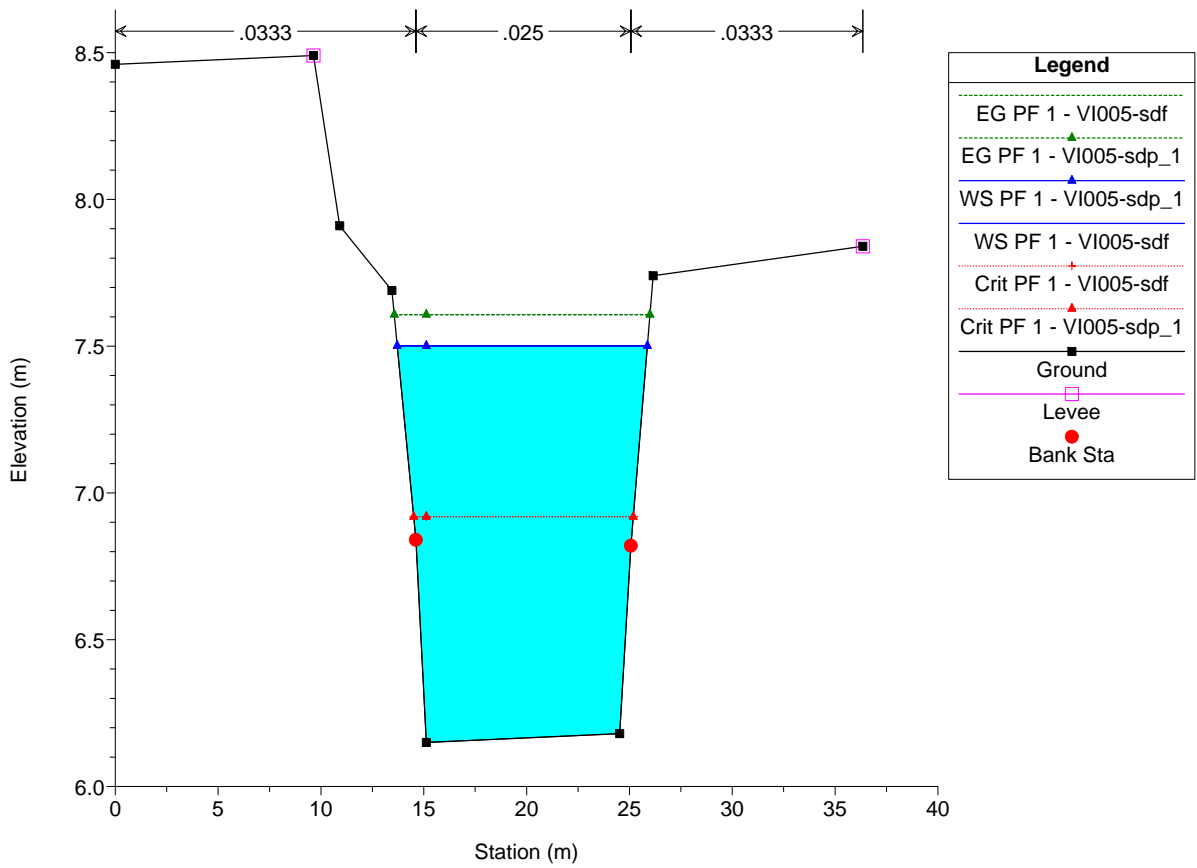
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



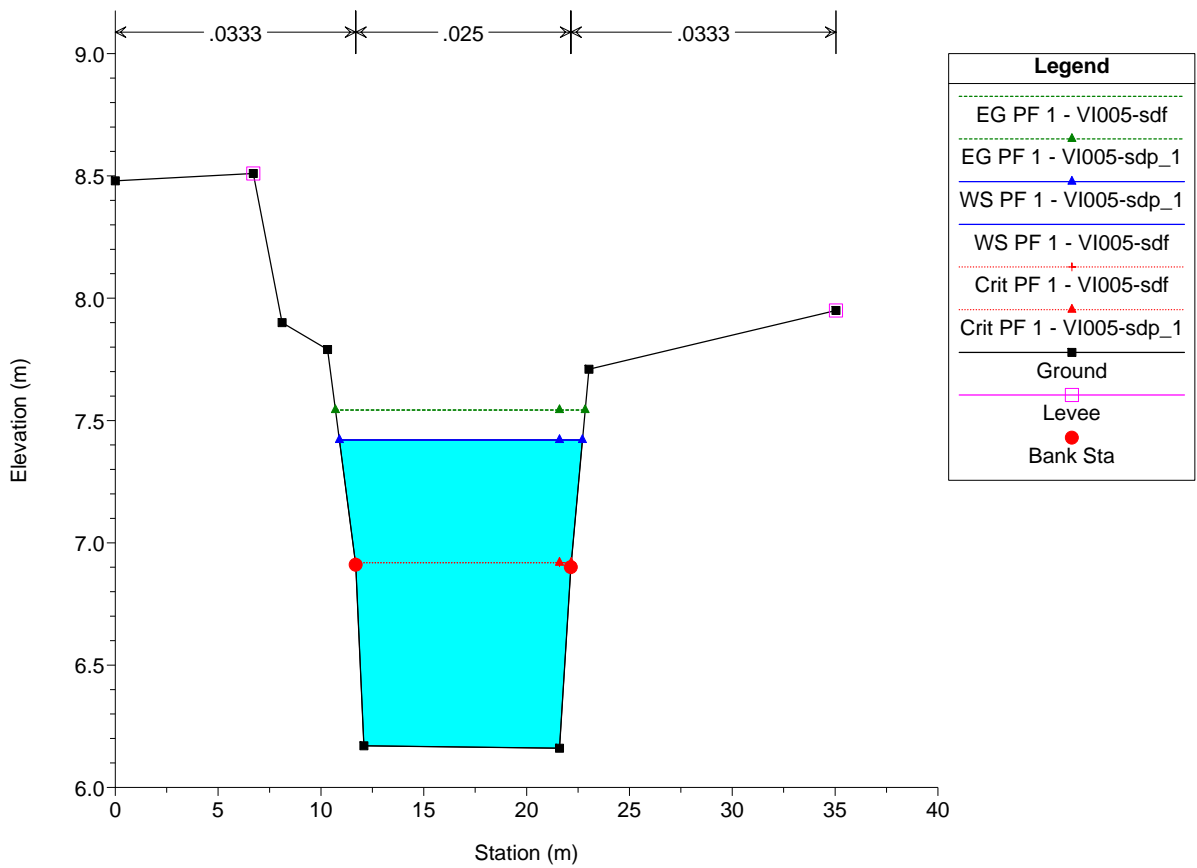
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



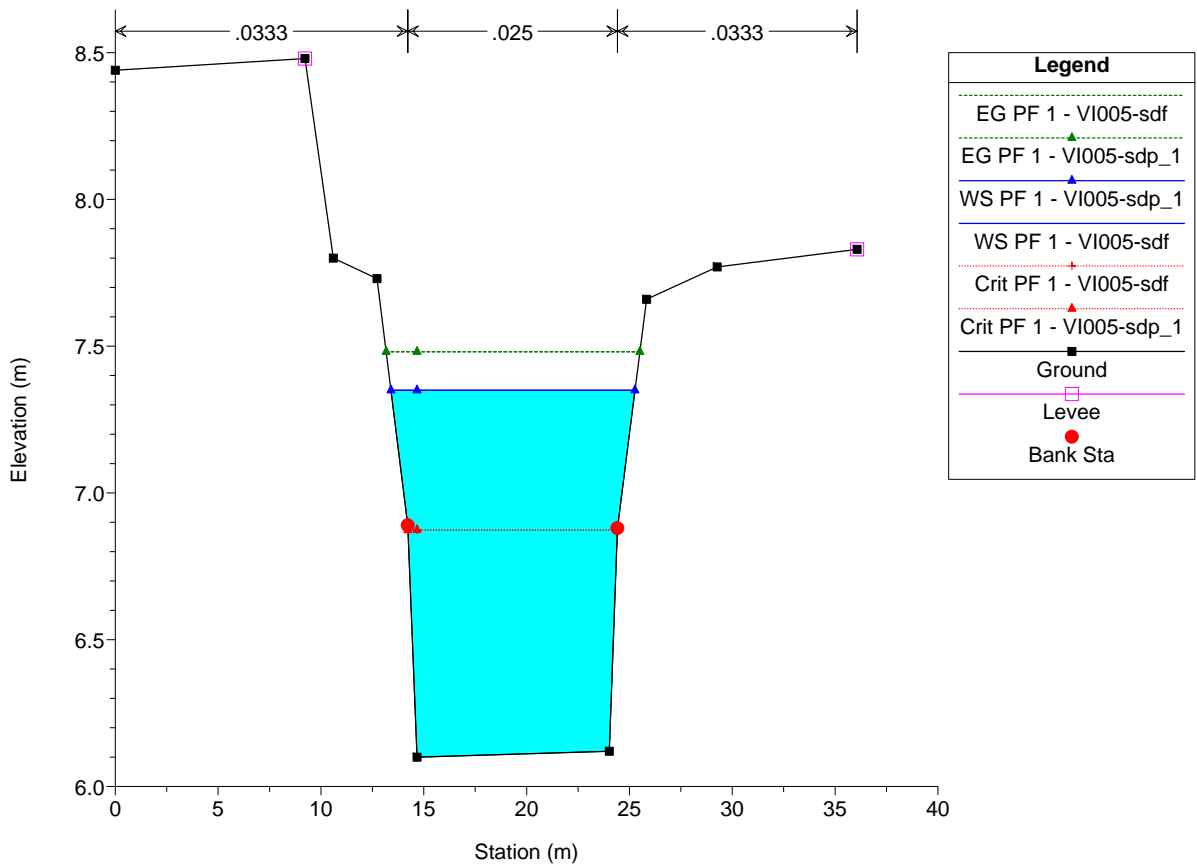
VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016



VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016

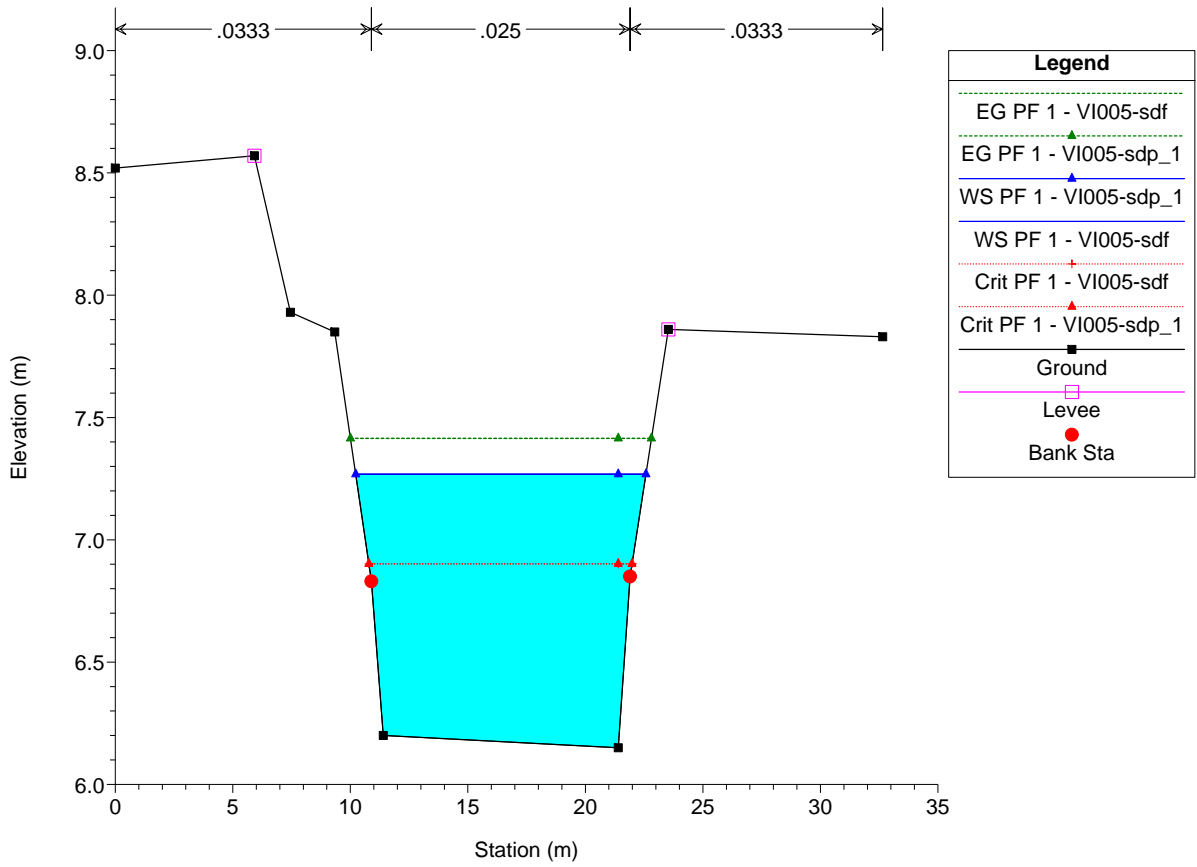


VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016

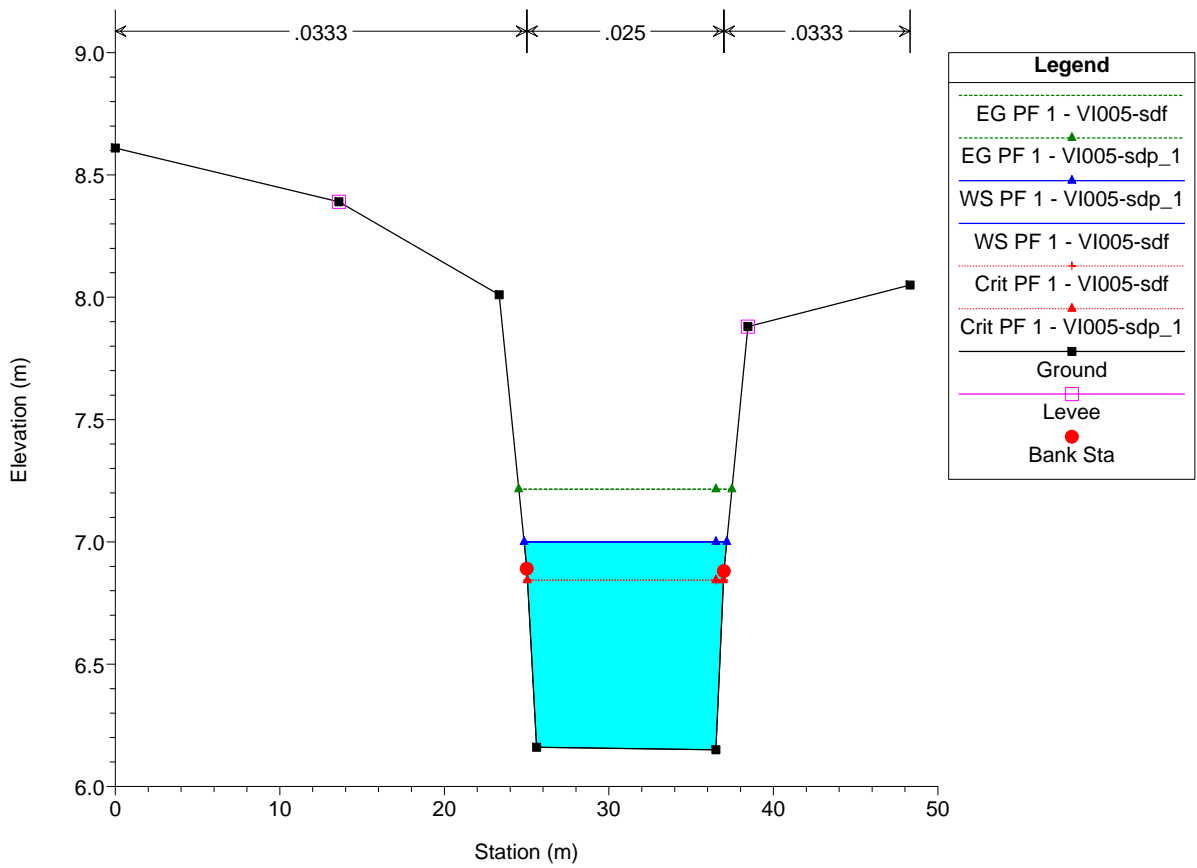




VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016

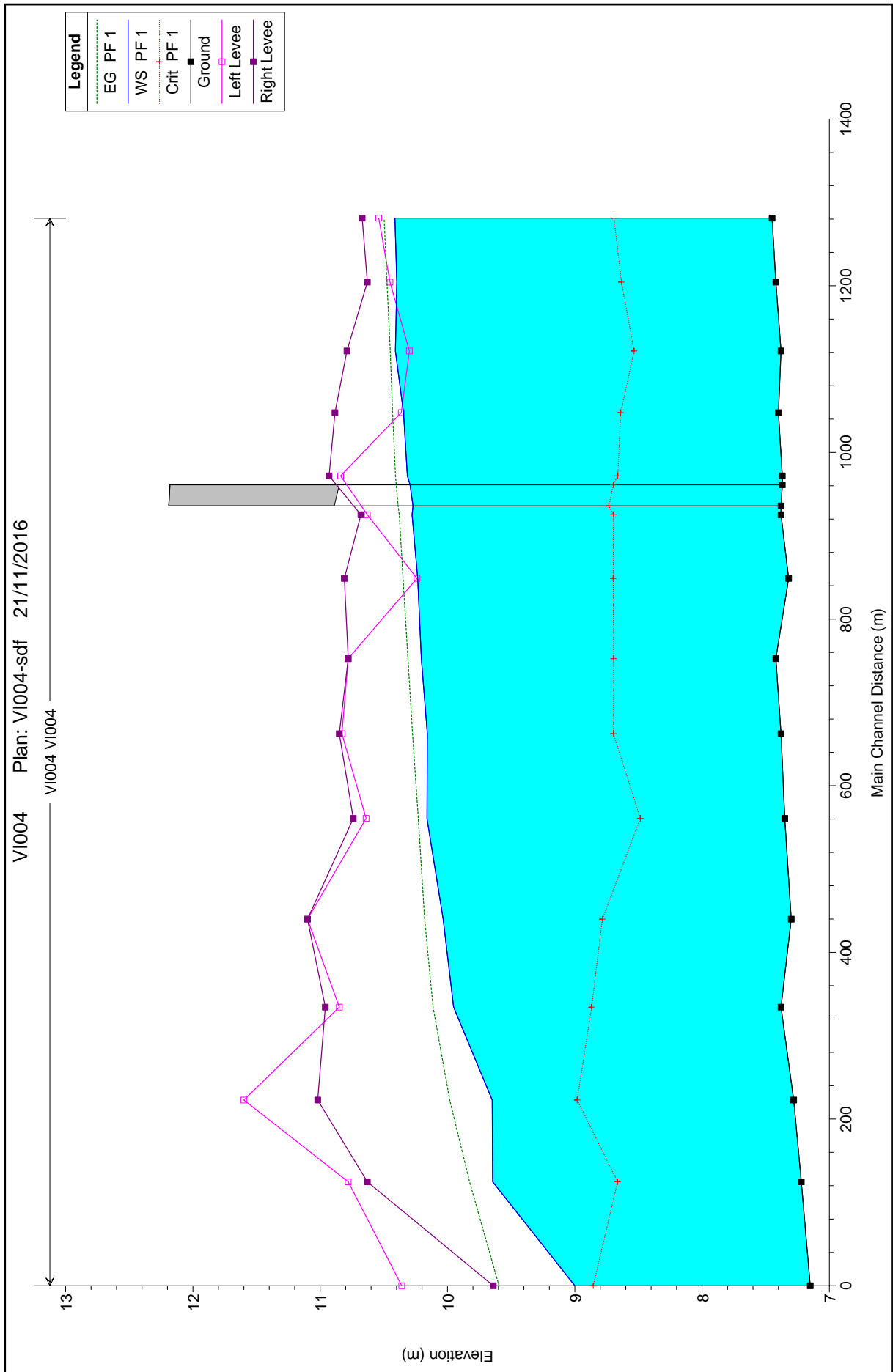


VI005 Plan: 1) VI005-sdf 21/11/2016 2) VI005-sdp\_1 21/11/2016

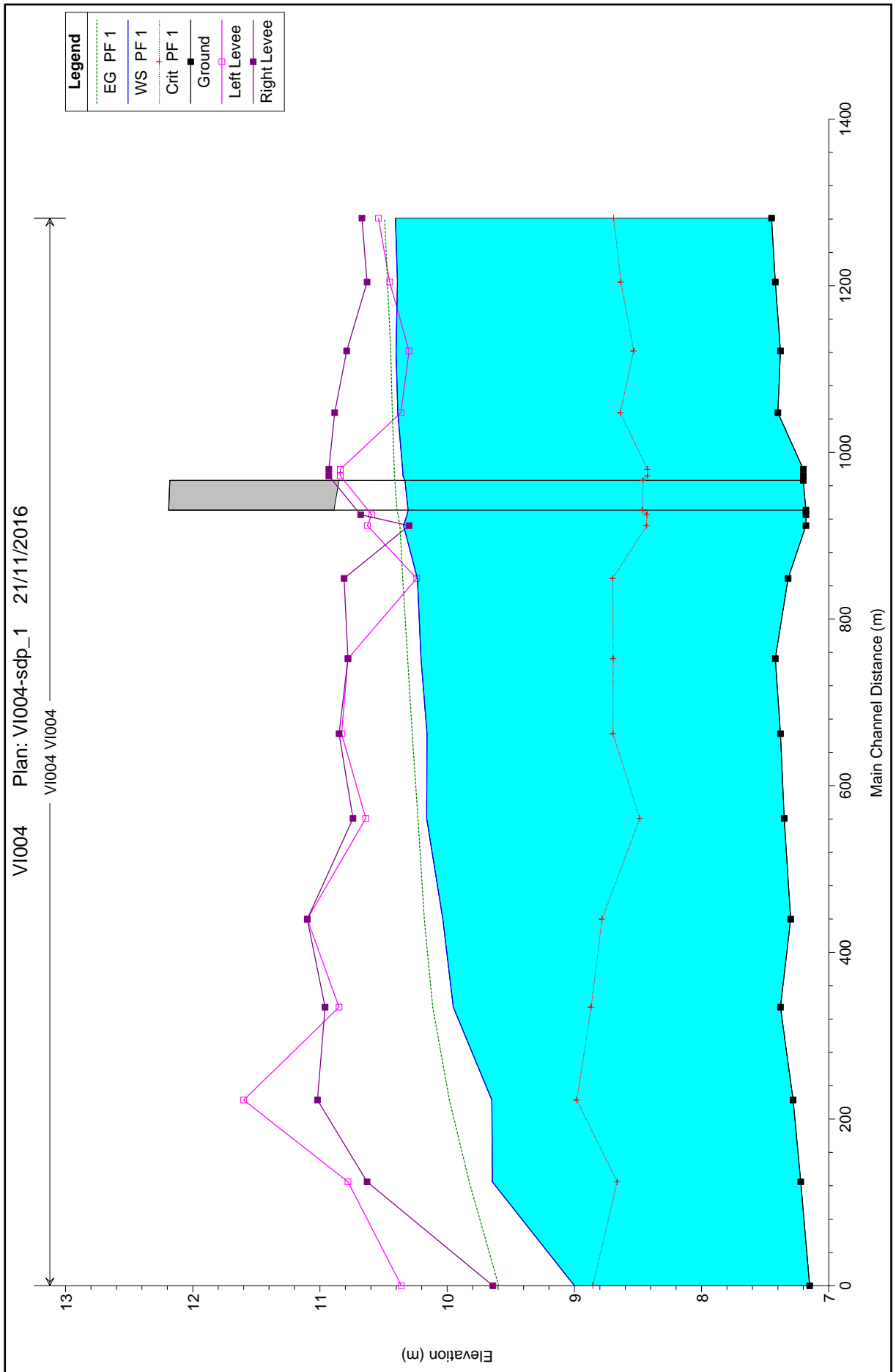


#### 1.3.4 Scolo Calcarata

# Scolo Calcarata: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Scolo Calcarata: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Scolo Calcarata: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: V1004-sdf River: V1004 Reach: V1004 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
V1004	1286.161	PF 1	90.00	7.45	10.41	8.69	10.50	0.000266	1.31	74.04	30.59	0.25
V1004	1209.453	PF 1	90.00	7.42	10.40	8.63	10.48	0.000244	1.26	76.89	31.59	0.24
V1004	1126.796	PF 1	90.00	7.38	10.41	8.53	10.45	0.000143	0.97	115.08	53.85	0.18
V1004	1052.73	PF 1	90.00	7.40	10.35	8.64	10.43	0.000272	1.32	73.46	30.16	0.25
V1004	976.934	PF 1	90.00	7.37	10.32	8.66	10.41	0.000302	1.38	70.54	29.47	0.26
V1004	966.2		Bridge									
V1004	930.2889	PF 1	90.00	7.38	10.28	8.70	10.38	0.000334	1.44	68.50	29.75	0.27
V1004	853.8588	PF 1	90.00	7.32	10.23	8.70	10.35	0.000386	1.53	62.90	26.36	0.29
V1004	757.6517	PF 1	90.00	7.42	10.21	8.69	10.31	0.000361	1.45	65.58	28.41	0.28
V1004	667.5812	PF 1	90.00	7.38	10.16	8.70	10.27	0.000404	1.53	62.05	27.04	0.30
V1004	565.9111	PF 1	90.00	7.35	10.16	8.49	10.23	0.000237	1.19	82.14	36.74	0.23
V1004	444.9315	PF 1	90.00	7.30	10.03	8.78	10.18	0.000561	1.73	57.97	31.50	0.35
V1004	339.4273	PF 1	90.00	7.38	9.95	8.87	10.11	0.000684	1.81	54.33	31.52	0.38
V1004	227.9021	PF 1	90.00	7.28	9.65	8.98	9.98	0.001675	2.57	35.96	20.02	0.56
V1004	129.8316	PF 1	90.00	7.22	9.65	8.66	9.83	0.000799	1.91	50.87	34.58	0.41
V1004	5.103468	PF 1	90.00	7.15	9.00	8.86	9.60	0.003949	3.43	26.95	18.40	0.85

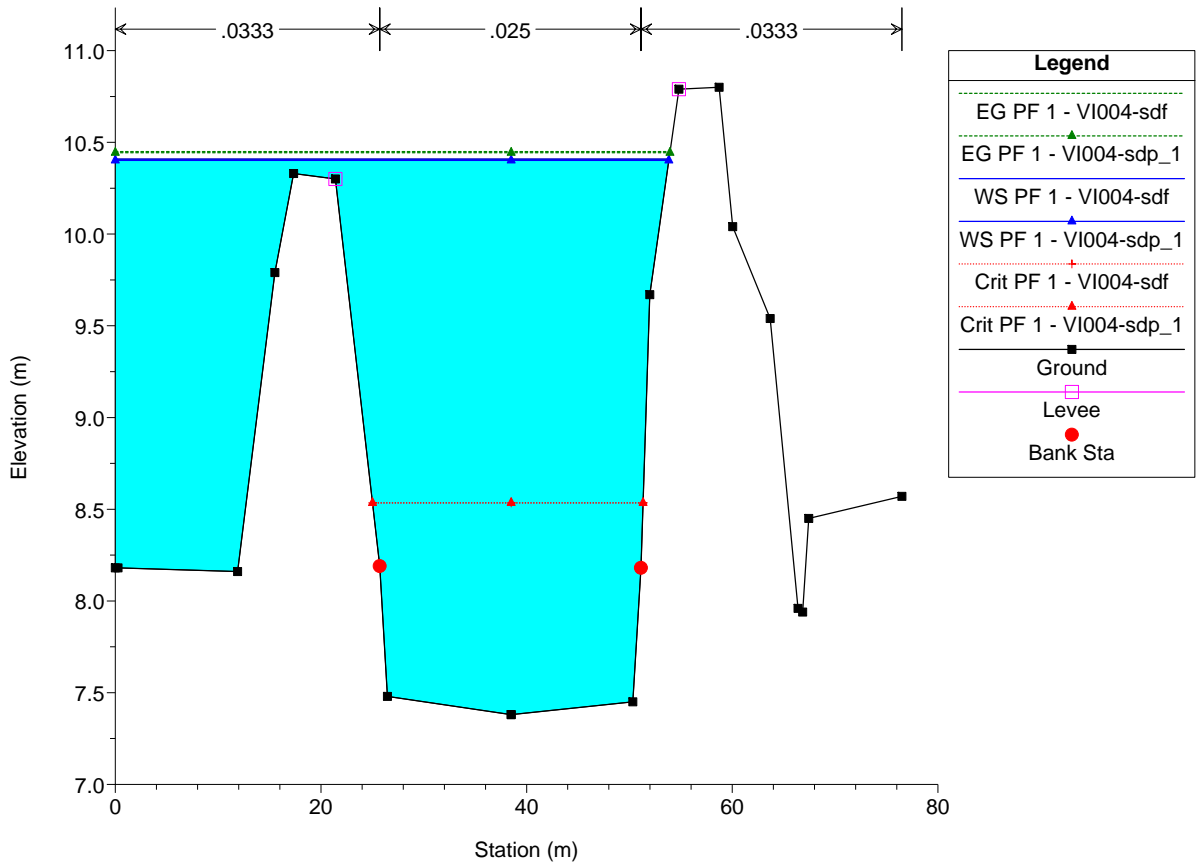
# Scolo Calcarata: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: VI004-sdp\_1 River: VI004 Reach: VI004 Profile: PF 1

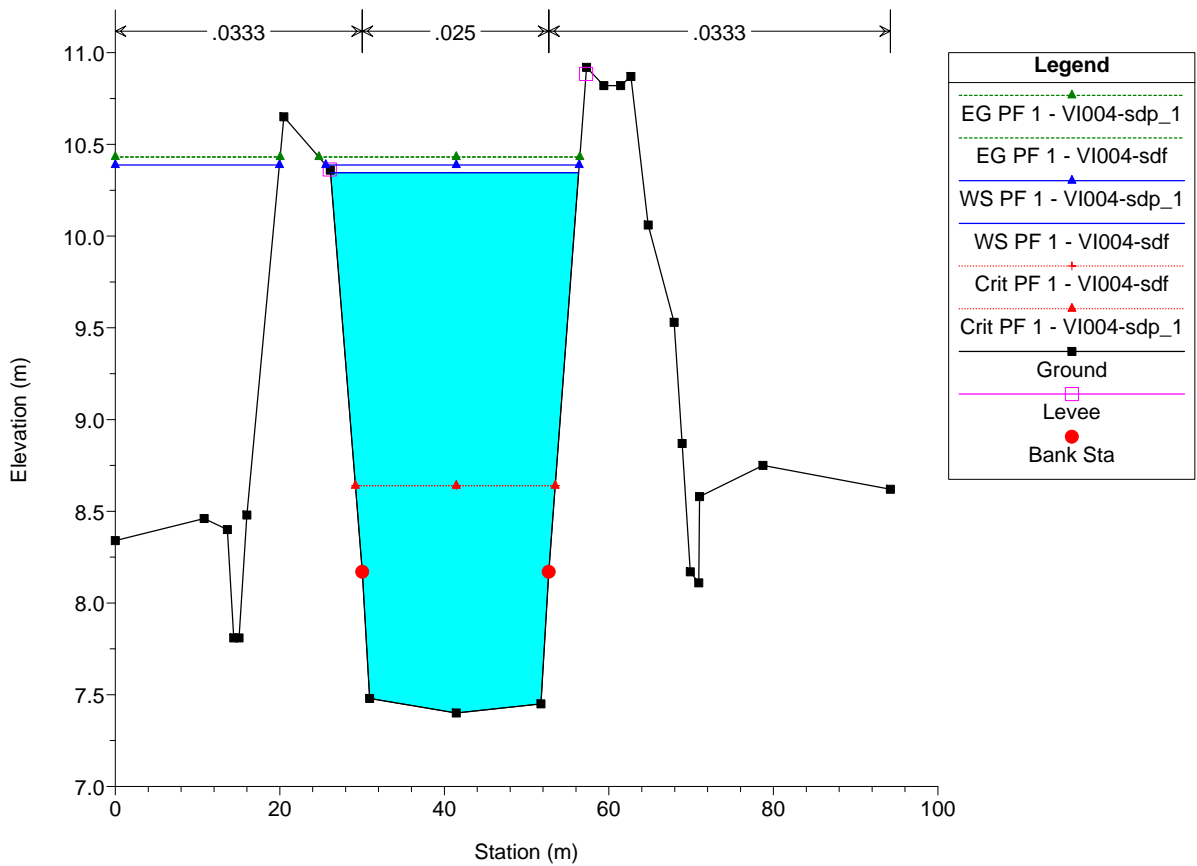
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI004	1286.161	PF 1	90.00	7.45	10.41	8.69	10.49	0.000269	1.31	73.83	30.57	0.25
VI004	1209.453	PF 1	90.00	7.42	10.39	8.63	10.47	0.000246	1.26	76.67	31.56	0.24
VI004	1126.796	PF 1	90.00	7.38	10.40	8.53	10.44	0.000145	0.98	114.70	53.84	0.18
VI004	1052.73	PF 1	90.00	7.40	10.39	8.64	10.43	0.000162	1.03	111.09	50.75	0.19
VI004	984.734	PF 1	90.00	7.20	10.35	8.43	10.42	0.000235	1.14	79.08	29.95	0.22
VI004	976.934	PF 1	90.00	7.20	10.35	8.42	10.41	0.000242	1.14	78.84	29.88	0.22
VI004	966.2		Bridge									
VI004	930.2889	PF 1	90.00	7.18	10.31	8.43	10.39	0.000265	1.19	75.55	28.56	0.23
VI004	917.2889	PF 1	90.00	7.18	10.34	8.43	10.37	0.000130	0.84	133.11	62.33	0.16
VI004	853.8588	PF 1	90.00	7.32	10.23	8.70	10.35	0.000386	1.53	62.90	26.36	0.29
VI004	757.6517	PF 1	90.00	7.42	10.21	8.69	10.31	0.000361	1.45	65.58	28.41	0.28
VI004	667.5812	PF 1	90.00	7.38	10.16	8.70	10.27	0.000404	1.53	62.05	27.04	0.30
VI004	565.9111	PF 1	90.00	7.35	10.16	8.49	10.23	0.000237	1.19	82.14	36.74	0.23
VI004	444.9315	PF 1	90.00	7.30	10.03	8.78	10.18	0.000561	1.73	57.97	31.50	0.35
VI004	339.4273	PF 1	90.00	7.38	9.95	8.87	10.11	0.000684	1.81	54.33	31.52	0.38
VI004	227.9021	PF 1	90.00	7.28	9.65	8.98	9.98	0.001675	2.57	35.96	20.02	0.56
VI004	129.8316	PF 1	90.00	7.22	9.65	8.66	9.83	0.000799	1.91	50.87	34.58	0.41
VI004	5.103468	PF 1	90.00	7.15	9.00	8.86	9.60	0.003949	3.43	26.95	18.40	0.85



VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016

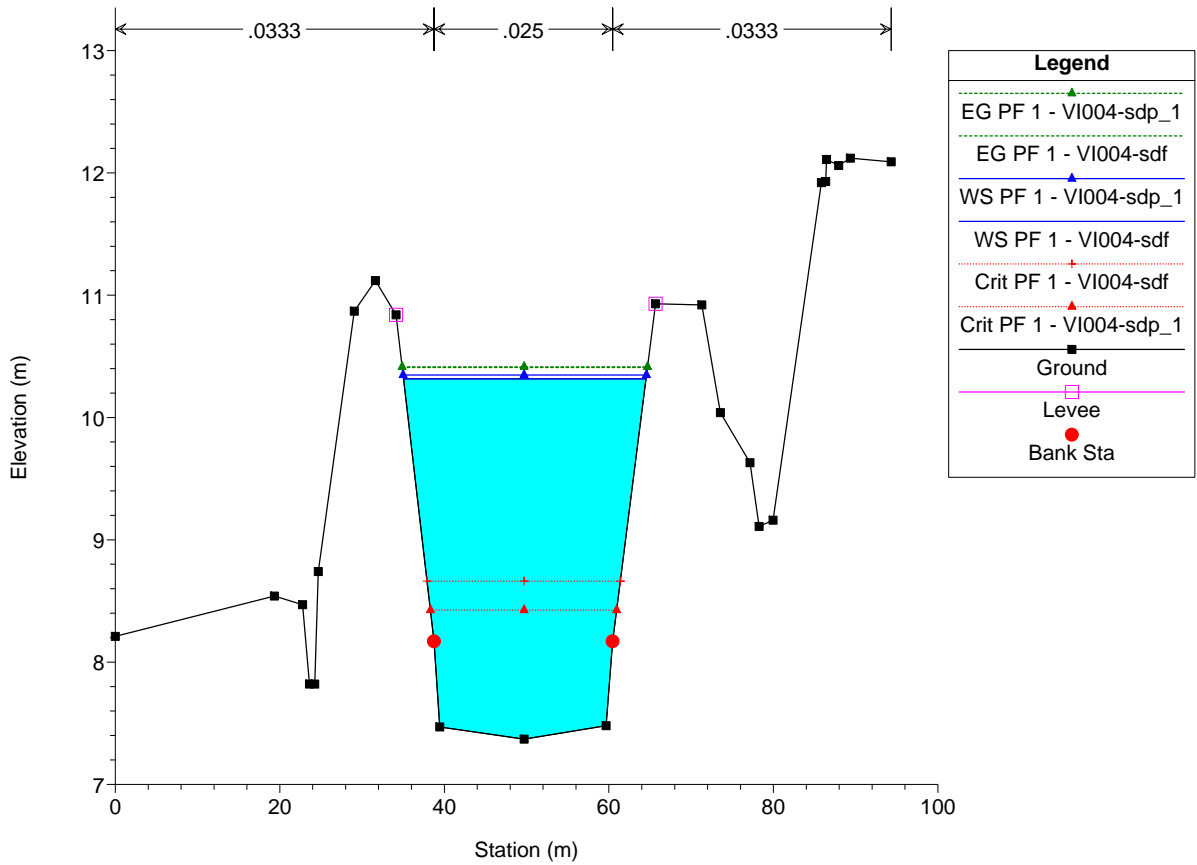


VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016

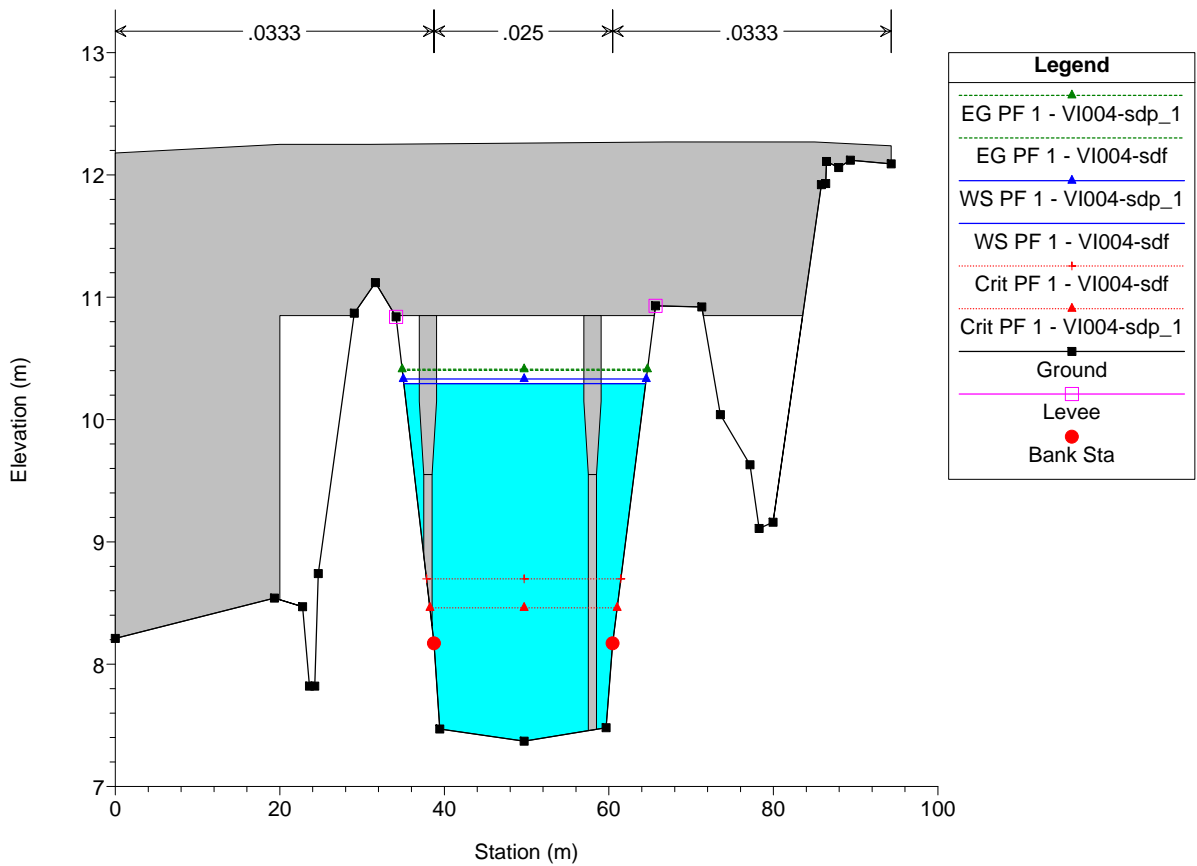




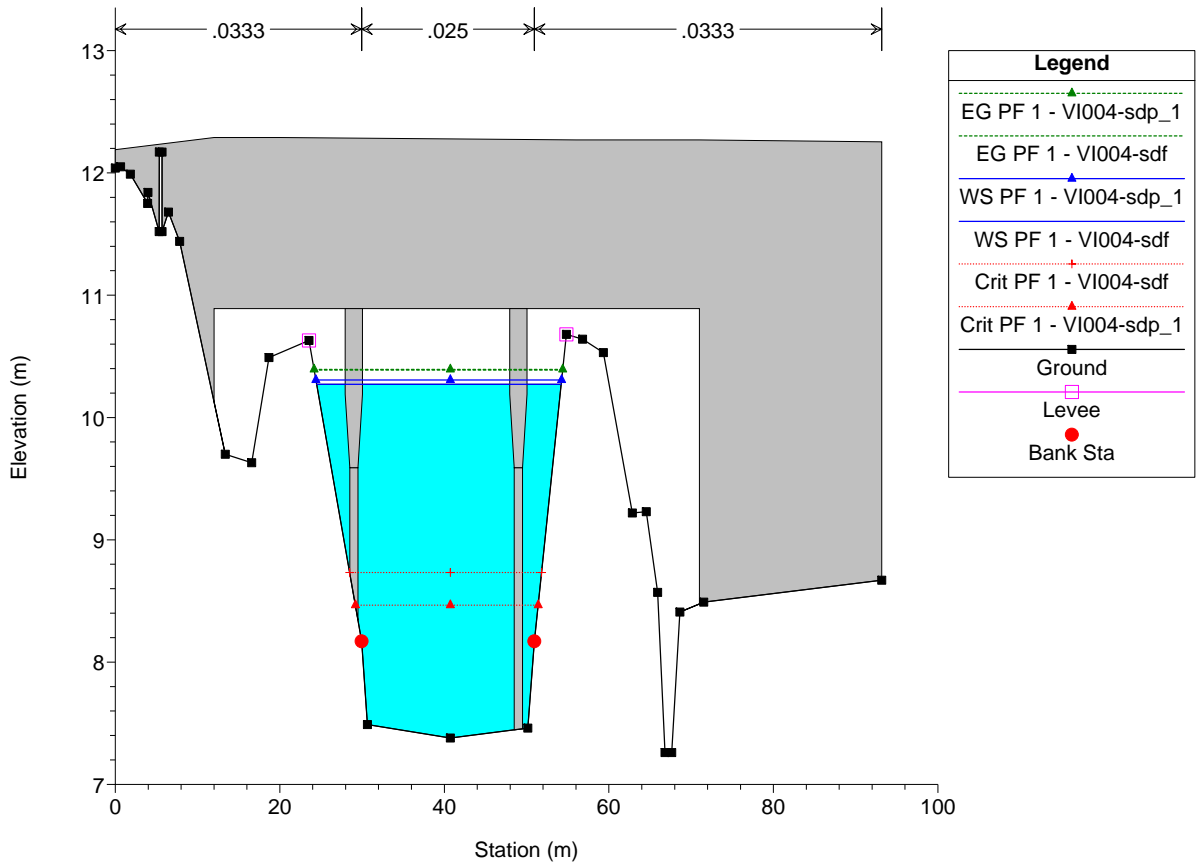
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



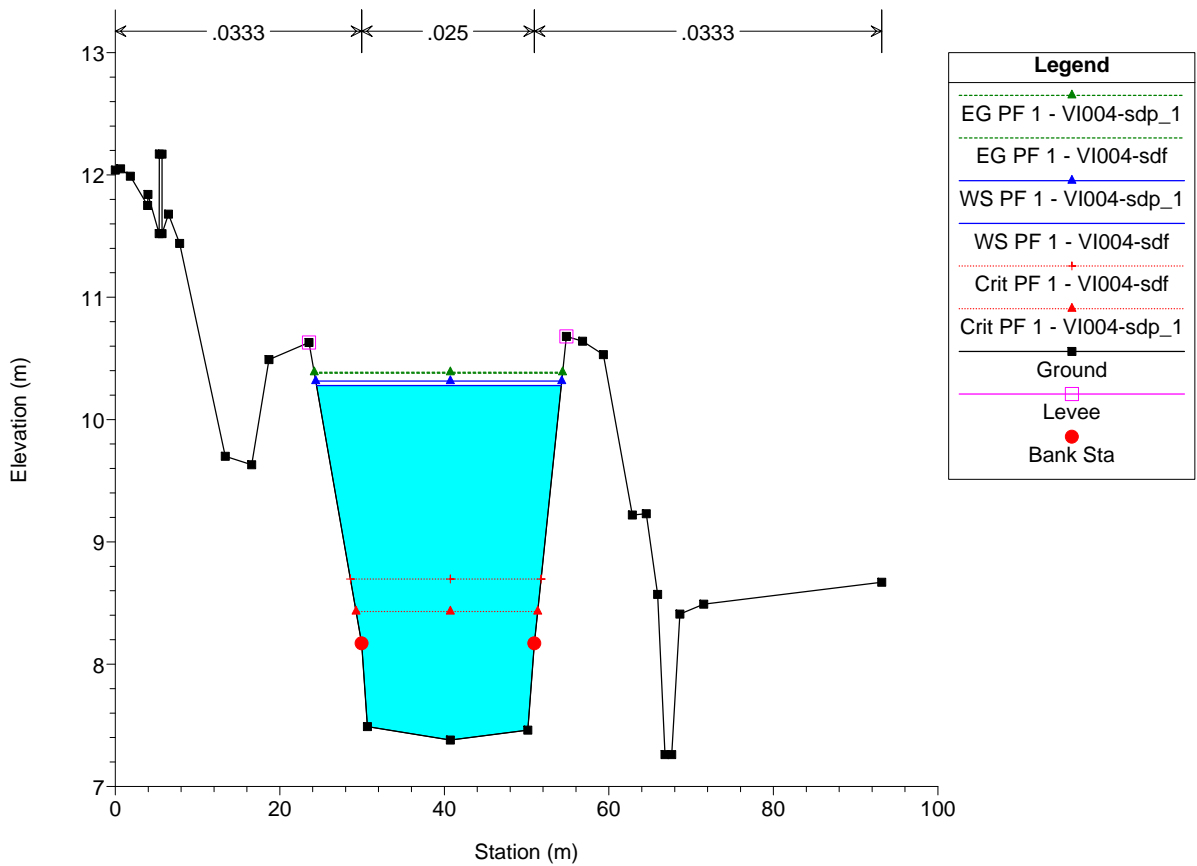
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



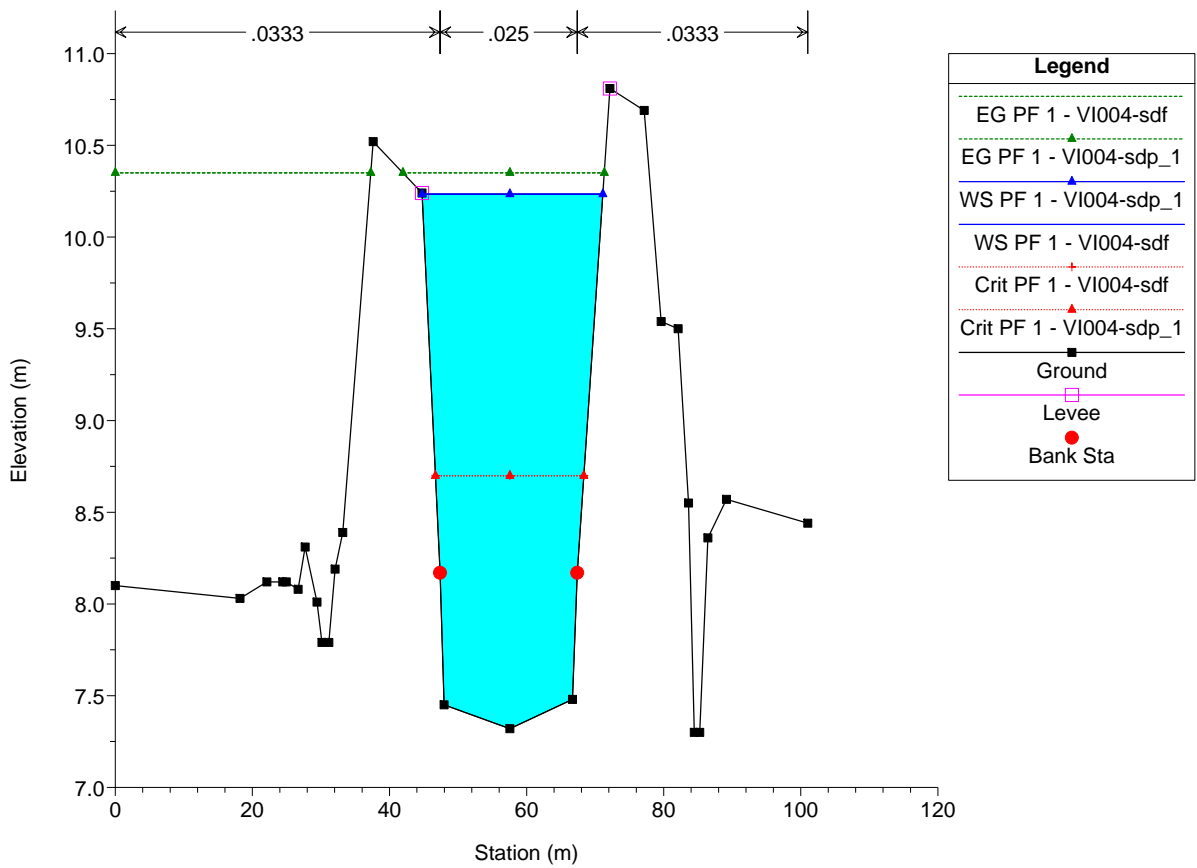
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



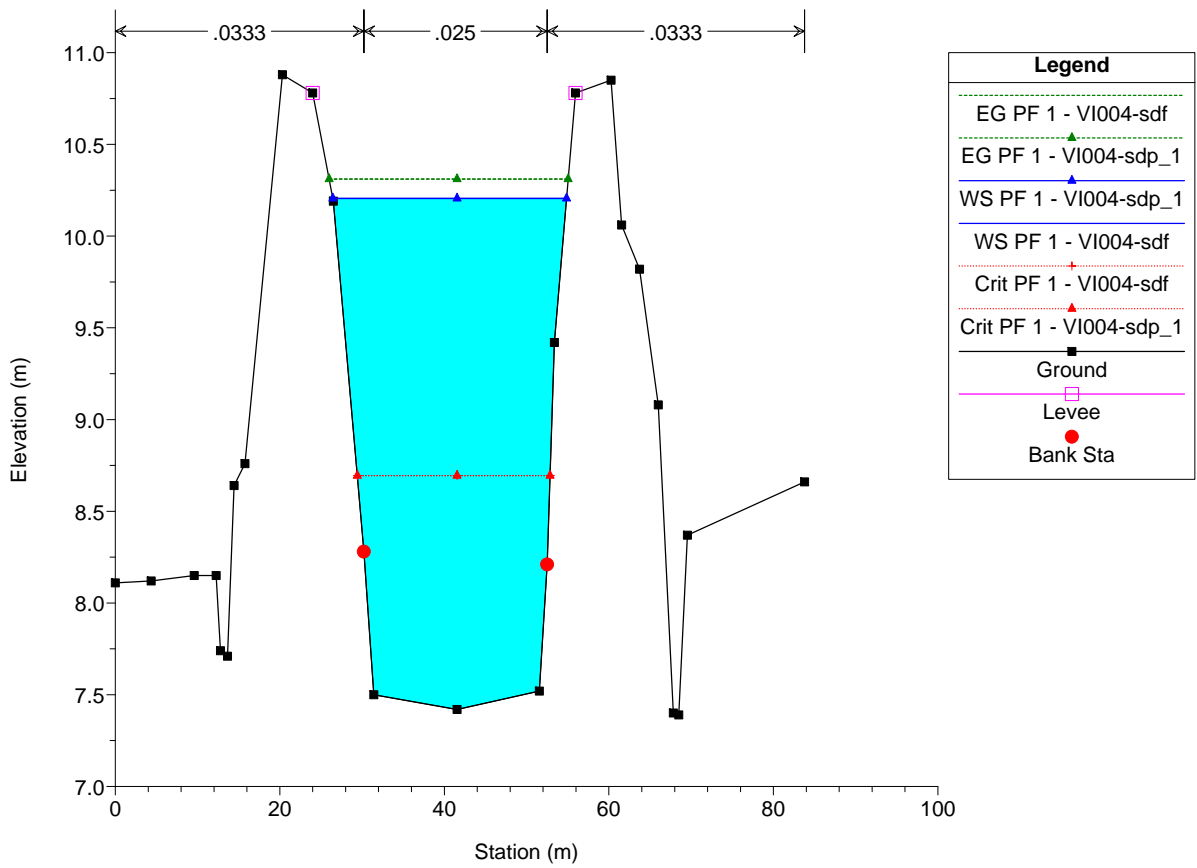
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



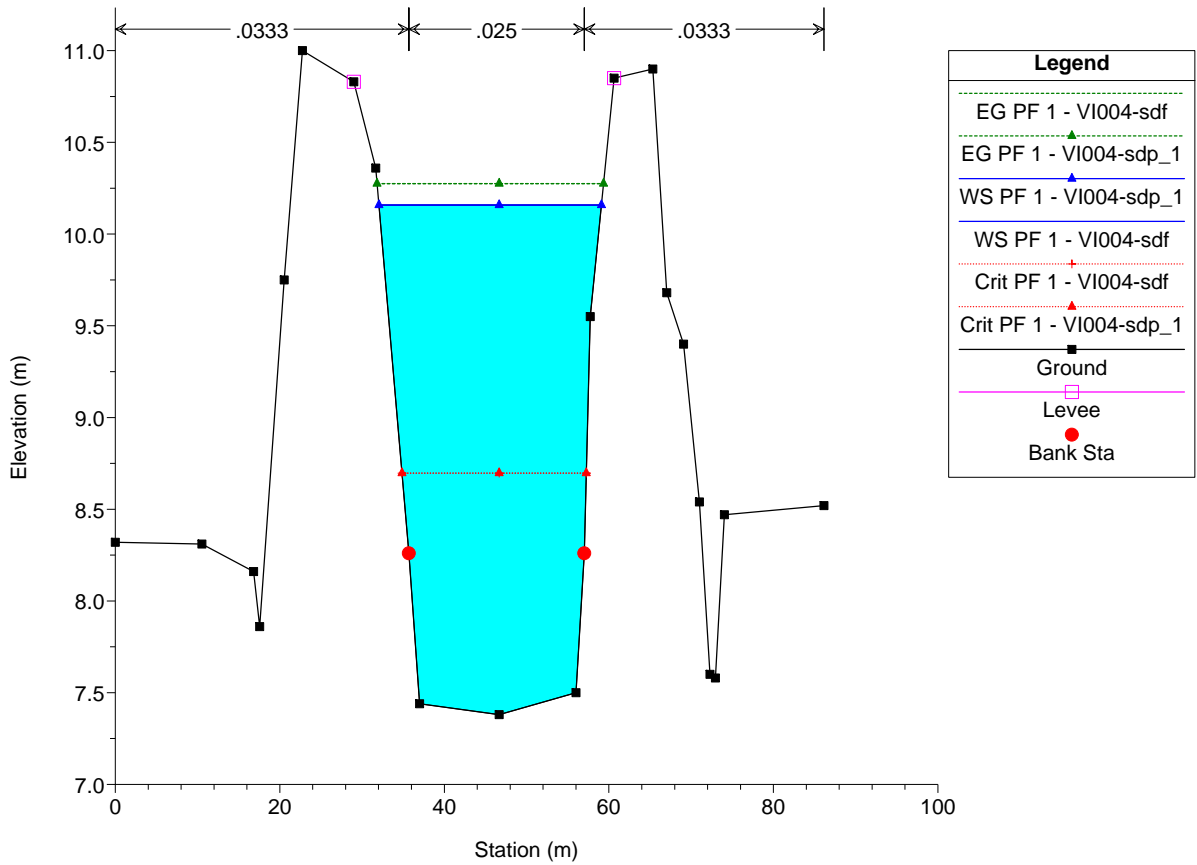
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



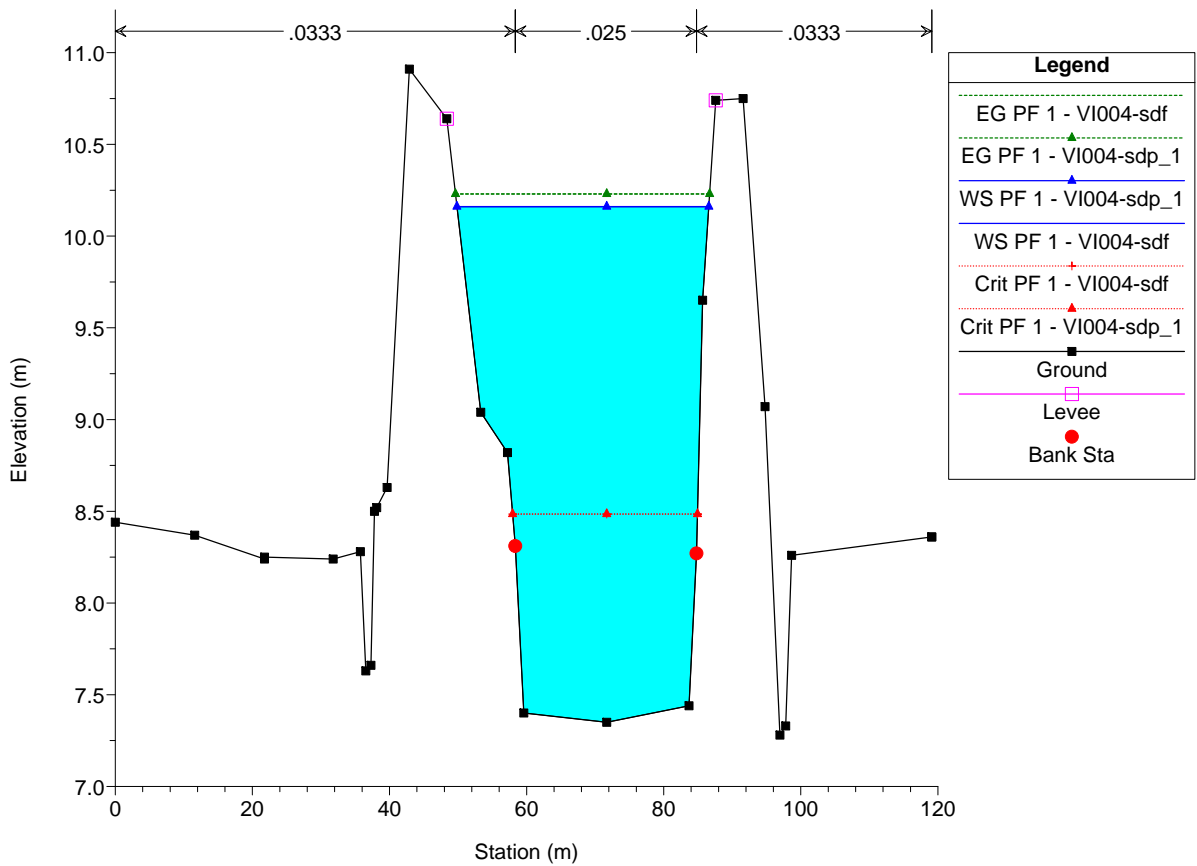
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



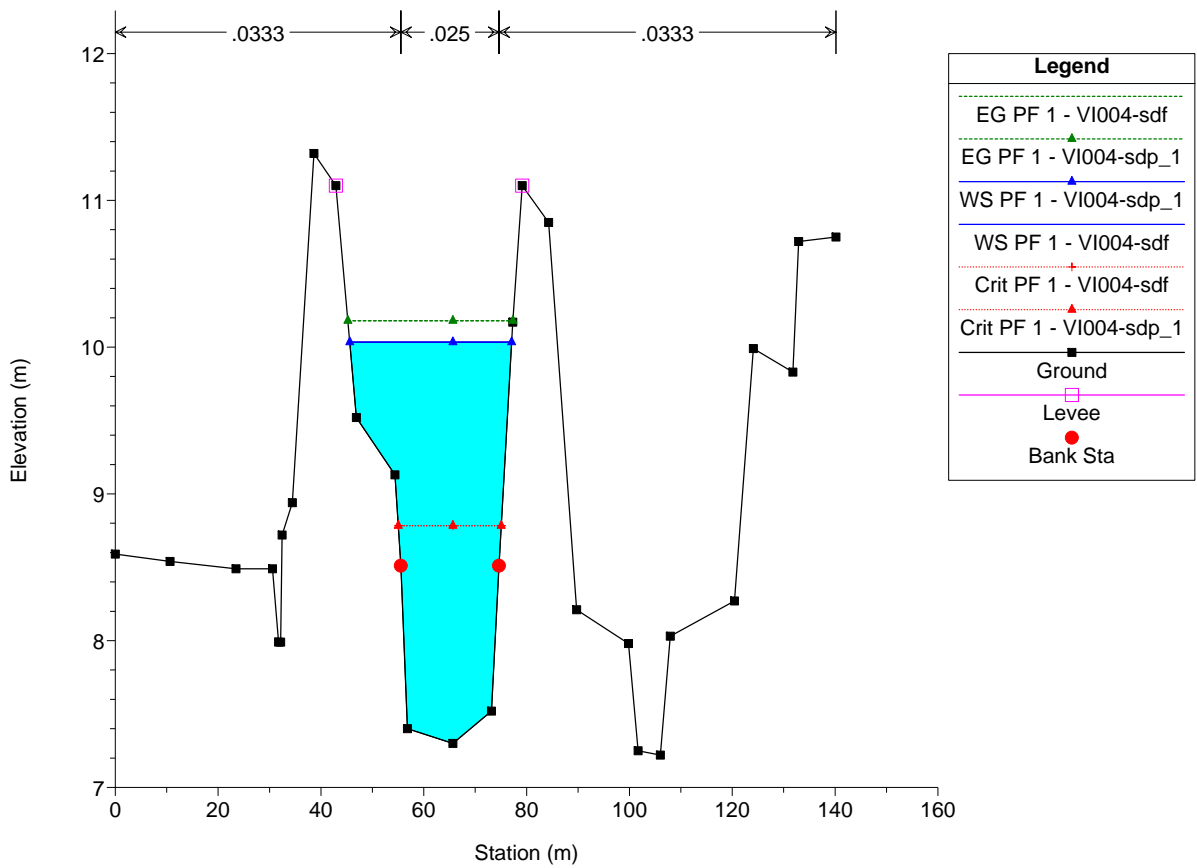
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



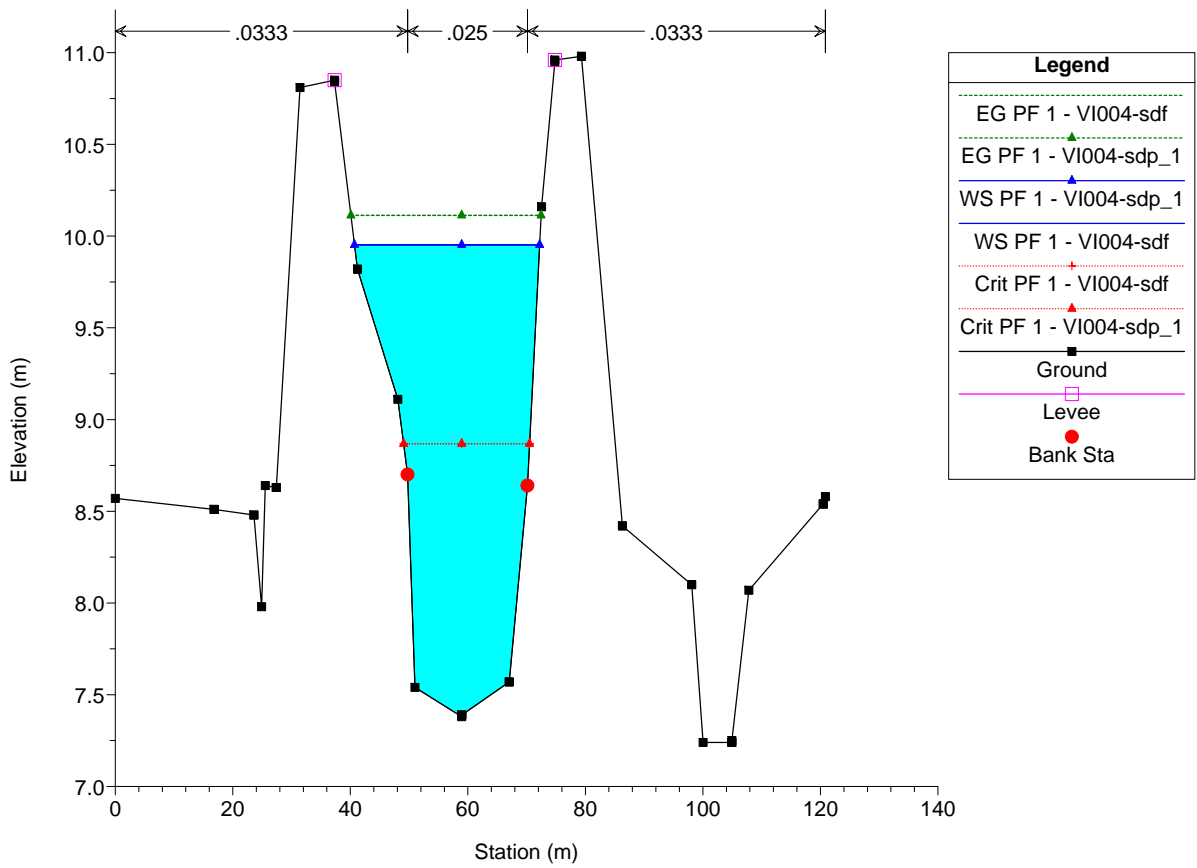
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



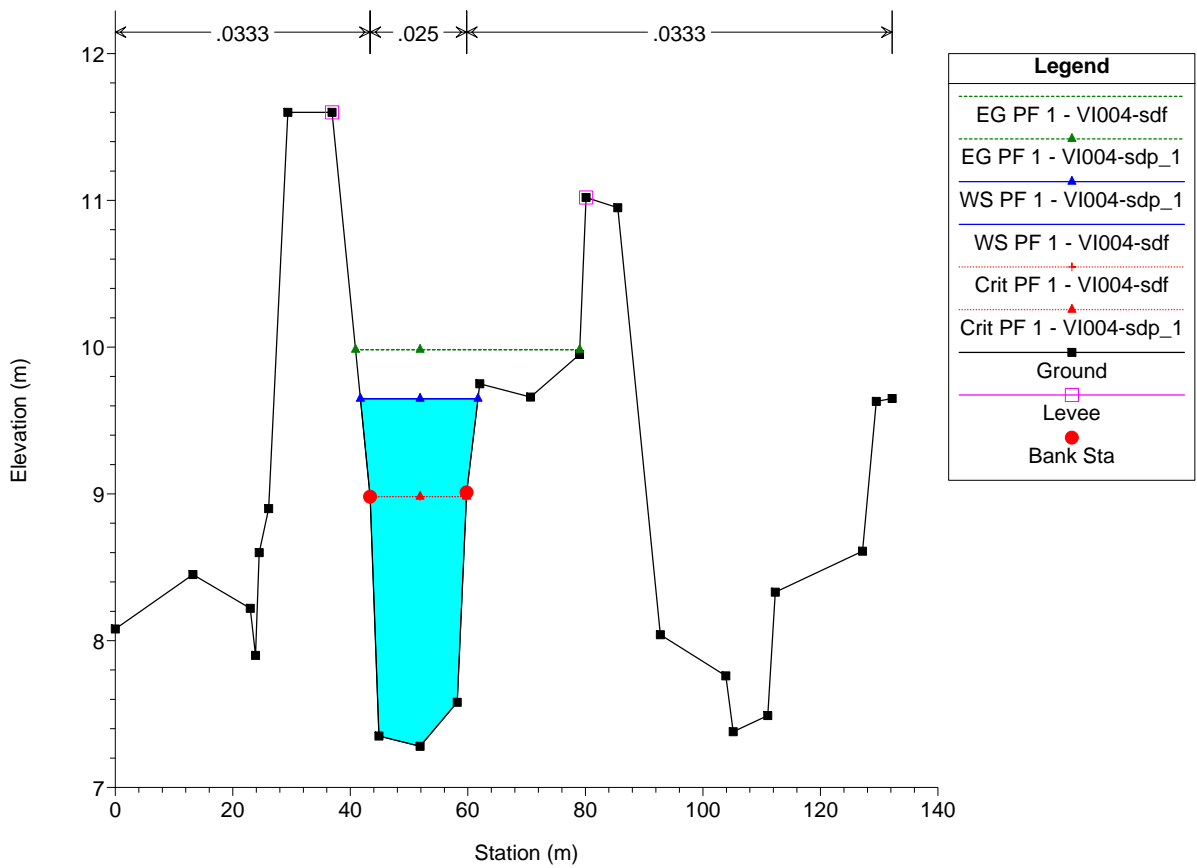
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



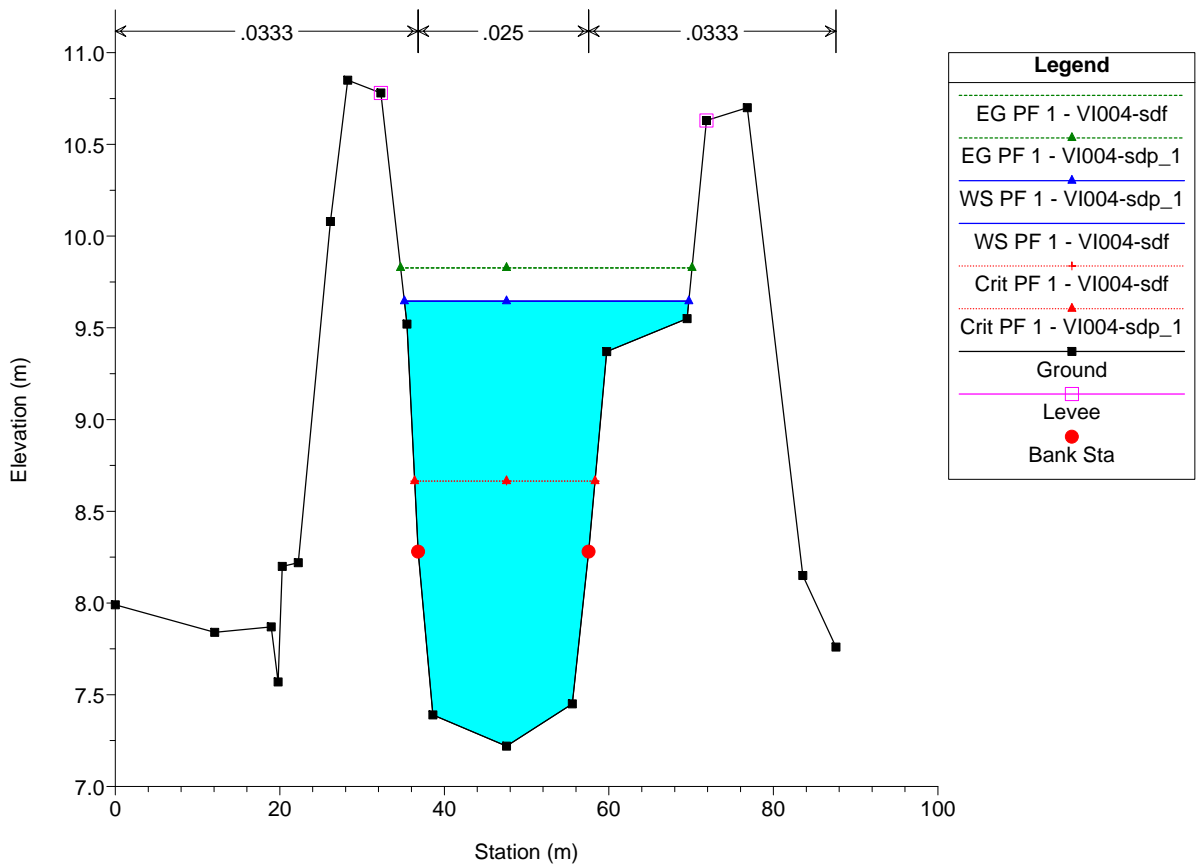
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



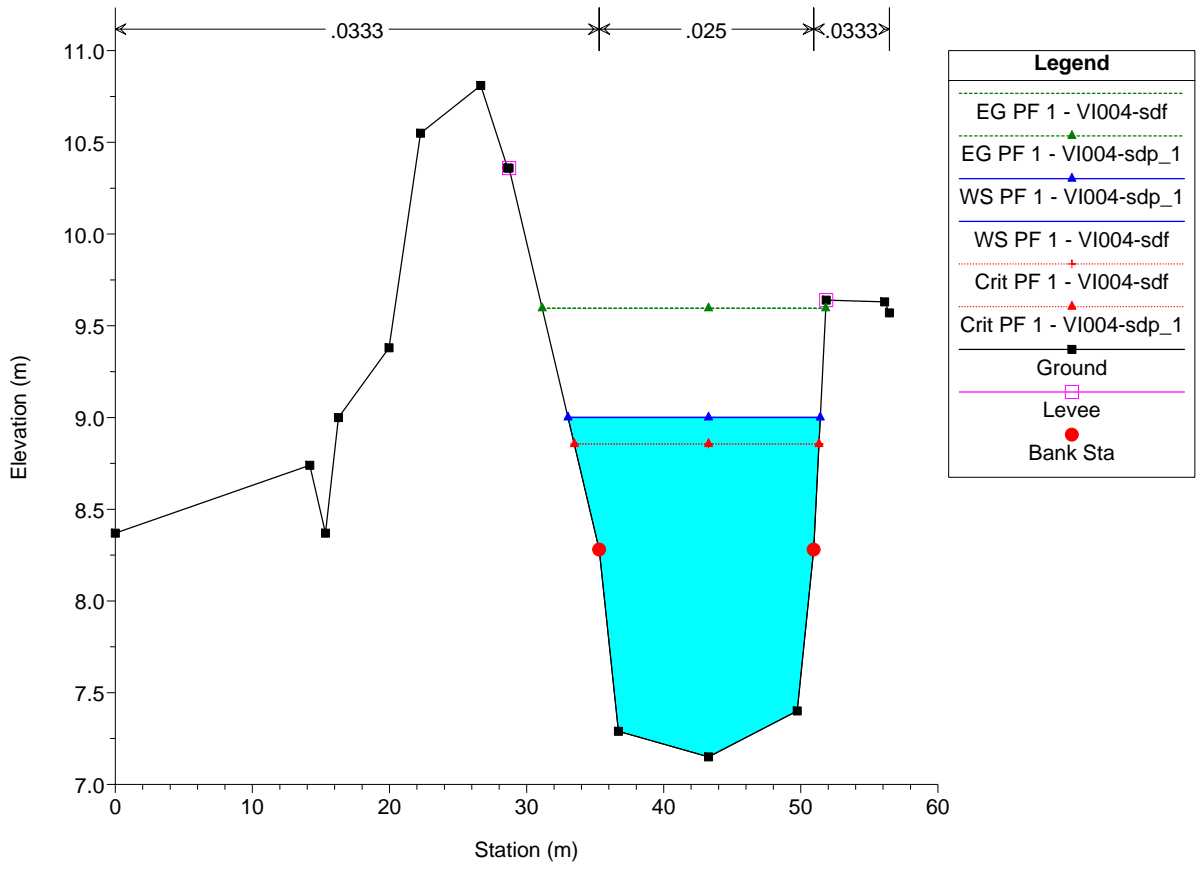
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



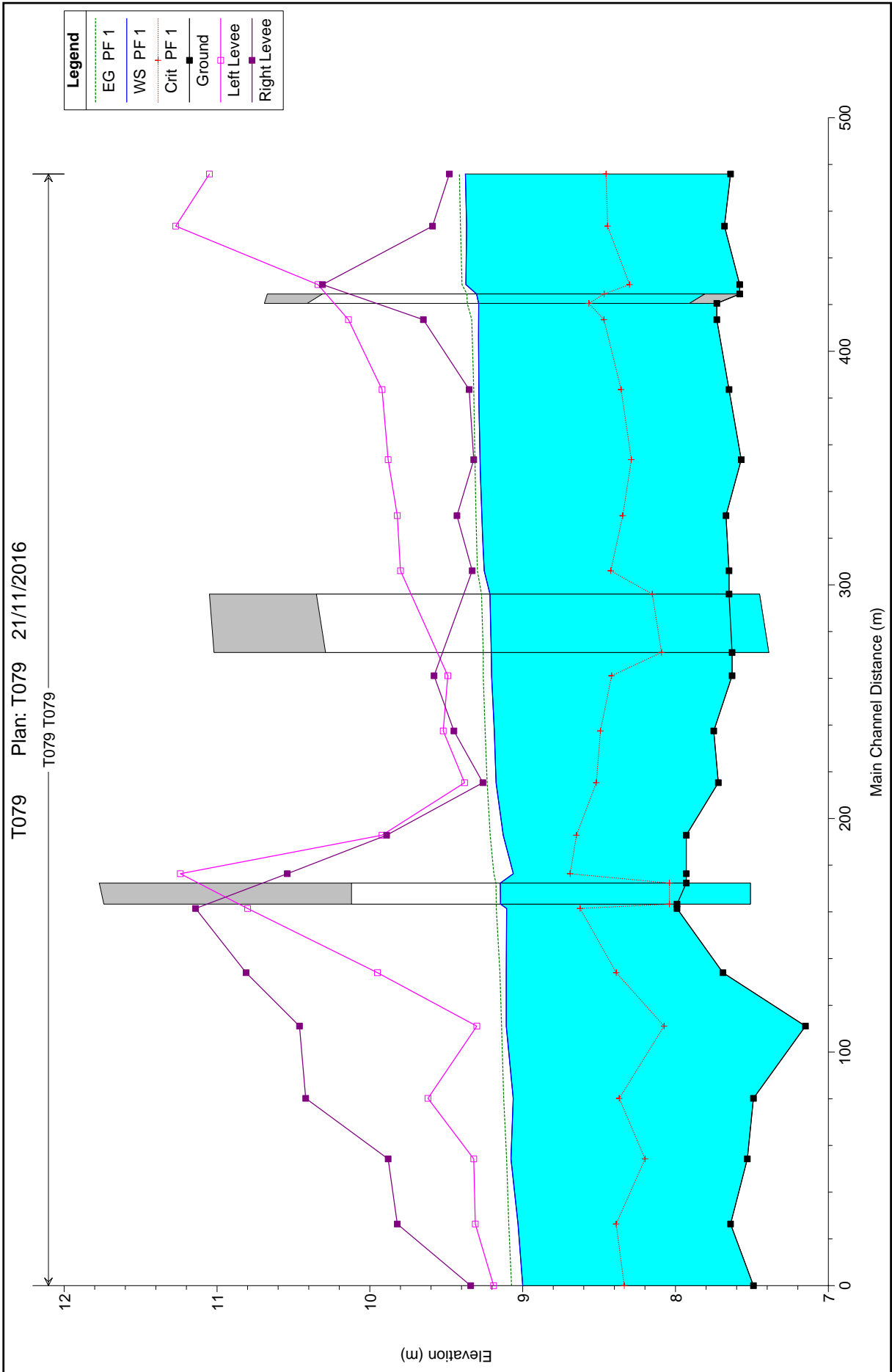
VI004 Plan: 1) VI004-sdf 21/11/2016 2) VI004-sdp\_1 21/11/2016



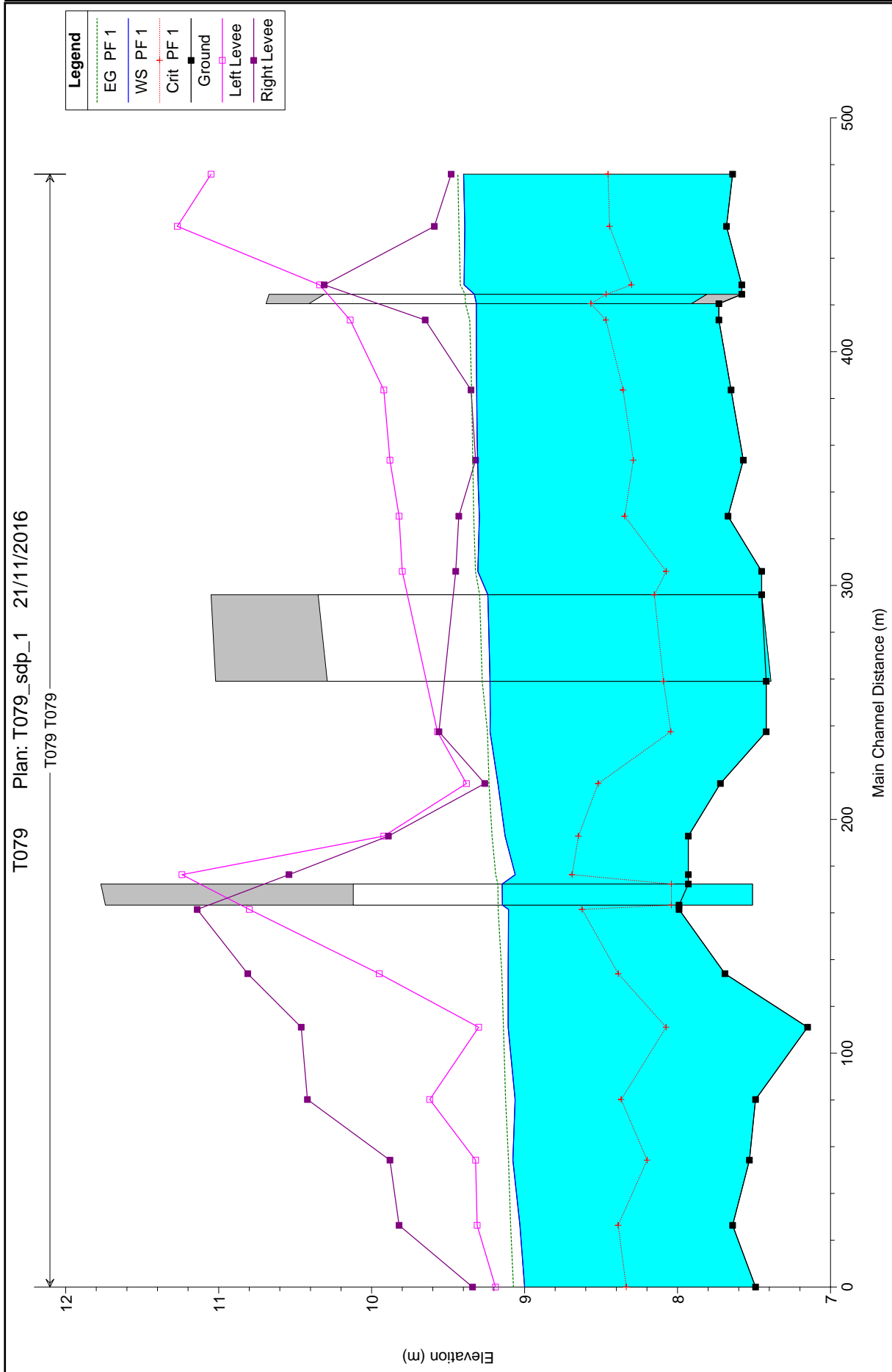
### 1.3.5 Fossa Quadra 16+708



# Fossa Quadra 16+708: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Fossa Quadra 16+708: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Fossa Quadra 16+708: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T079 River: T079 Reach: T079 Profile: PF 1

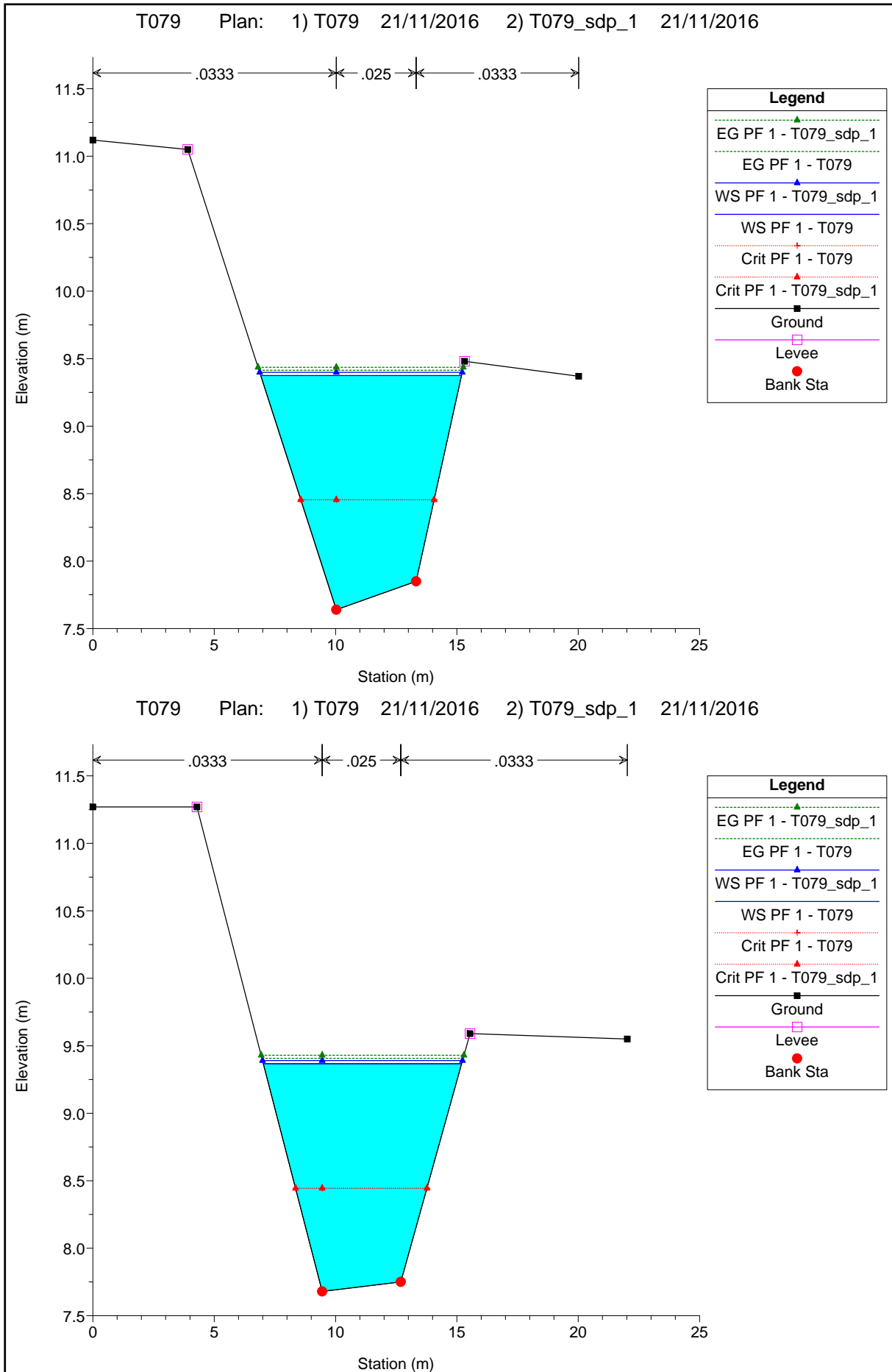
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T079	476.3069	PF 1	7.00	7.64	9.37	8.45	9.41	0.000315	0.98	9.49	8.27	0.25
T079	453.9892	PF 1	7.00	7.68	9.37	8.44	9.41	0.000316	0.99	9.42	8.17	0.25
T079	428.92	PF 1	7.00	7.58	9.37	8.30	9.40	0.000173	0.71	10.49	7.46	0.18
T079	425	Culvert										
T079	413.9349	PF 1	7.00	7.73	9.29	8.47	9.33	0.000388	1.03	8.64	7.86	0.27
T079	384.0288	PF 1	7.00	7.65	9.29	8.36	9.32	0.000270	0.89	10.25	9.10	0.23
T079	354.017	PF 1	7.00	7.57	9.28	8.29	9.31	0.000249	0.88	10.14	8.41	0.22
T079	330.0365	PF 1	7.00	7.67	9.27	8.34	9.31	0.000301	0.95	9.40	8.02	0.24
T079	306.429	PF 1	7.00	7.65	9.25	8.42	9.30	0.000380	1.02	8.60	7.68	0.27
T079	295	Culvert										
T079	261.4912	PF 1	7.00	7.63	9.20	8.42	9.26	0.000468	1.16	8.09	7.48	0.30
T079	237.8637	PF 1	7.00	7.75	9.19	8.49	9.25	0.000559	1.20	7.61	7.46	0.32
T079	215.7084	PF 1	7.00	7.72	9.17	8.52	9.23	0.000575	1.14	7.47	7.50	0.32
T079	193.2202	PF 1	7.00	7.93	9.13	8.65	9.21	0.000991	1.40	6.21	7.06	0.41
T079	176.7429	PF 1	7.00	7.93	9.06	8.69	9.19	0.001535	1.68	5.02	5.78	0.51
T079	172	Culvert										
T079	161.8614	PF 1	7.00	7.99	9.11	8.62	9.17	0.000855	1.23	6.82	8.15	0.38
T079	134.3832	PF 1	7.00	7.69	9.11	8.39	9.15	0.000421	1.01	9.04	9.40	0.28
T079	111.4806	PF 1	7.00	7.15	9.11	8.07	9.14	0.000242	0.90	10.92	9.56	0.22
T079	80.58005	PF 1	7.00	7.49	9.06	8.37	9.12	0.000572	1.26	7.81	8.08	0.33
T079	54.66257	PF 1	7.00	7.53	9.08	8.20	9.10	0.000243	0.79	10.62	9.82	0.21
T079	26.76761	PF 1	7.00	7.64	9.03	8.39	9.09	0.000654	1.27	7.63	7.77	0.34
T079	0.401312	PF 1	7.00	7.49	9.00	8.34	9.07	0.000669	1.36	7.14	7.02	0.35

# Fossa Quadra 16+708: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

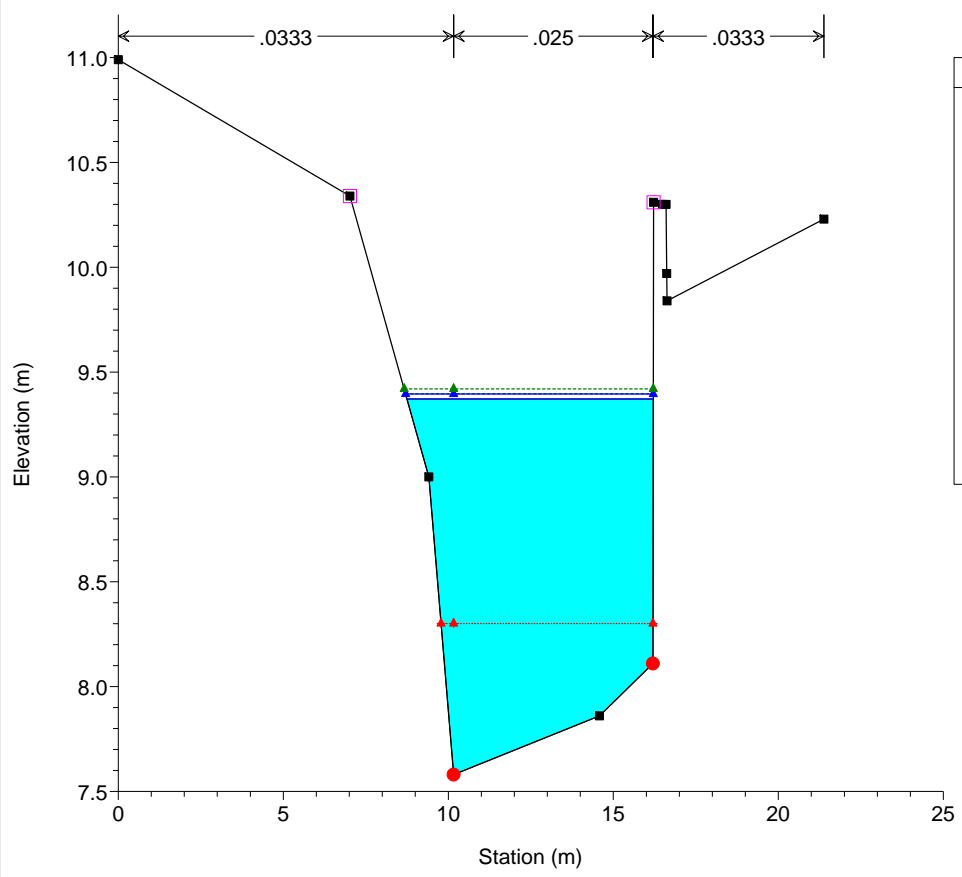
HEC-RAS Plan: T079\_sdp\_1 River: T079 Reach: T079 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T079	476.3069	PF 1	7.00	7.64	9.40	8.45	9.44	0.000299	0.97	9.68	8.35	0.24
T079	453.9892	PF 1	7.00	7.68	9.39	8.44	9.43	0.000299	0.98	9.62	8.24	0.24
T079	428.92	PF 1	7.00	7.58	9.40	8.30	9.42	0.000165	0.70	10.67	7.51	0.18
T079	425	Culvert										
T079	413.9349	PF 1	7.00	7.73	9.31	8.47	9.36	0.000363	1.01	8.85	7.94	0.26
T079	384.0288	PF 1	7.00	7.65	9.31	8.36	9.35	0.000253	0.88	10.50	9.19	0.22
T079	354.017	PF 1	7.00	7.57	9.31	8.29	9.34	0.000234	0.86	10.37	8.48	0.21
T079	330.0365	PF 1	7.00	7.67	9.30	8.34	9.33	0.000281	0.93	9.63	8.10	0.23
T079	306.429	PF 1	7.00	7.45	9.31	8.07	9.32	0.000155	0.56	12.60	9.58	0.15
T079	295	Culvert										
T079	237.8637	PF 1	7.00	7.42	9.23	8.04	9.24	0.000173	0.58	12.12	9.42	0.16
T079	215.7084	PF 1	7.00	7.72	9.17	8.52	9.23	0.000575	1.14	7.47	7.50	0.32
T079	193.2202	PF 1	7.00	7.93	9.13	8.65	9.21	0.000991	1.40	6.21	7.06	0.41
T079	176.7429	PF 1	7.00	7.93	9.06	8.69	9.19	0.001535	1.68	5.02	5.78	0.51
T079	172	Culvert										
T079	161.8614	PF 1	7.00	7.99	9.11	8.62	9.17	0.000855	1.23	6.82	8.15	0.38
T079	134.3832	PF 1	7.00	7.69	9.11	8.39	9.15	0.000421	1.01	9.04	9.40	0.28
T079	111.4806	PF 1	7.00	7.15	9.11	8.07	9.14	0.000242	0.90	10.92	9.56	0.22
T079	80.58005	PF 1	7.00	7.49	9.06	8.37	9.12	0.000572	1.26	7.81	8.08	0.33
T079	54.66257	PF 1	7.00	7.53	9.08	8.20	9.10	0.000243	0.79	10.62	9.82	0.21
T079	26.76761	PF 1	7.00	7.64	9.03	8.39	9.09	0.000654	1.27	7.63	7.77	0.34
T079	0.401312	PF 1	7.00	7.49	9.00	8.34	9.07	0.000669	1.36	7.14	7.02	0.35

# Fossa Quadra 16+708: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni

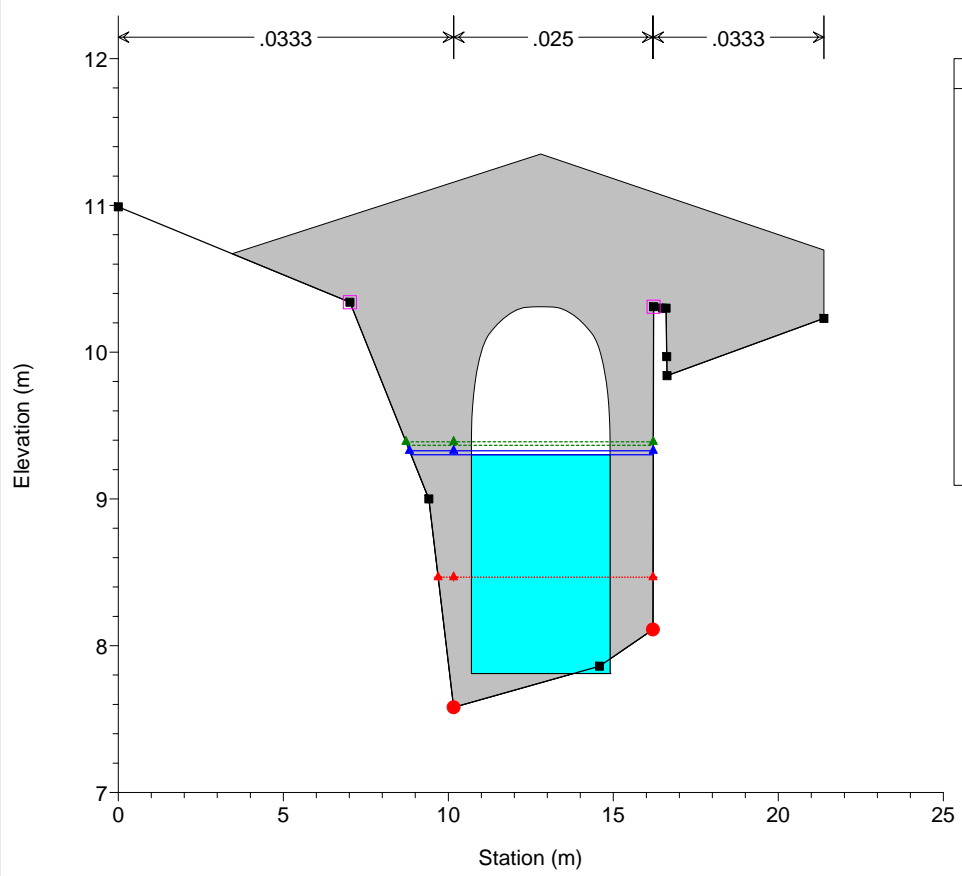


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



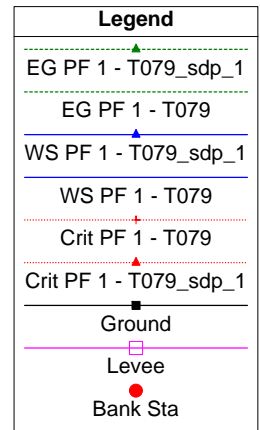
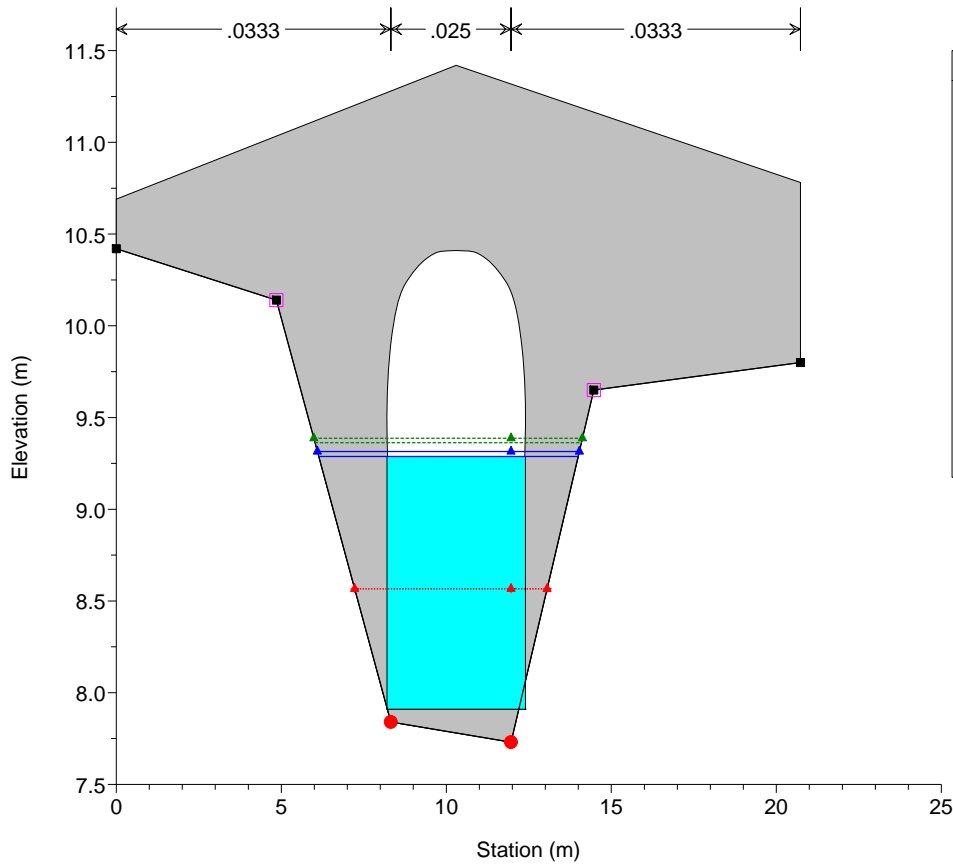
Legend	
EG PF 1 - T079_sdp_1	
EG PF 1 - T079	
WS PF 1 - T079_sdp_1	
WS PF 1 - T079	
Crit PF 1 - T079	
Crit PF 1 - T079_sdp_1	
Ground	
Levee	
Bank Sta	

T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

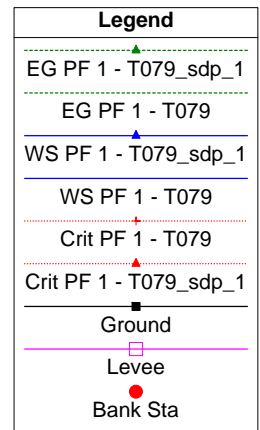
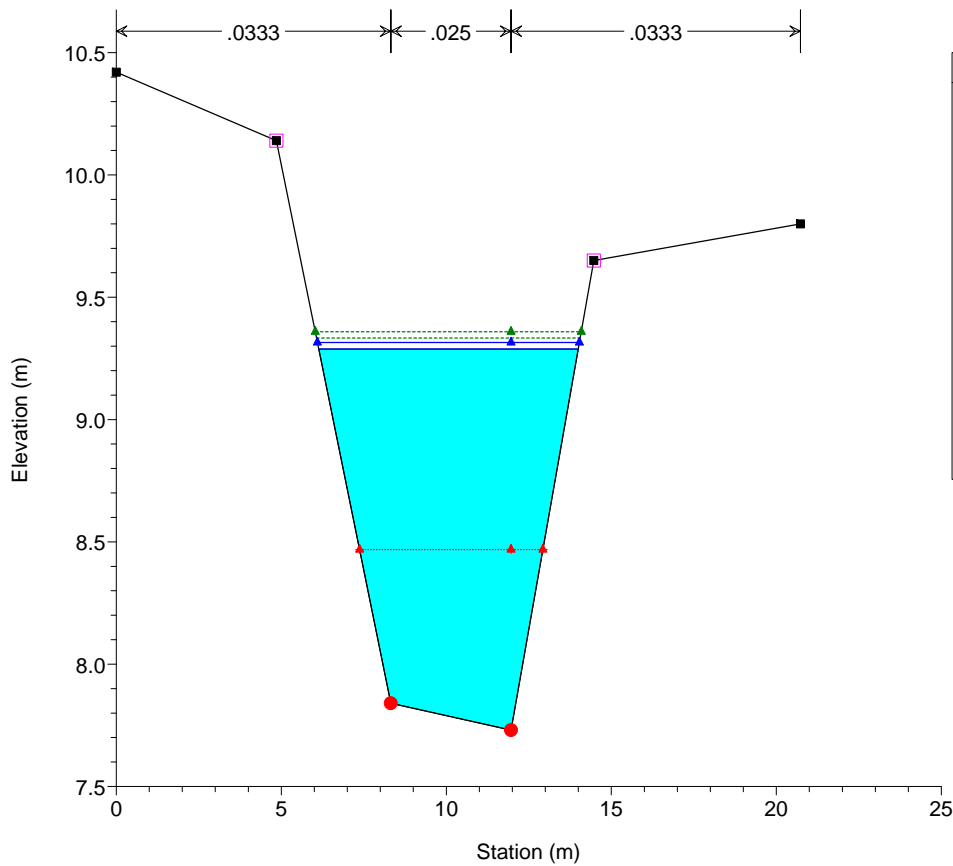


Legend	
EG PF 1 - T079_sdp_1	
EG PF 1 - T079	
WS PF 1 - T079_sdp_1	
WS PF 1 - T079	
Crit PF 1 - T079	
Crit PF 1 - T079_sdp_1	
Ground	
Levee	
Bank Sta	

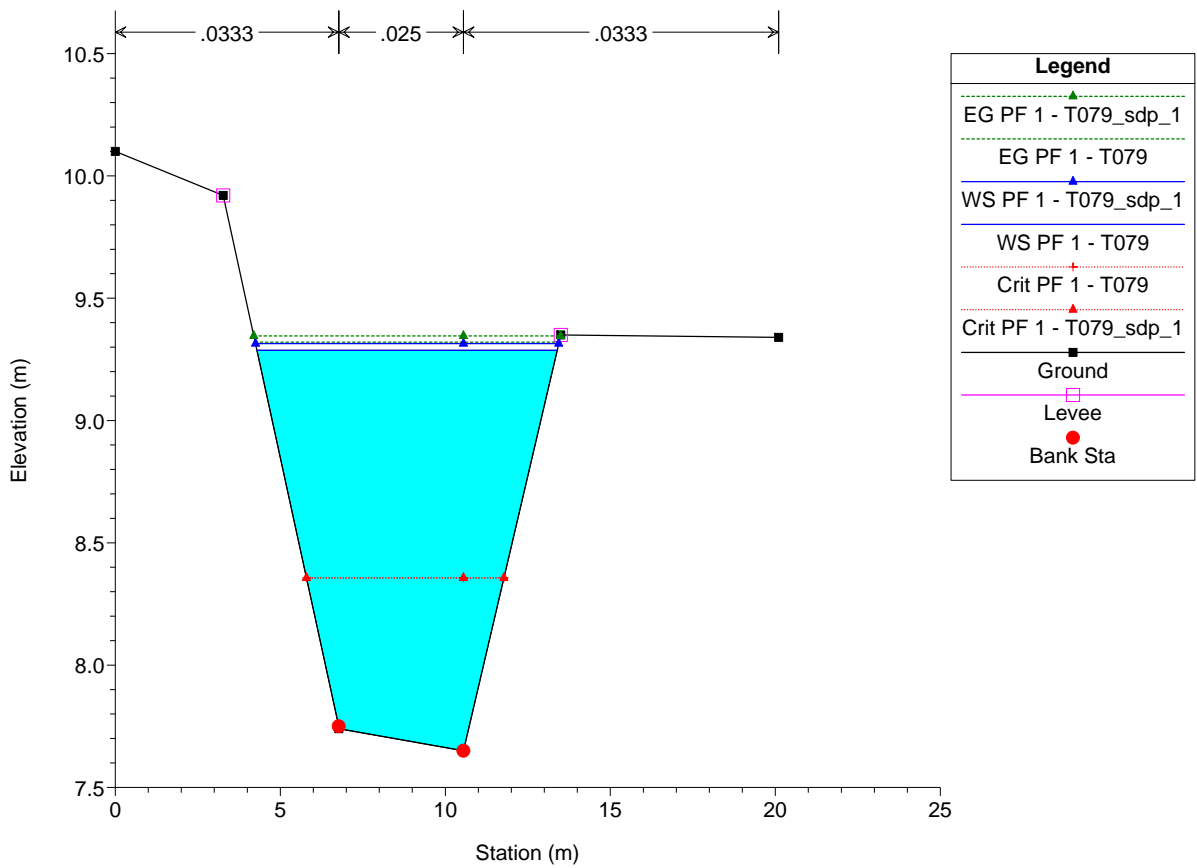
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



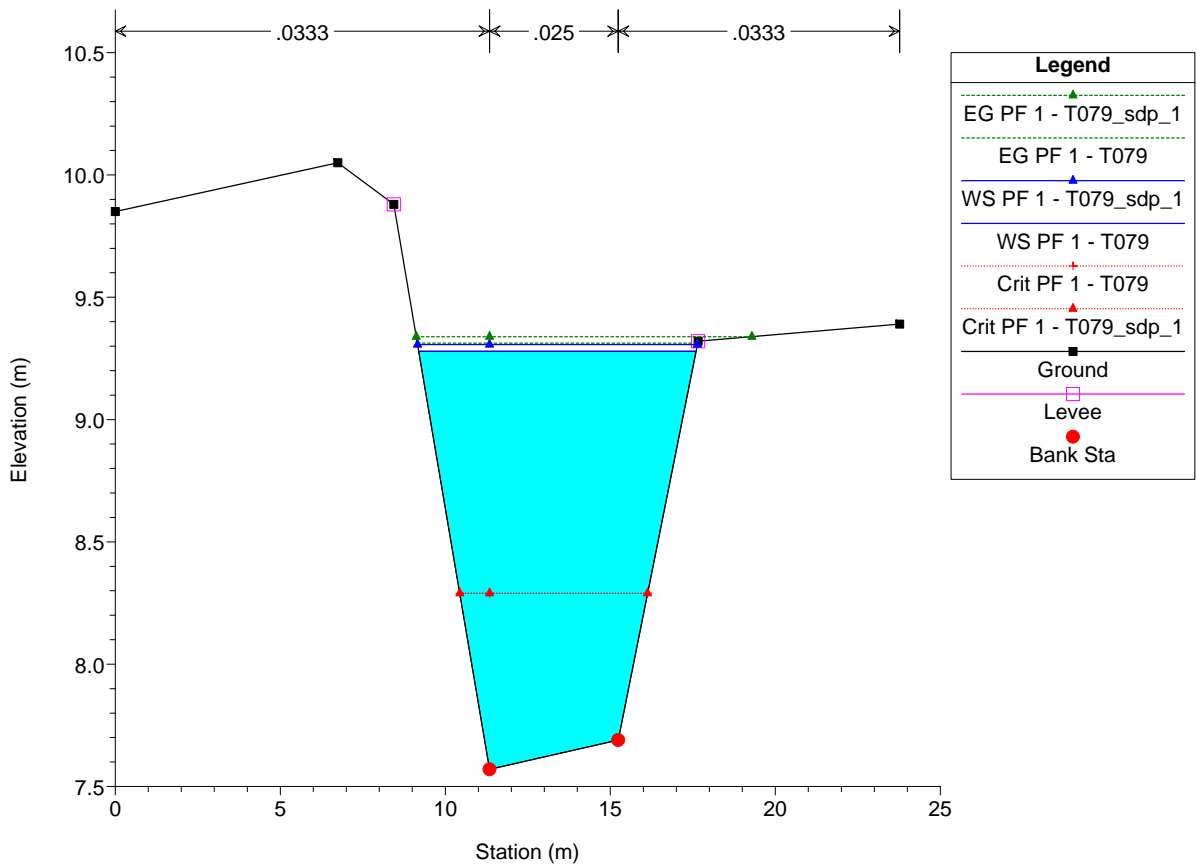
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

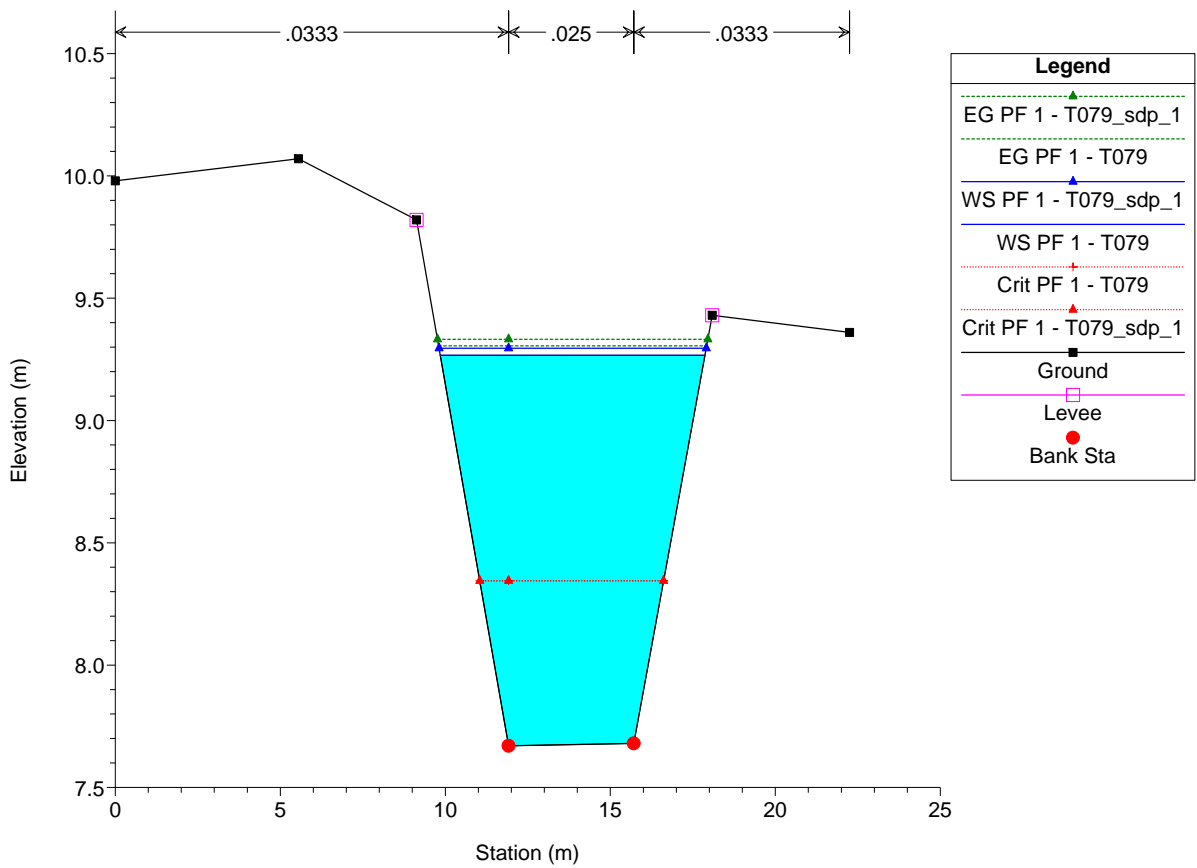


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

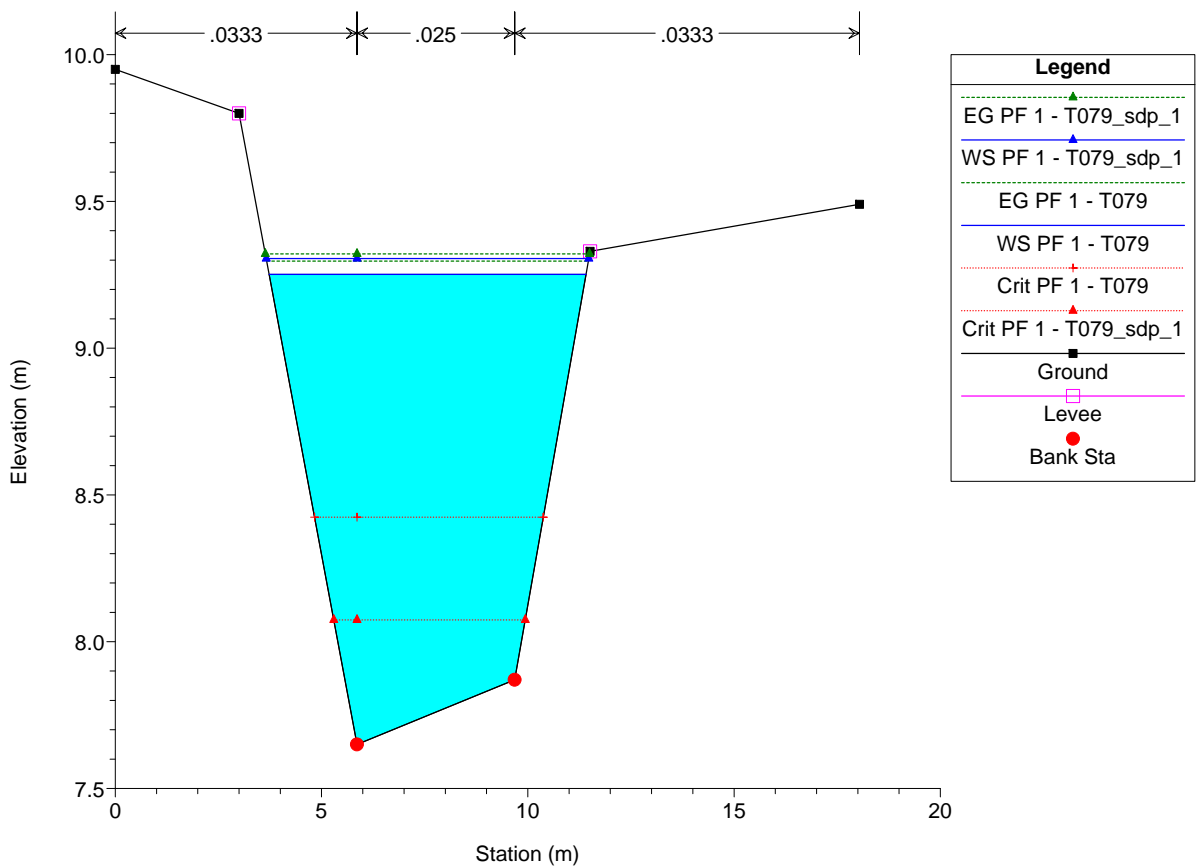




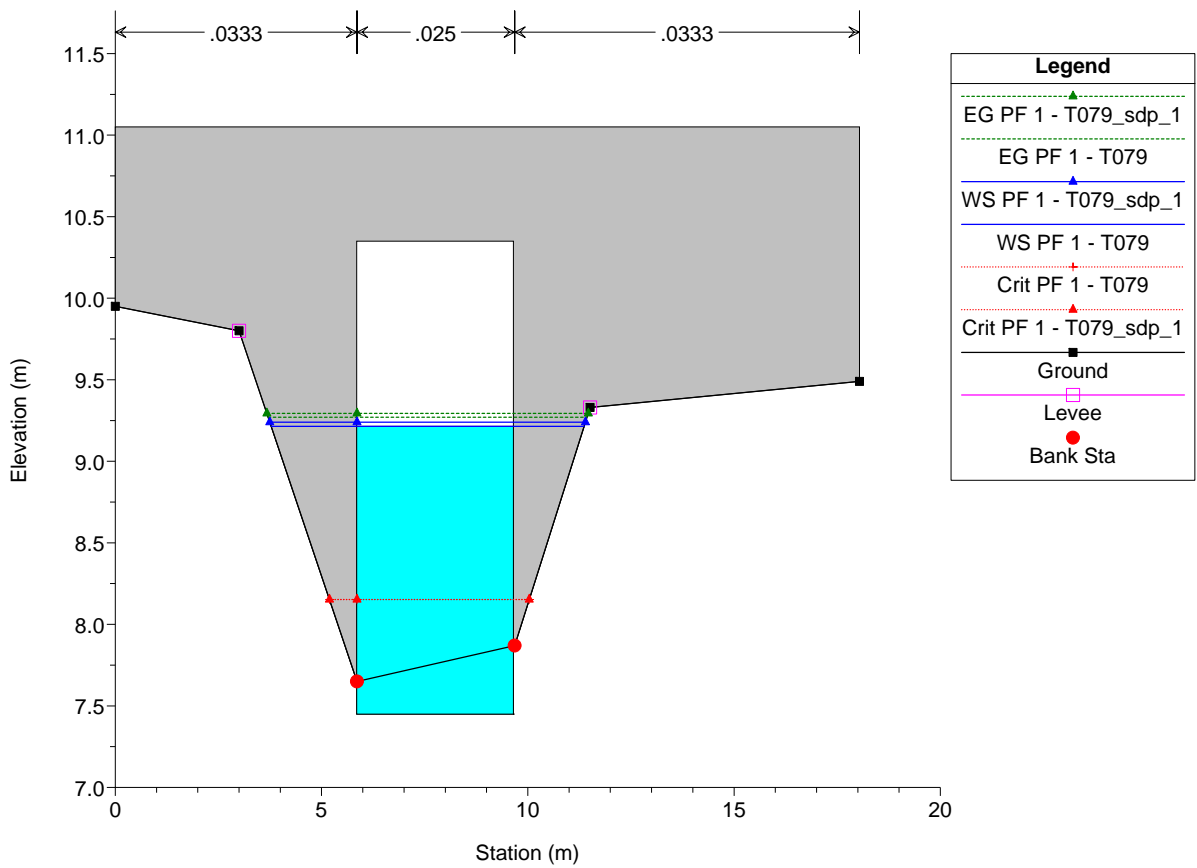
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



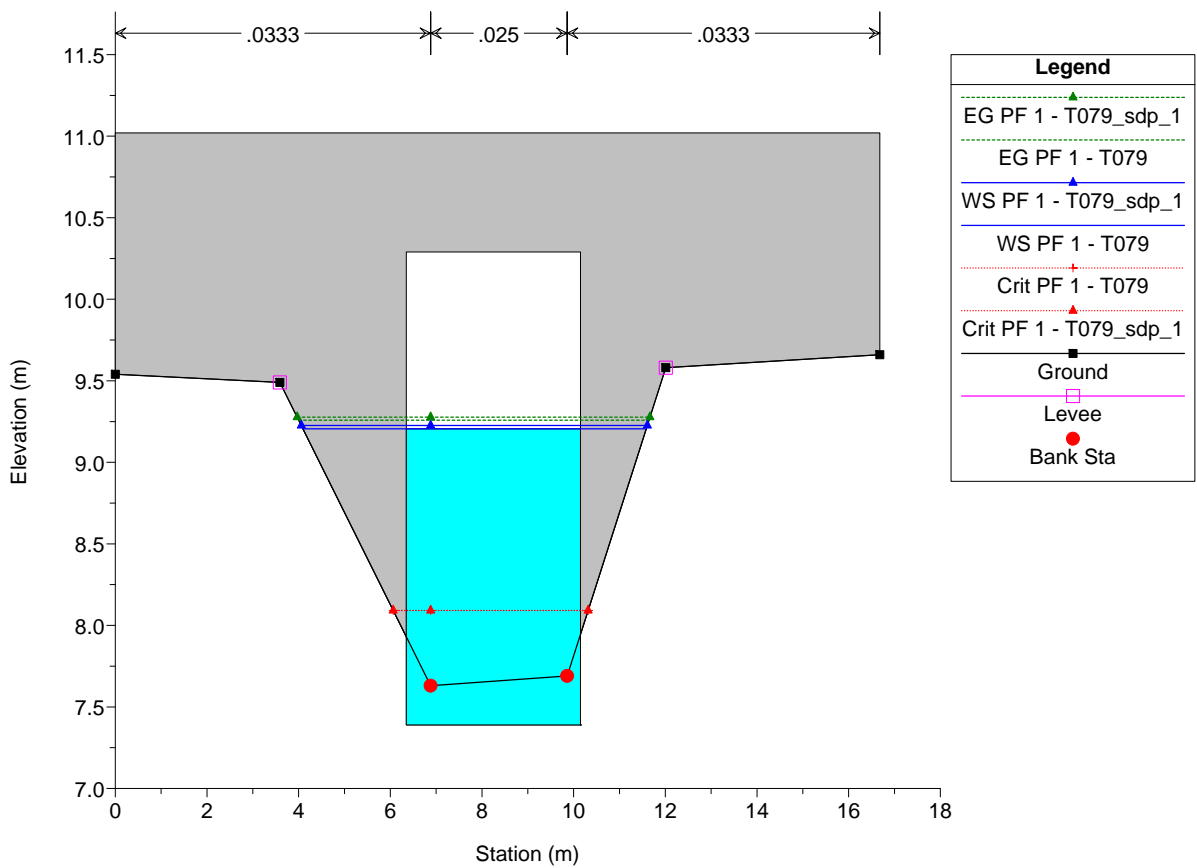
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

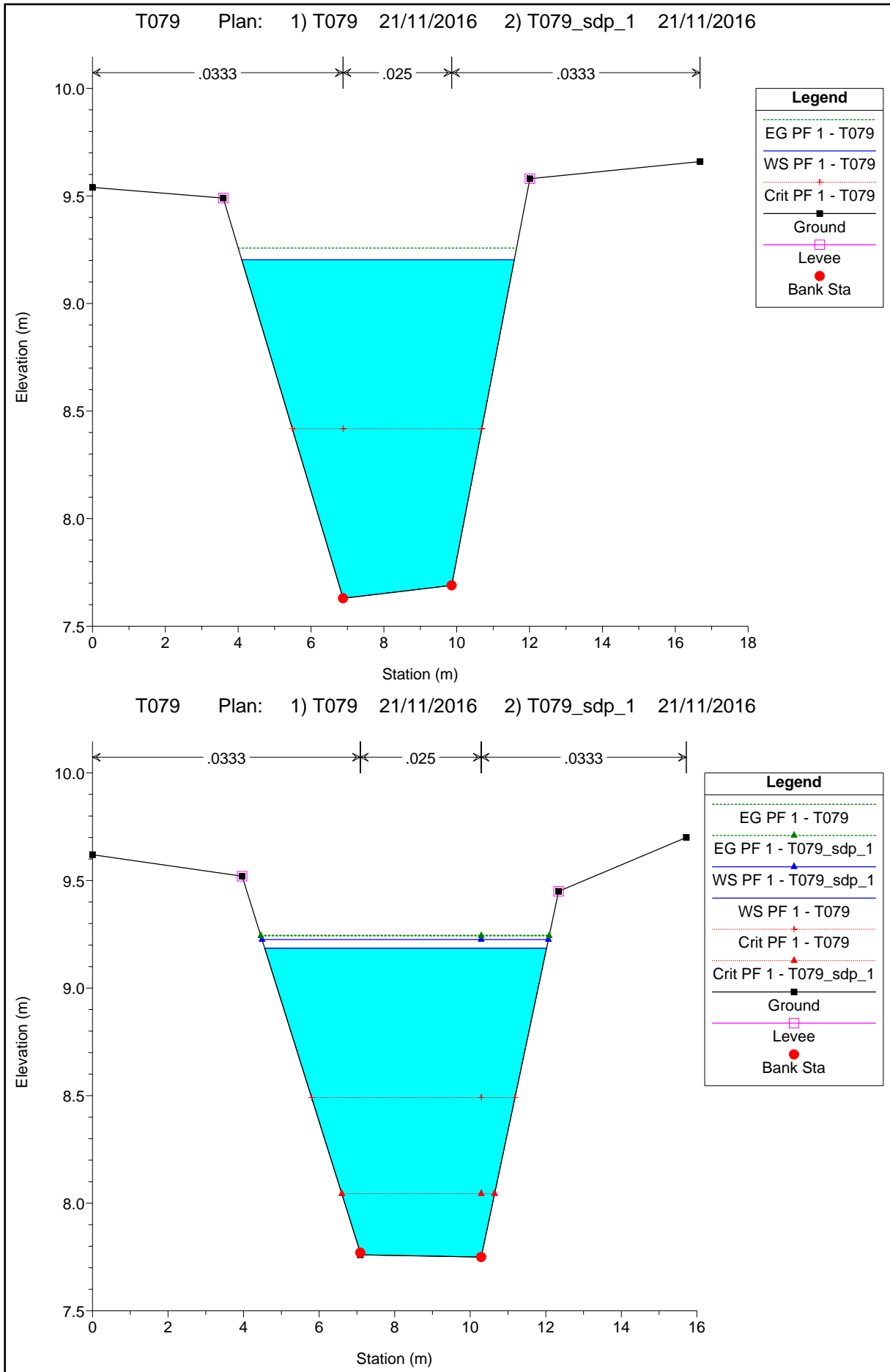


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

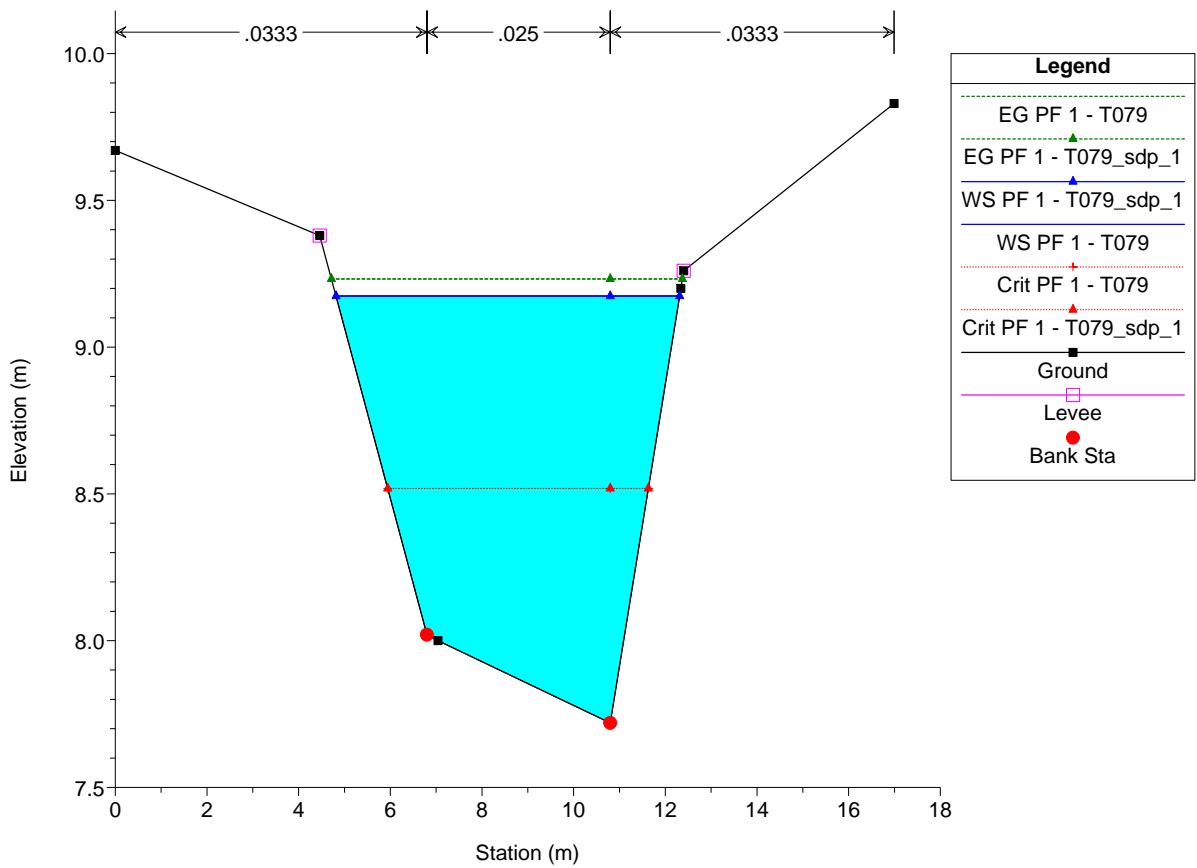


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

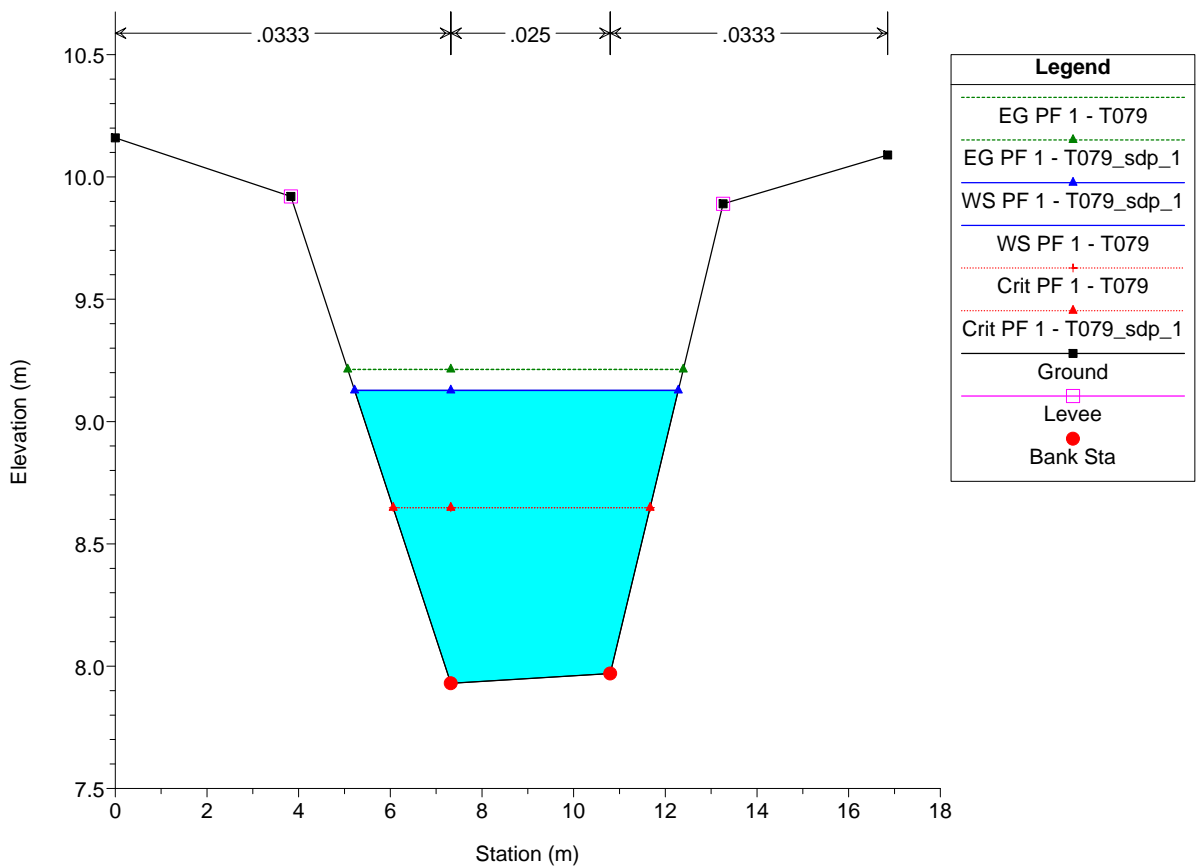


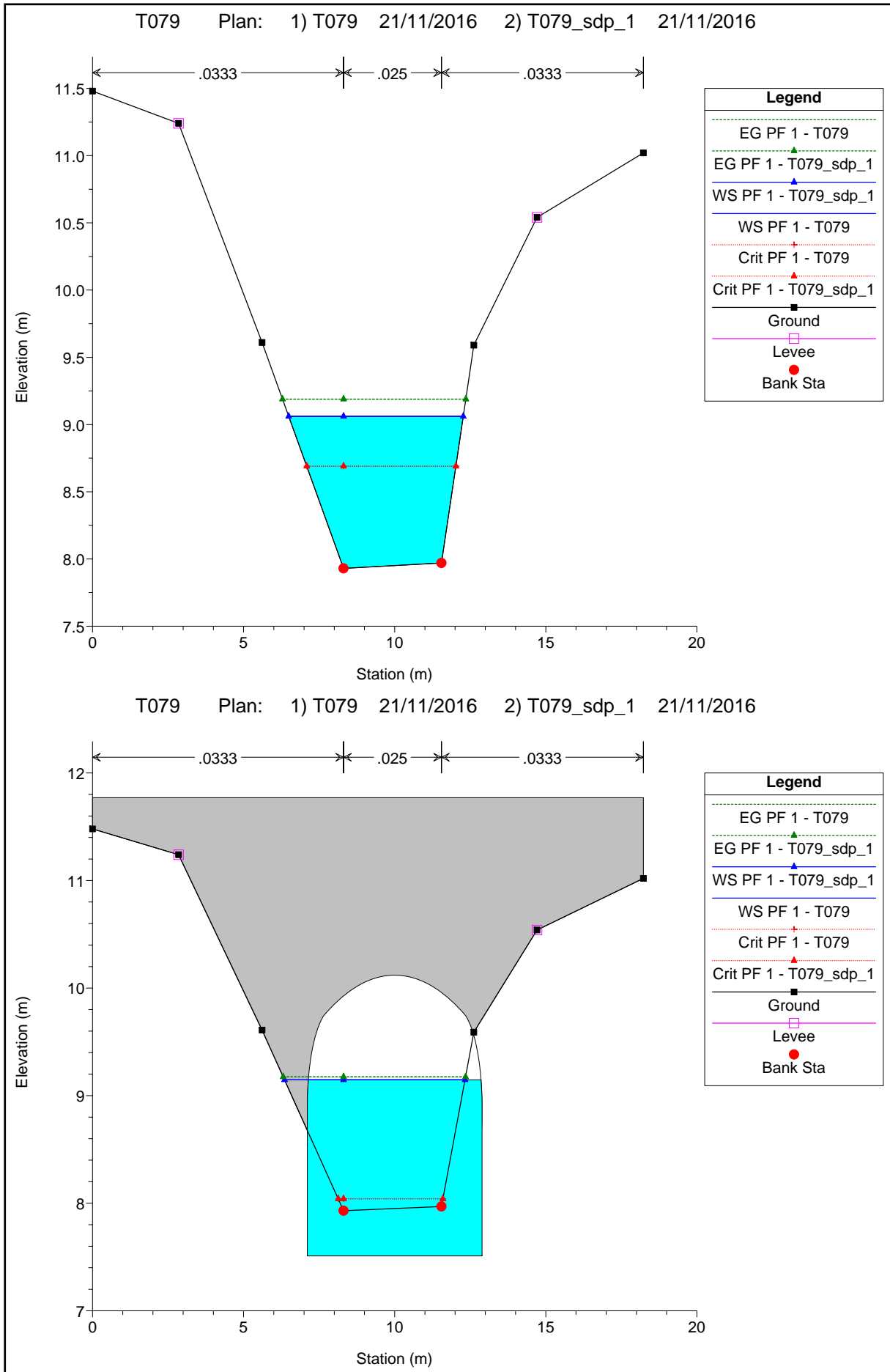


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

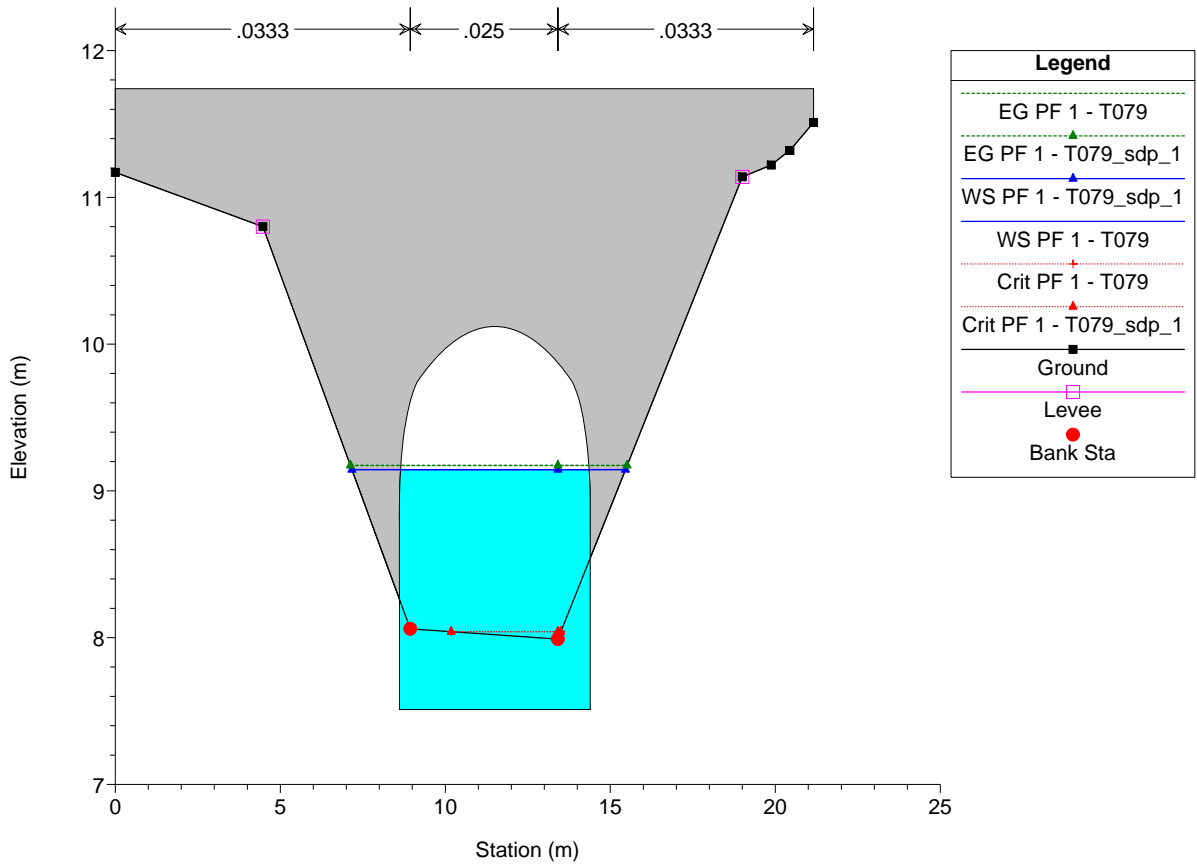


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

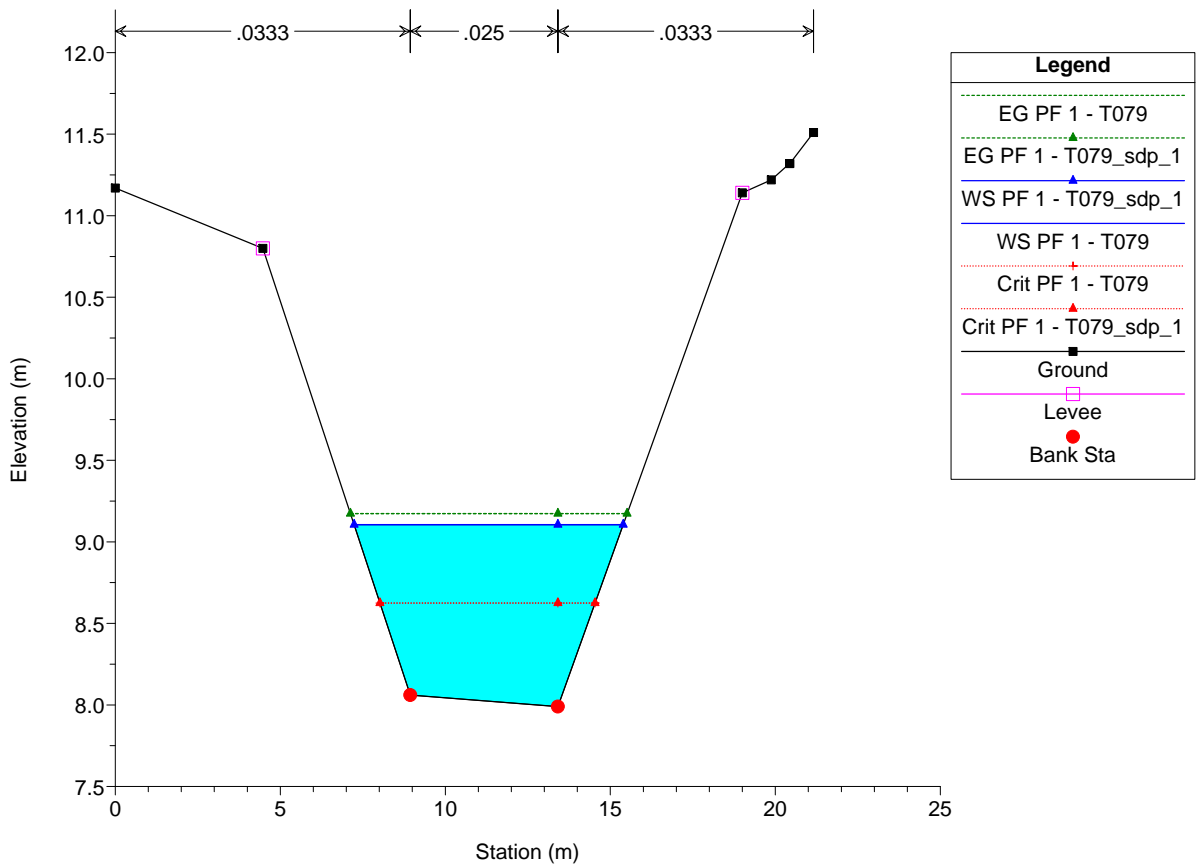




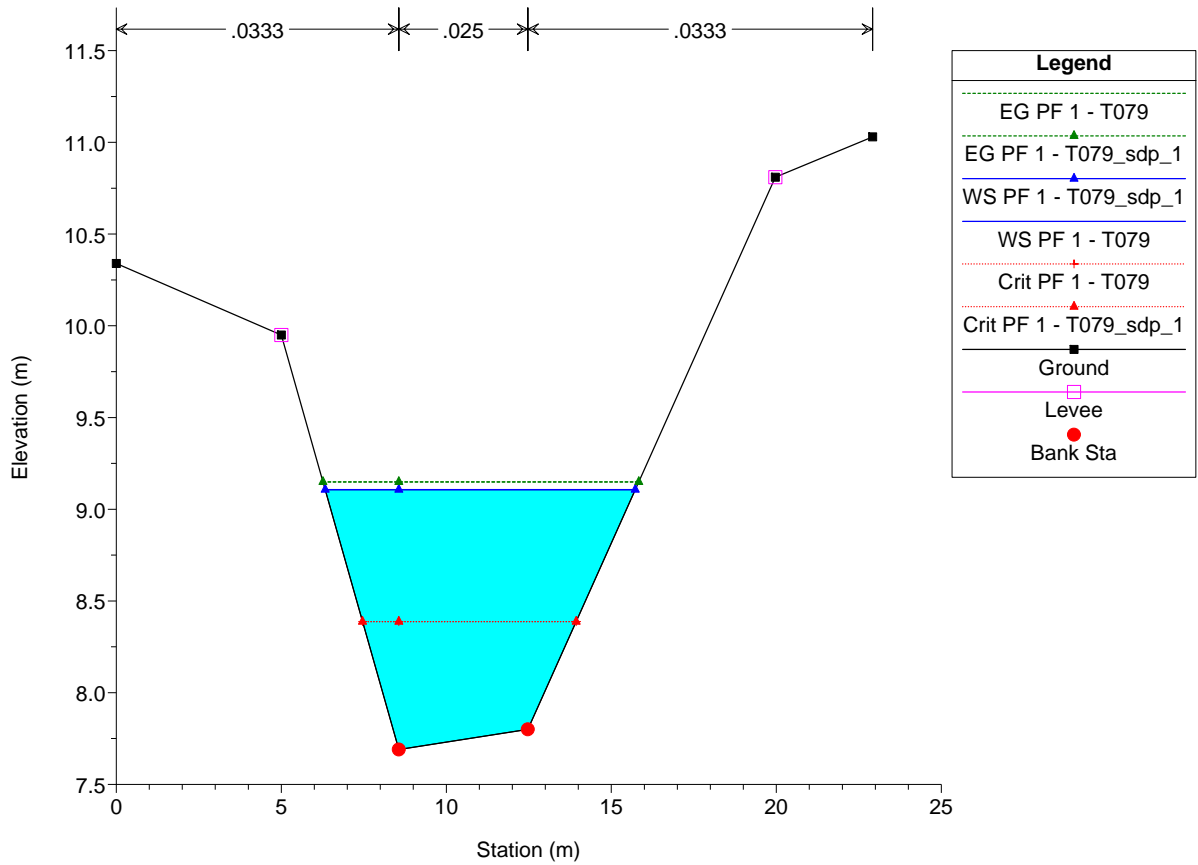
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



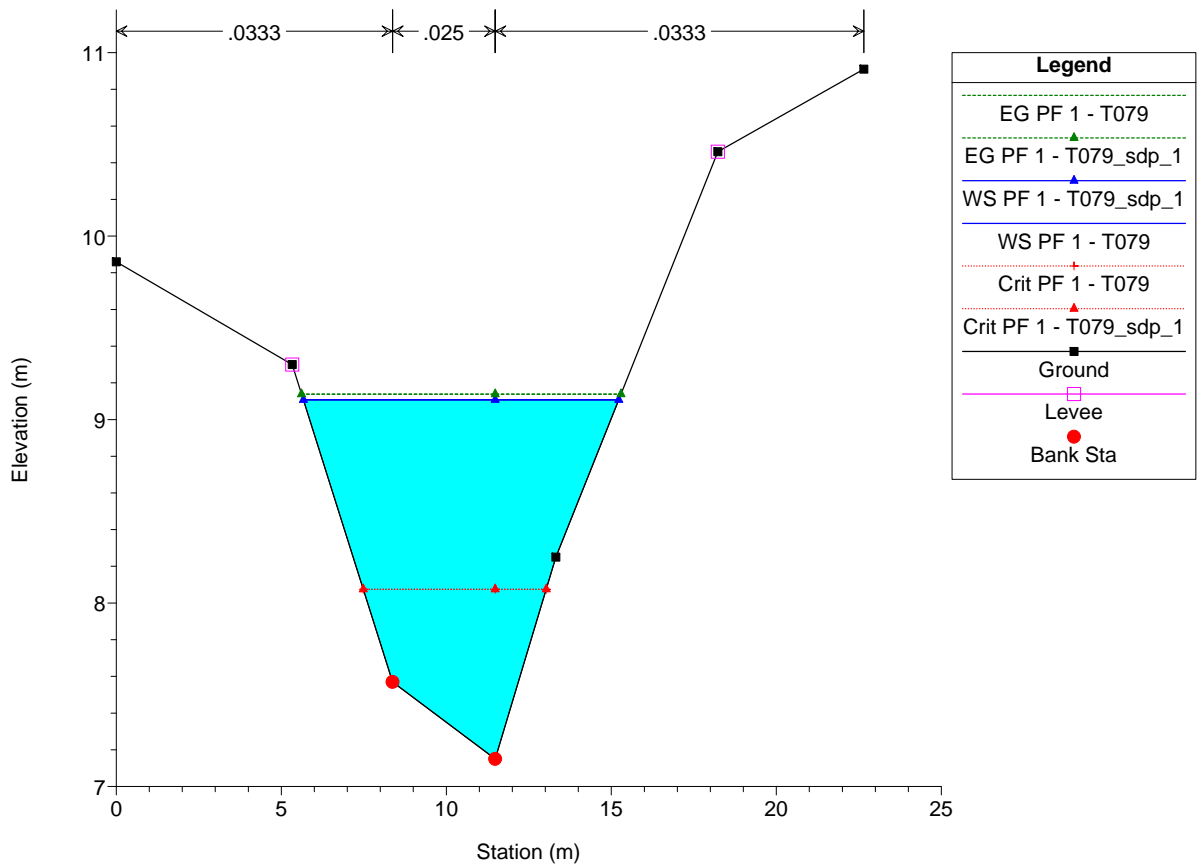
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



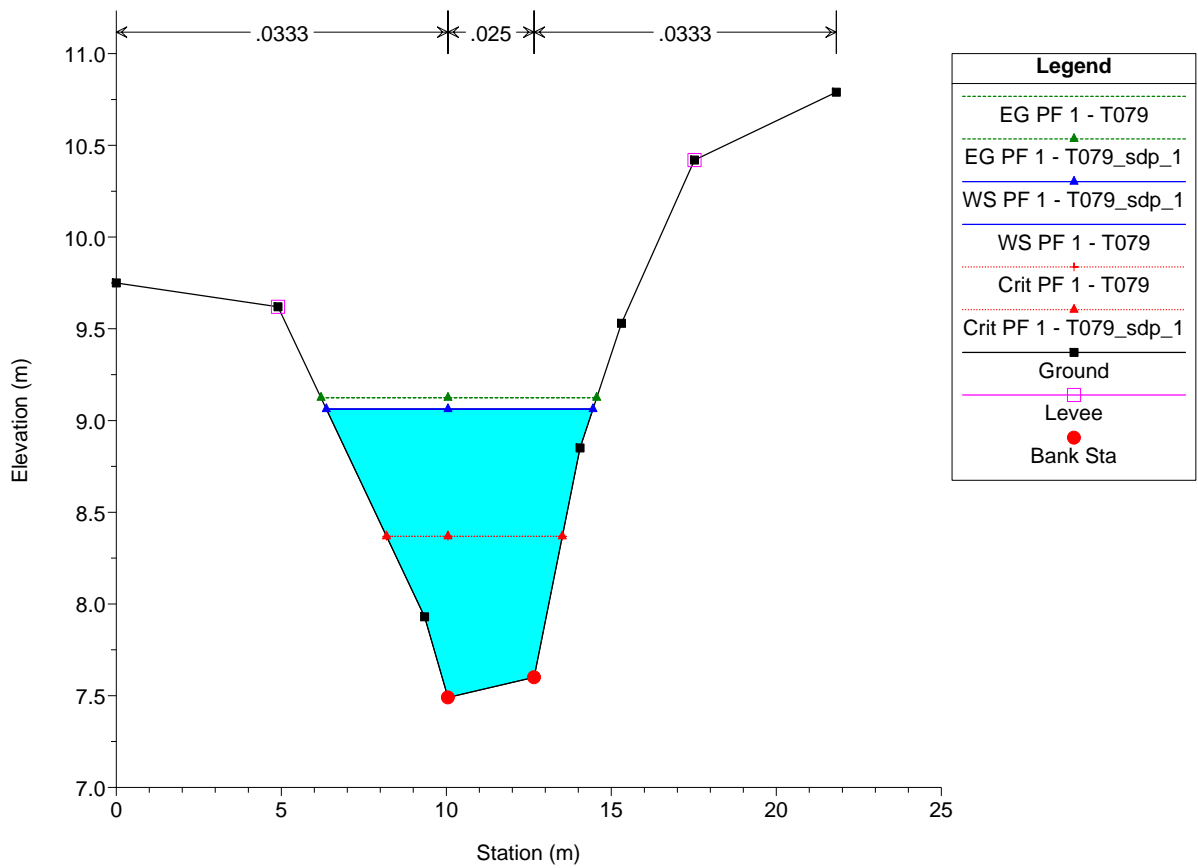
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



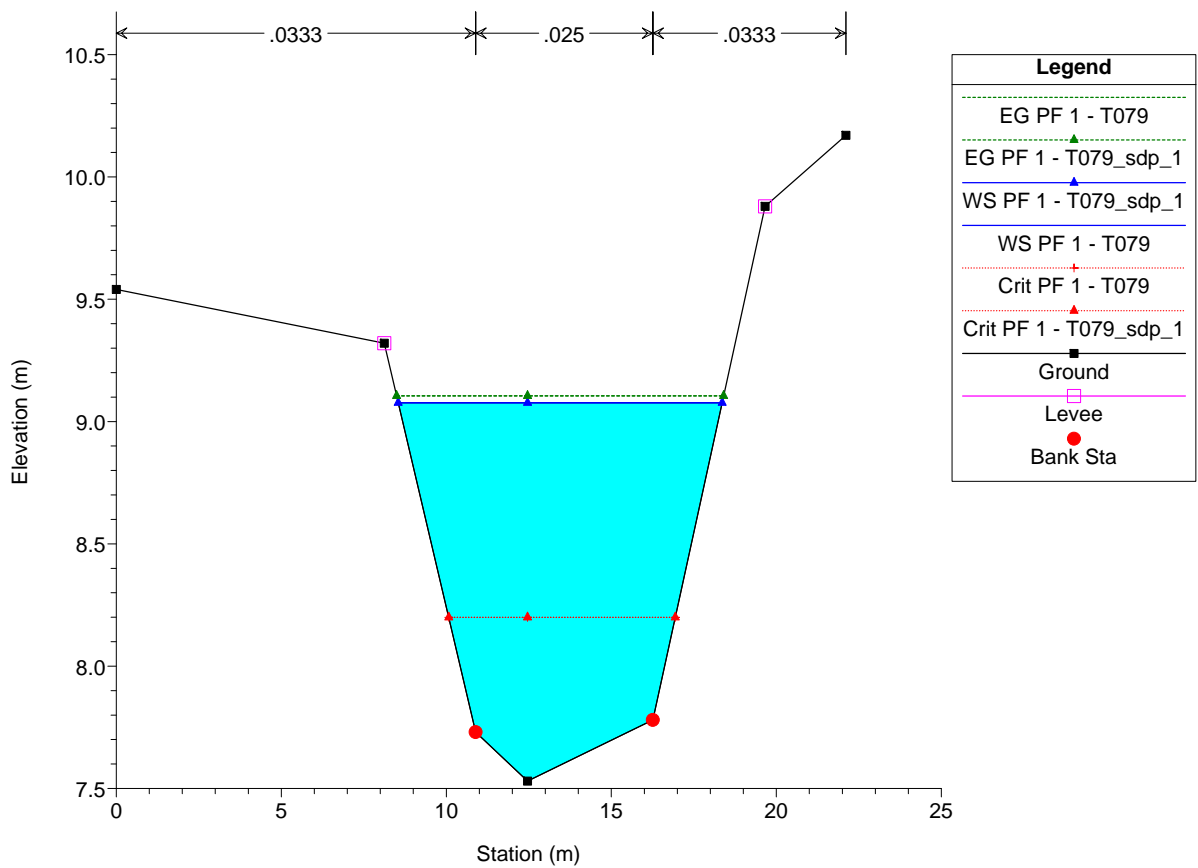
T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016



T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

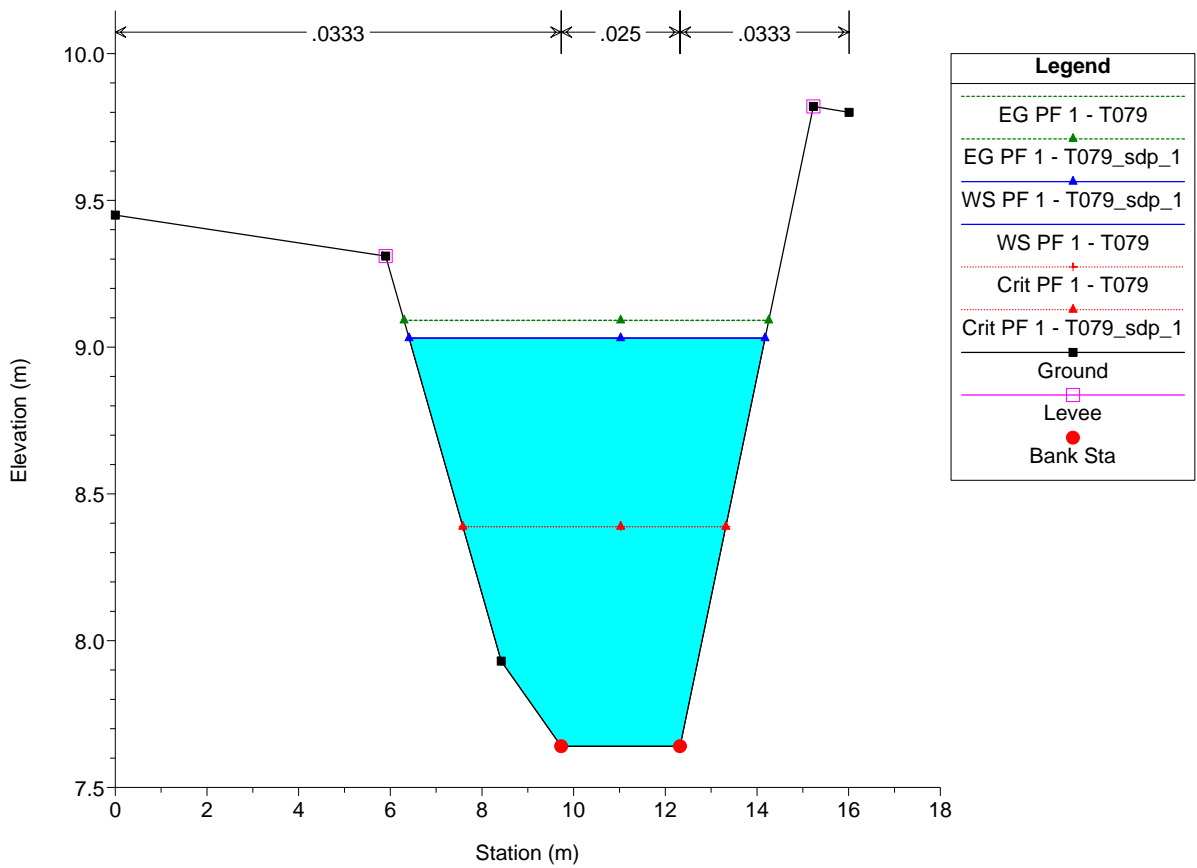


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

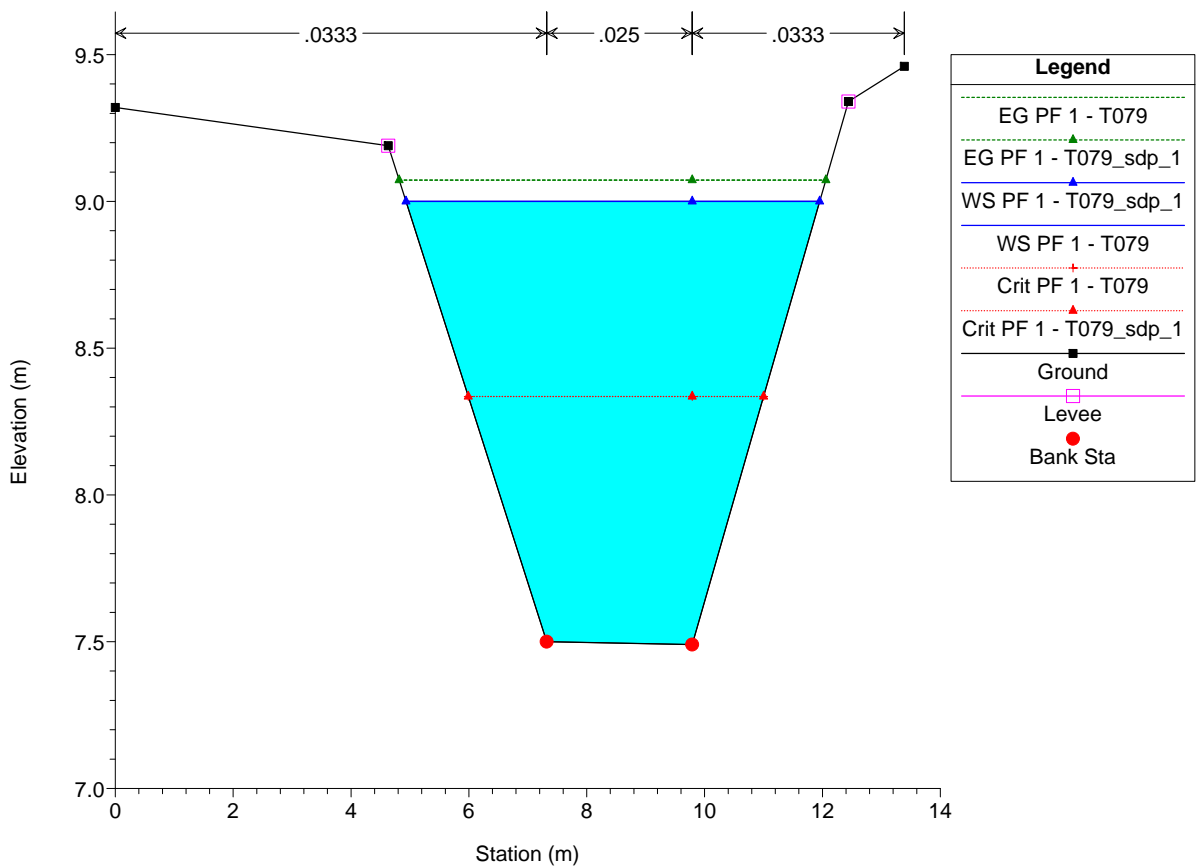




T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

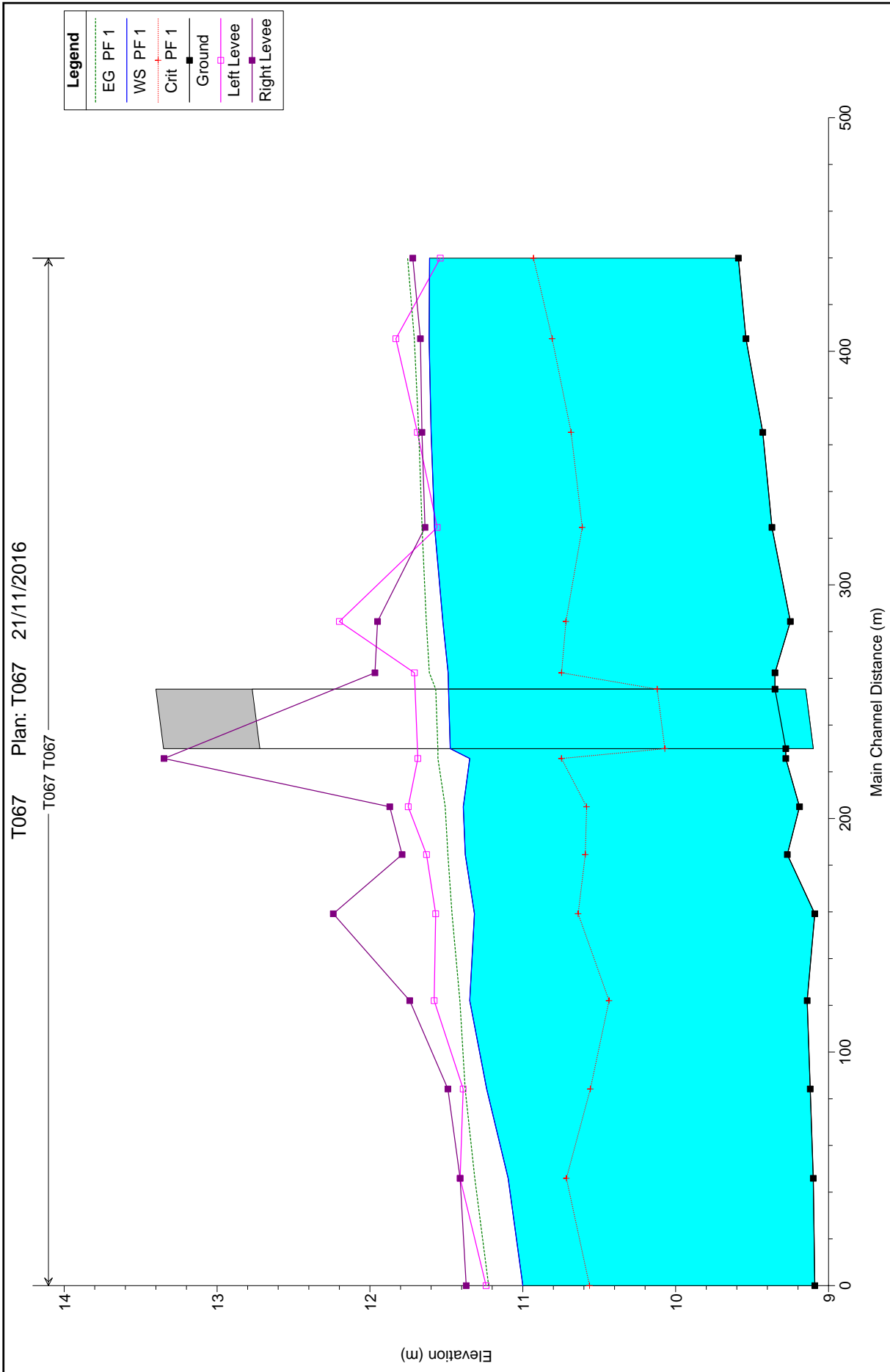


T079 Plan: 1) T079 21/11/2016 2) T079\_sdp\_1 21/11/2016

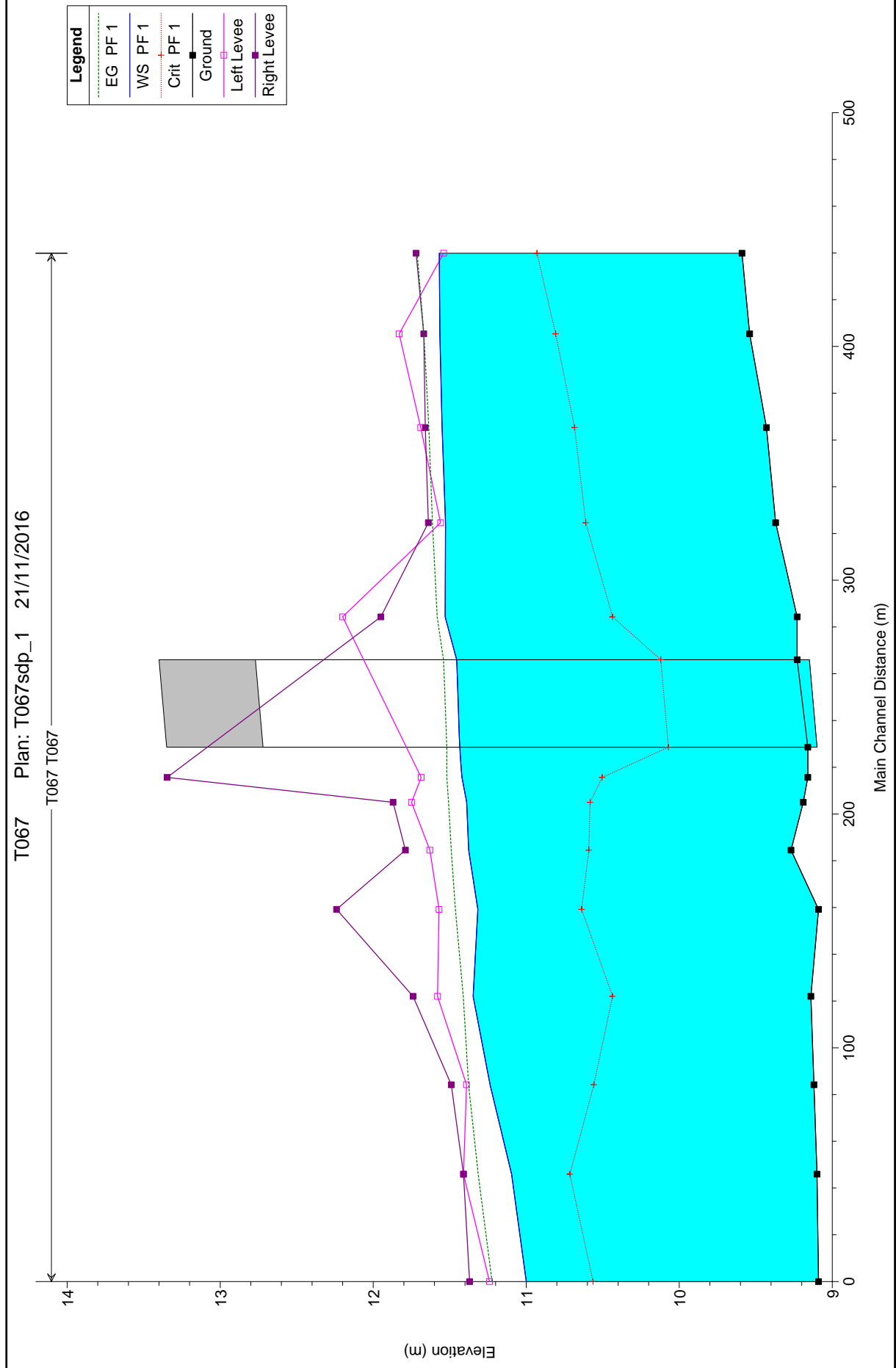


### 1.3.6 Fossa Quadra 14+411

# Fossa Quadra 14+411: modellazione idraulica dello stato di fatto - profilo



# Fossa Quadra 14+411: modellazione idraulica dello stato di progetto - profilo



# Fossa Quadra 14+411: modellazione idraulica dello stato di fatto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T067\_sdp\_1 River: T067 Reach: T067 Profile: PF 1

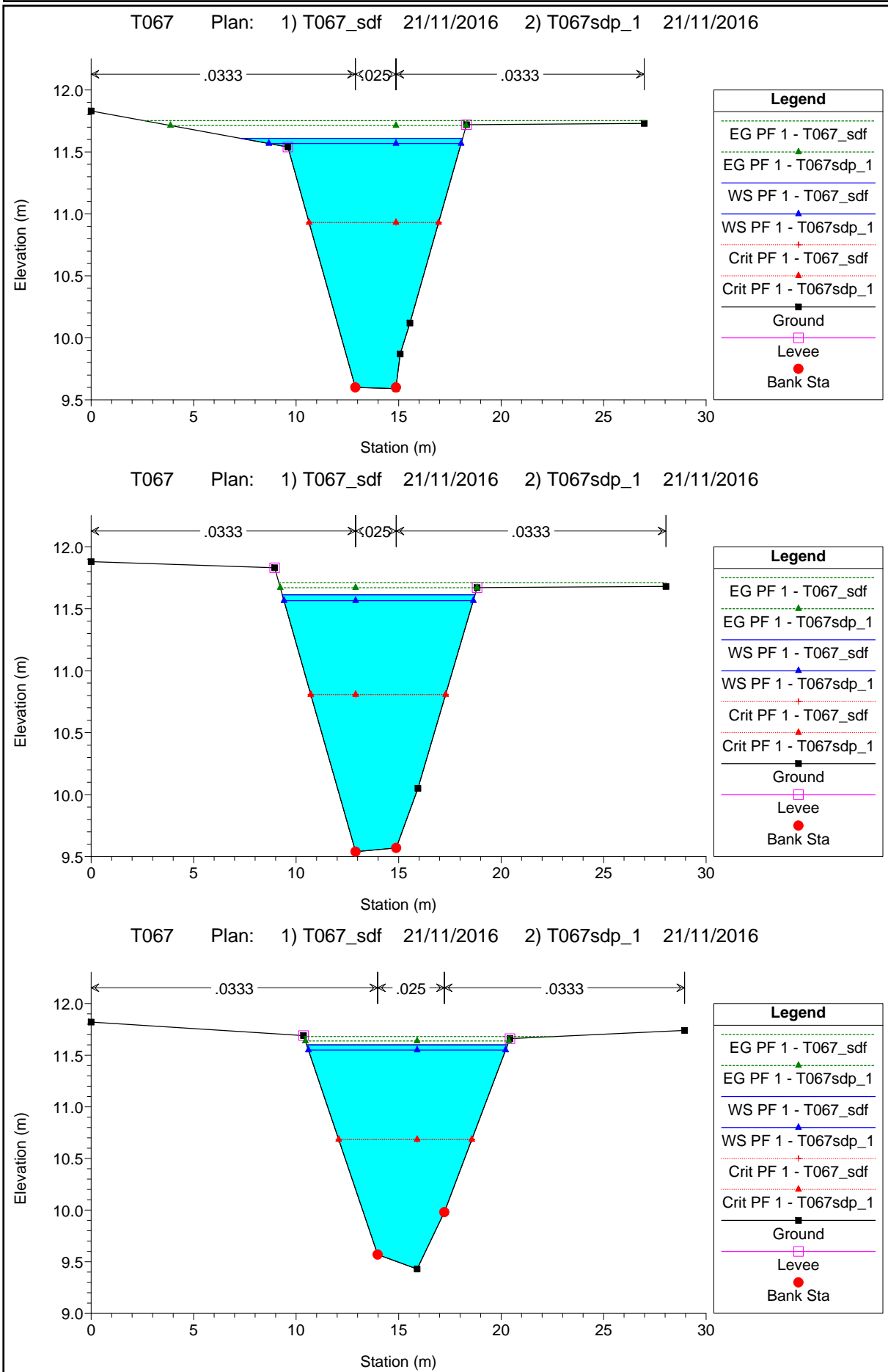
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T067	440.4765	PF 1	13.00	9.59	11.61	10.93	11.75	0.001029	2.04	10.56	10.83	0.46
T067	405.9862	PF 1	13.00	9.54	11.61	10.81	11.71	0.000719	1.73	11.87	9.40	0.39
T067	365.9263	PF 1	13.00	9.43	11.60	10.68	11.68	0.000529	1.43	12.57	9.80	0.32
T067	325.1918	PF 1	13.00	9.37	11.58	10.61	11.66	0.000519	1.47	12.84	10.21	0.32
T067	284.9591	PF 1	13.00	9.25	11.52	10.72	11.63	0.000764	1.62	10.81	8.89	0.36
T067	263.0021	PF 1	13.00	9.35	11.49	10.75	11.61	0.000906	1.72	10.02	8.34	0.39
T067	256		Culvert									
T067	226.2953	PF 1	13.00	9.28	11.35	10.75	11.56	0.001328	2.35	8.33	6.60	0.52
T067	205.6477	PF 1	13.00	9.19	11.39	10.58	11.51	0.000792	1.87	10.92	8.23	0.41
T067	185.1754	PF 1	13.00	9.27	11.38	10.59	11.49	0.000778	1.82	11.05	8.59	0.40
T067	159.8089	PF 1	13.00	9.09	11.32	10.64	11.46	0.001081	2.22	9.98	7.76	0.48
T067	122.6112	PF 1	13.00	9.14	11.35	10.44	11.41	0.000518	1.53	14.63	11.81	0.33
T067	84.81741	PF 1	13.00	9.12	11.24	10.56	11.38	0.001033	2.08	10.13	8.34	0.46
T067	46.56351	PF 1	13.00	9.10	11.10	10.71	11.31	0.002133	2.90	8.13	7.39	0.66
T067	0.609069	PF 1	13.00	9.09	11.00	10.56	11.22	0.001821	2.62	8.21	7.75	0.61

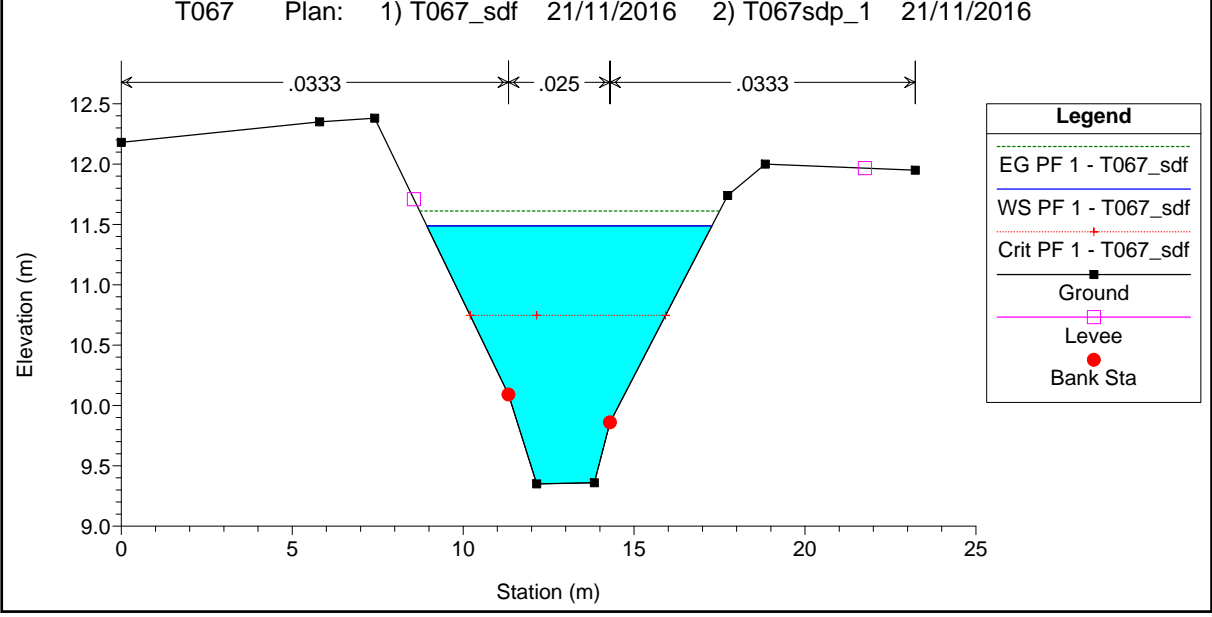
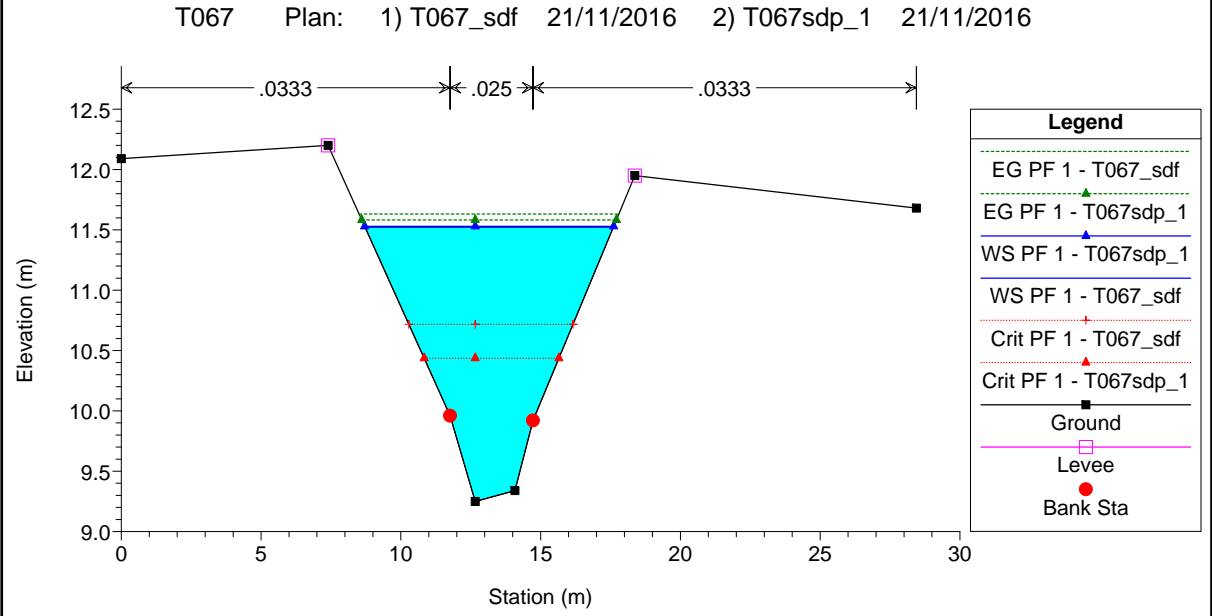
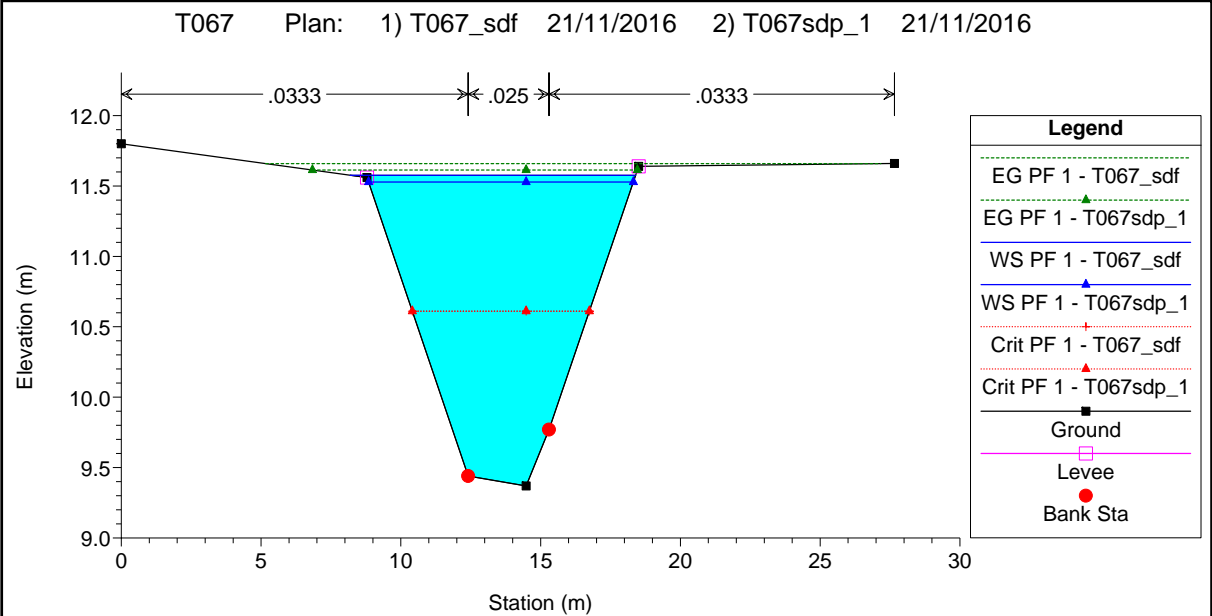
# Fossa Quadra 14+411: modellazione idraulica dello stato di progetto - dati sezioni

HEC-RAS Plan: T067sdp\_1 River: T067 Reach: T067 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T067	440.4765	PF 1	13.00	9.59	11.57	10.93	11.71	0.001071	2.05	10.14	9.38	0.47
T067	405.9862	PF 1	13.00	9.54	11.56	10.81	11.67	0.000794	1.79	11.42	9.24	0.40
T067	365.9263	PF 1	13.00	9.43	11.55	10.68	11.64	0.000585	1.48	12.08	9.62	0.34
T067	325.1918	PF 1	13.00	9.37	11.53	10.61	11.61	0.000553	1.50	12.37	9.47	0.33
T067	284.9591	PF 1	13.00	9.23	11.53	10.44	11.58	0.000500	1.02	12.78	9.20	0.28
T067	256		Culvert									
T067	216.2953	PF 1	13.00	9.16	11.42	10.50	11.52	0.001093	1.39	9.34	6.83	0.38
T067	205.6477	PF 1	13.00	9.19	11.39	10.58	11.51	0.000792	1.87	10.92	8.23	0.41
T067	185.1754	PF 1	13.00	9.27	11.38	10.59	11.49	0.000778	1.82	11.05	8.59	0.40
T067	159.8089	PF 1	13.00	9.09	11.32	10.64	11.46	0.001081	2.22	9.98	7.76	0.48
T067	122.6112	PF 1	13.00	9.14	11.35	10.44	11.41	0.000518	1.53	14.63	11.81	0.33
T067	84.81741	PF 1	13.00	9.12	11.24	10.56	11.38	0.001033	2.08	10.13	8.34	0.46
T067	46.56351	PF 1	13.00	9.10	11.10	10.71	11.31	0.002133	2.90	8.13	7.39	0.66
T067	0.609069	PF 1	13.00	9.09	11.00	10.56	11.22	0.001821	2.62	8.21	7.75	0.61

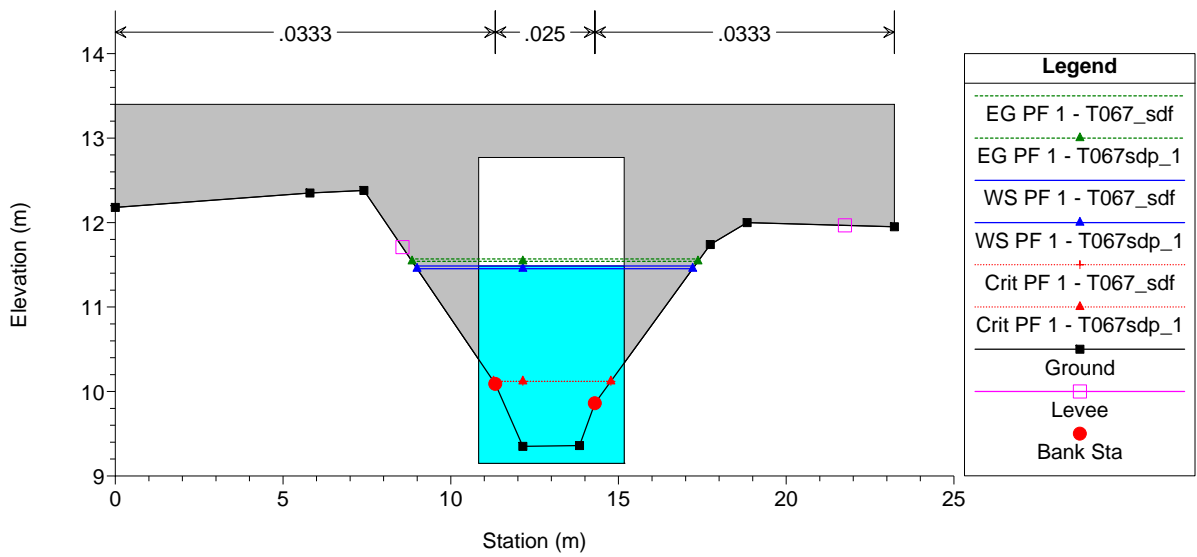
# Fossa Quadra 14+411: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni



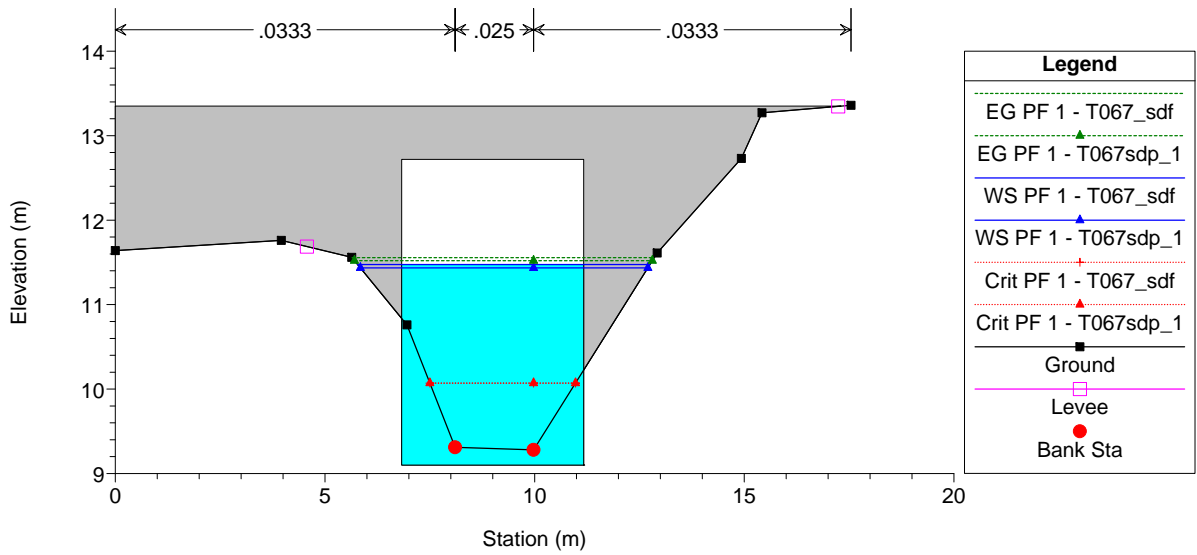




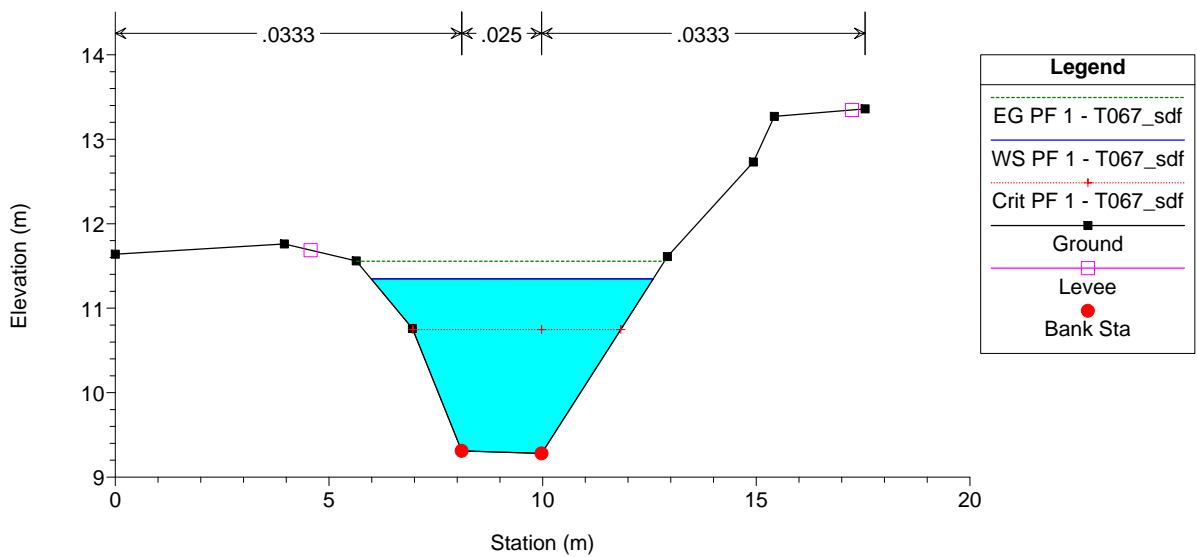
T067 Plan: 1) T067\_sdf 21/11/2016 2) T067sdp\_1 21/11/2016



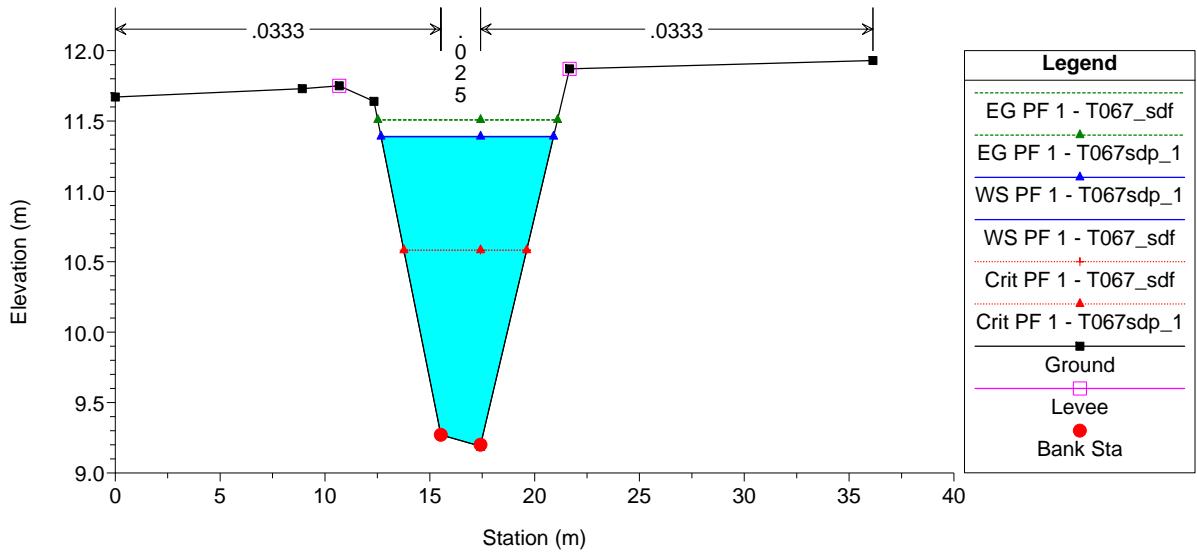
T067 Plan: 1) T067\_sdf 21/11/2016 2) T067sdp\_1 21/11/2016



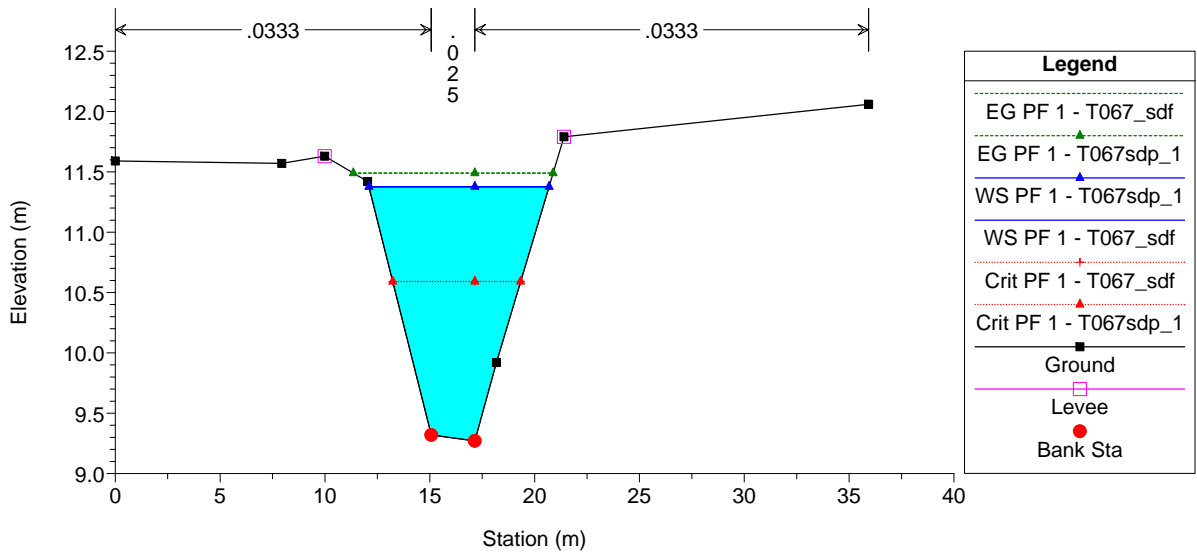
T067 Plan: 1) T067\_sdf 21/11/2016 2) T067sdp\_1 21/11/2016



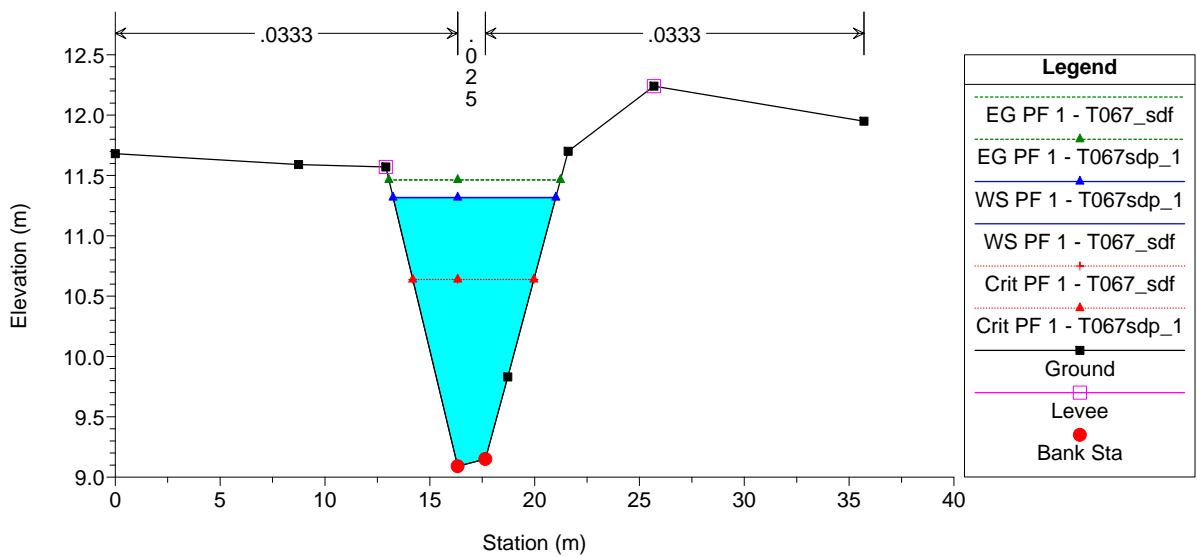
T067 Plan: 1) T067\_sdf 21/11/2016 2) T067sdp\_1 21/11/2016

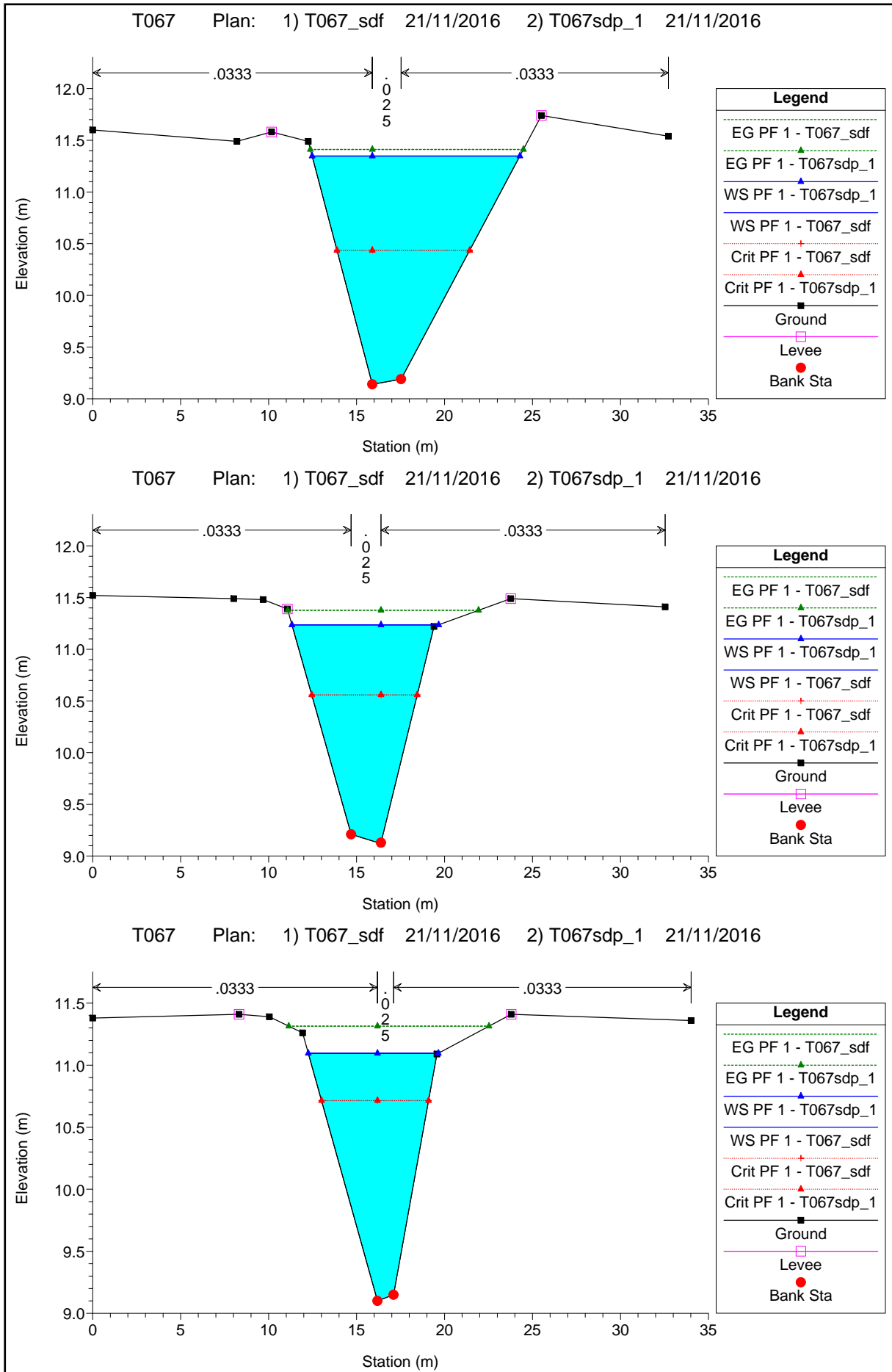


T067 Plan: 1) T067\_sdf 21/11/2016 2) T067sdp\_1 21/11/2016

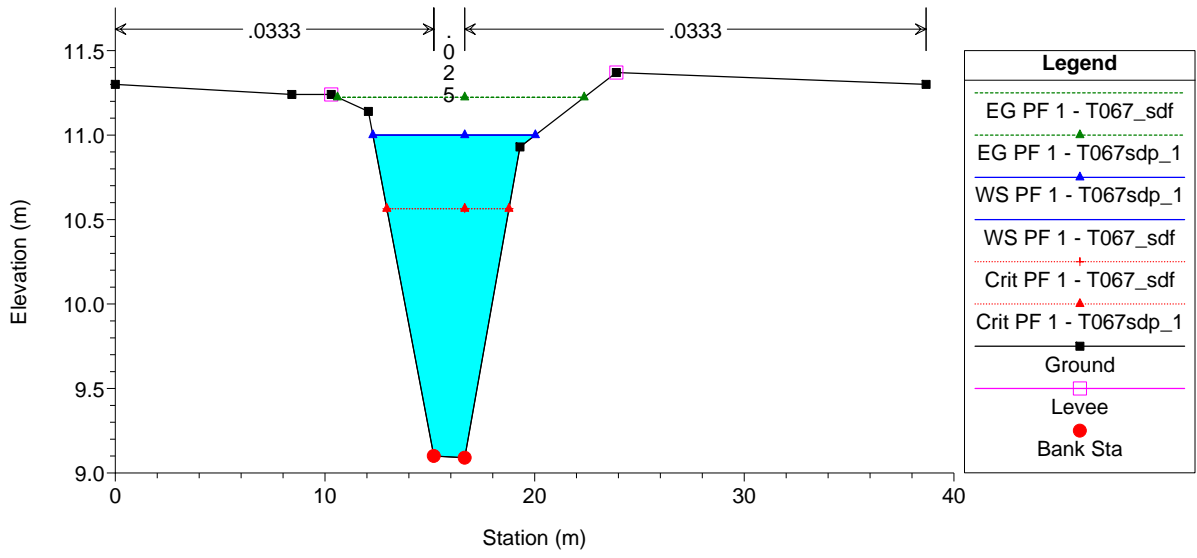


T067 Plan: 1) T067\_sdf 21/11/2016 2) T067sdp\_1 21/11/2016





T067 Plan: 1) T067\_sdf 21/11/2016 2) T067sdp\_1 21/11/2016

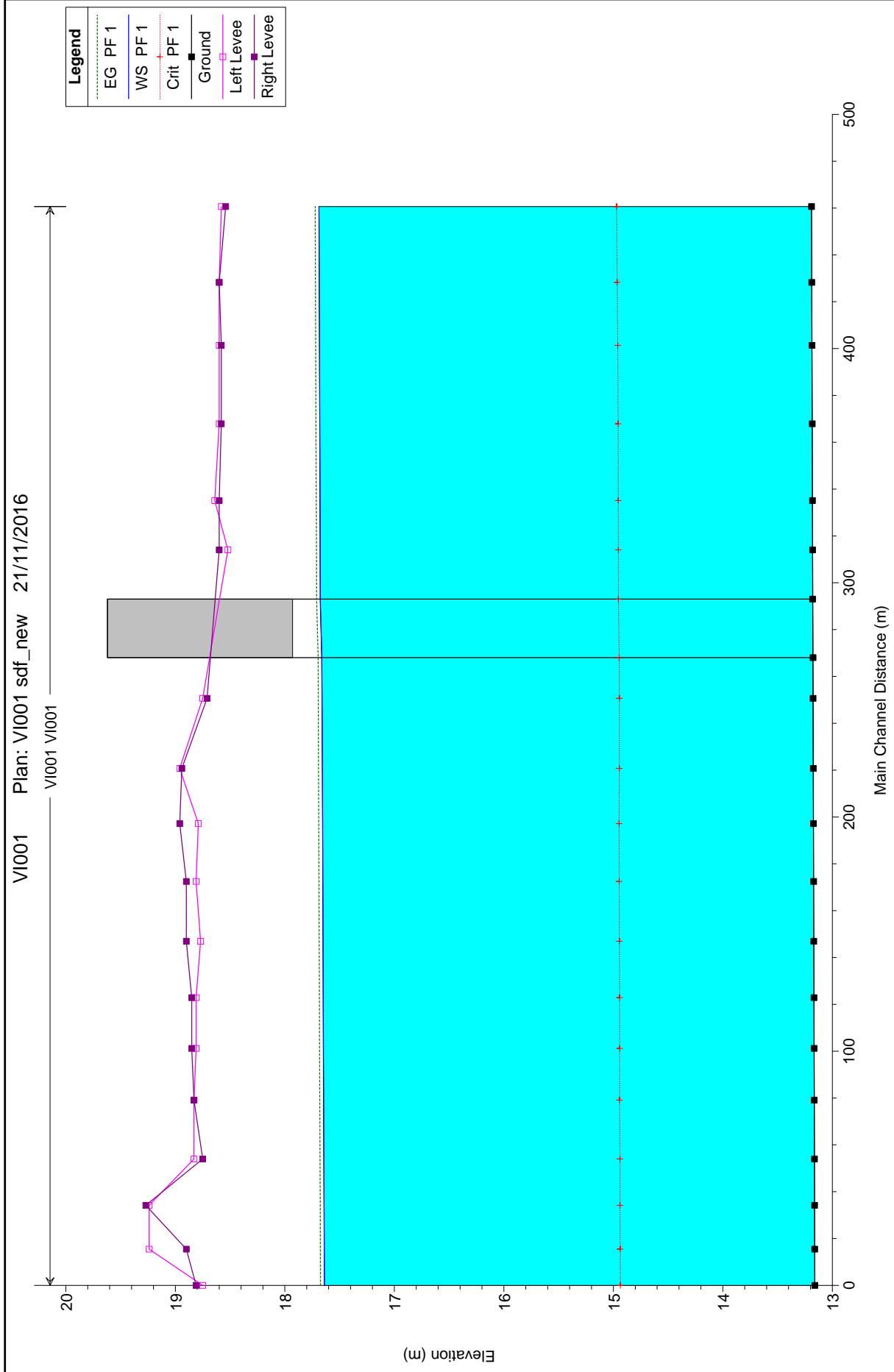


## 1.4 ALLEGATO 4: Corsi d'acqua di competenza del Consorzio Emiliano Romagnolo

---

### 1.4.1 Canale Emiliano Romagnolo

# Canale Emiliano Romagnolo: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - profilo

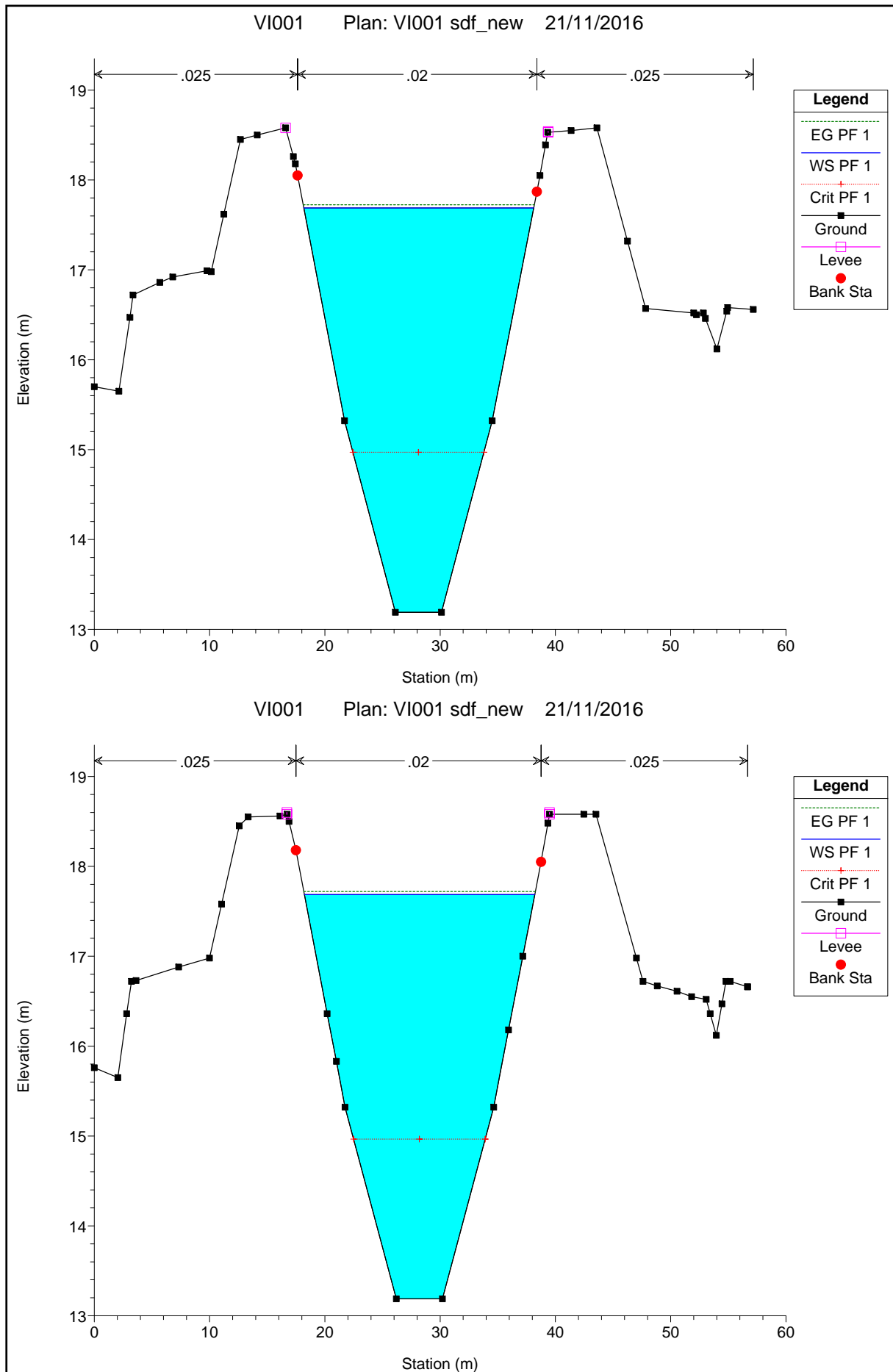


# Canale Emiliano Romagnolo: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - dati sezioni

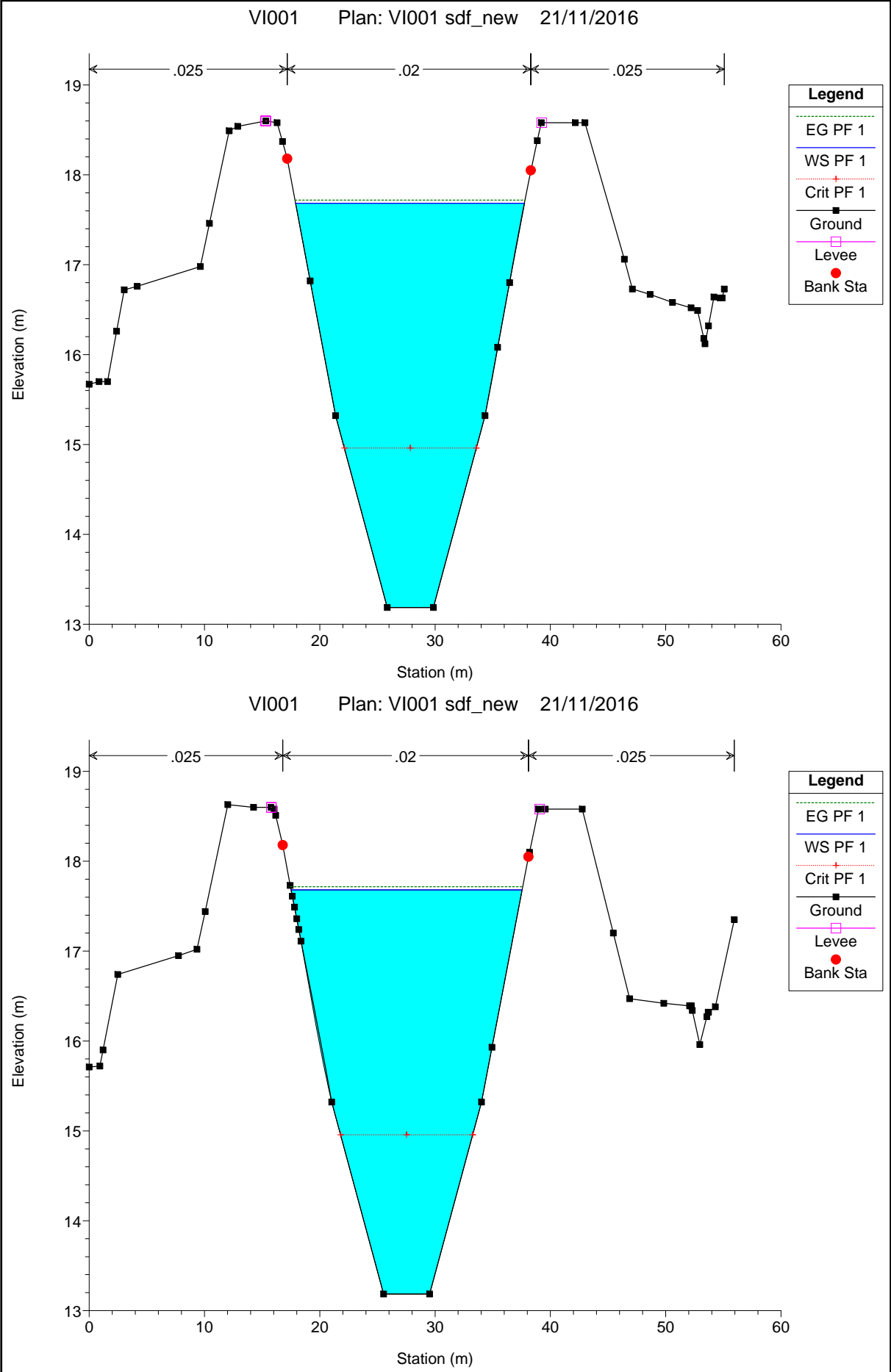
HEC-RAS Plan: VI001 sdf\_1 River: VI001 Reach: VI001 Profile: PF 1

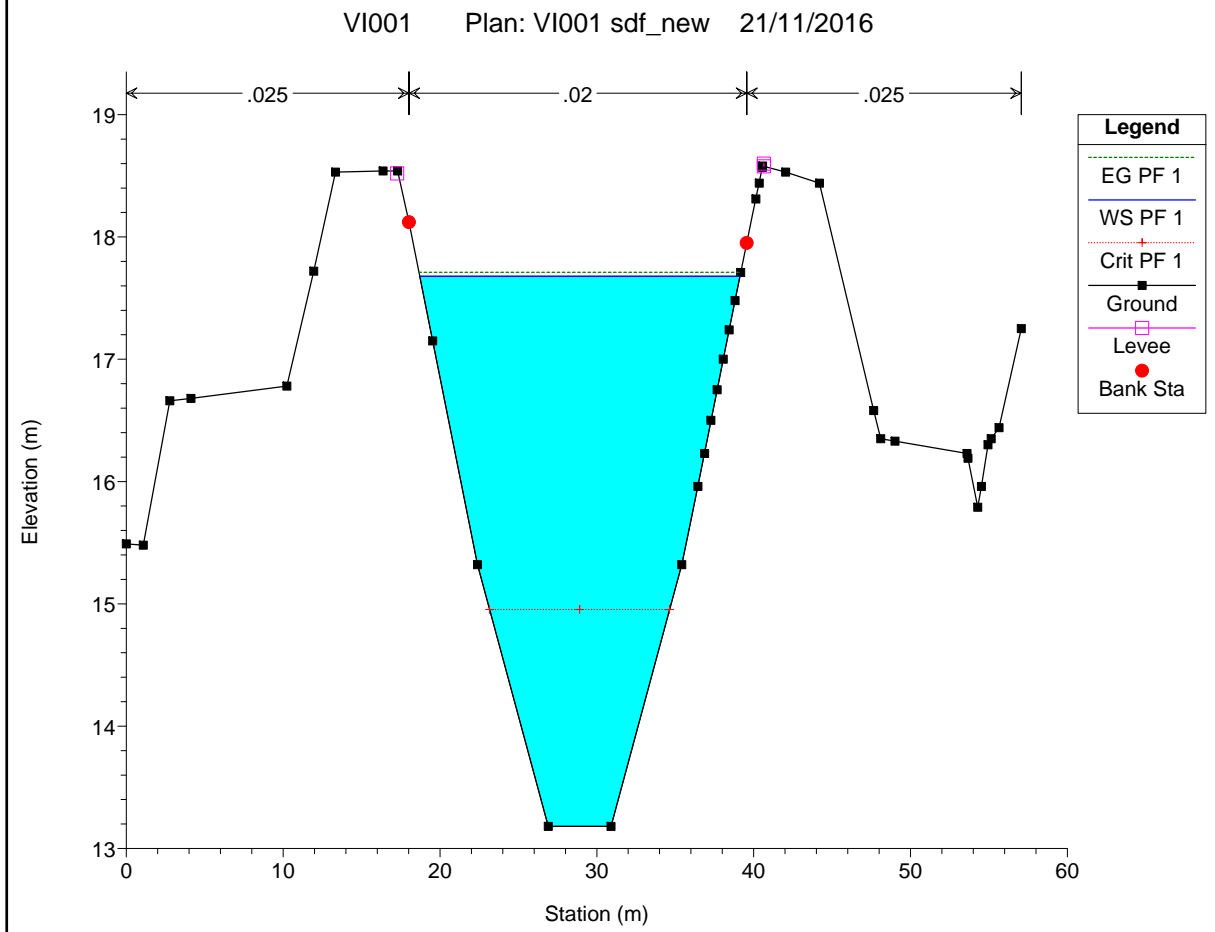
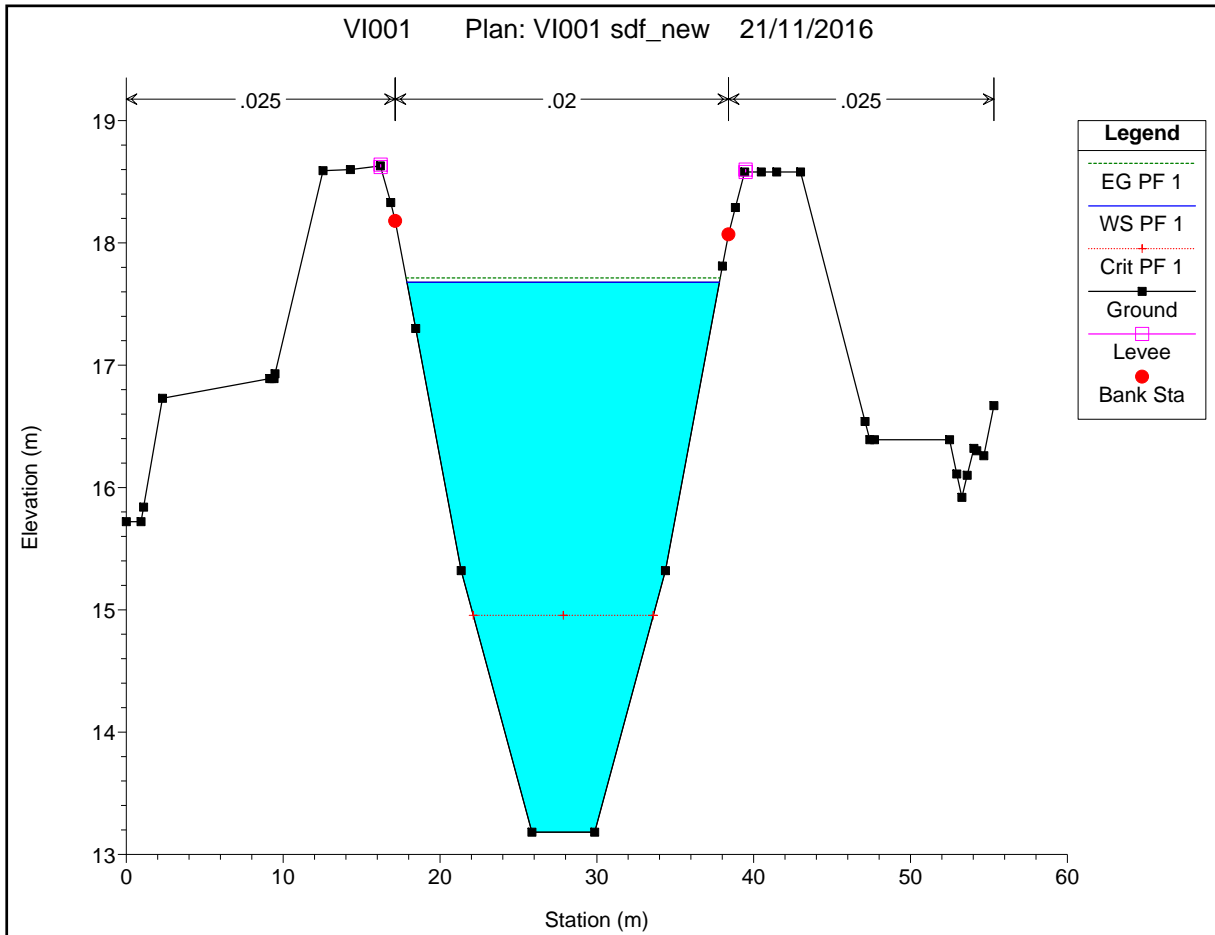
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
VI001	462.2942	PF 1	47.00	13.19	17.69	14.97	17.72	0.000079	0.83	56.68	19.94	0.16
VI001	429.9551	PF 1	47.00	13.19	17.69	14.96	17.72	0.000079	0.83	56.90	19.98	0.16
VI001	403.0297	PF 1	47.00	13.19	17.68	14.96	17.72	0.000078	0.83	56.87	19.86	0.16
VI001	369.5854	PF 1	47.00	13.18	17.68	14.96	17.72	0.000078	0.82	57.15	20.04	0.16
VI001	336.795	PF 1	47.00	13.18	17.68	14.96	17.71	0.000078	0.82	57.05	19.93	0.16
VI001	315.7159	PF 1	47.00	13.18	17.68	14.95	17.71	0.000077	0.82	57.65	20.41	0.15
VI001	290		Bridge									
VI001	252.3251	PF 1	47.00	13.18	17.66	14.94	17.69	0.000077	0.82	57.63	20.41	0.15
VI001	222.4159	PF 1	47.00	13.17	17.66	14.95	17.69	0.000079	0.83	56.80	19.87	0.16
VI001	198.8474	PF 1	47.00	13.17	17.66	14.95	17.69	0.000079	0.83	56.67	19.86	0.16
VI001	174.1736	PF 1	47.00	13.17	17.65	14.95	17.69	0.000080	0.83	56.53	19.81	0.16
VI001	148.6347	PF 1	47.00	13.17	17.65	14.94	17.69	0.000079	0.83	56.73	19.98	0.16
VI001	124.5338	PF 1	47.00	13.17	17.65	14.94	17.68	0.000080	0.83	56.60	19.90	0.16
VI001	102.8489	PF 1	47.00	13.17	17.65	14.94	17.68	0.000080	0.83	56.52	19.83	0.16
VI001	80.80399	PF 1	47.00	13.17	17.65	14.94	17.68	0.000080	0.83	56.58	19.91	0.16
VI001	55.66275	PF 1	47.00	13.16	17.64	14.94	17.68	0.000079	0.83	56.92	20.19	0.16
VI001	35.84937	PF 1	47.00	13.16	17.64	14.94	17.68	0.000082	0.83	56.33	20.05	0.16
VI001	17.1435	PF 1	47.00	13.16	17.64	14.94	17.68	0.000080	0.83	56.81	20.16	0.16
VI001	1.664463	PF 1	47.00	13.16	17.64	14.94	17.67	0.000080	0.83	56.44	19.82	0.16

# Canale Emiliano Romagnolo: modellazione idraulica dello stato di fatto e di progetto - sezioni

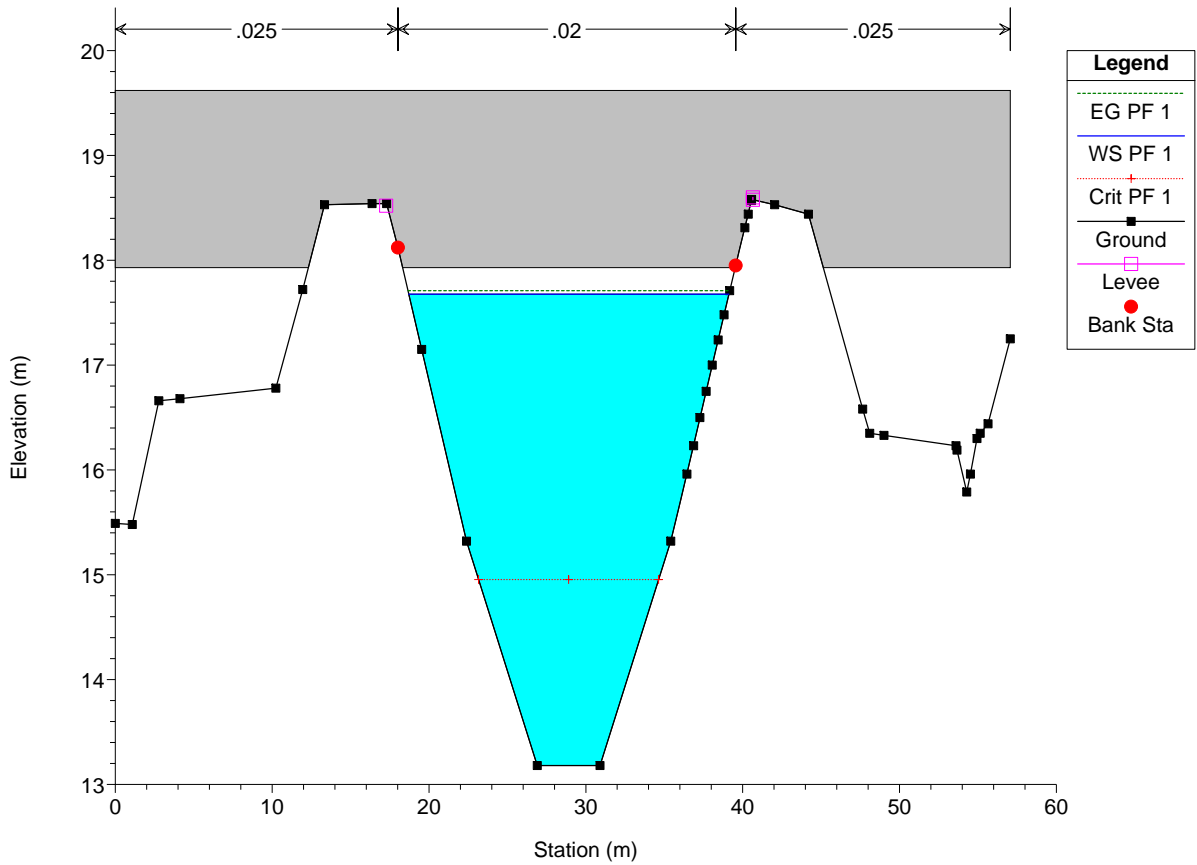




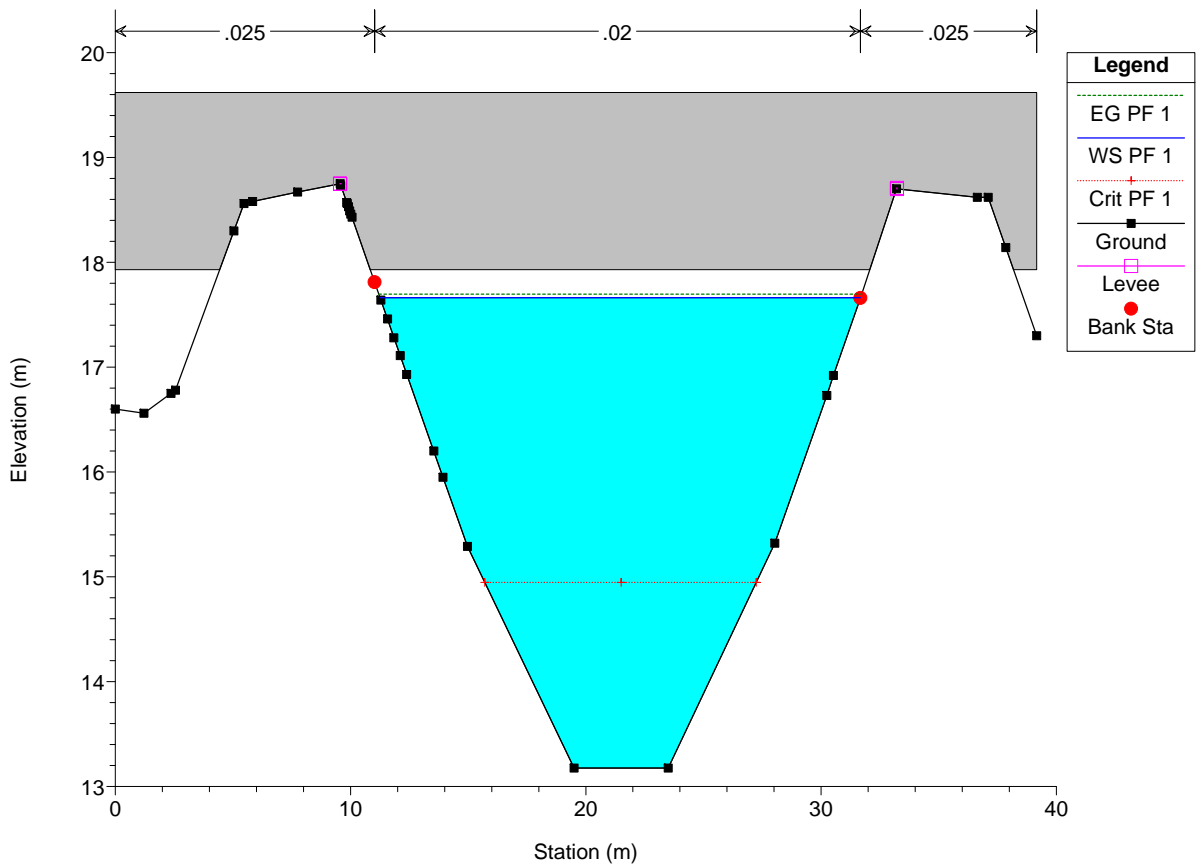


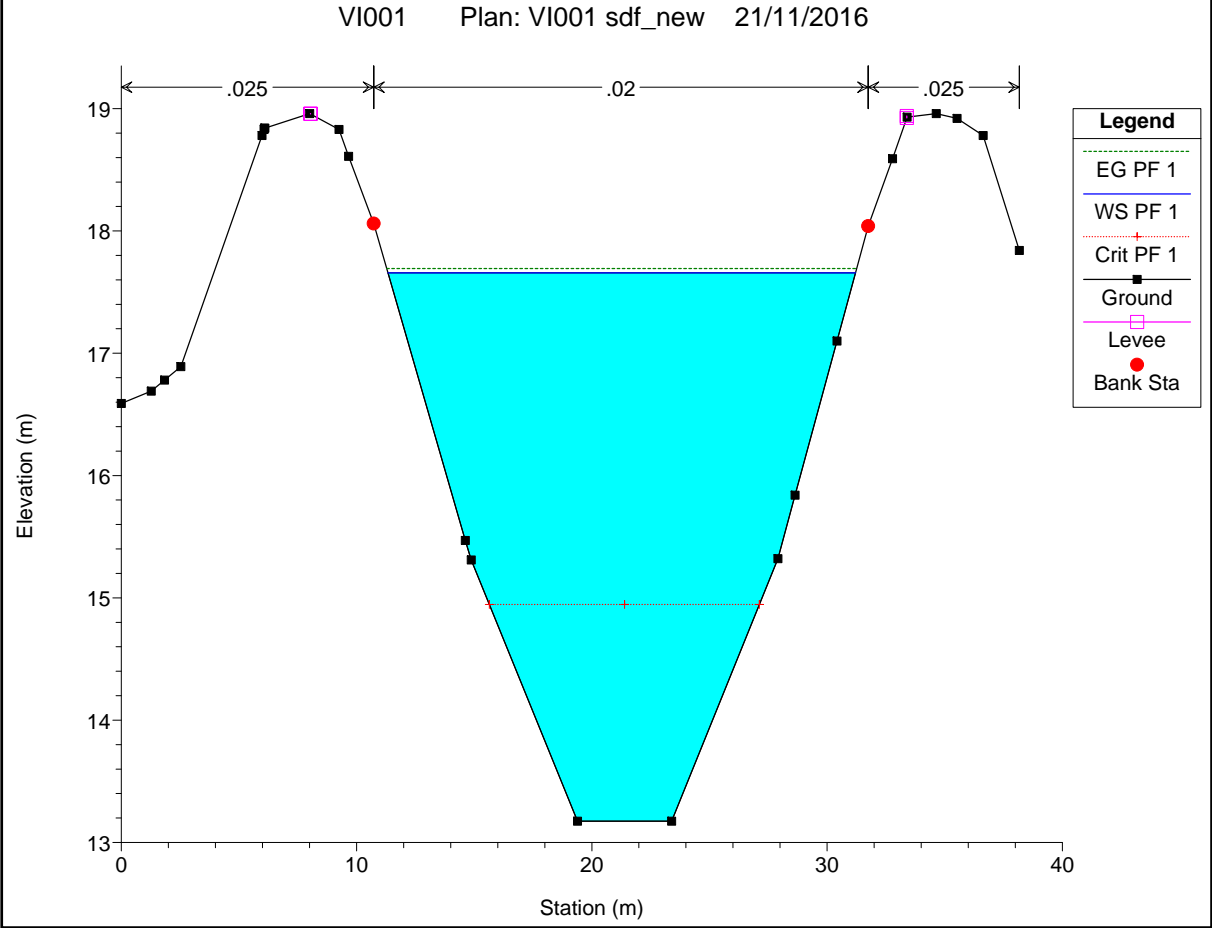
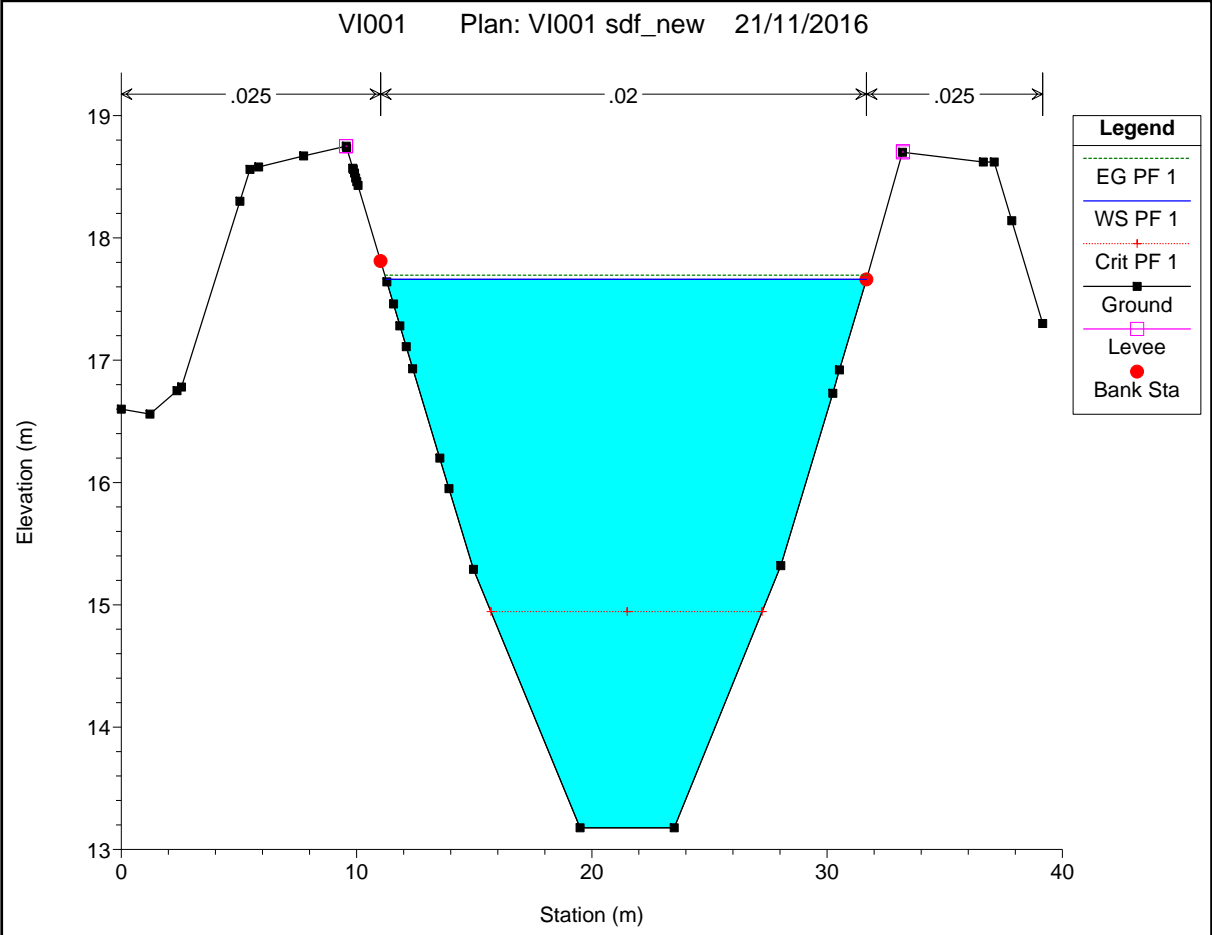


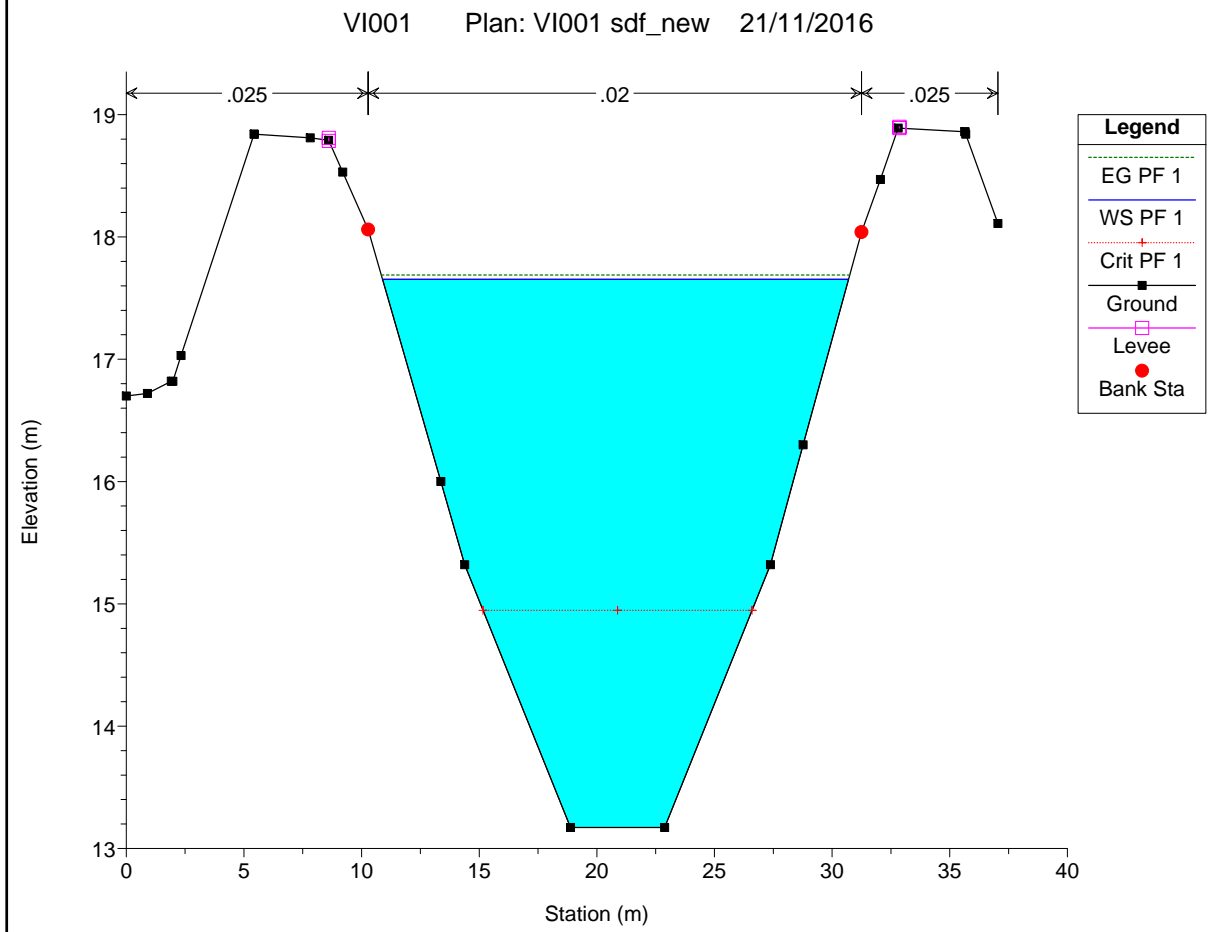
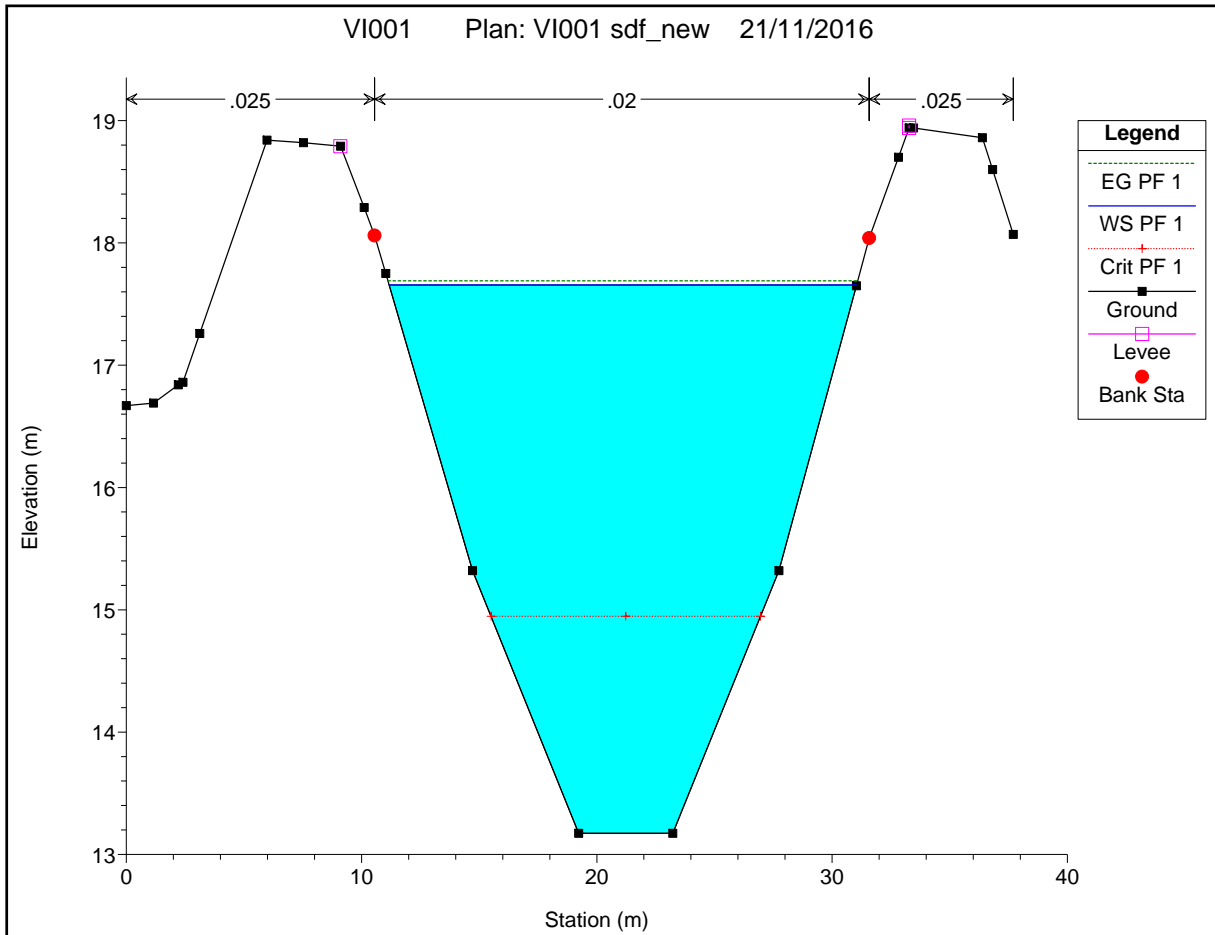
VI001 Plan: VI001 sdf\_new 21/11/2016



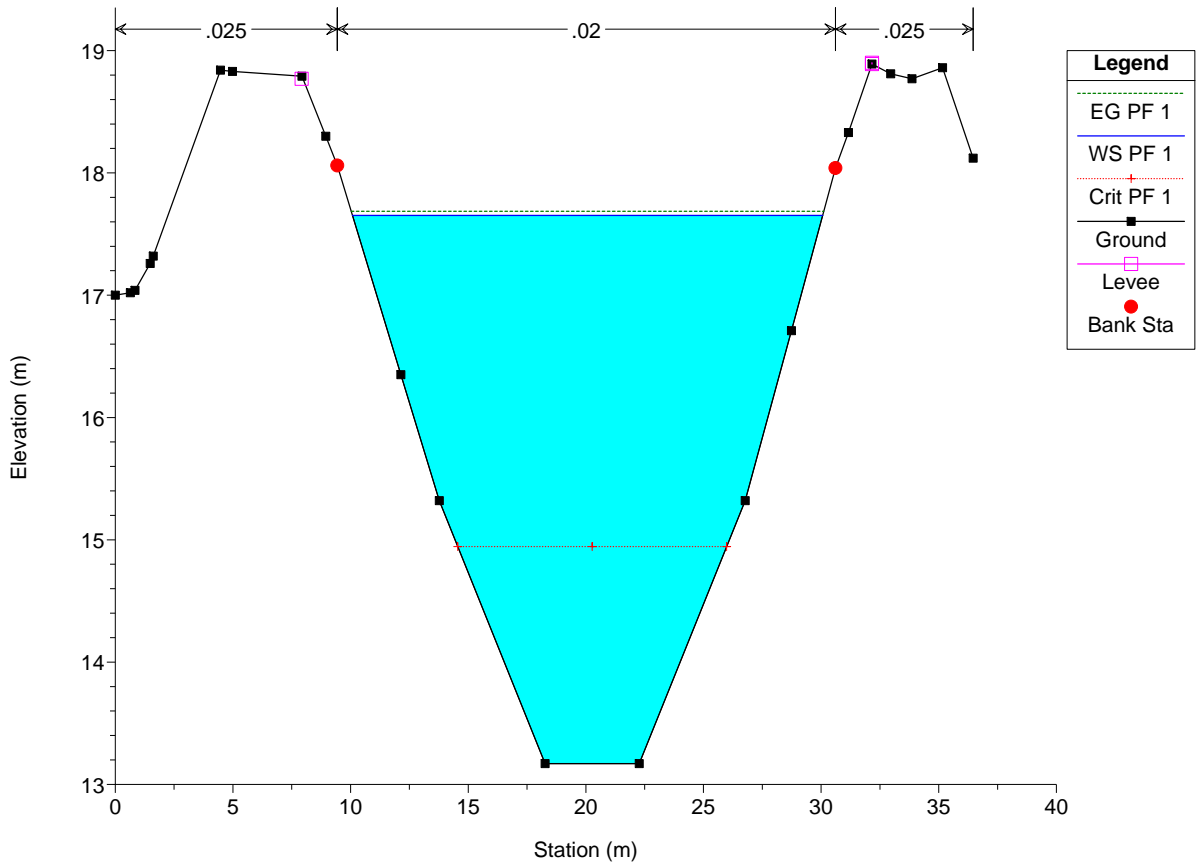
VI001 Plan: VI001 sdf\_new 21/11/2016



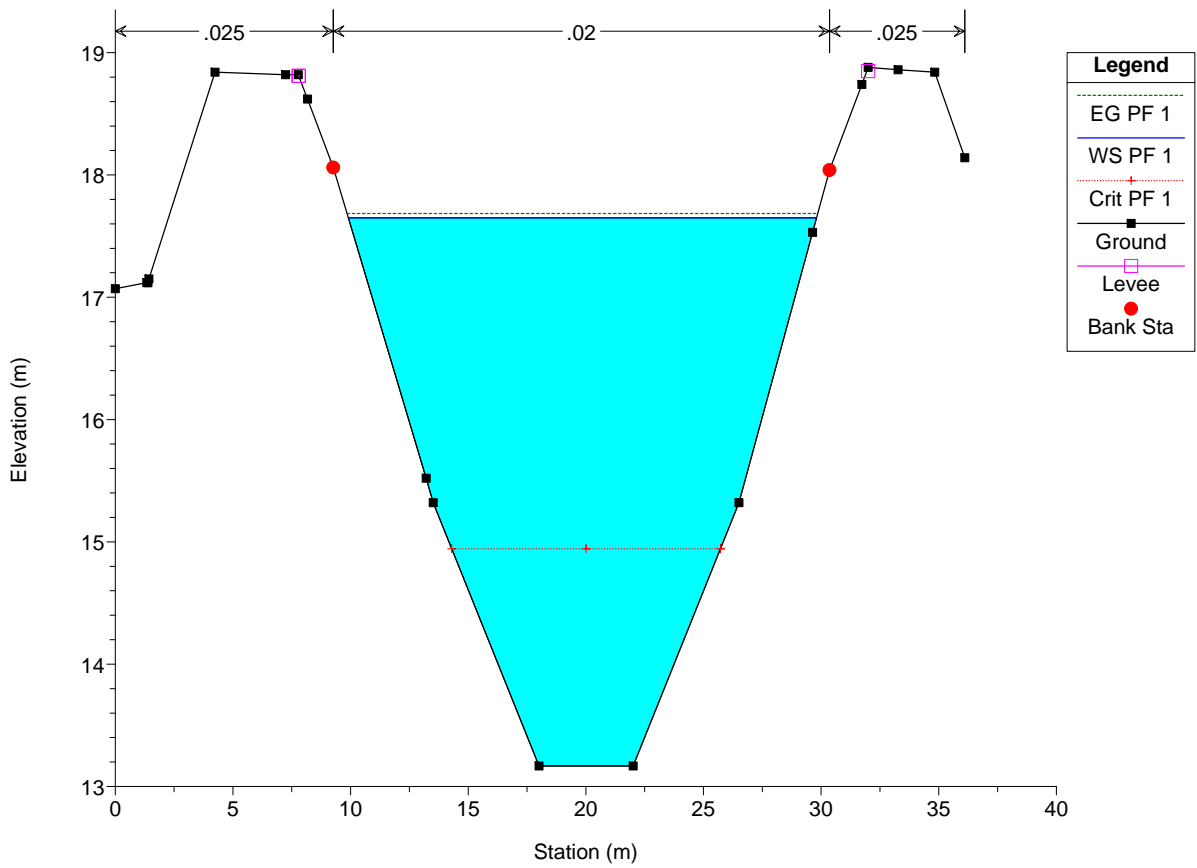


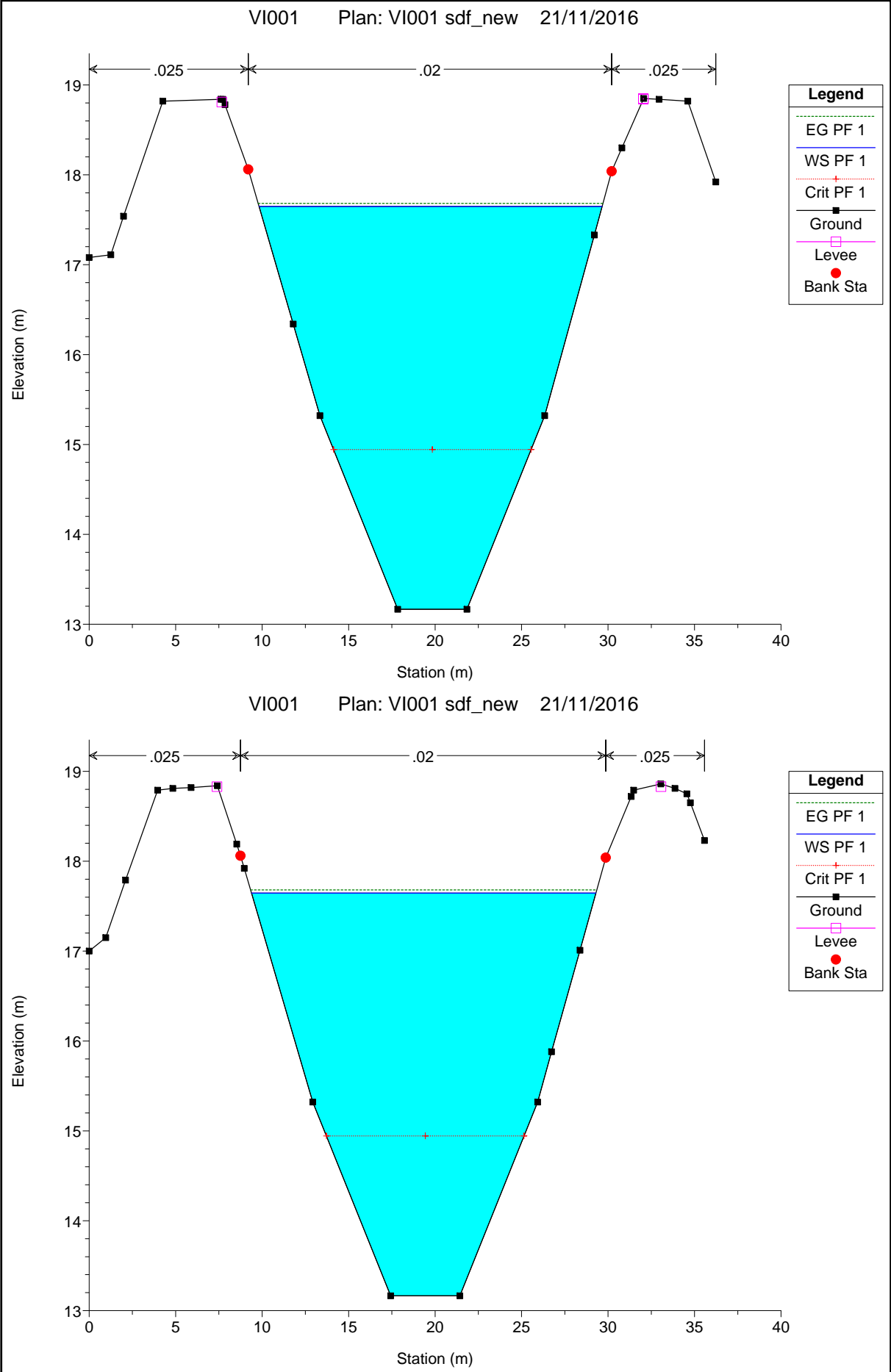


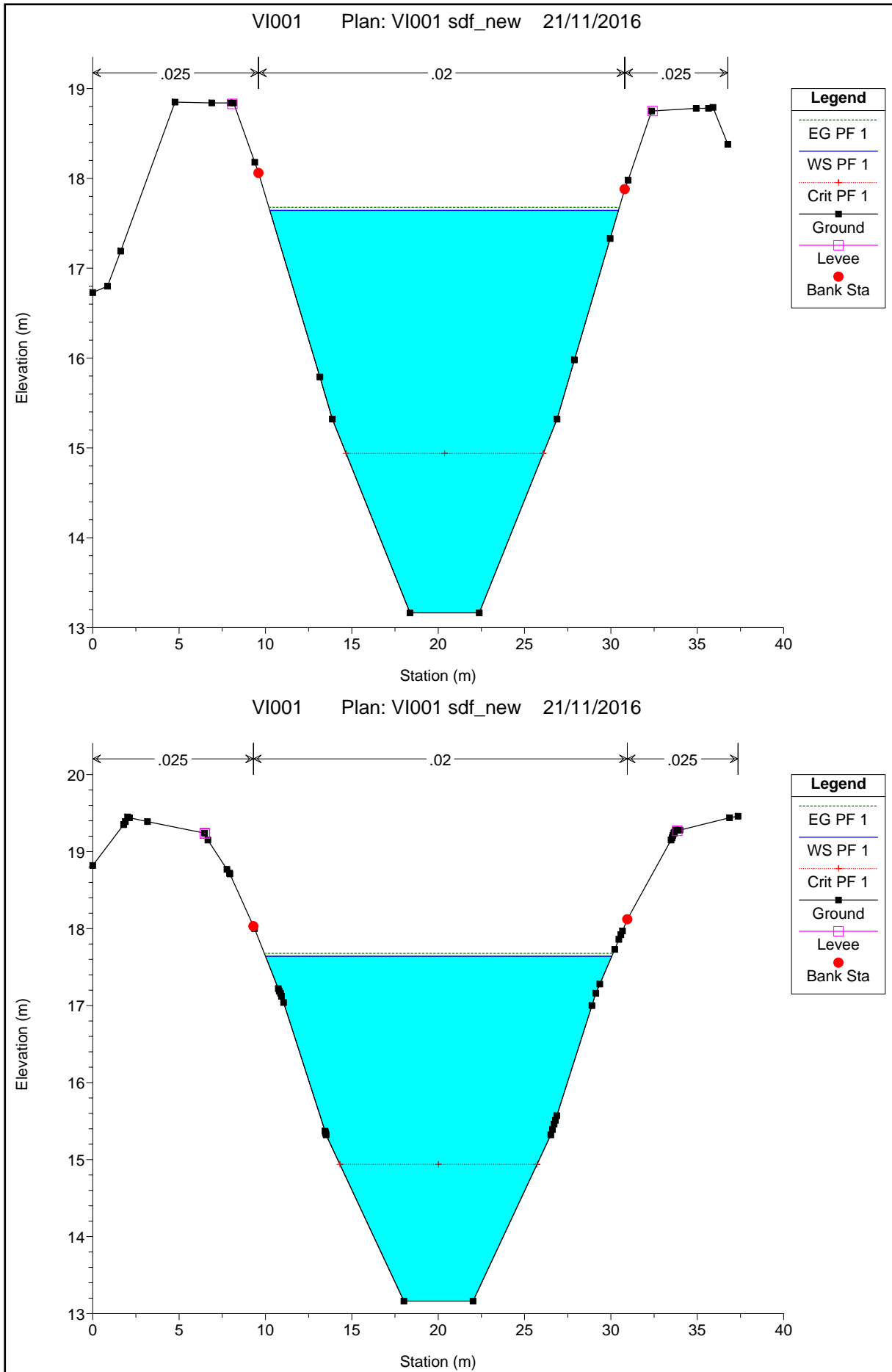
VI001 Plan: VI001 sdf\_new 21/11/2016



VI001 Plan: VI001 sdf\_new 21/11/2016

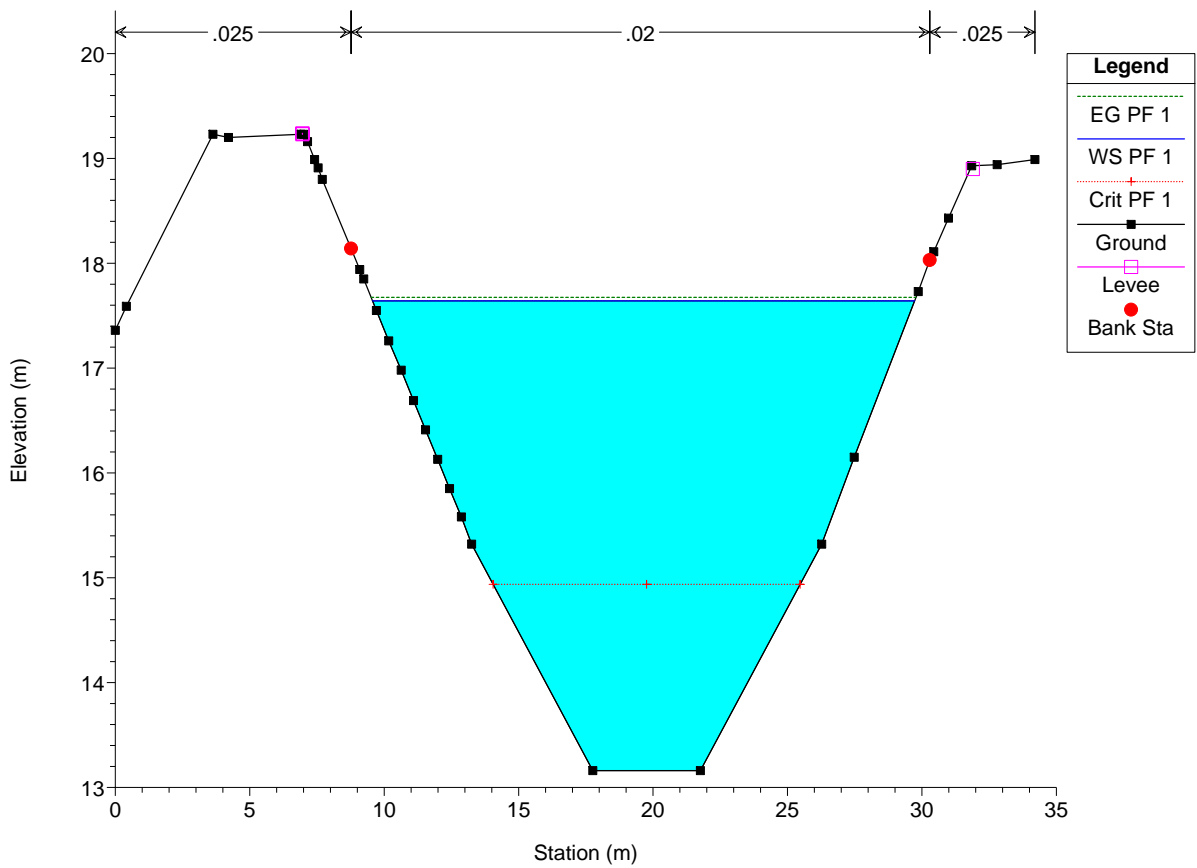








VI001 Plan: VI001 sdf\_new 21/11/2016



VI001 Plan: VI001 sdf\_new 21/11/2016

