# COMUNE DI FINALE LIGURE
PROVINCIA DI SAVONA

FINALMARE S.p.a.

## MESSA IN SICUREZZA DEL TORRENTE PORA
## INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA - 1°STRALCIO
## TRA IL PONTE DI VIA SAGITTARIO E LA FOCE

# PROGETTO PRELIMINARE



# 1.2 RELAZIONE TECNICA

COMMESSA: 1310601

| REVISIONE | | | | CONTROLLO | NOTE |
|---|---|---|---|---|---|
| n° | MODIFICA | DATA | TECNICO | | |
| 0 | PER EMISSIONE | Aprile 2013 | E.F. | A.G. | |

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PADOVA
ING. ALBERTO GALLI N. 2379

ORDINE DEGLI INGEGNERI REGGIO EMILIA
DOTT. ING. CERLINI DENIS n. 972

**PROGETTISTI:**


SGI life, first

**SGI Studio Galli Ingegneria SPA**
Via della Provvidenza, 13 35030 Sarmeola di Rubano (PD)
tel. +39 049 8976844 - fax +39 049 8976784
Website:http:/www.sgi-spa.it; Mail: info@sgi-spa.it

STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI

**STUDIO MAIONE INGEGNERI ASSOCIATI**
Via Inama, 7 - 20133 Milano - tel. +39.02.70120918 fax +39.02.70120923
Via Cavallotti, 16 - 43100 Parma - tel. +39.0521.508419 fax +39.0521.221022

# INDICE

**1. PREMESSA ..... 3**
**2. DATI DI BASE UTILIZZATI ..... 5**
**2.1. Quadro normativo di riferimento ..... 5**
**2.2. Inquadramento geomorfologico ..... 5**
**2.3. Rilievi topografici e caratterizzazione granulometrica del materiale d'alveo ..... 6**
**3. STUDIO IDRAULICO – SCHEMA DI CALCOLO ..... 9**
**3.1. Fondamenti della procedura di calcolo ..... 9**
**3.2. Funzionamento idraulico dei manufatti ..... 11**
**3.3. Sezioni di calcolo e scabrezze ..... 13**
**3.4. Condizioni al contorno ..... 16**
**4. VERIFICA IDRAULICA DELLO STATO DI FATTO ..... 18**
**5. VERIFICA IDRAULICA DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE ..... 19**
**5.1. Criteri progettuali adottati ..... 19**
**5.2. Descrizione dell'alveo nello stato di progetto ..... 19**
**5.3. Verifiche svolte ..... 20**
**6. VALUTAZIONI SULL'EFFETTO DELLA DINAMICA DELL'ALVEO SUI LIVELLI IDRICI ..... 24**
**6.1. Metodologia adottata ..... 24**
**6.2. Applicazione alla dinamica dell'alveo del fiume Pora ..... 27**
**7. INDIRIZZI PER LA MANUTENZIONE DELL'ALVEO E DELLE OPERE DI DIFESA ..... 29**
7.1.1. Manutenzione dell'alveo ..... 29
7.1.2. Opere di difesa idraulica ..... 30

# 1. PREMESSA

La presente relazione tratta gli aspetti idrologici ed idraulici connessi con la progettazione preliminare degli interventi prioritari per la messa in sicurezza del Torrente Pora nel tratto compreso tra il ponte di via Sagittario e la foce.

La presente fase di progettazione preliminare ricalca per la maggior parte quanto già definito nell'ambito del progetto preliminare redatto nell'anno 2003 e successivamente aggiornato all'anno 2005 tenendo conto che l'intervento di riconversione delle aree Piaggio avrebbe consentito interventi di ampliamento dell'alveo del Pora in sponda destra e di mantenimento dell'attuale ponte FF.SS., realizzando in alternativa un nuovo fornice (luce idraulica integrativa) sul rilevato FF.SS. sempre a scapito della sponda destra. Sulla base del progetto preliminare aggiornato all'anno 2005, la Provincia di Savona procedette al recepimento del quadro degli interventi da esso definito nel Piano Interventi e nella Carta della Fascia di Riassetto del Piano di Bacino del Torrente Pora (C.T.P. n. 84 del 27.04.06).

Nell'anno 2012, la società Piaggio Aero Industries S.p.a. ha presentato agli Enti competenti, in sede di Conferenza di servizi preliminare, una proposta di variante all'Accordo di programma per la riconversione delle aree Piaggio. Tale proposta di variante è basata su di un Piano Urbanistico che considera, unitamente agli altri interventi infrastrutturali, il completo rifacimento oltre che del ponte della strada Aurelia anche del ponte ferroviario sulla linea Genova-Ventimiglia.

Il soggetto attuatore dell'accordo, la sociétà Finalmare S.p.a., ha quindi effettuato una ulteriore fase di studio idraulico e morfologico del tratto terminale del T. Pora dalla confluenza con il T. Aquila fino alla foce, finalizzato alla definizione di un nuovo assetto idraulico di progetto tale da consentire la messa in sicurezza dell'area Piaggio in sponda sinistra nell'ambito dell'attuazione del Piano e del territorio in sponda sinistra, unitamente al futuro completamento degli interventi in sponda sinistra nel tratto di monte.

La nuova soluzione progettuale, definita in questa sede a livello preliminare, ricalca per la maggior parte quanto già definito nell'ambito del progetto preliminare redatto nell'anno 2003, fatta eccezione per gli interventi di ampliamento dell'alveo, che vengono ora previsti a scapito della sponda destra del Pora e preservando nello stato di fatto l'assetto planimetrico della sponda sinistra. In particolare nella presente relazione sono riportate le valutazioni ed i calcoli idrologici necessari alla definizione delle

portate di piena per eventi di assegnato tempo di ritorno Tr da considerare nell'analisi dello stato di fatto e nella configurazione di progetto.

Si è quindi studiata la propagazione delle portate al colmo lungo l'asta del torrente Pora, dalla confluenza con il T.Aquila fino alla foce (sez. 37-sez.1), mediante l'utilizzo di un modello matematico monodimensionale a fondo fisso, onde stabilire il comportamento idrodinamico del corso d'acqua nel tratto in esame ( 1° stralcio compreso tra le sez.23-sez.1), individuarne le principali criticità e verificare la configurazione progettuale contestualmente al futuro completamento degli interventi di sistemazione idraulica lungo il tratto di monte (sez.23-sez.37).

Le valutazioni in merito alle tendenze evolutive del corso d'acqua sono state condotte mediante la metodologia di calcolo proposta dalla FHWA (*Federal Highway Administration*) - *Design of Roadside Channels with Flexible Linings - Hydraulic Engineering Circular Number 15, Third Edition.*

# 2. DATI DI BASE UTILIZZATI

## 2.1. Quadro normativo di riferimento

Gli scriventi hanno preso visione del piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico predisposto dalla Provincia di Savona in adempimento all'art. 1, comma 1, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, convertito, con modificazioni, nella legge 3 agosto 1998 n 267. Esso costituisce parte del Piano di Bacino stralcio per la difesa Idrogeologica, nonché del piano di bacino completo, di cui alla legge 18 maggio 1989, n.183 e sue modificazioni ed integrazioni.

Le verifiche idrauliche nello stato di fatto e nella configurazione di progetto sono state condotte nel rispetto di tutte le prescrizioni indicate nel *Piano di Bacino* di cui sopra, e documentazione ad esso connessa, in particolare per quanto riguarda la portata di piena di progetto, i tempi di ritorno, i parametri di scabrezza ed i franchi di sicurezza idraulica.

Le soluzioni progettuali sono state esaminate anche sulla base di valutazioni di tipo ambientale in funzione delle previsioni effettuate dagli strumenti programmatici e di pianificazione vigenti (*Piano Territoriale Regionale*, *Piano Territoriale di Coordinamento della Costa*, *Piano Urbanistico Comunale*, aree protette, *SIC* e *ZPS*).

Inoltre nell'ambito della presente progettazione preliminare è stata effettuate una ulteriore analisi finalizzata all'individuazione del "rischio archeologico" cui possono essere soggetti gli interventi di sistemazione idraulica. Tali valutazioni sono riportate nello "*Studio storico relativo al tratto di torrente Pora e Aquila nei pressi del centro storico di Finalborgo*" - Maggio 2003 – riportata nella *Relazione di Prefattibilità Ambientale* (*elaborato 1.3*).

## 2.2. Inquadramento geomorfologico

Il bacino idrografico del Torrente Pora appartiene all'ambito regionale n.10 Pora individuato dall'Autorità di Bacino di Rilievo Regionale ai sensi ex L.R. n.9/1993 ed è situato nel territorio amministrativo dei Comuni di Finale Ligure, Orco Feglino, Rialto e Calice Ligure. La superficie del bacino è di circa 58 Km², di forma triangolare con sbocco sul Mar Ligure completamente compreso nella fascia costiera del Comune di Finale Ligure.

Il Torrente Pora ha le caratteristiche tipiche dei torrenti liguri con foce nel Mar Tirreno: alveo incassato nella parte montana e affluenti laterali con elevate pendenze, diminuzione delle pendenze nei tratti vallivi dove si trovano gli insediamenti civili ed industriali. Si possono facilmente individuare tre tratti con caratteristiche geomorfologiche specifiche ben distinguibili:

- Asta del T. Aquila;
- Asta del T. Pora a monte dell'abitato di Finalborgo;
- Asta terminale del T. Pora a valle dell'abitato di Finalborgo.

Il Torrente Aquila ha un'asta principale che si sviluppa con direzione prevalente Nord-Sud nel settore orientale del bacino idrografico interessando i Comuni di Orco Feglino e Finale Ligure. Le aree urbanizzate iniziano dove il torrente in corrispondenza del centro abitato di Feglino, dopo il quale il corso d'acqua corre parallelamente alla SP n.27 fino, in corrispondenza della località Arma dell'Aquila (Finale Ligure) ove presenta un rilevante salto di quota. Più a valle c'è la confluenza con il Torrente Pora in corrispondenza della quale si trova in destra orografica il centro abitato di Finalborgo.

Il Torrente Pora nasce nel Comune di Rialto a circa 1000 m s.m.m. dalla confluenza del Rio Peccione con il Rio Rivase. Esso riceve due affluenti principali: il Rio Carbuta (6 $Km^2$ di bacino), che confluisce nel Pora all'altezza del centro abitato di Calice Ligure, ed il Torrente Aquila (21 $Km^2$ di bacino) che confluisce nel Torrente Pora poco a sud dell'abitato di Finalborgo (Finale Ligure). Le aree urbanizzate iniziano in corrispondenza dell'abitato di Calice Ligure, scorre poi verso valle parallelamente alla SP n.17. In sinistra orografica si trova la zona industriale di Finale Ligure (località Perti) e quindi sempre in sponda sinistra l'abitato di Finalborgo fino alla confluenza con il T. Aquila.

L'asta terminale del T. Pora si estende a valle della confluenza tra il tratto montano del Torrente Pora ed il Torrente Aquila in corrispondenza a valle dell'abitato di Finalborgo. Tale tratto è altamente antropizzato con difese costituite da muri in calcestruzzo.

## 2.3. Rilievi topografici e caratterizzazione granulometrica del materiale d'alveo

Per l'elaborazione del progetto è stato utilizzato un rilievo topografico di dettaglio dell'intera area oggetto dell'intervento di riconversione delle aree Piaggio comprendente sia l'alveo sia l'area in destra Pora.

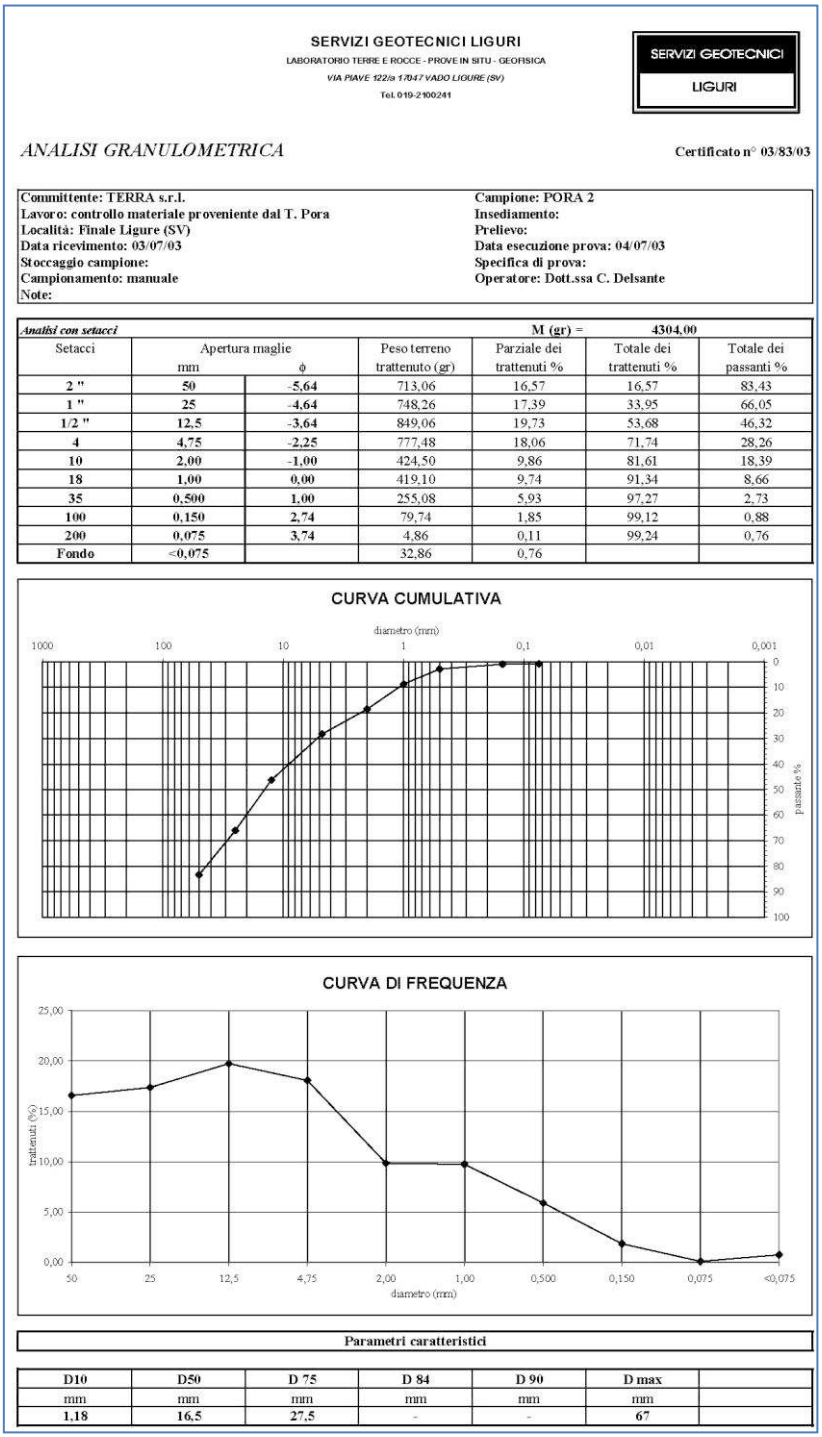
Al fine di elaborare un quadro generale delle caratteristiche sedimentologiche di fondo alveo del T. Pora, nel presente studio, si fa riferimento al campionamento, di un'idonea quantità di materiale dal letto fluviale, avvenuto in corrispondenza della sezione 25 che, per caratteristiche del materiale, può essere considerata rappresentativa dell'intero corso d'acqua.

In generale si osserva che il materiale che costituisce il fondo alveo è caratterizzato da granulometrie grossolane di tipo ciottoloso - ghiaioso. Per i materiali ghiaiosi e sabbioso-limosi derivanti dal campionamento diretto tramite prelievo, si è proceduto al trasferimento in laboratorio di un volume significativo di materiale, e successivamente si è effettua una setacciatura seguendo i criteri previsti dalle normative UNI-EN 933-1.

Nel caso di campioni grossolani è stata eseguita una selezione preliminare con i setacci 0.5", 1" e 2" precedente all'essiccamento dei campioni senza la possibilità di introduzione di errori significativi in quanto l'umidità eventualmente trattenuta permane nella frazione più minuta. Il peso del campione è superiore a 2 kg mentre per i depositi più grossolani si è fatto riferimento a quanto previsto dai metodi standard ASTM (almeno 4 kg per i campioni con clasti maggiori trattenuti dal setaccio da 2").

Il risultato dell'indagine si esplicita in un certificato delle analisi granulometriche che riporta i dati ricavati in forma tabellare e grafica.

**Figura 1:*Analisi granulometrica del campione prelevato lungo il tratto del T. Pora a valle della confluenza con il T. Aquila.***



SERVIZI GEOTECNICI LIGURI

LABORATORIO TERRE E ROCCE - PROVE IN SITU - GEOFISICA

*VIA PIAVE 122/a 17047 VADO LIGURE (SV)*

Tel. 019-2100241

SERVIZI GEOTECNICI LIGURI

*ANALISI GRANULOMETRICA*

**Certificato n° 03/83/03**

| | |
|---|---|
| **Committente: TERRA s.r.l.** | **Campione: PORA 2** |
| **Lavoro: controllo materiale proveniente dal T. Pora** | **Insediamento:** |
| **Località: Finale Ligure (SV)** | **Prelievo:** |
| **Data ricevimento: 03/07/03** | **Data esecuzione prova: 04/07/03** |
| **Stoccaggio campione:** | **Specifica di prova:** |
| **Campionamento: manuale** | **Operatore: Dott.ssa C. Delsante** |
| **Note:** | |

***Analisi con setacci*** **M (gr) = 4304,00**

| Setacci | Apertura maglie mm | Apertura maglie ϕ | Peso terreno trattenuto (gr) | Parziale dei trattenuti % | Totale dei trattenuti % | Totale dei passanti % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2 "** | **50** | **-5,64** | 713,06 | 16,57 | 16,57 | 83,43 |
| **1 "** | **25** | **-4,64** | 748,26 | 17,39 | 33,95 | 66,05 |
| **1/2 "** | **12,5** | **-3,64** | 849,06 | 19,73 | 53,68 | 46,32 |
| **4** | **4,75** | **-2,25** | 777,48 | 18,06 | 71,74 | 28,26 |
| **10** | **2,00** | **-1,00** | 424,50 | 9,86 | 81,61 | 18,39 |
| **18** | **1,00** | **0,00** | 419,10 | 9,74 | 91,34 | 8,66 |
| **35** | **0,500** | **1,00** | 255,08 | 5,93 | 97,27 | 2,73 |
| **100** | **0,150** | **2,74** | 79,74 | 1,85 | 99,12 | 0,88 |
| **200** | **0,075** | **3,74** | 4,86 | 0,11 | 99,24 | 0,76 |
| **Fondo** | **<0,075** | | 32,86 | 0,76 | | |





**Parametri caratteristici**

| D10 | D50 | D 75 | D 84 | D 90 | D max | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| mm | mm | mm | mm | mm | mm | |
| **1,18** | **16,5** | **27,5** | - | - | **67** | |

# 3. STUDIO IDRAULICO – SCHEMA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche del tratto fluviale oggetto del presente studio sono state effettuate in condizioni di moto permanente tramite il modello numerico di simulazione *HEC-RAS - River Analysis System - sviluppato dall'US Army Corps of Engineers (Version 4.1.0, January 2010).*

Il tratto del torrente Pora modellato si estende dalla foce (sez.1) sino alla confluenza con il Torrente Aquila (sez.37) poiché si è inteso valutare non solo l'assetto di progetto del tratto di asta torrentizia oggetto degli interventi di sistemazione idraulica volti a mettere in sicurezza l'area Piaggio, in sponda destra, ma anche l'inquadramento di questo 1° tralcio di interventi di progetto nel contesto più generale del tronco fluviale del T.Pora che si estende verso monte fino alla confluenza con il T.Aquila.

Nella modellazione idraulica realizzata sono stati inseriti i manufatti di attraversamento, descrivendone le caratteristiche tridimensionali sia nell'attuale configurazione relativa allo stato di fatto sia nella configurazione di progetto.

## 3.1. Fondamenti della procedura di calcolo

La procedura di calcolo implementata in Hec-Ras è nota in letteratura con il nome di Standard Step Method. Essa consiste nel calcolo della quota del pelo libero in una sezione a partire da quella nota in una sezione adiacente, per mezzo di un procedimento iterativo, basato sulle seguenti due equazioni:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (1)$$

$$h_e = L\overline{S_f} + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right| \qquad (2)$$

nelle quali:

$WS_1$, $WS_2$ = quote del pelo libero nelle sezioni alle estremità della tratta considerata;

$V_1$, $V_2$ = velocità media (portata/area liquida) nelle citate sezioni;

$\alpha_1$, $\alpha_2$ = coefficiente di Coriolis;

$g$ = accelerazione di gravità (= 9,81 m/s$^2$);

$h_e$ = perdita di energia tra le 2 sezioni;

*L* = lunghezza della tratta (media pesata);

$S_f$ = cadente piezometrica della tratta;

*C* = coefficiente di espansione o contrazione.

La lunghezza media della tratta viene definita come:

$$L = \frac{L_{lob}\overline{Q}_{lob} + L_{ch}\overline{Q}_{ch} + L_{rob}\overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}} \qquad (3)$$

essendo:

$L_{lob}$, $L_{ch}$, $L_{rob}$ = lunghezze per il moto in golena sinistra, nell'alveo di magra e in golena destra;

$Q_{lob}$, $Q_{ch}$, $Q_{rob}$ = media aritmetica delle portate nelle due sezioni con riferimento a golena sinistra, alveo di magra e golena destra.

La determinazione della capacità di portata totale e del coefficiente di Coriolis per una data sezione richiede che il flusso sia suddiviso in parti con velocità uniformemente distribuita. In pratica il flusso nelle golene viene suddiviso in base ai punti utilizzati per descrivere la geometria della sezione, e la capacità di portata in ogni posizione dell'area liquida è calcolata con la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} a r^{2/3} \qquad (4)$$

dove:

*k* = capacità di portata della porzione considerata;

*n* = coefficiente di Manning della porzione;

*a* = area della porzione;

*r* = raggio idraulico della porzione.

La capacità di portata totale dell'intera sezione è ottenuta come somma delle capacità delle singole porzioni nelle quali la stessa è stata suddivisa.

Le perdite di carico vengono calcolate come prodotto della lunghezza media pesata della tratta L, determinata con l'espressione (3), per la cadente piezometrica media.

Nelle espressioni analitiche utilizzate per il calcolo dei profili di moto sono implicite le seguenti osservazioni, che pertanto devono essere verificate nell'effettivo fenomeno fisico soggetto ad indagine:

(a) il moto è stazionario

(b) il moto è gradualmente vario

(c) il moto è unidimensionale (componenti della velocità in direzioni diverse da quella del moto non sono considerate)

(d) la pendenza del corso d'acqua è "piccola" (<10%).

Si assume il moto stazionario in quanto nelle equazioni utilizzate non compaiono i termini dipendenti dal tempo. Il moto deve essere di tipo gradualmente vario perché l'equazione (1) è basata sull'ipotesi che in tutte le sezioni viga una distribuzione idrostatica delle pressioni.

Il moto deve essere unidimensionale perché l'equazione (4) è basata sull'ipotesi che la quota energetica sia la stessa in tutti i punti di una sezione.

Si assumono poi pendenze "piccole" perché si assume di avere distribuzione idrostatica delle pressioni lungo le verticali, che per valori piccoli della pendenza possono essere identificate con le normali al moto.

Per quanto riguarda l'imposizione delle condizioni al contorno, costituite dalla quota idrometrica nella sezione più a valle nel caso di calcolo di un profilo di corrente lenta ed in quella di monte per corrente rapida, occorre ricercare una sezione di controllo (ad esempio in cui si possa assumere l'altezza critica, come traverse eccetera) oppure calcolare una quota di partenza ad esempio utilizzando la scala delle portate.

## 3.2. Funzionamento idraulico dei manufatti

I principali manufatti che interferiscono con il libero deflusso delle acque lungo il torrente Pora sono costituiti, procedendo da valle verso monte, da:

- ponte della SS Aurelia (tra le sezione 5 e 4)
- ponte RFI (tra le sezione 8 e 7)
- ponte di via Sagittario (tra le sezione 20 e 21)

In HEC-RAS possono essere schematizzate diversi tipi di strutture, sia trasversali al corso d'acqua che parallele allo stesso. Per le strutture trasversali la valutazione delle perdite di carico dovute alla presenza della struttura è fatta mediante la schematizzazione con 4 sezioni del tratto in cui avviene la contrazione e l'espansione della vena liquida, come rappresentato nella figura seguente.

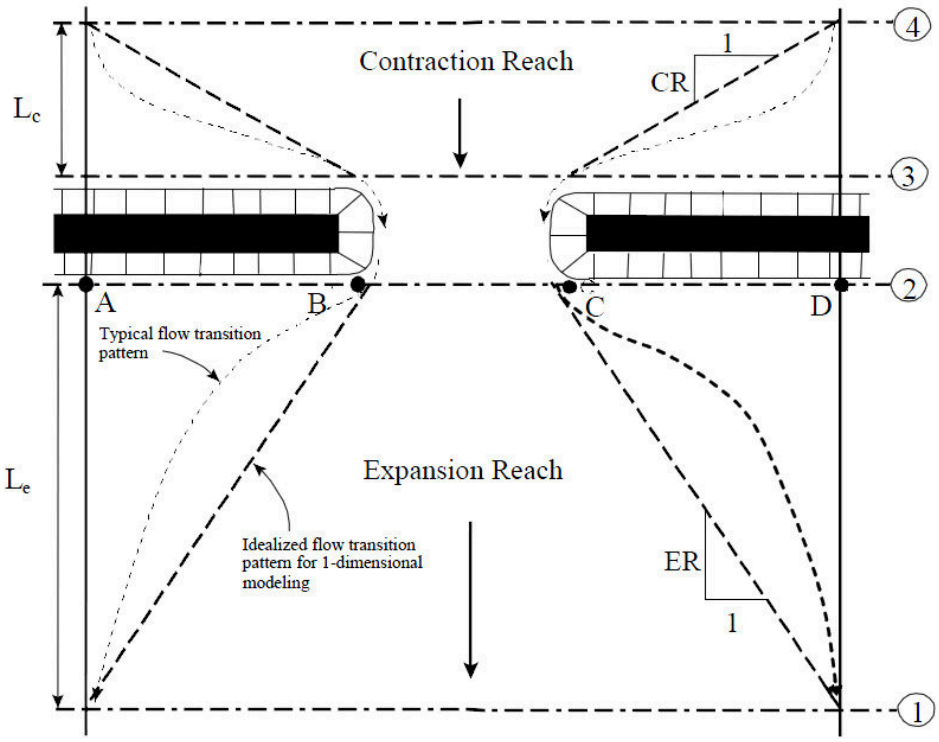



**Figura 2: Sezioni di calcolo schematizzate in HEC-Ras per il calcolo del pelo libero in corrispondenza delle strutture trasversali**

Per il calcolo dei sovralzi, delle resistenze al moto e dei rigurgiti il codice di calcolo consente di ricercare la soluzione mediante diverse metodologie di calcolo. In particolare, per il deflusso attraverso ponti e tombinature, la procedura di calcolo utilizzata simula il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalcamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il codice di calcolo utilizza i seguenti modelli:

- la conservazione dell'energia;
- applicazione della formula empirica di Yarnell, che richiede la stima di un coefficiente *Cd* dipendente dalla forma delle pile in alveo;
- applicazione del teorema della quantità di moto per il volume di controllo compreso tra le sezioni di monte e valle;
- metodo empirico WSPRO.

È possibile inoltre impostare un'opzione per la scelta automatica del metodo che prevede la soluzione che comporta la maggiore perdita energetica.

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

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

dove Q (m³/s) è la portata defluita attraverso la luce di area A (m²), H (m) è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

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

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard

$$Q = CLH^{3/2}$$

dove Q (m³/s) è la portata defluita sulla soglia di larghezza L(m) e H (m) è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

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

## 3.3. Sezioni di calcolo e scabrezze

Le sezioni di calcolo impiegate nella modellazione sono quelle restituite dal rilievo topografico di dettaglio eseguito a supporto delle fasi precedenti della presente progettazione (anno 2003), caratterizzate da un interasse pari a ca. 30 m. Le sezioni presentano una larghezza pari a circa 50 m in modo da descrivere con adeguata precisione la geometria dell'alveo e la conformazione del terreno, con l'eventuale presenza di elementi rilevanti, nelle immediate vicinanze dell'alveo al di fuori delle sommità arginali.

L'immagine a seguire riporta l'ubicazione delle sezioni inserite nel modello di calcolo. Per ulteriori approfondimenti in merito si rimanda all'elaborato di progetto 4.1.

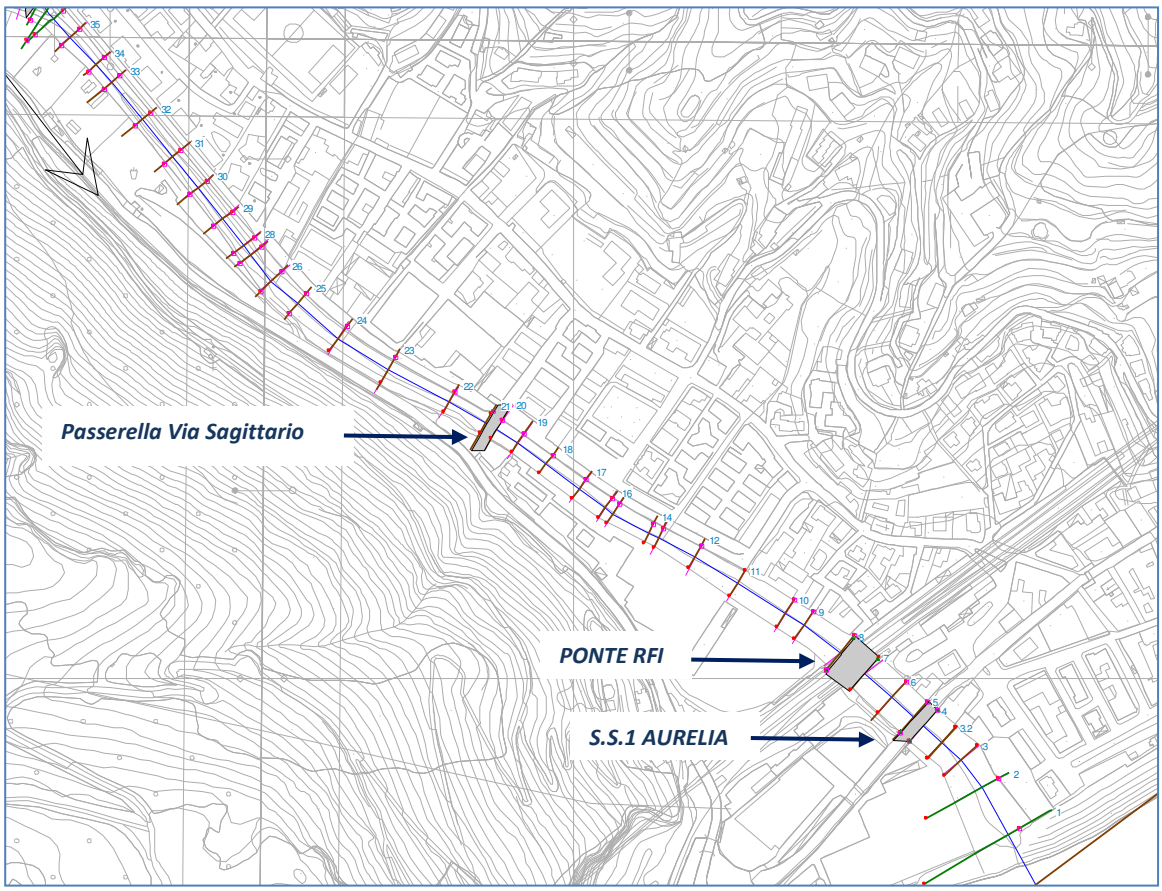



**Figura 3: Rappresentazione su carta tecnica regionale del tronco fluviale modellato in HEC – RAS.**

Il software di calcolo consente di specificare differenti valori di scabrezza sia in senso longitudinale, sia all'interno delle singole sezioni trasversali, qualora vengano impiegate più tipologie di materiale oppure siano presenti differenti tipi di vegetazione.

Nell'ambito delle simulazioni effettuate, per definire il coefficiente di scabrezza lungo il tratto d'alveo oggetto di modellazione idraulica, è stata applicata la formula di calcolo indicata nella *Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B" – Norme di attuazione –Piano Stralcio dell'Assetto Idrogeologico (PAI).*

La metodologia proposta fa riferimento alle indicazioni fornite dalle tabelle di "*Open channel hydraulics", Ven Te Chow, McGraw Hill International editions* riportata a seguire:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5$$

dove:

n= coefficiente di Manning

$n_0$= coefficiente che dipende dal materiale costituente l'alveo

$n_1$= coefficiente che dipende dalle irregolarità della superficie della sezione dell'alveo

$n_2$= coefficiente che dipende dalla variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale

$n_3$= coefficiente che considera l'effetto relativo delle ostruzioni

$n_4$= coefficiente che considera l'effetto della vegetazione

$m_5$= coefficiente che considera il grado di sinuosità dell'alveo.

| Condizioni dell'alveo | | Valori | |
|---|---|---|---|
| Materiale costituente l'alveo | Terra | $n_0$ | 0.020 |
| | Roccia | | 0.025 |
| | Alluvione grossolana | | 0.028 |
| | Alluvione fine | | 0.024 |
| Irregolarità della superficie della sezione | Trascurabile | $n_1$ | 0.000 |
| | Bassa | | 0.005 |
| | Moderata | | 0.010 |
| | Elevata | | 0.020 |
| Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale | Graduale | $n_2$ | 0.000 |
| | Variazione occasionalmente | | 0.005 |
| | Variazione frequente | | 0.010-0.015 |
| Effetto relativo di ostruzioni | Trascurabile | $n_3$ | 0.000 |
| | Modesto | | 0.010-0.015 |
| | Apprezzabile | | 0.020-0.030 |
| | Elevato | | 0.040-0.060 |
| Effetto della vegetazione | Basso | $n_4$ | 0.005-0.010 |
| | Medio | | 0.010-0.025 |
| | Alto | | 0.025-0.050 |
| | Molto alto | | 0.050-0.100 |
| Grado di sinuosità dell'alveo | Modesto | $m_5$ | 1.000 |
| | Apprezzabile | | 1.150 |
| | Elevato | | 1.300 |

**Figura 4: metodo per il calcolo del coefficiente di scabrezza nei corsi d'acqua**

Il valore del coefficiente di Manning *n* ottenuto risulta pari a 0,0294 s/m$^{1/3}$ corrispondente ad un coefficiente di Strickler $K_s$ di circa 34 m$^{1/3}$s$^{-1}$.

Il valore di scabrezza ottenuto è stato confrontato con il valore ricavato utilizzando una seconda formula di letteratura che consente di valutare la scabrezza sulla base delle dimensioni medie del materiale d'alveo (*VT Chow, JB Graf*):

$$K_S = \frac{26}{d_{90}^{\frac{1}{6}}}$$

in cui $d_{90}$ rappresenta il diametro corrispondente al 90% del passante (in peso) del campione esaminato. Utilizzando i risultati dell'analisi granulometrica sui campioni prelevati lungo T. Pora (paragr.2.5), si ricava un coefficiente di Strickler di poco superiore a 40 m$^{1/3}$/s.

Le simulazioni del deflusso idrico sono state eseguite adottando pertanto, cautelativamente, il coefficiente di Manning superiore tra i due valori ottenuti, ovvero un coefficiente di Manning *n* pari a 0,0294 s/m$^{1/3}$, uniforme su tutta la sezione, corrispondente ad un coefficiente di Strickler $K_s$ di circa 34 m$^{1/3}$s$^{-1}$ lungo l'intera asta torrentizia in esame.

Successivamente, in seguito all'analisi dell'assetto di progetto, condotta dal punto di visita morfologico al fine di valutarne la stabilità in termini di tendenze evolutive, per la quale si rimanda al paragr.7, i valori di scabrezza sono stati differenziati nell'intervallo compreso tra Ks ~ 30 m$^{1/3}$/s per i tratti a prevalente tendenza al deposito e Ks ~ 35 m$^{1/3}$/s per i tratti con prevalente tendenza erosiva.

Relativamente alle resistenze localizzate dovute sostanzialmente alle variazioni di larghezza della sezione trasversale dell'alveo, sono stati adottati coefficienti pari a 0.1 e 0.3, rispettivamente per la contrazione e l'espansione di sezione.

## 3.4. Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno di monte utilizzate (relative sia allo stato di fatto che alla configurazione di progetto) sono i valori delle portate al colmo per assegnato tempo di ritorno Tr= 50 e 200 anni r definite dal Piano di Bacino vigente pari rispettivamente a 532 m³/s e 663 m³/s.

La condizione di valle è invece costituita dallo sbocco a mare del torrente Pora: per simulare questa condizione è stata inserita all'interno del modello numerico una sezione fittizia rettangolare di larghezza tale da riprodurre la foce del torrente (sezione "0") a valle dell'ultima sezione rilevata (sezione "1"), imponendo in corrispondenza di tale sezione un livello idrico costante pari a 1.8 m.

In proposito occorre osservare che tale valore deriva dalla valutazione di eventuali interazioni delle condizioni meteomarine sulla condizione di valle in corrispondenza della sezione di foce. Infatti l'elevazione del livello marino dovuto all'azione congiunta del vento sulla superficie marina e dell'attrazione gravitazionale terra-luna e' una caratteristica locale di ogni paraggio in esame. In particolare il contributo del vento dipende dalla estensione della cosiddetta "piattaforma continentale" che, nel caso delle coste italiane, e' alquanto diversificata. Nel caso del mare Adriatico settentrionale (Venezia) questa si estende per 500 km ca.: tale fatto determina, in concomitanza con vento persistente di Scirocco e condizioni di alta marea, il sovralzo del livello fino a 1.8 m ca. rispetto al livello medio del mare. E' questa, senza ombra di dubbio, la condizione più gravosa per i mari italiani in quanto altrove la piattaforma continentale ha una estensione molto più limitata (10-20 km), come ad esempio in corrispondenza delle coste liguri. Ciò porta a ritenere che sia sostanzialmente solo il contributo di marea a determinare la variazione del livello di riferimento per le condizioni al contorno da porre nello studio della foce in oggetto.

Dal punto di vista dell'assetto geomorfologico della foce si ritiene che i sedimenti costituenti la barra di foce non siano tali da resistere alla forza di trascinamento della corrente in condizioni di massima piena.

# 4. VERIFICA IDRAULICA DELLO STATO DI FATTO

Il torrente Pora nel tratto a valle dalla confluenza con l'Aquila presenta, pressoché ovunque, una sezione d'alveo regolare, poco difforme dalla rettangolare, che va progressivamente allargandosi verso valle: la larghezza di base passa infatti da 20 m circa nella zona più a monte (in prossimità della sezione 34) a 65 m circa in corrispondenza dello sbocco a mare. La pendenza media di fondo è pari allo 0.37 %.

Le simulazioni effettuate evidenziano la grave insufficienza idraulica del tratto terminale che determina la potenziale esondabilità già in concomitanza di un evento di piena con tempo di ritorno cinquantennale. L'elevata criticità idraulica è determinata, in particolare, dalla presenza dei due manufatti di attraversamento esistenti lungo la linea RFI e lungo la strada Aurelia e, secondariamente, dall'insufficienza delle sezioni di deflusso. Nel tratto tra il ponte RFI e la foce le attuali sezioni sono sufficienti al contenimento in alveo della portata cinquantennale, anche se con franco di sicurezza inadeguato, mentre lungo il tratto compreso tra il ponte di via Sagittario ed il ponte RFI, i livelli idrici superano le sommità arginali in maniera diffusa e con tiranti elevati, determinando potenziali condizioni di allagamento per esondazione diretta nel tratto dell'abitato di Finale Marina in sponda sinistra.

Il *ponte in ferro di via Sagittario* che collega la parte centrale di Finale Ligure con la SS 490 del Colle del Melogno (sezioni 20-21) risulta essere totalmente sommerso anche per eventi con tempo di ritorno inferiore ai 50 anni.

Si evidenzia inoltre la necessità di adeguare le difese spondali mediante l'occlusione delle aperture (finestre, varchi, accessi,…) situate lungo gli attuali argini del torrente in sponda sinistra (*elaborato 9-foto 2, 5 e 6*), fra le quali quelle nel tratto immediatamente a monte del ponte RFI (sez.9-10) e presenti nel tratto tra il ponte RFI ed il ponte della strada Aurelia (sez.6-5).

Si rimanda all' Allegato 1) al presente elaborato di progetto per il dettaglio dei risultati relativi alla verifica idraulica condotta: tabelle di calcolo relative alle principali grandezze , profilo longitudinale dell'asta torrentizia e sezioni trasversali schematizzate nel modello di calcolo.

# 5. VERIFICA IDRAULICA DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

## 5.1. Criteri progettuali adottati

I criteri di dimensionamento idraulico assunti per la definizione dell'assetto di progetto (in tutto il tratto compreso tra la confluenza Pora-Aquila e la foce) comprendono:

- l'adozione della portata di progetto avente tempo di ritorno 200-ennale (definita dal Piano di Bacino vigente);
- l'ottenimento per tutte le sezioni fluviali di un franco di sicurezza non inferiore a 0,5 metri;
- il posizionamento delle quote di sottotrave dei nuovi attraversamenti al di sopra della quota della linea dell'energia o tali da garantire un franco di almeno un metro;
- il mantenimento dell'assetto altimetrico complessivo della sponda sinistra il più possibile aderente allo stato di fatto, al fine di contenere il più possibile gli interventi di adeguamento in quota delle sommità delle sponde;
- il mantenimento dell'assetto altimetrico del fondo alveo il più possibile nello stato di fatto ad eccezione degli interventi di riprofilatura conseguenti alle demolizione della spessa platea d'alveo in calcestruzzo esistente a valle del ponte RFI, realizzata in passato a protezione e consolidamento delle pile dell'esistente ponte RFI.

## 5.2. Descrizione dell'alveo nello stato di progetto

In relazione ai criteri di intervento sopra definiti si è proceduto ad individuare l'assetto plani-altimetrico di progetto complessivo del nuovo alveo.

La livelletta di fondo viene regolarizzata secondo le pendenze dello 0.5% tra la sezione 20 e la sezione 8, per poi proseguire, fino alla foce, con pendenza pari allo 0.22%. Lungo l'intero tratto compreso tra la sezione 20 (ponte di via Sagittario) e la foce è previsto l'allargamento della sezione dell'alveo in destra idraulica e la realizzazione di nuove difese spondali mediante soluzioni costruttive analoghe a quelle già presenti lungo la sponda sinistra: opere di difesa a parete verticale e muro di contenimento sommitali utilizzati con funzione di parapetto per gli adiacenti percorsi pedonali e veicolari.

L'ampliamento dell'alveo del T.Pora in tutto il suo tratto terminale risulta complessivamente pari a circa il 15% della superficie dell'alveo attuale. Tale ampliamento consentirà sia l'aumento delle portate

smaltibili dal torrente in condizioni di sicurezza idraulica e sia una forte riduzione dei livelli idrici, con conseguente riduzione della pensilità del profilo di piena.

Relativamente agli attraversamenti, l'elevata criticità connessa agli attraversamenti della linea FF.SS. Genova – Ventimiglia e della strada Aurelia, ha reso necessario prevedere il completo rifacimento delle strutture esistenti, mediante costruzione di nuovi manufatti che non prevedono nessuna opera di sostegno dell'impalcato collocata in alveo. E' inoltre prevista la rimozione del ponte Bailey di via Sagittario e la realizzazione di un nuovo attraversamento veicolare collocato più a valle (sez.16) rispetto all'attuale (in corrispondenza della Via Nievo).

Contestualmente, per quando riguarda la parte dell'asta torrentizia a monte del tratto oggetto degli interventi di sistemazione idraulica - 1°stralcio (sez.23-sez.1) fino alla confluenza Pora-Aquila (sez.23-sez.37), l'assetto di progetto prevede la riprofilatura del fondo alveo nel tratto compreso tra le sezioni 30-24 secondo una livelletta con pendenza pari a 0.5% e l'allargamento, ove possibile, delle sezioni d'alveo in sponda destra (tratto compreso tra le sez.37 - sez.28).

## 5.3. Verifiche svolte

Le simulazioni effettuate hanno permesso di verificare il comportamento dell'intero tratto del T.Pora compreso tra la confluenza Pora-Aquila e la foce nella configurazione di progetto con riferimento ad eventi di piena aventi tempo di ritorno di 50 e 200 anni.

L'attuazione dell'intervento stralcio di sistemazione garantirà un franco minimo di 50 cm in relazione ad un evento duecentennale per l'intero tratto che si estende dall'attuale ponte di via Sagittario fino alla foce. Il franco residuo in corrispondenza del nuovo ponte di via Nievo risulta dell'ordine di 1.0 m mentre il posizionamento delle quote di sottotrave dei nuovi attraversamenti sulla strada Aurelia e sul ponte RFI risulta al di sopra della quota della linea dell'energia (quota di sottotrave pari a 5.00 m).

Come appare evidente dal confronto dei profili longitudinali, riportati a seguire, nel tratto di interesse, il nuovo assetto di progetto del torrente, rispetto allo stato di fatto, consente una forte riduzione dei livelli idrici, dell'ordine anche di qualche metro in prossimità dei nuovi attraversamenti, con conseguente riduzione della pensilità del profilo di piena.

Con riferimento alle velocità massime, dagli allegati al presente elaborato si evince che, nei tratti percorsi in regime supercritico, le velocità superano ampiamente i 6 m/s e, raggiungendo il valore limite di circa 8 m/s in corrispondenza della sezione 23. Anche nei tratti percorsi in corrente lenta, peraltro, le velocità sono molto sostenute, dato che esse sono per lo più superiori a 4 m/s.

Figura 5: Profilo longitudinale del T.Pora in corrispondenza di un evento due centennale –Assetto di progetto

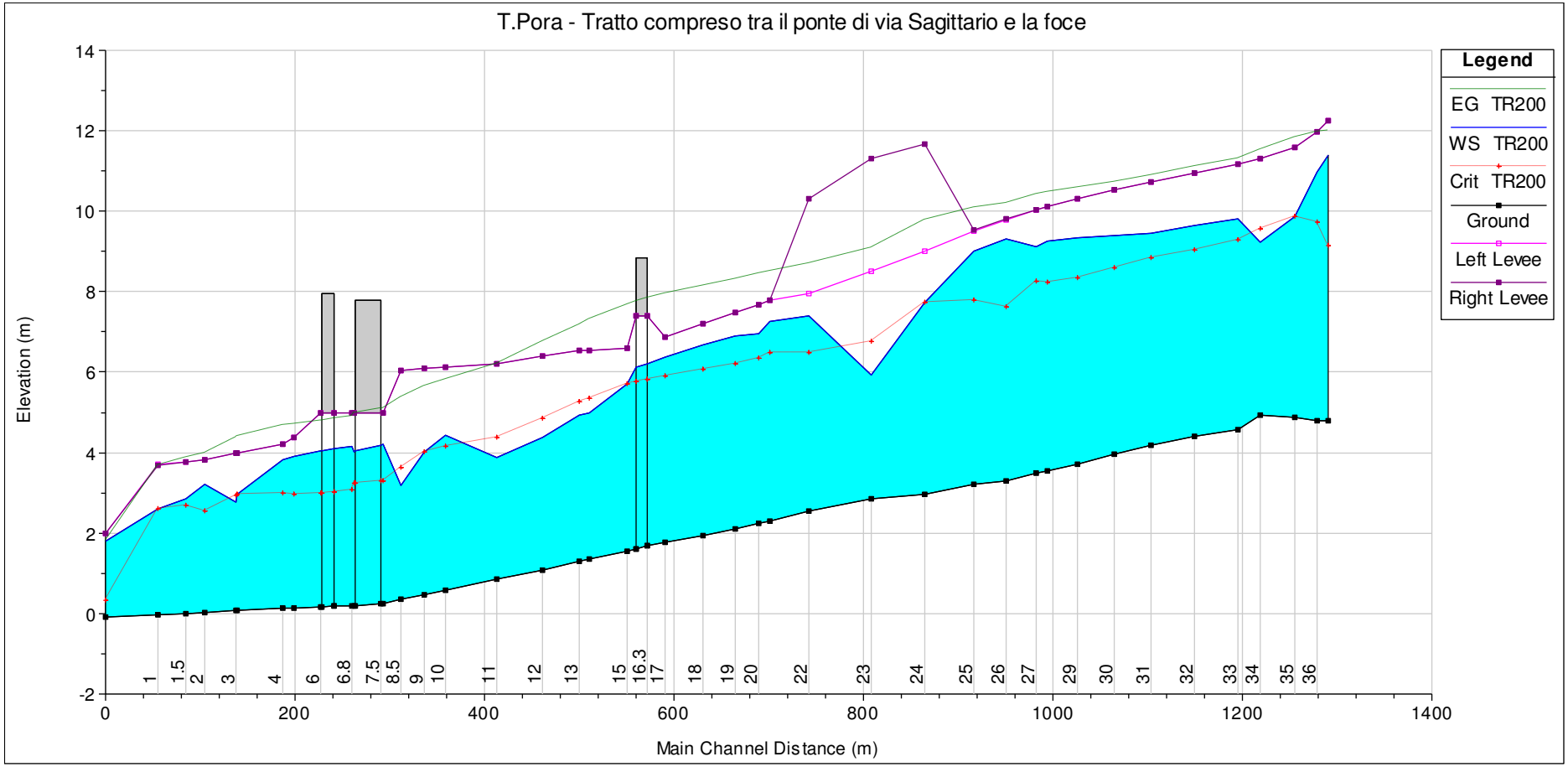
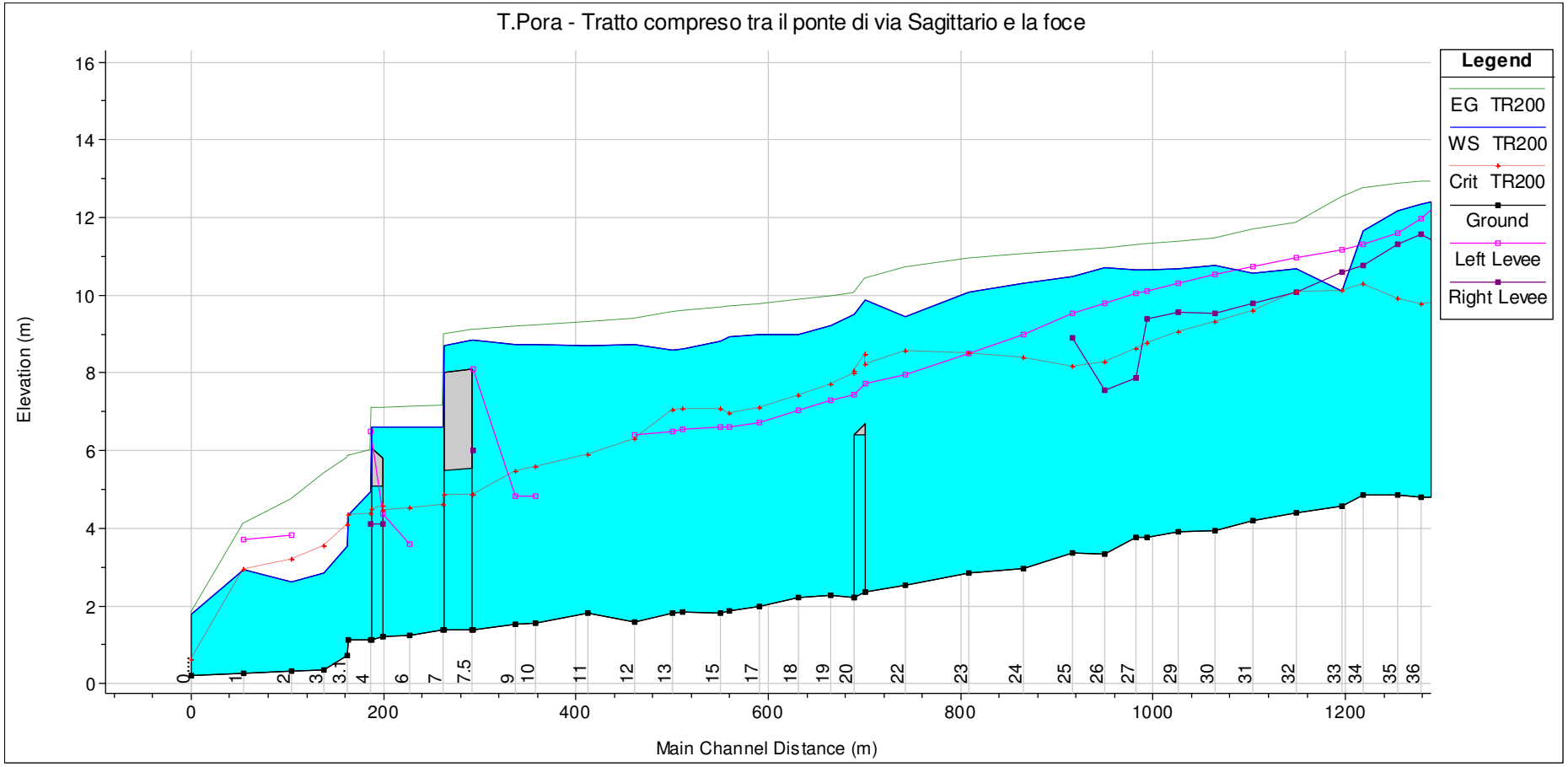


Figura 6: Profilo longitudinale del T.Pora in corrispondenza di un evento due centennale – Stato di fatto



# 6. VALUTAZIONI DELLE TENDENZE EVOLUTIVE DELL'ALVEO

## 6.1. Metodologia adottata

I fenomeni legati al trasporto di materiali litoidi riguardano essenzialmente due modi di mobilitazione dei materiali in dipendenza soprattutto dal rapporto che l'acqua trattiene con i materiali stessi. In un caso si ha una corrente che mantiene le proprie caratteristiche pur trascinando sul fondo ed in sospensione materiali di varia natura; nell'altro caso la corrente è costituita da un impasto fluido di detriti nella quale l'acqua ha la funzione di fluidificante: tale colata detritica è nota col termine di *debris flow* e può avere effetti distruttivi di singolare potenza.

I due fenomeni descritti dipendono generalmente da numerosi fattori spesso di difficile determinazione essendo legati alla variabilità dei versanti e degli alvei torrentizi, alla loro geomorfologia, all'interazione tra gli elementi trasportati.

In particolare gli interventi di progetto intendono far fronte ai problemi determinati dal primo tipo di trasporto solido descritto che possono causare l'intasamento e il malfunzionamento delle opere esistenti ed in progetto per il deflusso in sicurezza delle portate di pioggia.

Le leggi che governano questo tipo di fenomeno possono generalmente ricondursi ad una relazione di equilibrio tra l'azione motrice esercitata dalla corrente e un'azione resistente dipendente dalle dimensioni, dalla forma dei granuli oltre che dalle interazioni reciproche, e dalle caratteristiche del ricoprimento erboso, qualora presente; fornendo quindi il valore della tensione tangenziale critica in funzione delle caratteristiche idrauliche del moto e del materiale solido presente in alveo.

L'inizio del moto delle particelle costitutive dell'alveo di un corso d'acqua può essere definito studiando l'equilibrio tra le forze che favoriscono la mobilitazione e quelle che tendono ad opporvisi.

La relazione di equilibrio adottata per il tratto di alveo del T.Pora che si estende dal ponte di via Sagittario (sez.21-sez.20) fino alla foce (sez.1) si esprime nella seguente forma proposta dalla FHWA (*Federal Highway Administration*) - *Design of Roadside Channels with Flexible Linings - Hydraulic Engineering Circular Number 15, Third Edition:*

$$\tau_e = \tau_p$$

dove:

$\tau_e$ (*Effective Shear Stress*) rappresenta la sollecitazione tangenziale sul rivestimento erboso, per azione della corrente, funzione sia delle caratteristiche del suolo sottostante che della vegetazione stessa (azione motrice della corrente). La tensione tangenziale esercitata dalla corrente si basa quindi sulla sollecitazione tangenziale al terreno in combinazione con la protezione offerta dalla vegetazione in alveo, se presente, secondo la formula:

$$\tau_e = \tau_d(1 - C_f)\left(\frac{n_s}{n}\right)^2$$

dove:

$\tau_d$ = tensione tangenziale al fondo di progetto ($N/m^2$),

Cf = coefficiente che tiene conto della copertura erbosa (*grass cover factor*),

ns = scabrezza del suolo (*soil grain roughness*),

n = scabrezza complessiva (*overall lining roughness*).

Il coefficiente *Cf* viene stimato mediante i valori di riferimento proposti dalla FHWA e riportati nella tabella a seguire:

**Tabella 1: Cover Factor Values for Uniform Stands of Grass -FHWA**

| Growth Form | Cover Factor, Cf | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Excellent | Very Good | Good | Fair | Poor |
| Sod | 0.98 | 0.95 | 0.9 | 0.84 | 0.75 |
| Bunch | 0.55 | 0.53 | 0.5 | 0.47 | 0.41 |
| Mixed | 0.82 | 0.79 | 0.75 | 0.7 | 0.62 |

Il valore del coefficiente ns viene stimato, se $D_{75}$>1.3mm, secondo la formula:

$$n_s = \alpha(D_{75})^{1/6}$$

dove:

α = fattore di conversione pari a 0.015 (SI),

$D_{75}$ = diametro corrispondente al 75% del passante (in peso) del campione di materiale d'alveo esaminato.

Il valore di *ns* è definito pari a 0.016 qualora il $D_{75}$< 1.3mm.

$\tau_p$ *(permissible shear stress on the vegetative lining)* rappresenta il valore della sollecitazione tangenziale critica per il rivestimento erboso presente in alveo. Il valore di $\tau_p$ è funzione sia delle proprietà dei terreni coesivi che costituiscono il materiale d'alveo che delle caratteristiche della vegetazione presente in alveo (azione resistente al moto). Le formule a seguire consentono di calcolare il valore di $\tau_p$:

$$\tau_{p,soil} = \left(c_1 PI^2 + c_2 PI + c_3\right)\left(c_4 + c_5 e\right)^2 c_6$$

$$\tau_p = \frac{\tau_{p,soil}}{(1 - C_f)}\left(\frac{n}{n_s}\right)^2$$

dove:

$\tau_{p\ soil}$ = tensione tangenziale critica al suolo,

PI = indice di plasticità dei terreni,

e= indice dei vuoti,

$c_1$, $c_2$, $c_3$, $c_4$, $c_5$, $c_6$ = coefficienti definiti mediante la tabella a seguire.

**Tabella 2: Coefficients for Permissible Soil Shear Stress (USDA, 1987) -FHWA**

| *Coefficients for Permissible Soil Shear Stress (USDA, 1987)* | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ASTM Soil Classification** | **Applicable Range** | **$c_1$** | **$c_2$** | **$c_3$** | **$c_4$** | **$c_5$** | **$c_6$ (SI)** | **$c_6$ (CU)** |
| GM | 10≤PI≤20 | 1.07 | 14.3 | 47.7 | 1.42 | -0.61 | $4.8x10^{-3}$ | 10^-4 |
| | 20≤PI | - | - | 0.076 | 1.42 | -0.61 | 48 | 1 |
| GC | 10≤PI≤20 | 0.0477 | 2.86 | 42.9 | 1.42 | -0.61 | $4.8x10^{-2}$ | 10^-3 |
| | 20≤PI | - | - | 0.119 | 1.42 | -0.61 | 48 | 1 |
| SM | 10≤PI≤20 | 1.07 | 7.15 | 11.9 | 1.42 | -0.61 | $4.8x10^{-3}$ | 10^-3 |
| | 20≤PI | - | - | 0.058 | 1.42 | -0.61 | 48 | 1 |
| SC | 10≤PI≤20 | 1.07 | 14.3 | 47.7 | 1.42 | -0.61 | $4.8x10^{-3}$ | 10^-4 |
| | 20≤PI | - | - | 0.076 | 1.42 | -0.61 | 48 | 1 |
| ML | 10≤PI≤20 | 1.07 | 7.15 | 11.9 | 1.48 | -0.57 | $4.8x10^{-3}$ | 10^-4 |
| | 20≤PI | - | - | 0.058 | 1.48 | -0.57 | 48 | 1 |
| CL | 10≤PI≤20 | 1.07 | 14.3 | 47.7 | 1.48 | -0.57 | $4.8x10^{-3}$ | 10^-4 |
| | 20≤PI | - | - | 0.076 | 1.48 | -0.57 | 48 | 1 |
| MH | 10≤PI≤20 | 0.0477 | 1.43 | 10.7 | 1.38 | -0.373 | $4.8x10^{-2}$ | 10^-3 |
| | 20≤PI | - | - | 0.058 | 1.38 | -0.373 | 48 | 1 |
| CH | 20≤PI | - | - | 0.097 | 1.38 | -0.373 | 48 | 1 |

Il confronto dei valori di $\tau_e$ e $\tau_p$ consente di definire se il tratto di alveo in esame è soggetto a possibili fenomeni di erosione ( $\tau_{e>}\tau_p$ ) oppure la tendenza evolutiva del corso d'acqua è quella di lasciar depositare il materiale d'alveo ( $\tau_{e<}\tau_p$ ).

## 6.2. Applicazione al tronco terminale del Pora

La caratterizzazione sedimentologica dell'alveo del torrente Pora è stata ricavata mediante l'utilizzo del campionamento di materiale dal letto fluviale avvenuto in corrispondenza della sezione 25 che, per caratteristiche del materiale, può essere considerata rappresentativa dell'intero corso d'acqua (vedi *paragr.2.3*).

In generale si osserva che il materiale che costituisce il fondo alveo è caratterizzato da granulometrie grossolane di tipo ciottoloso-ghiaioso debolmente sabbioso.

L'analisi delle tendenze evolutive nel tratto di torrente compreso tra le sez.23-sez.1, oggetto del presente progetto preliminare di 1° stralcio, è stata condotta applicando a ciascuna sezione di calcolo del corso d'acqua, inserita nel modello idraulico secondo la configurazione di progetto prevista, la relazione di equilibrio tra la forza motrice della corrente in alveo e l'azione resistente al moto secondo la metodologia proposta da FHWA, in relazione ad un evento di piena duecentennale. A seguire si riportano i valori dei coefficienti adottati per il calcolo:

$D_{75}$ = 27.5 mm

Cf = 0.8

ns = 0.0261

PI= 15

e = 0.47

ASTM Soil Classification = GM (ghiaie limose, miscele limo ghiaia).

L'analisi dell'assetto di progetto mostra una prevalente tendenza erosiva ( $\tau_{e>}\tau_p$ ) lungo l'intero tratto del T.Pora compreso tra il ponte di via Sagittario e la foce, ad eccezione del tratto compreso tra le sez.8-sez.6, in corrispondenza del ponte di attraversamento RFI, lungo le quali l'azione motrice esercitata dalla corrente risulta inferiore all'azione resistente del materiale d'alveo e del ricoprimento erboso considerato. In ragione dei risultati ottenuti si è deciso pertanto, cautelativamente, di differenziare i

valori di scabrezza lungo l'alveo nell'intervallo compreso tra Ks = 31 $m^{1/3}/s$ per il tratto a prevalente tendenza al deposito (sez.8-sez.6) e Ks ~ 34$m^{1/3}/s$ per i tratti con prevalente tendenza erosiva.

# 7. INDIRIZZI PER LA MANUTENZIONE DELL'ALVEO E DELLE OPERE DI DIFESA

L'obiettivo di un programma di monitoraggio e manutenzione è principalmente quello di fornire uno strumento che consenta di pianificare gli interventi necessari al mantenimento nel tempo delle condizioni di sicurezza idraulica.

Il *piano di monitoraggio e manutenzione dell'alveo* dovrà perseguire l'obiettivo di:

- definire le azioni di monitoraggio da programmare allo scopo di acquisire periodicamente le necessarie informazioni in merito alla naturale evoluzione del corso d'acqua, onde evitare che, in assenza di controllo e di manutenzione, si abbia negli anni una diminuzione dell'officiosità idraulica per effetto di possibili modificazioni della geometria delle sezioni di deflusso generate da fenomeni di deposito/erosione;
- definire le azioni di monitoraggio da prevedersi a seguito di eventi di piena di particolare intensità;
- segnalare la necessità, ai fini del mantenimento delle condizioni di sicurezza sopra richiamate, di operazioni di rimozione e sfalcio della vegetazione presente in alveo, di interventi periodici di asportazione materiale o di risagomatura delle sezioni di deflusso;
- fornire indicazione in merito agli interventi di manutenzione da attuarsi sulle opere di difesa idraulica.

### 7.1.1. Manutenzione dell'alveo

Le valutazioni effettuate in merito alle problematiche di trasporto solido hanno evidenziato una maggiore tendenza al deposito in corrispondenza del tratto posto a cavallo del nuovo ponte RFI (sez.8-sez.6) contestualmente ad un evento di piena di elevato tempo di ritorno (Tr=200 anni). Da tali considerazioni si rileva pertanto la necessità di periodici interventi di asportazione del materiale depositato (specialmente a seguito di eventi di piena significativi) onde garantire il mantenimento della massima officiosità idraulica in particolare proprio in corrispondenza delle suddette sezioni di deflusso.

Lungo l'intero tratto del T.Pora, oggetto di studio, è necessario seguire un programma di monitoraggio, la cui finalità sia quella di definire una procedura ripercorribile che consenta di stabilire dove e quando sia necessario procedere con operazioni di disalveo per il mantenimento delle condizioni di sicurezza

assunte in sede di pianificazione. Il monitoraggio sistematico consente l'applicazione di un programma di manutenzione che limita gli interventi di movimentazione ed estrazione del materiale solido solo ai casi di effettiva necessità.

Il monitoraggio potrà essere eseguito assumendo quali sezioni di controllo quelle di riferimento del presente studio, le quali dovranno essere oggetto di rilievo topografico ogni cinque anni e comunque dopo ogni evento di piena significativo: dalle risultanze di tali rilievi sarà possibile determinare se esistono i presupposti per programmare interventi di asportazione di materiale d'alveo.

Si evidenzia infatti come un innalzamento generalizzato del fondo medio del corso d'acqua si tradurrebbe in un incremento di livelli idrici di piena con una conseguente riduzione dei franchi di sicurezza. Nei tratti in cui questi ultimi risultano prossimi al valore minimo di riferimento (0.5 m) è chiaro che un sovralluvionamento generalizzato risulterebbe incompatibile, in termini di sicurezza, con quanto assunto in sede di pianificazione.

Qualora le verifiche topografiche puntuali sopra illustrate mostrino un livello medio di fondo sensibilmente superiore rispetto alla configurazione di progetto, si dovrà effettuare una campagna di rilievo su il tratto di interesse.

Nel caso in cui le analisi così effettuate confermino un innalzamento/abbassamento generalizzato dell'assetto di fondo, si dovrà programmare l'intervento che consenta il ripristino della configurazione di progetto.

Al fine di minimizzare possibili errori di compensazione di rilievo, si segnala la necessità di fissare, a partire dalla prima verifica topografica, i punti fiduciari per ciascuna sezione trasversale: tali punti costituiranno i riferimenti per le successive campagne di verifica.

### 7.1.2. Opere di difesa idraulica

Il programma di monitoraggio prevede altresì il controllo visivo delle opere di difesa idraulica (muri di sponda) per verificare il loro stato di manutenzione a fronte di eventuali fenomeni di ammaloramento, scalzamento al piede, ecc….. La verifica periodica di tali opere verrà effettuata a cadenza annuale ed a seguito di ogni evento di piena significativo.

Nelle tabelle di seguito riportate vengono indicati i principali interventi di manutenzione da eseguirsi sul corso d'acqua e sulle opere di difesa allo scopo di mantenere l'alveo e le opere in buono stato,

garantendo la stabilità nel tempo dell'intervento di sistemazione ed il permanere, quindi, di idonee condizioni di sicurezza idraulica.

Dal punto di vista della priorità di intervento sarà opportuno dare la precedenza alle operazioni di manutenzione volte al raggiungimento dell'assetto di progetto nei casi in cui la situazione attuale presenti una configurazione "non idonea" mentre risulteranno meno prioritari gli interventi di semplice mantenimento della situazione già in essere.

**PROGRAMMA DI MANUTENZIONE - ALVEO**

| Opera oggetto di manutenzione | *Risorse necessarie per l'intervento* manutentivo | Anomalie riscontrabili | Interventi di Manutenzione |
|---|---|---|---|
| Alveo del corso d'acqua | Attrezzi d'uso comune<br><br>Operai con DPI<br><br>Mezzi meccanici per movimenti terra | - Alterazione delle sezioni di deflusso per erosione del fondo o delle sponde, o per formazione di depositi<br><br>- Presenza di depositi di materiale vegetale o litoide in alveo<br><br>- Presenza di materiale improprio in alveo (rifiuti, materiale da discarica) | - ripristino della sezione d'alveo con eliminazione dei materiali litoidi ostacolanti o parzializzanti il regolare deflusso<br>- rimozione di rifiuti solidi e taglio di vegetazione arbustiva ed arborea nell'alveo, ostacolo al deflusso regolare delle piene ricorrenti<br>- ripristino della sezione di deflusso in corrispondenza dei ponti, tramite: rimozione dei tronchi d'albero e di altro materiale che costituisca ostruzione, rimozione di depositi alluvionali che ostacolino il regolare deflusso. |

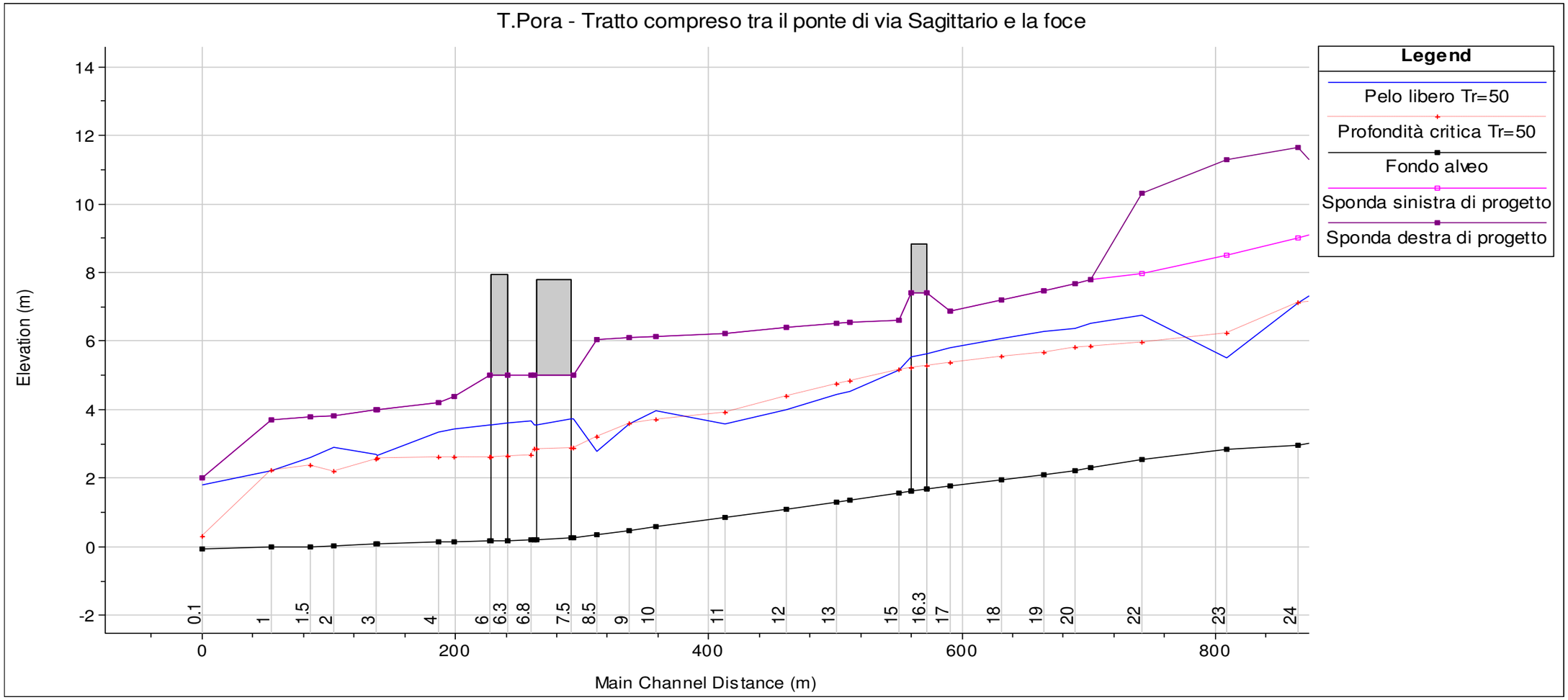
**PROGRAMMA DI MANUTENZIONE - OPERE DI DIFESA IDRAULICA**

| Opera oggetto di manutenzione | *Risorse necessarie per l'intervento* manutentivo | Anomalie riscontrabili | Interventi di Manutenzione |
|---|---|---|---|
| Argini | Sfalciatrice | Crolli ed erosioni localizzate, fessurazioni con creazione di vie preferenziali di deflusso. | Sfalcio d'erba.<br>Controlli visivi. |
| Muri di difesa in cls | Attrezzi d'uso comune, impalcature, trabattelli. Operai con DPI. | Ammaloramento cls<br>Scalzamento al piede<br>Distacchi rivestimento in pietrame del paramento<br>Infiltrazioni | Interventi di ripristino cls<br>Ripristino protezione al piede con massi di cava<br>Manutenzione rivestimento in pietrame |

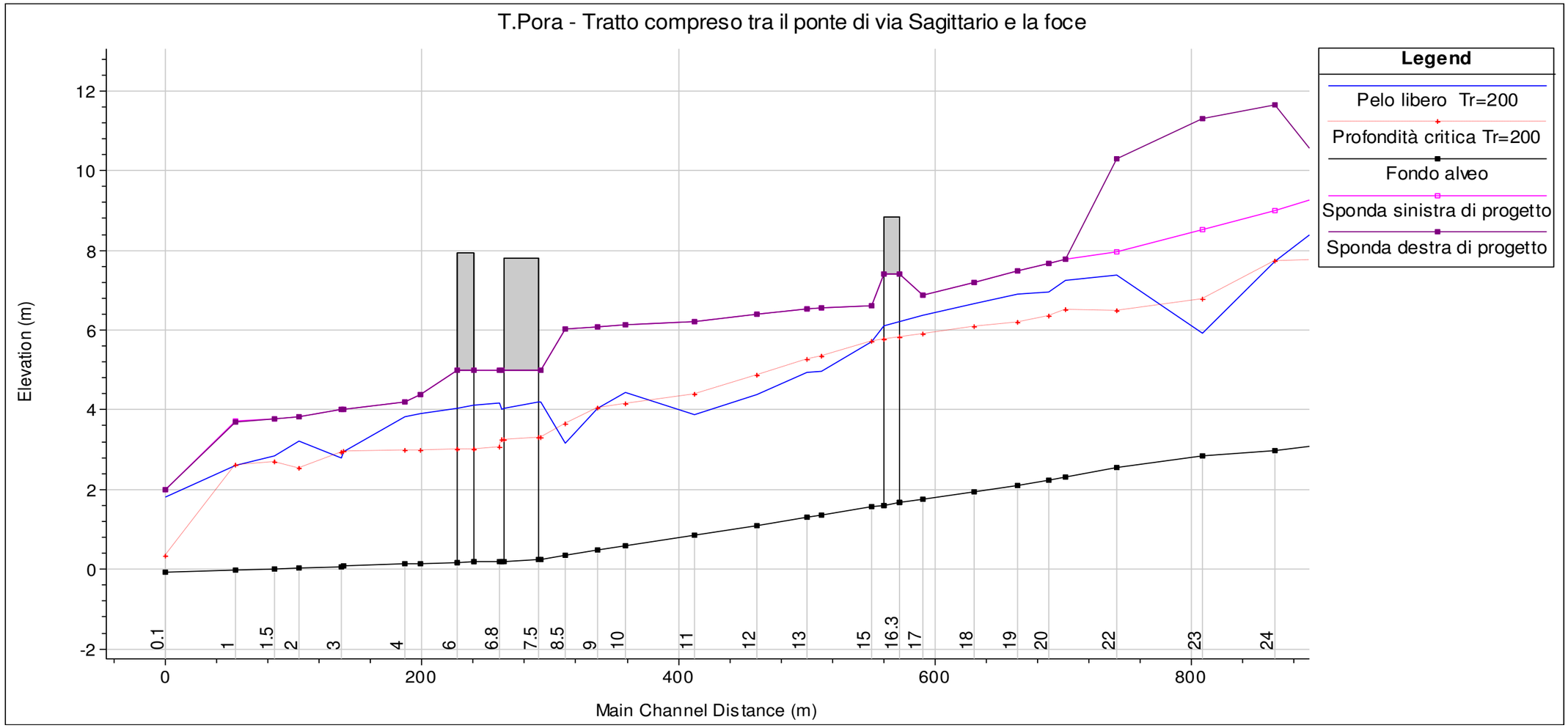
PROFILI DI RIGURGITO IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE PER LE PORTATE Tr=50, 200 ANNI

T.PORA

Profilo idraulico del T.Pora  - Simulazione relativa alla portata 50-ennale



Profilo idraulico del T.Pora  - Simulazione relativa alla portata 200-ennale

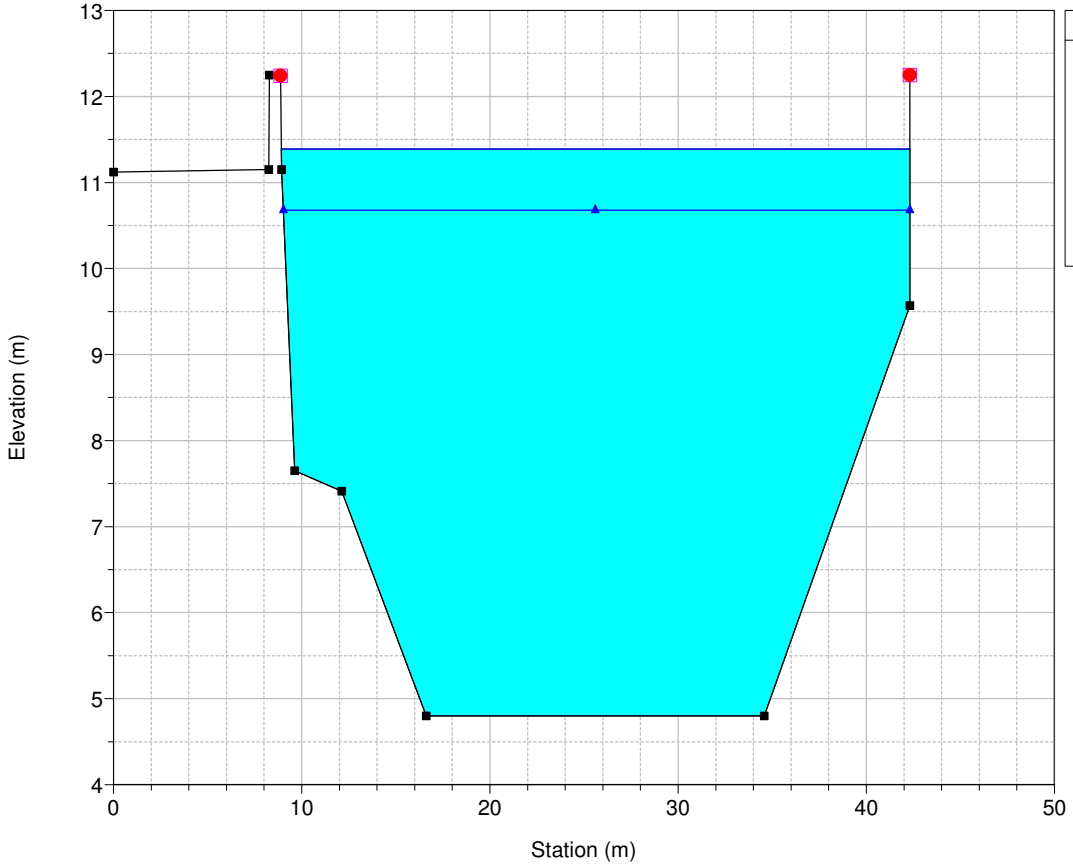


GEOMETRIA DELLE SEZIONI ED ALTEZZA DEL PELO LIBERO IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE PER LE PORTATE: TR= 50,200 ANNI

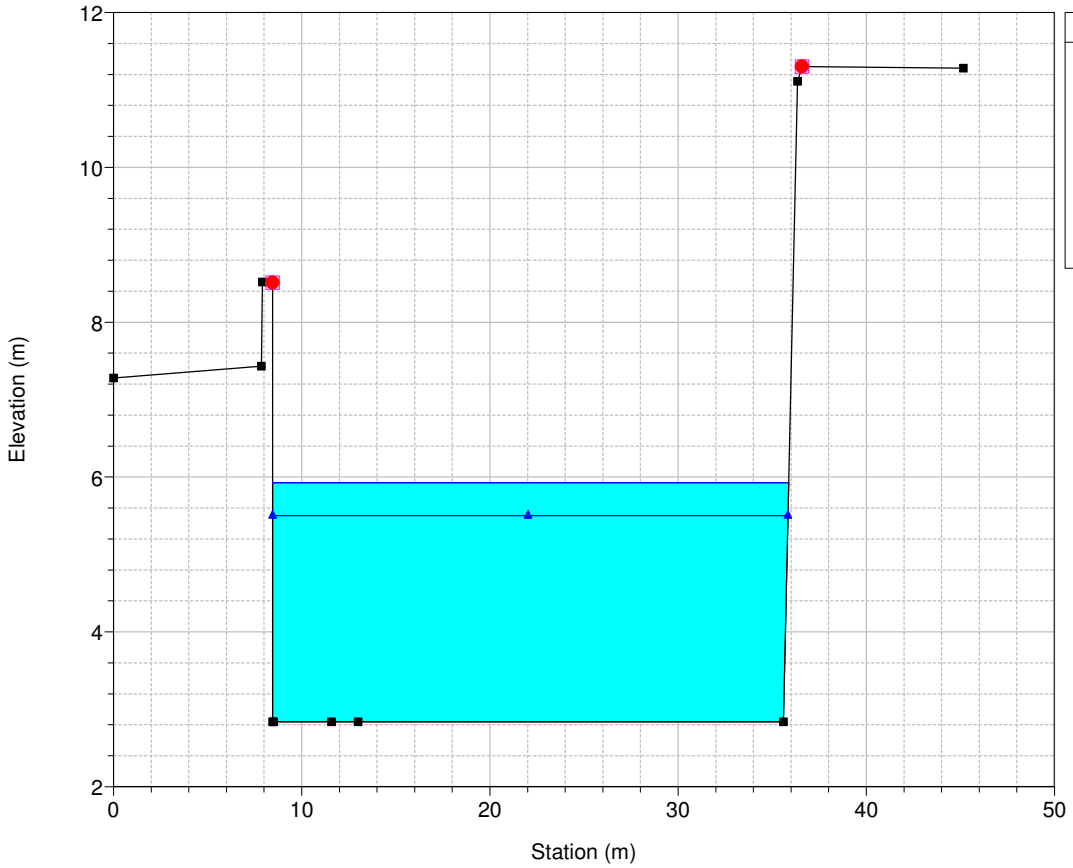
PORA

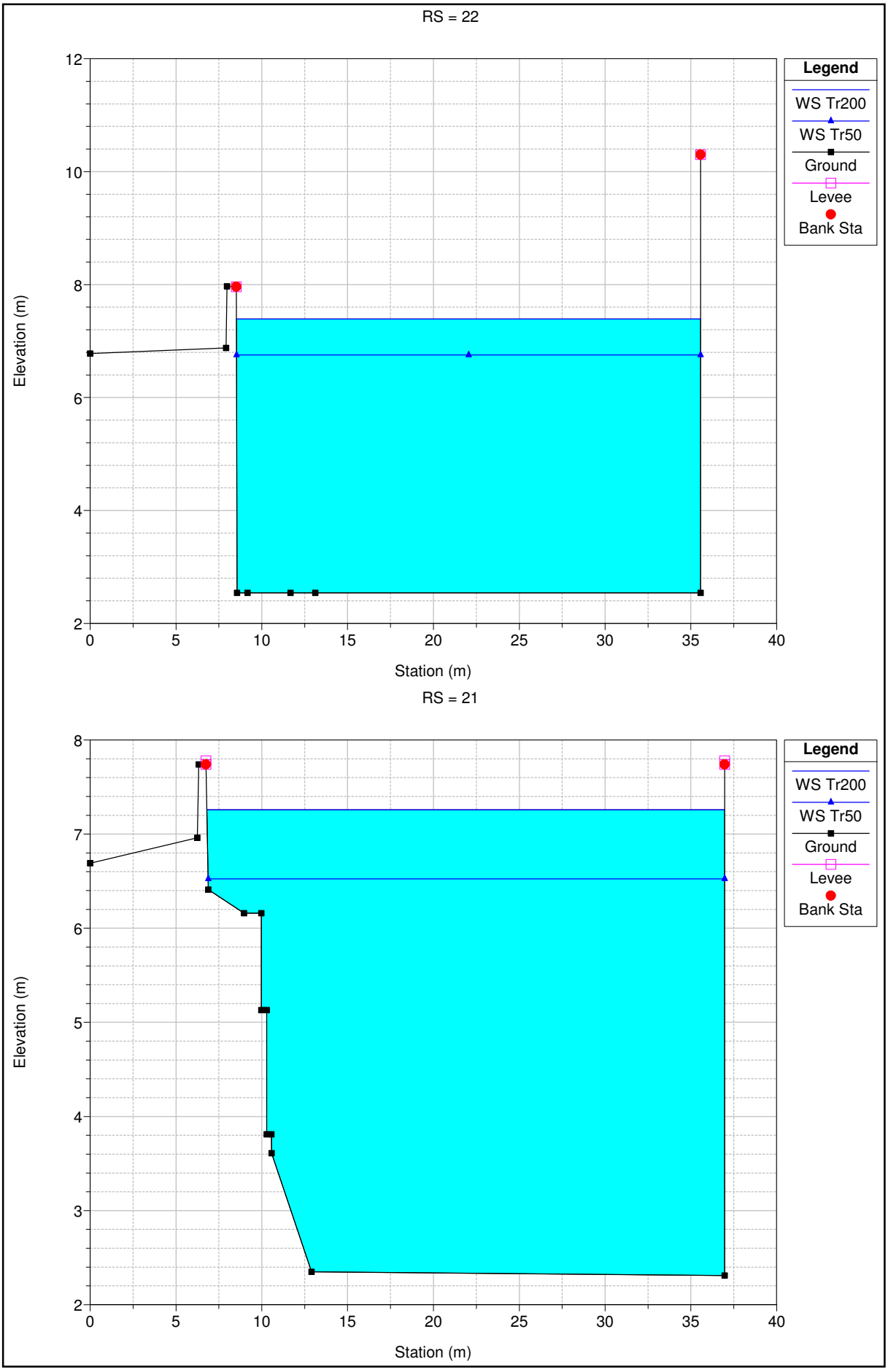
DALLA SEZIONE 1
ALLA SEZIONE 23

RS = 37

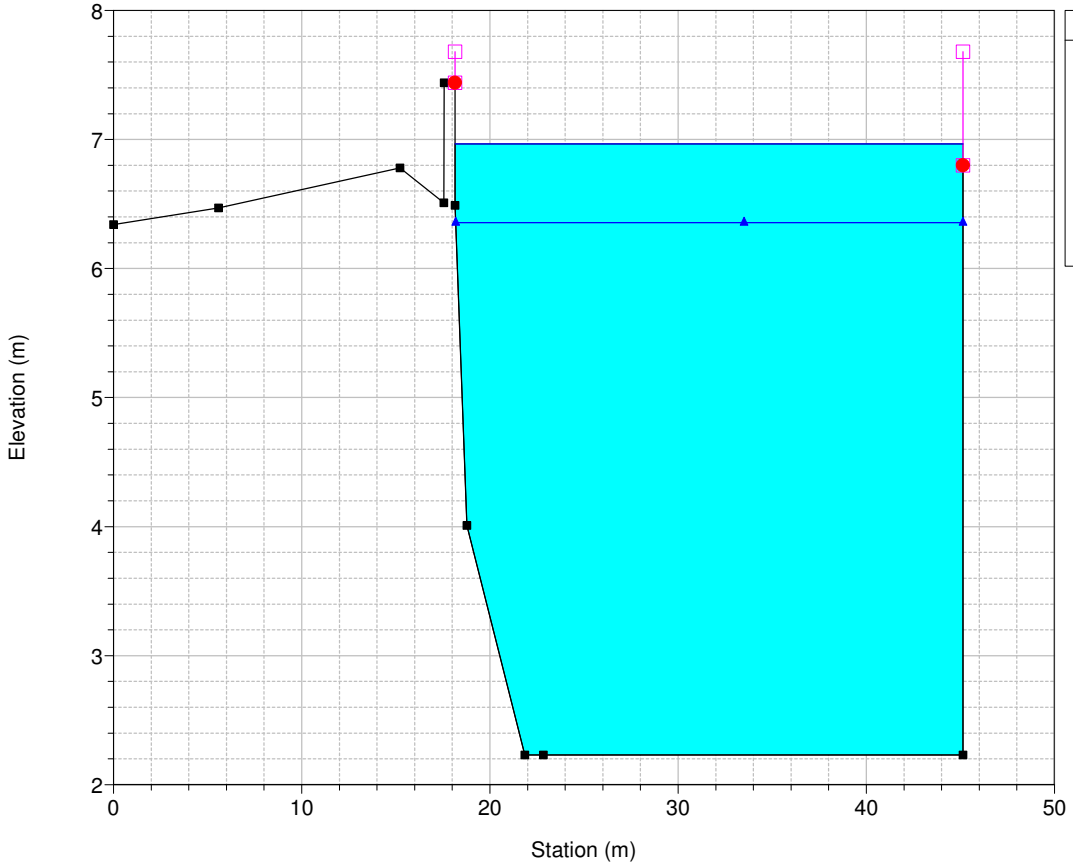

Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
0
10
20
30
40
50

RS = 23

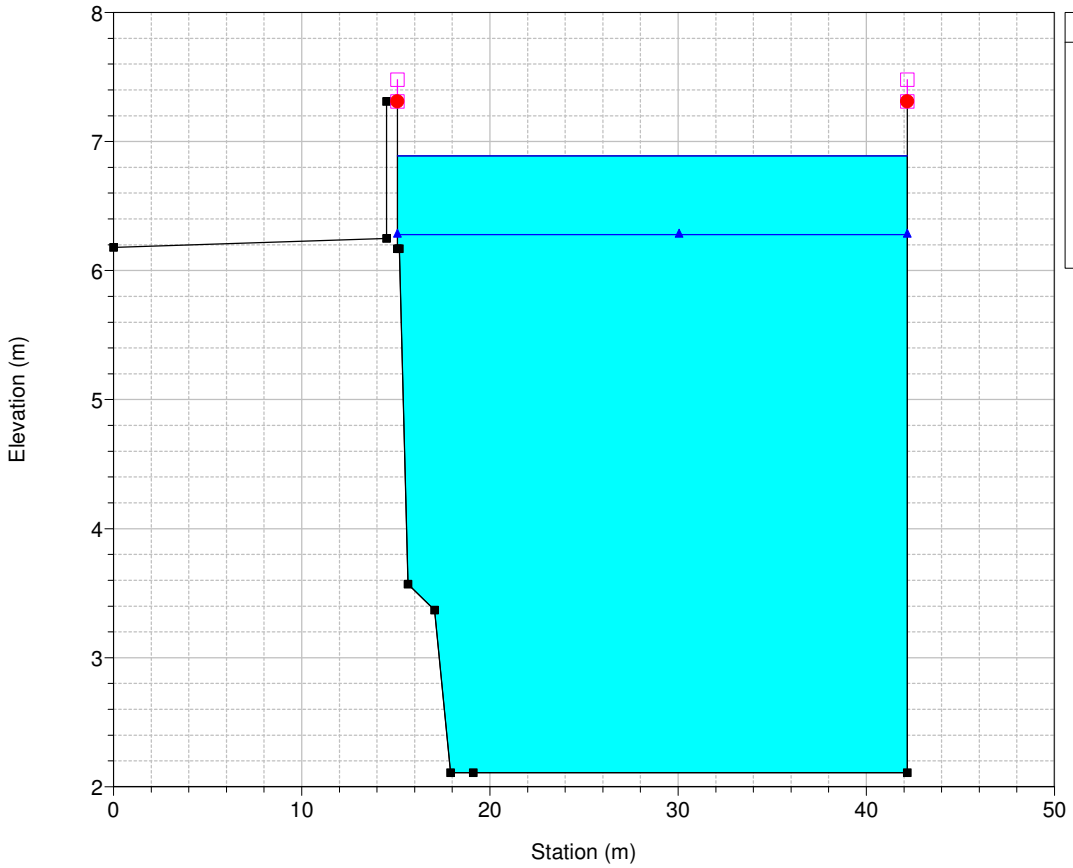

Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
10
8
6
4
2
0
10
20
30
40
50

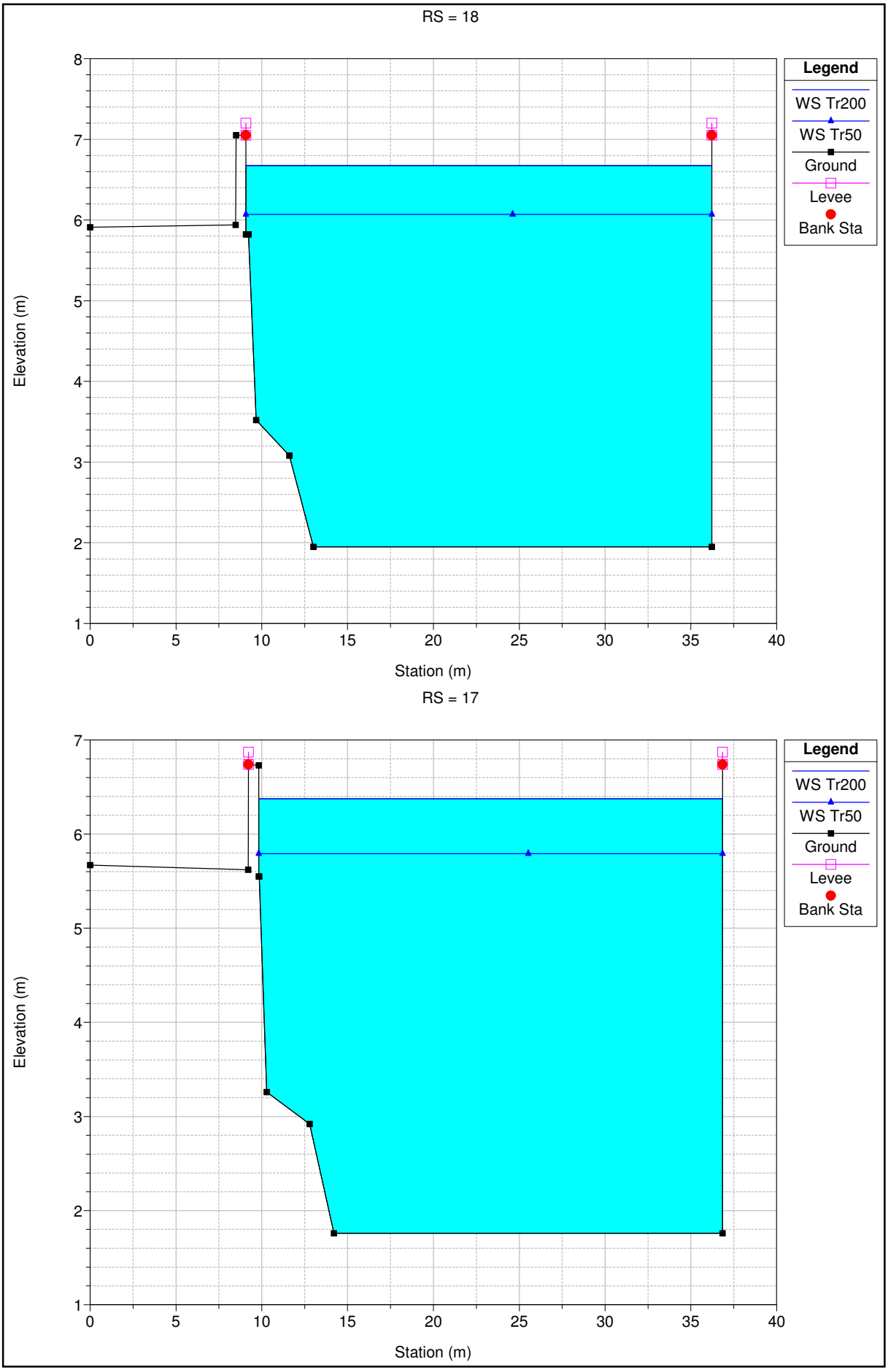

RS = 22
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
RS = 21
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

RS = 20

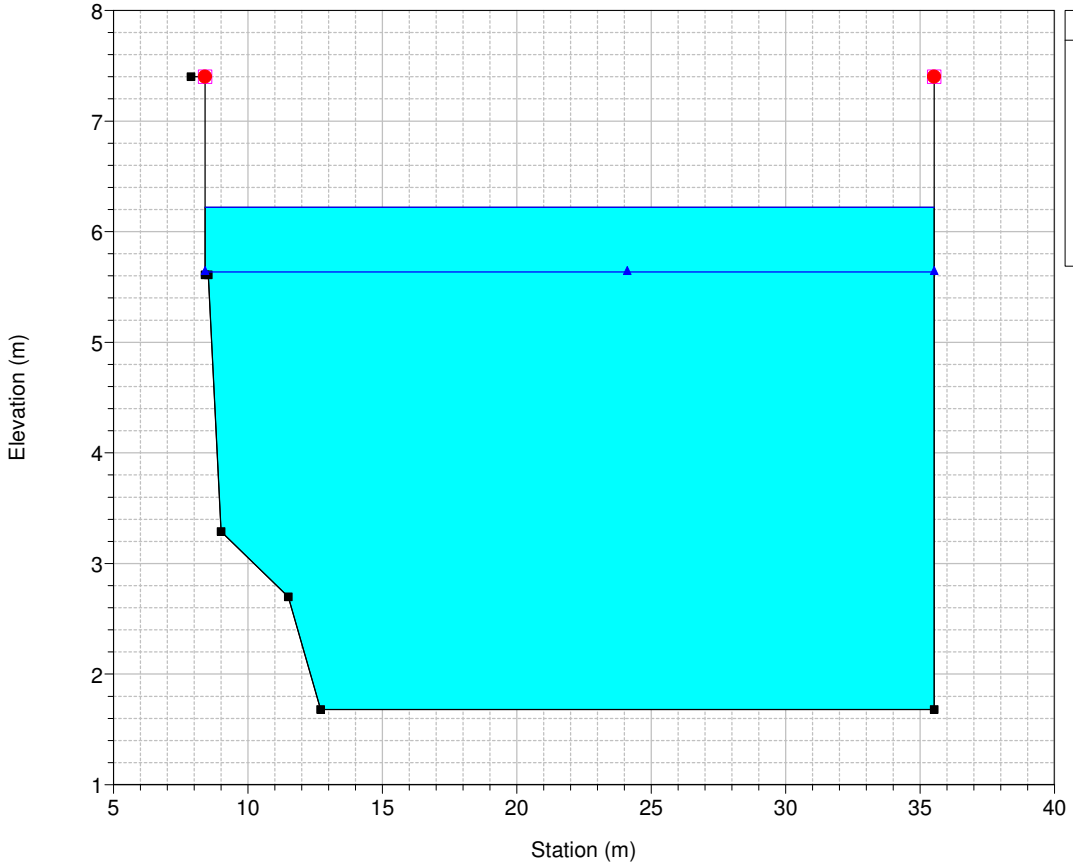

Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
8
7
6
5
4
3
2
0
10
20
30
40
50

RS = 19

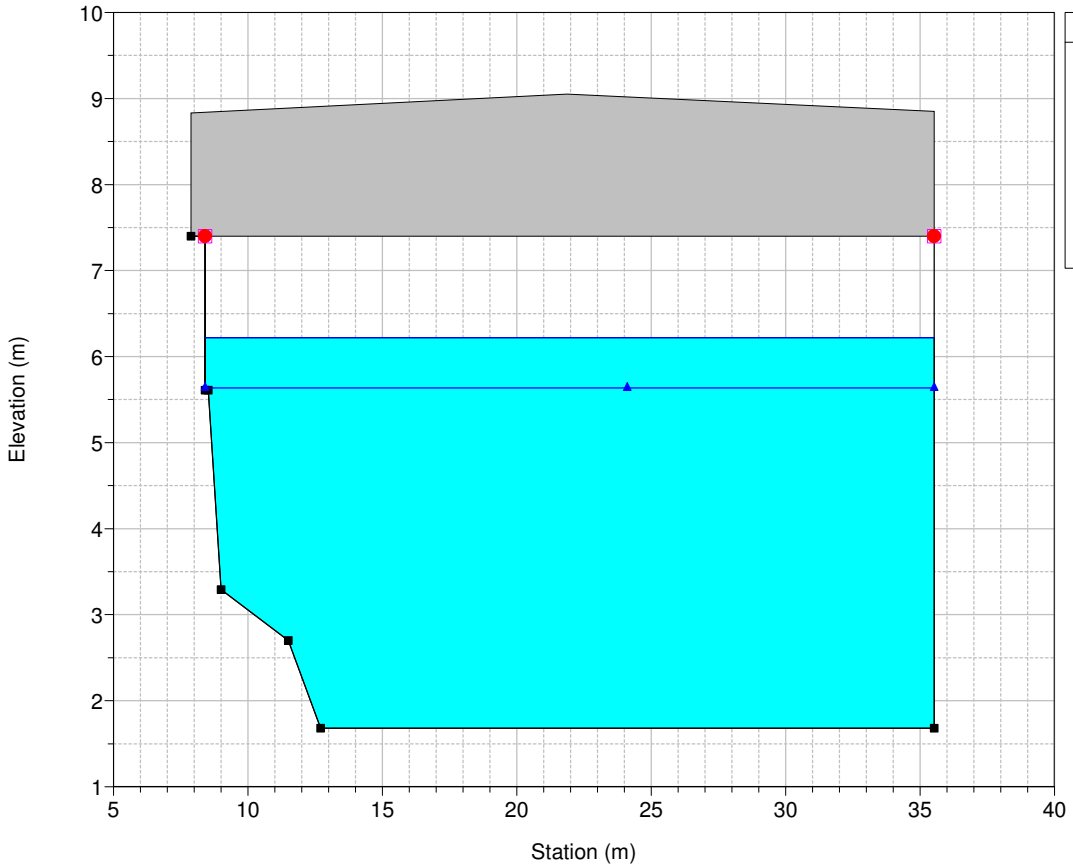

Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
8
7
6
5
4
3
2
0
10
20
30
40
50


RS = 18
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
RS = 17
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

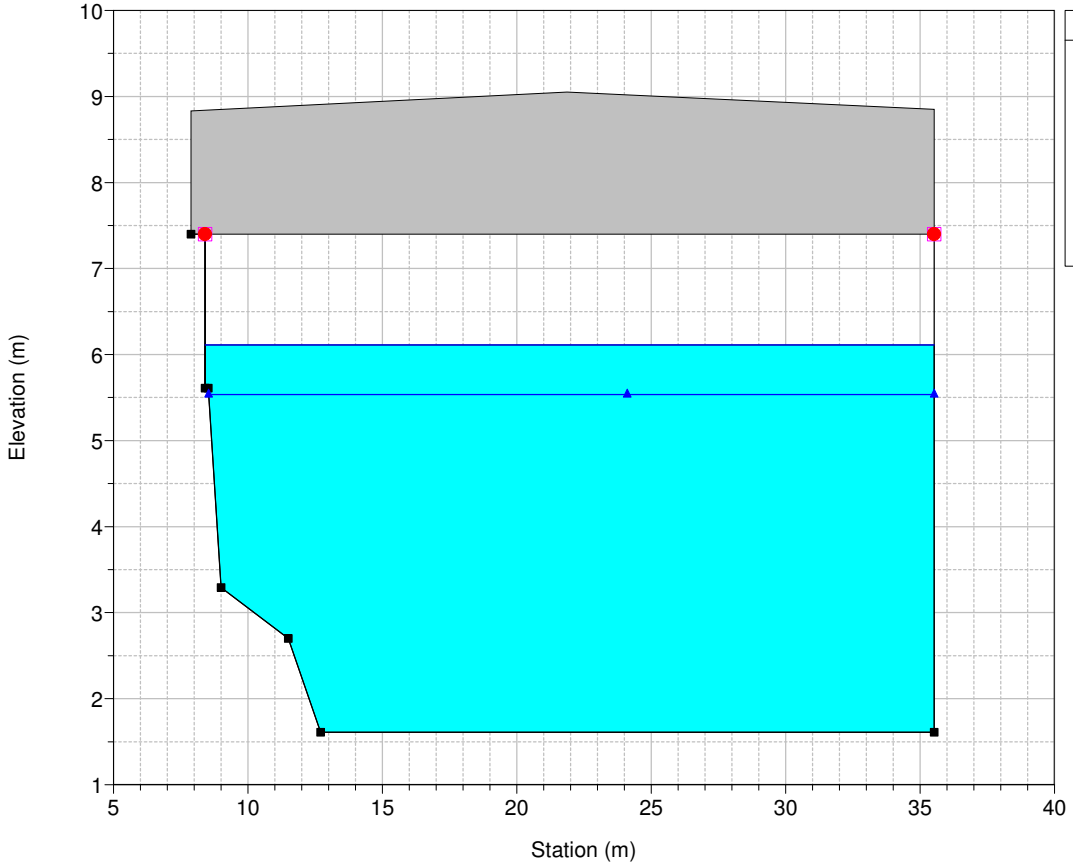
RS = 16.5



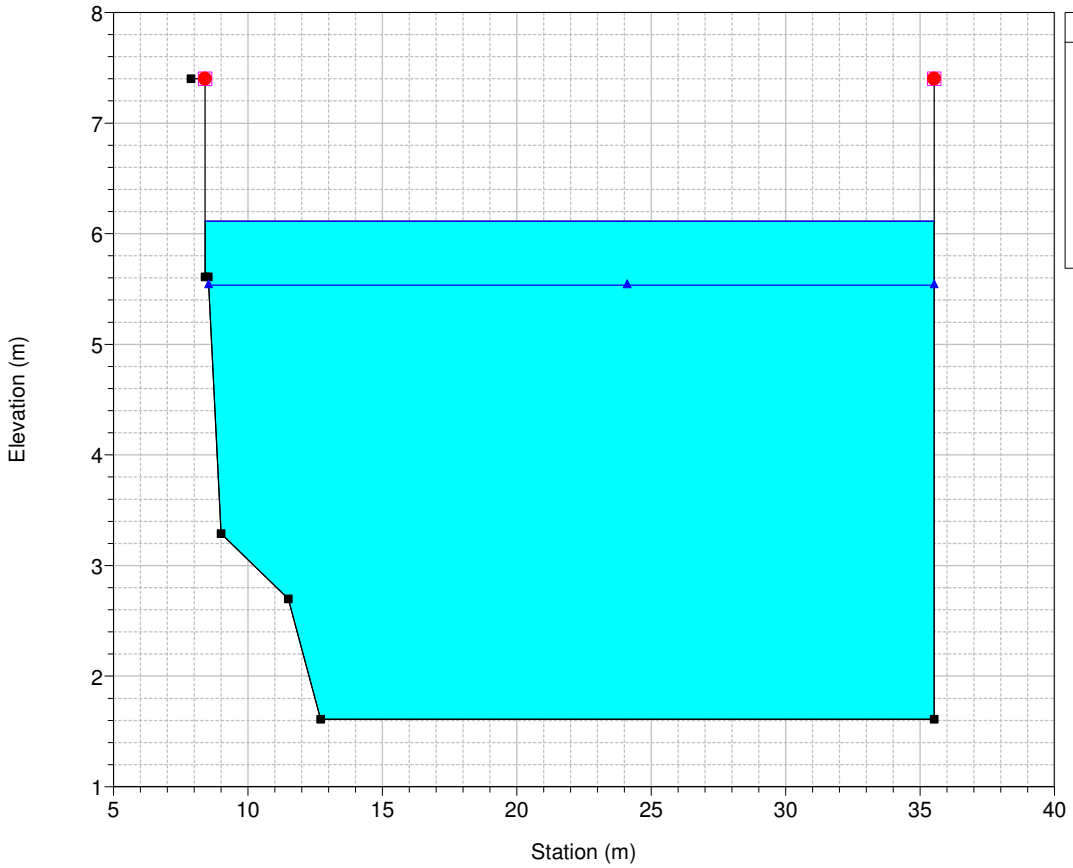

RS = 16.3 BR

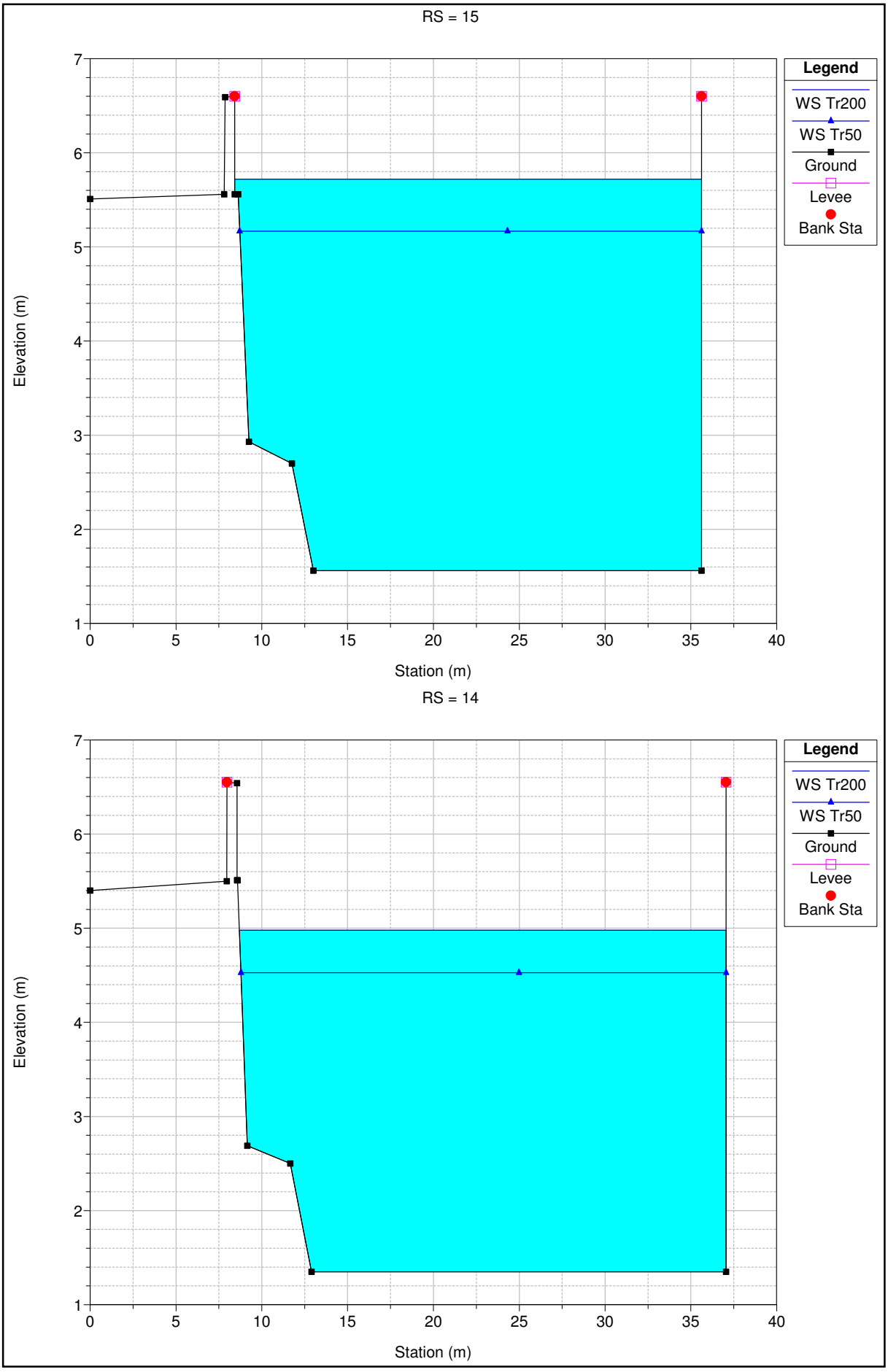


RS = 16.3 BR

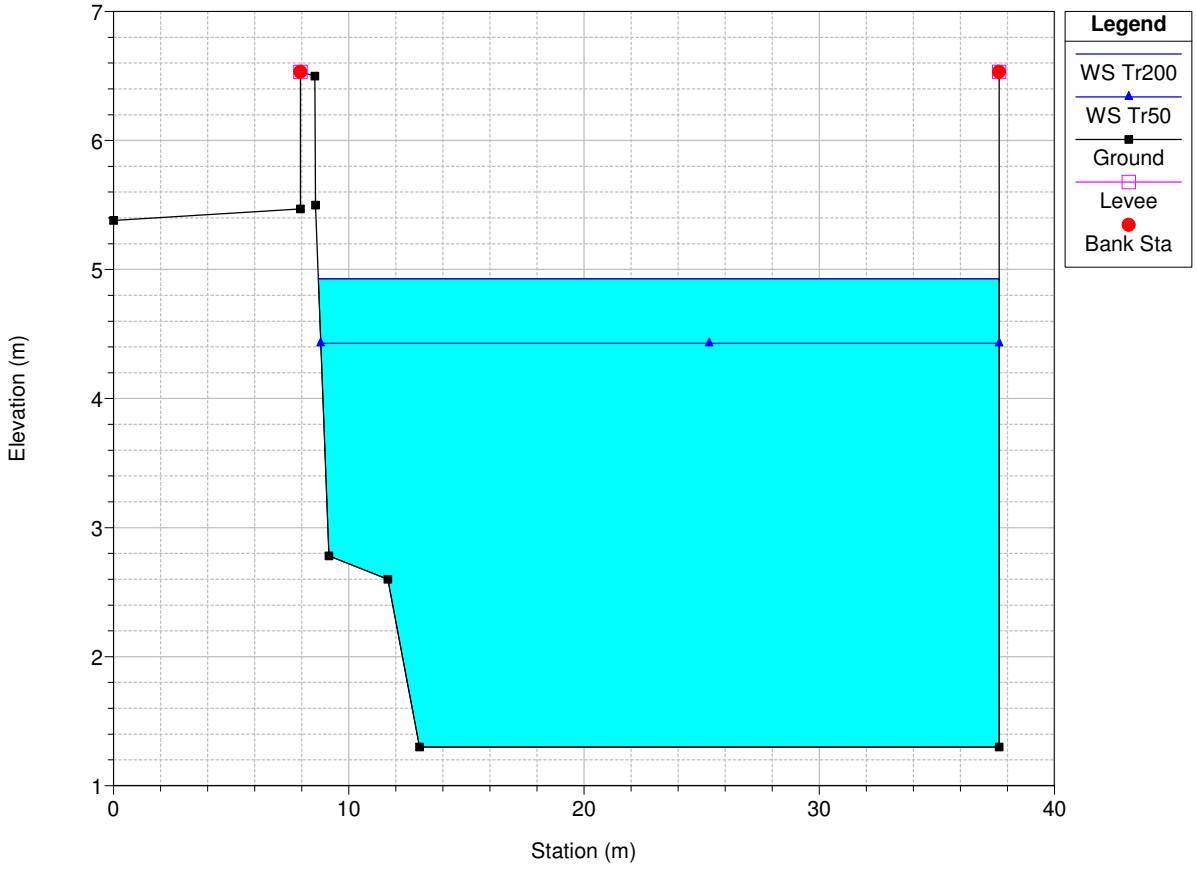



RS = 16

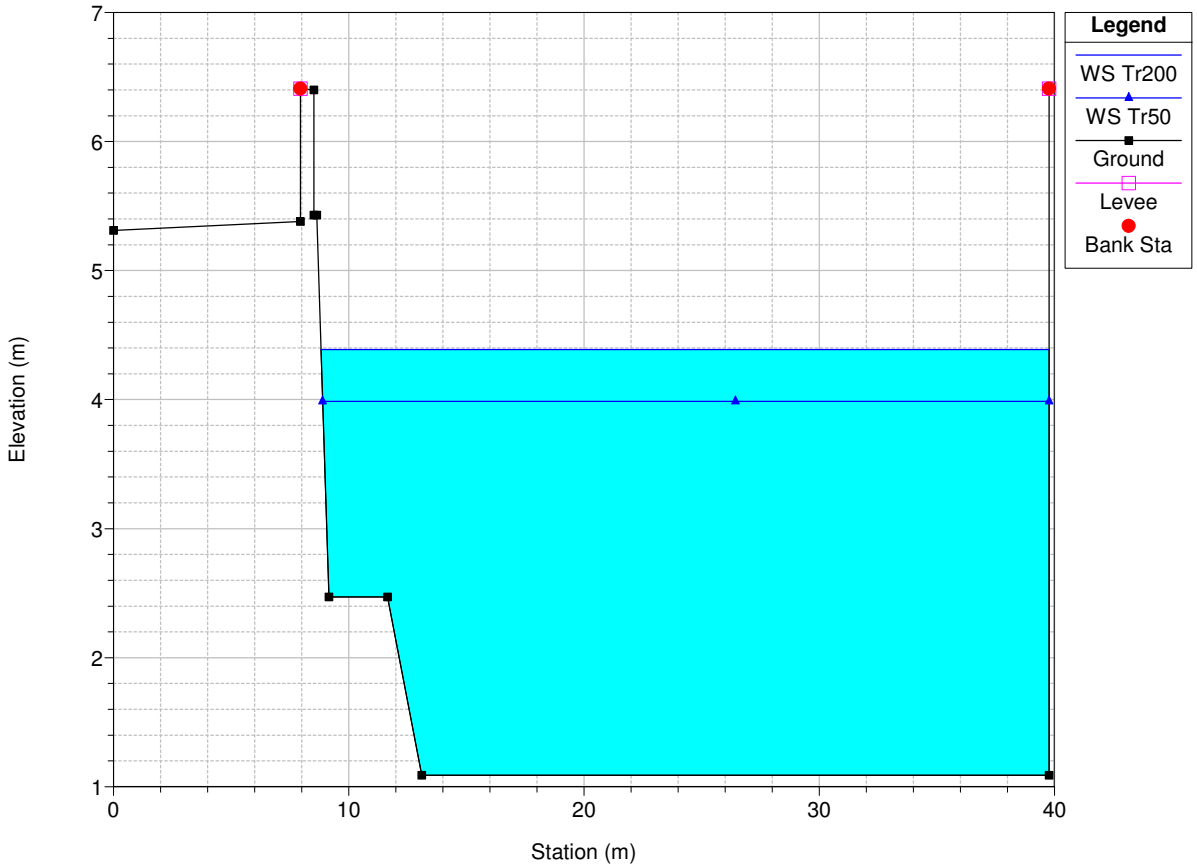



RS = 15
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
RS = 14
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

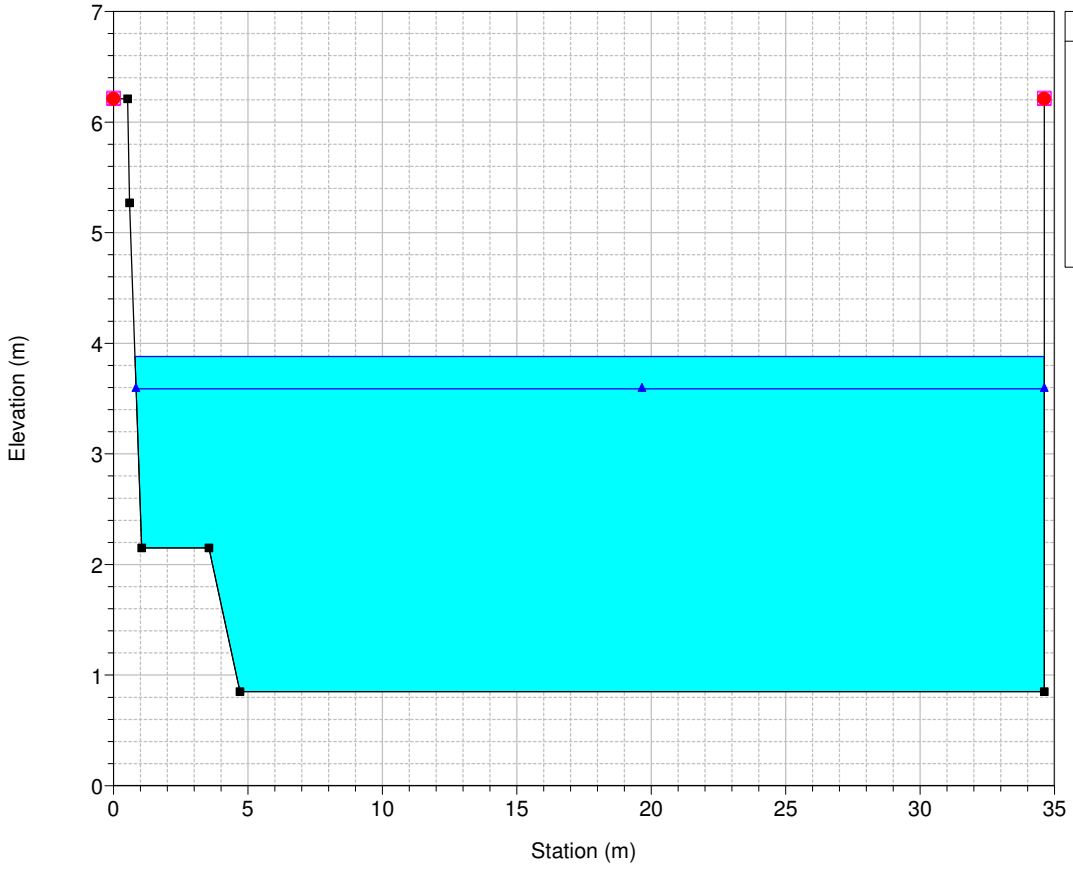
RS = 13


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40

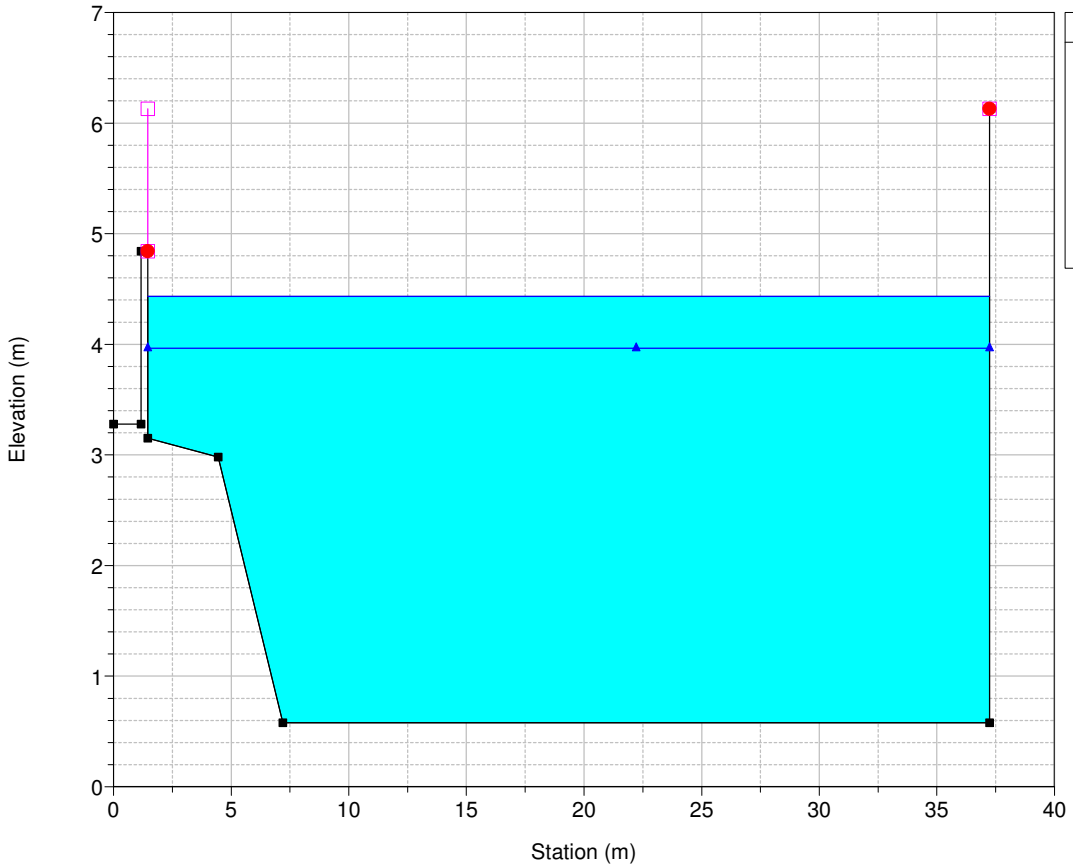
RS = 12


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40

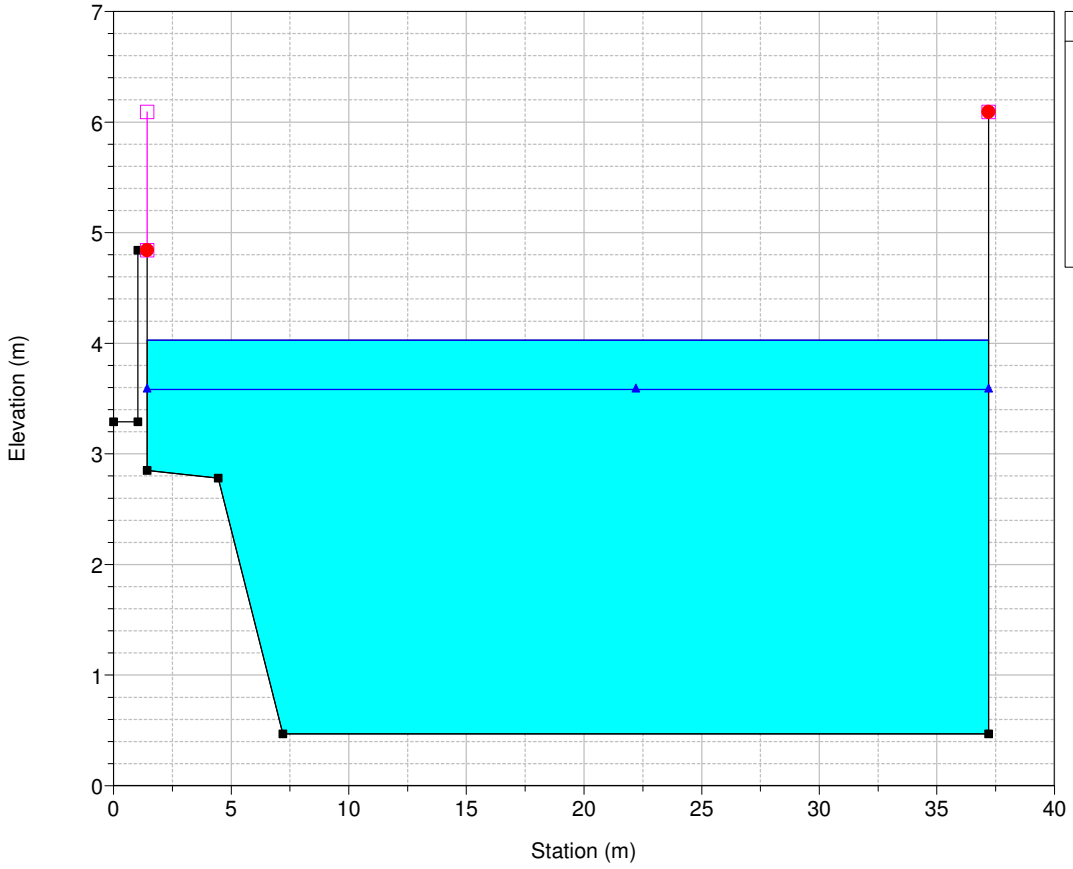
RS = 11


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
5
10
15
20
25
30
35

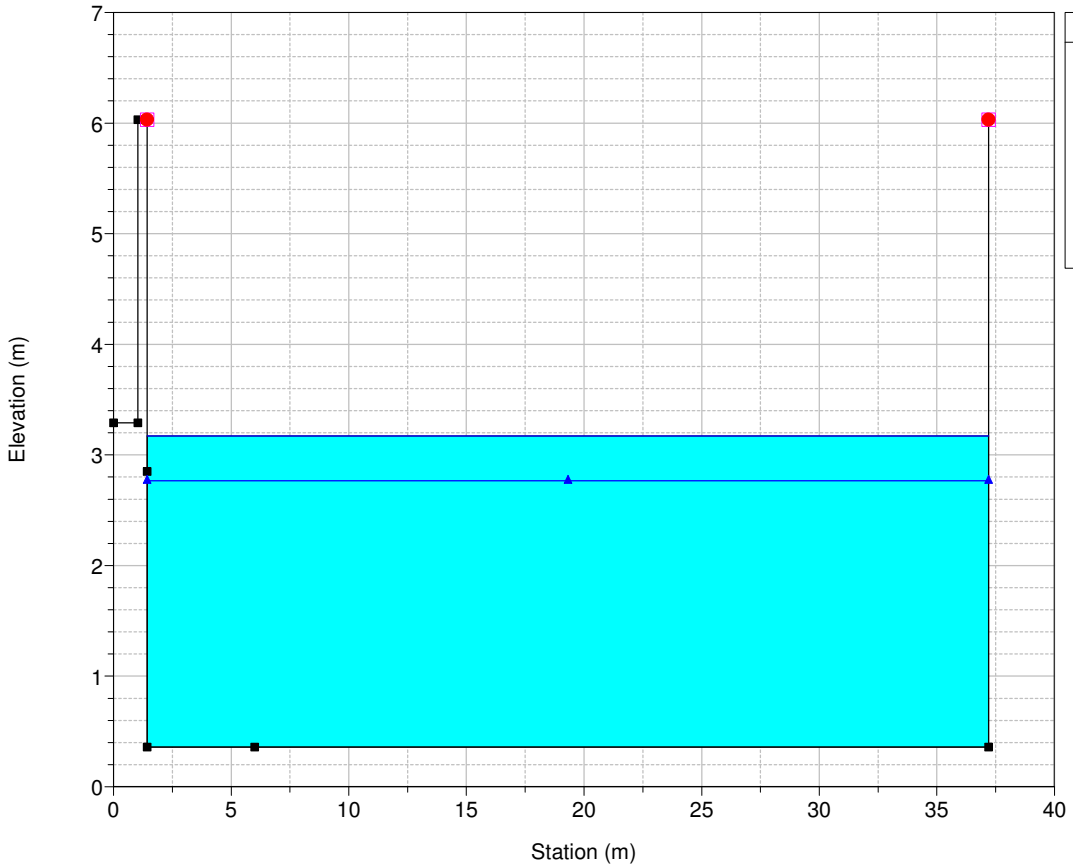
RS = 10


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
5
10
15
20
25
30
35
40

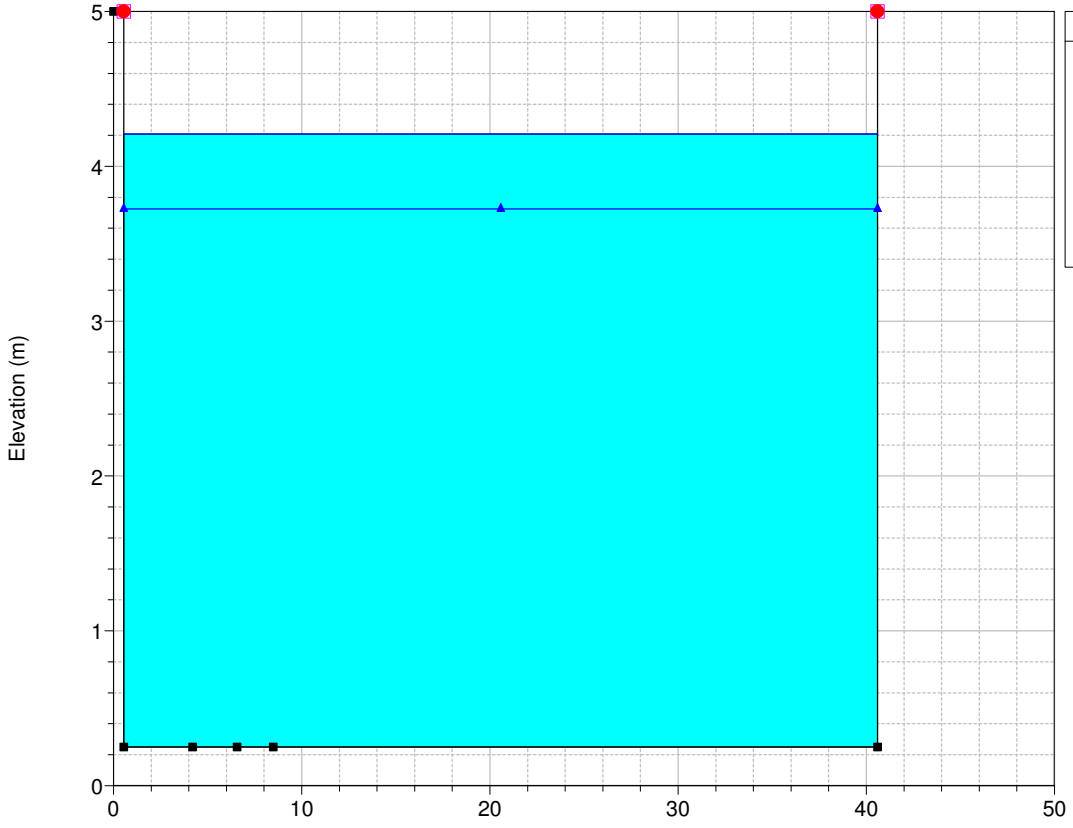
RS = 9


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
5
10
15
20
25
30
35
40

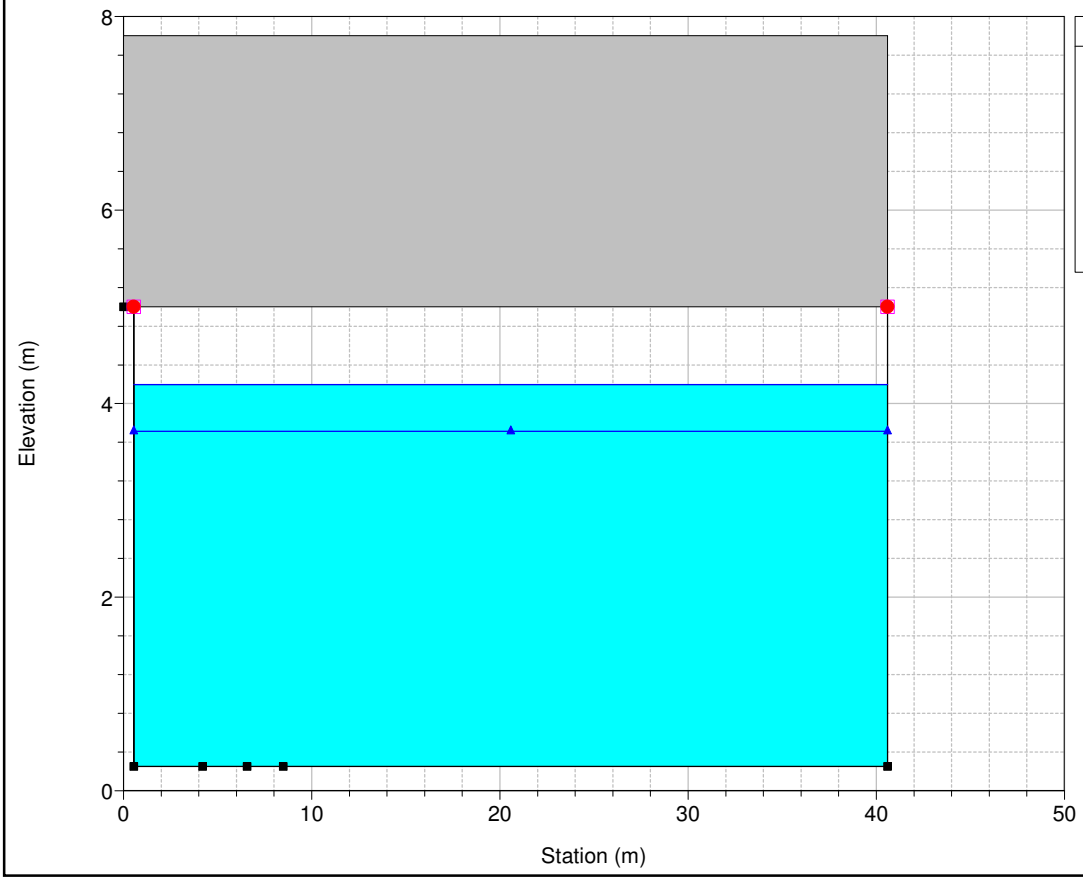
RS = 8.5


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
6
7
0
5
10
15
20
25
30
35
40

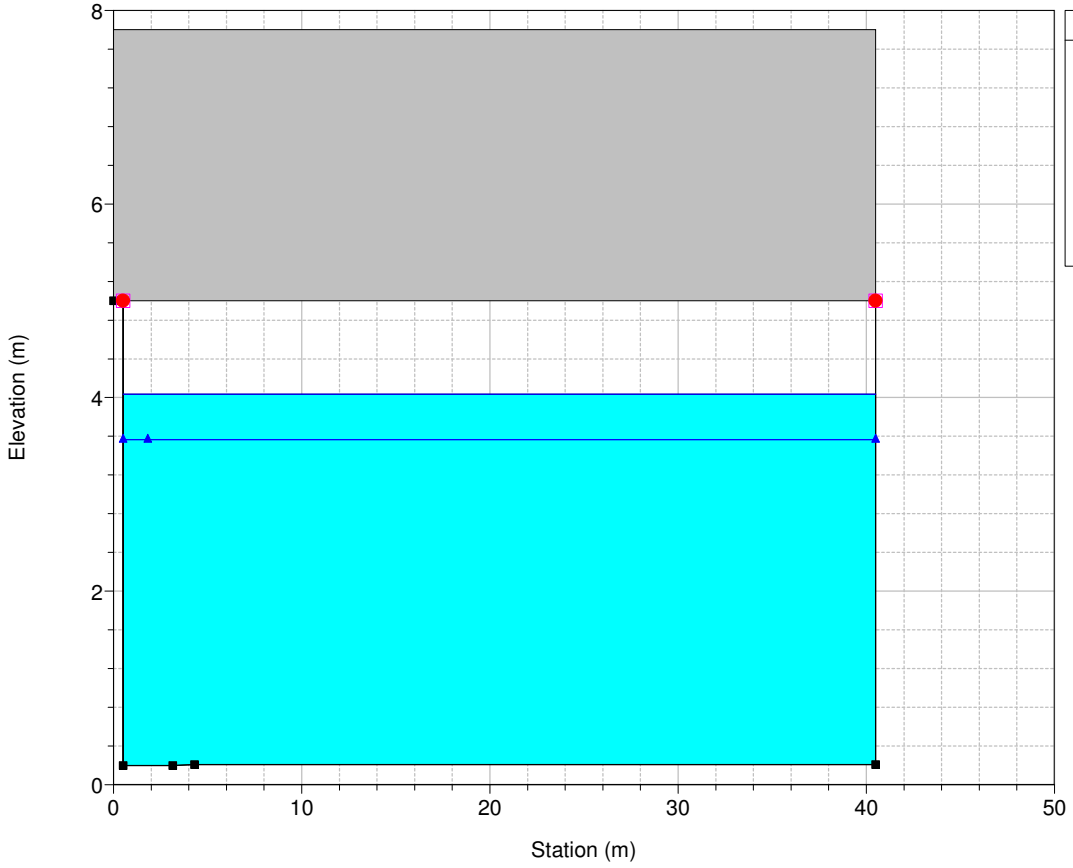
RS = 8


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50

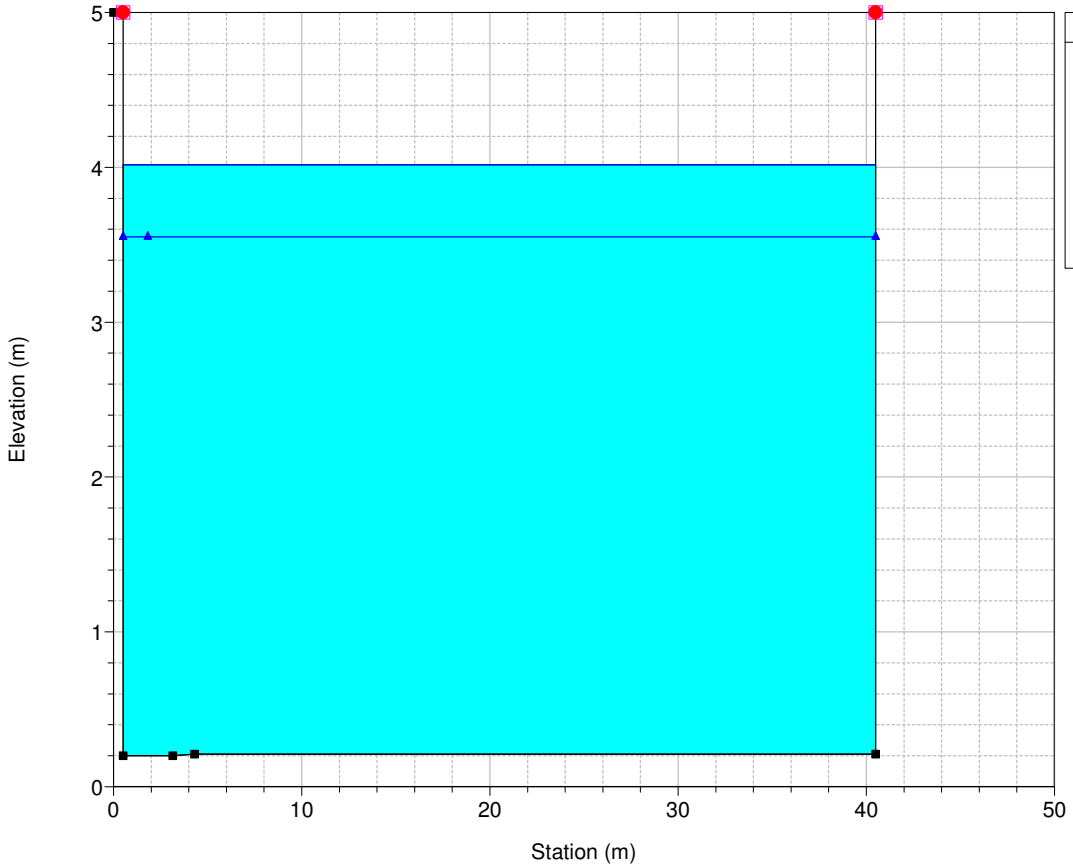
RS = 7.5 BR

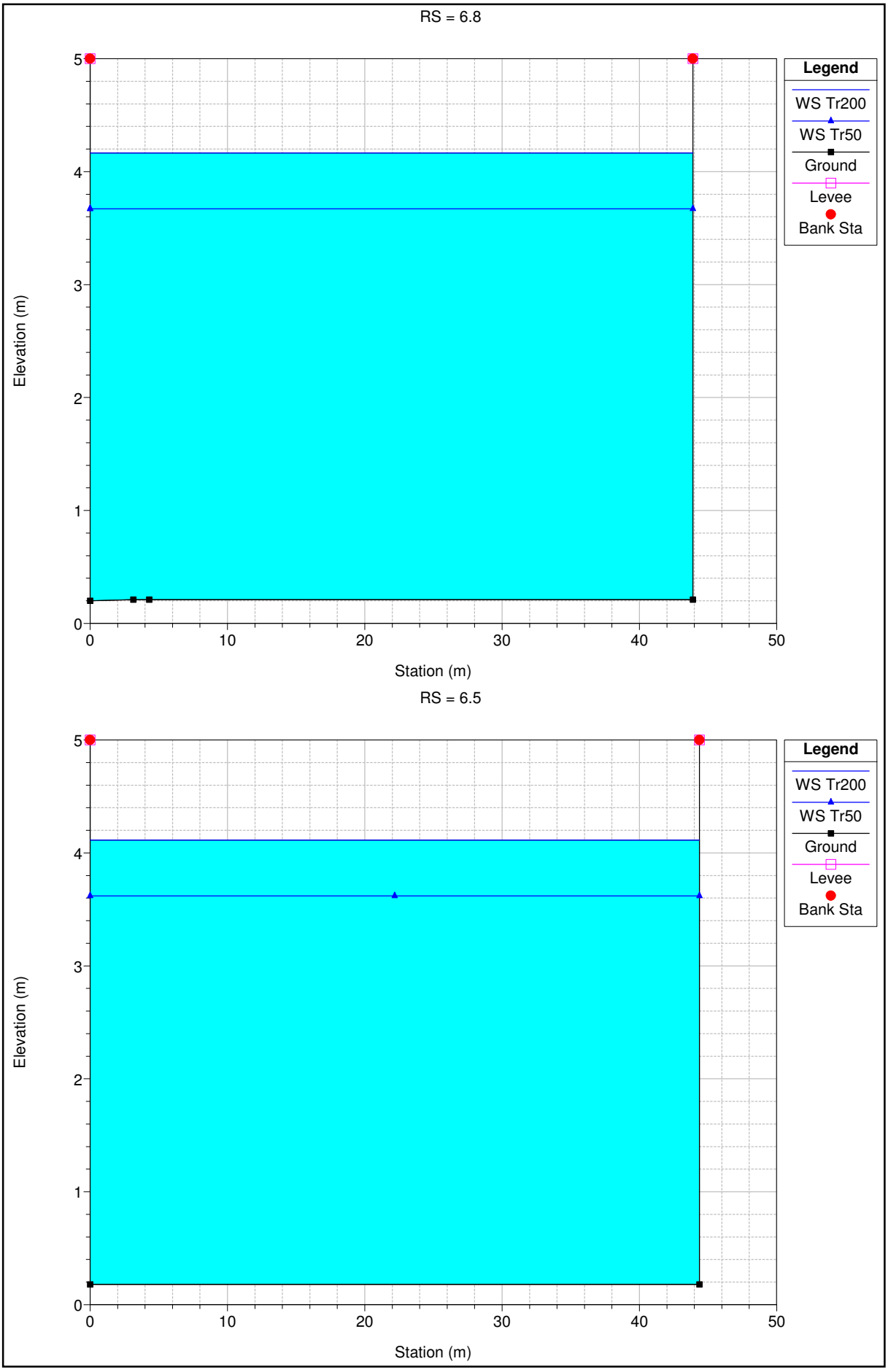

Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
2
4
6
8
0
10
20
30
40
50

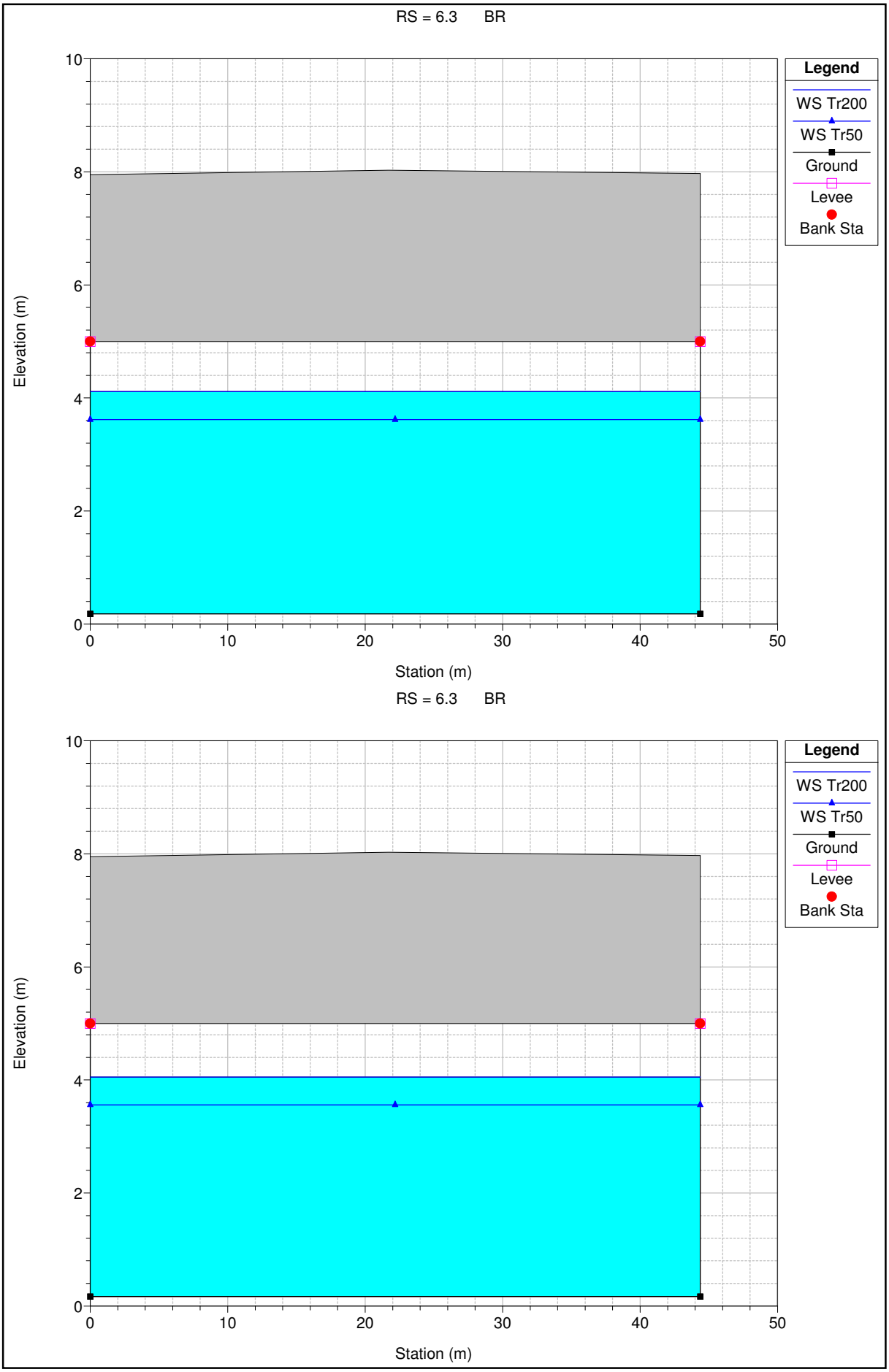
RS = 7.5 BR

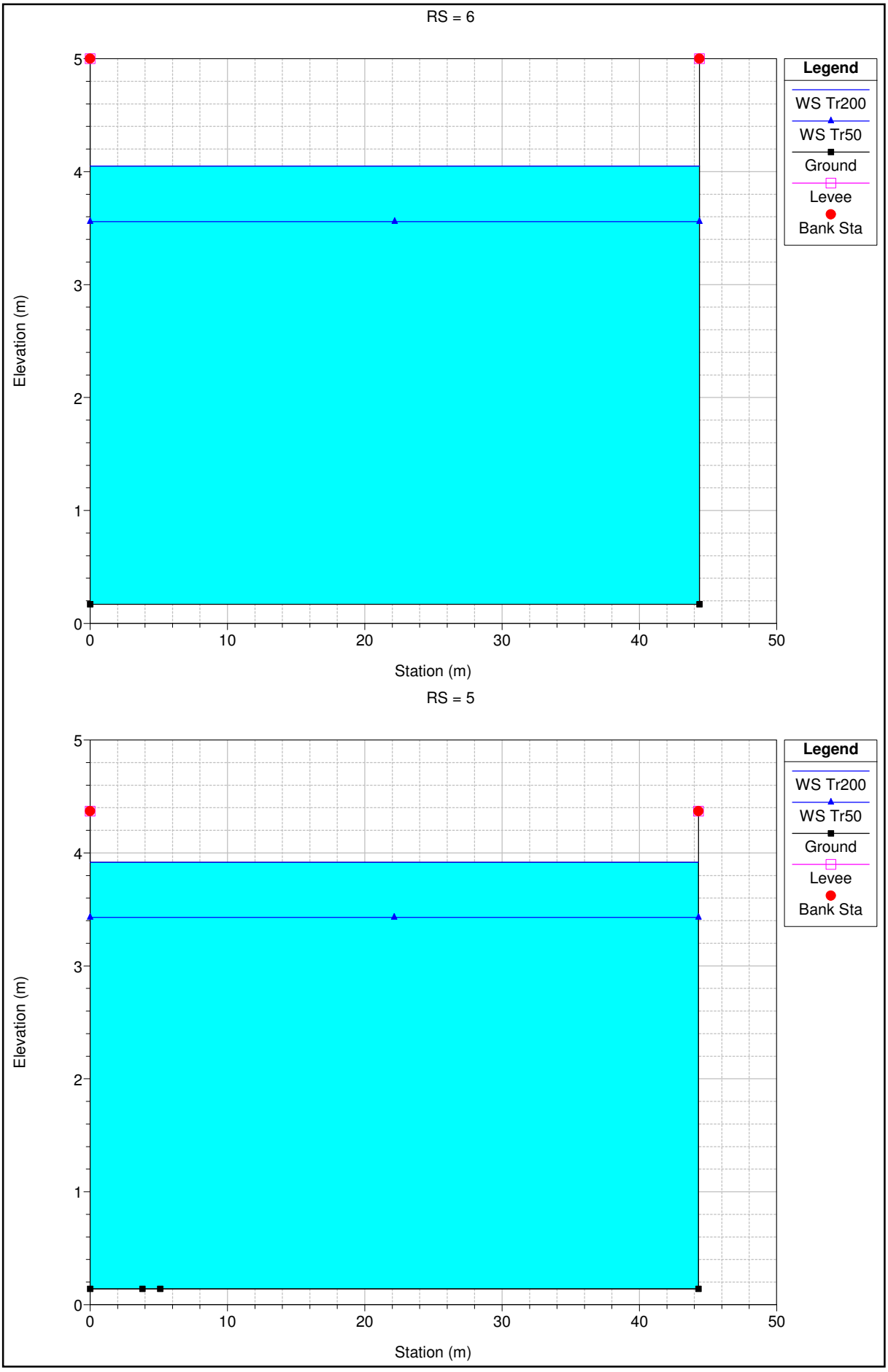

Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
2
4
6
8
0
10
20
30
40
50

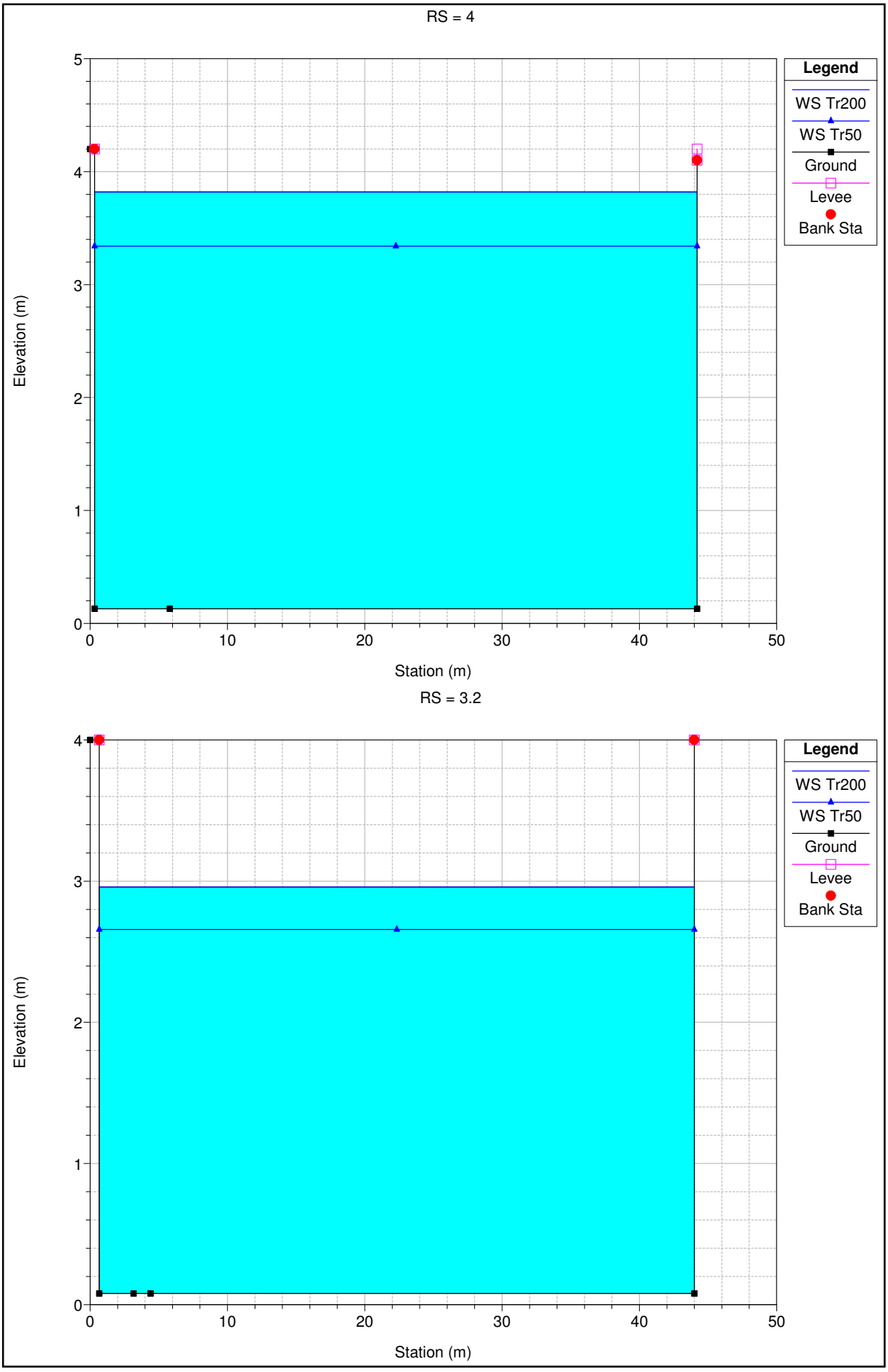
RS = 7


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50

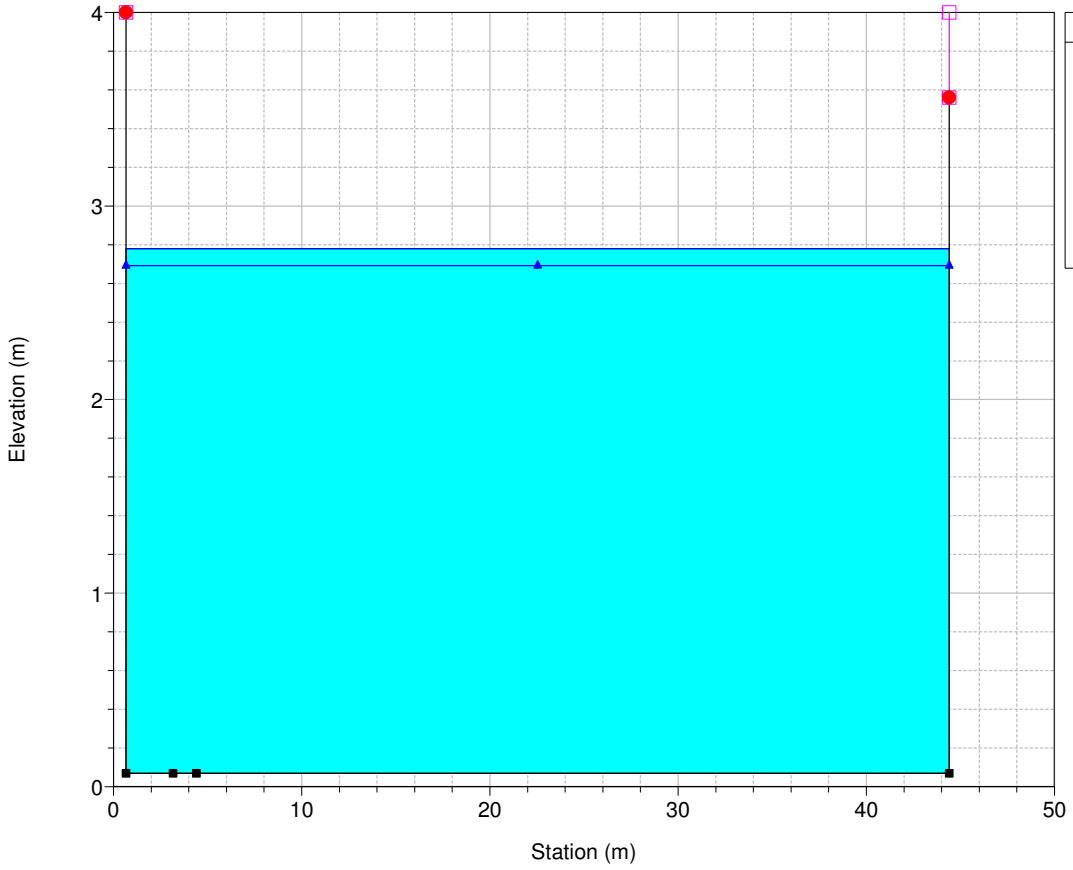

RS = 6.8
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
RS = 6.5
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)


RS = 6.3 BR
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
2
4
6
8
10
0
10
20
30
40
50
RS = 6.3 BR
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

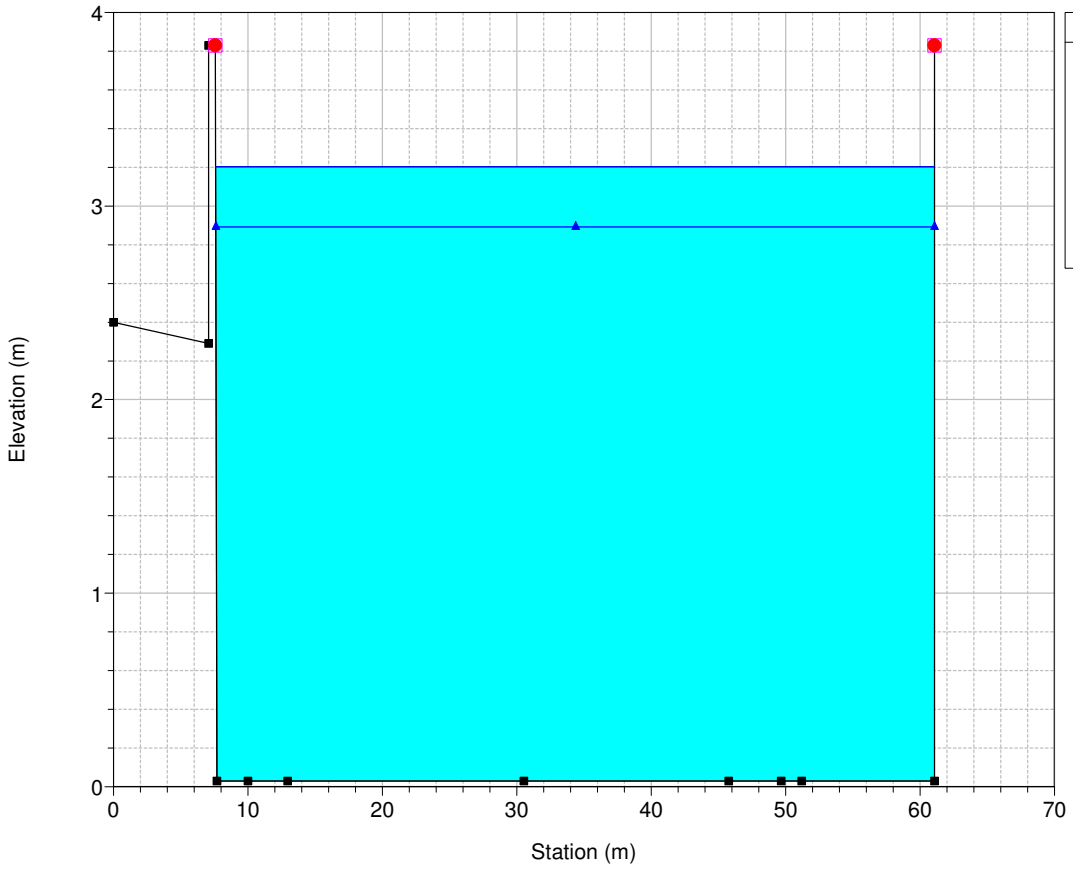

RS = 6
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
RS = 5
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50


RS = 4
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
RS = 3.2
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
0
10
20
30
40
50

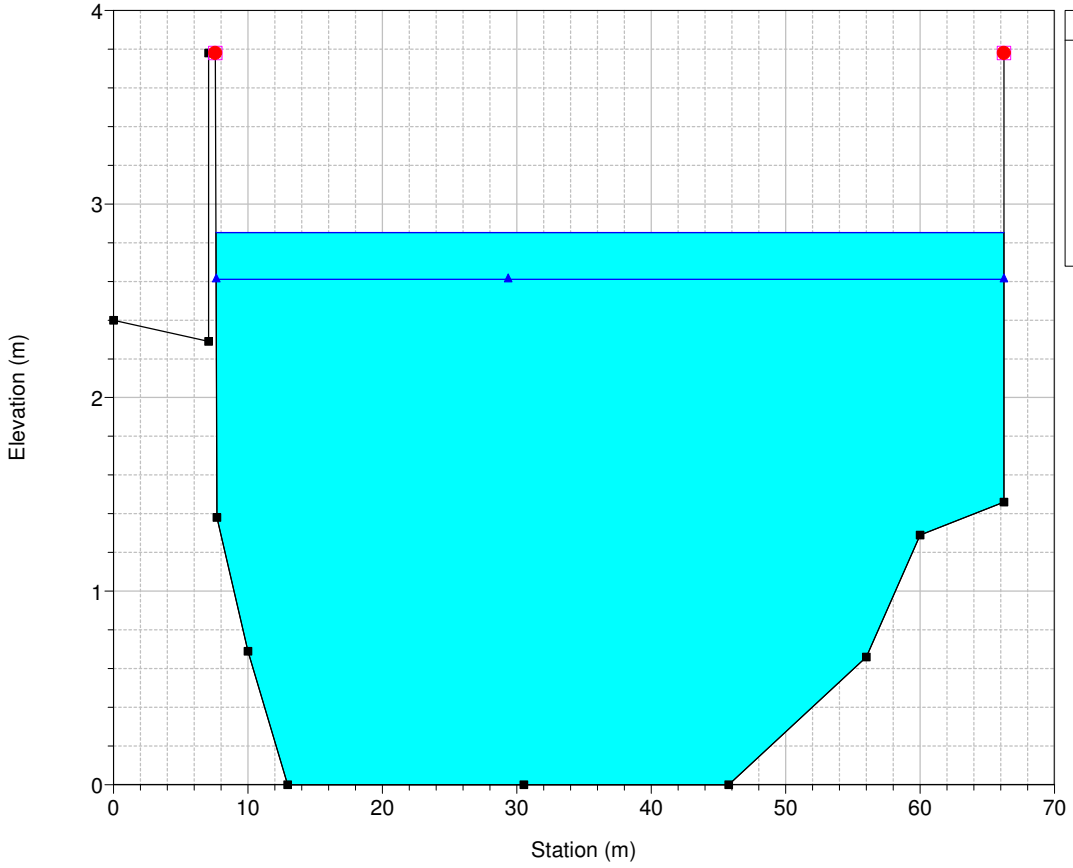
RS = 3


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
0
10
20
30
40
50

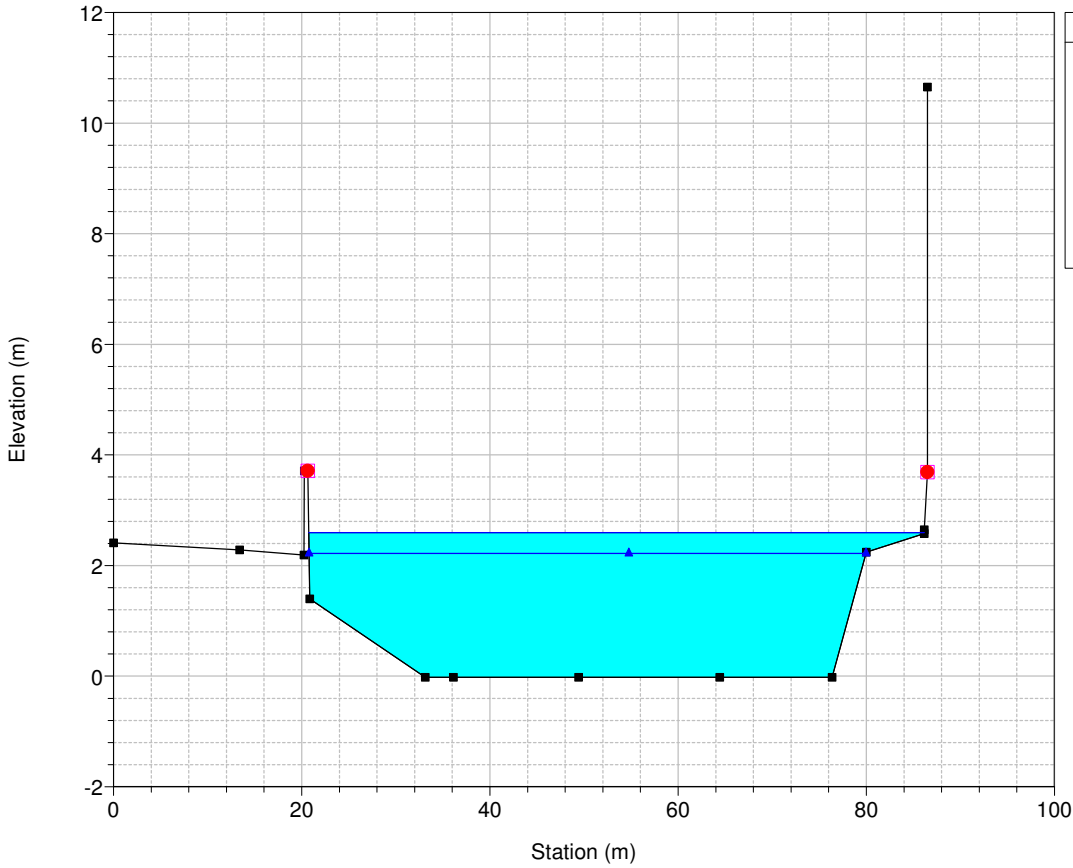
RS = 2


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
0
10
20
30
40
50
60
70

RS = 1.5


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
0
10
20
30
40
50
60
70

RS = 1


Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
-2
0
2
4
6
8
10
12
0
20
40
60
80
100

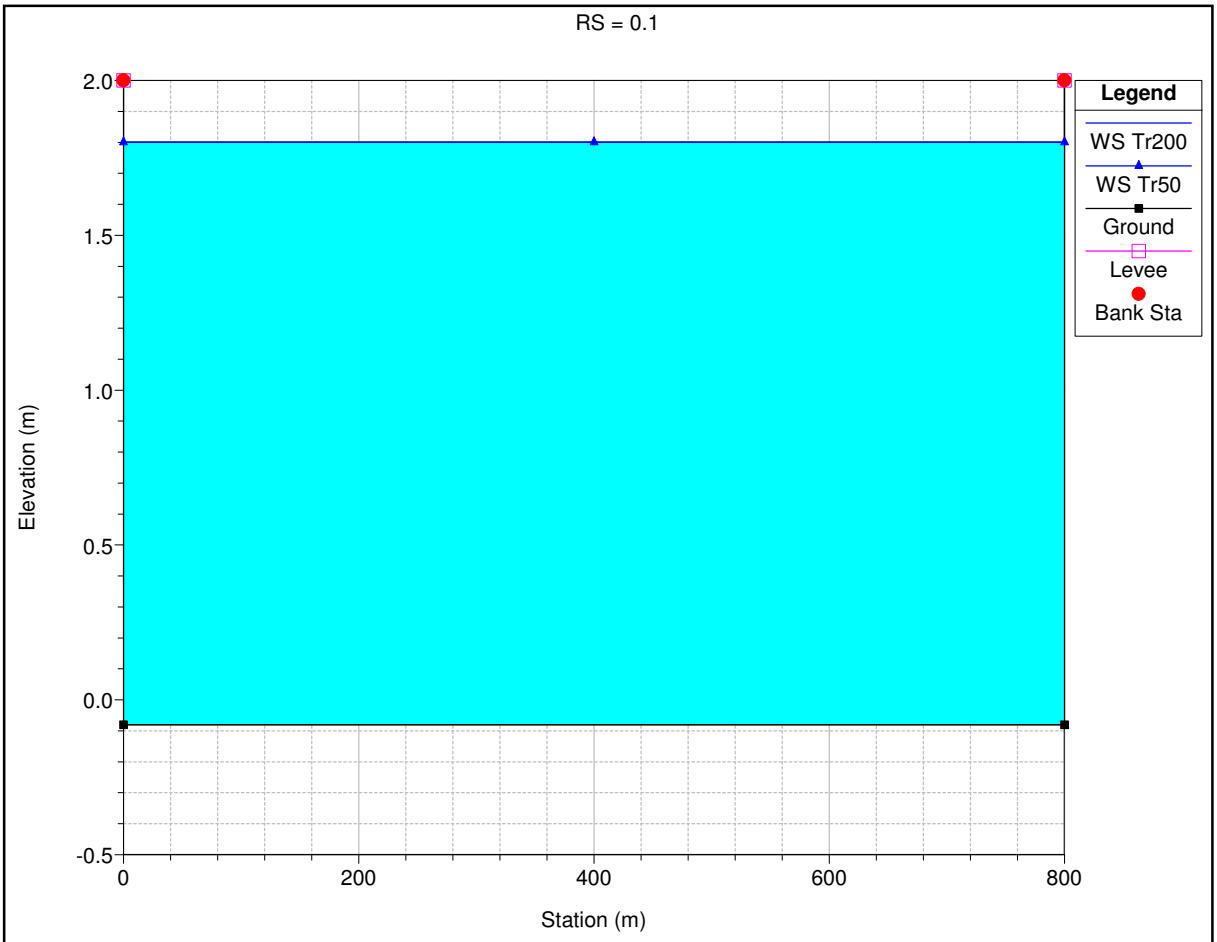

RS = 0.1
Legend
WS Tr200
WS Tr50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
-0.5
0
200
400
600
800
Station (m)

TABELLE DELLE GRANDEZZE IDRAULICHE SIGNIFICATIVE PER LE PORTATE:
TR= 50, 200 ANNI

| Torrente Pora Tr=50 anni | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sezione di calcolo (RS) | Portata | Quota fondo alveo | Pelo libero | Quota minima difesa di sponda sinistra di progetto | Quota minima difesa di sponda destra di progetto | Quota energia | Velocità | Sezione bagnata | N.di Froude |
| | [m³/s] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m/s] | [m²] | |
| 23 | 532 | 2.84 | 5.5 | 8.51 | 11.3 | 8.24 | 7.34 | 72.52 | 1.44 |
| 22 | 532 | 2.54 | 6.75 | 7.96 | 10.3 | 7.87 | 4.67 | 113.83 | 0.73 |
| 21 | 532 | 2.31 | 6.52 | 7.78 | 7.78 | 7.69 | 4.78 | 111.27 | 0.79 |
| 20 | 532 | 2.23 | 6.35 | 7.68 | 7.68 | 7.62 | 4.99 | 106.71 | 0.8 |
| 19 | 532 | 2.11 | 6.28 | 7.48 | 7.48 | 7.5 | 4.89 | 108.85 | 0.78 |
| 18 | 532 | 1.95 | 6.07 | 7.2 | 7.2 | 7.34 | 4.99 | 106.66 | 0.8 |
| 17 | 532 | 1.76 | 5.79 | 6.87 | 6.87 | 7.14 | 5.14 | 103.55 | 0.84 |
| 16.5 | 532 | 1.68 | 5.64 | 7.4 | 7.4 | 7.03 | 5.24 | 101.61 | 0.86 |
| 16.3 | Bridge | | | Bridge | | | | | |
| 16 | 532 | 1.61 | 5.53 | 7.4 | 7.4 | 6.96 | 5.3 | 100.47 | 0.88 |
| 15 | 532 | 1.56 | 5.17 | 6.6 | 6.6 | 6.88 | 5.79 | 91.88 | 1 |
| 14 | 532 | 1.35 | 4.53 | 6.55 | 6.55 | 6.52 | 6.25 | 85.13 | 1.15 |
| 13 | 532 | 1.3 | 4.43 | 6.53 | 6.53 | 6.42 | 6.26 | 85.04 | 1.16 |
| 12 | 532 | 1.09 | 3.99 | 6.41 | 6.41 | 6.01 | 6.3 | 84.45 | 1.22 |
| 11 | 532 | 0.85 | 3.59 | 6.22 | 6.22 | 5.45 | 6.04 | 88.07 | 1.19 |
| 10 | 532 | 0.58 | 3.96 | 6.13 | 6.13 | 5.15 | 4.82 | 110.32 | 0.88 |
| 9 | 532 | 0.47 | 3.58 | 6.09 | 6.09 | 4.99 | 5.26 | 101.07 | 1 |
| 8.5 | 532 | 0.36 | 2.77 | 6.03 | 6.03 | 4.71 | 6.18 | 86.12 | 1.27 |
| 8 | 532 | 0.25 | 3.73 | 5 | 5 | 4.47 | 3.82 | 139.2 | 0.65 |
| 7.5 | Bridge | | | Bridge | | | | | |
| 7 | 532 | 0.2 | 3.55 | 5 | 5 | 4.36 | 3.98 | 133.65 | 0.7 |
| 6.8 | 532 | 0.2 | 3.67 | 5 | 5 | 4.3 | 3.5 | 151.99 | 0.6 |
| 6.5 | 532 | 0.18 | 3.62 | 5 | 5 | 4.24 | 3.49 | 152.56 | 0.6 |
| 6.3 | Bridge | | | Bridge | | | | | |
| 6 | 532 | 0.17 | 3.56 | 5 | 5 | 4.2 | 3.54 | 150.29 | 0.61 |
| 5 | 532 | 0.14 | 3.43 | 4.37 | 4.37 | 4.11 | 3.65 | 145.7 | 0.64 |
| 4 | 532 | 0.13 | 3.34 | 4.2 | 4.2 | 4.07 | 3.78 | 140.82 | 0.67 |
| 3.2 | 532 | 0.08 | 2.66 | 4 | 4 | 3.81 | 4.76 | 111.69 | 0.95 |
| 3 | 532 | 0.07 | 2.69 | 4 | 4 | 3.79 | 4.64 | 114.66 | 0.91 |
| 2 | 532 | 0.03 | 2.89 | 3.83 | 3.83 | 3.51 | 3.48 | 152.87 | 0.66 |
| 1.5 | 532 | 0 | 2.61 | 3.78 | 3.78 | 3.42 | 3.98 | 133.65 | 0.84 |
| 1 | 532 | -0.02 | 2.22 | 3.71 | 3.69 | 3.23 | 4.45 | 119.53 | 1 |
| 0.1 | 532 | -0.08 | 1.8 | 2 | 2 | 1.81 | 0.35 | 1504.01 | 0.08 |

| Torrente Pora Tr=200 anni | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sezione di calcolo (RS) | Portata | Quota fondo alveo | Pelo libero | Quota minima difesa di sponda sinistra di progetto | Quota minima difesa di sponda destra di progetto | Quota energia | Velocità | Sezione bagnata | N.di Froude |
| | [m³/s] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m] | [m/s] | [m²] | |
| 23 | 662.94 | 2.84 | 5.93 | 8.51 | 11.3 | 9.08 | 7.87 | 84.23 | 1.4 |
| 22 | 662.94 | 2.54 | 7.39 | 7.96 | 10.3 | 8.69 | 5.06 | 131.07 | 0.7 |
| 21 | 662.94 | 2.31 | 7.26 | 7.78 | 7.78 | 8.52 | 4.97 | 133.38 | 0.8 |
| 20 | 662.94 | 2.23 | 6.97 | 7.68 | 7.68 | 8.44 | 5.38 | 123.18 | 0.8 |
| 19 | 662.94 | 2.11 | 6.89 | 7.48 | 7.48 | 8.31 | 5.29 | 125.39 | 0.8 |
| 18 | 662.94 | 1.95 | 6.67 | 7.2 | 7.2 | 8.15 | 5.39 | 123.05 | 0.8 |
| 17 | 662.94 | 1.76 | 6.37 | 6.87 | 6.87 | 7.95 | 5.56 | 119.3 | 0.8 |
| 16.5 | 662.94 | 1.68 | 6.22 | 7.4 | 7.4 | 7.84 | 5.65 | 117.43 | 0.9 |
| 16.3 | Bridge | | | Bridge | | | | | |
| 16 | 662.94 | 1.61 | 6.11 | 7.4 | 7.4 | 7.77 | 5.71 | 116.13 | 0.9 |
| 15 | 662.94 | 1.56 | 5.72 | 6.6 | 6.6 | 7.68 | 6.21 | 106.78 | 1.0 |
| 14 | 662.94 | 1.35 | 4.98 | 6.55 | 6.55 | 7.31 | 6.77 | 97.89 | 1.2 |
| 13 | 662.94 | 1.3 | 4.93 | 6.53 | 6.53 | 7.19 | 6.66 | 99.48 | 1.2 |
| 12 | 662.94 | 1.09 | 4.39 | 6.41 | 6.41 | 6.77 | 6.84 | 96.86 | 1.2 |
| 11 | 662.94 | 0.85 | 3.88 | 6.22 | 6.22 | 6.21 | 6.77 | 97.93 | 1.3 |
| 10 | 662.94 | 0.58 | 4.43 | 6.13 | 6.13 | 5.82 | 5.21 | 127.16 | 0.9 |
| 9 | 662.94 | 0.47 | 4.03 | 6.09 | 6.09 | 5.66 | 5.67 | 117.01 | 1.0 |
| 8.5 | 662.94 | 0.36 | 3.17 | 6.03 | 6.03 | 5.38 | 6.59 | 100.61 | 1.3 |
| 8 | 662.94 | 0.25 | 4.21 | 5 | 5 | 5.1 | 4.18 | 158.5 | 0.7 |
| 7.5 | Bridge | | | Bridge | | | | | |
| 7 | 662.94 | 0.2 | 4.02 | 5 | 5 | 4.98 | 4.35 | 152.29 | 0.7 |
| 6.8 | 662.94 | 0.2 | 4.17 | 5 | 5 | 4.91 | 3.82 | 173.67 | 0.6 |
| 6.5 | 662.94 | 0.18 | 4.11 | 5 | 5 | 4.85 | 3.8 | 174.5 | 0.6 |
| 6.3 | Bridge | | | Bridge | | | | | |
| 6 | 662.94 | 0.17 | 4.05 | 5 | 5 | 4.8 | 3.85 | 172.12 | 0.6 |
| 5 | 662.94 | 0.14 | 3.92 | 4.37 | 4.37 | 4.72 | 3.96 | 167.3 | 0.7 |
| 4 | 662.94 | 0.13 | 3.82 | 4.2 | 4.2 | 4.67 | 4.09 | 161.91 | 0.7 |
| 3.2 | 662.94 | 0.08 | 2.96 | 4 | 4 | 4.4 | 5.32 | 124.73 | 1.0 |
| 3 | 662.94 | 0.07 | 2.78 | 4 | 4 | 4.37 | 5.59 | 118.52 | 1.1 |
| 2 | 662.94 | 0.03 | 3.2 | 3.83 | 3.83 | 3.98 | 3.91 | 169.49 | 0.7 |
| 1.5 | 662.94 | 0 | 2.85 | 3.78 | 3.78 | 3.88 | 4.49 | 147.75 | 0.9 |
| 1 | 662.94 | -0.02 | 2.59 | 3.71 | 3.69 | 3.69 | 4.63 | 143.07 | 1.0 |
| 0.1 | 662.94 | -0.08 | 1.8 | 2 | 2 | 1.81 | 0.44 | 1504.01 | 0.1 |