

S.S. 45bis - Gardesana Occidentale

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

PROGETTO DEFINITIVO

COD. MI92

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena Majetta
Ordine Geol. di Roma n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Ing. Laura Troiani
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Giancarlo Luongo

PROTOCOLLO

DATA

02 - STUDI E INDAGINI
02.03 - Idrologia e Idraulica
Relazione Idraulica

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00ID00IDRRE02A.pdf

REVISIONE

SCALA

PROGETTO

LIV. PROG.

D P M I 0 0 9 2 **D** **1 8**

CODICE
ELAB.

T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 2

A

D

C

B

A

EMISSIONE

Gen 2020

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	4
2.1	Interferenze della Variante S.S.45 bis con il reticolo idrografico esistente.....	6
3	ANALISI IDRAULICA.....	9
3.1	Metodologia di analisi dell’attraversamento idraulico	10
3.1.1	Modello matematico.....	10
3.1.2	Calcolo della cadente media.....	17
3.2	Verifica dell’attraversamento Valle della Torre	19
3.2.1	Simulazione Ante operam	19
3.2.2	Simulazione Post operam	23
3.2.3	Considerazioni conclusive in merito alle verifiche idrauliche	27
4	DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO	29
4.1	Sistema di drenaggio in galleria.....	29
4.2	Sistema di drenaggio della piattaforma all’aperto	32
4.2.1	Curva di probabilità pluviometrica.....	32
4.2.2	Dimensionamento degli elementi di raccolta	33
4.2.3	Dimensionamento degli elementi di convogliamento	34
4.2.4	Cunetta.....	34
4.2.5	Collettori.....	38
4.2.6	Fossi di guardia.....	41
4.2.7	Griglie.....	43
5	CONCLUSIONI	44
	APPENDICE A.....	45

Sezioni di calcolo - Ante Operam	45
Sezioni di calcolo - Post Operam	62
APPENDICE B	82
Verifica idraulica degli elementi di drenaggio superficiale	82
Verifica idraulica dei collettori	83
Verifica idraulica dei fossi di guardia	84

1 PREMESSA

La presente relazione idraulica descrive l'impostazione metodologica e i risultati ottenuti dello studio condotto per la verifica delle interferenze idrauliche del progetto di Variante alla S.S.45 bis "Gardesana occidentale" tra il km 86+567 ed il km 88+800. Tale studio riguarda, principalmente, la verifica della capacità idraulica dell'opera di attraversamento progettata per il Valle della Torre e l'individuazione di potenziali criticità connesse alla variazione, tra ante e post operam, delle condizioni di deflusso.

La relazione contiene inoltre la descrizione dei metodi di calcolo utilizzati per la redazione del progetto per il drenaggio, il collettamento, e l'avvio ai recapiti delle acque intercettate sulla piattaforma e sulle scarpate, e dei canali longitudinali posti a presidio del corpo stradale.

2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

L’infrastruttura esistente nel tratto sotteso dall’intervento è rappresentata dalla tratta di S.S.45 bis dal km 86+567 al km 88+800, in cui la piattaforma pavimentata si presenta quasi totalmente in galleria (fatta esclusione di limitati tratti all’aperto localizzati sostanzialmente ad inizio e fine intervento) di cui si registrano le gallerie ogivali "D'Acli" (di lunghezza pari a circa 930 metri), "Eutemia" (60 metri) e "Dei Ciclopi" (655 metri). Tali opere si sviluppano lungo la parete rocciosa a breve distanza dal margine del costone roccioso, con coltri di copertura che variano dai 20 agli oltre 100 m.

Il progetto in esame prevede la realizzazione di una galleria naturale di lunghezza pari a circa 1800 m, e il rifacimento della pavimentazione delle gallerie esistenti; si prevede inoltre l’alesaggio di un tratto di circa 200 m della galleria esistente “Dei Ciclopi”.

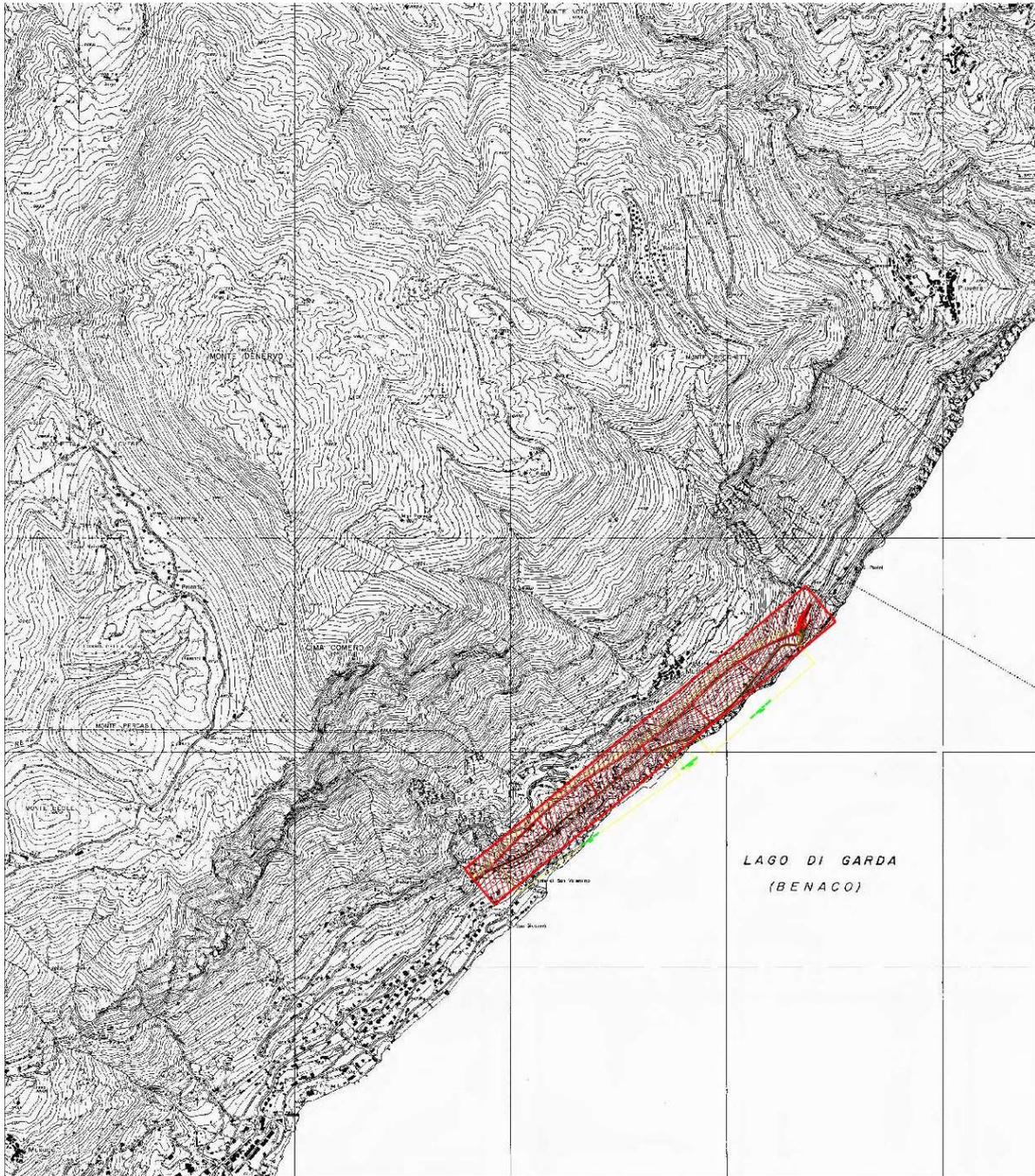


Figura 2-1 – inquadramento generale (in rosso è evidenziata l'area di intervento)

2.1 Interferenze della Variante S.S.45 bis con il reticolo idrografico esistente

Il tracciato di progetto determina un’interferenza idraulica alla progressiva 1+830 del nuovo tracciato (tratto scoperto in sede ordinaria) con un vallone denominato “Valle della Torre”, il quale attualmente sottoattraversa la viabilità esistente al km 86+705 circa mediante un ponticello ad arco avente larghezza di base 10.0 m ed altezza circa 6 m (in mezzeria).

Attualmente, a monte del ponticello esistente, il fosso risulta tombato per un tratto di circa 17m mediante n. 2 tombini in cls DN 1000 mm, posti uno sopra l’altro (Figura 2-2, Figura 2-3). Al di sopra del tombamento risiede un’area di proprietà ANAS SpA attualmente in disuso (Figura 2-4).



Figura 2-2 – imbocco tombamento esistente del Fosso Valle della Torre



Figura 2-3 – sbocco tombamento esistente del Fosso Valle della Torre



Figura 2-4 – accesso al sedime di proprietà ANAS SpA dall'attuale SS45 bis

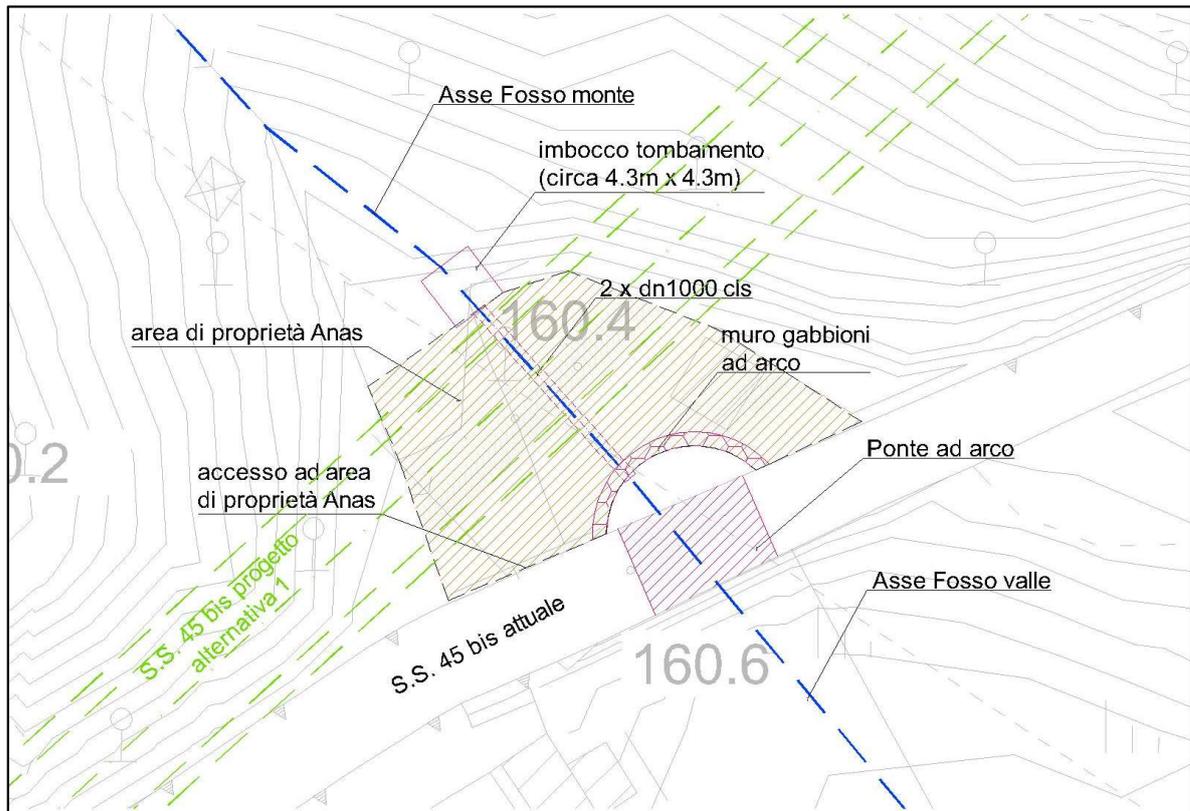


Figura 2-5 – Ricostruzione attraversamento attuale sotto la SS45 bis - pianta

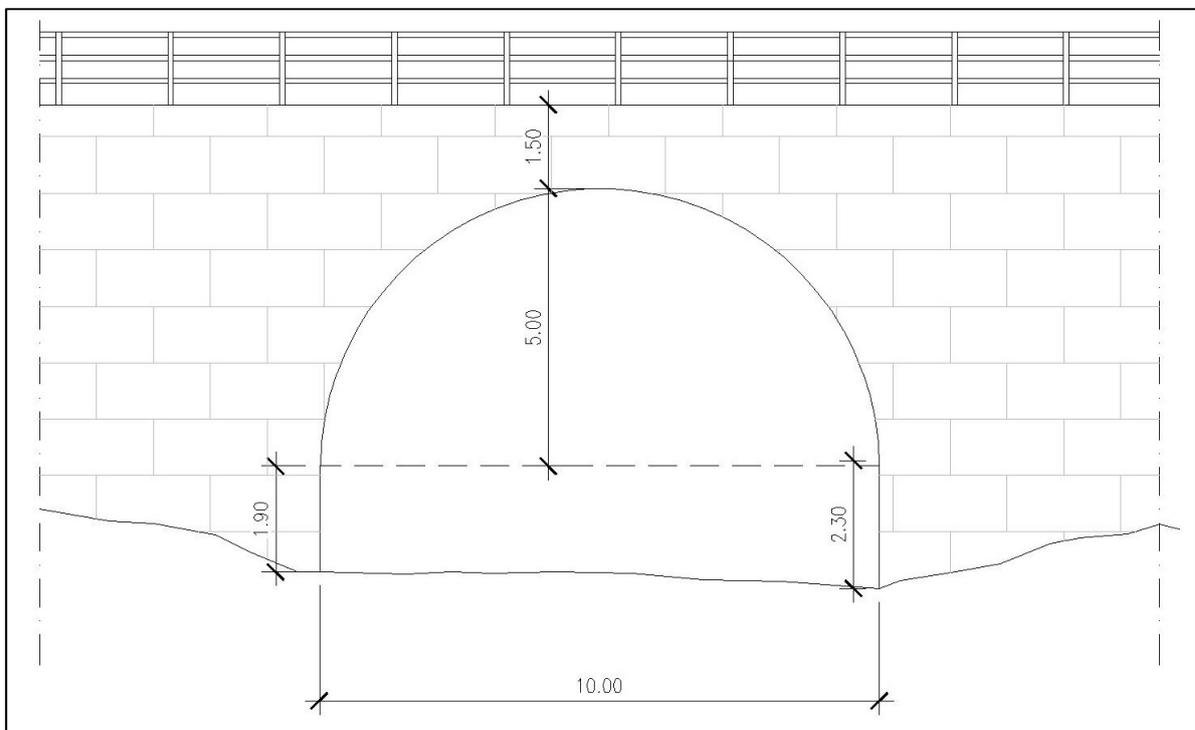


Figura 2-6 – Ricostruzione attraversamento attuale sotto la SS45 bis – sezione ponte lato valle

Per la realizzazione della variante alla SS45 bis si dovrà pertanto procedere alla demolizione del tombamento esistente precedentemente descritto ed alla realizzazione di un nuovo attraversamento idraulico con sezione scatolare di 4 m di base e altezza variabile da 2 m a 4,5 m di lunghezza pari a circa 22 m.

A monte dell'opera è prevista una adeguata opera di imbocco, con gradonature di dissipazione in c.a., stante la forte pendenza longitudinale del corso d'acqua (v figura 2-7)

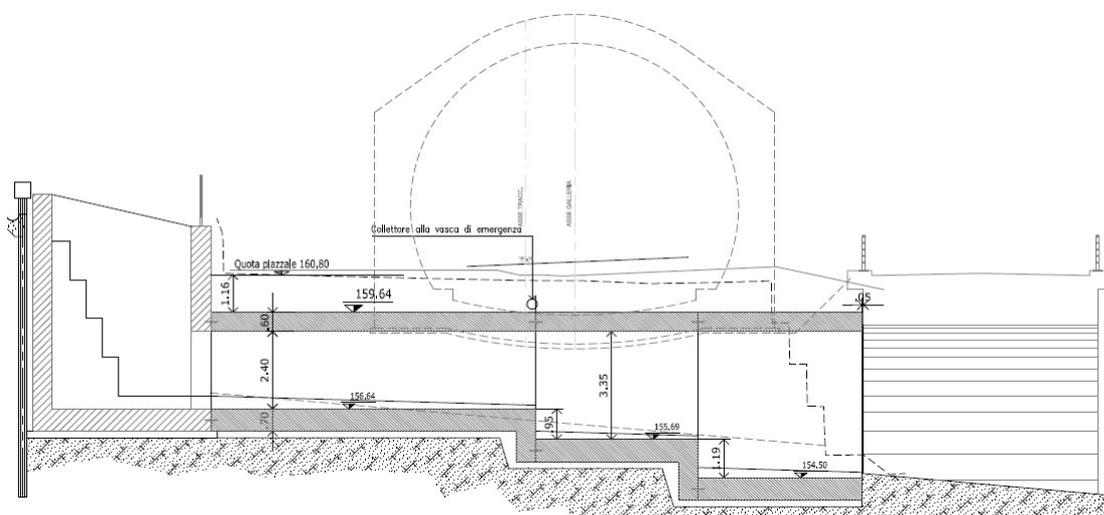


Figura 2-7: Nuova opera in progetto per il Valle della Torre

3 ANALISI IDRAULICA

Nel presente capitolo si mostra la verifica delle opere di attraversamento idraulico previste per risolvere l'interferenza del tracciato in variante della SS45 bis con il reticolo idrografico esistente.

Le verifiche idrauliche compiute sono finalizzate a determinare che il deflusso relativo agli eventi di piena di riferimento siano compatibili con il funzionamento delle opere di attraversamento senza interessare l'infrastruttura stradale.

La verifica è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato dall' U.S. Army Corp of Engineers, attraverso cui è possibile, per integrazione alle differenze finite

dell'equazione dell'energia con uno schema monodimensionale, ricostruire il profilo longitudinale della corrente in moto permanente, identificandone le principali caratteristiche idrodinamiche.

La metodologia di analisi secondo lo schema di moto permanente e le condizioni al contorno utilizzate sono descritte in dettaglio nel paragrafo 3.1 della relazione.

L'analisi è stata condotta su per un esteso tratto a monte e a valle dell'attraversamento. La modellazione consente di individuare i valori di tirante e velocità in corrispondenza dell'opera di progetto e di valutare gli effetti dell'interferenza in termini di variazione di livello, velocità e area della sezione bagnata in rapporto alle condizioni attuali.

I principali risultati dell'analisi (profili, tabelle e franchi idraulici) sono riportati nei paragrafi 3.2.1 e 3.2.2 e descritti con riferimento alla compatibilità idraulica dell'interferenza. Nell'appendice A è invece riportato l'insieme delle sezioni di calcolo utilizzate, sia per le condizioni ante operam sia per quelle post operam.

3.1 Metodologia di analisi dell'attraversamento idraulico

L'analisi degli attraversamenti principali è stata effettuata con un modello idraulico monodimensionale in condizioni di moto permanente utilizzando il codice River Analysis System messo a punto dall'Hydrologic Engineering Corp (Hec-RAS) negli Stati Uniti.

Il codice HEC-RAS è un modello progettato per il calcolo idraulico in simulazione monodimensionale di una rete di canali naturali e/o artificiali. Le principali potenzialità di HEC-RAS riguardano:

- il calcolo di profili di corrente gradualmente variata in condizioni stazionarie (steady flow water surface profiles), per corrente lenta, veloce o mista (lenta e veloce);
- la simulazione di flussi di piena in condizioni non stazionarie per regimi in corrente lenta;

In quanto segue, per brevità, si riferisce solo delle procedure di calcolo principali adottate nel codice HEC-RAS in condizioni di moto stazionario, rinviando per maggiori ragguagli sulle basi teoriche e sulla costruzione dei processi di simulazione, ai relativi manuali.

3.1.1 Modello matematico

Il calcolo del profilo di corrente in condizioni di moto permanente fra due sezioni successive è effettuato da HEC-RAS mediante la soluzione dell'equazione dell'energia, attraverso un processo

iterativo denominato standard step method. Indicate con 1, 2 rispettivamente le sezioni di monte e di valle, l'equazione dell'energia è scritta nella seguente forma:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e \quad (3.1)$$

dove:

Y_1, Y_2 sono il tirante idrico;

Z_1, Z_2 sono le quote topografiche;

V_1, V_2 sono le velocità medie (portata totale / area di flusso totale);

α_1, α_2 sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;

g è l'accelerazione di gravità;

h_e è la perdita di carico totale nel tratto;

Le perdite di carico fra due sezioni successive, h_e , sono comprensive delle perdite continue dovute all'attrito e di quelle dovute all'espansione e contrazione della vena e sono così rappresentabili:

$$h_e = L \cdot \overline{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right| \quad (3.2)$$

con

L lunghezza del tratto mediata sulle portate;

\overline{S}_f cadente della linea dei carichi totali;

C coefficiente di espansione/contrazione.

Il codice HEC-RAS suddivide l'area interessata al moto in tre zone principali perpetuando la convenzione introdotta con HEC-2: zona golenale sinistra (left overbank, lob), alveo ordinario (channel, ch), zona golenale di destra (right overbank, rob). Per tener conto dell'andamento curvilineo dell'asse, la distanza di calcolo tra due sezioni viene ponderata rispetto alla frazione di portata che fluisce rispettivamente in golena sinistra (lob), nel canale ordinario (ch) e nella golena destra (rob). La lunghezza mediata del tratto L è calcolata quindi nel seguente modo:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (3.3)$$

con

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} lunghezze del tratto relative rispettivamente all'area golenale sinistra (*lob*), al canale principale (*ch*) e all'area golenale destra (*rob*);

\bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, canale principale e golena destra.

La determinazione della conveyance (conduttanza idraulica) della sezione e del coefficiente α di ragguaglio delle altezze cinetiche richiede di norma una maggior suddivisione del flusso in porzioni di sezione all'interno delle quali la velocità possa ritenersi uniformemente distribuita. Nelle zone golenali, l'approccio usato da HEC-RAS (o meglio l'approccio di default, ma il programma ne contempla anche altri di carattere opzionale) consiste nell' assumere come base della suddivisione linee verticali, in corrispondenza dei punti di discontinuità nel valore della scabrezza n . La valutazione della conveyance per ogni elemento viene quindi effettuata con la formula di Manning scritta per unità di misura del sistema internazionale:

$$Q = K \cdot S_f^{1/2},$$

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (3.4)$$

con i parametri:

K = conveyance (conduttanza idraulica per unità di pendenza longitudinale) (m^3/s)

n = coefficiente di scabrezza di Manning ($m^{-1/3}s$)

A = area di flusso (m^2)

R = raggio idraulico (m)

tutti riferiti alla singola porzione di flusso. Le conveyance parziali di ogni area golenale vengono quindi sommate per ottenere infine i due valori di conveyance relativi rispettivamente alla golena destra e sinistra. Di norma, il canale principale è invece trattato come un unico elemento dotato

di un solo valore di conveyance. Il valore finale unico di K per l'intera sezione è ottenuto come somma dei tre contributi parziali (lob, ch, rob).

Per ciò che concerne invece il coefficiente di ragguglio α , poiché HEC-RAS consente la simulazione di soli profili di corrente 1-D, ad ogni sezione resterà associata una sola superficie libera e di conseguenza una sola altezza cinetica. Pertanto, per un dato valore del tirante idrico nella sezione, l'altezza cinetica viene calcolata come un valor medio pesato sulla portata fra quelli associati alle tre sottosezioni: golena sinistra, canale, golena destra. In pratica l'altezza cinetica è calcolata mediante la seguente relazione generale:

$$\alpha \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left(\frac{V_i^2}{2g} \right)}{Q_{tot}} \quad (3.5)$$

da cui α risulta:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot V_i^2}{Q \cdot \bar{V}^2} \quad (3.5.1)$$

Il programma considera, riguardo alle perdite di carico concentrate, una contrazione ogni volta che l'altezza cinetica della sezione di monte risulta maggiore di quella della sezione più a valle, viceversa per l'espansione.

La modalità attraverso cui il programma calcola per ogni sezione il valore incognito dell'altezza della superficie libera, a partire da dati geometrici e di portata assegnati in input, è costituita da una soluzione iterativa delle equazioni dell'energia e delle perdite di carico. La procedura di calcolo consiste, più in dettaglio, nei seguenti passi:

- 1 scelta di un valore di primo tentativo per la quota della superficie libera (WS_1 , water surface) in corrispondenza della sezione di monte, per correnti lente, o di valle, per correnti veloci;
- 2 calcolo, a partire dal valore assunto al passo 1, dei corrispondenti valori di conveyance totale e di altezza cinetica;
- 3 stima di \bar{S}_f e soluzione dell'equazione delle perdite di carico per il calcolo delle perdite di carico totali h_e ;

4 soluzione, a partire dai valori ottenuti al passo 2 e 3, dell’equazione dell’energia per il calcolo della superficie libera WS_2 ;

5 confronto fra il valore di WS_2 calcolato ed il valore assunto al passo 1 e reiterazione dei passi 1-5 fino al raggiungimento della convergenza, definita per default da una differenza fra i due valori inferiore a 0,003 m (o qualsiasi altra tolleranza definibile dall’utente).

La scelta del valore dell’altezza della superficie libera di partenza viene effettuata con metodi che variano fra la prima e le successive iterazioni: per il primo tentativo si adotta un valore ottenuto dalla proiezione dell’altezza calcolata alla sezione precedente; alla seconda iterazione il valore di primo tentativo viene incrementato del 70% dell’errore ($WS_{calcolata} - WS_{assunta}$) relativo al primo step; infine il terzo tentativo e seguenti sono basati sul metodo “secante”, che proietta il valore della differenza fra quota calcolata e quota assunta ai due tentativi precedenti, secondo la relazione:

$$WS_i = WS_{i-2} - Err_{i-2} \cdot \frac{Err_{ass}}{Err_{dif}} \quad (3.6)$$

con

WS_i = valore di WS assunto al passo i-esimo

WS_{i-1} = valore di WS assunto nella (i-1)-esima iterazione

WS_{i-2} = valore di WS assunto nella (i-2)-esima iterazione

Err_{i-2} = errore relativo alle due iterazioni precedenti ($WS_{calcolato, i-2} - WS_{i-2}$);

Err_{ass} = $WS_{i-2} - WS_{i-1}$;

Err_{dif} = $WS_{i-1} - WS_{calcolato, i-1} + Err_{i-2}$

La variazione di WS fra un tentativo e il successivo è vincolata ad un massimo di $\pm 50\%$ del valore assunto allo step precedente. Il numero massimo delle iterazioni risulta comunque limitato (per default pari a 20) e nel corso di esse il programma tiene traccia del valore di WS che produce il minimo errore fra valore assunto e valore calcolato, indicato come “superficie libera di minimo errore”. Qualora il massimo delle iterazioni venga eguagliato prima del raggiunto bilanciamento, il programma calcola l’altezza critica e verifica se l’errore associato alla superficie libera di minimo errore è inferiore ad una prefissata tolleranza. Se questo accade e se tale superficie è ben posta rispetto all’altezza critica calcolata (ovvero è maggiore dell’altezza critica per corrente lenta e minore per corrente veloce), allora il programma assume proprio tale valore come risposta finale del processo

iterativo, altrimenti adotta l'altezza critica, producendo in entrambi i casi una nota informativa. L'incapacità di bilanciare l'equazione dell'energia entro il dato numero di iterazioni è generalmente da imputarsi ad un inadeguato numero di sezioni. L'altezza critica viene assunta anche ogniqualvolta la superficie libera calcolata risulta “mal posta” rispetto ad essa, ovvero quando risulta al di sotto dell'altezza critica per correnti lente e al di sopra per correnti veloci. HEC-RAS calcola l'altezza critica mediante un processo iterativo in cui viene assunto un valore di WS cui corrisponde il valore minimo del carico totale H .

I metodi impiegati per sviluppare tale processo sono due: il metodo “parabolico” ed il metodo “secante”. Il primo risulta più veloce a livello computazionale, ma in grado di localizzare un solo punto di minimo. Dal momento che per la maggior parte delle sezioni esiste un solo minimo del carico totale, il metodo parabolico rappresenta il metodo di default di HEC-RAS, riservandosi il programma la facoltà di passare al metodo secante qualora il primo non converga.

Il passaggio attraverso l'altezza critica rende tuttavia inapplicabile l'equazione dell'energia, la quale si basa sull'ipotesi di condizioni di flusso gradualmente variato.

Tutti i fenomeni che producono una transizione corrente lenta - corrente veloce e viceversa, quali variazioni di pendenza, costrizioni associate alla presenza di un ponte, confluenze, ecc., sono quindi affrontati da HEC-RAS col ricorso all'equazione dei momenti.

La forma generale dell'equazione dei momenti applicata alla porzione di flusso compresa fra due sezioni 1 e 2 è la seguente:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (3.7)$$

dove:

$P_{1,2}$ = spinta idrostatica in corrispondenza delle sezioni 1 e 2

W_x = componente della forza peso nella direzione di moto

F_f = forza resistente dovuta all'attrito

Q = portata

ρ = densità dell'acqua

ΔV_x = variazione di velocità fra le sezioni 1 e 2 nella direzione di moto

Esplicitando i vari termini si ottiene la forma funzionale dell'equazione dei momenti utilizzata dal programma:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot \bar{S}_f = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot \bar{Y}_1 \quad (3.8)$$

con

$A_{1,2}$ = area bagnata relativa alle sezioni 1 e 2;

L = distanza fra le sezioni 1 e 2 misurata lungo la direzione x ;

$\beta_{1,2}$ = coefficiente di ragguglio che tiene conto delle variazioni nella distribuzione della velocità in canali irregolari (permette di modellare il problema in termini dei valori medi di V);

S_0 = pendenza del canale;

\bar{S}_f = cadente della linea dei carichi totali;

L'equazione precedente si specifica poi ulteriormente per l'analisi di particolari condizioni idrauliche quali confluenze, ponti, ecc.

Un'ultima considerazione deve essere rivolta alle procedure disponibili in HEC-RAS per la modellazione idraulica dei ponti. HEC-RAS dispone di un'ampia serie di routine per l'analisi del flusso attraverso ponti. Senza entrare nel dettaglio e rimandando per maggiori raggugli ai manuali tecnici, si richiamano brevemente i principali metodi a disposizione. HEC-RAS è in grado di modellare situazioni di flusso così definite:

- *low flow*: si verifica quando il flusso che attraversa il ponte avviene come in un canale aperto, con la superficie libera al di sotto del punto più alto dell'intradosso del ponte. I metodi di calcolo utilizzabili sono: equazione dell'energia, equazione dei momenti, metodo di Yarnell e metodo WSPRO.

- *weir flow*: si innesca quando la superficie libera raggiunge la quota di estradosso del ponte. Vengono applicate nel calcolo le classiche equazioni delle luci a stramazzo;

- *pressure flow*: si verifica quando la superficie libera supera la quota di intradosso del ponte. HEC-RAS assume nel calcolo l'equazione più appropriata tra quelle disponibili per descrivere il flusso attraverso la luce del ponte.

- *high flow*: si verifica quando il ponte risulta fortemente sommerso; il programma in questo caso applica automaticamente l’equazione dell’energia.

3.1.2 Calcolo della cadente media

Le perdite di carico continue vengono valutate come prodotto tra il valore medio della pendenza della linea dei carichi totali tra due sezioni contigue, \bar{S}_f , e l’interasse, L, tra le due sezioni. In corrispondenza di una sezione, la cadente \bar{S}_f , detta anche pendenza d’attrito, viene valutata con l’equazione di Manning, tarata in condizioni di moto uniforme:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (3.9)$$

Il programma HEC-RAS implementa quattro modalità distinte per valutare la pendenza d’attrito media \bar{S}_f :

- media della *conveyance* valutate nelle sezioni 1, 2, con $S_f = \bar{S}_f$

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (3.10)$$

- media aritmetica della pendenza d’attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f,1} + S_{f,2}}{2} \quad (3.11)$$

- media geometrica della pendenza d’attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f,1} \cdot S_{f,2}} \quad (3.12)$$

- media armonica della pendenza d’attrito S_f valutata in 1,2:

$$\bar{S}_f = \frac{2S_{f,1} \cdot S_{f,2}}{S_{f,1} + S_{f,2}} \quad (3.13)$$

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni proposte, a meno di indicazioni diverse specificate nel file input. Il programma offre una quinta opzione che consente la selezione

automatica della formula più idonea tra quelle illustrate in funzione del regime della corrente come indicato nella tabella seguente.

Tabella 3.1 - HEC-RAS: Criteri di scelta dell'equazione per la pendenza d'attrito media.

Tipo di profilo	La S_f nella sezione corrente è più grande che non in quella precedente?	Equazione impiegata
Corrente lenta	Si	Media aritmetica
Corrente lenta	No	Media armonica
Corrente veloce	Si	Media aritmetica
Corrente veloce	No	Media geometrica

3.2 Verifica dell'attraversamento Valle della Torre

Le simulazioni idrauliche sono state realizzate in moto monodimensionale permanente in regime di corrente mista per la portata duecentennale definita nella relazione idrologica, pari a 7,21 m³/s.

Il fosso è stato modellato per circa 150 m a monte dell'attraversamento di progetto e 170 m a valle per una lunghezza complessiva di circa 320 m.

Il Fosso Valle della Torre è caratterizzato da pendenze estremamente elevate; nel tratto a monte dell'attuale tombamento non essendo presente un alveo ben definito e inciso si è posto un coefficiente di scabrezza di Manning pari a 0,05 su tutta la sezione. Nel tratto attualmente regimato in gabbioni si è posto un coefficiente di scabrezza pari a 0,035.

Come condizione al contorno di monte e di valle è stata adottata l'altezza di moto uniforme relativa alle pendenze medie stimate per le due tratte rispettivamente pari a 0,6 m/m e 0,35 m/m.

3.2.1 Simulazione Ante operam

In figura 3.1 è rappresentata la planimetria del tratto di corso d'acqua analizzato, con l'indicazione planimetrica delle tracce delle sezioni implementate nel modello idraulico.

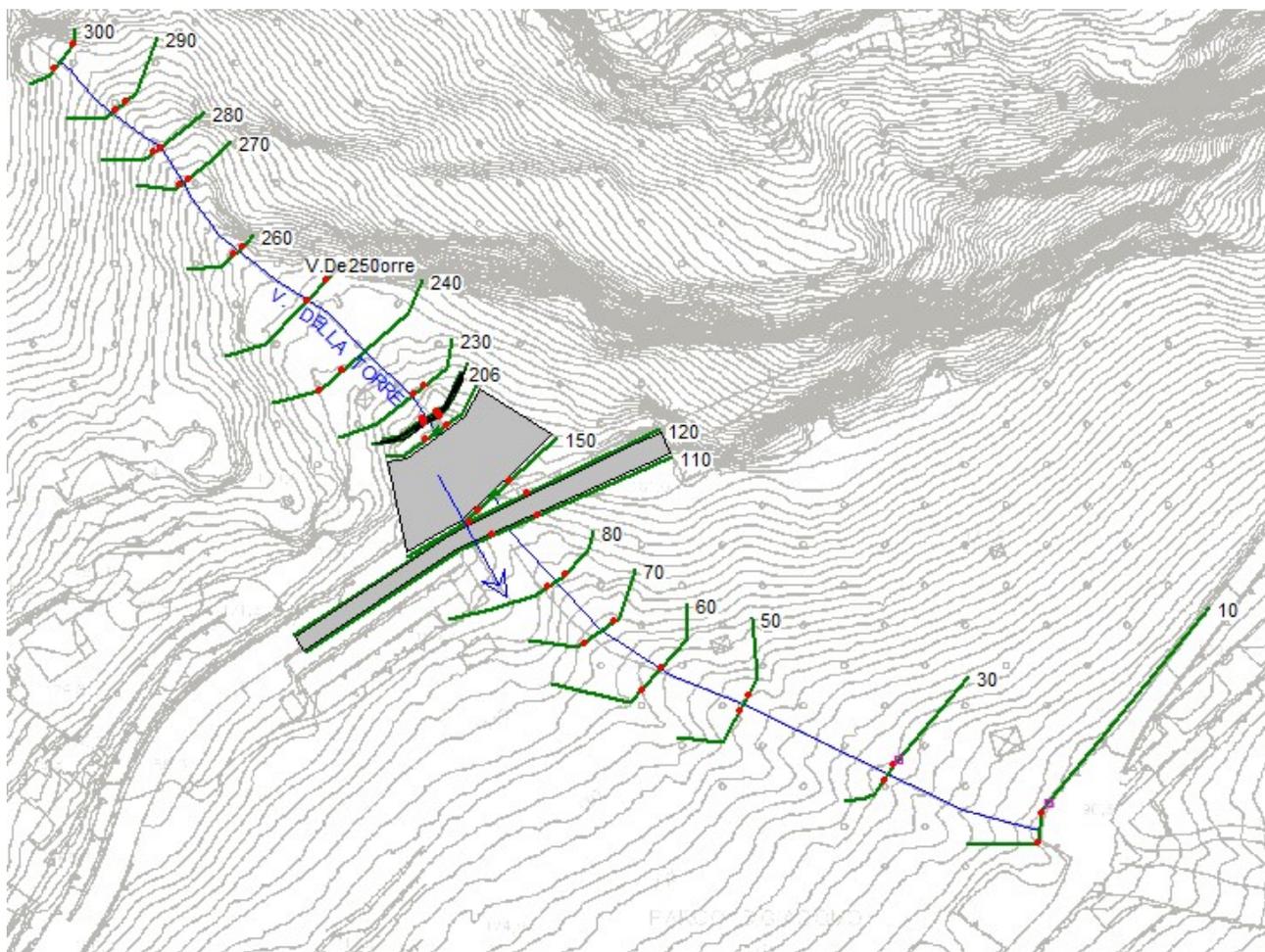


Figura 3.1 - Sezioni utilizzate per il modello di calcolo, simulazione Ante operam

Corrispondenza delle sezioni di calcolo con le opere di attraversamento:

<i>numero sezione nel modello idraulico</i>	<i>opera</i>	<i>descrizione</i>
155	Due collettori circolari in cls DN1000	Opera preesistente
115	Ponte ad arco	Opera preesistente

I risultati della verifica in moto permanente sono riportati nella tabella seguente in cui, per ciascuna sezione, sono riportati:

- 1) la quota del fondo
- 2) la quota del livello idrico della piena duecentennale

- 3) l'altezza critica
- 4) il carico idraulico totale
- 5) la pendenza piezometrica sul tratto discretizzato /gradiente idraulico)
- 6) la velocità nell'area centrale (zona di canale)
- 7) la sezione contribuente al deflusso
- 8) la larghezza dell'alveo in superficie
- 9) il numero di Froude.

Sezione	Quota fondo	Livello idrico	Altezza critica	Carico idraulico	Gradiente idraulico	Velocità nel canale	Sezione bagnata	Larghezza in superficie	Numero di Froude
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
300	224.81	225.3	225.67	227.21	0.600827	6.12	1.18	4.60	3.86
290	214.25	214.66	215.06	216.87	0.53603	6.63	1.12	4.41	3.80
280	204.84	205.3	205.81	208.48	0.59193	8.31	0.98	3.31	4.16
270	197.15	197.62	198.18	201.11	0.773202	8.30	0.88	2.84	4.50
260	185.7	186.13	186.51	188.09	0.453688	6.52	1.22	4.52	3.57
250	179.28	179.63	179.82	180.43	0.276146	4.05	1.96	13.59	2.64
240	175.87	176.23	176.36	176.67	0.140455	3.08	2.50	10.82	1.91
230	167.97	168.43	168.91	171.7	0.904295	8.01	0.90	3.12	4.77
206	160.96	161.16	161.68	165.42	1.011459	9.14	0.79	4.01	6.58
205	160.95	161.16	161.67	164.79	0.779	8.43	0.86	4.01	5.82
204.5	Inl Struct								
204	159.66	160.69	160.35	160.85	0.006238	1.75	4.13	4.01	0.55
203	159.65	160.69	160.34	160.84	0.006087	1.73	4.16	4.01	0.54
202.5	Inl Struct								
202	158.36	160.25	159.11	160.31	0.001608	1.08	6.67	3.56	0.25
201	158.34	160.25	159.09	160.31	0.001432	1.01	7.13	4.16	0.25
200.5	Inl Struct								
200	156.86	160.26	157.69	160.28	0.000418	0.62	11.70	4.17	0.12
190	156.84	160	158.56	160.26	0.001321	2.24	3.22	6.06	0.40
155	Culvert								
150	154.64	156.36	156.36	157.22	0.010127	4.12	1.75	3.69	1.00
120	154.53	154.64	154.91	157.05	1.144512	6.88	1.05	11.64	6.72
115	Bridge								
110	152.1	152.3	152.57	154.37	0.792143	6.36	1.13	10.53	5.74
80	147	147.37	147.63	148.25	0.199913	4.17	1.77	6.18	2.34

Sezione	Quota fondo	Livello idrico	Altezza critica	Carico idraulico	Gradiente idraulico	Velocità nel canale	Sezione bagnata	Larghezza in superficie	Numero di Froude
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
70	139.47	139.7	139.96	141.32	0.988798	5.65	1.28	8.63	4.63
60	132.89	133.25	133.45	133.94	0.217076	3.66	1.97	7.94	2.34
50	126.06	126.48	126.76	127.8	0.352493	5.21	1.46	6.04	3.07
30	112.99	113.41	113.72	114.62	0.311643	4.87	1.48	5.03	2.86
10	98.28	98.73	99.05	100.16	0.415727	5.30	1.36	4.96	3.23

Il profilo idrico dell'intero tratto modellato è rappresentato nella figura 3.2; nella figura 3.3 è rappresentato il profilo idrico in corrispondenza dell'attraversamento del fosso Valle della Torre.

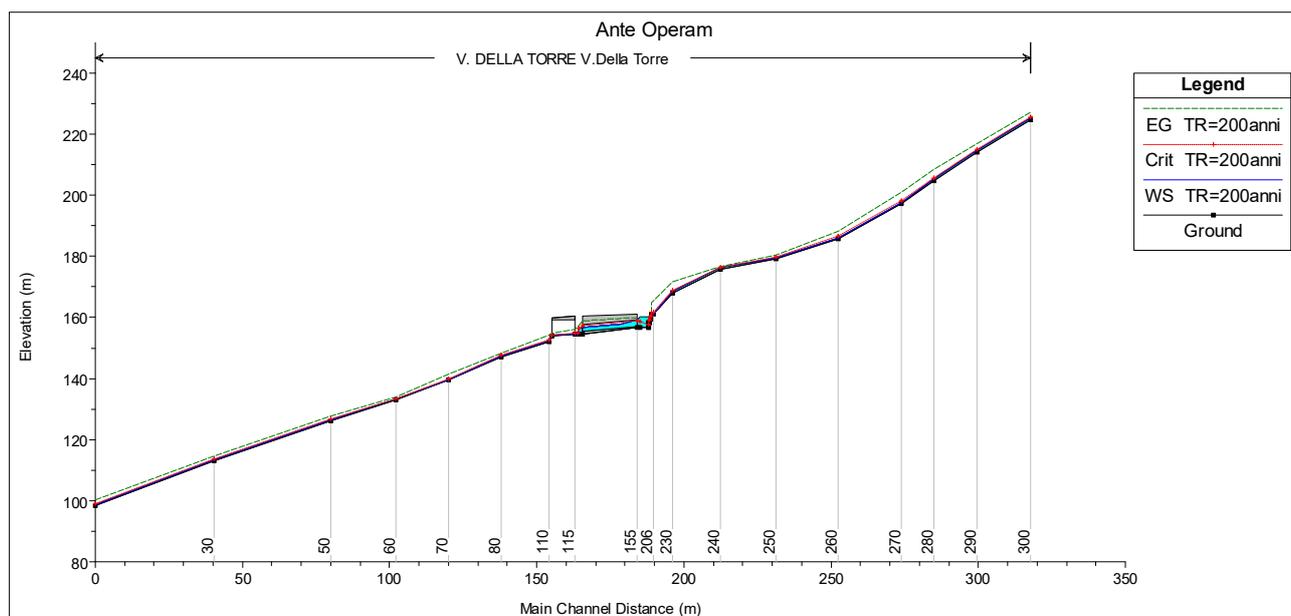


Figura 3.2– Profilo idrico, simulazione Ante Operam (TR=200 anni)

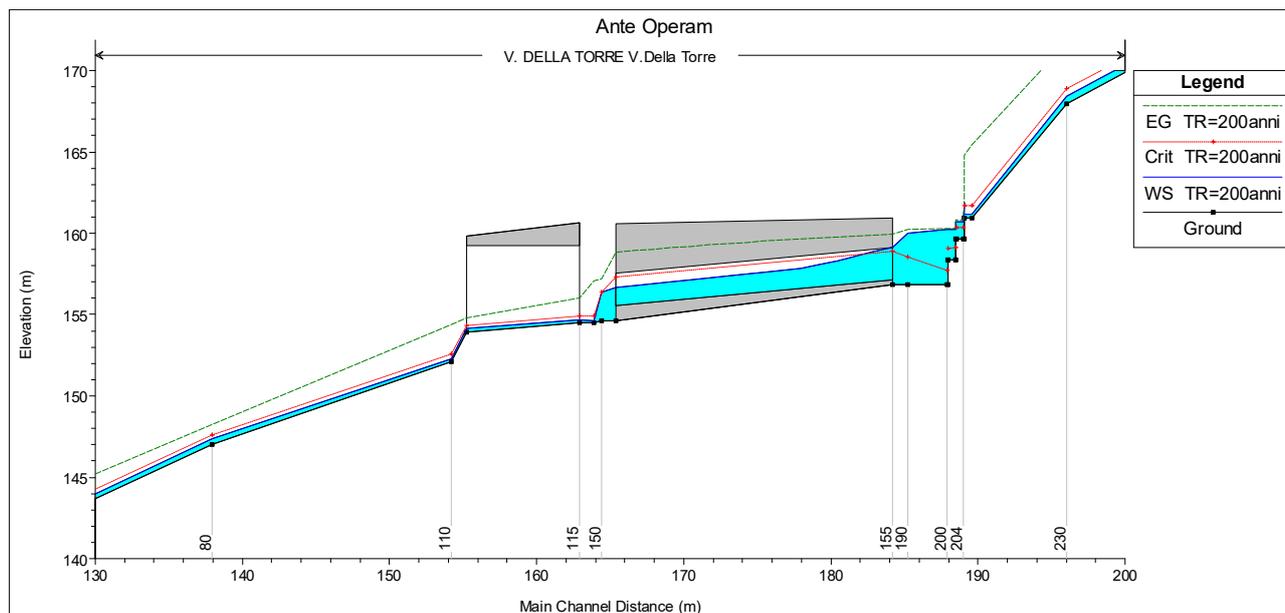


Figura 3.3 – Profilo idrico, simulazione Ante Operam (TR=200 anni)

Il quaderno delle sezioni idrauliche è riportato in appendice.

3.2.2 Simulazione Post operam

In figura 3.4 è rappresentata la planimetria del tratto di corso d’acqua analizzato, con l’indicazione planimetrica delle tracce delle sezioni implementate nel modello idraulico nella simulazione Post operam. Nella configurazione post operam è prevista la sistemazione dell’imbocco mediante gradonatura in ca e la sostituzione dell’attuale opera di attraversamento, costituita da due tombini DN1000, con uno scatolare a gradoni di luce $L=4$ m ed altezza rastremata da 2 m a 4,50 m.

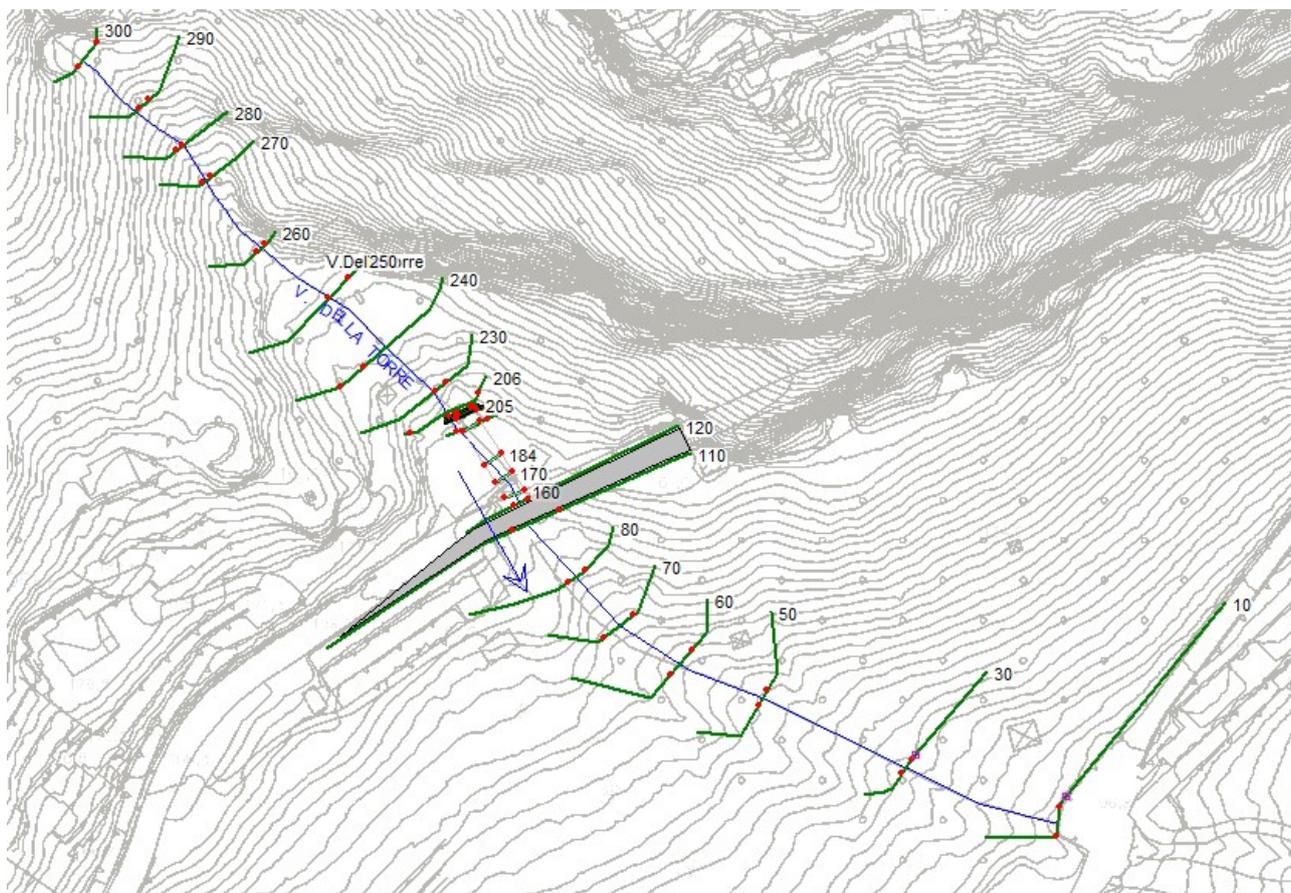


Figura 3.4 - Sezioni utilizzate per il modello di calcolo, simulazione post operam

Corrispondenza delle sezioni di calcolo con le opere di attraversamento:

<i>numero sezione nel modello idraulico</i>	<i>opera</i>	<i>descrizione</i>
<i>da 187 a 160</i>	<i>Tombino scatolare</i>	<i>Opera di progetto</i>
<i>115</i>	<i>Ponte ad arco</i>	<i>Opera preesistente</i>

I risultati della verifica in moto permanente sono riportati nella tabella seguente in cui, per ciascuna sezione, sono riportati:

- 1) la quota del fondo
- 2) la quota del livello idrico della piena duecentennale
- 3) l'altezza critica
- 4) il carico idraulico totale
- 5) la pendenza piezometrica sul tratto discretizzato /gradiente idraulico)

- 6) la velocità nell'area centrale (zona di canale)
 7) la sezione contribuente al deflusso
 8) la larghezza dell'alveo in superficie
 9) il numero di Froude.

Sezione	Quota fondo	Livello idrico	Altezza critica	Carico idraulico	Gradiente idraulico	Velocità nel canale	Sezione bagnata	Larghezza in superficie	Numero di Froude
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
300	224.81	225.30	225.67	227.21	0.600827	6.12	1.18	4.60	3.86
290	214.25	214.66	215.06	216.87	0.536030	6.63	1.12	4.41	3.80
280	204.84	205.30	205.81	208.48	0.591930	8.31	0.98	3.31	4.16
270	197.15	197.62	198.18	201.11	0.773202	8.30	0.88	2.84	4.50
260	185.70	186.13	186.51	188.09	0.453970	6.53	1.22	4.52	3.57
250	179.28	179.63	179.82	180.43	0.276062	4.05	1.96	13.59	2.64
240	175.87	176.23	176.36	176.67	0.140593	3.08	2.50	10.82	1.91
230	167.97	168.43	168.91	171.70	0.903492	8.01	0.90	3.12	4.77
206	162.70	162.85	163.14	164.99	0.707094	6.48	1.11	7.81	5.48
205	161.82	161.96	162.24	163.97	0.726393	6.28	1.15	8.63	5.50
204.5	Inl Struct								
204	160.57	161.55	161.22	161.69	0.006044	1.71	4.23	4.33	0.55
203	160.57	161.54	161.22	161.69	0.006112	1.71	4.21	4.33	0.55
202.5	Inl Struct								
202	159.39	160.47	160.11	160.63	0.006619	1.80	4.00	3.72	0.55
201	159.39	160.46	160.11	160.63	0.006698	1.81	3.99	3.72	0.56
200.5	Inl Struct								
200	158.22	159.42	159.04	159.61	0.009822	1.93	3.73	4.24	0.66
190	158.22	159.41	159.04	159.60	0.010047	1.95	3.71	4.24	0.66
189.5	Inl Struct								
189	157.05	157.99	157.99	158.47	0.026097	3.05	2.36	2.50	1.00
188	157.05	157.38	157.64	158.30	0.132367	4.24	1.70	5.09	2.35
187	157.05	157.55	157.74	158.22	0.065565	3.64	1.98	4.00	1.65
184	156.75	157.44	157.44	157.79	0.020754	2.63	2.74	4.00	1.01
183	155.95	156.30	156.64	157.68	0.170218	5.22	1.38	4.00	2.84
170	155.80	156.28	156.49	157.00	0.061987	3.77	1.91	4.00	1.74
169	154.82	155.13	155.51	156.89	0.248402	5.88	1.23	4.00	3.40
160	154.64	155.12	155.33	155.83	0.059690	3.72	1.94	4.00	1.71

Sezione	Quota fondo	Livello idrico	Altezza critica	Carico idraulico	Gradiente idraulico	Velocità nel canale	Sezione bagnata	Larghezza in superficie	Numero di Froude
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
120	154.53	154.98	155.22	155.81	0.076904	4.04	1.78	4.00	1.93
115	Bridge								
110	152.10	152.28	152.52	154.44	0.965001	6.50	1.11	9.85	6.18
80	147.00	147.37	147.63	148.21	0.184932	4.07	1.81	6.24	2.26
70	139.47	139.69	139.96	141.43	1.096507	5.84	1.24	8.56	4.85
60	132.89	133.26	133.45	133.93	0.210580	3.62	1.99	7.96	2.31
50	126.06	126.48	126.76	127.82	0.361808	5.25	1.45	6.01	3.11
30	112.99	113.41	113.72	114.60	0.305257	4.83	1.49	5.05	2.84
10	98.28	98.72	99.05	100.18	0.423838	5.34	1.35	4.95	3.26

Il profilo idrico dell'intero tratto modellato è rappresentato nella figura 3.5; nella figura 3.6 è rappresentato il profilo idrico in corrispondenza dell'attraversamento del fosso Valle della Torre.

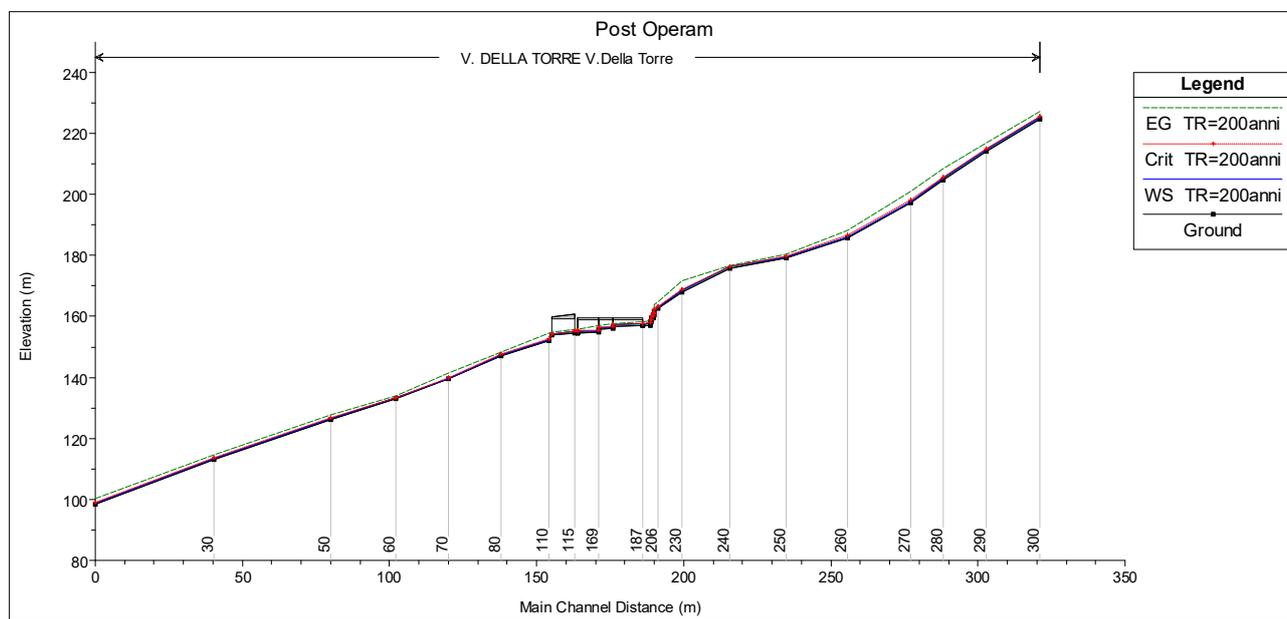


Figura 3.5 – Profilo idrico, simulazione Post Operam (TR=200 anni)

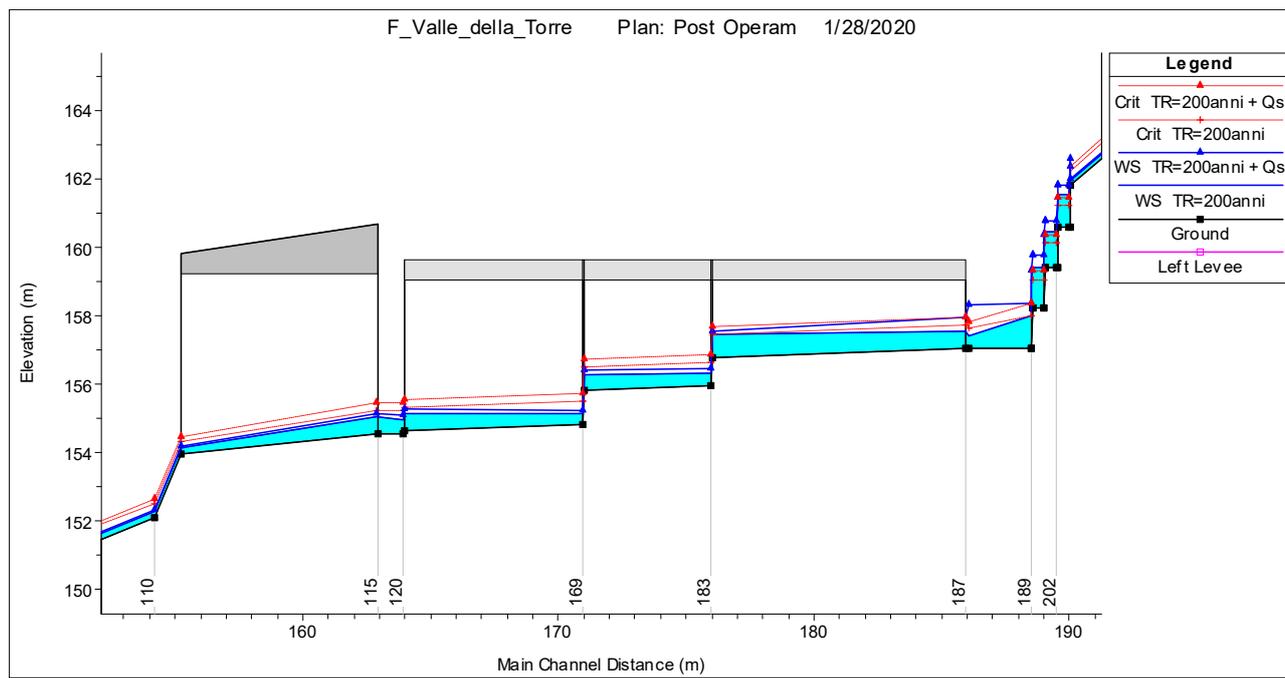


Figura 3.6 – Profilo idrico, simulazione Post Operam (TR=200 anni)

3.2.3 Considerazioni conclusive in merito alle verifiche idrauliche

Sulla scorta delle verifiche precedentemente esposte si ritiene che l’opera idraulica di attraversamento prevista per l’alternativa di tracciato prescelta è idonea a smaltire la portata al colmo di piena per Tr 200 anni, con adeguati franchi di sicurezza rispetto all’intradosso degli scatolari ed al piano stradale di progetto.

In particolare:

Tombino	B (m)	Hmin (m)	Q (mc/s)	Franco minimo interno all’opera (m)	Franco rispetto al piano strada (m)	Franco minimo NTC 2018 (m)
Valle della Torre	4	2	7.21	1.5	3.4	0.6

Il franco minimo da rispettare si riferisce ad un grado massimo di riempimento pari al 70%, e corrisponde, considerando la sezione minima dell’opera di altezza pari a 2 m, a 60 cm.

La verifica sopra esposta è stata svolta considerando le sole portate liquide.

Considerando un incremento della portata di massima piena del 50%, atta a comprendere il contributo del trasporto solido Q_s , l'opera si dimostra comunque ampiamente adeguata.

Tombino	B (m)	Hmin (m)	Q + Q_s (mc/s)	Franco minimo interno all'opera (m)	Franco rispetto al piano strada (m)	Franco minimo NTC 2018 (m)
Valle della Torre	4	2	10.81	1	2.9	0.6

4 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

Nel presente capitolo vengono indicati l’approccio metodologico, i risultati delle verifiche e i criteri per il dimensionamento delle opere preposte al drenaggio delle acque che interessano il corpo stradale.

Il tracciato stradale si sviluppa per la quasi totalità in galleria, dove il sistema di drenaggio assume anche il ruolo di impianto di sicurezza. Nei tratti all’aperto, il drenaggio viene risolto in continuità con il sistema esistente. La schematizzazione del sistema di drenaggio previsto è riportata nelle planimetrie idrauliche T00ID00IDRPP02-03-04A.

4.1 Sistema di drenaggio in galleria

Il sistema di drenaggio della piattaforma stradale in galleria assume anche il ruolo di impianto di sicurezza. Il suo dimensionamento garantisce la rapida intercettazione e l’allontanamento dei liquidi defluenti in carreggiata, siano essi liquidi infiammabili originati da sversamenti accidentali, reflui dei lavaggi, reflui dell’impianto antincendio, acque di percolazioni o infiltrazione, nonché acque meteoriche in prossimità degli imbocchi. Le tipologie di sistema di drenaggio previste per i diversi tratti di galleria sono riportate nell’elaborato T00ID00IDRPC01A e riassunte in Tabella 1.

Il sistema di raccolta degli sversamenti accidentali e delle acque di lavaggi, previsto sia per la nuova galleria che per l’esistente, o è costituito da collettori in PEAD DN315, posti sul solo lato della galleria interessato dalla pendenza trasversale della pavimentazione stradale. Le caditoie di raccolta, dotate di setto frangifiamma, sono posizionate ad interasse di 25 m, e garantiscono anche l’ispezione e la manutenzione dei collettori di smaltimento

La rete idraulica di raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma è separata dal sistema di raccolta dei drenaggi a tergo del rivestimento definitivo, con collettori disposti in prossimità dei margini della carreggiata al fine di agevolare le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

L’ammasso entro cui si sviluppa la galleria non risulta interessato dalla presenza di falde: il sistema di drenaggio delle acque di ammasso è quindi stato previsto per le infiltrazioni di acque piovane. Il sistema di smaltimento delle acque di ammasso, previsto per la galleria nuova e per il tratto alesato della “Galleria dei Ciclopi” esistente, si configura come costituito, secondo standard Anas, da due tubi di drenaggio avvolti in geotessuto posti ai lati dei piedritti della galleria, che

scaricano entro collettori DN200 in PVC, con pozzetti di ispezione ogni 50 m. E' inoltre previsto, per la sola galleria nuova, la posa di un tubo in CLS DN400 per la raccolta delle acque dell'arco rovescio.

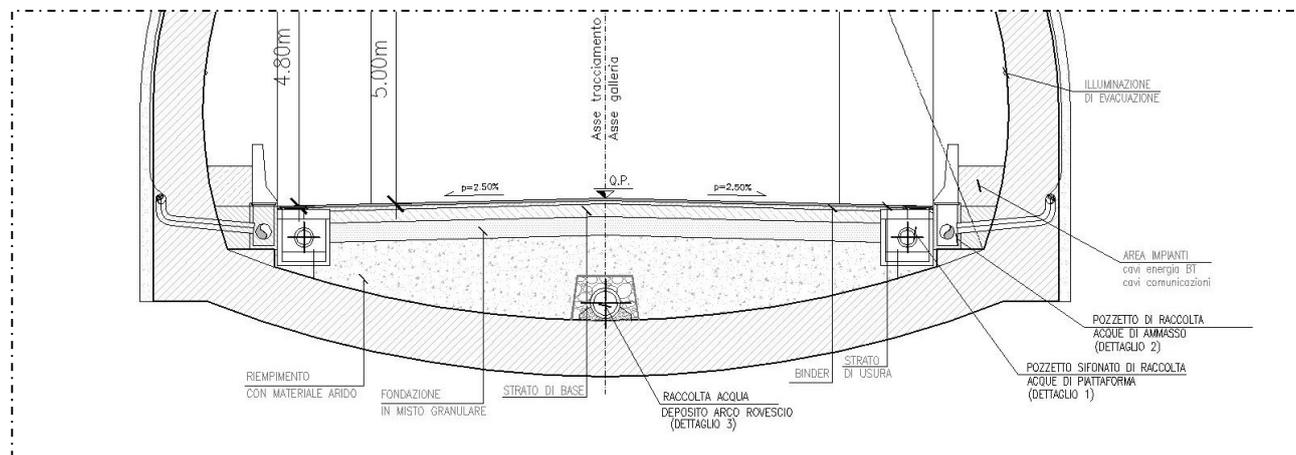


Figura 4-1 – Sezione con smaltimento idraulico in galleria – nuovo tratto

Le acque chiare di stillicidio e ipogee potranno essere recapitate direttamente all'esterno nei recapiti immediatamente disponibili.

Tabella 1

	Sversamento accidentale	Acque di ammasso	Raccolta arco rovescio
Galleria Nuova	Collettore PEAD DN315 + pozzetto frangifiamma (i=25m)	Tubo drenaggio microfessurato PVC DN160 + collettore PVC DN200 con pozzetto (i=50m)	Tubazione cls DN400
Galleria dei Ciclopi tratto alesato	Collettore PEAD DN315 + pozzetto frangifiamma (i=25m)	Tubo drenaggio microfessurato PVC DN160 + collettore PVC DN200 con pozzetto (i=50m)	-
Galleria dei Ciclopi	Collettore PEAD DN315 + pozzetto frangifiamma (i=25m)	-	-

Per le acque di lavaggio, conformemente a quanto esposto nelle “Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo le normative vigenti” (ANAS,2009), sono previsti vasche di intercettazione ed accumulo degli sversamenti accidentali in galleria. La vasca, prevista in c.a. (vedi elaborato grafico T00ID00IDRPC02A), dovrà essere posizionata all'esterno della galleria in area ad accesso carrabile e garantire semplicità di ispezione e manutenzione. Il volume dei manufatti effettivamente previsto nel progetto è stato definito in ogni caso tenendo conto

dell'esigenza di contenere un eventuale sversamento accidentale da parte di un'autocisterna con rimorchio (40 m³).

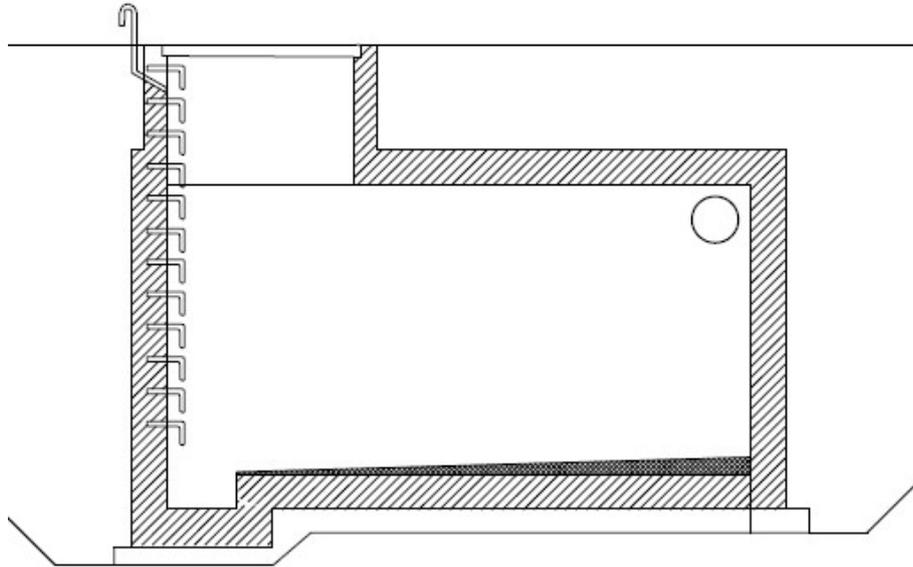


Figura 4-2 Vasca di sicurezza

4.2 Sistema di drenaggio della piattaforma all’aperto

Al fine di assicurare lo smaltimento delle acque meteoriche interessanti sia la sede viaria sia i versanti limitrofi è risultato necessario prevedere un sistema di drenaggio a gravità in grado di convogliare, con un margine di sicurezza adeguato, le precipitazioni intense verso i recapiti finali.

Sulla base delle pendenze longitudinali e trasversali della piattaforma stradale e dell’andamento del terreno nelle condizioni post-operam sono state individuate e definite le modalità di trasferimento dell’acqua fino ai recapiti.

Lo smaltimento delle acque meteoriche della sede stradale sarà adeguato, per quanto possibile, al sistema di drenaggio esistente (caratterizzato da cunette ed eventuali griglie di raccolta lato monte, e deflusso libero attraverso aperture a passo costante nei muri a margine della carreggiata).

I recapiti principali saranno costituiti essenzialmente dalle incisioni vallive esistenti (Valle della Torre e Valle della Piazza) e dal Lago di Garda.

4.2.1 Curva di probabilità pluviometrica

Nella definizione dell’input pluviometrico per il drenaggio della piattaforma stradale si è scelto di adottare la curva di possibilità pluviometrica stimata per l’area in esame, come descritto nella relazione idrologica.

L’intensità di progetto è stata calcolata con l’espressione

$$i(T, t) = a_T t^{n-1}$$

In tabella sono riportati i parametri della curva di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno adottati nelle verifiche.

Tabella 4.1 - Parametri della curva di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno adottati.

Tempo di Ritorno	Parametri della curva IDF	
	n	a [mm/h]
Tr [anni]		
25	0,465	48,81
50	0,477	54,58

In particolare si è adottato un tempo di ritorno di 25 anni per il dimensionamento degli elementi di raccolta e convogliamento della piattaforma e di 50 anni per i fossi di guardia.

4.2.2 Dimensionamento degli elementi di raccolta

In questa sezione viene descritta la procedura per il dimensionamento del sistema di raccolta superficiale. Le procedure descritte nel seguito consentono l'individuazione degli interassi massimi di ammissibili per il posizionamento degli elementi di raccolta puntuali: embrici, caditoie o bocchettoni, e gli interassi massimi ammissibili per lo scarico degli elementi continui: canaletta CB1 e cunetta.

Il dimensionamento avviene in maniera diversa se si considerano gli elementi di raccolta continui (longitudinali alla carreggiata) o quelli discontinui (elementi puntuali). Nel primo caso si dimensionano gli interassi dei pozzetti di scarico calcolando la portata massima smaltibile e la massima portata defluente dalla falda piana (superficie stradale scolante) per unità di lunghezza.

Quest'ultima è data dalla formula:

$$q_0 = \varphi b i = \varphi b a t^{n-1}$$

con

q_0 = portata per unità di lunghezza (m^2/s);

b larghezza della falda (m);

φ coefficiente di deflusso;

i intensità di pioggia (m/s).

Il coefficiente di deflusso è stato posto pari ad 0,9 per le superfici pavimentate, 0.5 per le trincee e per i rilevati.

In base al modello cinematico si ha che la condizione più gravosa è quella per cui il tempo di pioggia è pari al tempo di corrivazione.

Il rapporto tra la massima portata convogliabile nell'elemento e la massima portata defluente per unità di larghezza definisce l'interasse massimo tra i pozzetti di scarico. Il dimensionamento dell'interasse degli elementi puntuali si ottiene facendo il rapporto tra la portata massima transitante

in un'ipotetica canaletta triangolare delimitata dal manto stradale e dal cordolo, e la massima portata defluente dalla falda piana per unità di larghezza (q_0).

4.2.3 Dimensionamento degli elementi di convogliamento

Il dimensionamento degli elementi di convogliamento è fatto confrontando la portata transitante e quella esitabile dall'elemento. Anche in questo caso la condizione più gravosa è quella per cui il tempo di pioggia è pari al tempo di corrivazione. In questa fase di progetto si è scelto di adottare un tempo di corrivazione di 5 minuti, scelta congruente con le limitate estensioni dei tratti di collettore e da considerarsi comunque cautelativa.

Per la descrizione del moto all'interno della rete si è utilizzato lo schema di moto uniforme. In particolare si è utilizzata la formula di Chézy per ottenere le scale di deflusso:

$$Q = \chi A \sqrt{Rj}$$

con:

Q portata di dimensionamento della canalizzazione (m^3/s);

$\chi = 1/n$ coefficiente di scabrezza di Strickler ($m^{1/3}/s$);

A area bagnata (m^2);

C contorno bagnato (m);

j pendenza media della condotta (m/m);

$R = A/C$ raggio idraulico (m).

4.2.4 Cunetta

Le cunette triangolari sono previste nei tratti in trincea, in corrispondenza dell'imbocco Nord. Lo scopo delle cunette è quello di raccogliere e allontanare le acque derivanti dal drenaggio della carreggiata e/o dalla falda della scarpata.

La cunetta ha una sezione triangolare con larghezza complessiva di 100 cm e altezza pari a 20 cm; la descrizione dettagliata è riportata nella tavola dei particolari costruttivi.

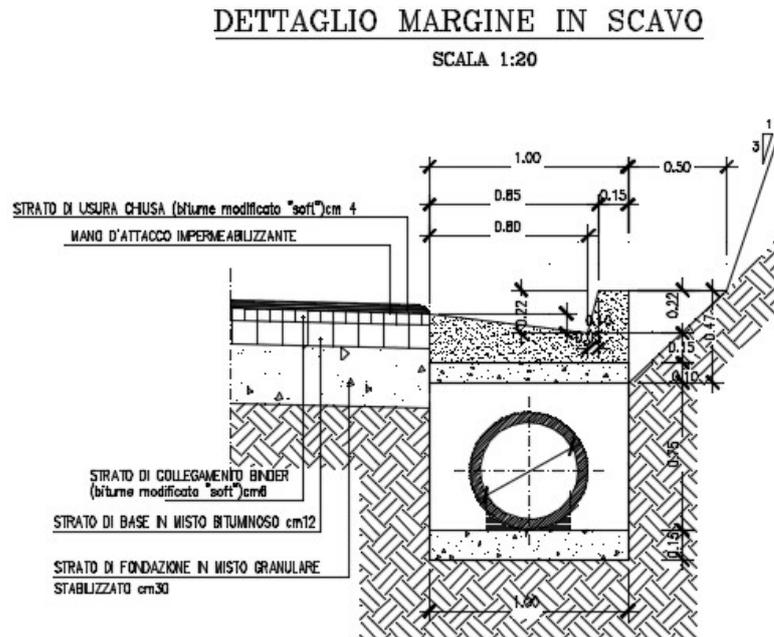


Figura 4.2 - Dettaglio del ciglio in trincea con cunetta e collettore longitudinale.

La portata massima smaltibile dalla cunetta è in funzione delle sue dimensioni e della pendenza longitudinale della strada; la stima della portata massima esitabile è stata effettuata con la legge di Chèzy. Al riempimento massimo consentito corrisponde un tirante idrico di 10 cm.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} j^{1/2}$$

con:

$n = 0,014$ coefficiente di scabrezza di Manning;

$A = 0,041 \text{ m}^2$ Area bagnata;

$C = 0,912 \text{ m}$ Contorno bagnato;

$R = 0,045 \text{ m}$ Raggio idraulico;

$j =$ pendenza longitudinale.

La portata specifica dell'elemento drenante risulta di

$$Q_{SP} = \frac{1}{n} AR^{2/3} = 0,372 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Nella tabella e nella figura sottostanti è riportata la portata massima esitabile dalla cunetta in funzione della pendenza longitudinale del ciglio.

Tabella 4.2 - Portate massime convogliabili dalla cunetta per differenti pendenze longitudinali.

Pendenza Longitudinale	Q Massima m ³ /s
0.001	0.012
0.002	0.017
0.003	0.020
0.004	0.024
0.005	0.026
0.006	0.029
0.007	0.031
0.008	0.033
0.009	0.035
0.010	0.037
0.015	0.046
0.020	0.053
0.025	0.059
0.030	0.064
0.040	0.074
0.050	0.083
0.100	0.118

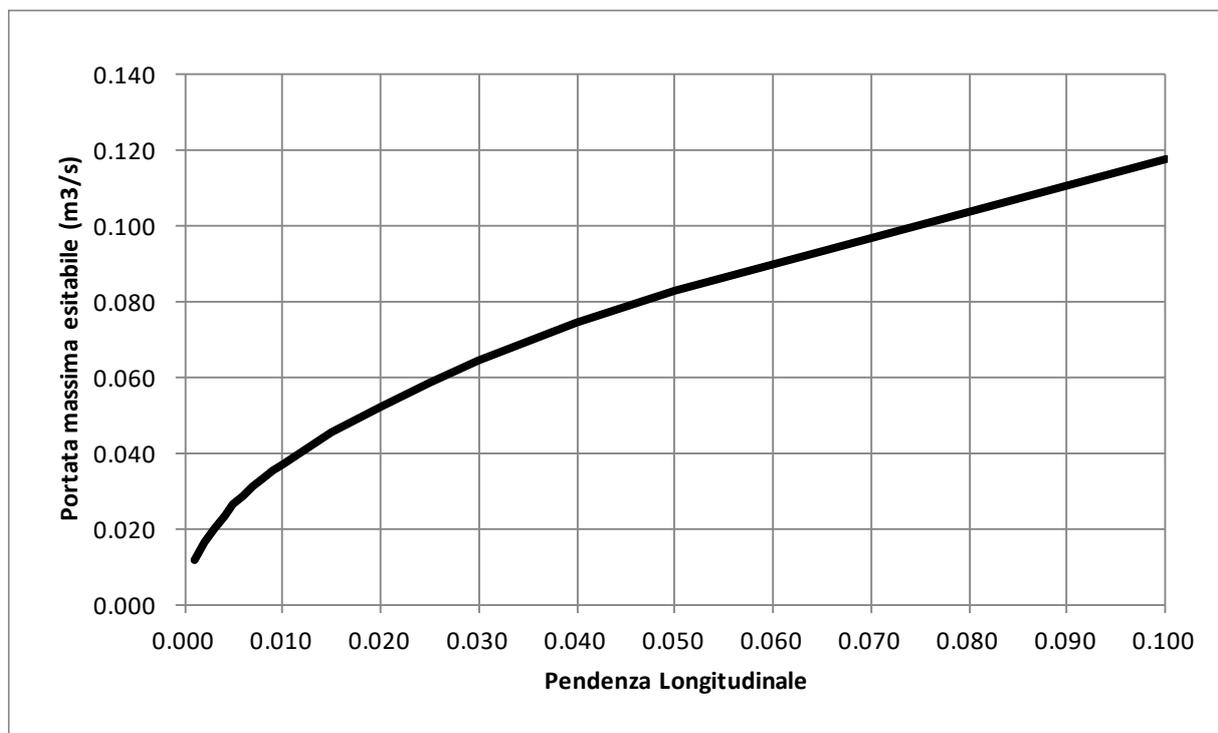


Figura 4.3 - Portate massime ammissibili dalla cunetta per differenti pendenze longitudinali.

La portata affluente è stata stimata mediante la formula razionale ipotizzando un tempo di accesso costante di 5’:

$$Q = \frac{(\varphi_b \cdot b + \varphi_s \cdot s) \cdot L \cdot i}{36000000}$$

con

Q = portata affluente(m³/s);

L = interasse massimo tra due scarichi (m);

b = larghezza di piattaforma (m);

s = dimensione della proiezione orizzontale della scarpata compresa tra la cunetta e il fosso di guardia

φ_b = 0,9 coefficiente di deflusso della superficie pavimentata;

φ_s = 0,5 coefficiente di deflusso della scarpata naturale;

i = intensità di pioggia (mm/h).

Quando l’apporto di acqua piovana di un determinato tratto di strada raggiunge la predetta portata massima, è inserita una caditoia grigliata che consente il passaggio delle acque raccolte al sistema di trasporto, costituito da collettori longitudinali in PEAD. La massima distanza tra due pozzetti di raccolta è data dal rapporto tra la portata massima smaltibile dalla cunetta e il contributo di portata per metro lineare Q/L .

Con questo procedimento si ricava l’interasse tra i pozzetti di raccolta posti lungo le cunette stesse, l’interasse massimo tra due scarichi consecutivi è stato fissato a 20 m. Le verifiche con passo di 20 metri sono riportate in Appendice B

Come si evince dai risultati, poiché il tratto in esame è caratterizzato da pendenze longitudinali elevate, la cunetta risulta sufficiente a convogliare la portata dell’intero tratto senza necessità di scarichi e quindi di un collettore. Tuttavia, si è cautelativamente scelto di porre un collettore di sicurezza DN 400 sotto la cunetta ubicata sotto il ciglio destro del ramo 1 dell’Intersezione per Tignale.

4.2.5 Collettori

I collettori costituiscono un sistema idraulico il cui compito è quello di trasportare verso i ricettori o i presidi idraulici le acque scolanti sulla piattaforma stradale. Gli elementi superficiali recapitano le acque raccolte al sistema di collettori quando la loro capacità idraulica non è in grado di smaltire la porta afferente. Il collegamento tra i due sistemi è assicurato da pozzetti grigliati.

I collettori costituiti da tubi in PEAD, SN 4, che corrono longitudinalmente alla carreggiata hanno generalmente la stessa pendenza dell'elemento superficiale. Laddove la pendenza stradale è molto elevata, è stata modificata per consentire il corretto funzionamento del sistema ed evitare velocità eccessive, predisponendo dei pozzetti di salto.

Il sistema di collettori, nel tratto all'aperto, è costituito da tubi circolari prefabbricati in polietilene ad alta densità PEAD di diametro di 400 e 500 mm.

Nel dimensionamento dei collettori di collegamento tra i pozzetti di raccolta si è utilizzato un coefficiente di scabrezza di Gauckler Strickler pari a $90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Il tempo di ritorno utilizzato nel calcolo di questi elementi è fissato a 25 anni, coerentemente con il valore fissato nel dimensionamento delle opere del drenaggio superficiale. Per fornire un adeguato margine di sicurezza e prevenire il funzionamento in pressione dei collettori le verifiche sono state condotte considerando un riempimento massimo dell'50% con riferimento alle condizioni di moto uniforme. La determinazione del tirante idrico interno al tubo come descritto precedentemente è stata effettuata con la legge di Chèzy utilizzata congiuntamente al modello cinematico. Uguagliando la portata determinata mediante la formula razionale alla legge di Chèzy si ottiene una funzione implicita del tirante risolta in maniera iterativa.

Vengono riportate nella tabella di seguito le caratteristiche geometriche e idrauliche dei collettori utilizzati.

Tabella 4.4 - : caratteristiche geometriche e idrauliche dei collettori in PEAD

Tubi in PEAD				
Diametro Nominale	Diametro esterno	Diametro interno	Riempimento massimo consentito	Portata specifica
DN		D	r	Q_{sp}
	m	m	%	m^3/s
400	0,400	0,347	50%	0,834
500	0,500	0,433	50%	1,505

Nelle tabelle e figure seguenti sono riportate le portate convogliabili dai collettori per differenti pendenze longitudinali.

Tabella 4.5 - Portate massime convogliabili dai collettori in PEAD DN400 e DN500 con riempimento al 50% per differenti pendenze longitudinali.

Pendenza Longitudinale	Q Massima	Q Massima
	m ³ /s	m ³ /s
	DN400	DN500
0.001	0.026	0.048
0.002	0.037	0.067
0.003	0.046	0.082
0.004	0.053	0.095
0.005	0.059	0.106
0.006	0.065	0.117
0.007	0.070	0.126
0.008	0.075	0.135
0.009	0.079	0.143
0.010	0.083	0.151
0.015	0.102	0.184
0.020	0.118	0.213
0.025	0.132	0.238
0.030	0.144	0.261
0.040	0.167	0.301
0.050	0.186	0.337
0.100	0.264	0.476

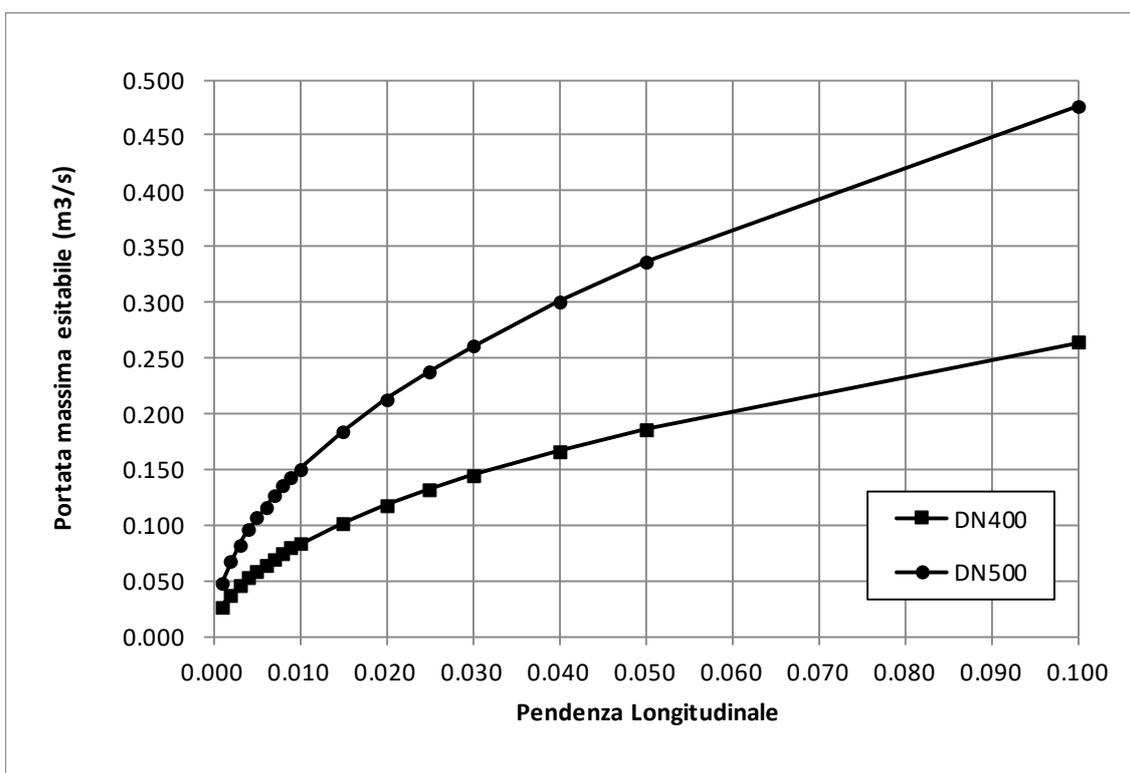


Figura 4.4 - Portate massime convogliabili dai collettori in PEAD DN400 e DN500 con riempimento al 50% per differenti pendenze longitudinali.

Nella figura 4.5 è riportato uno stralcio planimetrico con ubicazione dei collettori e dei pozzetti. Per maggiori dettagli si rimanda all’elaborato grafico.

Nell’allegato B si riportano le verifiche idrauliche dei collettori. Sono state verificate la linea di collettori ubicati sotto la cunetta della carreggiata destra del Ramo 1 dell’Intersezione per Tignale e la linea di collettori che recapitano le acque bianche provenienti dall’Imbocco Nord della galleria e dal Ramo 1 dell’Intersezione per Tignale nel Lago di Garda..

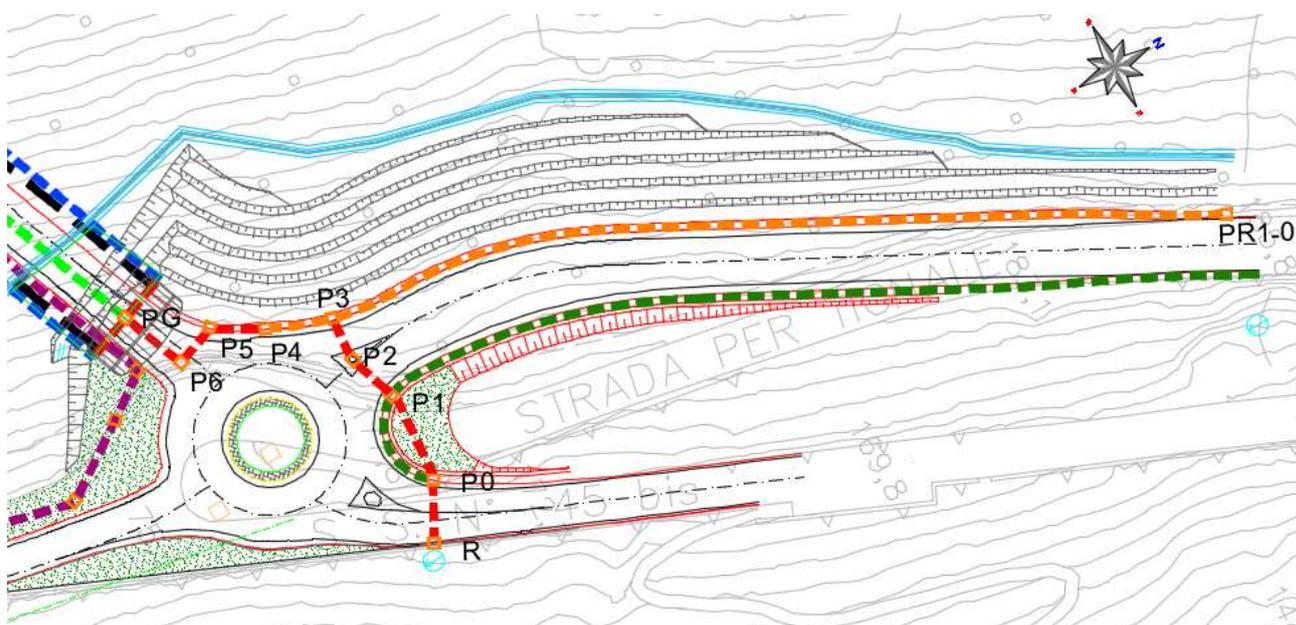


Figura 4.5 – Stralcio planimetrico con ubicazione dei collettori e dei pozzetti

4.2.6 Fossi di guardia

I fossi di guardia costituiscono gli elementi di raccolta delle acque provenienti dai versanti. Nel caso di sezione in trincea il fosso di guardia è posto in sommità alla trincea stessa. La sua funzione è quindi quella di raccogliere l'acqua che viene dal versante sovrastante, onde evitare che questa scenda lungo la trincea erodendola o che possa arrivare alla piattaforma stradale sovraccaricando la cunetta.

Il tempo di ritorno di progetto utilizzato per il dimensionamento dei fossi di guardia è di 50 anni.

E' stato utilizzato un fosso a sezione trapezia di dimensioni:

Base: 0,50 m

Altezza: 0,50 m

Sponde: 1:1

La capacità di trasporto è stata verificata con la legge di Chèzy:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} j^{1/2}$$

con:

$n = 0,0167 \text{ ms}^{-1/3}$ coefficiente di scabrezza di Manning;

$A = 0,50 \text{ m}^2$ Area bagnata;

$C = 1,91 \text{ m}$ Contorno bagnato;

$R = 0,26 \text{ m}$ Raggio idraulico;

j = pendenza longitudinale.

La portata specifica a completo riempimento dell'elemento risulta:

$$Q_{SP} = \frac{1}{n} AR^{2/3} = 12,6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

La portata affluente è stata stimata mediante la formula razionale fissando un tempo di ritorno di 50 anni; il tempo di corrivazione t_c è stato posto pari al tempo di afflusso stimato in 10 minuti più il tempo di rete. Per le aree sottese si è utilizzato un coefficiente di deflusso medio pari a 0,5.

La pendenza del fosso è stata mantenuta, dove possibile, prossima a quella media del terreno, mantenendo le velocità della corrente sufficientemente elevata in modo da non favorire sedimentazioni e al contempo non così elevata da provocare erosioni.

Il dimensionamento è stato eseguito verificando che il grado di riempimento non sia mai superiore al 70%.

La verifica dei fossi è stata eseguita per la pendenza minima.

Nell'Appendice B si riportano le tabelle delle verifiche idrauliche del dimensionamento dei fossi di guardia posti a monte della scarpata e a protezione dell'imbocco Nord e i fossi di guardia a protezione dell'imbocco Sud della nuova galleria e della scarpata prevista tra le progressive 1+845 e 1+875.

4.2.7 Griglie

Lo smaltimento della acque del piazzale posto in corrispondenza dell'imbocco sud è affidato ad un sistema di griglie con sottostante canaletta. Considerato un tempo di corrivazione dell'area della piazzola di 5', le griglie devono essere in grado di smaltire una portata di 11 l/s

Piazzola IMBOCCO SUD		
A	235.00	m ²
a (T=25)	48.81	mm/h
n (T=25)	0.47	-
tc	5.00	min
h	15.37	mm in 5'
Q	10.84	l/s

Ipotizzando a favore di sicurezza, la formazione di un tirante di 2mm all'imbocco della grata, Si ottiene una lunghezza minima della griglia di circa 3 m.

Cadoitoia a griglia in grado di smaltire portata Q		
ipotizzo tirante di	0.002	m
q lineare	0.27	l/s/m
b griglia	0.40	m
L griglia	2.74	m

5 CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono state esaminate le principali interferenze del tracciato di progetto con il reticolo idrografico esistente, nonché la compatibilità con i vincoli del Piano di Assetto Idrogeologico. Nello specifico è stata analizzata l’interferenza con l’incisione valliva *Valle della Torre* alla pr. 1+830 dell’asse principale.

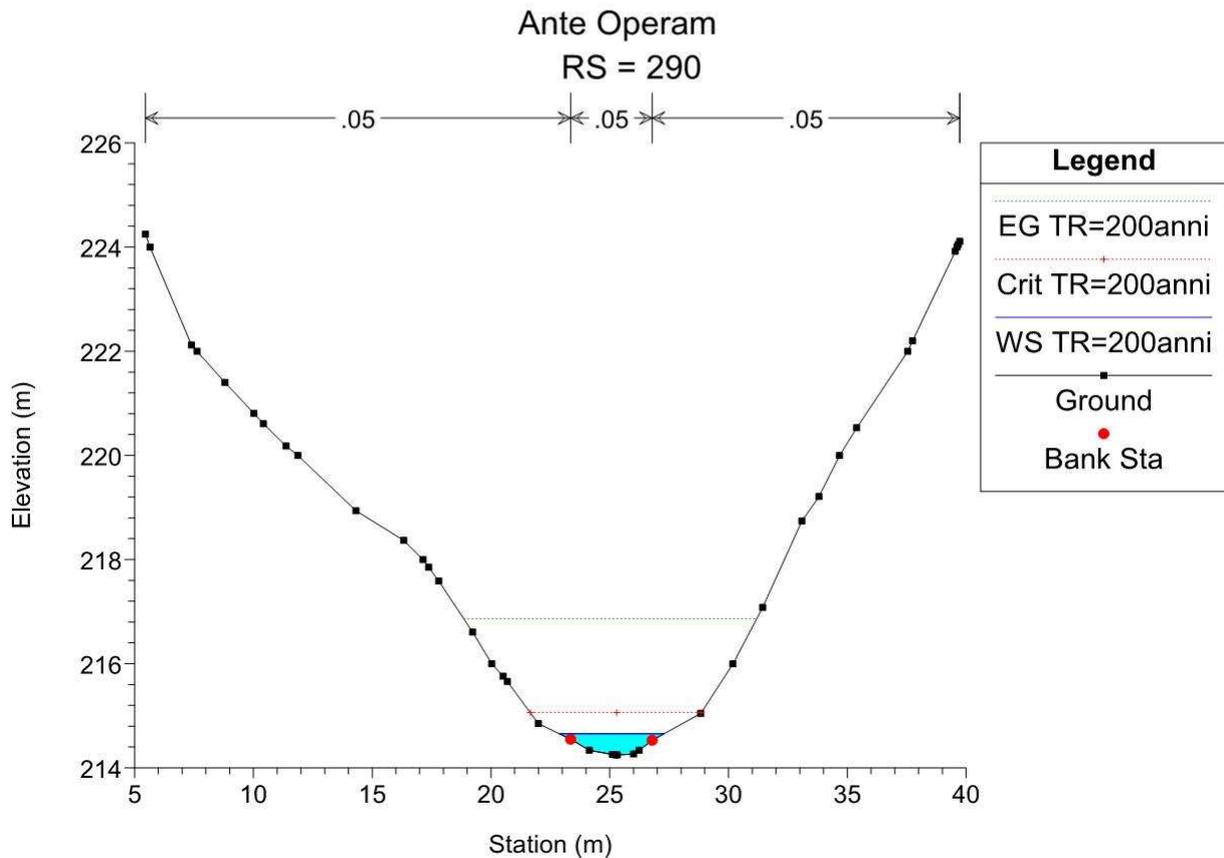
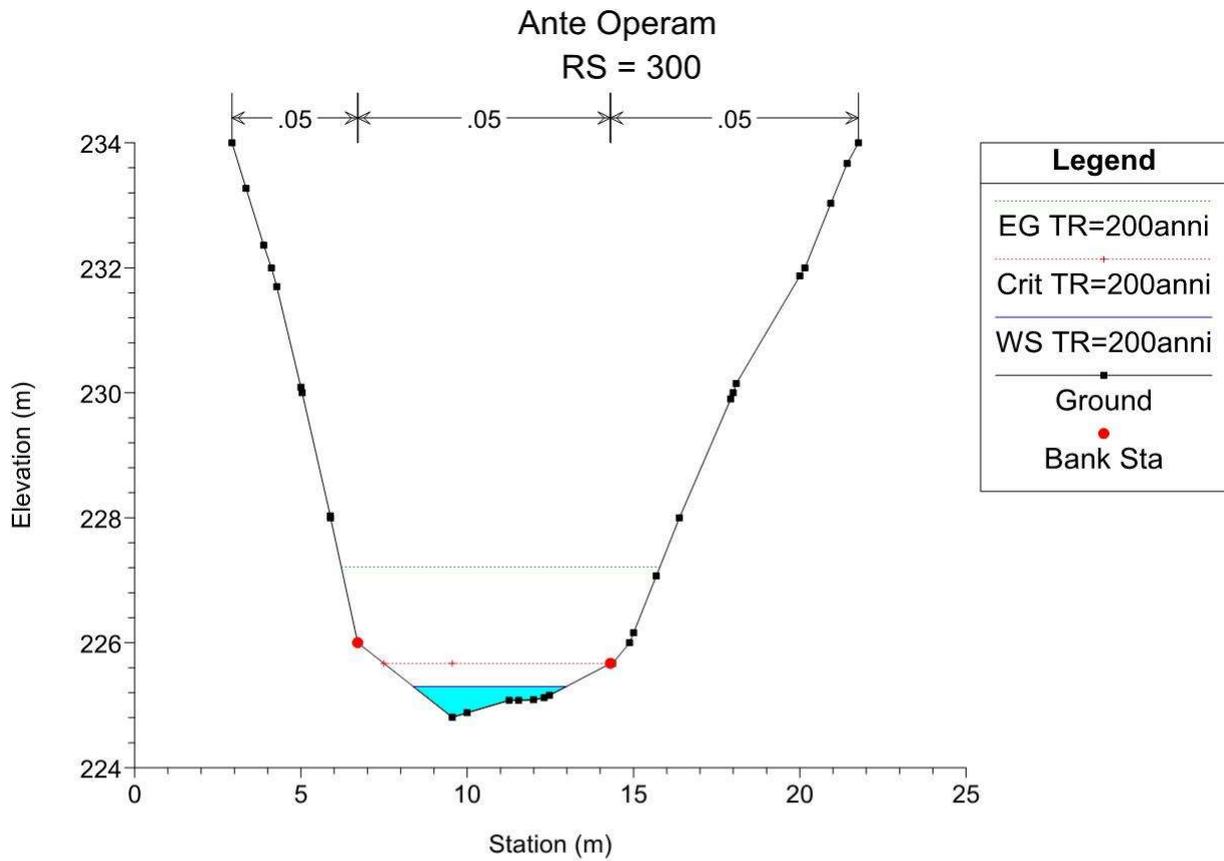
Come descritto nella relazione idrologica è stata determinata la portata al colmo di piena con Tr 200 anni che è stata posta alla base delle verifiche del tombino scatolare previsto in attraversamento alla viabilità di progetto. Le verifiche idrauliche hanno dimostrato l’idoneità dell’opera di attraversamento a smaltire le portate duecentennali con adeguati franchi di sicurezza (cfr. cap. 3).

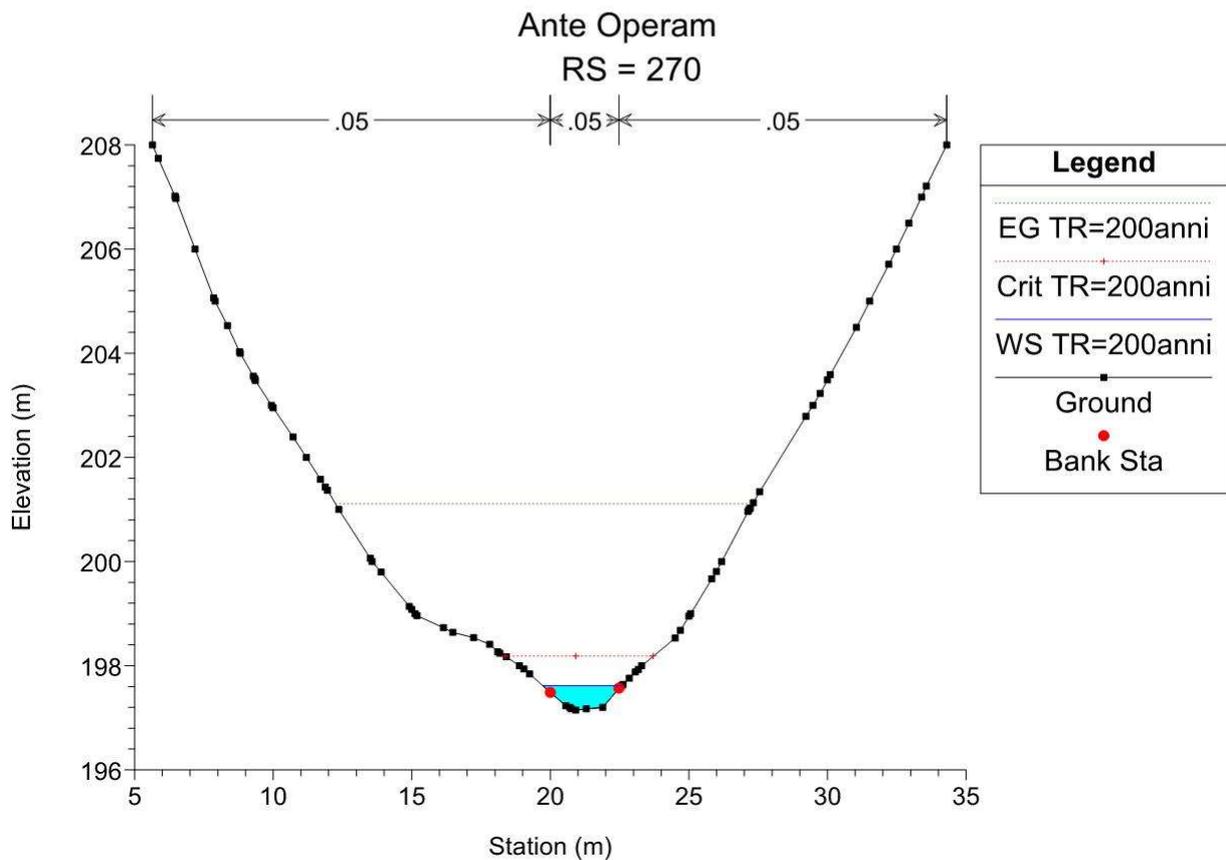
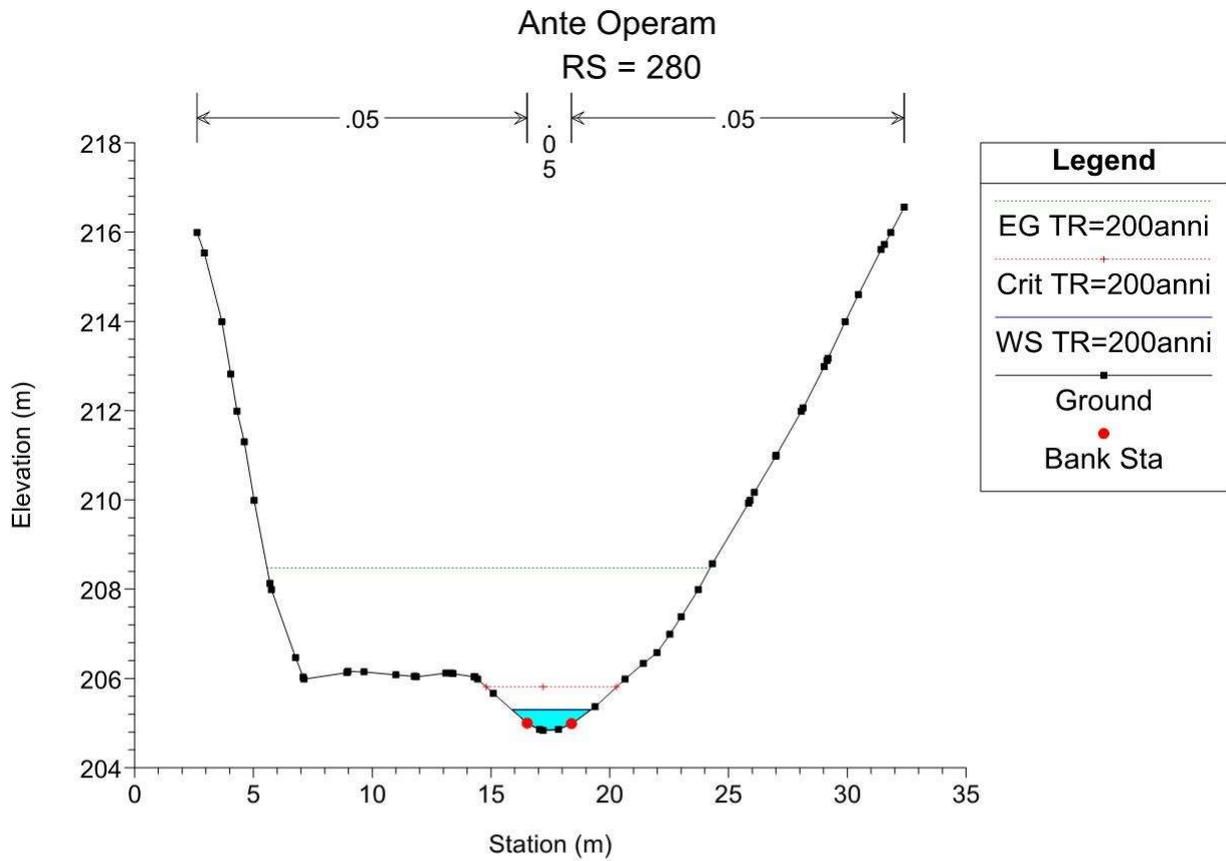
Per quanto riguarda i vincoli idrogeologici, il piano di gestione Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano ha individuato un’area a pericolosità idraulica in corrispondenza dell’attuale tombamento del fosso Valle della Torre (cfr. cap. 3), determinato secondo una metodologia semplificata con un’analisi di tipo morfologico. Occorre considerare che le perimetrazioni indicate sono riferite allo stato attuale, secondo cui l’attraversamento esistente sotto la SS45 bis “Gardesana”, meglio descritto nel par. 2.2.1, presenta a monte un tombamento che evidentemente determina un ostacolo al libero deflusso delle acque nel Vallone. La realizzazione della nuova infrastruttura determinerebbe la demolizione dell’attuale tombamento, e costruzione di una nuova opera scatolare che andrebbe a ridurre le problematiche connesse a possibili rigurgiti verso monte, o tracimazioni del sedime stradale attuale.

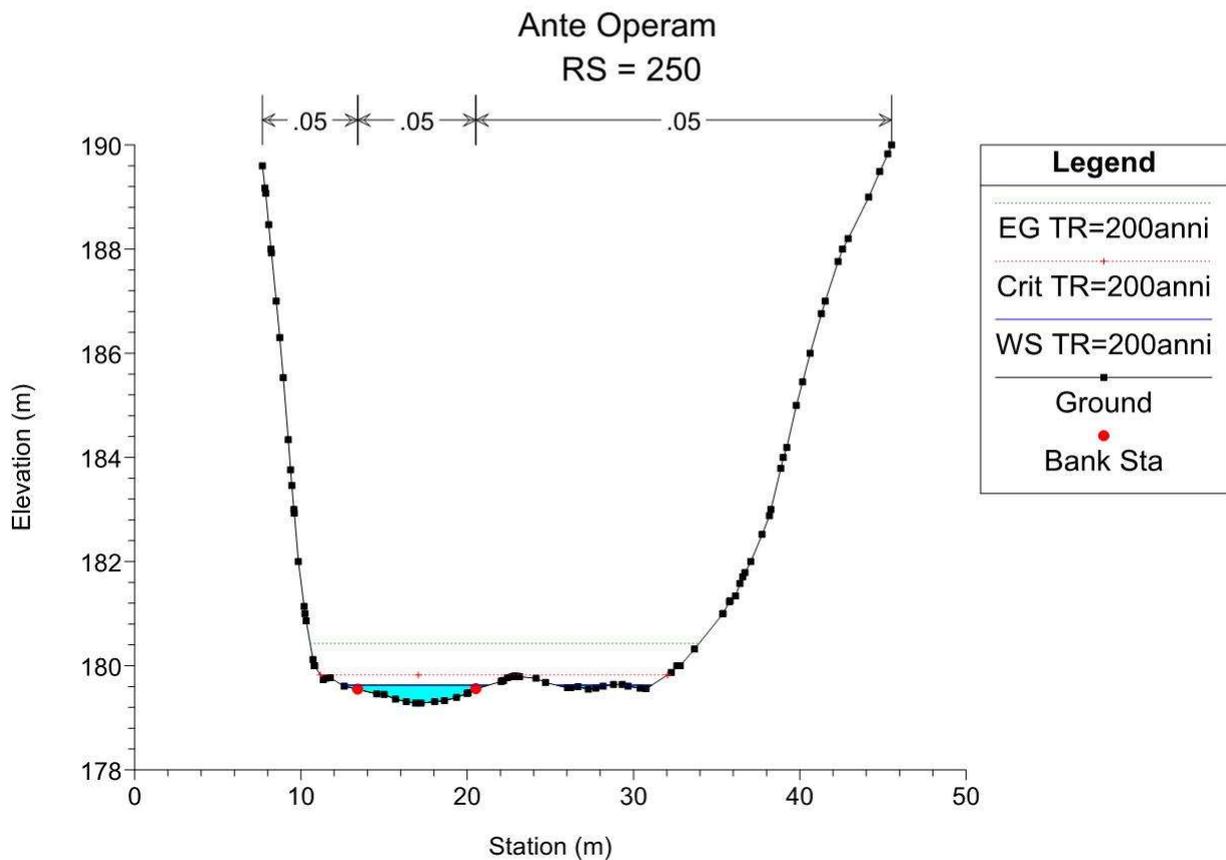
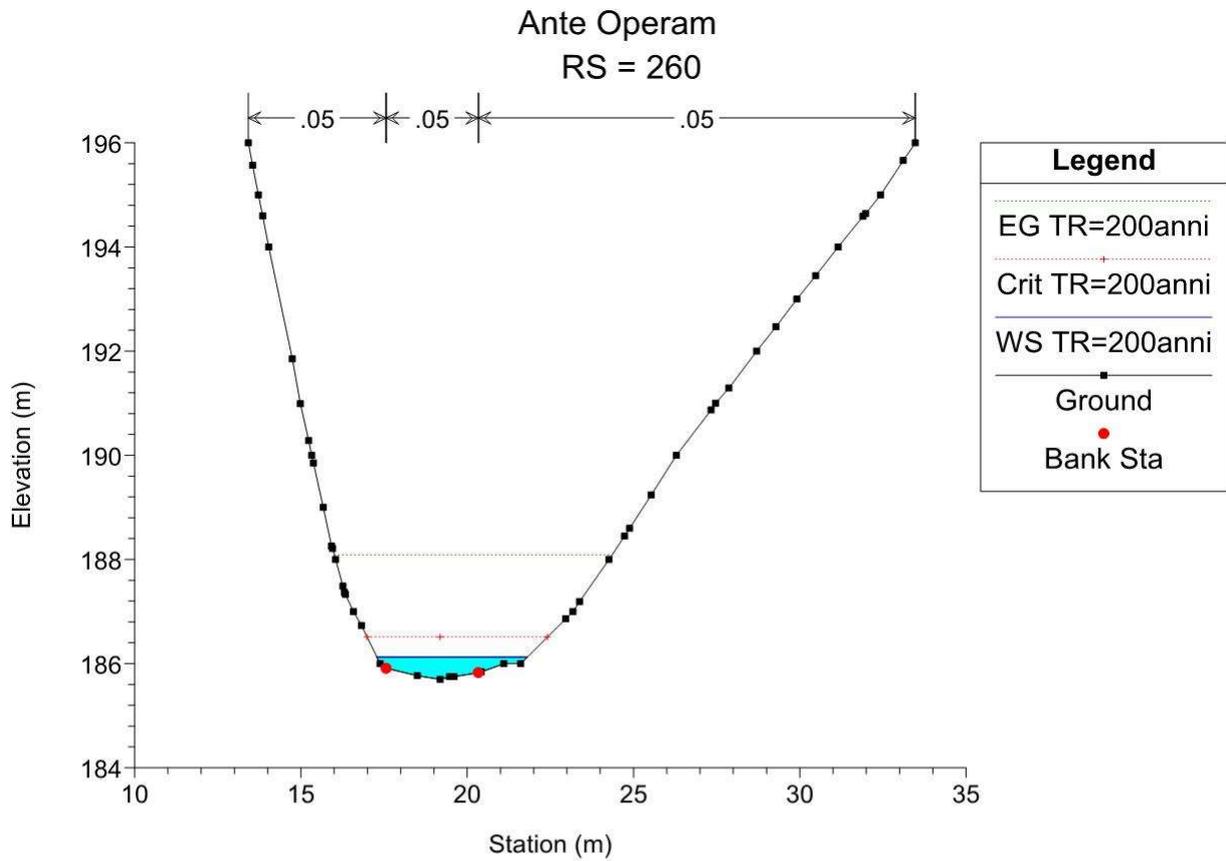
Il sistema di drenaggio (cfr. cap. 4) sarà caratterizzato principalmente da un sistema di collettori in galleria per lo smaltimento delle acque di stillicidio, del drenaggio dell’arco rovescio, e delle acque di lavaggio, recapitate in vasche di sicurezza site su apposite piazzole. Il sistema di smaltimento delle acque meteoriche ricadenti sulla piattaforma nei tratti esterni si riallaccia per quanto possibile al sistema esistente.

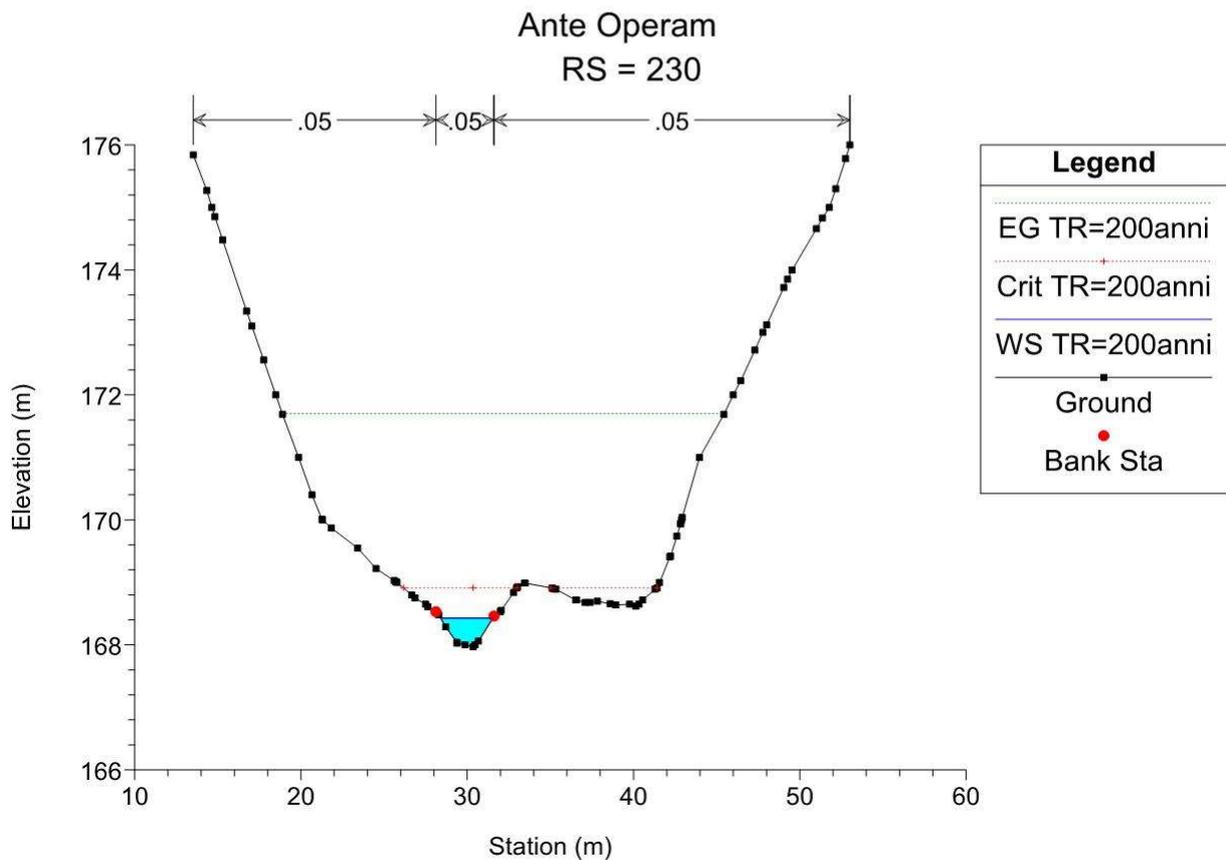
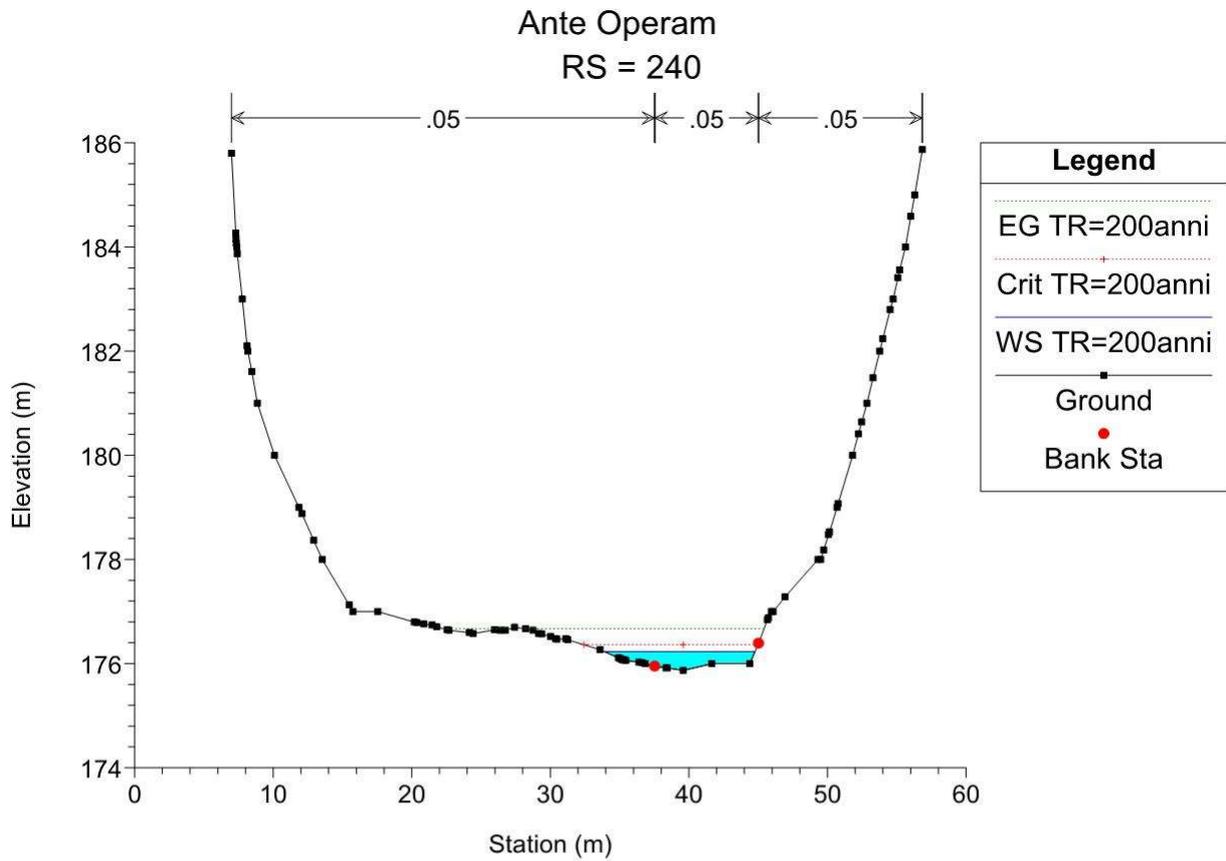
APPENDICE A

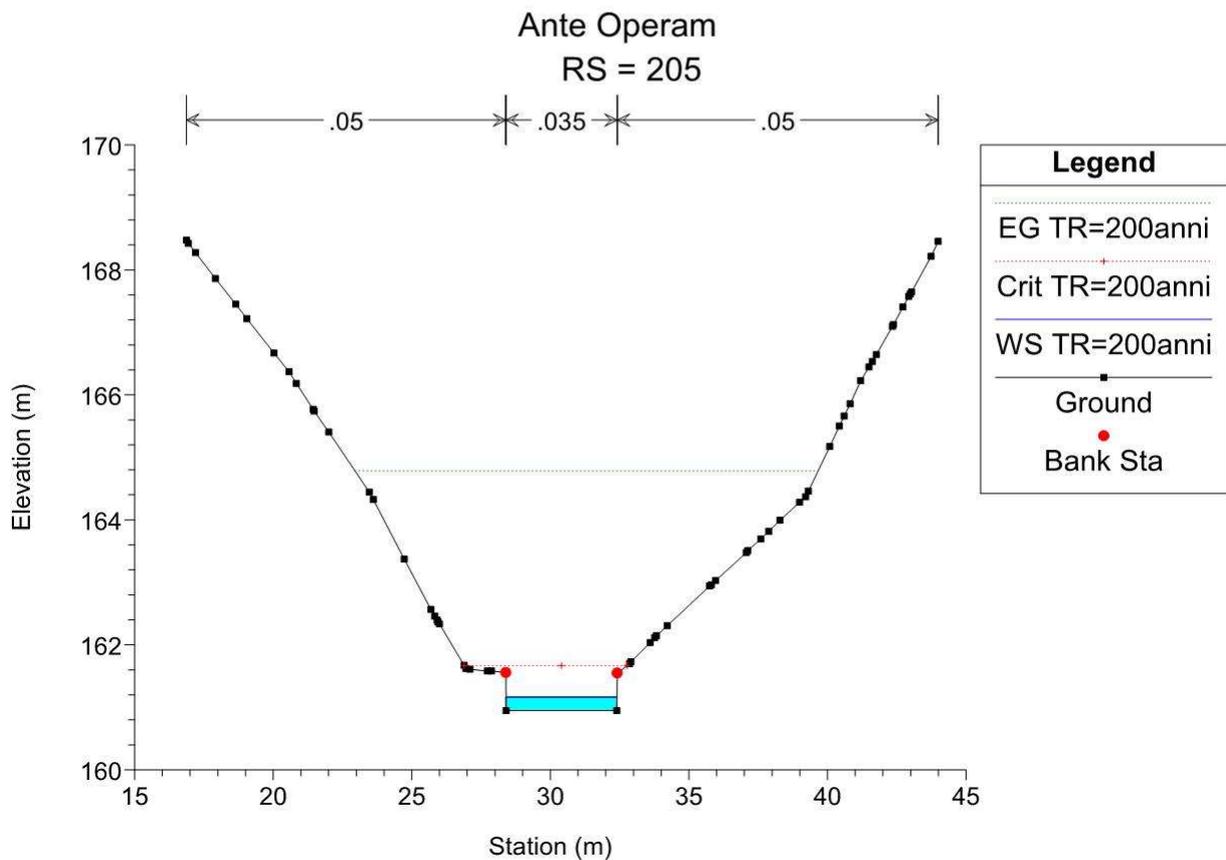
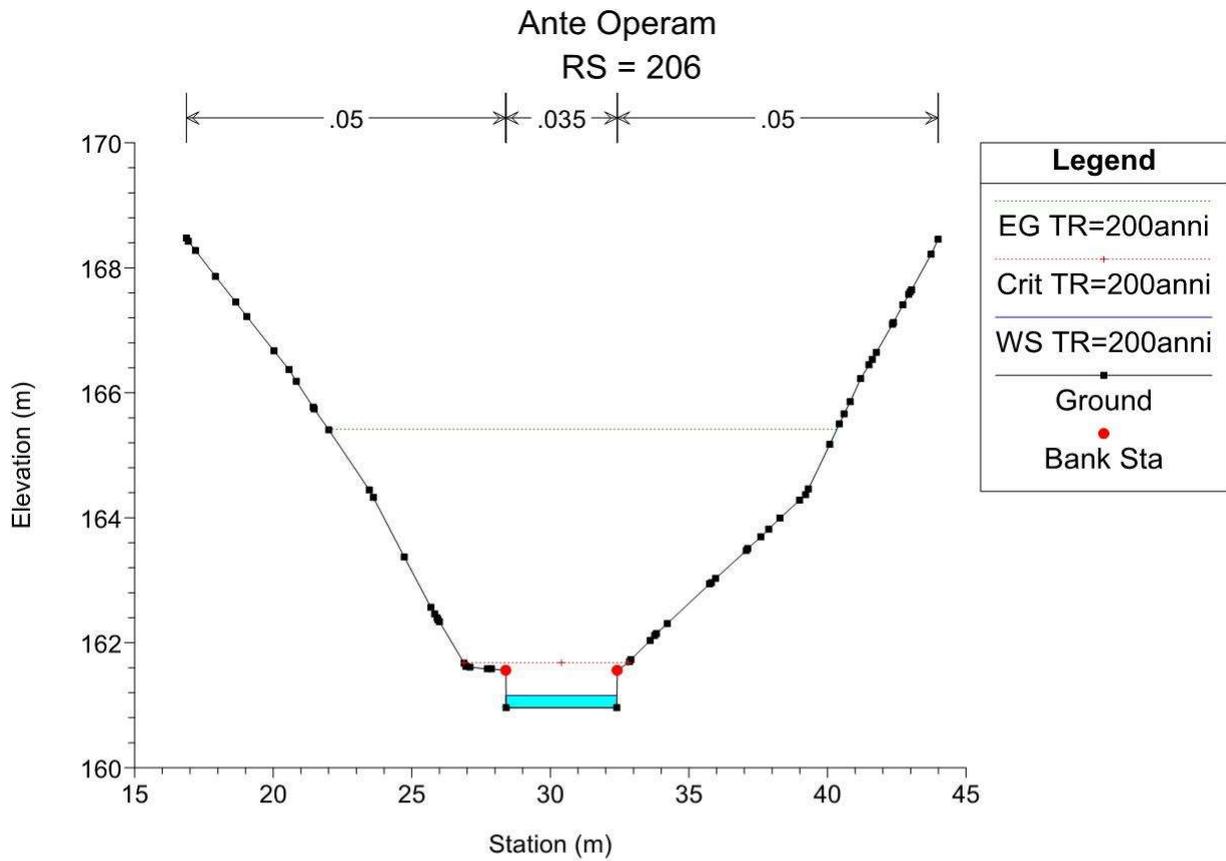
Sezioni di calcolo - Ante Operam

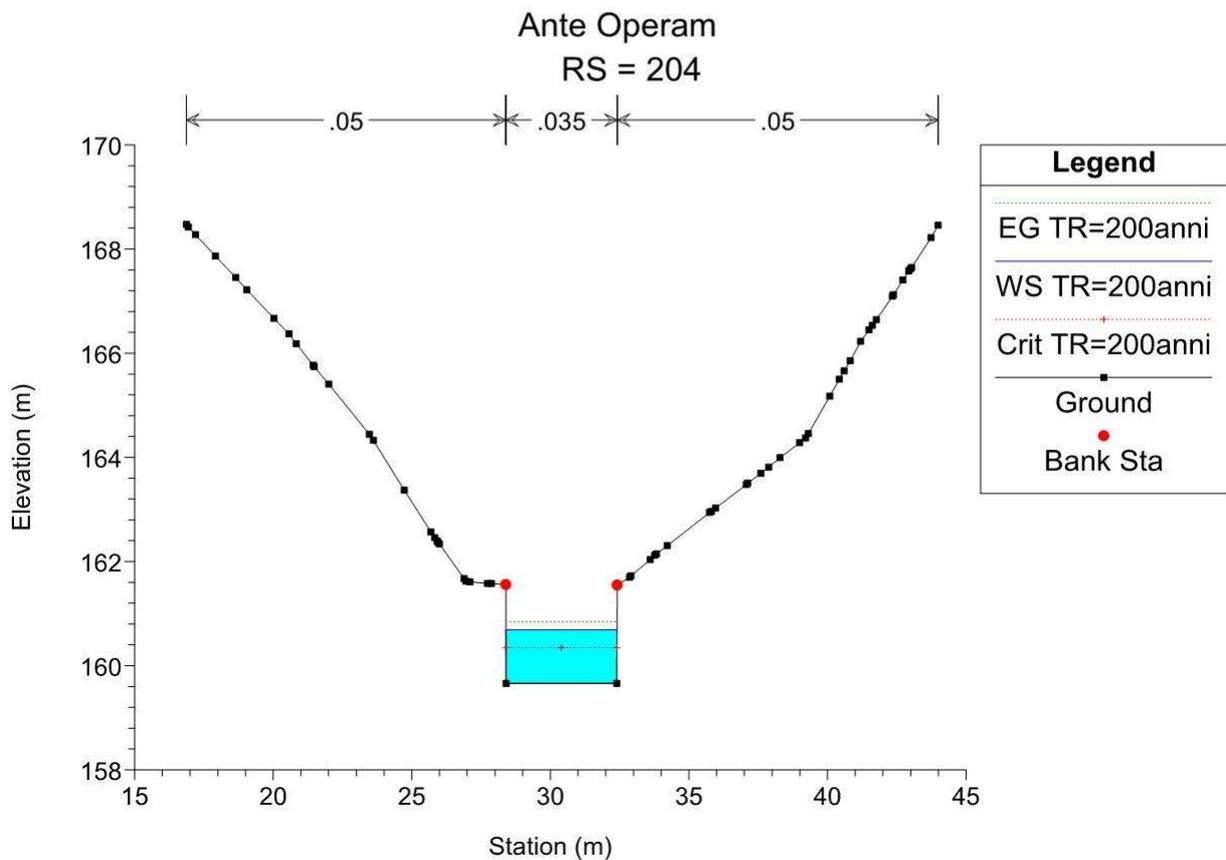
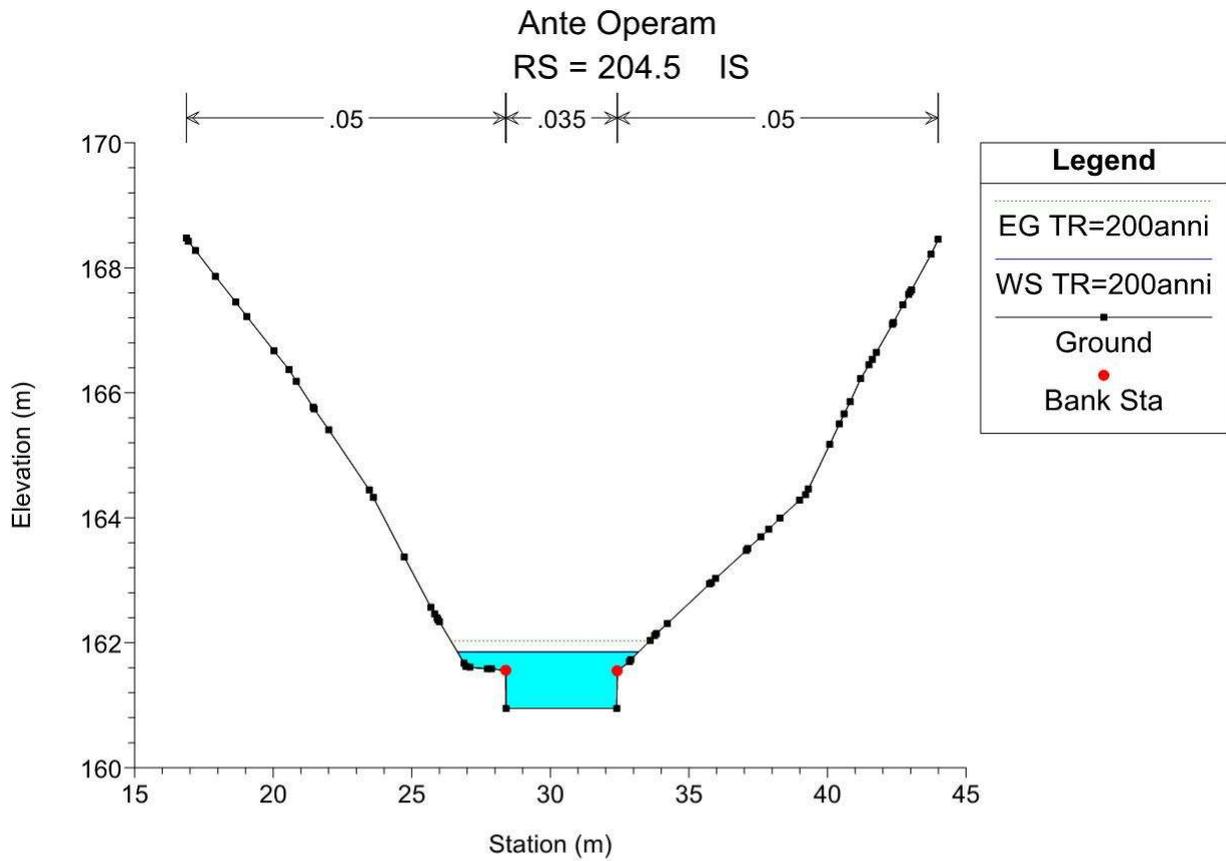


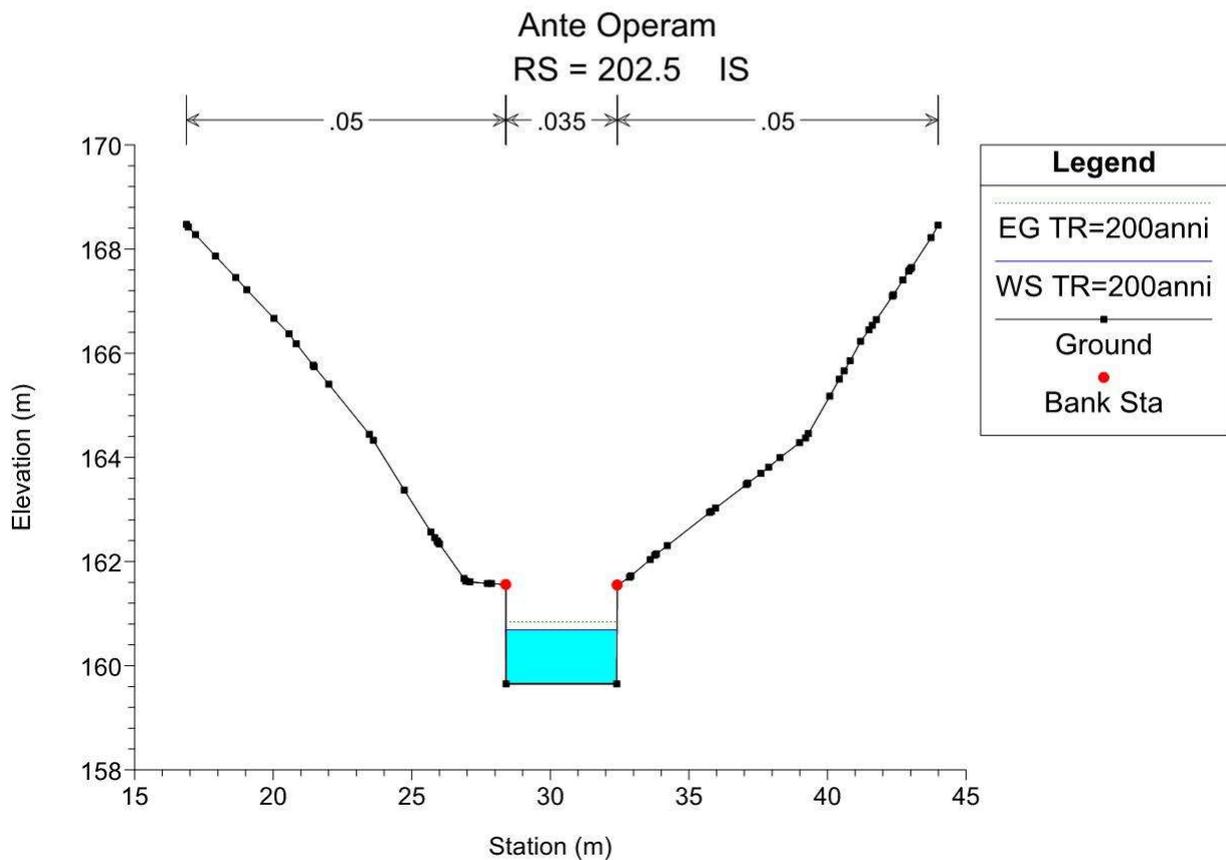
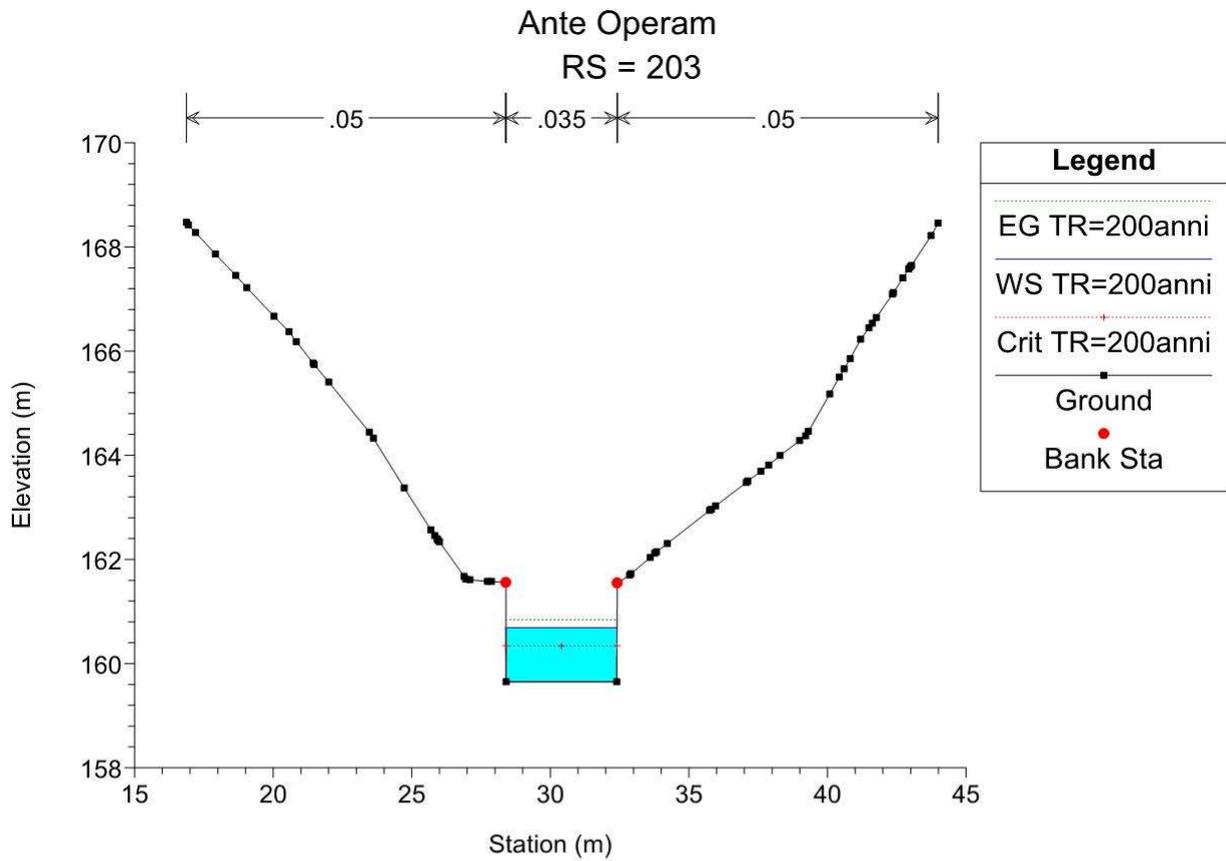


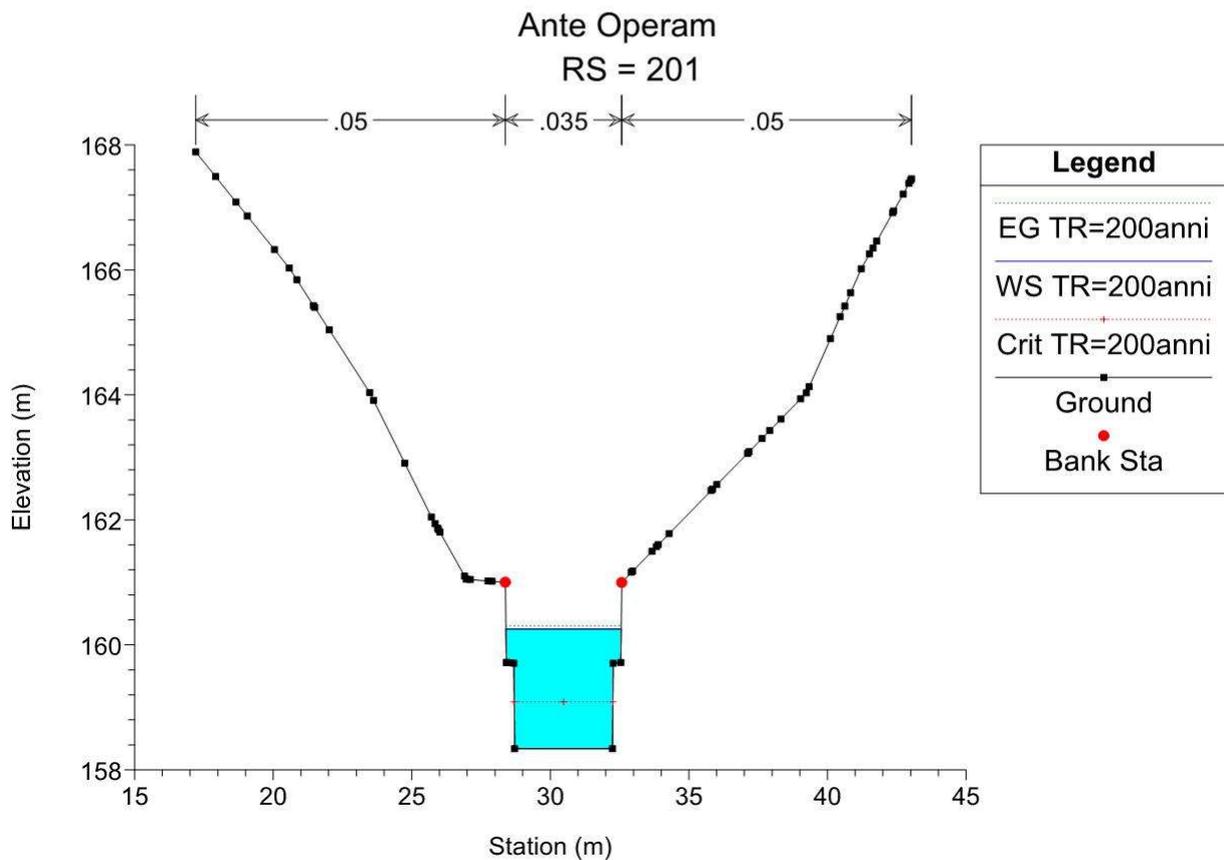
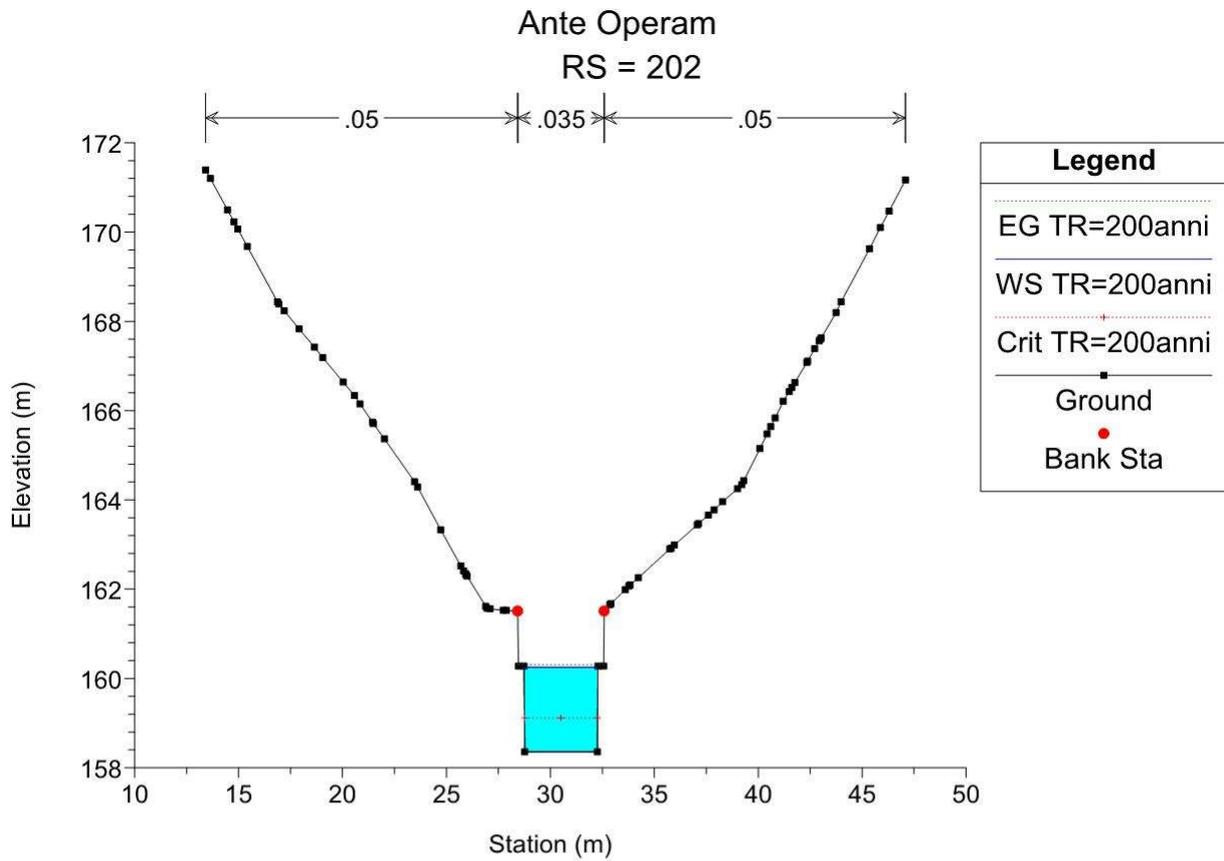


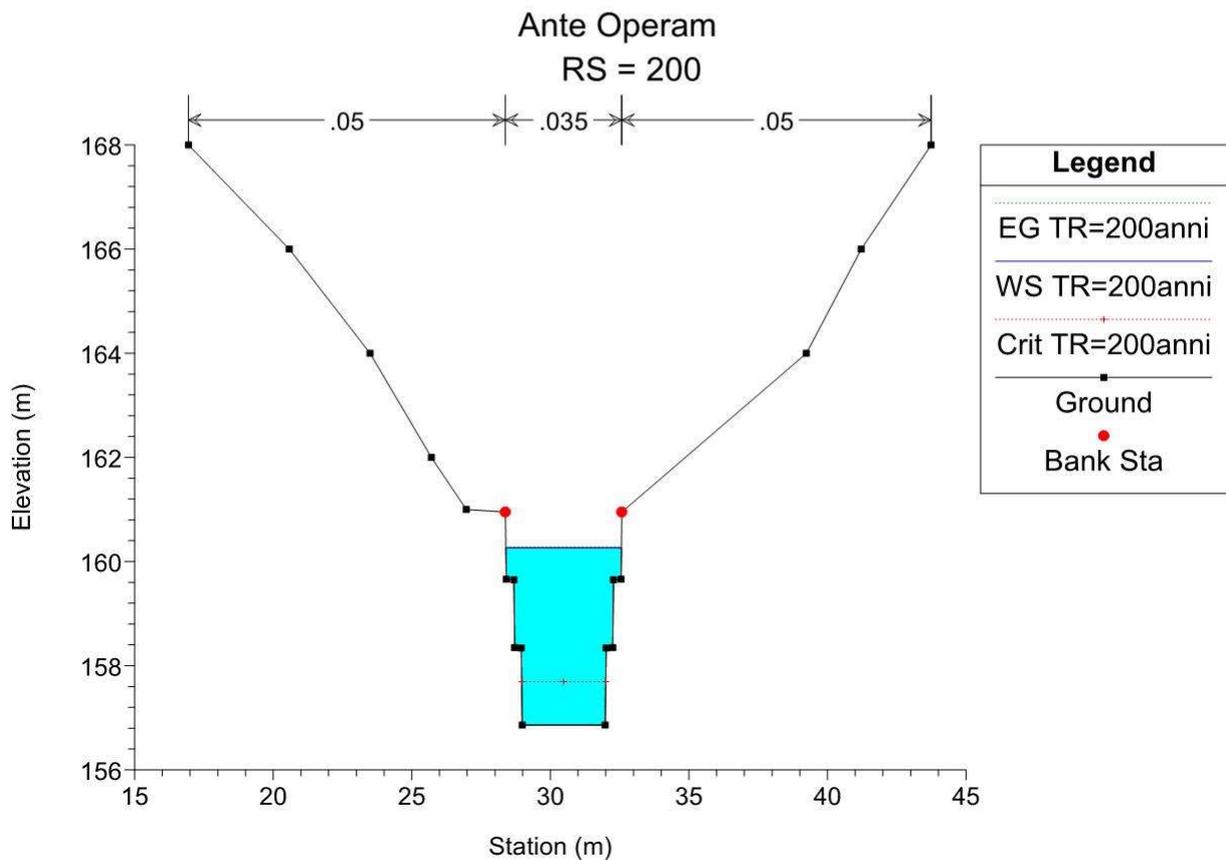
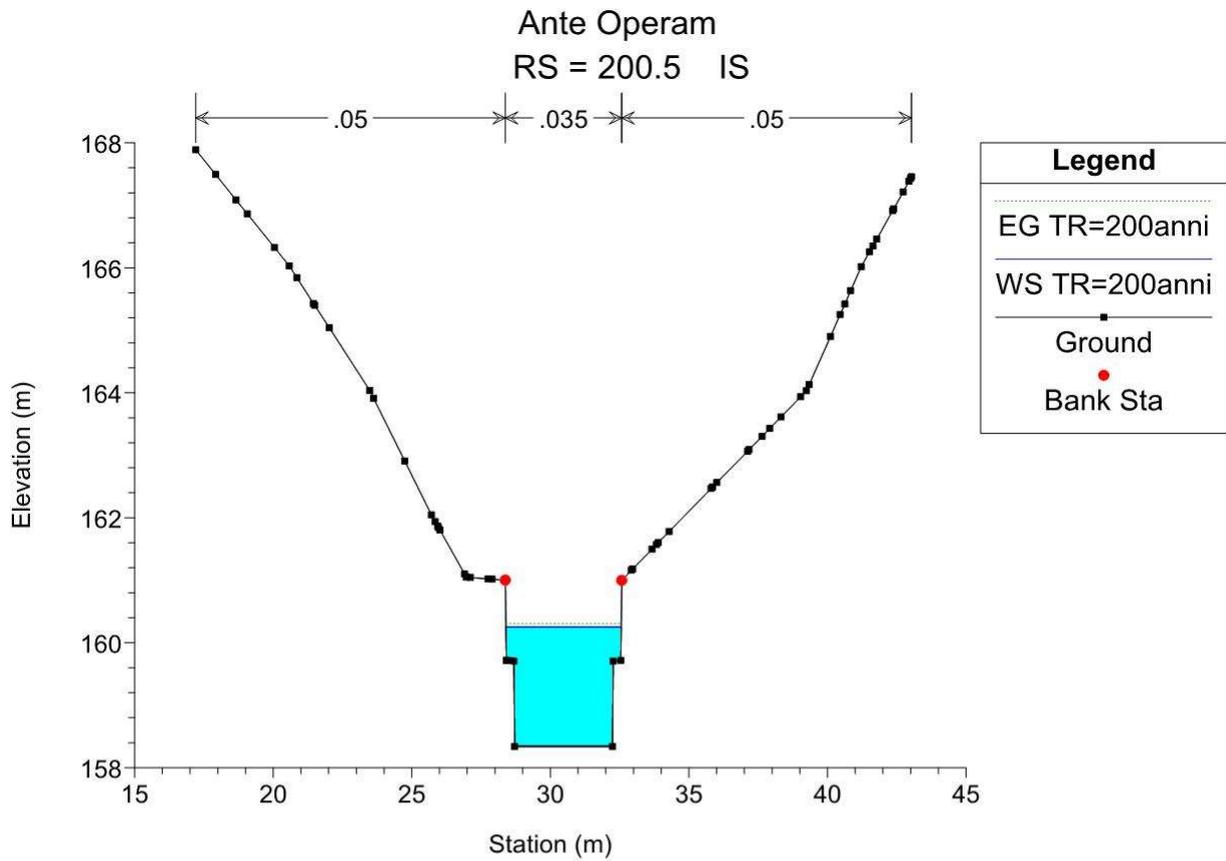


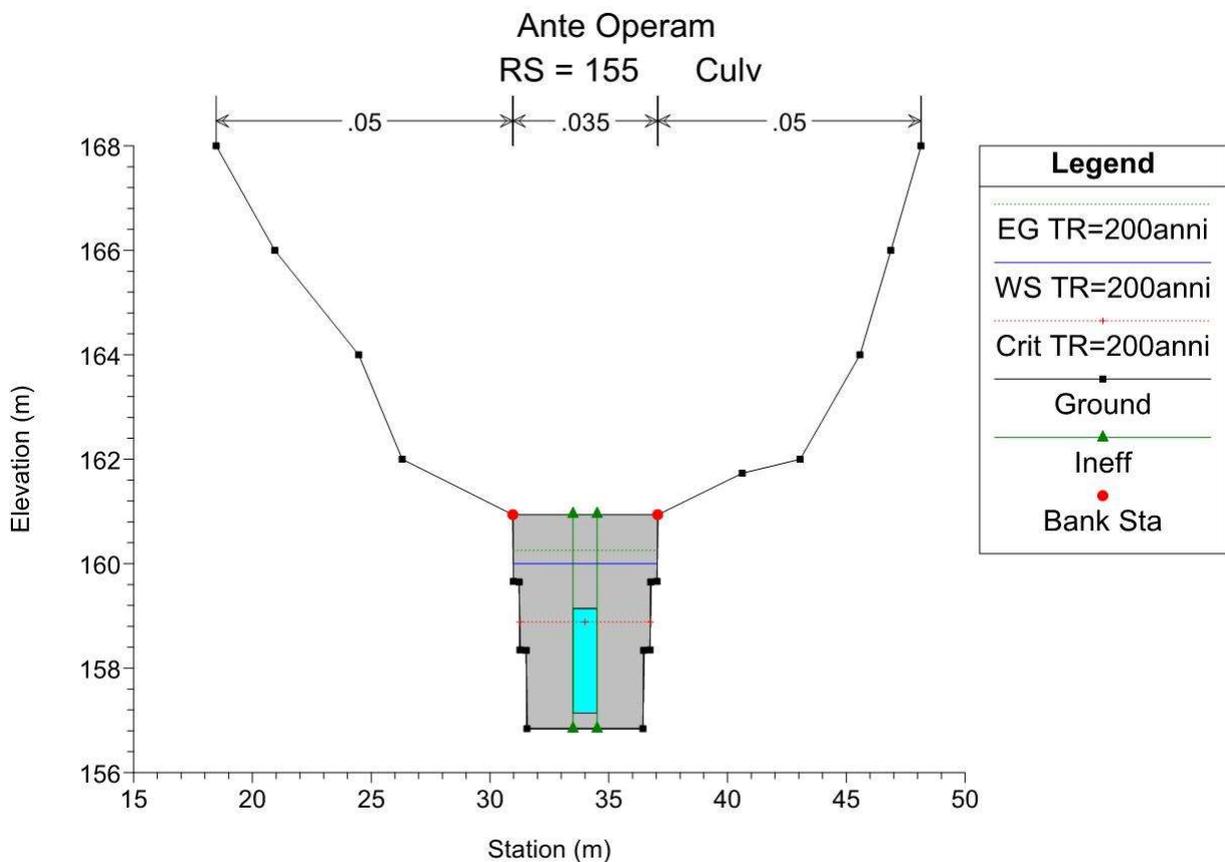
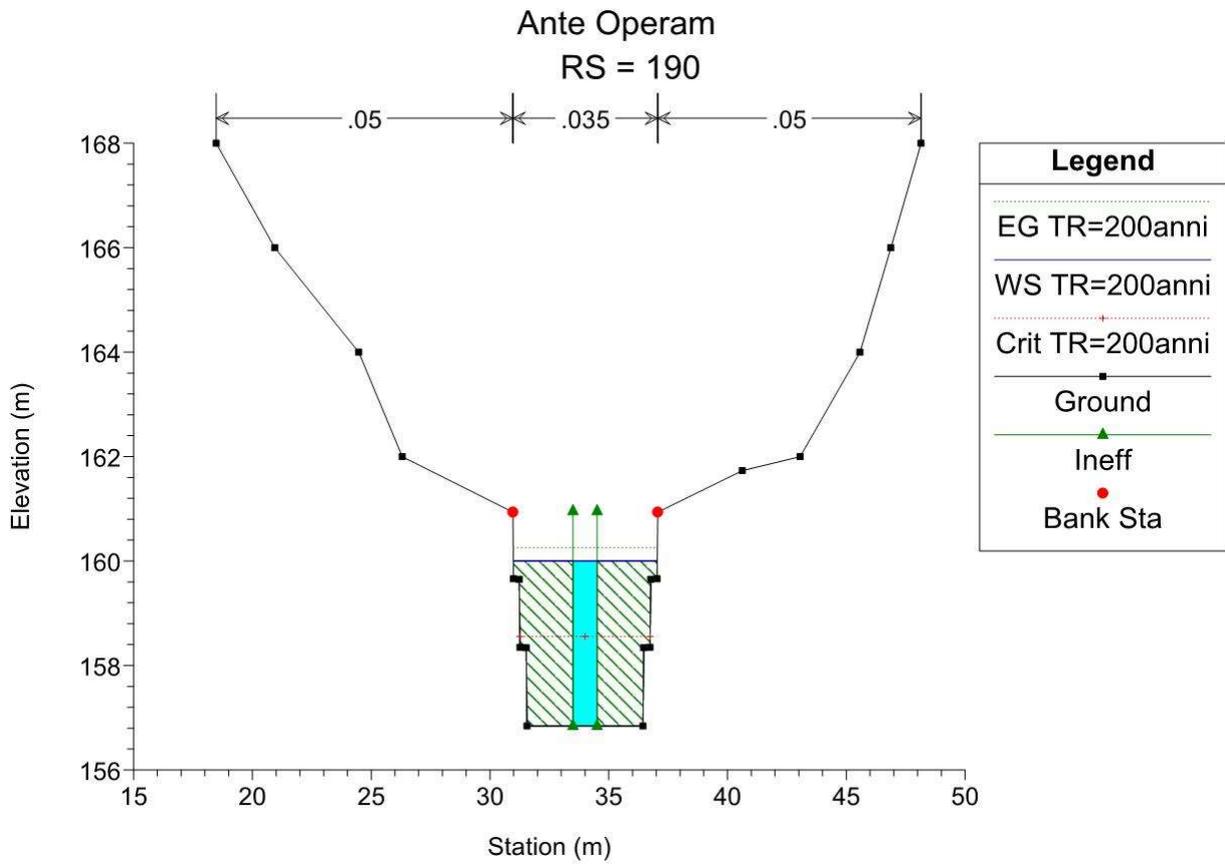


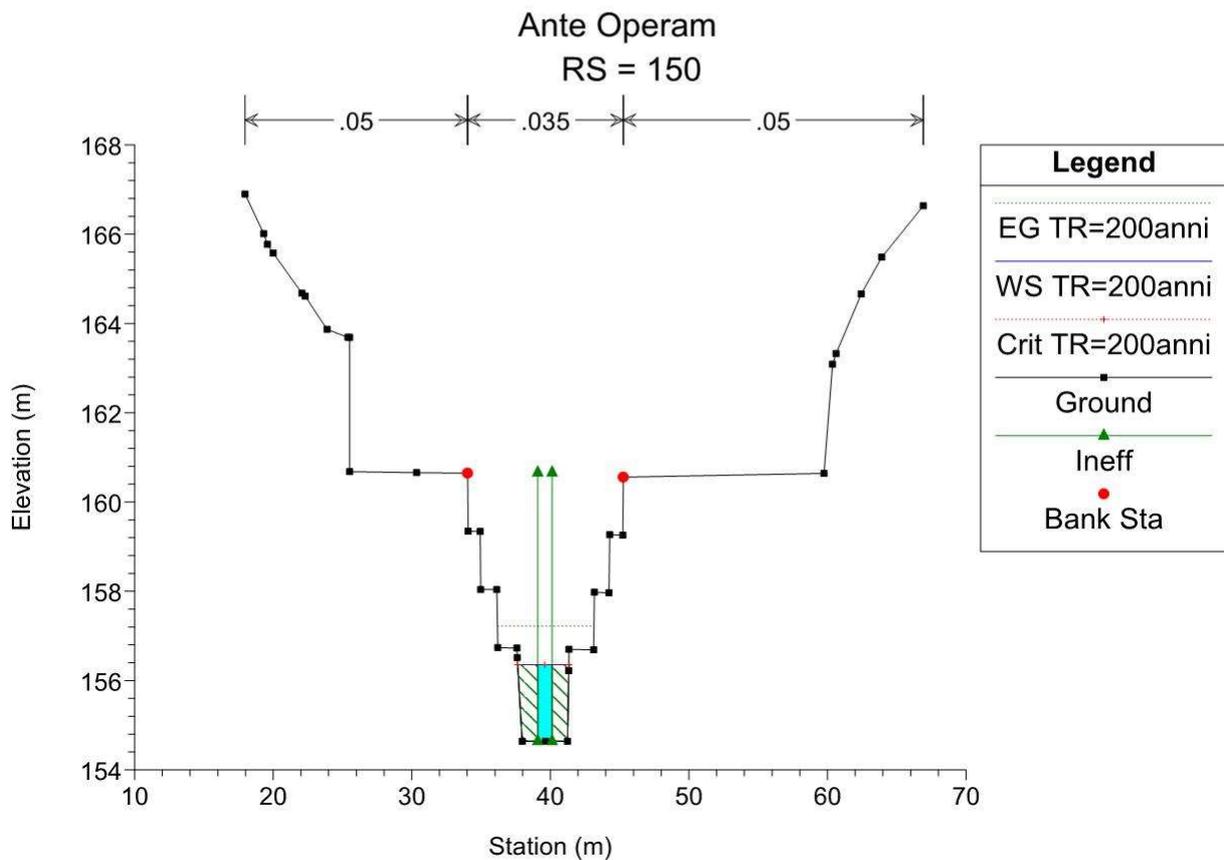
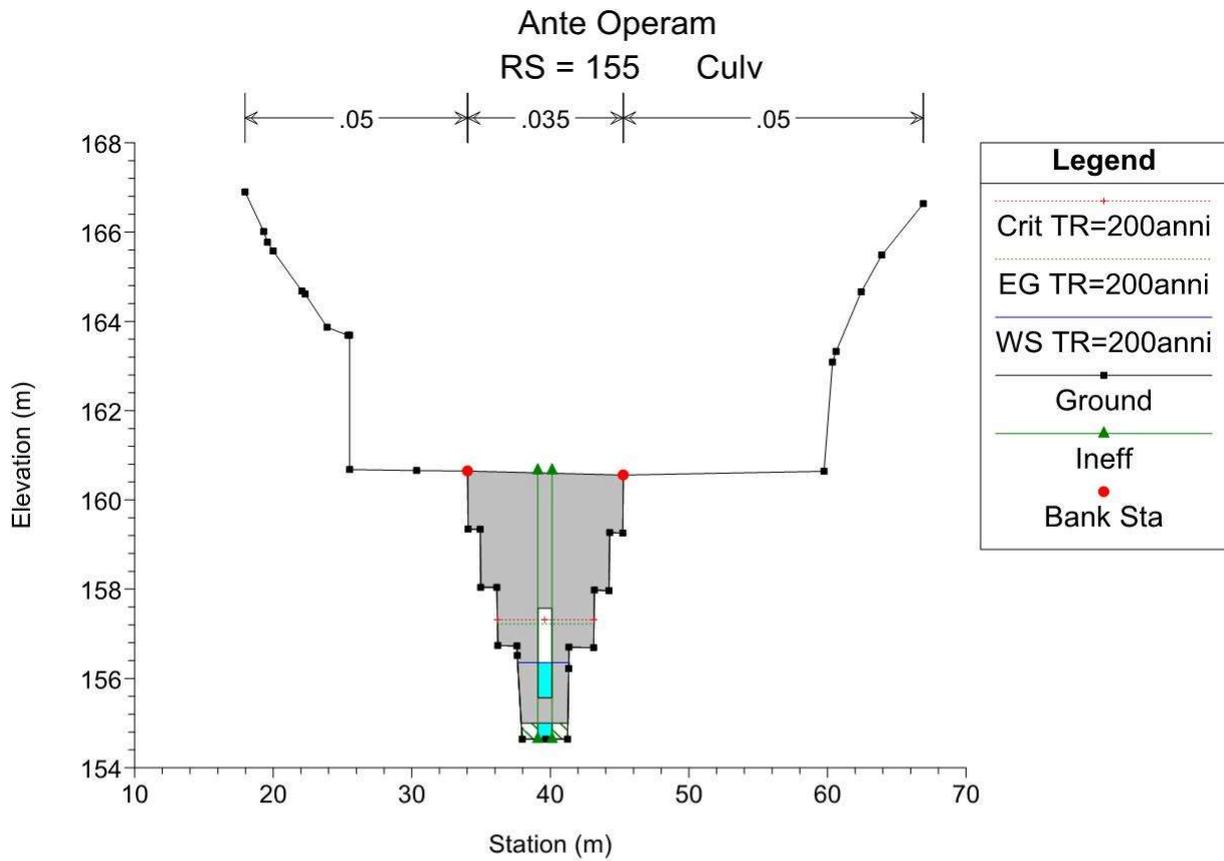


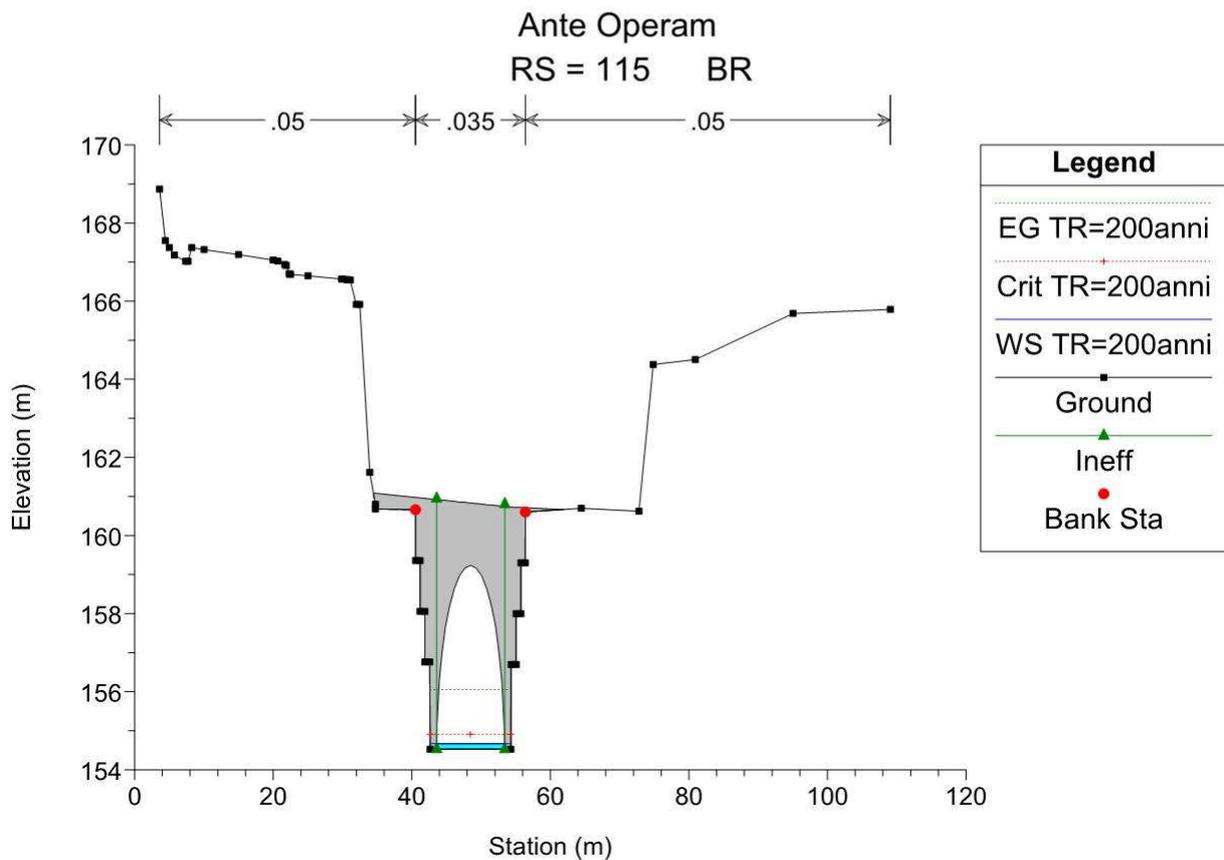
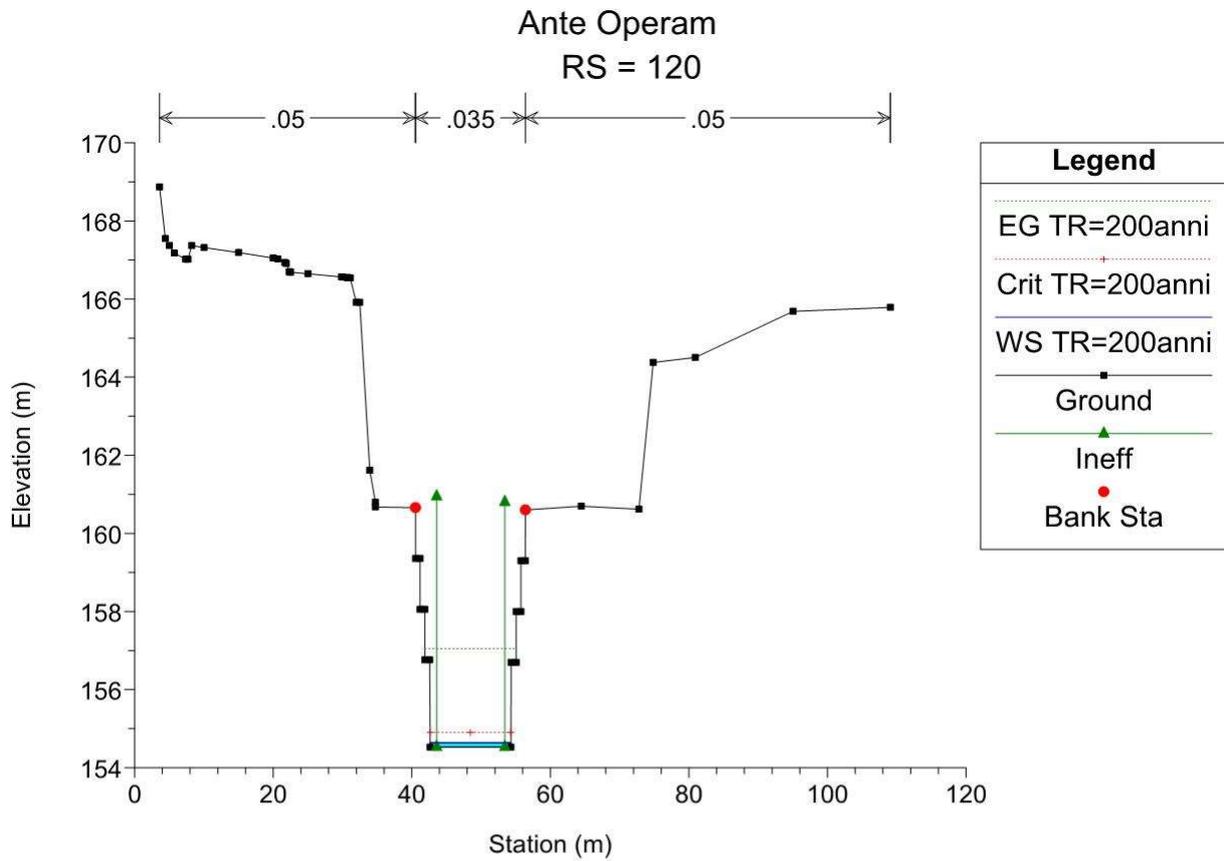


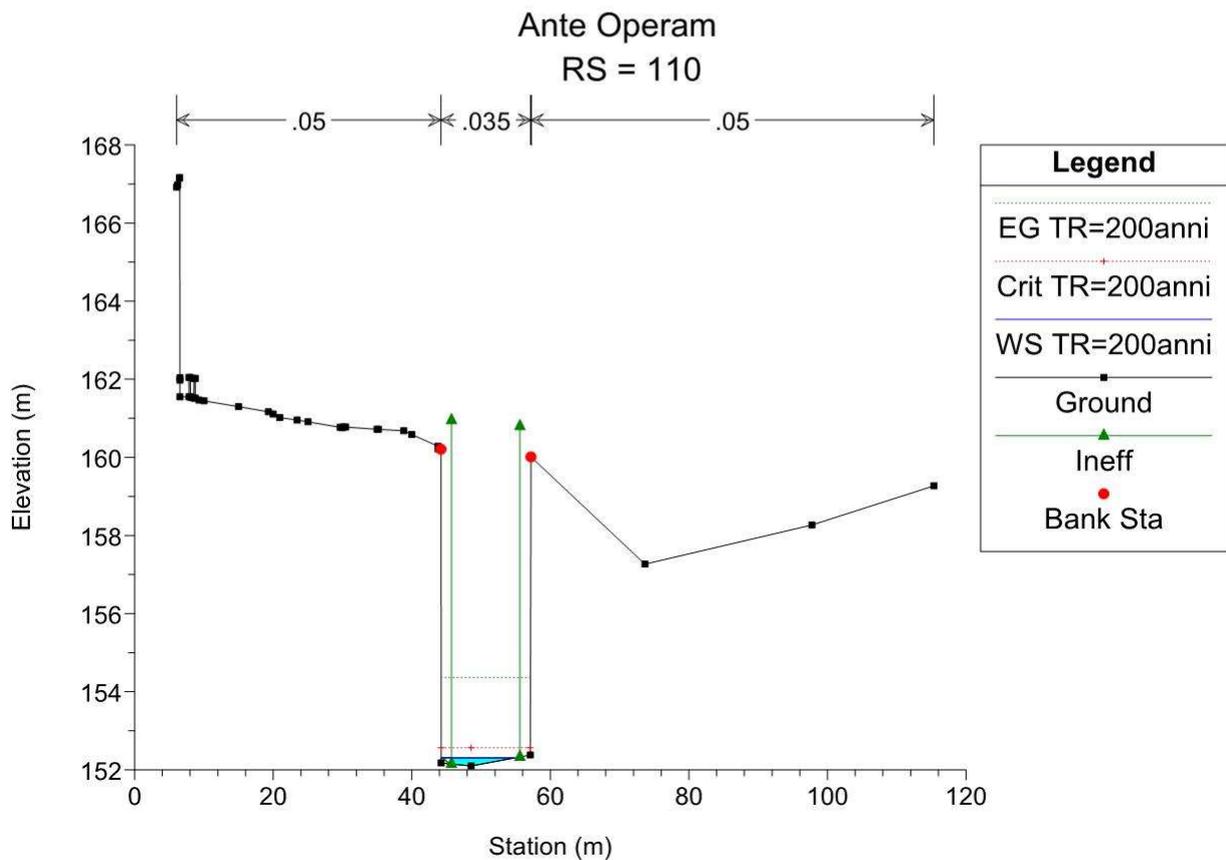
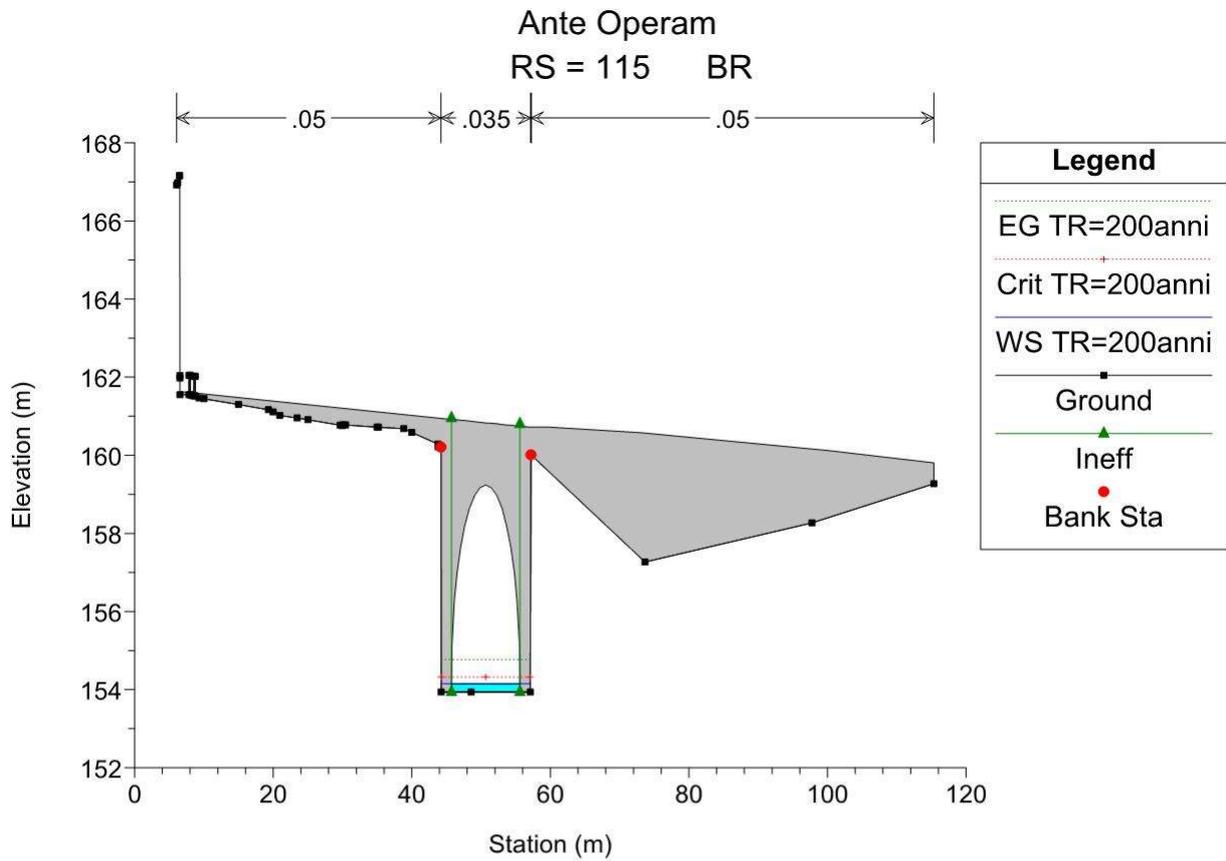


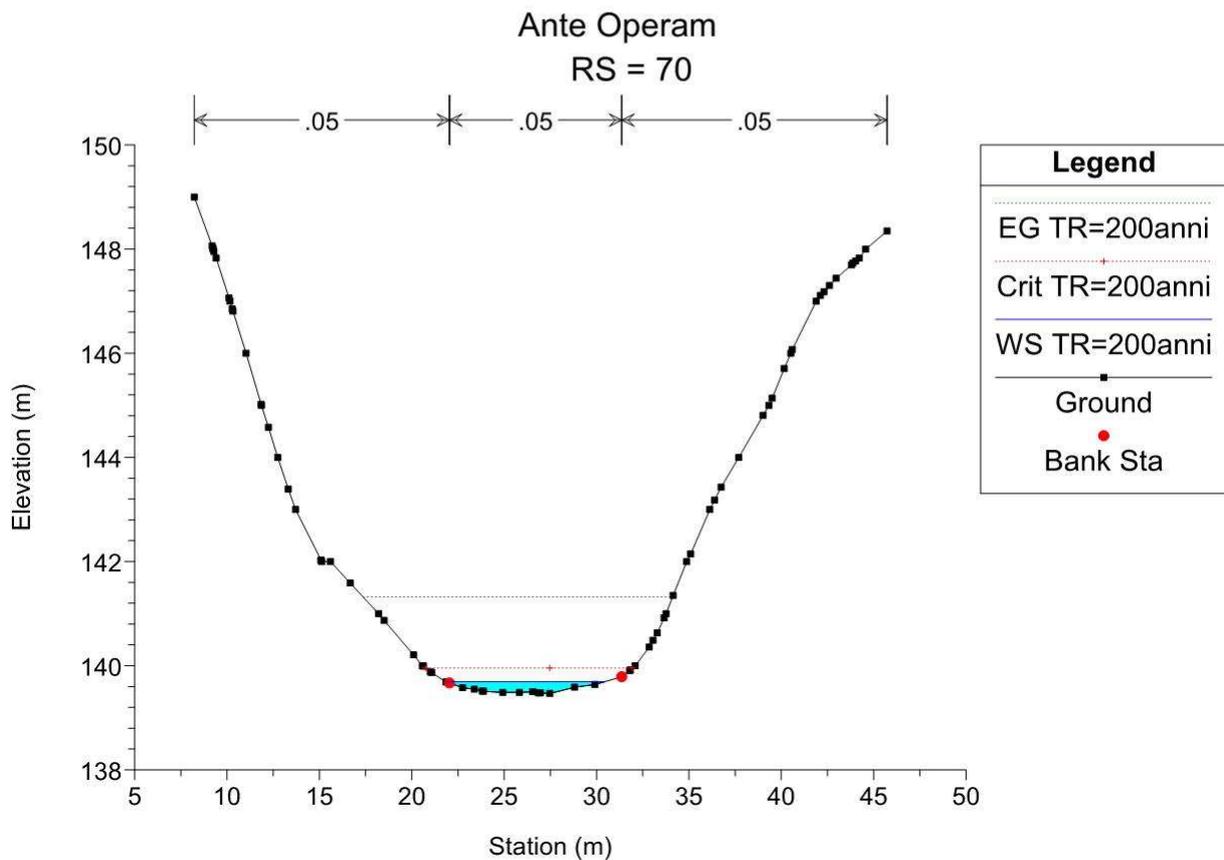
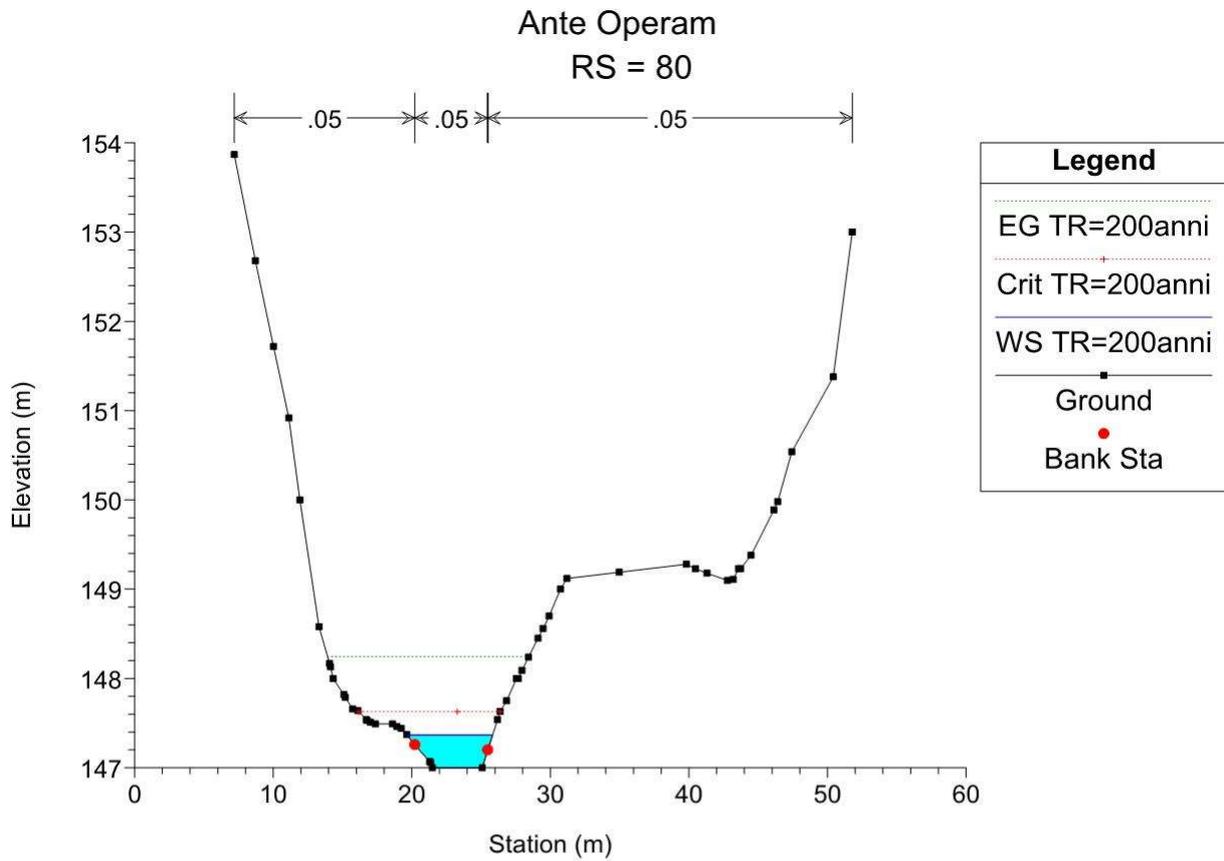


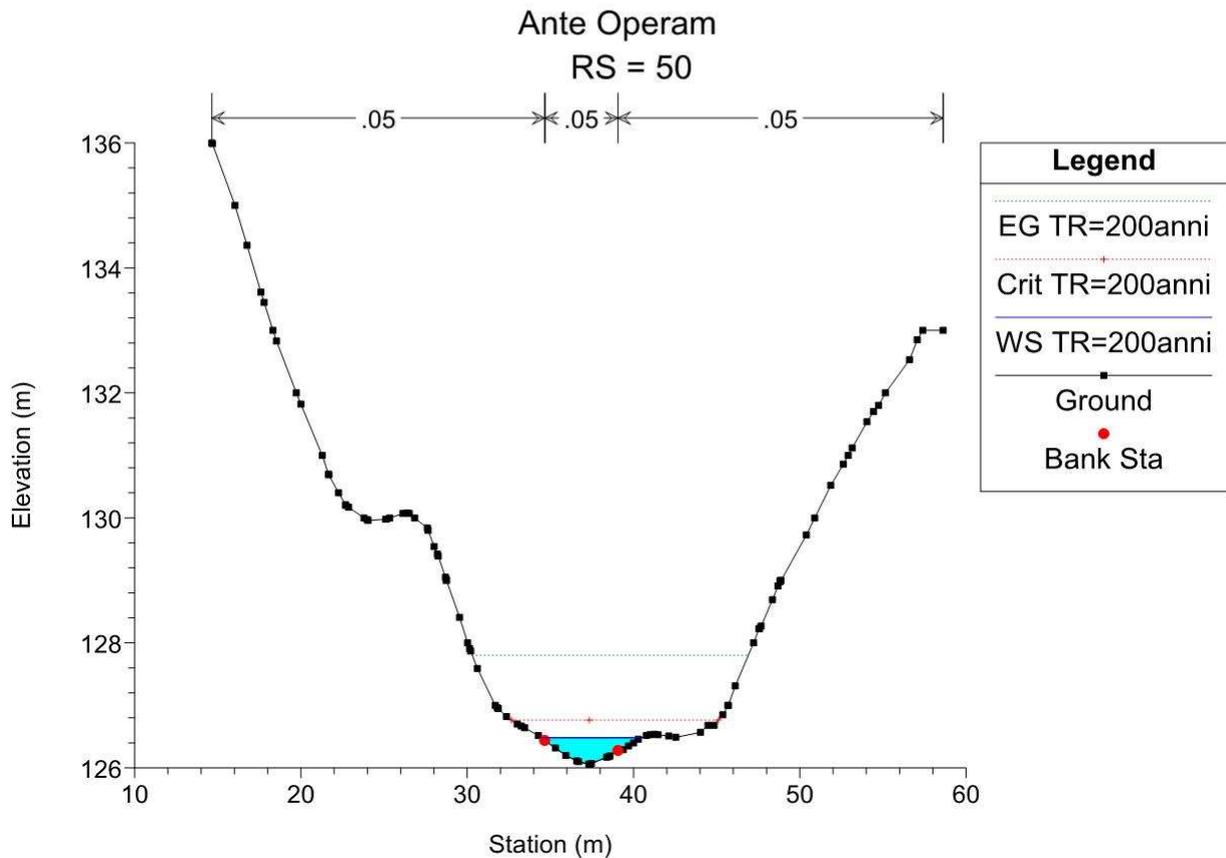
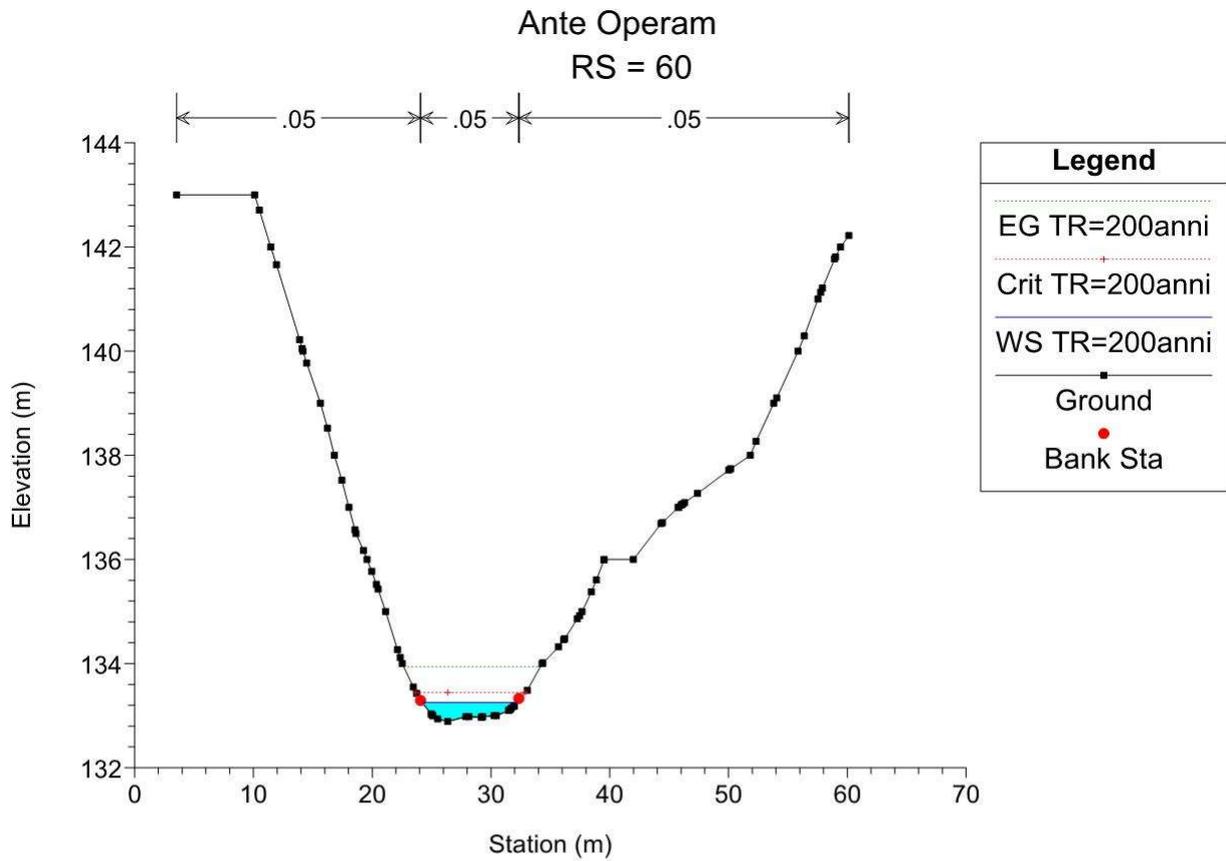


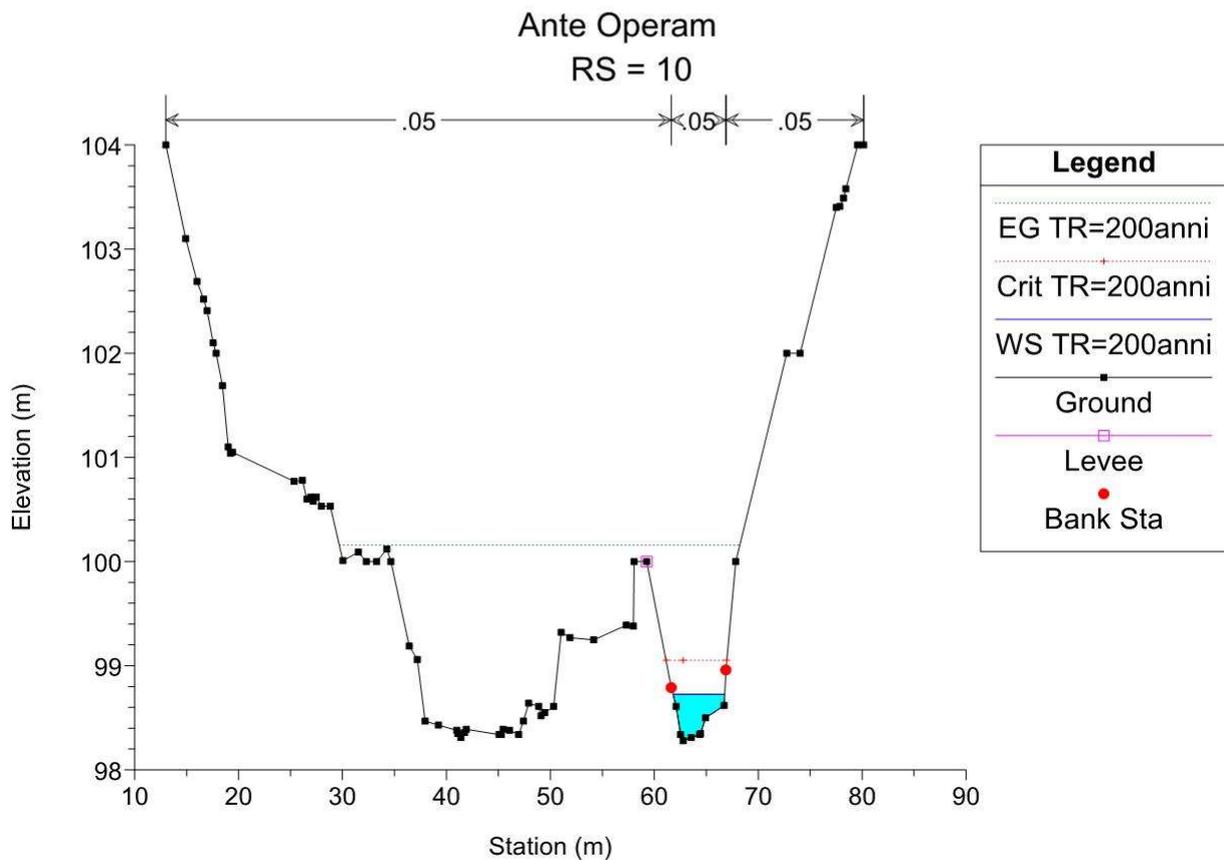
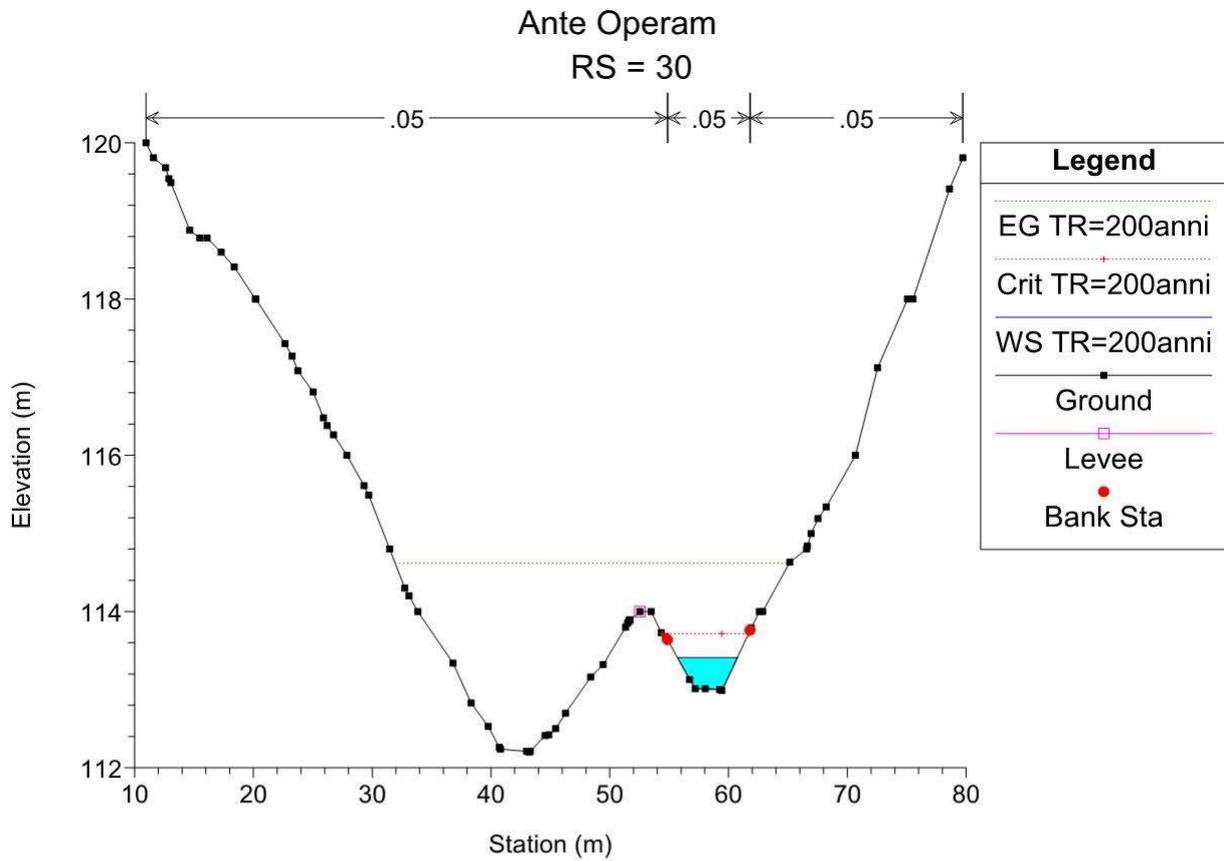




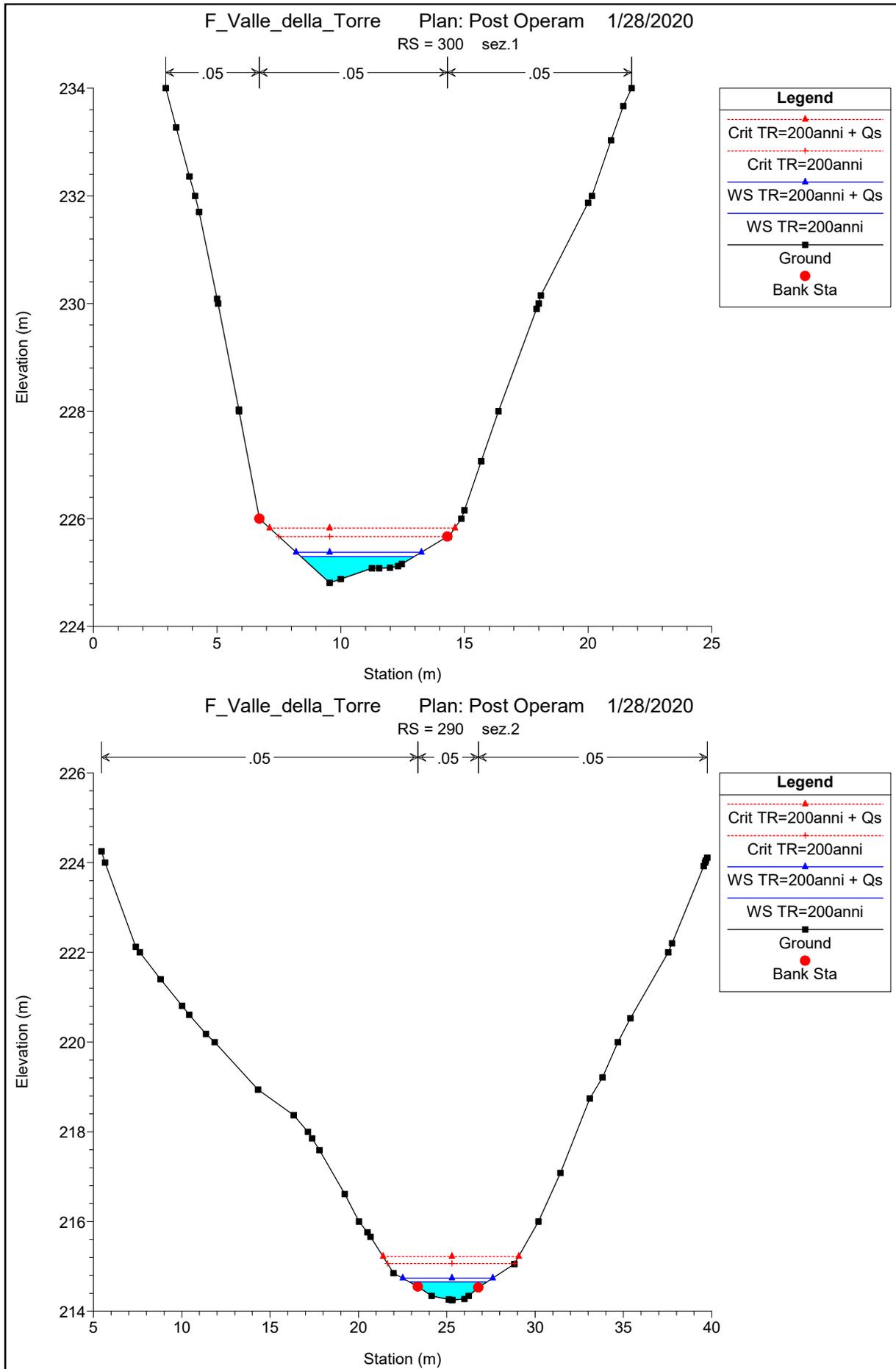


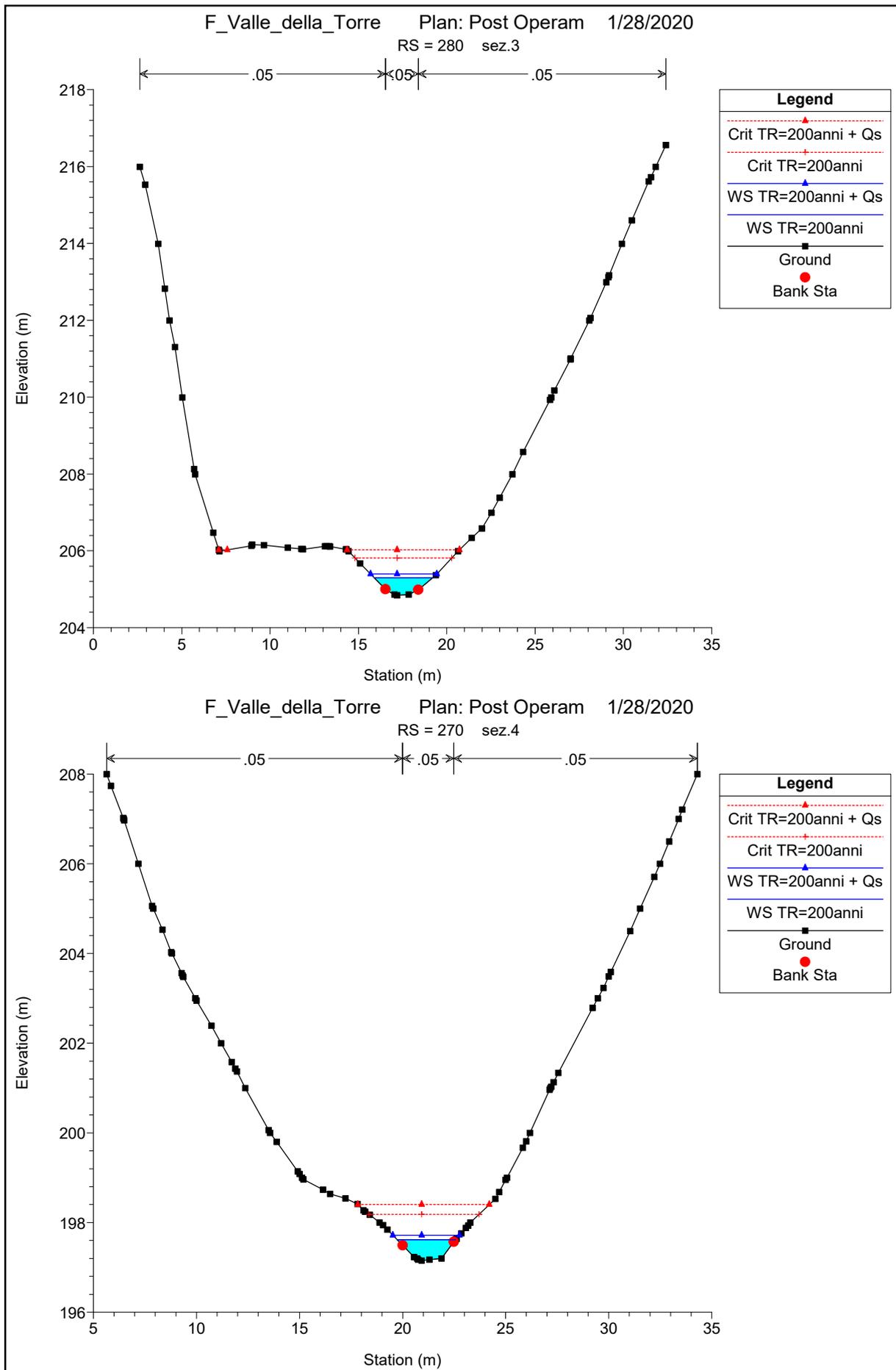


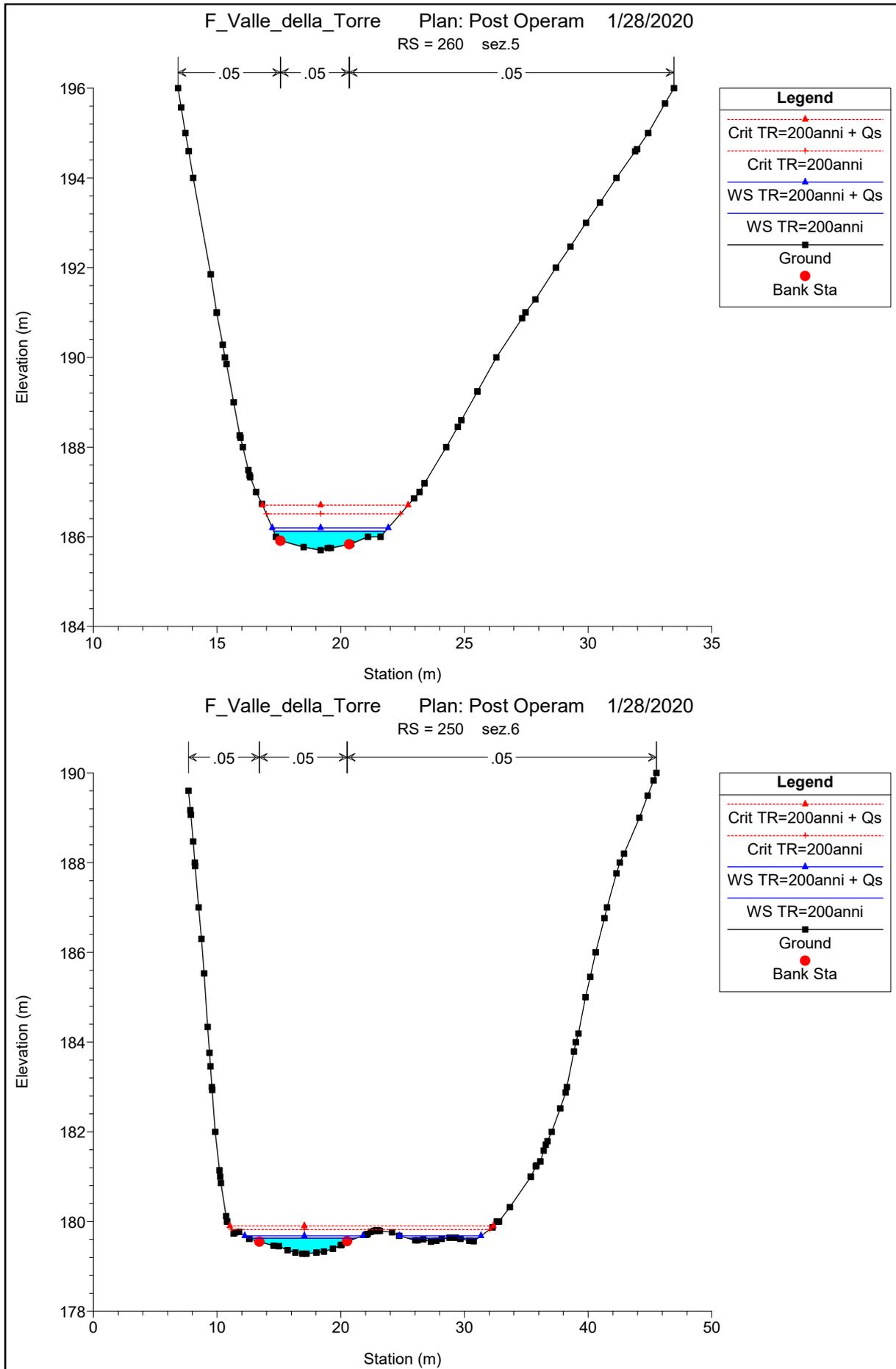


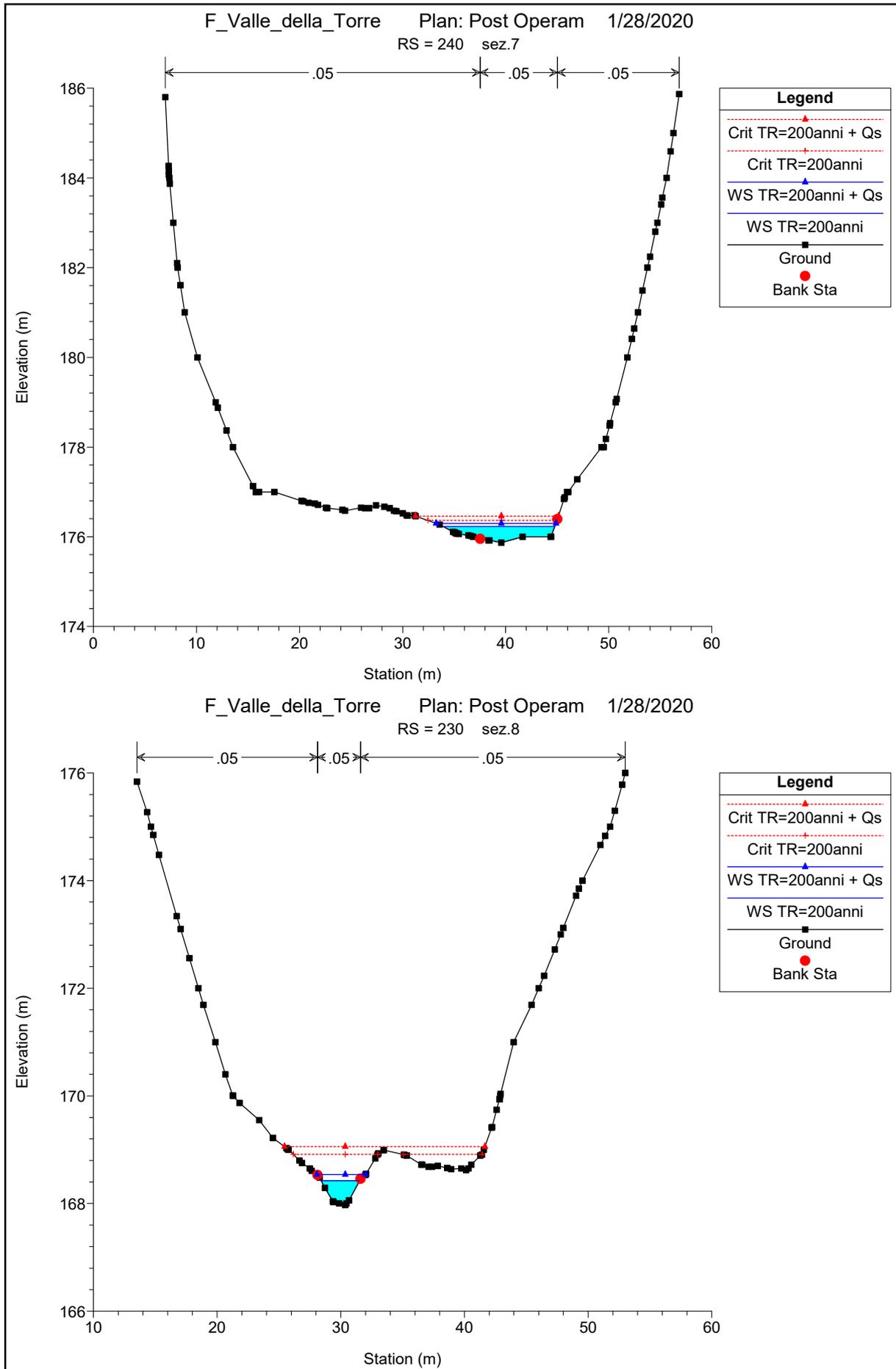


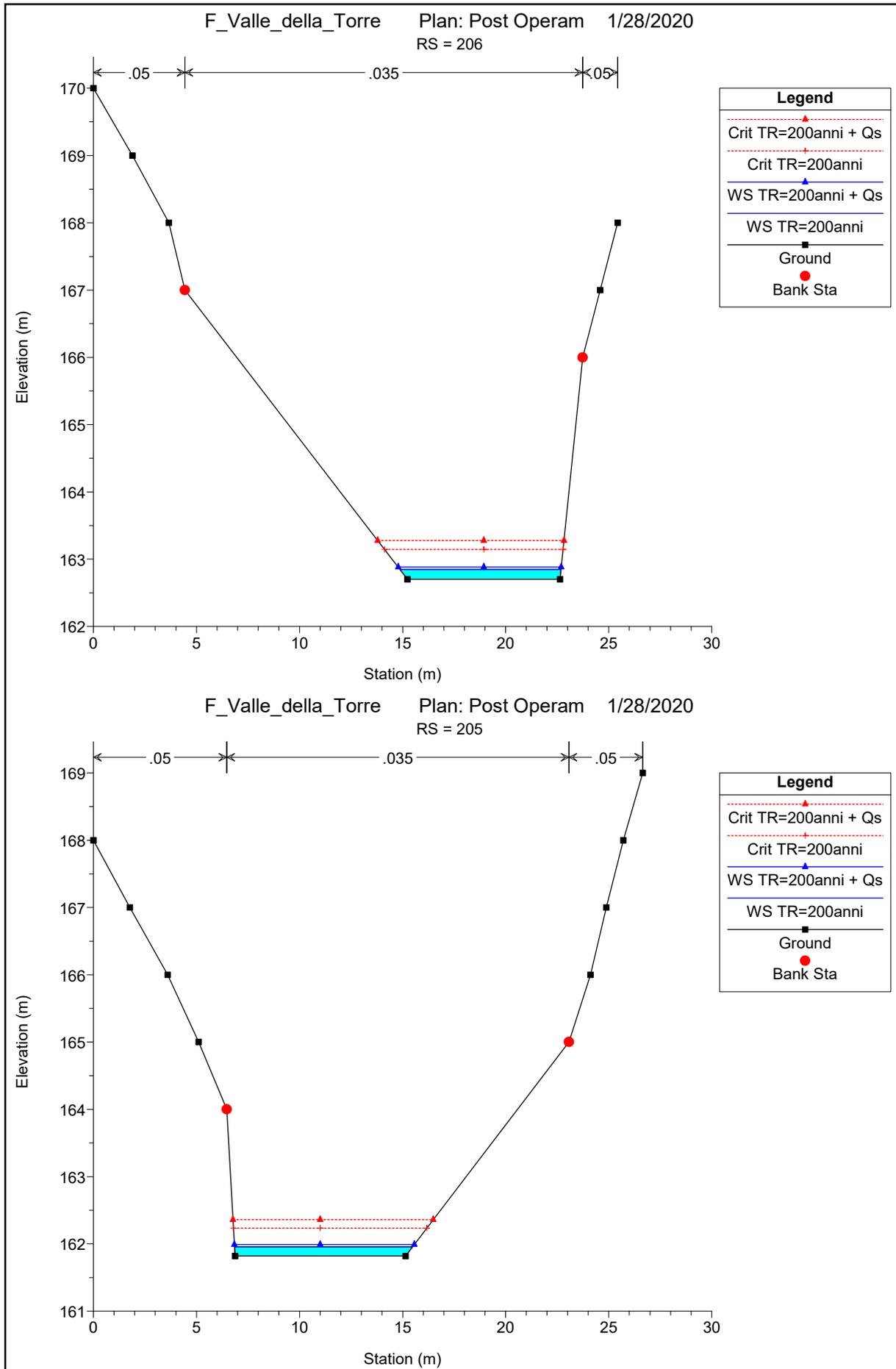
Sezioni di calcolo - Post Operam

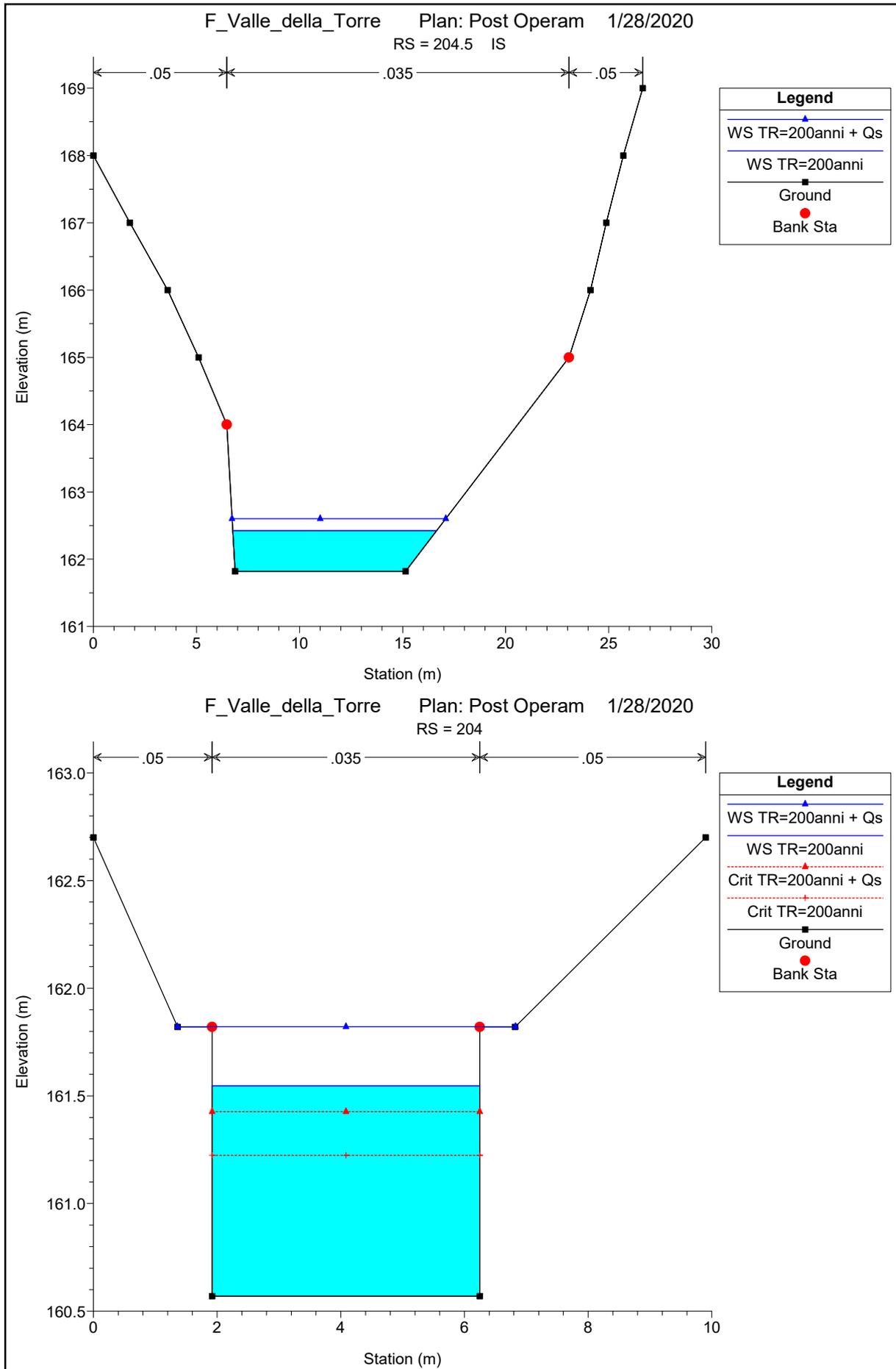


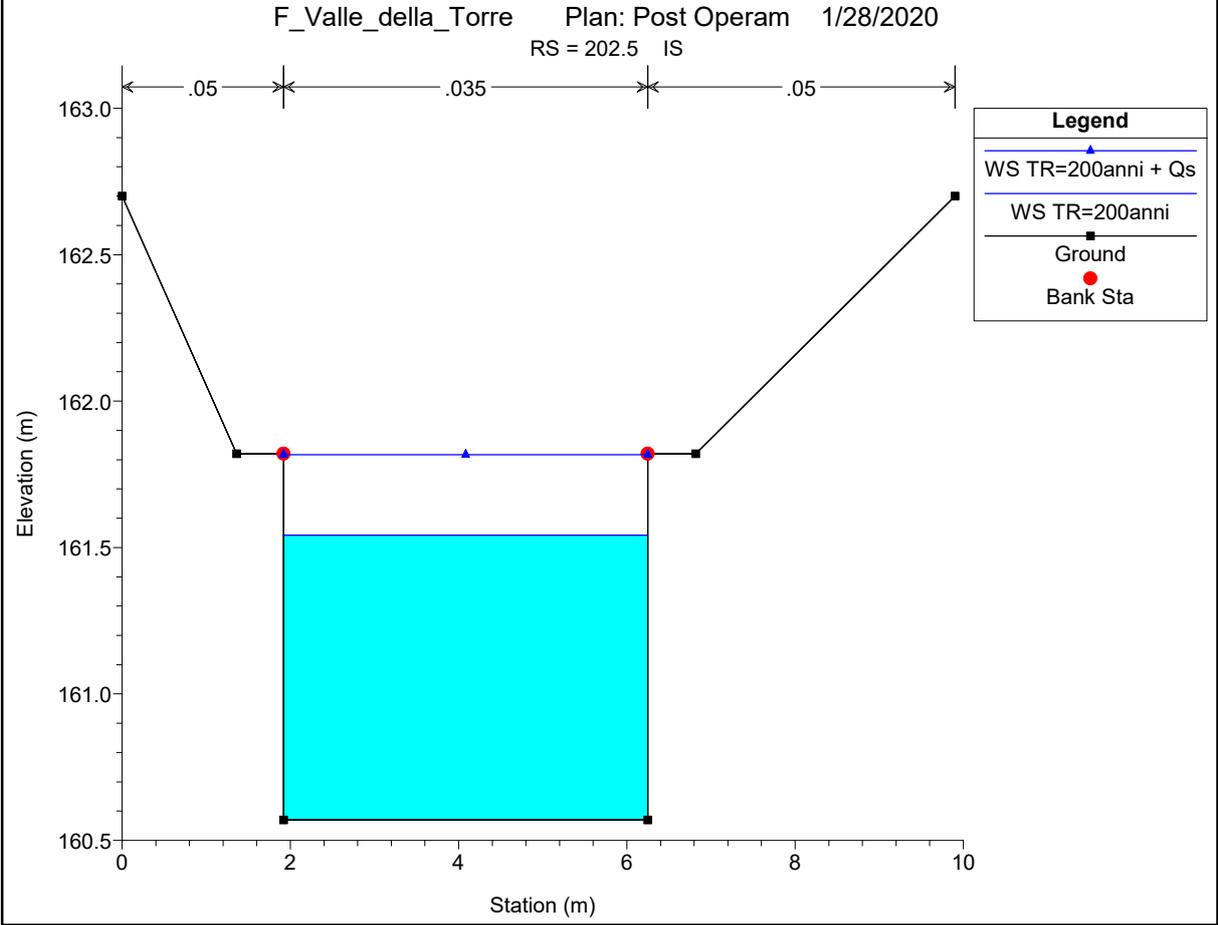
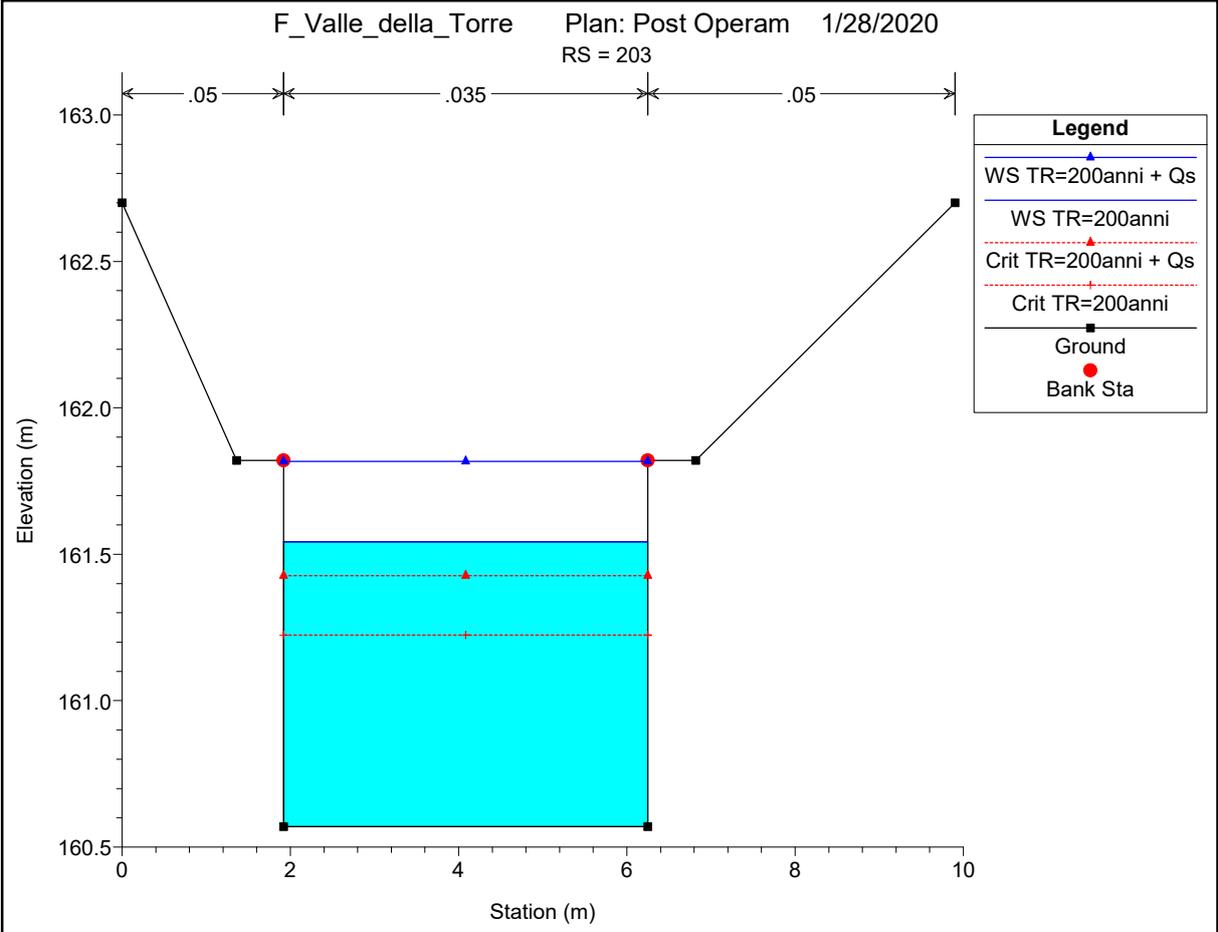


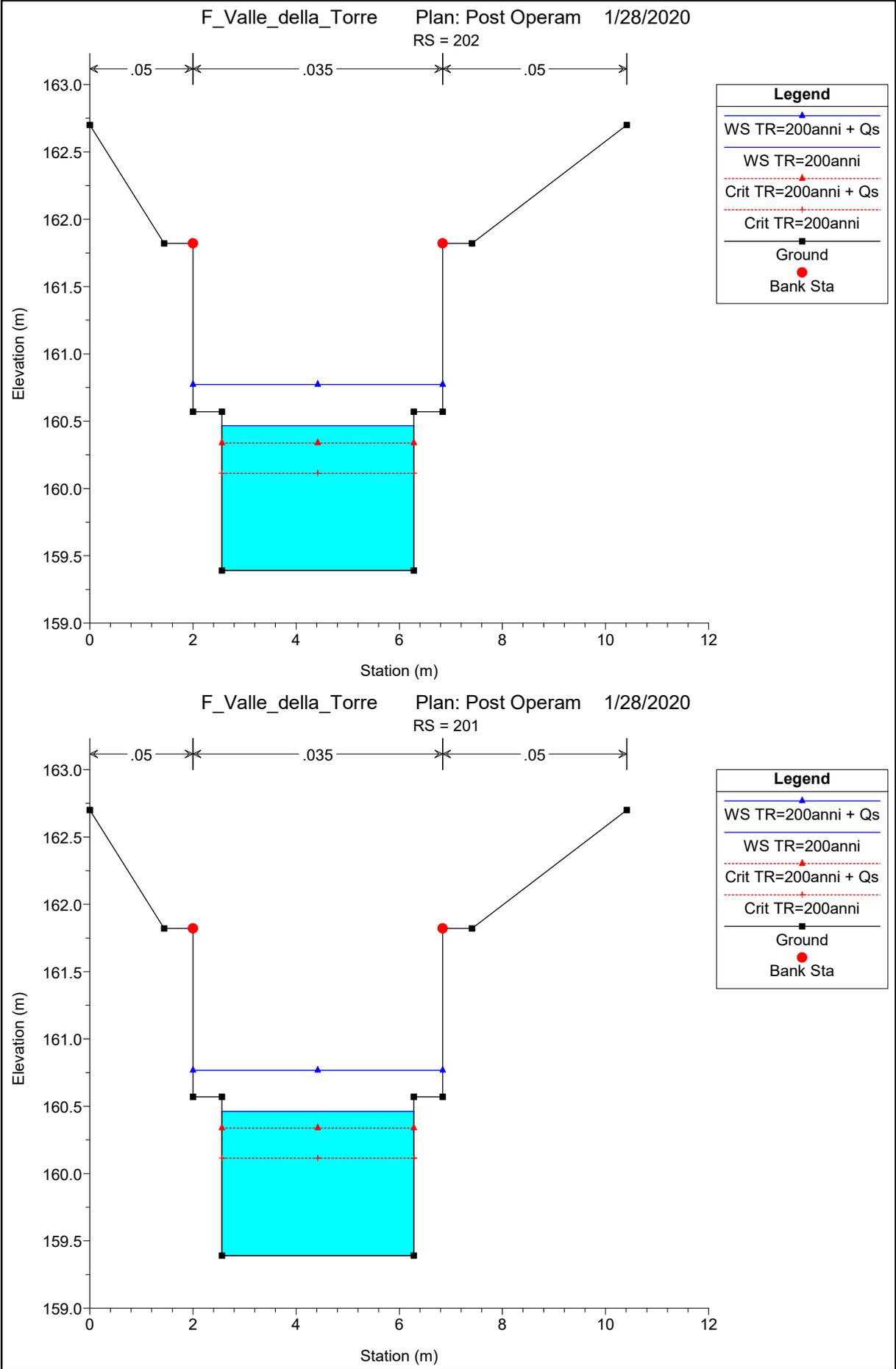


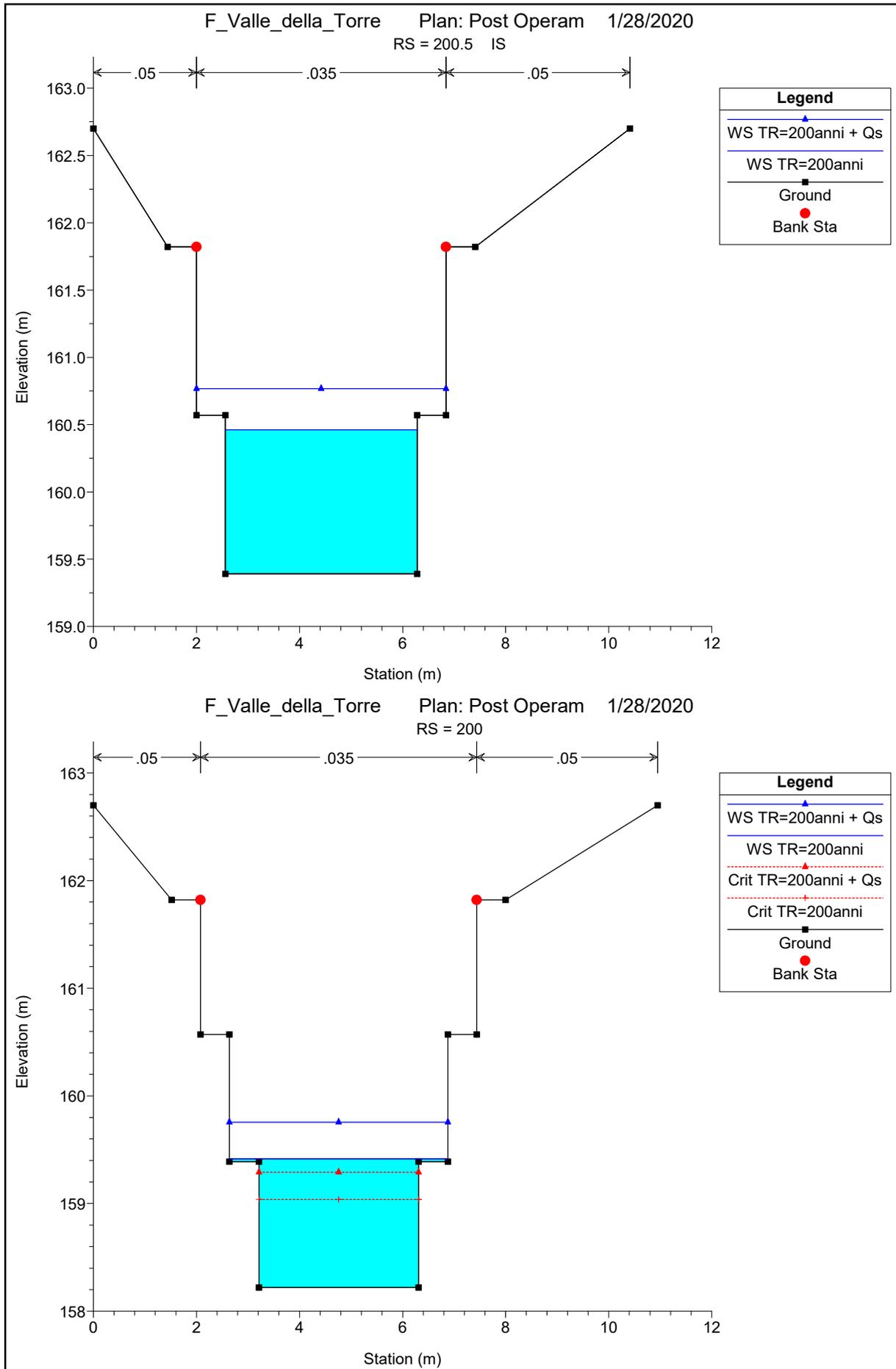


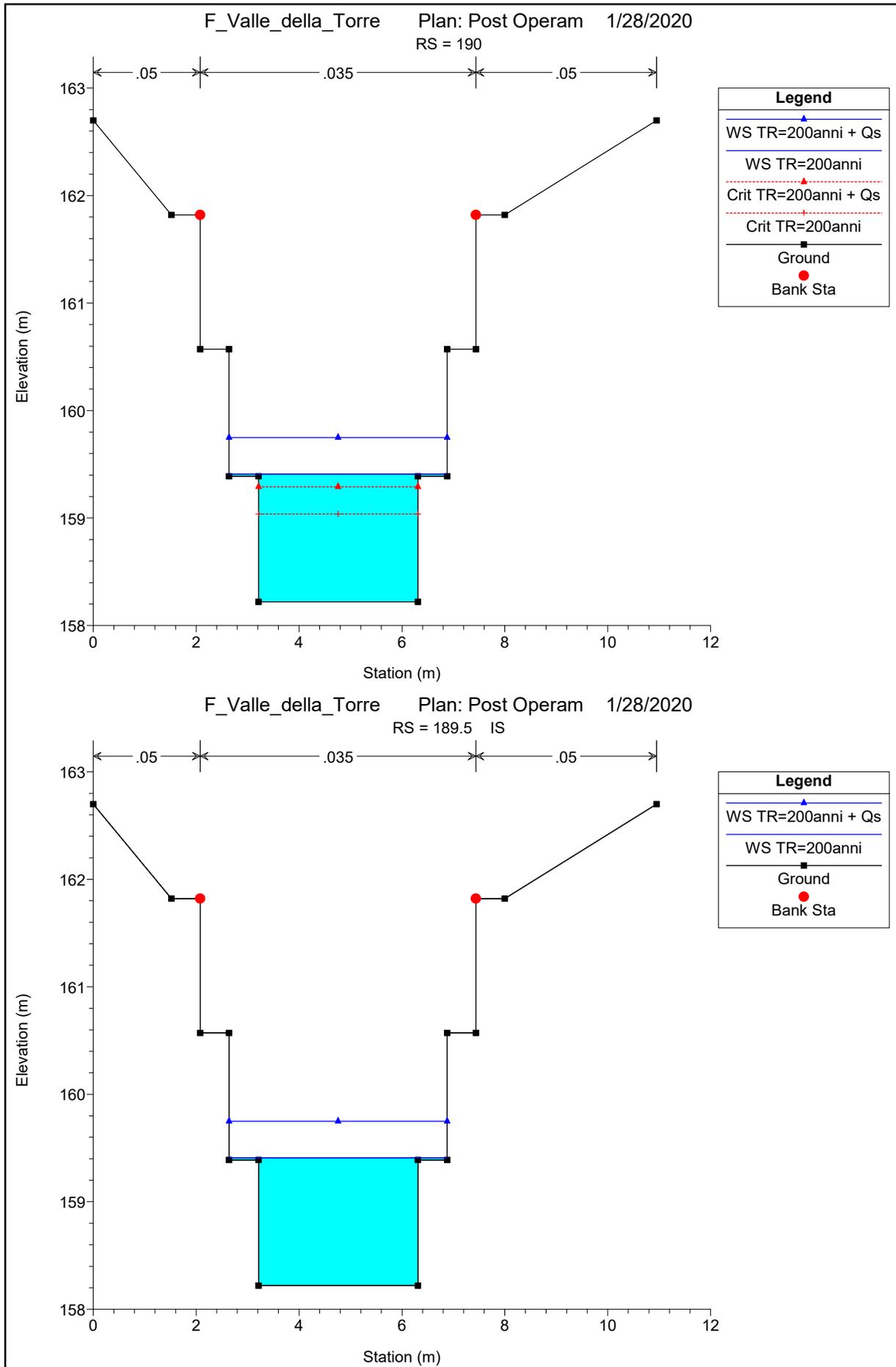


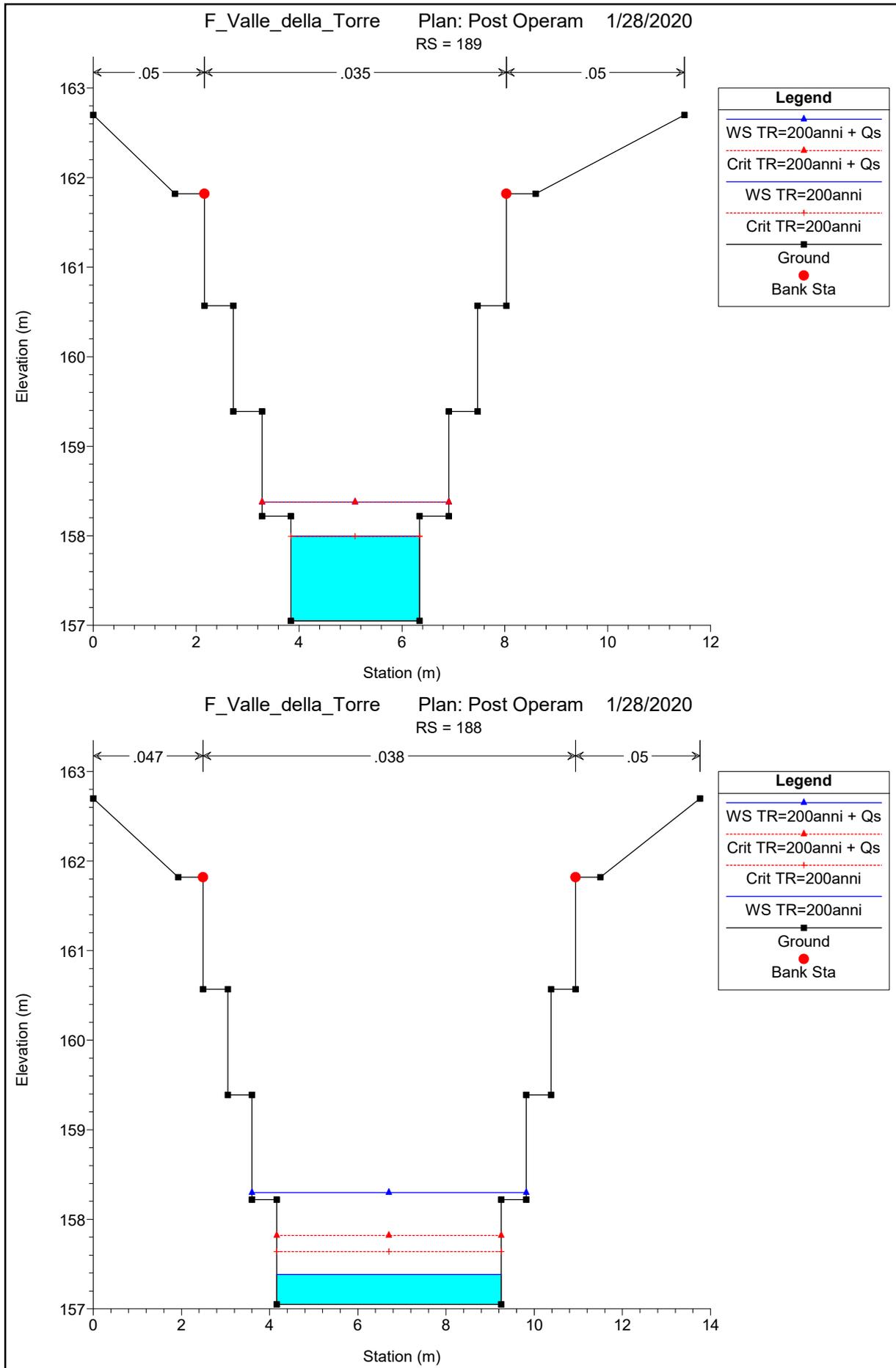




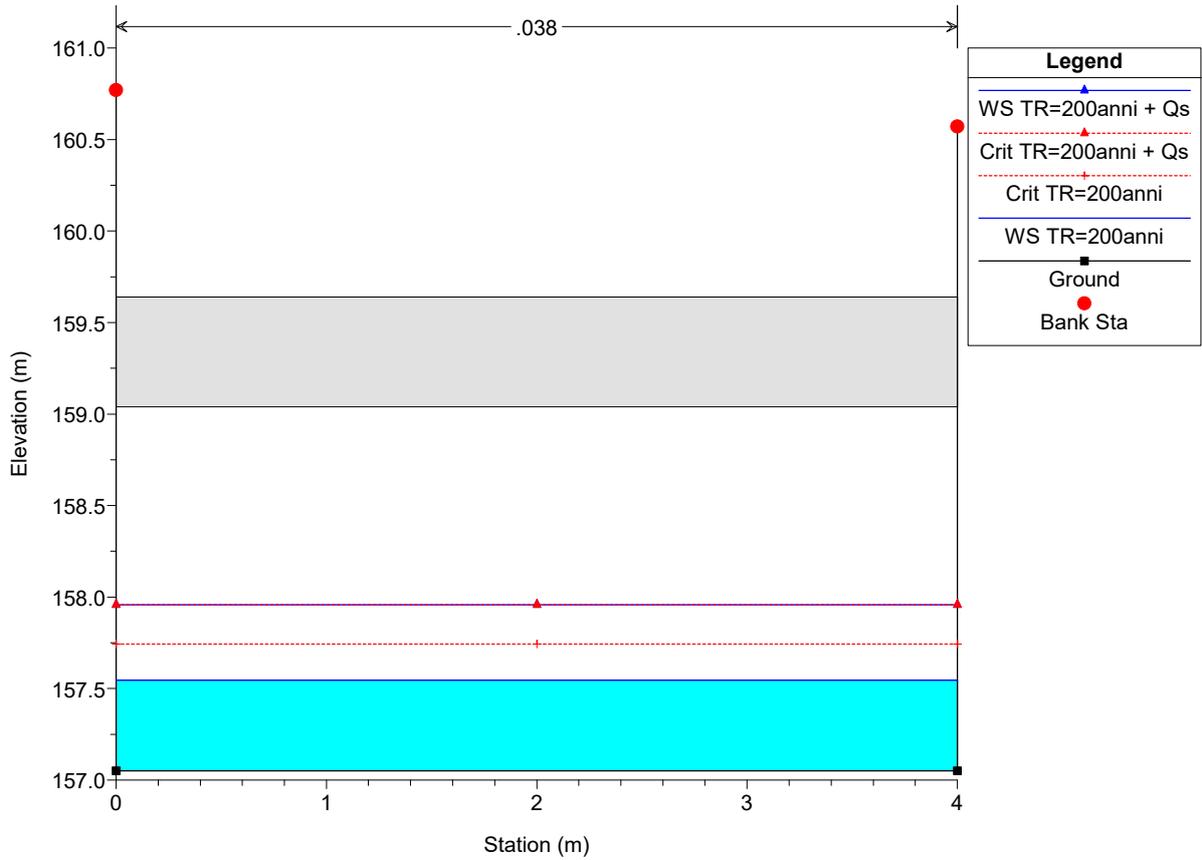




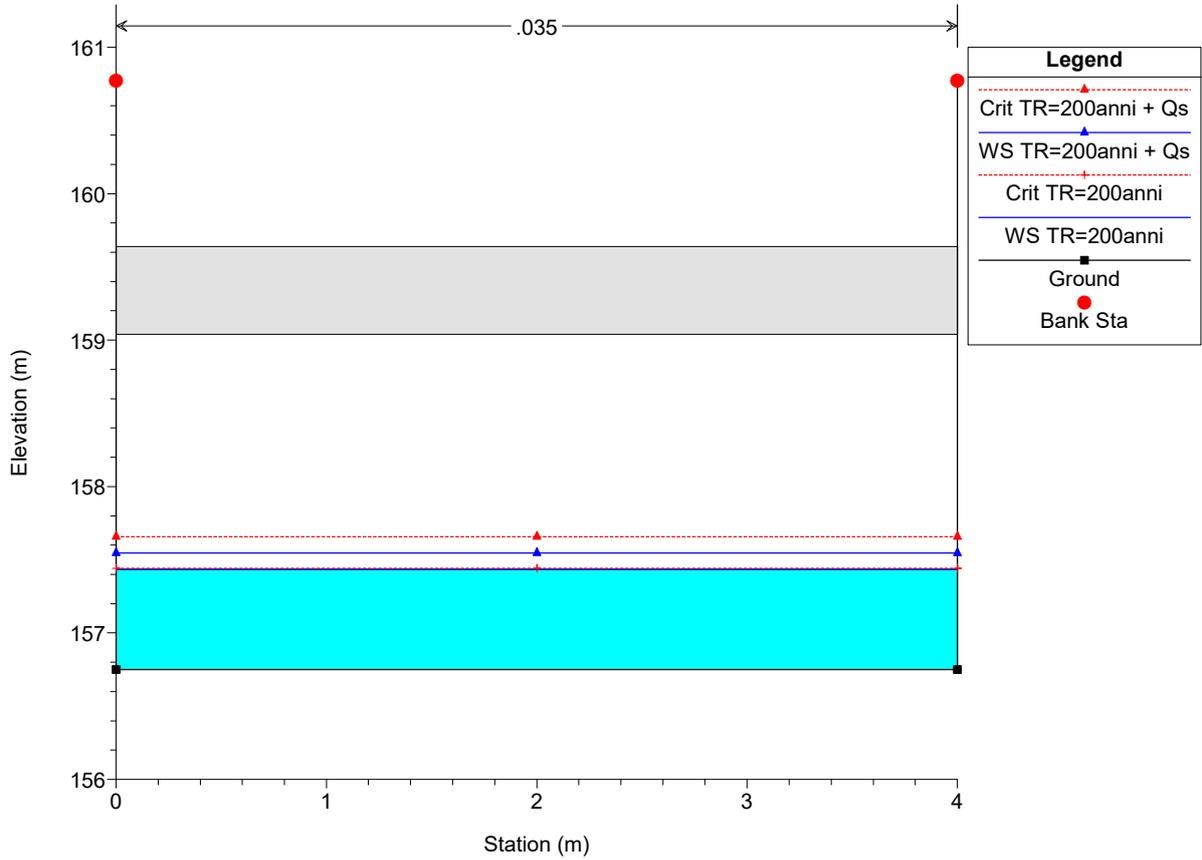




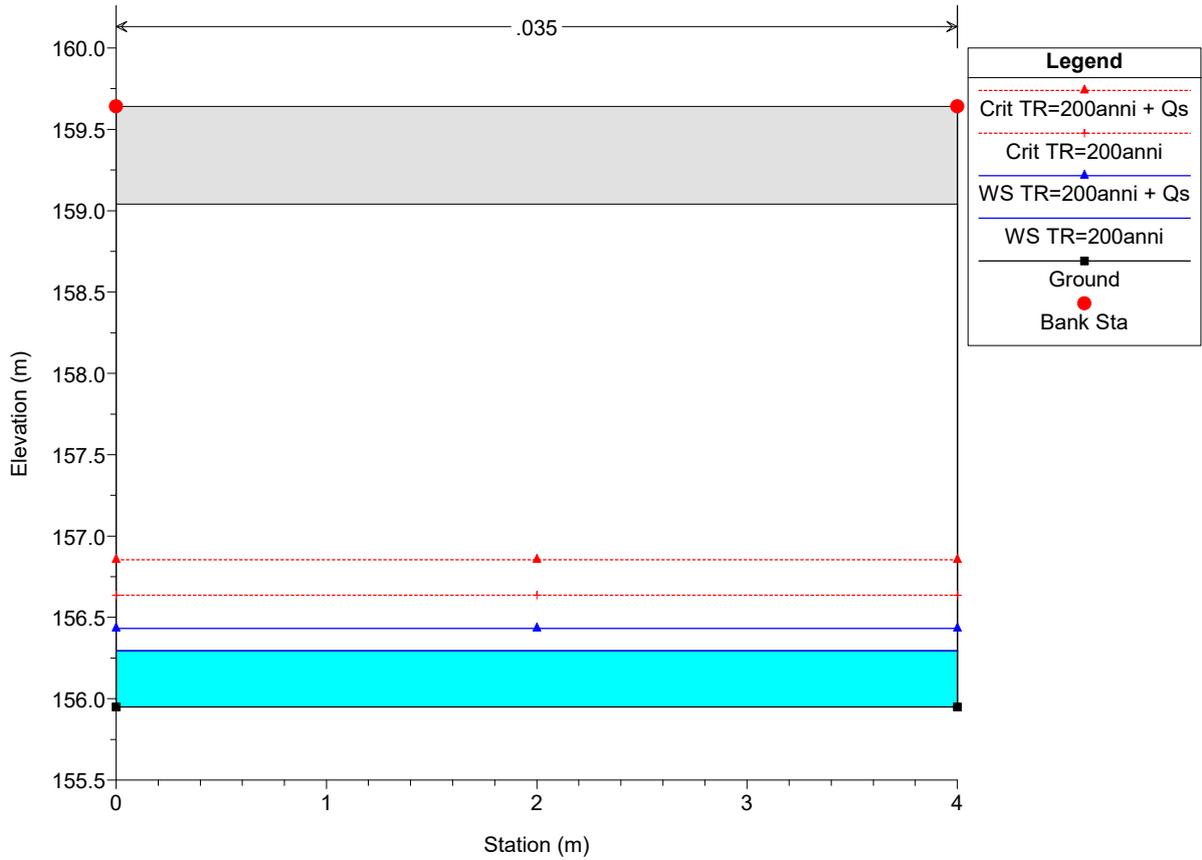
F_Valle_della_Torre Plan: Post Operam 1/28/2020
RS = 187



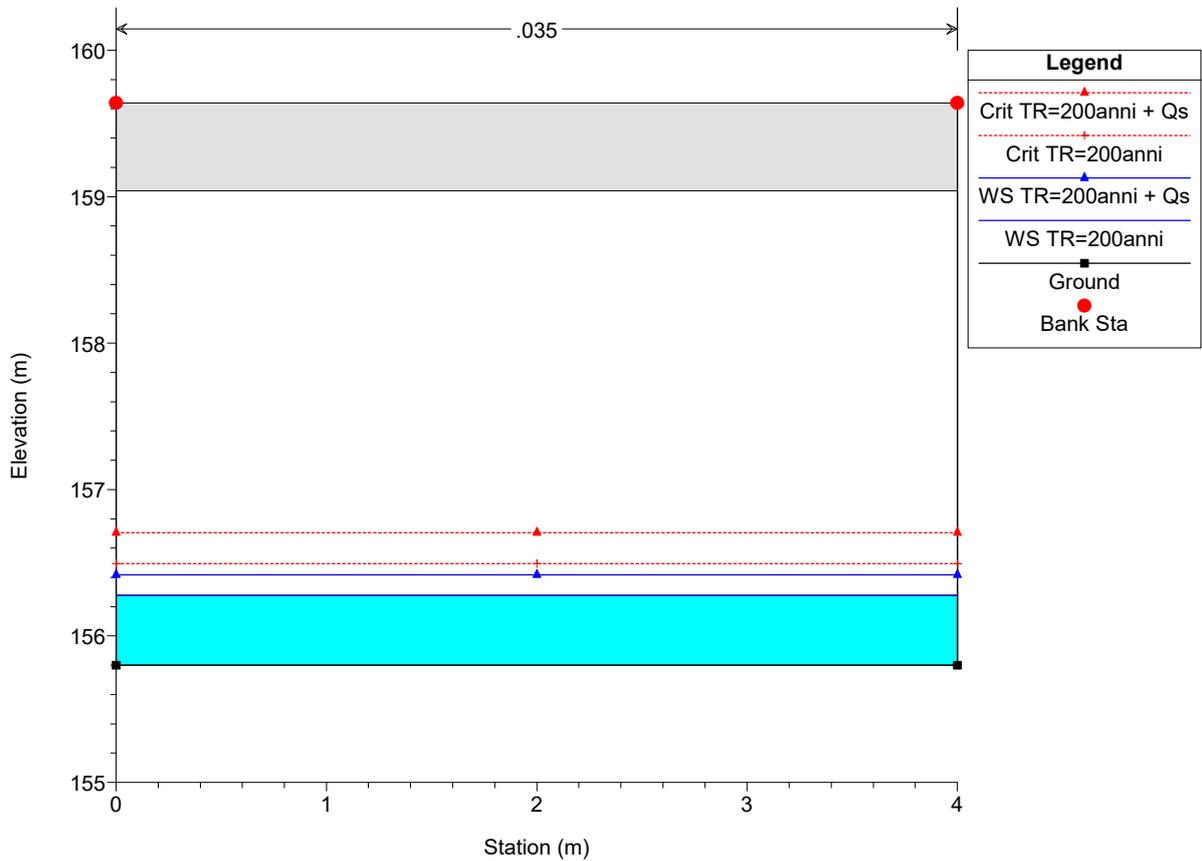
F_Valle_della_Torre Plan: Post Operam 1/28/2020
RS = 184

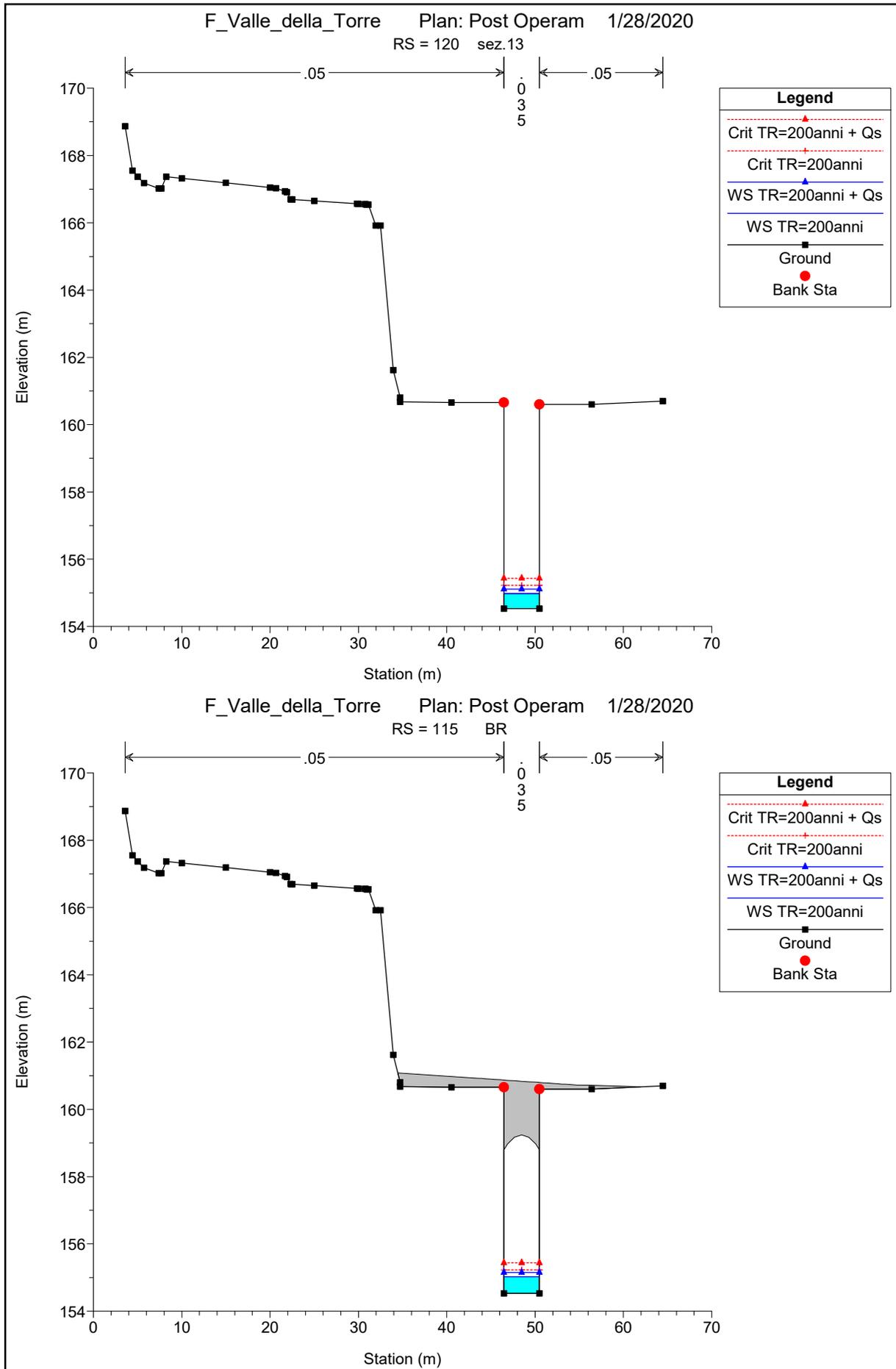


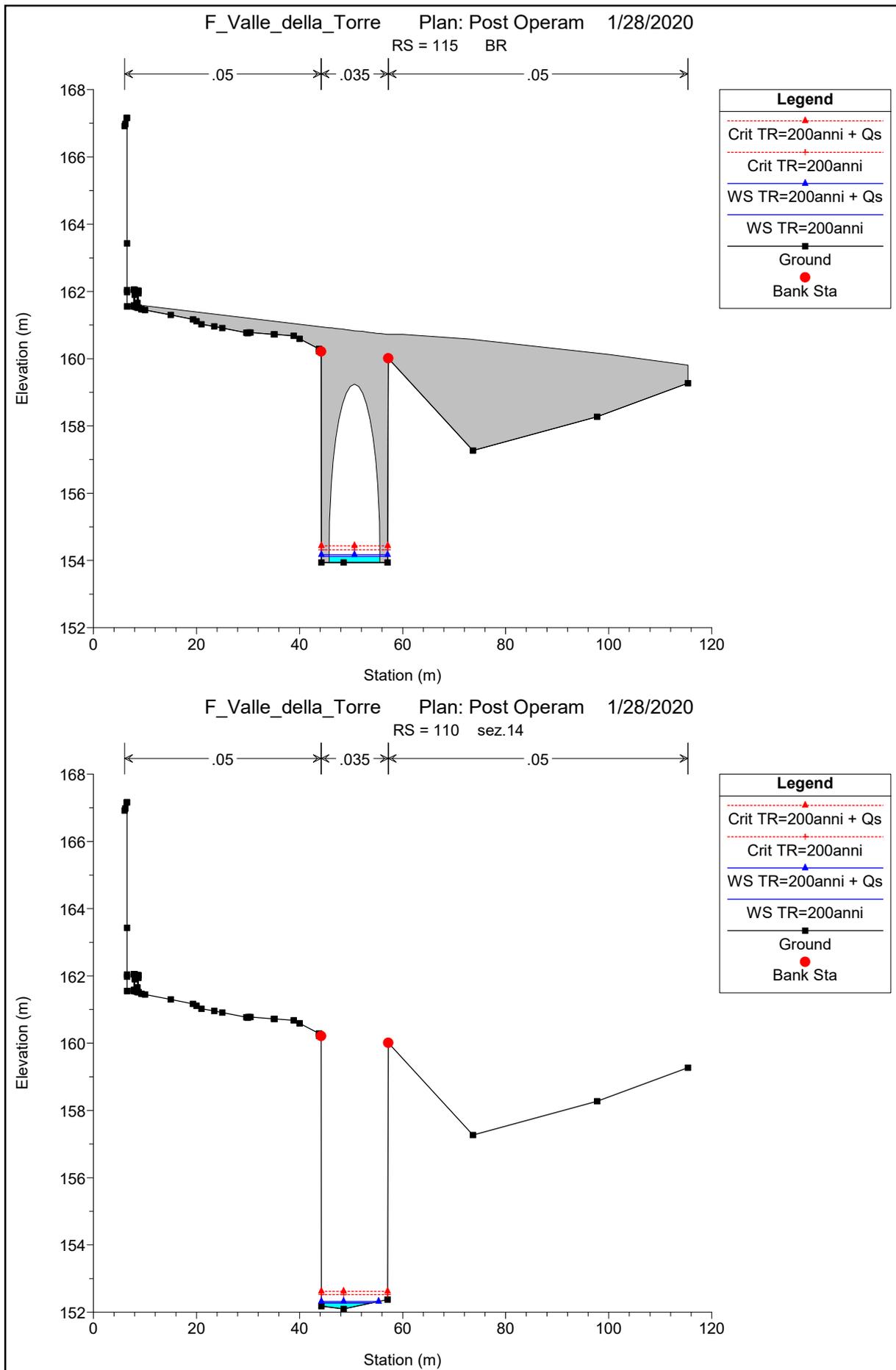
F_Valle_della_Torre Plan: Post Operam 1/28/2020
RS = 183

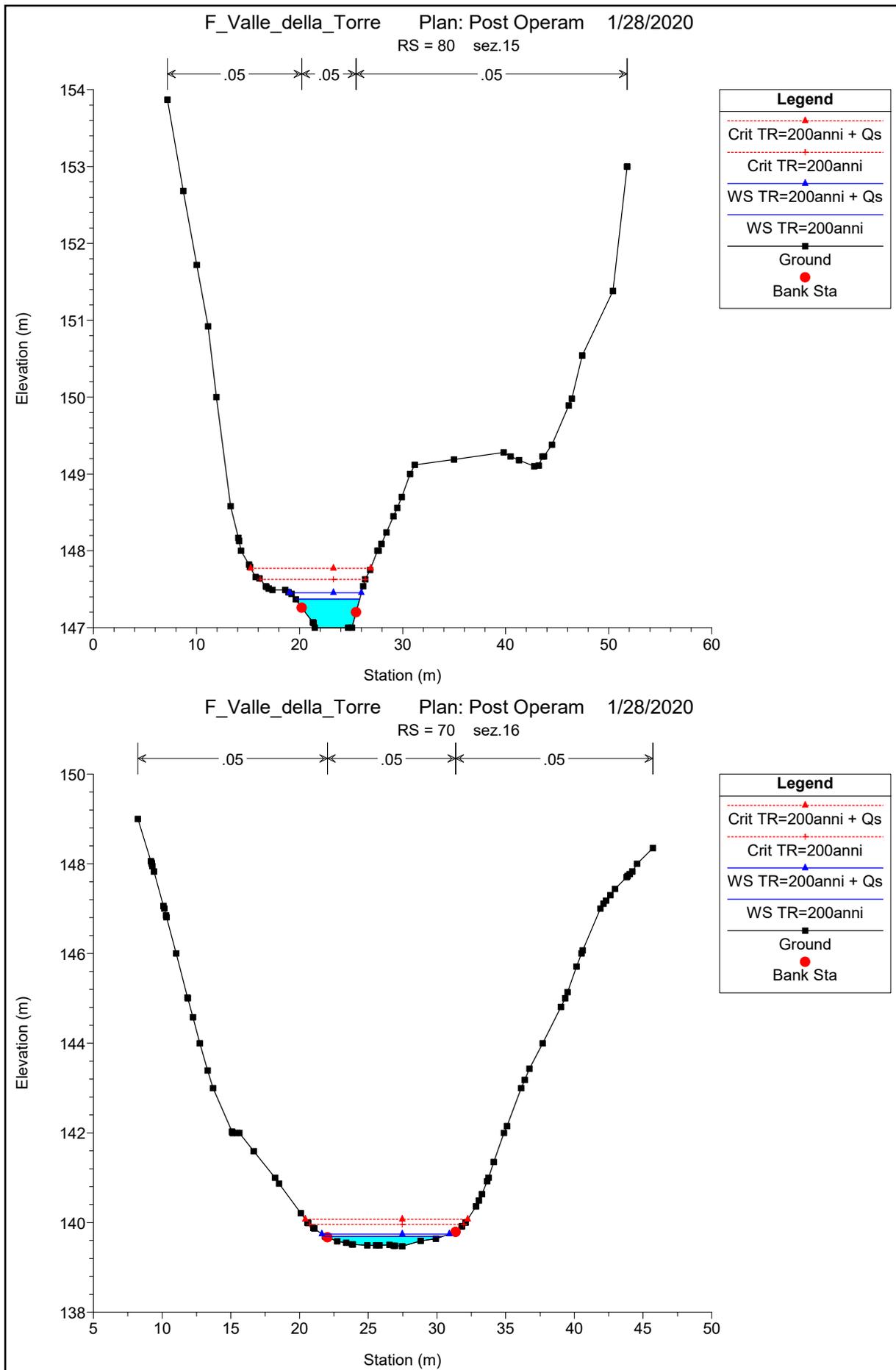


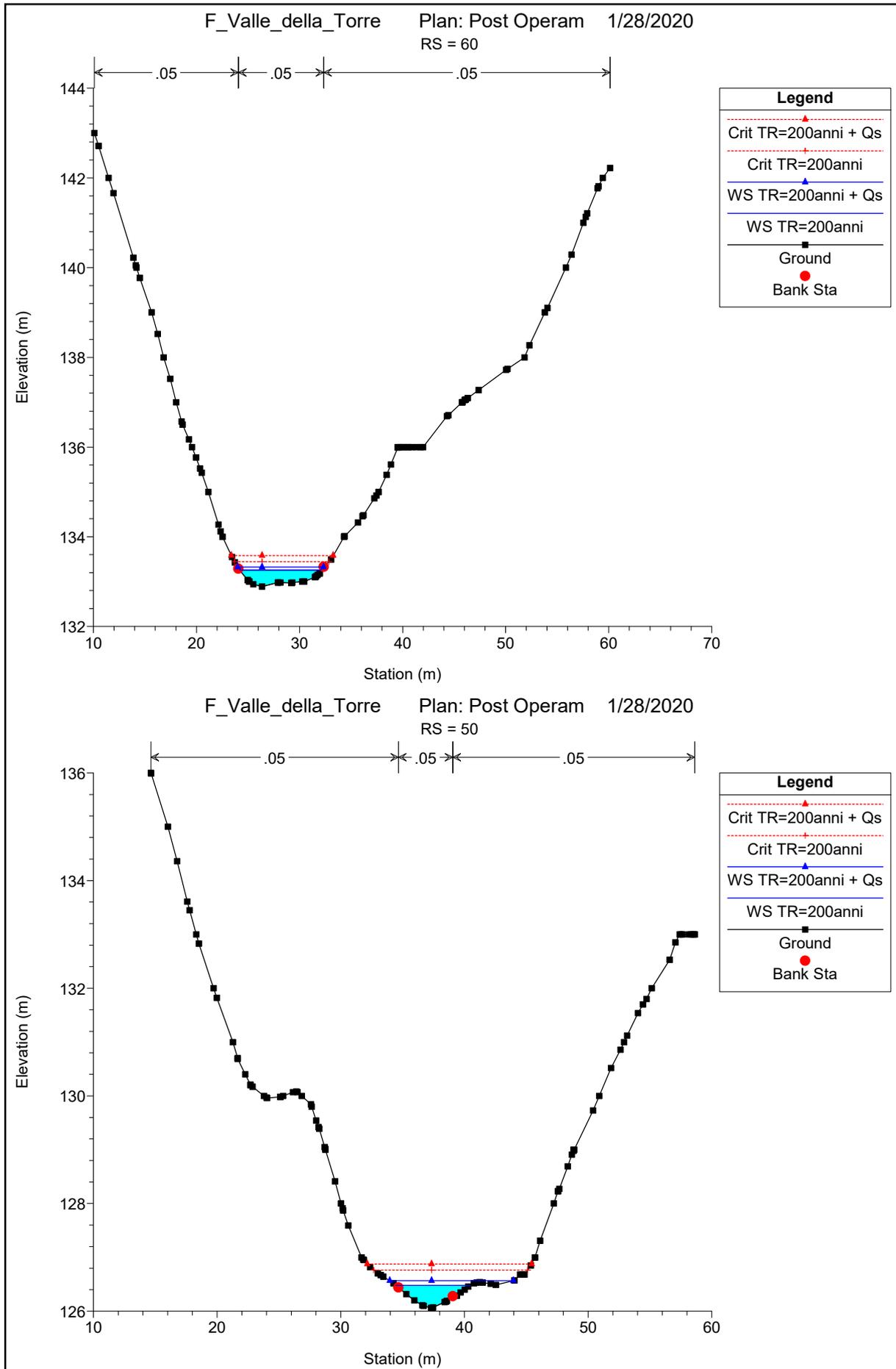
F_Valle_della_Torre Plan: Post Operam 1/28/2020
RS = 170

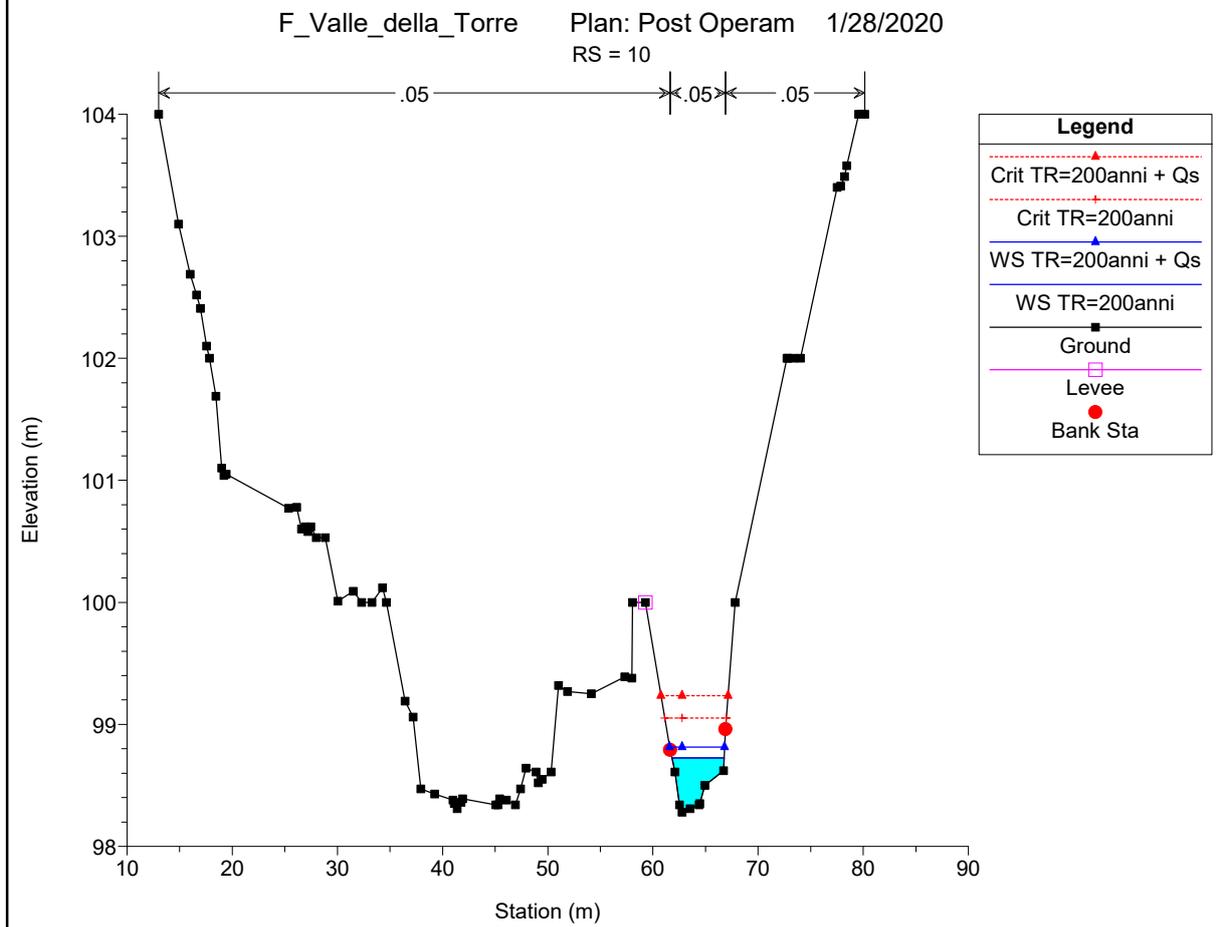
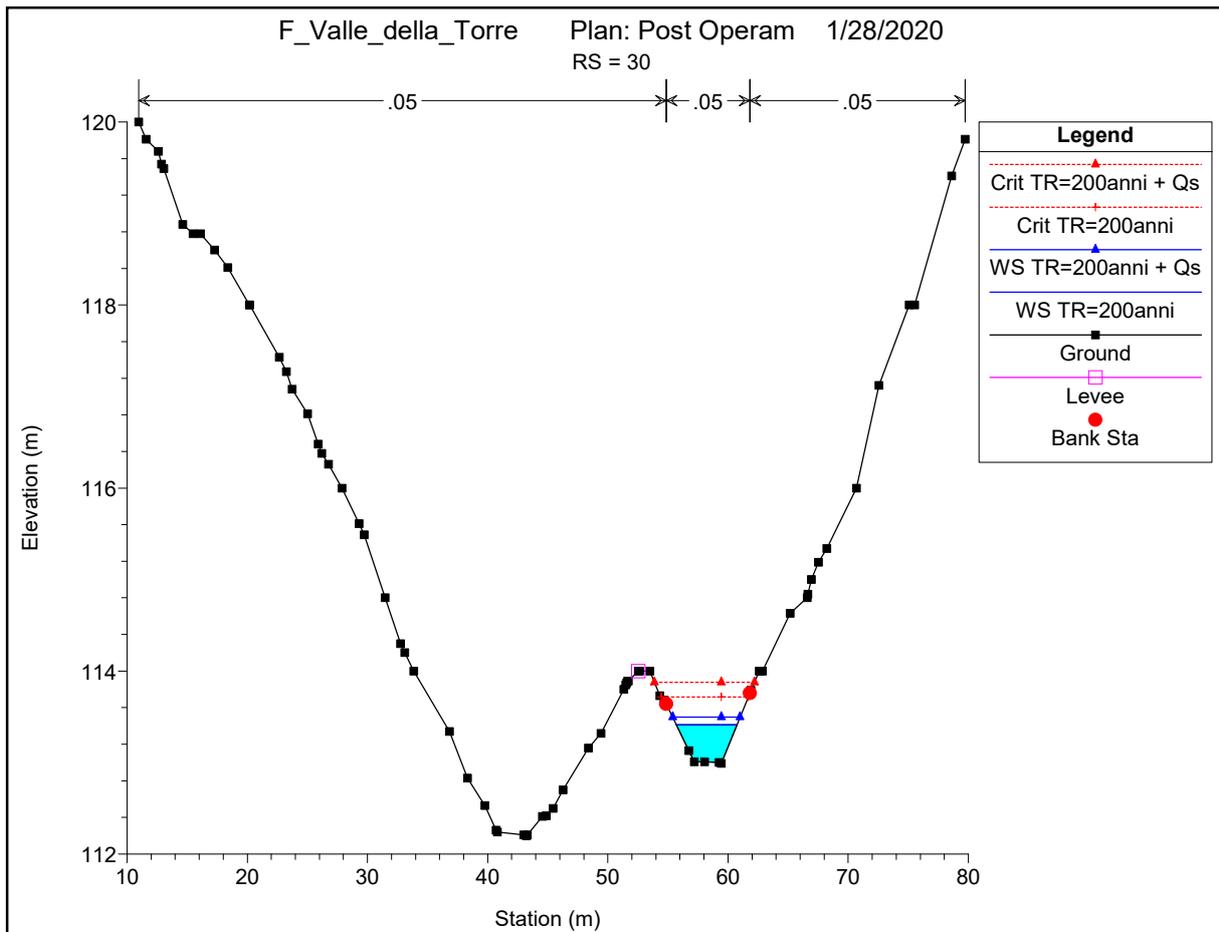












APPENDICE B

Verifica idraulica degli elementi di drenaggio superficiale

Ubicazione	Progr. asse [m]	Lunghezza tratto [m]	Tipo	Tipologia elemento	Tipologia ciglio	Quota Ciglio [ms.m.]	Pendenza Long. ciglio [%]	Area equiv./l [m ² /m]	Portata defluente/l [m ³ /s/m]	Portata esitabile/l [m ³ /s/m]	imax cunetta calcolo [m]
RAMO 1 TIGNALE ciglio sinistro	0.00					185.89		4.73			
	20.00	20.00	rettifilo		Rilevato	183.81	10.4%	4.73	0.00024		
	40.00	20.00	rettifilo	Cunetta	Trincea	181.66	10.8%	5.23	0.00027	0.12193	455.5
	60.00	20.00	rettifilo	Cunetta	Trincea	179.53	10.7%	5.23	0.00027	0.12136	453.3
	80.00	20.00	rettifilo	Cunetta	Trincea	177.35	10.9%	5.73	0.00029	0.12278	418.6
	100.00	20.00	curva sx	Cunetta	Trincea	174.93	12.1%	10.05	0.00051	0.12936	251.2
	120.00	20.00	curva sx	Cunetta	Trincea	173.76	5.9%	10.05	0.00051	0.08995	174.7
RAMO 1 TIGNALE ciglio destro	0.00				Trincea	185.89					
	20.00	20.00	rettifilo	Cunetta	Trincea	183.81	10.4%	8.23	0.00042	0.11993	284.6
	40.00	20.00	rettifilo	Cunetta	Trincea	181.66	10.8%	8.48	0.00043	0.12193	280.8
	60.00	20.00	rettifilo	Cunetta	Trincea	179.53	10.7%	10.73	0.00055	0.12136	220.9
	80.00	20.00	rettifilo	Cunetta	Trincea	177.35	10.9%	12.23	0.00063	0.12278	196.0
	100.00	20.00	curva sx	Cunetta	Trincea	174.93	12.1%	9.40	0.00048	0.12936	268.6
	120.00	20.00	curva sx	Cunetta	Trincea	173.76	5.9%	10.90	0.00056	0.08995	161.1

Verifica idraulica dei collettori

	Pozzetto monte	Pozzetto valle	Lunghezza [m]	Diametro esterno [mm]	Quota scorrimento monte [ms.m.]	Quota scorrimento valle [ms.m.]	Pendenza longitudinale di progetto [%]	area contribuyente complessiva efficace [m ²]	tempo di accesso [h]	tempo di concentrazione [h]	intensità di precipitazione [mm/h]	portata idrologica [m ³ /s]	Velocità [m/s]	Riempimento [%]
RAMO 1 - TIGNALE	PR1-0	P3	120.0	400	184.49	172.37	10.0%	1199.0	0.083	0.092	174.5	0.0581	3.67	22.4%
	PG	P6	9.4	400	172.55	172.50	0.5%	305.4	0.083	0.086	181.0	0.0154	0.87	24.7%
	P6	P5	6.0	400	172.50	172.48	0.5%	378.6	0.086	0.088	179.0	0.0188	0.92	27.4%
COLLETTORE SCARICO IMBOCCO NORD	P5	P4	7.2	400	172.48	172.44	0.5%	495.2	0.088	0.090	176.8	0.0243	0.99	31.1%
	P4	P3	8.8	400	172.44	172.39	0.5%	627.8	0.090	0.093	174.4	0.0304	1.04	34.6%
	P3	P2	6.1	500	172.39	172.36	0.5%	1863.6	0.093	0.094	173.2	0.0897	1.38	45.3%
	P2	P1	6.9	500	172.36	172.33	0.5%	1907.7	0.094	0.095	171.9	0.0911	1.39	45.7%
	P1	P0	12.5	500	172.33	172.21	1.0%	2857.2	0.095	0.097	170.2	0.1351	1.99	47.0%
	P0	R	8.3	500	172.21	172.12	1.0%	2857.2	0.097	0.098	169.1	0.1342	1.99	46.8%

Verifica idraulica dei fossi di guardia

Imbocco Nord

Recapito	Direzione	Lunghezza	Pendenza	area contribuente complessiva efficace [m ²]	tempo di accesso [h]	tempo di concentrazione [h]	intensità di precipitazione [mm/h]	portata idrologica [m ³ /s]	Tirante [m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude	Riempimento [%]
Valle della Piazza	Nord	140	0.04	28153	0.167	0.177	136.7	1.07	0.33	3.85	2.52	66.7%
Lago di Garda	Sud	100	0.05	8688	0.167	0.176	137.2	0.33	0.16	3.11	2.76	32.2%

Imbocco Sud

Recapito	Direzione	Lunghezza	Pendenza	area contribuente complessiva efficace [m ²]	tempo di accesso [h]	tempo di concentrazione [h]	intensità di precipitazione [mm/h]	portata idrologica [m ³ /s]	Tirante [m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude	Riempimento [%]
Valle della Torre	Nord	29	0.04	1500	0.167	0.172	138.9	0.06	0.06	1.66	2.25	12.4%
Valle della Torre	Sud	36	0.05	413	0.167	0.176	137.2	0.02	0.03	1.12	2.26	5.2%