

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO ALTERNATIVE AI SITI DI DEPOSITO

(Richieste CTVA del 22/12/2011 Prot. CTVA/2011/4534 e del 16/03/2012 Prot. CTVA/2012/1012)

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A.  
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A.  
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L.  
SACYR S.A.U.  
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD  
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE

**PRO-GEO HiPro**  
progettazione geotecnica *ingegneria*

Prof. Ing. G. Umiltà  
Ordine Ing. Palermo n°1729



Ing. E. Pagani  
Ordine Ing. Milano n°15408

IL CONTRAENTE GENERALE  
PROJECT MANAGER  
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA  
Direttore Generale  
Ing. G. Fiammenghi

STRETTO DI MESSINA  
Amministratore Delegato  
Dott. P. Ciucci

Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art.21 del D.Lgs. 82/2005"

Unità Funzionale COLLEGAMENTI VERSANTE SICILIA  
Tipo di sistema CANTIERI  
Raggruppamento di opere/attività SITI DI RECUPERO AMBIENTALE  
Opera - tratto d'opera - parte d'opera TORRENTE CARACCIOLO  
Titolo del documento RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

CZV0766\_F0

CODICE

C G 0 0 0 0 P R G V S C Z C 4 S D 0 0 0 0 0 1 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	08/06/2012	Emissione finale	DICA	E.FOTI	G. UMITA'

NOME DEL FILE: CZV0766\_F0

revisione interna: \_\_





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE (DICA)

CONVENZIONE TRA LA SOCIETA' EUROLINK S.C.p.A. E IL DIPARTIMENTO DI  
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA



*Studi propedeutici relativi alla possibilità di impiego dei materiali di scavo  
per il ripascimento delle coste e analisi rischio idraulico dei bacini  
interessati dalle opere previste nel Progetto Definitivo del Collegamento  
Stabile dello Stretto di Messina sul versante Sicilia*

TORRENTE CARACCIOLO – RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Il Responsabile Scientifico  
(Prof. Ing. Enrico FOTI)

Il Direttore del DICA  
(Prof. Ing. Enrico FOTI)

Catania, Maggio 2012

# INDICE

1	Premessa .....	3
2	Descrizione del Torrente Caracciolo .....	3
2.1	Generalità e indicazioni del P.A.I. ....	3
2.2	Analisi dello stato dei luoghi in condizioni ante-operam .....	5
3	Analisi idrologica del torrente Caracciolo .....	12
3.1	Caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino .....	12
3.2	Analisi delle piogge intense.....	13
3.3	Stima delle portate al colmo per vari tempi di ritorno.....	15
4	Modellazione idraulica del Torrente Caracciolo ante-operam.....	16
4.1	Simulazione del torrente Caracciolo in condizioni ante-operam .....	16
4.2	Criticità rilevate sul Torrente Caracciolo in condizioni ante-operam .....	20
5	Verifiche idrauliche sul Torrente Caracciolo in condizioni post-operam.....	22
5.1	Opere previste da progetto .....	22
5.2	Verifiche delle opere previste da progetto .....	24
5.2.1	Verifica dello scarico di fondo .....	24
5.2.2	Verifica dello sfioratore della cassa di espansione .....	25
5.2.3	Verifica del volume della cassa d'espansione .....	27
5.2.3.1	Metodologie adottate .....	27
5.2.3.2	Analisi dei risultati .....	29
5.3	Simulazione idraulica del torrente Caracciolo in condizioni post-operam .....	33
6	Analisi dei risultati e conclusioni.....	39
7	Bibliografia.....	41
	Appendice A–Tabelle riassuntive dei parametri idraulici delle simulazioni effettuate ante-operam	42
	Appendice B–Tabelle riassuntive dei parametri idraulici delle simulazioni effettuate post-operam	51
	Appendice C–Quaderno delle sezioni ante-operam .....	57
	Appendice D–Quaderno delle sezioni post-operam .....	119

## **1 Premessa**

Il territorio della Provincia di Messina è particolarmente esposto al rischio idraulico, come purtroppo anche testimoniato dall'alluvione del 1° ottobre 2009, che ha prodotto 37 vittime, oltre a ingentissimi danni, nonché dalle più recenti alluvioni del 1° marzo 2011 e, da ultimo, dall'alluvione del 22 novembre 2011, che ha causato 3 vittime.

In un territorio come quello sopra menzionato ogni nuova opera civile che si intende realizzare deve essere pensata, progettata e realizzata non solo nell'ottica delle funzioni che essa dovrà assolvere, ma anche come occasione e opportunità per migliorare le condizioni di criticità esistenti. In tale contesto, la EUROLINK SCpA ha chiesto la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) dell'Università degli Studi di Catania al fine di ottenere contributi metodologici nell'ambito del progetto definitivo delle opere di collegamento al ponte sullo Stretto di Messina che insistono sul versante siciliano.

Gli studi condotti dal DICA sono stati rivolti alla valutazione del rischio idraulico per i torrenti che sono attraversati dalle opere di collegamento o per quelli in cui si prevede la realizzazione dei Siti di Recupero Ambientale (SRA) in aree prossime ai torrenti stessi.

La presente relazione illustra gli studi idrologici e idraulici condotti con riferimento al torrente Caracciolo, nel cui bacino è prevista la realizzazione di un sito di recupero ambientale, denominato SRA6, e di varie opere idrauliche disposte sul torrente stesso finalizzate alla riduzione del rischio idraulico delle zone urbanizzate limitrofe.

Tra le opere previste, particolare rilievo assume la realizzazione di una cassa di espansione che permetterà la laminazione delle portate che defluiscono verso valle. Con riferimento alla suddetta cassa di espansione sono stati quindi condotti degli studi mirati a verificare il dimensionamento previsto da progetto.

Le verifiche idrauliche del torrente Caracciolo e delle opere previste in progetto sono state condotte mediante simulazioni numeriche condotte con il software Hec-Ras.

## **2 Descrizione del Torrente Caracciolo**

### **2.1 Generalità e indicazioni del P.A.I.**

Il torrente Caracciolo separa il Comune di Valdina, localizzato a Est del torrente, e il Comune di Torregrotta, localizzato a Ovest del torrente, nel territorio della provincia di Messina, con sbocco sul Mare Tirreno. Il torrente si sviluppa per una lunghezza di circa 4.9 km all'interno di un bacino di estensione pari 2.43 km<sup>2</sup> (quota massima dell'asta circa 275 m s.l.m.m.). Come si evince dalla Figura 2.1, il bacino fa parte di un gruppo di bacini minori delimitati in destra idraulica dal bacino del torrente Saponara ed in sinistra idraulica dal bacino del torrente Niceto.

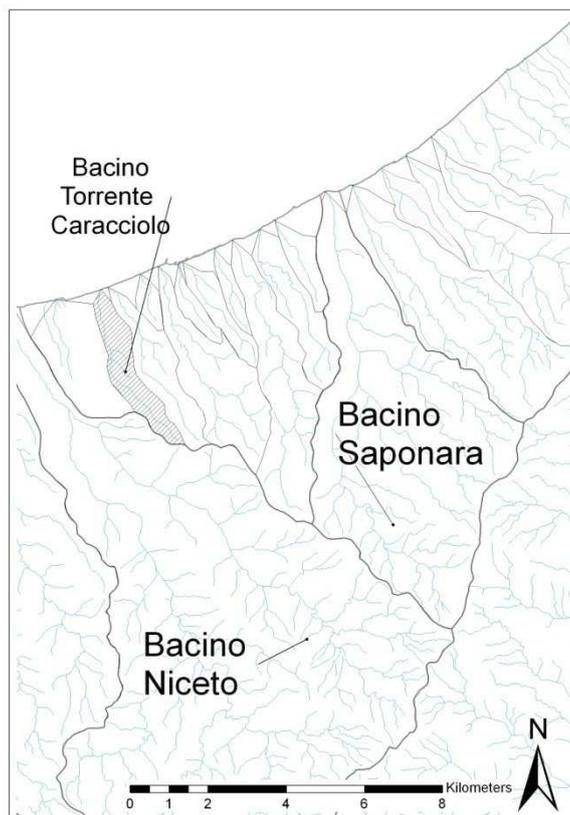


Figura 2.1 Bacino del Torrente Caracciolo.

Il bacino del Torrente Caracciolo è descritto all'interno del P.A.I Regione Sicilia - 1° Aggiornamento "Puntuale" CTR n. 588130. In particolare, il P.A.I. non indica aree potenzialmente inondabili per la zona compresa tra il bacino del torrente Saponara e il bacino Niceto all'interno del comune di Valdina, mentre all'interno del comune di Torregrotta viene indicato un sito di attenzione in corrispondenza del centro abitato ove, a causa dell'antropizzazione dell'area, le acque del sovrastante versante si riversano sulle strade.

In Figura 2.2 si mostra uno stralcio della carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione relativa alla zona prossima al torrente Caracciolo che conferma l'assenza di aree potenzialmente inondabili così come individuate dal PAI. E' da rilevare tuttavia, che le indicazioni del P.A.I. sono spesso frutto di analisi speditive e che, pertanto, appare opportuna una verifica attraverso metodologie più di dettaglio.

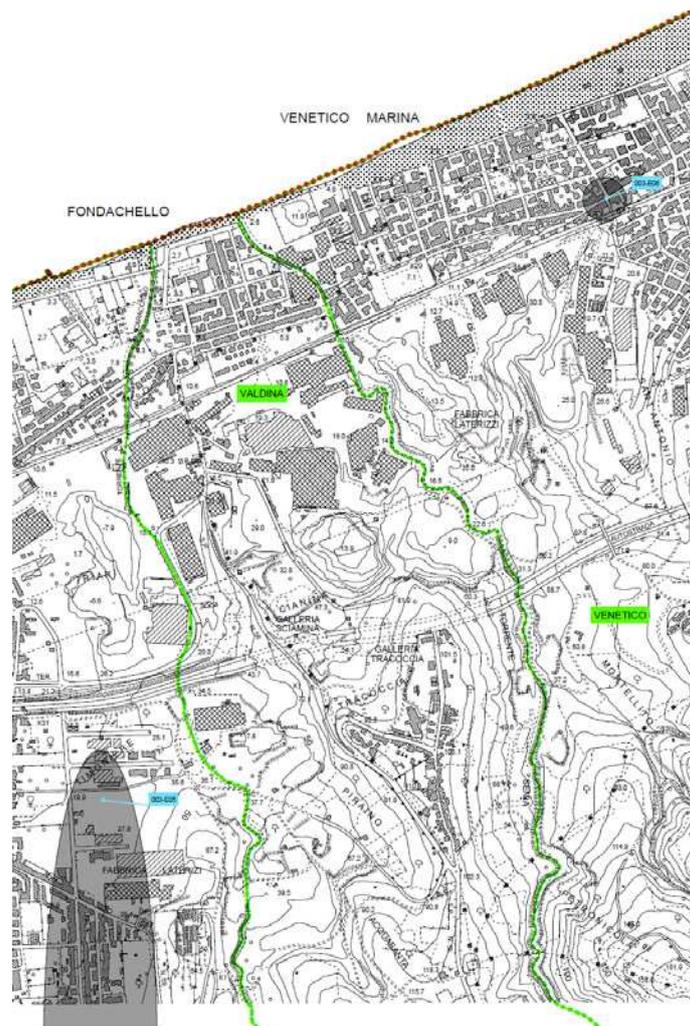


Figura 2.2 Stralcio carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione. (Fonte: P.A.I - 1° Aggiornamento "Puntuale" CTR n. 588130).

## 2.2 Analisi dello stato dei luoghi in condizioni ante-operam

Nel seguito si descrive lo stato dei luoghi del torrente Garacciolo, così come rilevato durante il sopralluogo effettuato da personale DICA in data 21/02/2012. Durante detto sopralluogo sono state rilevate le caratteristiche della maggior parte dei manufatti presenti lungo il corso d'acqua, ed in particolare di quelli presenti nel tratto vallivo, maggiormente interessato da insediamenti urbani e produttivi. Al momento del sopralluogo, si è osservata la presenza alla foce di un'apprezzabile portata convogliata (ordine di grandezza di  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Le informazioni sui manufatti idraulici desunte dal rilievo appena citato sono state integrate con il rilievo topografico eseguito per conto della società EUROLINK S.C.p.A. in data 27/04/2012.

Si precisa come la descrizione dei luoghi sia stata effettuata qui procedendo da valle verso monte, ovvero di senso opposto a quello della corrente. Tale scelta è dovuta al fatto che il sopralluogo è

stato condotto risalendo il torrente dalla foce verso monte, al fine di meglio focalizzare l'attenzione sulle zone più intensamente urbanizzate ed interessate da manufatti idraulici e di attraversamento. In figura 2.3 è riportata l'ortofoto del tratto di valle del Torrente Caracciolo, con l'indicazione delle sezioni particolarmente significative interessate dal rilievo e opportunamente codificate. Nel seguito, si farà riferimento a tale codifica per indicare le sezioni, nonché alla documentazione fotografica riportata in calce al presente paragrafo.

In prossimità della foce, la zona risulta moderatamente urbanizzata e a una distanza di circa 20 m dalla foce, il torrente Caracciolo è arginato mediante muri in cemento armato sino all'attraversamento P1\_RC in Via Lungomare.

A monte della sezione P1\_RC, che lambisce alcuni edifici industriali per la produzione di laterizi con accesso da via Valdina, la sponda sinistra è interessata dalla presenza di una folta vegetazione (foto IMG - 4). In tale zona, l'argine in destra idraulica è costituito da un muro in cemento armato, mentre in corrispondenza della SS113 (P2\_RC) l'argine è realizzato in muratura (foto IMG - 5), sino a circa 60 m a monte della SS113.

Nel tratto subito a monte dell'attraversamento ferroviario (IMG - 6), si osserva la presenza di un tombino scatolare (T1\_RC) posto in opera al di sotto di un capannone (IMG - 7) (IMG - 8)(IMG - 9), in via Valdina. Il tombinamento si estende per tutta la lunghezza del capannone, per un tratto di circa 105 m.

In corrispondenza dello stabilimento del Gruppo Fauci, a questo primo tratto tombinato ne segue un altro (T2\_RC), per una lunghezza di circa 70 m, che giunge a una vasca posta in prossimità della strada provinciale SP58 (IMG -11).



Figura 2.3 Individuazione dei principali manufatti idraulici e degli attraversamenti presenti sul Torrente Caracciolo in corrispondenza del tratto di valle.

A monte della vasca si ha un ulteriore tratto tombinato lungo 250 m (IMG - 12), mediante tombino circolare realizzato in polietilene ( $D=2000$  mm), che attraversa, una prima volta, la SP58 (T3\_RC), la costeggia per un breve tratto, e quindi la attraversa una seconda volta. Il corso d'acqua prosegue verso monte a cielo aperto con un canale in terra per una lunghezza di circa 90 m, a monte del quale si ha l'intersezione con la SP58, e continua con un breve tratto scoperto sino all'attraversamento ferroviario. Da qui inizia un nuovo tratto tombinato (T4\_RC) con una sezione circolare ( $D=4000$  mm), ostruita per circa il 50%, che passa sotto il rilevato della nuova ferrovia e dell'autostrada Messina – Palermo (IMG - 13) (IMG - 14)(IMG - 15).

A monte degli attraversamenti appena descritti, si ha un ulteriore tombinamento in corrispondenza di un capannone industriale (T5\_RC)(IMG - 16), di lunghezza pari a circa 60 m.

A monte del tratto tombinato è presente una piccola passarella in cemento armato (P3\_RC)(IMG -

17). Infine a monte della sezione P4\_RC, a una distanza di circa 60 m, è localizzato un ulteriore attraversamento stradale (P5\_RC) (IMG - 18).

La Tabella 2.1 riporta le dimensioni delle sezioni idriche disponibili in corrispondenza dei manufatti rilevati sia durante il sopralluogo effettuato, sia attraverso un apposito rilievo topografico commissionato da Eurolink.

Tabella 2.1. Dimensione dei manufatti presenti nel corso d'acqua (rilevati in situ).

Nome	Localizzazione	Altezza [m]	Larghezza [m]
P1_RC	Via Lungomare (valle)	2.04	16.6
	Via Lungomare (monte)	1.78	16.9
P2_RC	SS113 (valle)	3.42	10.09
	SS113 (monte)	3.47	9.5
P3_RC	Ferrovia (valle)	3.13	7.42
	Ferrovia (monte)	3.20	7.39
T1_RC	Via Valdina (sbocco)	3.72	5.00
	Via Valdina (imbocco)	2.70	5.54
T2_RC	Capannone Fauci (sbocco)	2.99	4.99
	Capannone Fauci (imbocco)	3.29	4.50
T3_RC	Cantiere navale	D=2000 mm	
T4_RC	Rilevato ferroviario e A20	D=4000 mm	
T5_RC	Valle	2.79	5.72
	Monte	1.33	2.97
P4_RC	Valle	0.91	3.01
	Monte	1.02	2.99
P5_RC	Valle	28.29	4.64
	Monte	4.01	3.39



IMG-1



IMG-2



IMG-3



IMG-4



IMG-5



IMG-6



IMG-7



IMG-8



IMG-9



IMG-10



IMG-11



IMG-12



IMG-13



IMG-14



IMG-15



IMG-16



IMG-17



IMG-18

### 3 Analisi idrologica del torrente Caracciolo

#### 3.1 Caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino

Considerata la morfologia del bacino e la presenza del rilevato autostradale e della ferrovia, di recente costruzione, che intersecano il corso d'acqua, le analisi idrologiche e le simulazioni idrauliche sul torrente Caracciolo sono state effettuate con riferimento a due sezioni di chiusura, una localizzata a monte dell'autostrada Palermo - Messina, e indicata come B1\_RC, e l'altra ubicata alla foce, e indicata come B2\_RC (Figura 3.1).

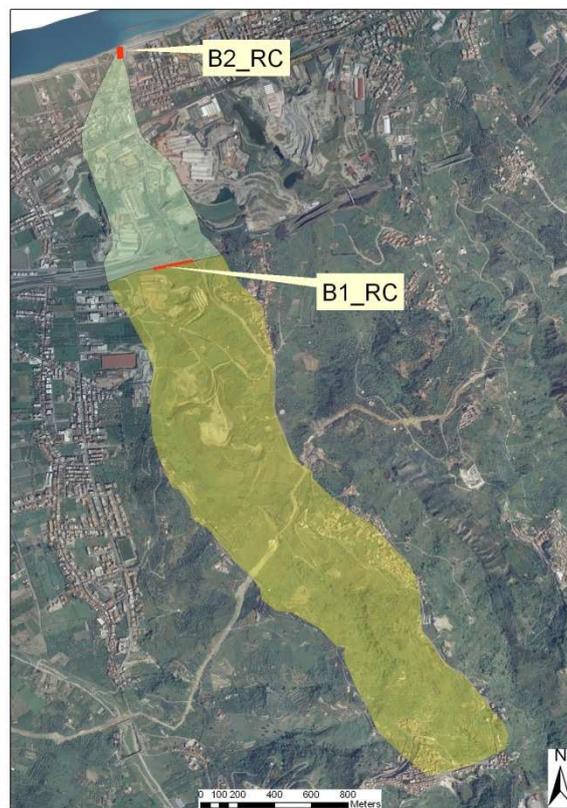


Figura 3.1 Bacino del torrente Caracciolo con indicazione delle due sezioni di chiusura B1\_RC e B2\_RC considerate.

Al fine di determinare i tempi di corrivazione  $t_c$  in corrispondenza di tali sezioni, si è proceduto ad una valutazione delle caratteristiche morfometriche, riportate in Tabella 3.1 (in cui  $A$  [km<sup>2</sup>] è l'area del bacino,  $L$  [km] è la lunghezza dell'asta,  $i$  è la pendenza dell'asta). Nella stessa tabella sono inoltre riportati: la velocità fittizia  $v_f$ , stimata da tabelle di letteratura, ed i tempi di corrivazione  $t_c$ , ottenuti come media dei risultati delle seguenti formule:

$$t_c = 0.066 \cdot \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}} \quad (\text{Kirpich})$$

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i}} \quad (\text{Pezzoli})$$

$$t_c = \frac{L}{v_f} \quad (\text{Velocità fittizia})$$

$$t_c = \frac{0.108}{\sqrt{i}} (AL)^{1/3} \quad (\text{Pasini})$$

$$t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{i}} \quad (\text{Ventura})$$

$$t_c = 0.3716 A^{0.6} \quad (\text{Di Stefano e Ferro})$$

Tabella 3.I Torrente Caracciolo: caratteristiche morfometriche, velocità fittizia e tempo di corrivazione alle sezioni considerate.

Sezione	A [km <sup>2</sup> ]	L [km]	i [%]	v <sub>f</sub> [m/s]	t <sub>c</sub> [ore]
B1_RC	1.80	3.7	6.8	1.5	0.64
B2_RC	2.43	4.9	5.6	1.2	0.90

### 3.2 Analisi delle piogge intense

Le stazioni pluviometriche in prossimità del bacino in studio, per cui si dispone di serie di dati di lunghezza significativa sono Milazzo, Monforte S. G. e Calvaruso della Rete Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia (ODA). Da un'analisi dell'influenza di tali stazioni (tramite il metodo Inverse Distance Weighted) sull'area d'interesse, si può desumere che la stazione di Milazzo ha peso trascurabile. E' stata quindi effettuata un'analisi delle precipitazioni intense basata sui dati registrati alle stazioni pluviometriche Monforte S. G. e Calvaruso.

In particolare, per tali stazioni si hanno a disposizione le serie dei massimi annuali di precipitazione per le durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore, per i periodi riportati nella Tabella 3.II.

Tabella 3.II. Informazioni relative alle stazioni pluviometriche dell'Osservatorio delle Acque considerate per l'analisi delle piogge intese nel bacino del torrente Caracciolo.

Codice ODA	Nome	Quota [ms.m.m.]	Attiva	Anno inizio	Anno fine	N° Oss.
10	Calvaruso	135	no	1972	2002	16
40	Monforte S. G.	320	no	1971	2002	31

A tali serie di dati sono stati adattati vari modelli probabilistici (Gumbel, Generalized Extreme Value, Gumbel Scala Invariante e GEV Scala Invariante). Con riferimento a quest'ultima metodologia, alla luce dei tempi di corrivazione ridotti, l'invarianza di scala è stata ipotizzata per l'intervallo di durata 1-6 ore.

Il modello GEV Scala Invariante è quello che meglio si presta ad interpretare i dati, come risulta sia dai test statistici applicati e sia dal confronto grafico riportato in Figura 3.2.

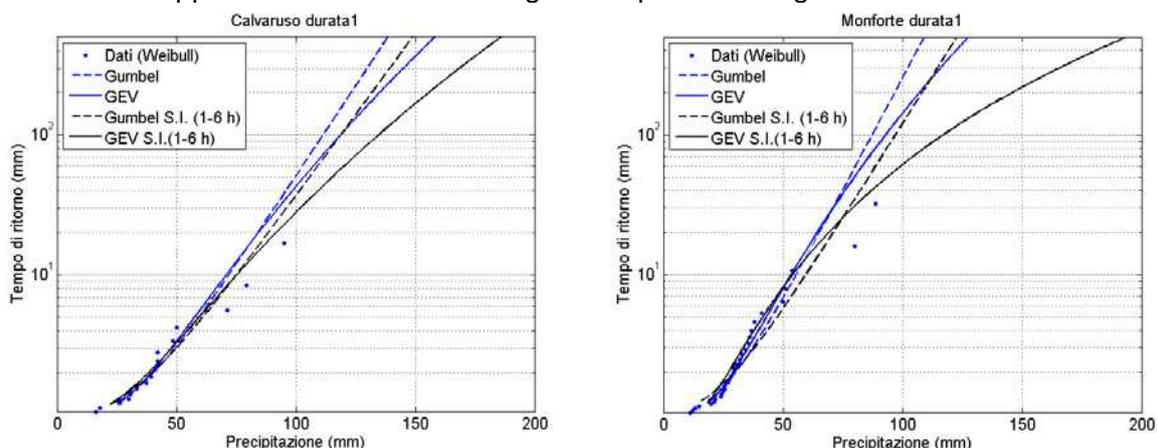


Figura 3.2 Bontà di adattamento di varie distribuzioni di probabilità ai massimi annuali di durata un'ora.

Per le curve di probabilità pluviometrica è stata utilizzata l'espressione monomia:

$$h=at^n$$

essendo  $h$  l'altezza di pioggia in mm,  $t$  la durata in ore e  $a$  ed  $n$  parametri dipendenti dal tempo di ritorno.

Dall'applicazione del modello GEV Scala Invariante si sono determinati i valori del parametro  $a$  delle curve di probabilità pluviometrica riportati in Tabella 3.III, per vari tempi di ritorno. Per il calcolo delle portate al colmo è stato impiegato il valore di media pesata tra le precipitazioni relative alle singole stazioni, secondo i pesi (determinati tramite spazializzazione IDW) riportati nella stessa tabella.

Tabella 3.III. Parametro  $a$  delle curve di probabilità pluviometrica per vari tempi di ritorno

Stazione	PESO	Tempo di ritorno (anni)							
		2	10	20	30	50	100	200	300
Calvaruso	0.44	38.19	75.23	91.70	101.83	115.20	134.58	155.54	168.60
Monforte S.G.	0.56	27.27	54.15	69.05	79.16	93.66	117.06	145.68	165.31
<b>Media pesata</b>		<b>32.07</b>	<b>63.43</b>	<b>79.02</b>	<b>89.13</b>	<b>103.14</b>	<b>124.77</b>	<b>150.02</b>	<b>166.76</b>

Essendo il tempo di corrivazione inferiore all'ora, per l'esponente  $n$  è stato considerato, per tutti i tempi di ritorno, il valore 0.386 (Ferro, 2002), determinato da una analisi delle precipitazioni intense

di breve durata in Sicilia.

### 3.3 Stima delle portate al colmo per vari tempi di ritorno

Le portate al colmo  $Q_c$  per vari tempi di ritorno sono state stimate attraverso la formula di Turazza:

$$Q_c = \frac{ChA}{3.6t_c} = \frac{Cat_c^{n-1}A}{3.6}$$

in cui  $A$  è l'estensione del bacino in  $\text{km}^2$ ,  $C$  è il coefficiente di deflusso e  $t_c$  è il tempo di corrivazione in ore. Per il coefficiente di deflusso  $C$  è stato scelto un valore cautelativo pari 0.80.

Le portate ottenute in corrispondenza delle due sezioni di chiusura considerate (a monte dell'autostrada Palermo - Messina, B1\_RC, e alla foce, B2\_RC ) sono riportate in Tabella 3.IV.

Tabella 3.IV. Portate al colmo per vari tempi di ritorno in  $\text{m}^3/\text{s}$  in corrispondenza delle due sezioni di chiusura considerate.

Sezione	Tempo di ritorno (anni)							
	2	10	20	30	50	100	200	300
B1_RC	16.81	33.23	41.40	46.70	54.04	65.37	78.60	87.37
B2_RC	18.63	36.84	45.89	51.77	59.90	72.46	87.13	96.85

## 4 Modellazione idraulica del Torrente Caracciolo ante-operam

### 4.1 Simulazione del torrente Caracciolo in condizioni ante-operam

La simulazione idraulica delle portate di piena all'interno del corso d'acqua è stata effettuata mediante il modello numerico unidimensionale HEC-RAS in condizioni di moto permanente, che risultano maggiormente cautelative rispetto a quelle di moto vario. Inoltre, la scelta di utilizzare la modellazione unidimensionale in moto permanente è connessa allo scopo dello studio che vuole verificare le condizioni di deflusso all'interno dell'alveo del torrente in oggetto e non le eventuali zone interessate da esondazione, nel qual caso sarebbe stato necessario adottare un codice 2D.

Sono stati considerati come input i valori di portata corrispondenti a diversi tempi di ritorno ( $T_r = 2, 10, 30, 50, 100, 200$  e  $300$  anni), ricavati dalle analisi idrologiche anzi descritte. In particolare, come precisato precedentemente, il bacino è stato suddiviso in 2 sottobacini (sezioni di chiusura: a monte dell'autostrada Palermo - Messina, B1\_RC; alla foce, B2\_RC).

Considerate le caratteristiche del torrente si sono imposte le seguenti condizioni al contorno:

- Altezza sezione di monte: pari all'altezza di moto uniforme;
- Quota del pelo libero alla sezione di valle: pari a  $0$  m s.l.m.m. (in corrispondenza della foce);
- Tipo di moto: misto (correnti lente e veloci).

Per quanto concerne i coefficienti di Manning  $n$  si sono considerate due principali tipologie di fondo e sponde dell'alveo, facendo riferimento ai seguenti valori (Rossi e Salvi, 1986):

- terra in cattive condizioni, corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia:  $0.030 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- canali in abbandono con grande vegetazione, corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiale sul fondo:  $0.055 \text{ s/m}^{1/3}$ .

La Figura 4.1 riporta il profilo longitudinale del Torrente Caracciolo, in cui è stata evidenziata la posizione dei manufatti principali che sono stati considerati ai fini della modellazione idraulica.

Ai fini della modellazione idraulica, le informazioni utilizzate sono state estratte dalla planimetria, dal profilo longitudinale e dalle sezioni trasversali al corso d'acqua così come desunte dai rilievi topografici eseguiti per conto della società EUROLINK S.C.p.A.

Si precisa che per il manufatto T5\_RC, oggi parzialmente ostruito da detriti, si è considerata una sezione semicircolare costante per tutta la lunghezza del manufatto stesso.

Dalla Figura 4.2 si riporta il profilo del pelo libero del torrente Caracciolo in corrispondenza di portate con tempo di ritorno di 2 anni. Dal profilo si rileva una attuale insufficienza dell'alveo a convogliare tali portate, sia pure di modestissimo tempo di ritorno, in particolare con riferimento al tombino ubicato nel cantiere navale. Com'è ovvio, le simulazioni effettuate in corrispondenza di portate caratterizzate da tempi di ritorno maggiori (qui non riportate per brevità) confermano tale

insufficienza anche in corrispondenza di altre sezioni, come meglio descritto nel seguente paragrafo.

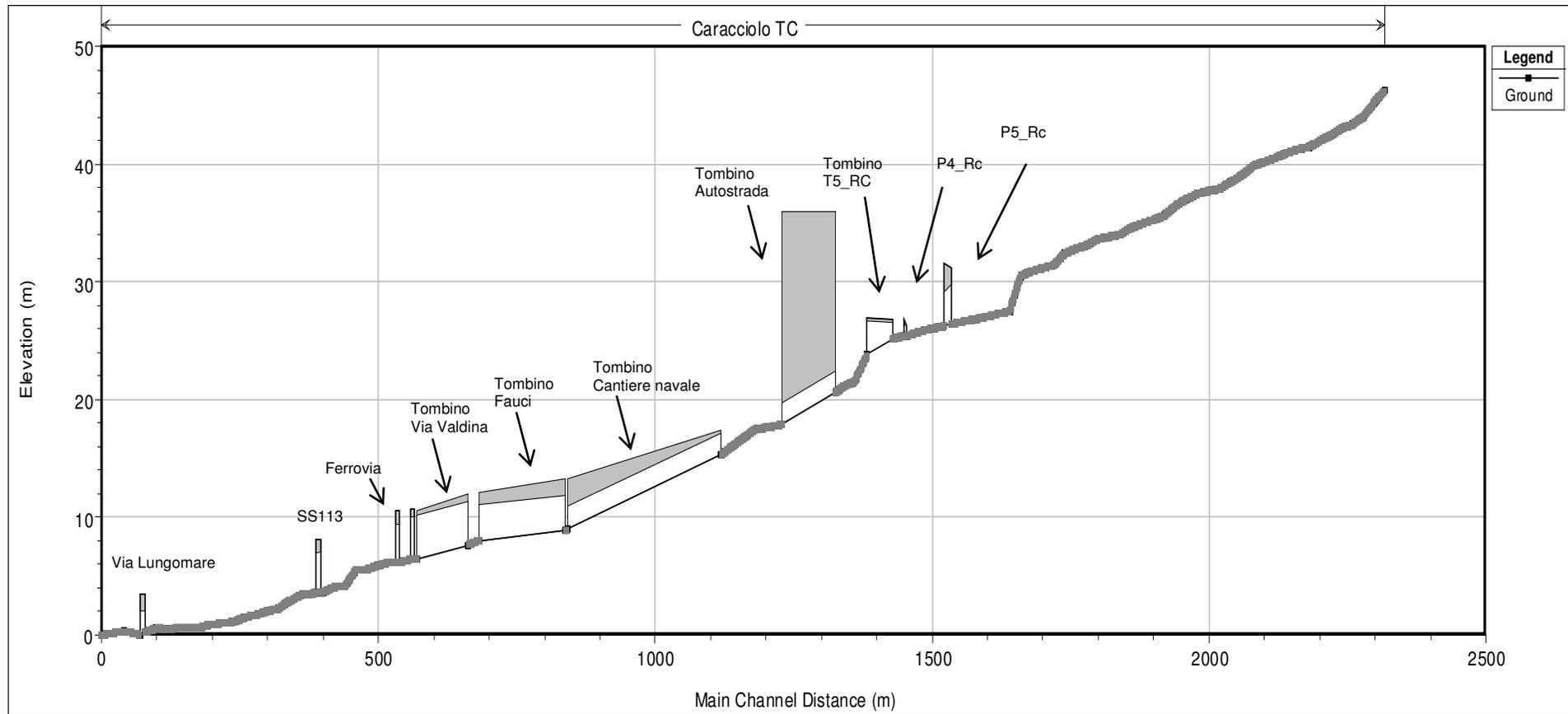


Figura 4.1 Profilo longitudinale del Torrente Caracciolo posto alla base della modellazione idraulica (condizioni ante-operam).

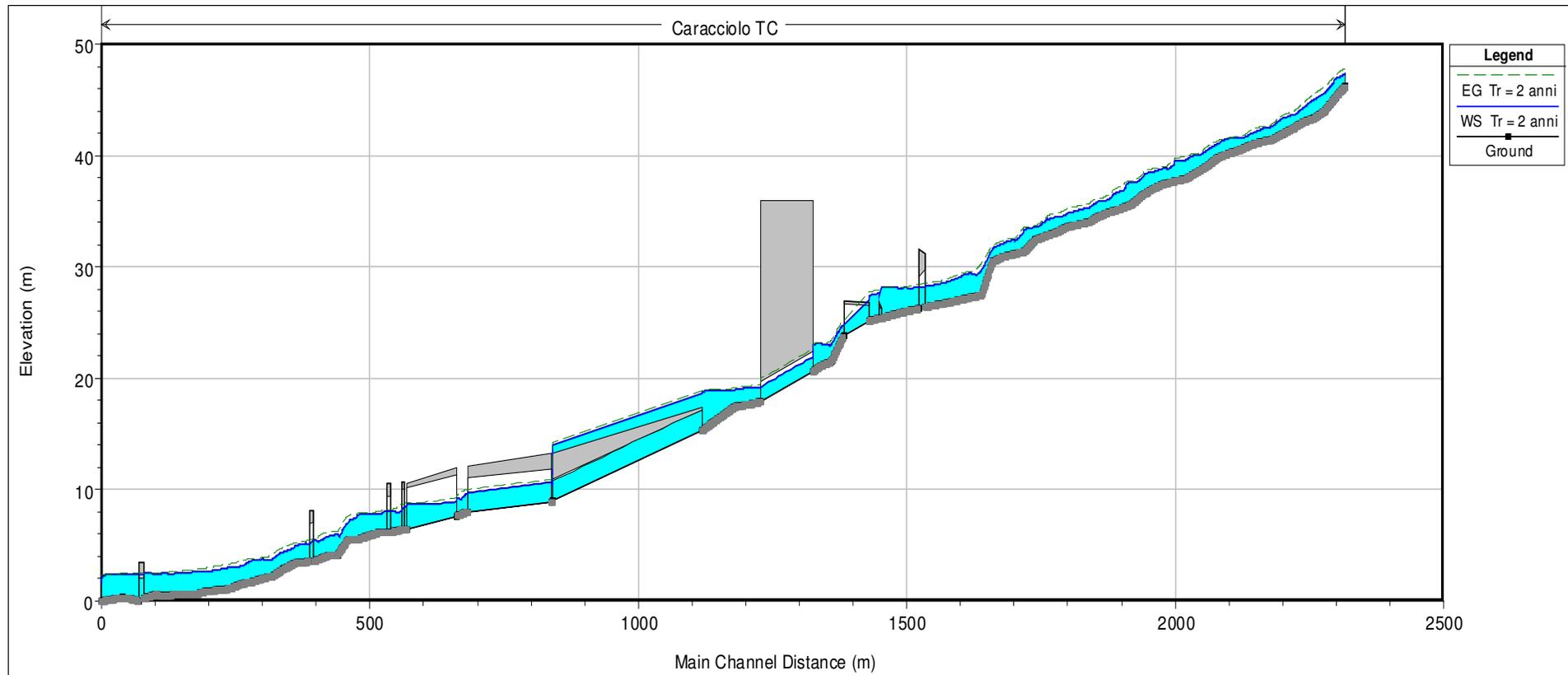


Figura 4.2. – Profilo longitudinale del pelo libero del torrente Caracciolo in corrispondenza di una portata di  $Tr = 2$  anni (condizioni ante-operam).

## 4.2 Criticità rilevate sul Torrente Caracciolo in condizioni ante-operam

Le simulazioni condotte con il codice Hec-Ras, hanno messo in evidenza alcune criticità, principalmente in prossimità dei tombini semicircolari e circolari posti in corrispondenza del rilevato autostradale e del tratto immediatamente a valle.

Nella Figura 4.3 si evidenzia la localizzazione geografica delle principali aree critiche rilevate nel corso delle simulazioni.

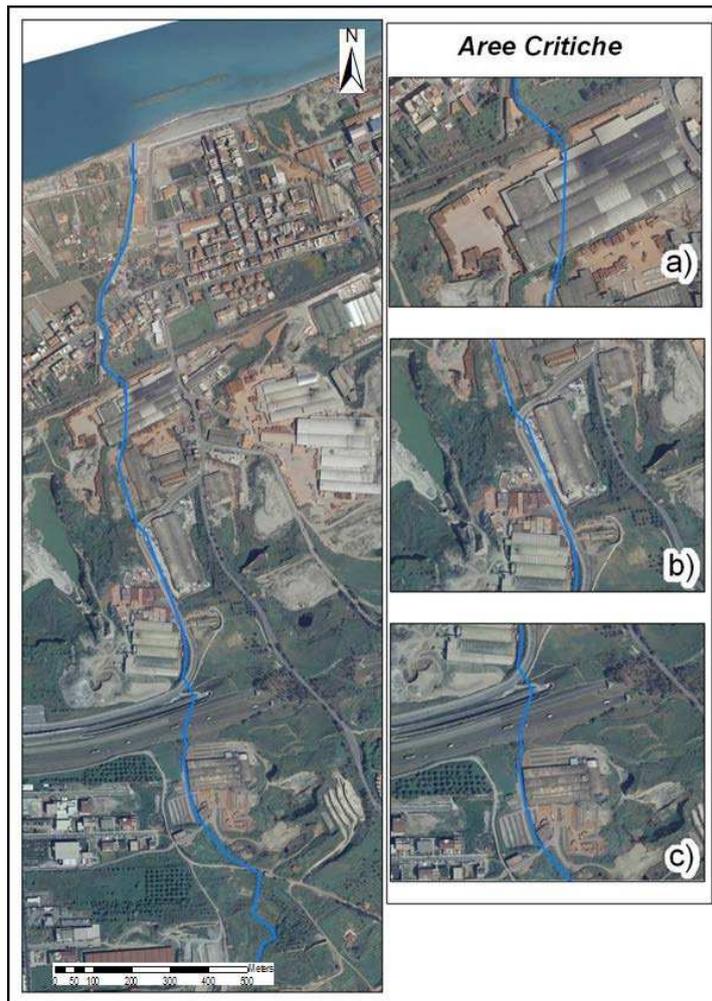


Figura 4.3 Aree critiche dal punto di vista idraulico del Torrente Caracciolo in condizioni ante-operam.

Nella Tabella 4.1 si riassumono i valori di franco valutati in corrispondenza dei singoli manufatti. In rosso sono evidenziati i valori critici del franco, ovvero quelli inferiori a 1 m o quelli "negativi", che in realtà indicano una esondazione del corso d'acqua, a causa dell'insufficienza della sezione. In particolare, si sono omessi i valori dei tiranti per i tempi di ritorno superiori a quelli per cui la sezione non verifica, in quanto privi di significato.

Tabella 4.I. Valori del franco in corrispondenza dei manufatti idraulici e di attraversamento presenti sul torrente Caracciolo al variare del tempo di ritorno in condizioni ante-operam (in rosso sono evidenziati i valori critici).

Franco [m]	Tr= 2 anni	Tr= 10 anni	Tr= 20 anni
P1_RC	-0.46		
P2_RC	1.55	0.9	
P3_RC	1.23	0.32	
T1_RC	2.41	1.46	1.05
T2_RC	1.19	0.11	-1.41
T3_RC	-1.53		
T4_RC	-0.69		
T5_RC	-0.54		
P4_RC	-1.82		
P5_RC	1.54	-4.51	

Dalle analisi dei risultati delle simulazioni, riportati in Tabella 4.I, si evince che, per portate caratterizzate da tempo di ritorno di 2 anni, vari manufatti, come i P1\_RC, T3\_RC, T4\_RC, T5\_RC e P4\_RC, appaiono insufficienti da un punto di vista idraulico. Inoltre, i manufatti P2\_RC, P3\_RC e P5\_RC manifestano delle criticità per tempi di ritorno di 10 anni, mentre i manufatti T1\_RC e T2\_RC non consentono il corretto deflusso delle acque con un adeguato franco di sicurezza per tempi di ritorno di 20 anni.

## 5 Verifiche idrauliche sul Torrente Caracciolo in condizioni post-operam

### 5.1 Opere previste da progetto

Le verifiche idrauliche di seguito riportate si riferiscono alle opere previste sul torrente Caracciolo descritte negli elaborati progettuali prodotti da Progeo e Hipro.

Le sistemazioni di seguito riportate sono state previste al fine di favorire da un punto di vista idraulico la realizzazione all'interno del bacino del torrente Caracciolo, del sito di deposito ambientale denominato SRA6.

Il progetto si compone delle seguenti opere di presidio idraulico (da valle verso monte):

- Opere di sistemazione delle sponde del corso d'acqua.
- Inalveazione di circa 270 metri di sviluppo a monte della cassa di espansione e sistemazione idraulica dell'alveo esistente del torrente Caracciolo (con parziale rettifica dell'asta in prossimità dell'imbocco nella cassa di espansione), mediante gabbionate metalliche intasate con pietrame scapolo;
- Cassa di espansione a monte dell'autostrada A20;
- Opere di regolazione della cassa di espansione, quali sfioratore di superficie, canale di restituzione, scarico di fondo, opere di imbocco;
- Canale in calcestruzzo 4.00x3.00 m da realizzare al di sotto della SP 58, per uno sviluppo complessivo di 373 m;

In particolare, la cassa d'espansione sarà costituita da:

- Argini in terra stabilizzata (Argilla – Calce), che saranno sempre, pressoché, incassati nel terreno, onde evitare la realizzazione di strutture pensili di notevole altezza;
- Sistema di scarichi di fondo senza regolazione, che consentiranno lo svuotamento della vasca durante i fenomeni meteorici.;
- Scarico di superficie, dimensionato per consentire l'allontanamento dell'intera portata al colmo, e quindi senza considerare il contemporaneo funzionamento dello scarico di fondo;
- Canale di restituzione delle acque sfiorate, che recapita nel manufatto d'imbocco del tombino autostradale.

Inoltre, è stata prevista una sistemazione delle aree prossime alla vasca per consentirne il posizionamento nel rispetto della morfologia dei luoghi e delle altre opere previste in progetto.

Nella Figura 5.1 si riportano la planimetria, la sezione di imbocco, la sezione di sbocco e la sezione trasversale della vasca di espansione.

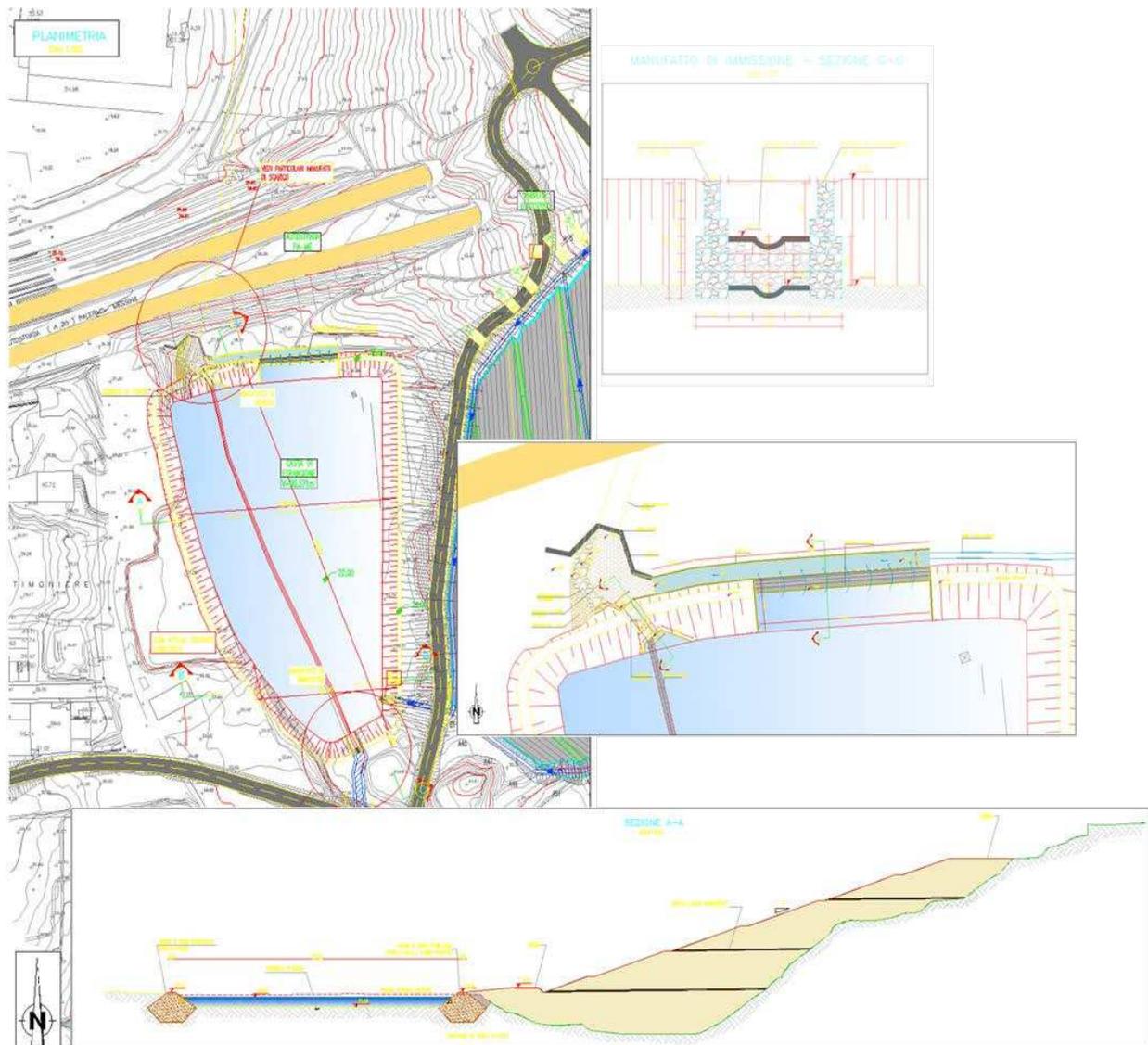


Figura 5.1 Planimetria, sezione di imbocco, sezione di sbocco e sezione trasversale di progetto della cassa di espansione (fonte: Progetto definitivo Ponte sullo stretto di Messina, Alternative ai siti di deposito).

Il volume utile stimato per la cassa d'espansione è di circa pari a  $90.371 \text{ m}^3$ , con una superficie minima di circa pari a  $21.000 \text{ m}^2$ , che si estende su un piano con quota pari a 22 m s.l.m.m.. La quota del coronamento è stata fissata pari a 28 m s.l.m.m., al fine di garantire un adeguato franco di sicurezza. Per lo scarico di fondo si prevede di realizzare due tubazioni affiancate di DN 1600, con una quota della generatrice inferiore all'imbocco pari a 22.50 m s.l.m.m. e una quota della generatrice inferiore dello sbocco pari a 22.20 m s.l.m.m.. Lo scarico di superficie ha una lunghezza totale pari a 51 m, una quota pari a 26.00 m s.l.m.m. e permette di smaltire una portata di  $87.37 \text{ m}^3/\text{s}$  con un tirante pari a 1.5 m.

## 5.2 Verifiche delle opere previste da progetto

Come già descritto, il progetto di sistemazione del Torrente Caracciolo prevede la realizzazione di una vasca di espansione per consentire la laminazione delle portate che defluiscono a valle dell'autostrada Messina-Palermo.

Di seguito verranno descritte le verifiche effettuate sullo scarico di fondo e sullo scarico di superficie a servizio della vasca, nonché sulla capacità della stessa vasca. In particolare, per quanto attiene alla verifica della cassa di espansione si è fatto riferimento al metodo delle sole piogge (C.S.D.U., 1997), al metodo di Modica (1996) e all'integrazione numerica dell'equazione dei serbatoi per due diversi idrogrammi di piena in ingresso (idrogramma triangolare e idrogramma trapezio).

Infine, le verifiche delle opere previste da progetto sono state condotte principalmente mediante il software numerico Hec-Ras, il quale ha permesso di valutare l'interazione del corso d'acqua con i manufatti previsti dal progetto stesso.

### 5.2.1 Verifica dello scarico di fondo

Il fondo della vasca di espansione è posto ad una quota pari a 22 m s.l.m.m.. La generatrice inferiore dell'imbocco del tubo è stata posizionata a 50 cm dal fondo della vasca (22.50 m.s.l.m.m.) mentre la generatrice inferiore delle tubazioni allo sbocco presentano una quota pari a 22.20 m.s.l.m. Per attraversare l'argine e giungere al suo recapito la condotta dovrà svilupparsi per circa 11,20 m.

La quota di massima regolazione, pari alla quota dello sfioratore di superficie, è pari a 26.00 m s.l.m.m..

Tabella 5.1. Caratteristiche geometriche dello scarico di fondo.

<i>Quota del fondo vasca</i>	<i>Z<sub>f</sub></i>	<i>22.0</i>	<i>m s.l.m.m.</i>
<i>Quota della generatrice inferiore tubo all'imbocco</i>	<i>Z<sub>i</sub></i>	<i>22.5</i>	<i>m s.l.m.m.</i>
<i>Quota della generatrice inferiore del tubo allo sbocco</i>	<i>Z<sub>s,gen.inf</sub></i>	<i>22.2</i>	<i>m s.l.m.m.</i>
<i>Quota d'invaso per il volume di progetto</i>	<i>h</i>	<i>26.0</i>	<i>m s.l.m.m.</i>
<i>Carico disponibile</i>	<i>H</i>	<i>3.0</i>	<i>m</i>
<i>Pendenza</i>	<i>i</i>	<i>2,5</i>	<i>%</i>
<i>Lunghezza della condotta</i>	<i>L</i>	<i>11,2</i>	<i>m</i>

La massima portata che può defluire attraverso lo scarico di fondo in condizioni di funzionamento ordinario della cassa di espansione, cioè senza che venga superata la massima quota di regolazione, può essere ricavata dal seguente bilancio energetico:

$$H = 0,5 \frac{v^2}{2g} + JL + \frac{v_c^2}{2g}$$

$$Q = vA$$

in cui:

- $H$  è il carico totale da dissipare [m];
- $v$  è la velocità di deflusso dell'acqua all'interno della tubazione [m/s];
- $g$  è l'accelerazione gravitazionale [m/s<sup>2</sup>];
- $J$  la cadente piezometrica [m/m];
- $L$  la lunghezza della condotta [m];
- $v_c$  è la velocità allo sbocco in atmosfera [m/s];
- $A$  è la sezione idrica [m<sup>2</sup>];

La cadente piezometrica può essere determinata utilizzando la relazione di Chezy:

$$J = \frac{v^2}{k_s^2 R^{4/3}}$$

dove:

- $k_s$  è il coefficiente di *Strickler* assunto pari a 60 m<sup>1/3</sup>/s;
- $R=A/P$  è il raggio idraulico [m];
- $P$  è il contorno bagnato [m].

Risolvendo le citate equazioni rispetto alla portata si ricava che la massima portata che complessivamente può transitare nelle scarico di fondo in condizioni di funzionamento ordinario della vasca è pari a 23,6 m<sup>3</sup>/s.

### 5.2.2 Verifica dello sfioratore della cassa di espansione

Il serbatoio di piena sarà dotato di uno sfioratore libero di superficie capace di allontanare le portate eventualmente eccedenti la capacità d'invaso del serbatoio stesso. Tale sfioratore ha il compito di smaltire un'eventuale piena che giungesse all'invaso, a lago già pieno, e quindi riveste un compito di importanza essenziale per la sicurezza idraulica dell'impianto, dati i pericoli cui darebbe luogo un'eventuale tracimazione delle acque.

Il progetto prevede:

- quota dello sfioratore pari a 26.00 m s.l.m.;
- quota di massima ritenuta nel serbatoio pari a 27.00 m s.l.m.;
- lunghezza dello sfioratore a stramazzo 33.5 m.

La portata effluente da tale sfioratore può essere determinata dalla relazione:

$$Q = \mu \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$$

Ove:

- $\mu$  è il coefficiente di efflusso dello sfioratore posto pari a 0.385 (larga soglia);
- $L$  è la lunghezza dello sfioratore in metri;
- $h$  è il carico sullo stramazzo in metri;
- $g$  è l'accelerazione gravitazionale pari a 9.81 m/s<sup>2</sup>.

In particolare, considerando il serbatoio invaso fino alla quota di massimo invaso e trascurando il contributo dello scarico di fondo (comunque previsto sempre aperto) per l'allontanamento delle acque, si ottiene una portata pari a 87 m<sup>3</sup>/s, per cui lo sfioratore è capace di smaltire portate caratterizzate da un tempo di ritorno sostanzialmente pari a 300 anni.

Il flusso sfiorato sarà restituito in alveo per mezzo di un canale che si sviluppa a tergo della vasca e che raggiunge il tombino di attraversamento dell'autostrada A20. Tale canale, realizzato in calcestruzzo armato, avrà sezione rettangolare 4.00 m x 3.00 m e una pendenza del 4%.

Al fine di verificare la sezione del canale si è considerato un regime di moto uniforme. Sotto tale ipotesi deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$Q = A \frac{1}{m} R^{2/3} i^{1/2}$$

in cui:

$Q$  è la portata;

$A = B h$  è la sezione idrica;

$B$  è la larghezza del canale pari a 4 m;

$h$  è il tirante idrico;

$R = A/P$  è il raggio idraulico;

$P = (B + 2 \cdot h)$  è il perimetro bagnato;

$i$  è la pendenza del canale;

$m$  è il coefficiente di scabrezza di Manning assunto pari a 0.015 s/m<sup>1/3</sup>.

In particolare, considerando una portata  $Q = 87.37$  m<sup>3</sup>/s, corrispondente al  $T_r = 300$  anni, si ricava un tirante pari a 1.73 m che assicura un franco di circa 1.27 m.

Tuttavia è bene precisare che le portate in uscita verranno immesse nuovamente nell'asta del Torrente Caracciolo, a monte del rilevato autostradale e, dunque, il deflusso delle portate verso valle avverrà con le condizioni imposte dalle condizioni dell'alveo.

## 5.2.3 Verifica del volume della cassa d'espansione

### 5.2.3.1 Metodologie adottate

Come già accennato, la verifica del dimensionamento della cassa di espansione è stata condotta applicando due diverse metodologie: la prima è basata solo sull'analisi delle piogge sul bacino e sull'ipotesi di portata uscente costante; la seconda (Modica, 1996) considera una variabilità nel tempo sia delle piogge sia delle portate in uscita.

#### Metodo delle sole piogge

Il metodo basato sull'analisi delle sole piogge fornisce una valutazione del volume d'invaso della vasca sulla base della sola curva di probabilità pluviometrica e della portata massima, ipotizzata costante, che si vuole in uscita dalla vasca medesima. Quindi, con tale metodo si trascurano sia gli effetti legati ai tempi di corrivazione del bacino sia, soprattutto, la variabilità temporale delle portate in uscita dalla vasca.

La *durata critica della pioggia*  $\theta_w$ , ovvero quella durata per cui, a parità di periodo di ritorno e di portata in uscita, si ha l'idrogramma entrante che richiede il massimo volume d'invaso (vedere Figura 5.2) è data dall'espressione che segue:

$$\theta_w = \left( \frac{Q_u}{S \cdot a \cdot \varphi \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}, \quad (5.1)$$

in cui  $S$  e  $\varphi$  sono rispettivamente l'area della superficie della vasca e il coefficiente di afflusso del bacino sotteso dalla vasca,  $a$  ed  $n$  sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica corrispondenti al periodo di ritorno fissato.

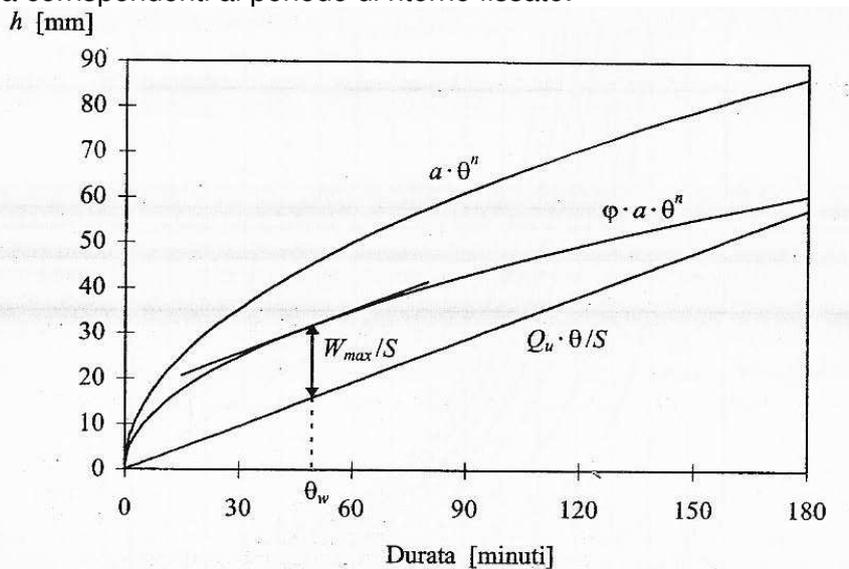


Figura 5.2 Determinazione della durata critica e del corrispondente volume della vasca sulla base della sola curva di possibilità pluviometrica (C.S.D.U., 1997).

Il volume utile minimo  $W_m$  da assegnare alla vasca, è dato dalla differenza fra il volume in ingresso e il volume in uscita:

$$\begin{aligned}
 W_m &= S \cdot \varphi \cdot a \cdot \theta_w - Q_u \cdot \theta_w = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left( \frac{Q_u}{S \cdot a \cdot \varphi \cdot n} \right)^{\frac{1+(n-1)}{n-1}} - Q_u \left( \frac{S \cdot a \cdot \varphi \cdot n}{Q_u} \right)^{\frac{1}{n-1}} = \\
 &= S \cdot \varphi \cdot a \cdot \frac{Q_u}{S \cdot a \cdot \varphi \cdot n} \left( \frac{Q_u}{S \cdot a \cdot \varphi \cdot n} \right)^{\frac{1}{1-n}} - Q_u \left( \frac{S \cdot a \cdot \varphi \cdot n}{Q_u} \right)^{\frac{1}{1-n}} = Q_u \theta_w \left( \frac{1}{n} - 1 \right)
 \end{aligned} \quad (5.2)$$

#### Metodo di Modica (1996)

La metodologia proposta da Modica (1996) si basa sull'ipotesi che la portata in ingresso e la portata uscente siano variabili nel tempo. In particolare, la portata in ingresso è derivante da una pioggia caratterizzata da un idetogramma di tipo Chicago (Keifer e Chu, 1957), mentre la portata in uscita è variabile in funzione del battente sulla luce ed è definita dalla seguente relazione:

$$Q_u = \mu_f A_f \sqrt{2gH_f} = \gamma H_f^\beta$$

dove  $\mu_f$  è il coefficiente di efflusso,  $A_f$  la superficie della luce,  $H_f$  è il tirante idrico sulla luce.

La metodologia permette il dimensionamento della vasca mediante l'utilizzo dei grafici riportati in Figura 5.3 secondo la seguente procedura:

- 1) Stimato il tempo di corrivazione  $t_c$  del bacino, si calcolano la portata al colmo del metodo della corrivazione  $Q_c$  e il volume  $W_c$ :

$$Q_c = \varphi \cdot S \cdot a \cdot t_c^{n-1}$$

$$W_c = Q_c t_c$$

- 2) Si calcola il rapporto  $q_t = Q_{u,max}/Q_c$ , con  $Q_{u,max}$  massima portata ammessa in uscita;
- 3) Dal grafico competente al caso, si legge il valore di  $w = W/W_c$ ;
- 4) Il volume da assegnare alla vasca è quindi  $W = wW_c$ ;
- 5) Nei casi di portata variabile si può dimensionare la luce, secondo la procedura seguente:
  - a. Dal competente grafico si individua il valore del parametro  $\lambda$  corrispondente al valore di  $q_t$  calcolato;
  - b. Si calcola la grandezza  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{\lambda W_0^\mu}{t_c^\mu Q_c^\mu}$$

- c. Tenuto conto dell'espressione di  $\gamma$ , si può calcolare l'area della sezione del

foro (luce a battente) o la larghezza dello sfioratore.

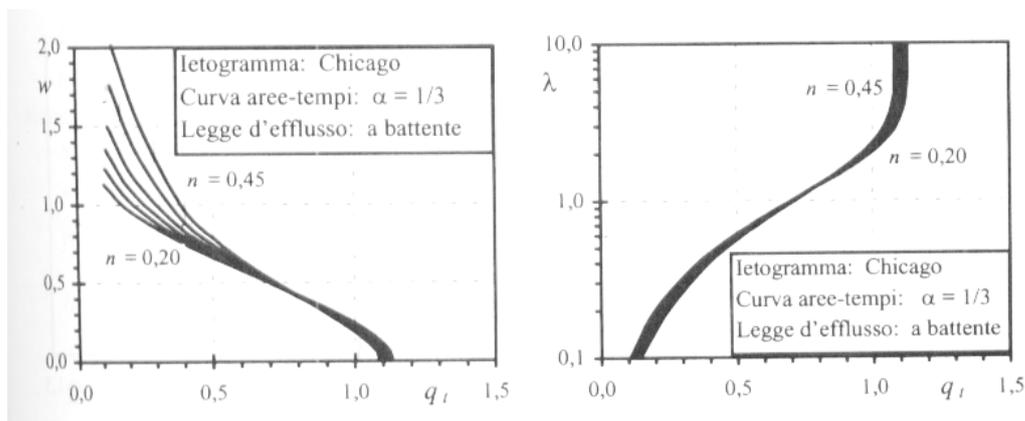


Figura 5.3 Normogrammi per il dimensionamento di una vasca volano con idrogramma entrante a portata variabile e idrogramma uscente a portata variabile [Modica, 1996]

#### *Integrazione numerica dell'equazione dei serbatoi*

L'equazione dei serbatoi fornisce la variazione dei volumi all'interno di un serbatoio  $dW$  nell'intervallo di tempo  $dT$  in funzione della portata in ingresso al serbatoio  $Q_e$  e di quella in uscita  $Q_u$  dallo stesso secondo la relazione:

$$dW=(Q_e-Q_u)xdT$$

La portata entrante nel serbatoio è rappresentata da un idrogramma relativo alla sezione di ingresso al serbatoio.

La portata in uscita è variabile in funzione del battente sulla luce e definita dalla seguente relazione:

$$Q_u = \mu_f A_f \sqrt{2gH_f}$$

dove  $\mu_f$  è il coefficiente di efflusso,  $A_f$  la superficie della luce,  $H_f$  è il tirante idrico sulla luce.

Tale metodo richiede la scelta di un idrogramma in ingresso. Nel caso in esame si sono adottati due idrogrammi: un idrogramma triangolare con tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino; un idrogramma trapezio con un tempo di pioggia pari a due volte il tempo di corrivazione del bacino.

#### **5.2.3.2 Analisi dei risultati**

Come già detto, per la vasca di espansione in progetto, si è ipotizzato un volume utile di circa 90.000 m<sup>3</sup> con una portata uscente massima pari a 23.60 m<sup>3</sup>/s, determinata considerando un tirante di 4 m sulle luci a battente previste come scarichi di fondo.

Al fine di verificare le sopra citate dimensioni utilizzando il metodo delle sole piogge e

noto il volume della vasca si ottiene un tempo di ritorno di circa 80 anni e un tempo critico di 0.66 ore. Tuttavia tale valore è il risultato di una ipotesi poco cautelativa, ossia quella dovuta alla portata in uscita costante.

Al fine di rimuovere indicazioni sull'effettivo tempo di ritorno degli eventi per cui la vasca offre protezione al territorio ad essa sottostante è stato applicato il metodo di Modica (1996), considerando diversi valori di portata ingresso corrispondenti a diversi tempi di ritorno. Nella Tabella 5.II si riportano: il tempo di ritorno  $T_r$ , il volume della vasca  $W$ , il rapporto tra la portata in uscita e quella in ingresso  $q_t$  e il rapporto tra il volume della vasca e del volume di pioggia ingresso  $w$ .

Tabella 5.II. Metodo di Modica (1996): tempo di ritorno, volume della cassa di espansione, rapporto tra la portata in uscita e quella in ingresso e rapporto tra il volume della vasca e del volume di pioggia ingresso.

$T_r$ [anni]	$W$ [ $10^3 m^3$ ]	$q_t$	$w$
30	80.7	0.50	0.75
35	88.2	0.48	0.78
40	95.2	0.46	0.81

Dalla Tabella 5.II emerge che il tempo di ritorno a cui corrisponde un volume prossimo a quello previsto per la vasca di espansione è di circa 35 anni.

Infine, l'integrazione numerica dell'equazione dei serbatoi è stata condotta ipotizzando due diversi idrogrammi in ingresso al serbatoio. Il primo idrogramma considera una durata della pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino, ottenendo in tal modo un idrogramma di forma triangolare con durata complessiva pari a due volte il tempo di corrivazione del bacino. Il secondo idrogramma considera una durata della pioggia pari a due volte il tempo di corrivazione del bacino, ottenendo in tal modo un idrogramma di forma trapezoidale con durata complessiva pari a tre volte il tempo di corrivazione del bacino. L'applicazione del citato metodo ha suggerito che nel caso del primo idrogramma si ricava che la vasca consente di laminare idrogrammi con portate al colmo con un tempo di ritorno pari 50 anni, mentre nel caso del secondo idrogramma si ricava che la vasca consente di laminare idrogrammi con portate al colmo con un tempo di ritorno pari a circa 10 anni. Dalla Figura 5.4 alla Figura 5.7 sono riportati gli idrogrammi in entrata e in uscita dal serbatoio e l'andamento dei volumi nel serbatoio nel tempo.

Tuttavia è bene chiarire che tale condizione non rappresenta il tempo di ritorno corrispondente alle condizioni di protezione che il serbatoio esercita sul territorio.

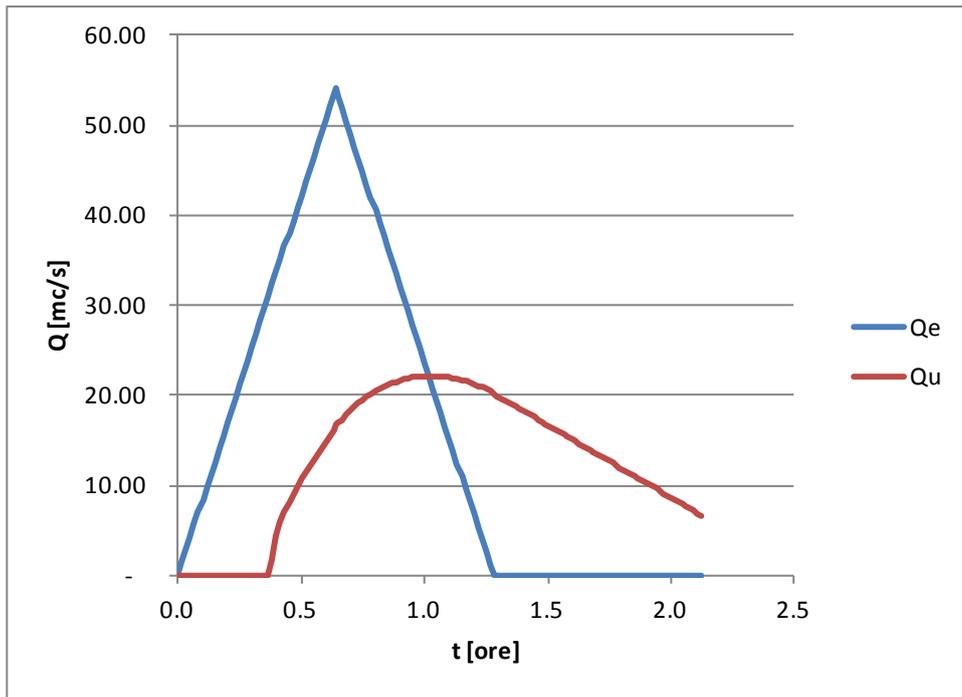


Figura 5.4 Idrogrammi in ingresso e in uscita dal serbatoio: durata della pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino –  $Tr(Q_{max})=50$  anni

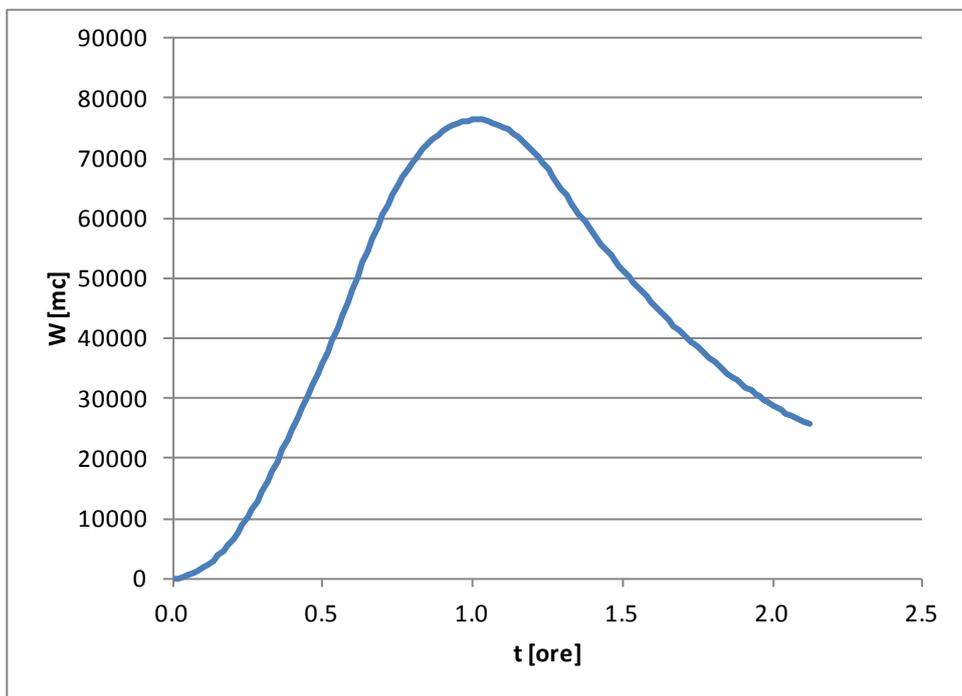


Figura 5.5 Andamento temporale del volume invasato nel serbatoio di laminazione: durata della pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino –  $Tr(Q_{max})=50$  anni

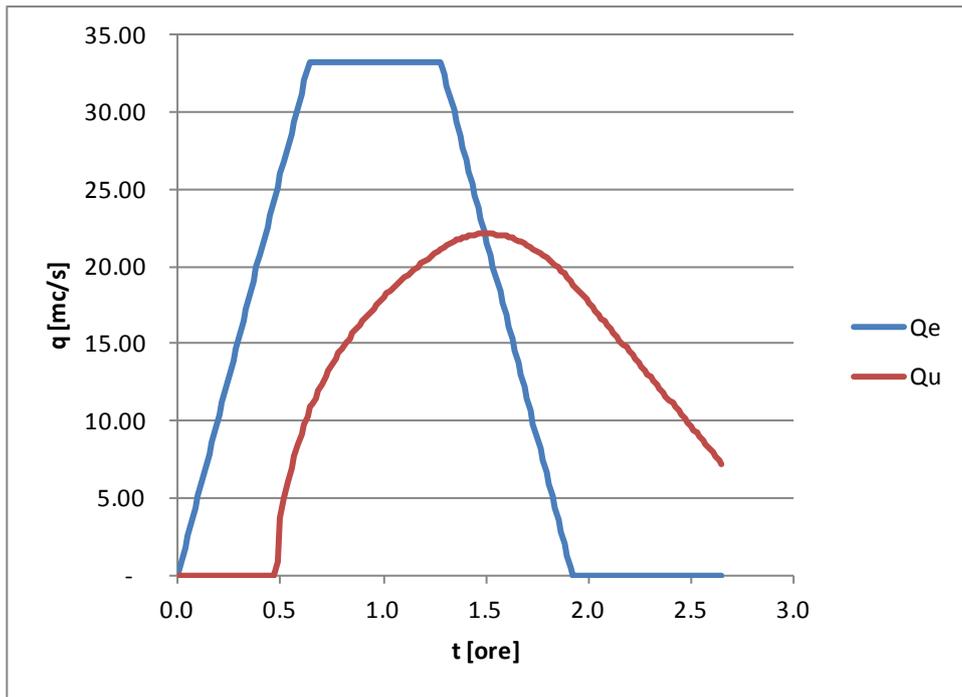


Figura 5.6 Idrogrammi in ingresso e in uscita dal serbatoio: durata della pioggia pari a due volte il tempo di corrivazione del bacino –  $Tr(Q_{max})=10$  anni

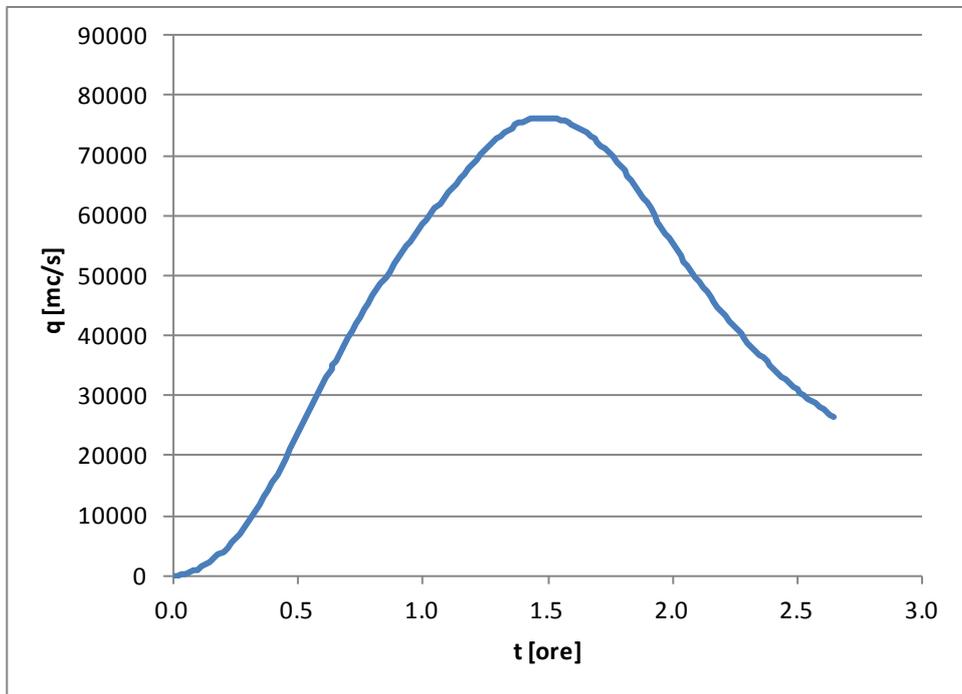


Figura 5.7 Andamento temporale del volume invasato nel serbatoio di laminazione: durata della pioggia pari a due volte il tempo di corrivazione del bacino –  $Tr(Q_{max})=10$  anni

In conclusione, appare importante ribadire che la vasca così dimensionata è in grado di garantire una portata massima scaricata a valle inferiore o uguale a  $23.60 \text{ m}^3/\text{s}$  con un tempo di ritorno di circa 35 anni. Eventi di precipitazione con tempi di ritorno maggiori non precluderebbero comunque la funzionalità dell'opera (il cui scarico di superficie è dimensionato per una portata con tempi di ritorno pari a 300 anni), ma comporterebbero portate scaricate a valle superiori a  $23.60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **5.3 Simulazione idraulica del torrente Caracciolo in condizioni post-operam**

Come per la simulazione in condizioni ante-operam, anche la simulazione idraulica in condizioni post-operam dell'alveo è stata effettuata adottando il modello numerico unidimensionale HEC-RAS in condizioni di moto permanente.

Sono stati considerati come input i valori di portata corrispondenti a diversi tempi di ritorno ( $T_r = 2, 10, 30, 50, 100$  e  $200$  anni), ricavati dalle analisi idrologiche anzi descritte. La portata corrispondente a un tempo di ritorno di 300 anni, a differenza della condizione ante-operam, non è stata considerata coerentemente con le specifiche tecniche di Ponte sullo Stretto, le quali indicano 200 anni come tempo di ritorno di riferimento per la progettazione di opere fluviali.

Considerate le caratteristiche del torrente si sono imposte le seguenti condizioni al contorno:

- Altezza sezione di monte: pari all'altezza di moto uniforme;
- Quota del pelo libero alla sezione di valle: pari a  $0 \text{ m s.l.m.m.}$  (in corrispondenza della foce);
- Tipo di moto: misto (correnti lente e veloci).

Per quanto concerne i coefficienti di Manning  $n$  si sono considerate quattro principali tipologie di fondo e sponde dell'alveo, facendo riferimento ai seguenti valori (Rossi e Salvi, 1986):

- pareti di cemento in non perfette condizioni, pareti in muratura:  $0.015 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- pareti in pietrame  $0.018 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- terra in cattive condizioni, corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia:  $0.030 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Canali in abbandono con grande vegetazione, corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiale sul fondo:  $0.055 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Per simulare l'effetto di laminazione delle portate della cassa di espansione nel modello monodimensionale considerato si è considerata una discontinuità della portata in corrispondenza della cassa di espansione. In particolare, si è fissata a monte della cassa stessa una portata pari ai valori riportati in Tabella 3.IV, mentre a valle della stessa si è

fissata una portata di 23.60 m<sup>3</sup>/s a cui si è sommato il contributo del sottobacino a valle del rilevato autostradale. Inoltre, per i tempi di ritorno superiori a 30 anni si ipotizza che la cassa d'espansione sia colma, quindi il valore di portata massima è stato applicato su tutto il torrente.

Nella Tabella 6.III si riportano le portate applicate nelle simulazioni condotte sul torrente Caracciolo. In particolare, nella Tabella 6.III si sono distinte tre zone (a monte della cassa di espansione, Zona 1; a valle della cassa di espansione, Zona 2, e a valle del tombino autostradale, Zona 3) e per ognuna di esse si riporta il valore della portata applicata al variare del tempo di ritorno.

Tabella 5.III. Portate applicate ai vari tratti del torrente Caracciolo in condizioni post-operam

Q [m <sup>3</sup> /s]	Tr=2anni	Tr=10anni	Tr=30anni	Tr=50anni	Tr=100anni	Tr=200anni
Zona 1	16.81	33.23	46.70	54.04	65.37	78.60
Zona 2	16.81	23.60	23.60	54.04	65.37	78.60
Zona 3	18.63	27.21	28.67	59.90	72.46	87.13

Nella Figura 5.8 si riporta il profilo longitudinale di progetto per il torrente Caracciolo.

Dalla Figura 5.9 alla Figura 5.11 si riportano i profili longitudinali della superficie libera ottenuti dalla simulazione, per i diversi tempo di ritorno.

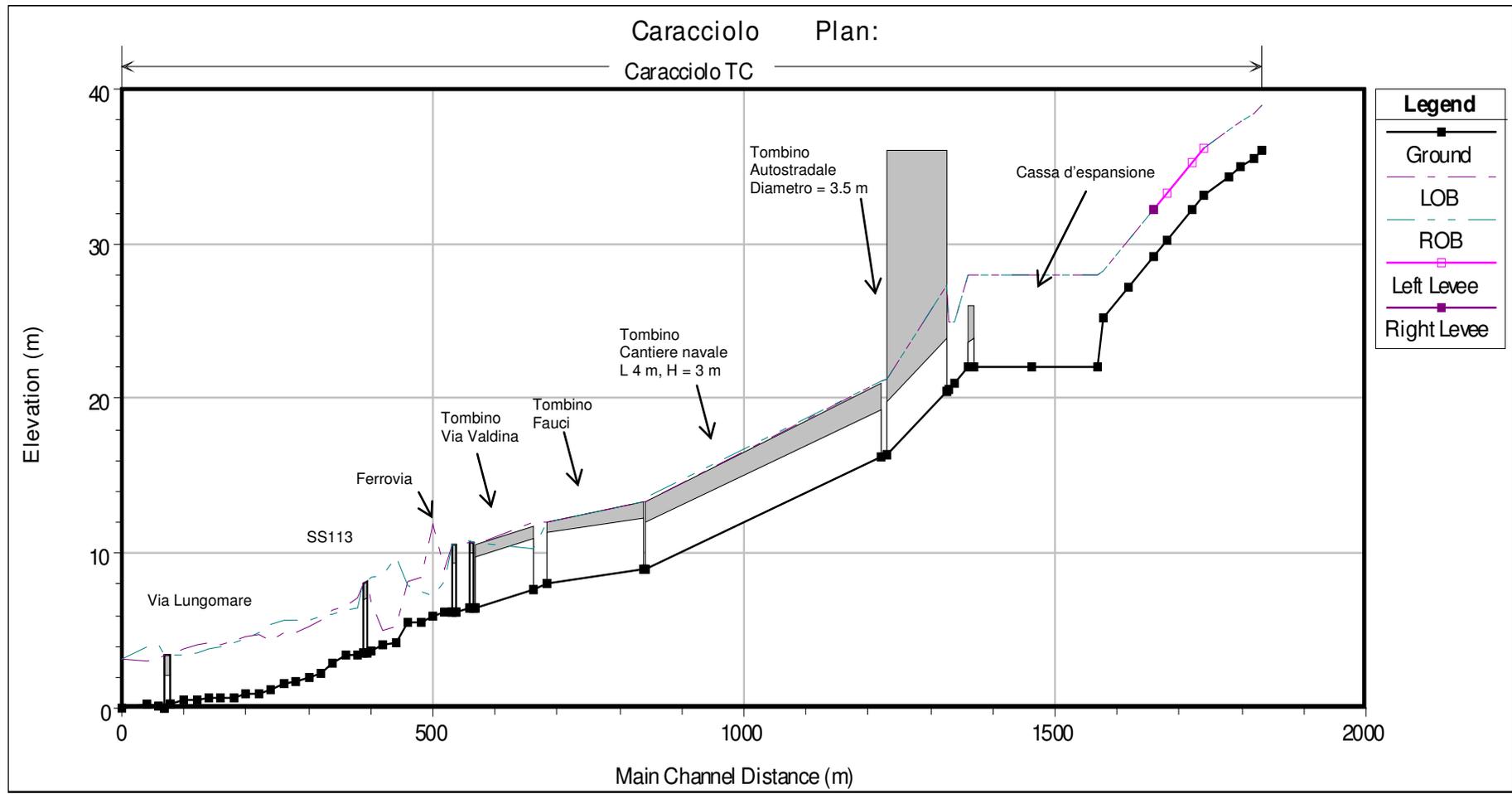


Figura 5.8 Profilo longitudinale di progetto del Torrente Caracciolo utilizzato per la modellazione idraulica (in condizioni post-operam).

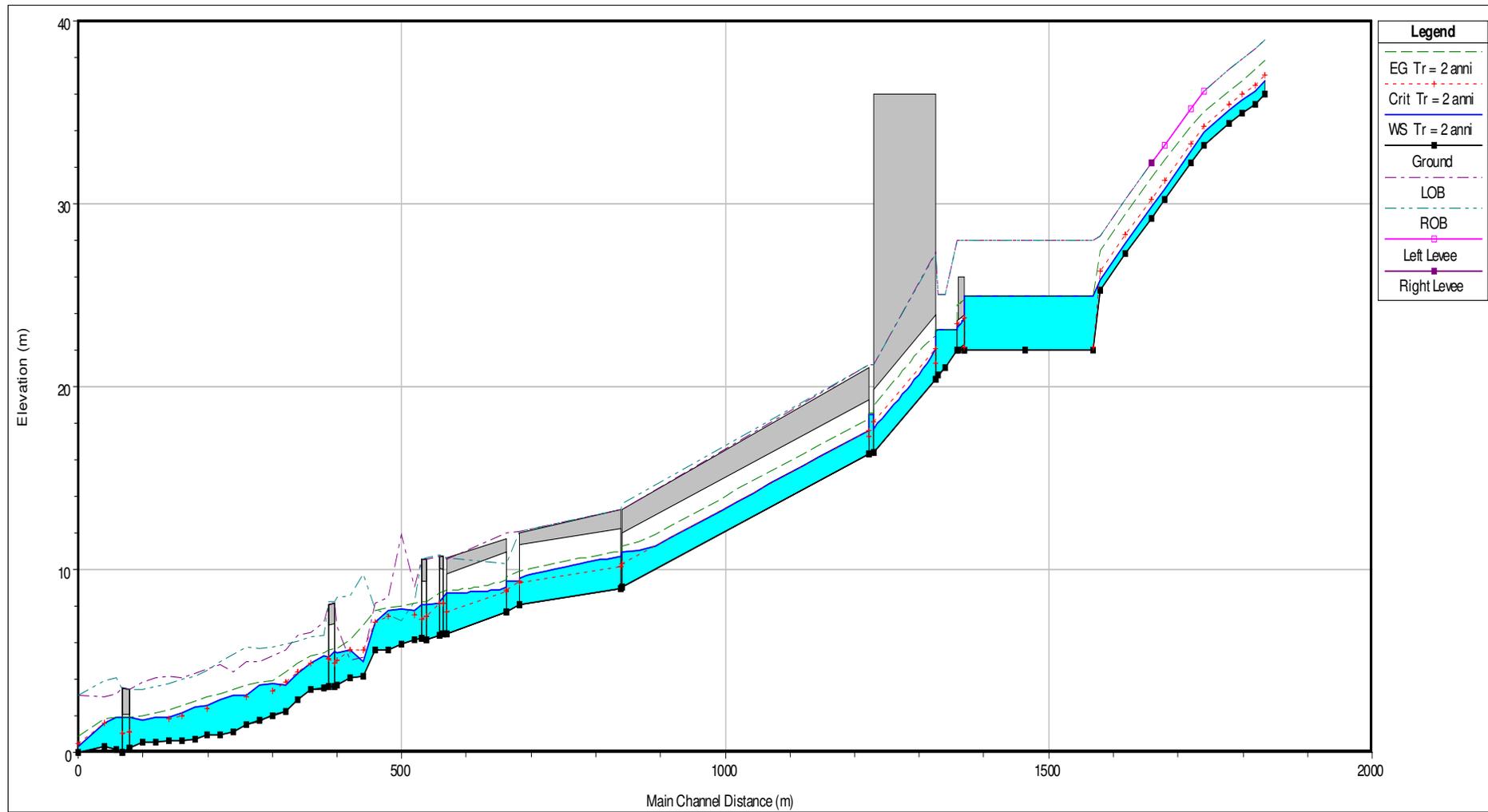


Figura 5.9. – Profilo longitudinale del pelo libero del torrente Caracciolo in corrispondenza di una portata di  $Tr = 2$  anni (condizioni post-operam).

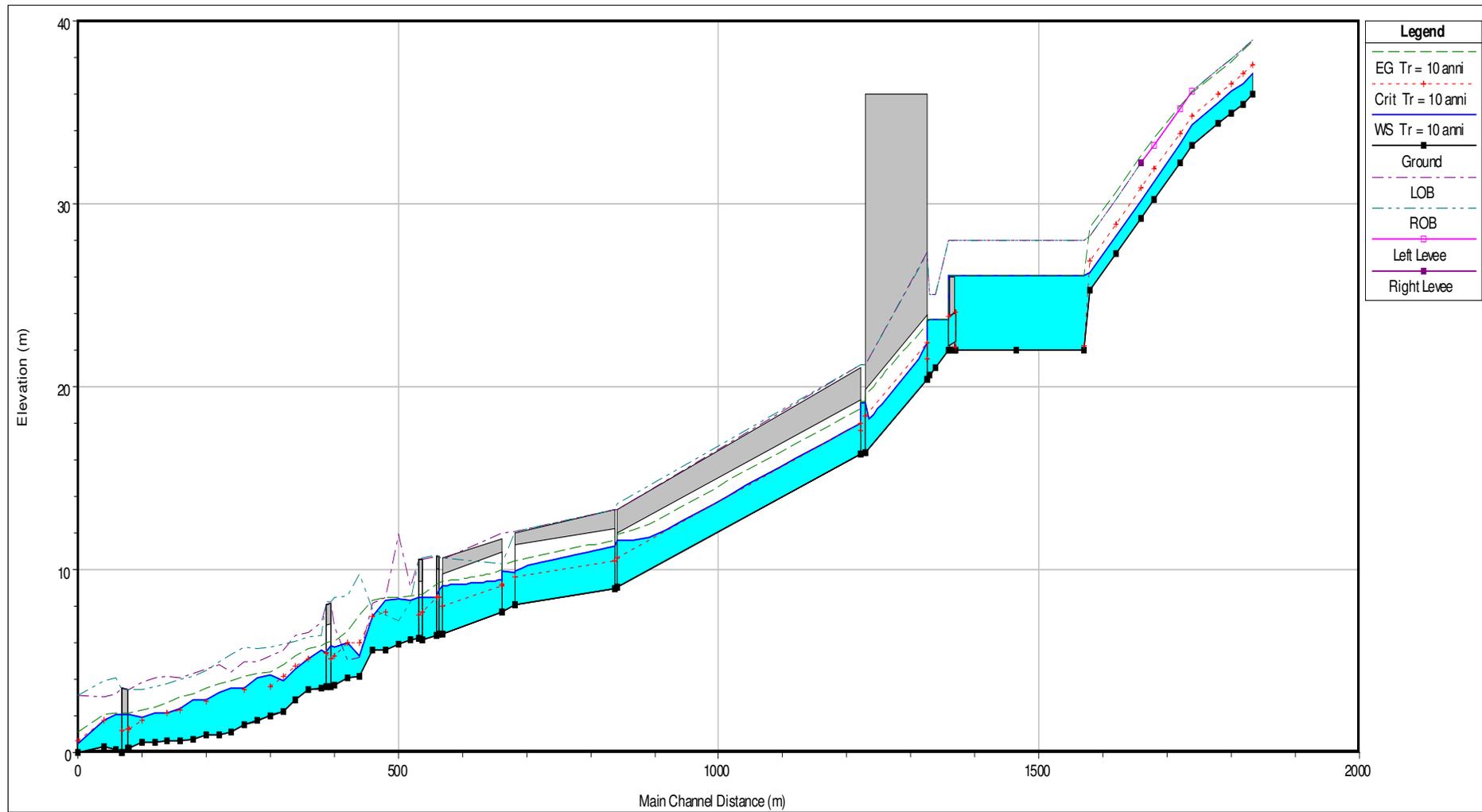


Figura 5.10. – Profilo longitudinale del pelo libero del torrente Caracciolo in corrispondenza di una portata di  $Tr = 10$  anni (condizioni post-operam).

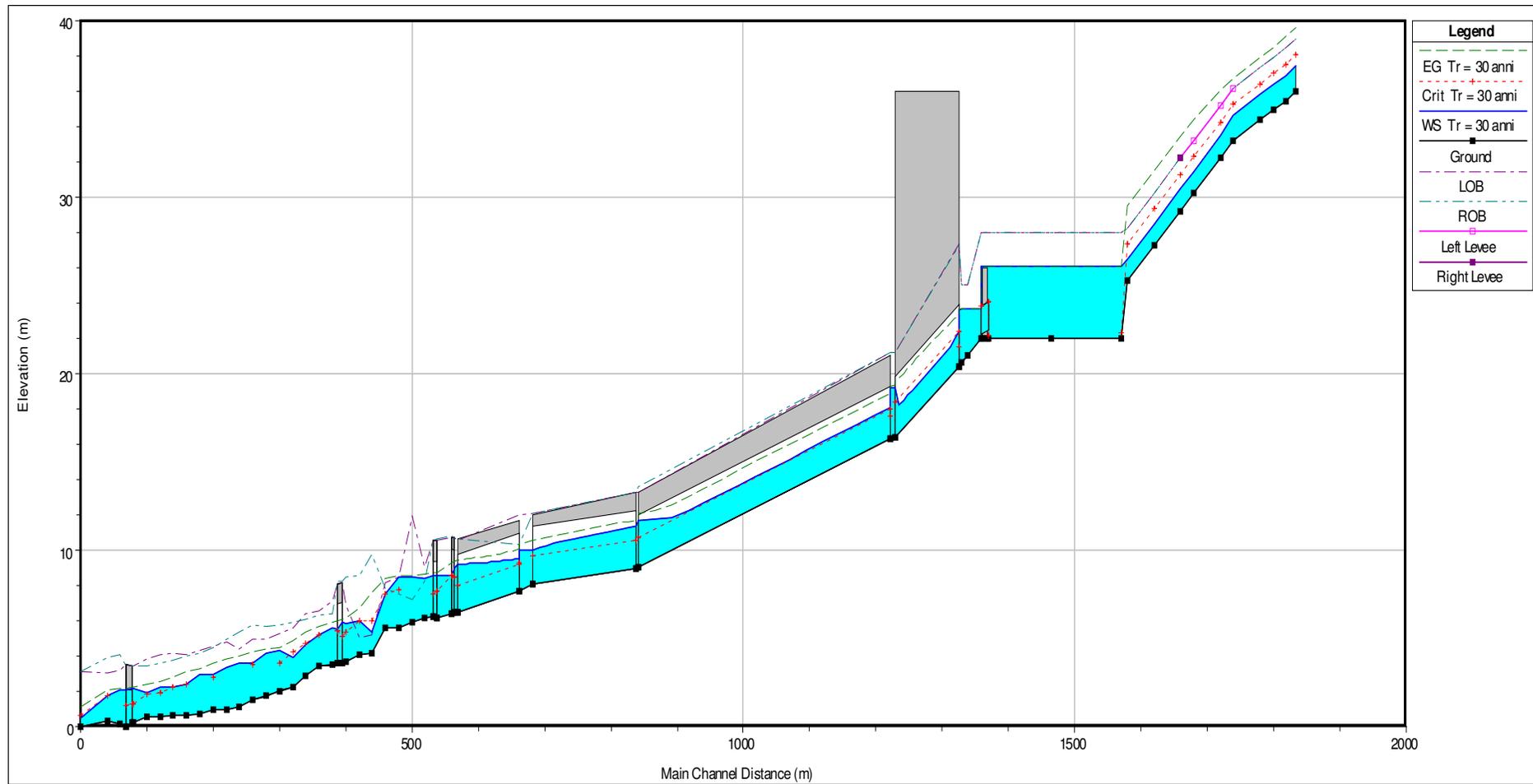


Figura 5.11. – Profilo longitudinale del pelo libero del torrente Caracciolo in corrispondenza di una portata con  $Tr=30$  anni (condizioni post-operam).

## 6 Analisi dei risultati e conclusioni

Lo studio condotto ha riguardato la verifica idraulica del torrente Caracciolo nella sua configurazione attuale e in quella prevista a seguito della realizzazione delle opere previste nel progetto definitivo del collegamento stabile tra la Sicilia e il Continente. In particolare, le sistemazioni idrauliche sullo stesso torrente integrano la previsione progettuale di realizzare il sito di recupero ambientale denominato SRA6.

Lo studio è stato condotto effettuando preliminarmente un accurato sopralluogo dei tratti di torrente interessati direttamente o indirettamente dalle opere previste, conducendo un rilievo dei principali manufatti idraulici, che ha consentito l'individuazione di due sezioni di interesse ai fini della determinazione delle portate da assumere alla base della verifica. Alla luce delle modeste superfici dei bacini sottesi, tali portate sono state valutate al variare del tempo di ritorno mediante la formula di Turazza, a partire dai dati pluviometrici delle stazioni di Calvaruso e Monforte appartenenti alla Rete dell'Osservatorio dell'Acque.

Le verifiche dei deflussi sono state condotte in moto permanente mediante il software Hec-Ras. La scelta di utilizzare la modellazione in moto permanente è coerente allo scopo dello studio che vuole verificare le condizioni di deflusso all'interno dell'alveo del torrente in oggetto e non già verificare le eventuali zone interessate da esondazione.

La simulazione idraulica del Torrente Caracciolo in condizioni ante-operam, ha evidenziato che, a causa della presenza di tratti di alveo caratterizzati da sezioni particolarmente ridotte, il sistema di deflusso delle acque entra in crisi già per tempi di ritorno ridotti, pari a circa a 2 anni, ossia ben al di sotto di quanto la buona pratica progettuale imporrebbe per la difesa idraulica dei centri abitati attraversati dal citato torrente.

La verifica delle condizioni post-operam è stata effettuata considerando le diverse opere di sistemazione dell'alveo previste in progetto, nonché la presenza di una vasca di espansione.

La verifica dello scarico di fondo della vasca di espansione ha suggerito che la massima portata che può defluire attraverso lo stesso scarico in condizioni di funzionamento ordinario, cioè invasando al più fino alla quota dello scarico di superficie, è pari a 23,6 m<sup>3</sup>/s.

La verifica condotta sullo sfioratore di superficie ha portato a determinare che lo stesso può garantire lo smaltimento fino a portate con tempo di ritorno sostanzialmente pari a 300 anni.

La verifica del volume della vasca di espansione è stata condotta con l'obiettivo di valutare il tempo di ritorno di eventi pluviometrici tali da comportare il rilascio a valle di una portata superiore a quella massima scaricabile attraverso gli scarichi di fondo. A tal

fine si sono considerati due metodi ed in particolare il metodo semplificato c.d. delle sole piogge (C.S.D.U., 1997), e il metodo più aderente alle condizioni di reale funzionamento della vasca proposto da Modica (1996). Tale verifica è stata altresì integrata da una simulazione della risposta della vasca in corrispondenza a due eventi di precipitazione di durata pari rispettivamente ad una volta e due volte il tempo di corrivazione del bacino a monte.

L'applicazione dei due metodi di verifica ha messo in evidenza che la vasca è in grado di scaricare una portata massima pari a  $23.60 \text{ m}^3/\text{s}$  con tempi di ritorno variabili tra 35 e 80 anni circa, in funzione del metodo adottato, più o meno cautelativo.

L'integrazione numerica dell'equazione dei serbatoi è stata condotta per due diversi idrogrammi. Il primo con durata della pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino e il secondo con una durata della pioggia pari a due volte il tempo di corrivazione del bacino. Nel primo caso si è verificato che il serbatoio consente di laminare idrogrammi con portata al colmo corrispondente a un tempo di ritorno pari a 50 anni, mentre nel secondo caso consente di laminare portate al colmo corrispondenti a tempi di ritorno pari a circa 10 anni.

Al fine di rimuovere l'aleatorietà della scelta dell'idrogramma e fornire indicazioni sull'effettivo tempo di ritorno degli eventi per cui la vasca offre protezione al territorio ad esso sottostante è stato applicato il metodo di Modica (1996).

La simulazione idraulica del corso d'acqua in condizioni post-operam è stata quindi condotta ipotizzando la presenza della vasca di espansione. In particolare, con tempi di ritorno inferiori o uguali a 35 anni, si è considerata la presenza della vasca ipotizzando un rilascio pari a  $23.60 \text{ m}^3/\text{s}$ , corrispondente alla massima portata che può defluire dagli scarichi di fondo. Per tempi di ritorno maggiori, a vantaggio di sicurezza, si è considerata che la vasca si riempia completamente, dando luogo ad una portata scaricata a valle uguale a quella in ingresso.

I risultati della simulazione idraulica in condizioni post-operam hanno evidenziato che per tempi di ritorno inferiori a 50 anni, le opere previste in progetto sono in grado di fare defluire in sicurezza le portate, mentre per tempi di ritorno maggiori, permangono alcune criticità idrauliche. E' opportuno rilevare, tuttavia, che il confronto tra condizioni ante-operam e post-operam evidenzia un considerevole aumento del tempo di ritorno cui corrispondono criticità idrauliche, e che pertanto può concludersi che le opere previste determinano una significativa mitigazione del rischio idraulico oggi presente nelle aree ricadenti nel bacino del torrente Caracciolo.

## **7 Bibliografia**

C.S.D.U. (1997). Sistemi di fognatura, manuale di progettazione, Hoepli, Milano.

Keifer C.J., Chu H.H. (1957). Synthetic Storm Pattern for Drainage Design, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, vol. 83, n. HY4.

Modica C. (1996). Il dimensionamento delle vasche volano per piogge di intensità variabile e per diversi dispositivi di scarico, Atti del XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 16-18 settembre, vol. 3, pp 191-204.

Rossi F. e Salvi F. (1986), Manuale di Ingegneria Civile, Cremonese, Roma

## Appendice A–Tabelle riassuntive dei parametri idraulici delle simulazioni effettuate ante-operam

Di seguito si riportano i parametri idraulici ottenuti dalle simulazioni, dove i simboli indicano:

**River Sta:** nome della sezione; **Q Total:** portata totale che defluisce attraverso la sezione; **Min Ch El:** elevazione rispetto la quota del mare del fondo; **W.S. Elev.:** elevazione rispetto la quota del mare del pelo libero; **E.G. Elev.** elevazione rispetto la quota del mare dell'energia; **Vel Chnl:** velocità delle acque; **Flow Area** : superficie idraulica; **Top Width:** larghezza in superficie, **Froude # Chl:** numero di Froude.

Torrente Caracciolo – tempo di ritorno di 2 anni										
River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2318.256	16.81	46.24	47.18	47.39	47.96	0.0300	3.9	4.31	5.61	1.42
2300.207	16.81	45.28	46.53	46.93	47.44	0.0307	4.23	3.97	4.72	1.47
2280.248	16.81	44.02	45.24	45.66	46.58	0.0478	5.12	3.28	3.72	1.74
2260.248	16.81	43.37	44.73	45.08	45.77	0.0344	4.53	3.71	4.02	1.5
2240.248	16.81	43.02	44.03	44.34	45.05	0.0409	4.47	3.76	5.31	1.7
2220.248	16.81	42.42	43.24	43.52	44.16	0.0462	4.24	3.96	7	1.8
2200.251	16.81	41.94	43.26	43.38	43.67	0.0140	3	7.61	18.24	1.01
2180.251	16.81	41.43	42.38	42.59	43.11	0.0394	4.2	6	18.92	1.65
2160.259	16.81	41.23	42.34	42.34	42.64	0.0125	2.88	8.37	12.77	0.97
2140.262	16.81	40.92	41.96	41.96	42.3	0.0136	2.93	7.45	10.53	1.03
2120.261	16.81	40.49	41.66		41.74	0.0033	1.59	16.81	25.31	0.52
2100.266	16.81	40.19	41.49		41.62	0.0050	1.98	13.46	20.91	0.6
2080.287	16.81	39.81	41.06	41.09	41.4	0.0101	2.77	7.98	14.21	0.88
2060.296	16.81	39.04	40.32	40.52	40.98	0.0235	3.84	5.69	10.69	1.27
2040.258	16.81	38.47	40.12		40.22	0.0032	1.71	15.09	19.19	0.5
2020.317	16.81	37.91	39.62	39.62	40.06	0.0103	2.97	6.43	8.84	0.88
2000.317	16.81	37.71	39.61	39.38	39.79	0.0045	2.1	10.78	12.64	0.56
1980.317	16.81	37.46	38.94		39.03	0.0025	1.39	13.89	23.29	0.47
1960.326	16.81	37.03	38.53		38.89	0.0090	2.65	6.34	6.17	0.83
1940.326	16.81	36.45	37.9	38.09	38.52	0.0212	3.6	5.6	10.95	1.26
1920.327	16.81	35.64	37.61		37.78	0.0049	2.26	11.91	13.07	0.55
1900.332	16.81	35.24	36.89		37.27	0.0101	2.73	6.15	5.31	0.81
1880.396	16.81	34.95	35.96	36.2	36.77	0.0441	3.97	4.24	7.25	1.66
1860.332	16.81	34.58	35.97		36.18	0.0052	2.03	8.27	7.68	0.62
1840.217	16.81	34.03	35.05	35.26	35.81	0.0308	3.85	4.37	6.47	1.5
1820.337	16.81	33.81	35.11	35.04	35.52	0.0114	2.84	5.92	5.9	0.91
1800.337	16.81	33.62	34.79	34.79	35.29	0.0148	3.14	5.35	5.37	1
1780.337	16.81	33.11	34.56		34.87	0.0093	2.46	6.82	6.93	0.79
1760.338	16.81	32.79	33.98	34.18	34.58	0.0220	3.53	5.9	17.56	1.2

<b>Torrente Caracciolo – tempo di ritorno di 2 anni</b>										
<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
1740.34	16.81	32.43	33.62		33.76	0.0062	2.01	11.53	14.87	0.67
1720.341	16.81	31.4	33.42		33.62	0.0064	2.14	9.74	10.96	0.66
1700.341	16.81	31.15	32.01	32.22	32.71	0.0571	3.72	4.52	12.04	1.94
1680.342	16.81	30.92	32.05	32.13	32.44	0.0189	2.81	6.45	12.4	1.16
1660.345	16.81	30.47	31.67	31.7	32.03	0.0124	2.66	6.55	12.84	0.99
1640.404	16.81	27.46	29.19	29.75	30.93	0.0688	5.86	2.87	2.8	1.85
1620.417	16.81	27.28	29.45		29.62	0.0029	1.8	9.36	5.74	0.45
1600.417	16.81	27.06	29.12		29.45	0.0077	2.54	6.61	4.88	0.7
1580.419	16.81	26.83	28.77		29.07	0.0064	2.42	6.96	5.25	0.67
1560.42	16.81	26.64	28.52		28.74	0.0045	2.06	8.17	6.84	0.6
1534.909	16.81	26.41	28.27	27.75	28.57	0.0066	2.42	6.93	4	0.59
1530	Bridge									
1522.69	16.81	26.24	28.27		28.47	0.0041	1.97	8.54	4.69	0.47
1500.469	16.81	26.02	28.16		28.25	0.0017	1.44	14.92	9.84	0.32
1480.473	16.81	25.79	28.18		28.2	0.0006	0.88	29.15	19.55	0.18
1454.708	16.81	25.42	28.17	27.11	28.19	0.0003	0.67	39.53	25.86	0.13
1450	Bridge									
1449.483	16.81	25.41	27.67		27.99	0.0080	2.52	6.67	3	0.54
1429.732	16.81	25.15	27.46	26.78	27.82	0.0086	2.63	6.4	2.94	0.57
1400	Bridge									
1383.254	16.81	23.82	24.54	24.81	25.48	0.0421	4.28	3.93	5.53	1.62
1360.565	16.81	21.5	22.68	23.1	24.08	0.0727	5.24	3.21	5.58	2.21
1340.609	16.81	21.12	23.14		23.18	0.0008	0.89	18.88	15.79	0.26
1325.979	16.81	20.59	23.08	21.83	23.16	0.0012	1.26	13.36	6.24	0.27
1300	Culvert									
1229.745	16.81	17.94	19.24		19.54	0.0080	2.45	6.87	6	0.73
1222.26	16.81	17.8	19.22		19.48	0.0060	2.22	7.58	5.97	0.63
1180.609	18.63	17.45	18.9		19.21	0.0096	2.5	7.45	8.75	0.87
1160.609	18.63	16.75	18.97		19.06	0.0022	1.34	13.92	12.6	0.41
1140.612	18.63	16.07	18.98		19.02	0.0006	0.87	21.43	12.8	0.21
1119.524	18.63	15.29	18.72	17.09	18.97	0.0061	2.21	8.43	2.46	0.38
900	Culvert									
841.5427	18.63	8.96	10.81		11.19	0.0090	2.72	6.84	3.73	0.64
838.7848	18.63	8.93	10.75	10.14	11.01	0.0057	2.29	8.15	4.5	0.54
700	Culvert									
683.0241	18.63	8.05	9.75		10.06	0.0070	2.48	7.51	4.97	0.64
662.9866	18.63	7.65	9.31	8.89	9.58	0.0062	2.29	8.12	5.54	0.61
575	Culvert									
570.4053	18.63	6.49	8.63		8.86	0.0048	2.11	8.83	5	0.51
564.611	18.63	6.46	8.48	8.12	8.81	0.0079	2.56	7.27	4.89	0.67
560	Bridge									
559.7754	18.63	6.43	8.16	8.16	8.74	0.0182	3.37	5.53	4.87	1.01

<b>Torrente Caracciolo – tempo di ritorno di 2 anni</b>										
<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
538.2973	18.63	6.18	8.14	7.41	8.27	0.0023	1.61	11.59	7.25	0.41
535	Bridge									
531.9881	18.63	6.23	8.15		8.25	0.0016	1.43	13.05	7.4	0.34
520.6455	18.63	6.19	7.8	7.55	8.16	0.0082	2.67	7.31	9.72	0.74
500.6472	18.63	5.92	7.89		7.99	0.0021	1.58	15.22	13.15	0.39
480.6523	18.63	5.58	7.81		7.94	0.0030	1.79	14.65	16.61	0.43
460.653	18.63	5.57	7.09	7.09	7.73	0.0176	3.57	5.22	4.07	1.01
440.6576	18.63	4.16	5.05	5.59	6.74	0.0711	5.76	3.24	3.78	1.99
420.6576	18.63	4.05	5.81		6.22	0.0092	2.9	7.07	5.97	0.74
400.665	18.63	3.66	5.48	5.02	5.7	0.0043	2.07	8.99	6.8	0.58
396.4217	18.63	3.61	5.52	4.84	5.65	0.0023	1.61	11.6	8.19	0.43
390	Bridge									
387.775	18.63	3.63	5.21	5.12	5.59	0.0107	2.73	6.82	7.01	0.88
380.6815	18.63	3.48	5.22		5.44	0.0048	2.05	9.09	8.06	0.62
360.69	18.63	3.41	4.86	4.86	5.3	0.0146	2.93	6.37	7.33	1
340.6907	18.63	2.9	4.5	4.41	4.89	0.0117	2.79	6.68	6.52	0.88
320.6901	18.63	2.26	3.69	3.88	4.41	0.0297	3.78	4.93	7.2	1.46
300.6952	18.63	2.04	3.81		3.94	0.0029	1.62	11.54	10.11	0.48
280.6955	18.63	1.72	3.68		3.87	0.0037	1.93	9.67	6.75	0.51
260.6967	18.63	1.56	3.18	3.08	3.68	0.0131	3.13	5.96	4.68	0.88
240.6968	18.63	1.14	3.11		3.41	0.0071	2.43	7.67	5.24	0.64
220.6963	18.63	0.98	2.89		3.24	0.0087	2.63	7.08	5.12	0.71
200.7016	18.63	0.95	2.71		3.07	0.0087	2.66	7	5.07	0.72
180.7097	18.63	0.68	2.69		2.91	0.0046	2.07	8.99	7.2	0.59
160.7096	18.63	0.65	2.6		2.82	0.0041	2.08	8.96	5.91	0.54
140.7096	18.63	0.6	2.55		2.7	0.0027	1.7	10.94	7.5	0.45
120.7095	18.63	0.55	2.52		2.62	0.0015	1.37	13.61	8.26	0.34
100.7096	18.63	0.59	2.5		2.59	0.0013	1.3	14.37	8.79	0.32
79.60665	18.63	0.25	2.53	1.12	2.55	0.0002	0.58	32.05	18.13	0.14
70	Bridge									
69.61012	18.63	0.03	2.51		2.53	0.0002	0.56	33.51	18.3	0.13
60.70964	18.63	0.15	2.51		2.52	0.0002	0.54	34.36	17.93	0.13
40.72077	18.63	0.33	2.49		2.52	0.0005	0.77	24.25	18.26	0.21
0.786057	18.63	0	1.64	1.64	2.38	0.0210	3.8	4.9	3.33	1





Torrente Caracciolo – tempo di ritorno di 10 anni										
River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
387.775	36.84	3.63	5.93		6.34	0.008466	2.85	12.92	10	0.8
380.6815	36.84	3.48	5.79		6.15	0.005542	2.68	13.77	8.54	0.67
360.69	36.84	3.41	5.4	5.4	6.01	0.012926	3.45	10.82	9.61	0.98
340.6907	36.84	2.9	4.97	5.01	5.66	0.015454	3.67	10.03	7.82	1.03
320.6901	36.84	2.26	4.76	4.49	5.08	0.005563	2.63	16.71	14.44	0.64
300.6952	36.84	2.04	4.82		4.97	0.001654	1.68	22.5	12.34	0.37
280.6955	36.84	1.72	4.64		4.9	0.003327	2.27	16.26	6.97	0.47
260.6967	36.84	1.56	4.13		4.75	0.01048	3.47	10.61	5.11	0.77
240.6968	36.84	1.14	4.12		4.52	0.006213	2.81	13.11	5.66	0.58
220.6963	36.84	0.98	3.95		4.39	0.006786	2.92	12.63	5.33	0.6
200.7016	36.84	0.95	3.83		4.25	0.006437	2.88	12.79	5.32	0.59
180.7097	36.84	0.68	3.92		4.11	0.002202	1.94	18.99	8.62	0.42
160.7096	36.84	0.65	3.82		4.06	0.002918	2.2	16.74	6.91	0.45
140.7096	36.84	0.6	3.83		3.98	0.001583	1.71	21.89	10.23	0.35
120.7095	36.84	0.55	3.83		3.93	0.000946	1.42	28.24	14.85	0.28
100.7096	36.84	0.59	3.83		3.91	0.0007	1.26	34.52	19.9	0.25
79.60665	36.84	0.25	3.86	1.44	3.88	0.000143	0.66	56.2	18.13	0.12
70	Bridge									
69.61012	36.84	0.03	3.8		3.82	0.000144	0.64	57.18	18.4	0.12
60.70964	36.84	0.15	3.8		3.82	0.000126	0.62	65.94	34.99	0.11
40.72077	36.84	0.33	3.79		3.81	0.000218	0.73	55.78	28.38	0.14
0.786057	36.84	0	2.49	2.49	3.65	0.025074	4.77	7.72	3.33	1





**Torrente Caracciolo – tempo di ritorno di 20 anni**

<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
387.775	45.89	3.63	6.2		6.64	0.007277	2.92	15.7	10.02	0.75
380.6815	45.89	3.48	5.98		6.43	0.00621	2.97	15.53	11	0.71
360.69	45.89	3.41	5.66	5.63	6.29	0.011535	3.53	13.51	11.18	0.94
340.6907	45.89	2.9	5.23	5.23	5.96	0.014294	3.8	12.07	8.32	1.01
320.6901	45.89	2.26	5.28		5.52	0.003501	2.33	24.27	14.82	0.5
300.6952	45.89	2.04	5.3		5.44	0.001395	1.68	28.79	14.27	0.33
280.6955	45.89	1.72	5.1		5.38	0.003088	2.35	19.67	9.58	0.45
260.6967	45.89	1.56	4.61		5.24	0.009239	3.5	13.11	5.33	0.71
240.6968	45.89	1.14	4.63		5.03	0.005322	2.82	17.4	9.41	0.53
220.6963	45.89	0.98	4.43		4.9	0.0064	3.02	15.24	5.62	0.57
200.7016	45.89	0.95	4.32		4.77	0.006077	2.98	15.44	5.57	0.56
180.7097	45.89	0.68	4.43		4.63	0.00181	1.95	23.68	9.99	0.38
160.7096	45.89	0.65	4.33		4.58	0.002439	2.23	21.65	12.23	0.42
140.7096	45.89	0.6	4.36		4.51	0.001289	1.72	27.66	11.49	0.33
120.7095	45.89	0.55	4.37		4.47	0.000767	1.43	36.52	15.58	0.25
100.7096	45.89	0.59	4.38		4.45	0.000528	1.24	45.34	19.9	0.22
79.60665	45.89	0.25	4.4	1.57	4.43	0.000138	0.7	66	18.13	0.12
70	Bridge									
69.61012	45.89	0.03	4.36		4.39	0.000136	0.68	67.51	18.4	0.11
60.70964	45.89	0.15	4.36		4.38	0.000106	0.63	85.79	35.44	0.1
40.72077	45.89	0.33	4.35		4.38	0.000168	0.73	71.98	28.76	0.13
0.786057	45.89	0	2.86	2.86	4.2	0.026924	5.13	8.94	3.33	1

## Appendice B–Tabelle riassuntive dei parametri idraulici delle simulazioni effettuate post-operam

Di seguito si riportano i parametri idraulici ottenuti dalle simulazioni, dove i simboli indicano:

**River Sta:** nome della sezione; **Q Total:** portata totale che defluisce attraverso la sezione; **Min Ch El:** elevazione rispetto la quota del mare del fondo; **W.S. Elev.:** elevazione rispetto la quota del mare del pelo libero; **E.G. Elev.** elevazione rispetto la quota del mare dell'energia; **Vel Chnl:** velocità delle acque; **Flow Area** : superficie idraulica; **Top Width:** larghezza in superficie, **Froude # Chl:** numero di Froude.

Torrente Caracciolo – Tempo di ritorno 2 anni										
River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1834.51	16.81	35.98	36.7	37.02	37.82	0.0300	4.69	3.58	5	1.77
1820	16.81	35.46	36.15	36.5	37.35	0.0332	4.85	3.47	5	1.86
1800	16.81	34.95	35.71	35.99	36.71	0.0256	4.45	3.78	5	1.63
1780	16.81	34.36	35.09	35.4	36.17	0.0283	4.6	3.65	5	1.72
1740	16.81	33.18	33.9	34.23	35.01	0.0295	4.67	3.6	5	1.75
1720	16.81	32.21	32.85	33.26	34.27	0.0433	5.29	3.18	5	2.12
1680	16.81	30.23	30.84	31.28	32.4	0.0500	5.54	3.03	5	2.27
1660	16.81	29.23	29.84	30.28	31.4	0.0499	5.54	3.03	5	2.27
1620	16.81	27.25	27.86	28.29	29.41	0.0494	5.52	3.04	5	2.26
1580	16.81	25.26	25.87	26.3	27.43	0.0498	5.54	3.04	5	2.27
1570	16.81	22	24.98	22.16	24.98	0.0000	0.07	254.59	89.94	0.01
1465	16.81	22	24.98		24.98	0.0000	0.05	343.96	119.94	0.01
1370	16.81	22	24.98	22.12	24.98	0.0000	0.04	373.75	129.94	0.01
1365	Culvert									
1360	16.81	22	23.11		23.11	0.0000	0.12	135.98	124.33	0.04
1340	16.81	21	23.1		23.11	0.0001	0.42	39.58	21	0.1
1330	16.81	20.6	23.1		23.11	0.0000	0.36	46.81	21	0.08
1325.979	16.81	20.4	23.05	21.31	23.1	0.0002	1.03	16.38	6.28	0.2
1300	Culvert									
1229.745	18.63	16.36	18.48		18.58	0.0005	1.47	12.69	6	0.32
1222.26	18.63	16.3	18.47	17.29	18.58	0.0005	1.43	12.98	5.97	0.31
900	Culvert									
841.5427	18.63	9	10.98		11.02	0.0002	0.94	19.79	10	0.21

**Torrente Caracciolo – Tempo di ritorno 2 anni**

River Sta	Q Total	Min Ch EI	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
838.7848	18.63	8.93	10.73	10.14	11	0.0058	2.31	8.07	4.5	0.55
700	Culvert									
683.0241	18.63	8.05	9.37	9.37	9.93	0.0163	3.33	5.6	4.97	1
662.9866	18.63	7.65	9.39	8.89	9.63	0.0053	2.17	8.57	5.54	0.56
575	Culvert									
570.4053	18.63	6.49	8.7		8.85	0.0027	1.74	10.7	5	0.38
564.611	18.63	6.46	8.48	8.12	8.81	0.0079	2.56	7.27	4.89	0.67
560	Bridge									
559.7754	18.63	6.43	8.16	8.16	8.74	0.0179	3.35	5.56	4.87	1
538.2973	18.63	6.18	8.09	7.41	8.23	0.0025	1.66	11.24	7.25	0.42
535	Bridge									
531.9881	18.63	6.23	8.1		8.21	0.0017	1.47	12.69	7.39	0.36
520.6455	18.63	6.19	7.74	7.54	8.14	0.0095	2.82	6.74	7.89	0.79
500.6472	18.63	5.92	7.86		7.97	0.0022	1.62	14.88	13.15	0.4
480.6523	18.63	5.58	7.77	7.46	7.92	0.0034	1.87	13.96	16.61	0.46
460.653	18.63	5.57	7.09	7.09	7.73	0.0176	3.57	5.22	4.07	1.01
440.6576	18.63	4.16	5	5.59	6.94	0.0874	6.18	3.01	3.77	2.21
420.6576	18.63	4.05	5.6	5.6	6.18	0.0148	3.43	5.86	5.56	0.94
400.665	18.63	3.66	5.47	5.02	5.69	0.0045	2.09	8.91	6.78	0.58
396.4217	18.63	3.61	5.52	4.84	5.65	0.0023	1.61	11.59	8.19	0.43
390	Bridge									
387.775	18.63	3.63	5.16	5.12	5.58	0.0125	2.88	6.48	6.91	0.95
380.6815	18.63	3.48	5.27		5.47	0.0043	1.98	9.43	8.1	0.58
360.69	18.63	3.41	4.86	4.86	5.3	0.0146	2.92	6.37	7.34	1
340.6907	18.63	2.9	4.28	4.41	4.91	0.0237	3.51	5.3	6.48	1.24
320.6901	18.63	2.26	3.7	3.88	4.4	0.0275	3.69	5.05	7.2	1.41
300.6952	18.63	2.04	3.78	3.36	3.92	0.0031	1.65	11.28	10.1	0.5
280.6955	18.63	1.72	3.65		3.84	0.0040	1.98	9.43	6.74	0.53
260.6967	18.63	1.56	3.13	3.07	3.67	0.0147	3.25	5.73	4.65	0.93
240.6968	18.63	1.14	3.1		3.4	0.0072	2.45	7.61	5.24	0.65
220.6963	18.63	0.98	2.87		3.24	0.0090	2.67	6.98	5.12	0.73
200.7016	18.63	0.95	2.55	2.44	3.01	0.0125	3.02	6.18	5.04	0.87
180.7097	18.63	0.68	2.45		2.78	0.0078	2.53	7.37	6.63	0.77
160.7096	18.63	0.65	2.15	2.04	2.58	0.0109	2.94	6.34	5.53	0.88

<b>Torrente Caracciolo – Tempo di ritorno 2 anni</b>										
<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch EI</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
140.7096	18.63	0.6	1.95	1.87	2.35	0.0113	2.79	6.69	6.78	0.9
120.7095	18.63	0.55	1.92		2.15	0.0053	2.12	8.8	7.76	0.63
100.7096	18.63	0.59	1.77		2.03	0.0064	2.26	8.25	7.96	0.71
79.60665	18.63	0.25	1.89	1.13	1.93	0.0007	0.9	20.63	16.82	0.26
70	Bridge									
69.61012	18.63	0.03	1.89		1.92	0.0006	0.83	22.34	16.56	0.23
60.70964	18.63	0.15	1.88		1.92	0.0006	0.8	23.18	17.74	0.22
40.72077	18.63	0.33	1.61	1.61	1.86	0.0162	2.21	8.43	17.98	1.03
0.786057	18.63	0	0.35	0.5	0.85	0.0448	3.13	5.96	16.82	1.68

<b>Torrente Caracciolo – Tempo di ritorno 10 anni</b>										
<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch EI</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1834.51	33.23	35.98	37.11	37.63	38.87	0.0300	5.87	5.66	5	1.76
1820	33.23	35.46	36.57	37.11	38.41	0.0322	6.01	5.53	5	1.83
1800	33.23	34.95	36.12	36.6	37.76	0.0271	5.66	5.87	5	1.67
1780	33.23	34.36	35.52	36.01	37.2	0.0282	5.75	5.78	5	1.71
1740	33.23	33.18	34.32	34.83	36.05	0.0292	5.82	5.71	5	1.74
1720	33.23	32.21	33.25	33.86	35.34	0.0388	6.41	5.19	5	2.01
1680	33.23	30.23	31.2	31.88	33.6	0.0475	6.86	4.84	5	2.22
1660	33.23	29.23	30.19	30.88	32.63	0.0487	6.92	4.8	5	2.25
1620	33.23	27.25	28.21	28.9	30.67	0.0493	6.95	4.78	5	2.27
1580	33.23	25.26	26.21	26.91	28.69	0.0497	6.96	4.77	5	2.28
1570	33.23	22	26.11	22.26	26.12	0.0000	0.09	358.71	93.34	0.02
1465	23.6	22	26.12		26.12	0.0000	0.05	482.18	123.34	0.01
1370	23.6	22	26.12	22.16	26.12	0.0000	0.05	523.34	133.34	0.01
1365	Culvert									
1360	23.6	22	23.71		23.71	0.0000	0.11	210.73	126.12	0.03
1340	23.6	21	23.69		23.7	0.0001	0.45	52.08	21	0.09
1330	23.6	20.6	23.7		23.7	0.0000	0.4	59.31	21	0.08
1325.979	23.6	20.4	23.63	21.55	23.7	0.0002	1.18	20.02	6.32	0.21
1300	Culvert									
1229.745	27.21	16.36	19.08		19.22	0.0006	1.67	16.34	6	0.32

**Torrente Caracciolo – Tempo di ritorno 10 anni**

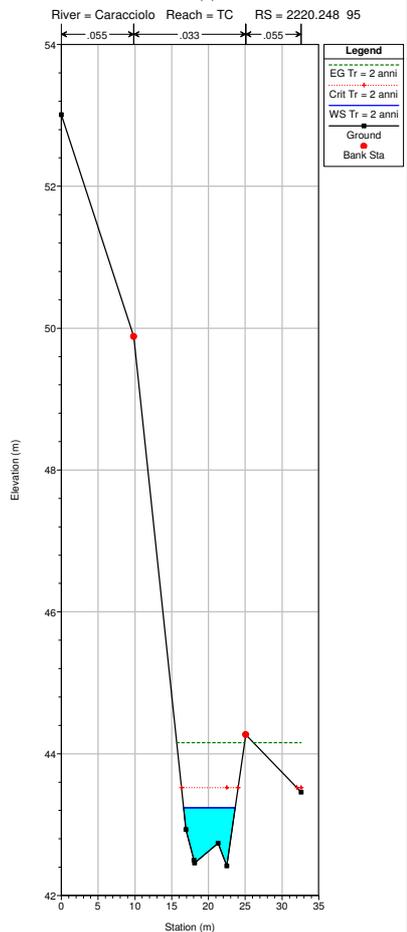
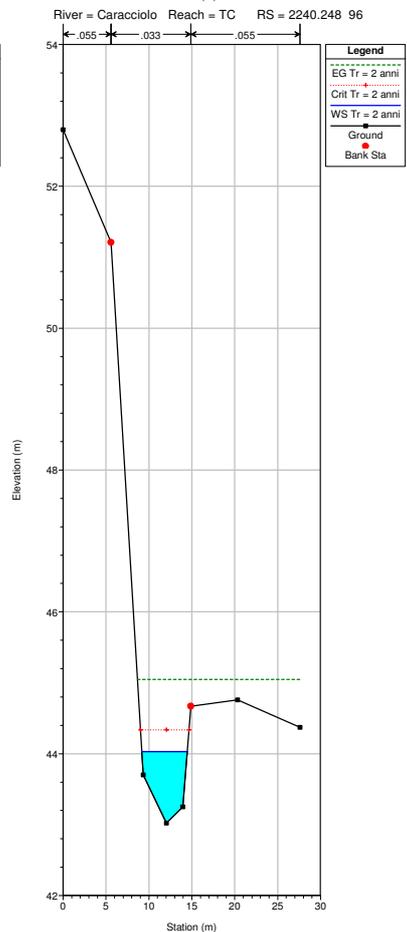
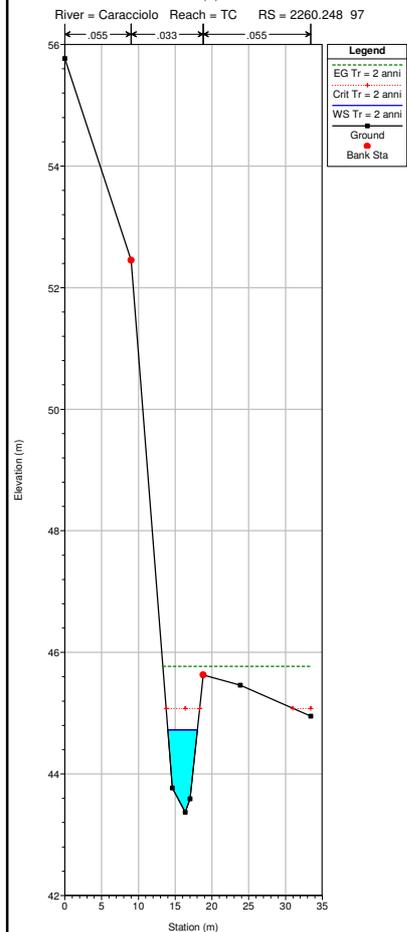
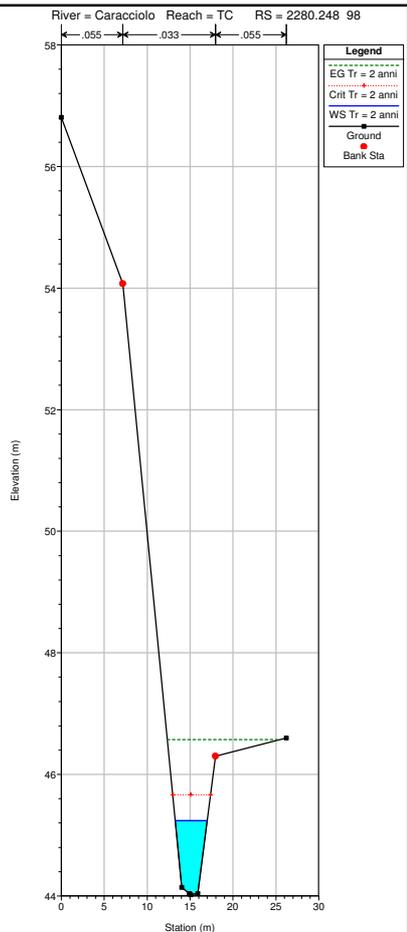
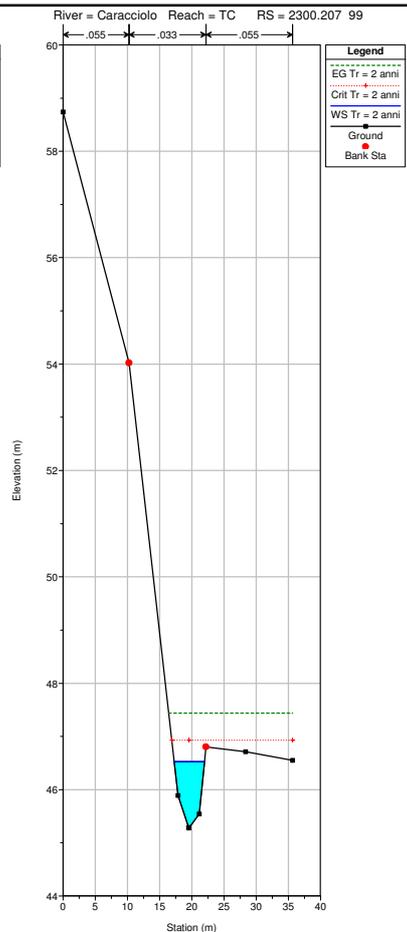
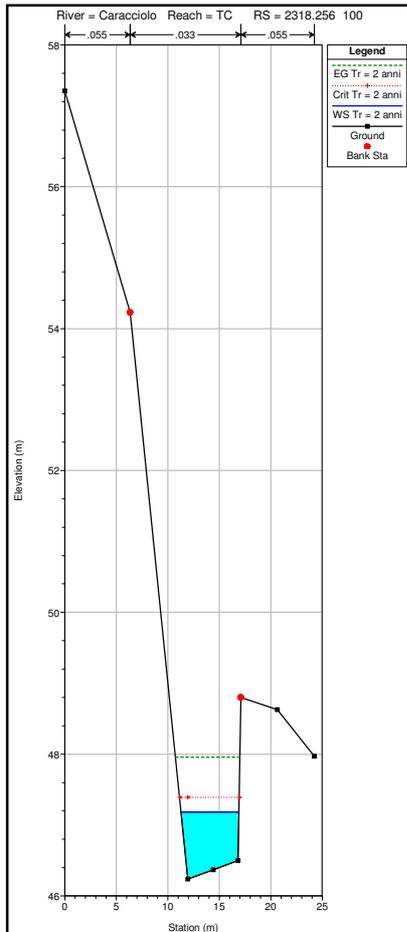
<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
1222.26	27.21	16.3	19.08	17.58	19.22	0.0005	1.64	16.61	5.97	0.31
900	Culvert									
841.5427	27.21	9	11.59		11.64	0.0002	1.05	25.86	10	0.21
838.7848	27.21	8.93	11.27	10.48	11.61	0.0061	2.59	10.51	4.5	0.54
700	Culvert									
683.0241	27.21	8.05	9.87		10.45	0.0121	3.35	8.12	4.97	0.84
662.9866	27.21	7.65	9.93	9.19	10.21	0.0049	2.35	11.56	5.54	0.52
575	Culvert									
570.4053	27.21	6.49	9.14		9.36	0.0036	2.11	12.89	5	0.42
564.611	27.21	6.46	8.86	8.45	9.31	0.0088	2.97	9.15	4.92	0.7
560	Bridge									
559.7754	27.21	6.43	8.49	8.49	9.23	0.0183	3.8	7.17	4.9	1
538.2973	27.21	6.18	8.47	7.67	8.66	0.0029	1.95	13.97	7.29	0.45
535	Bridge									
531.9881	27.21	6.23	8.48		8.64	0.0021	1.76	15.48	7.41	0.39
520.6455	27.21	6.19	8.32		8.59	0.0052	2.44	14.2	14.21	0.58
500.6472	27.21	5.92	8.38		8.48	0.0017	1.62	21.66	13.15	0.35
480.6523	27.21	5.58	8.35	7.69	8.45	0.0019	1.62	23.59	16.61	0.34
460.653	27.21	5.57	7.46	7.46	8.29	0.0184	4.02	6.77	4.16	1.01
440.6576	27.21	4.16	5.29	5.98	7.5	0.0740	6.58	4.15	4.17	2.01
420.6576	27.21	4.05	5.97	5.97	6.66	0.0142	3.78	8.05	6.28	0.92
400.665	27.21	3.66	5.79	5.32	6.09	0.0051	2.44	11.17	7.23	0.63
396.4217	27.21	3.61	5.86	5.11	6.04	0.0026	1.88	14.47	8.65	0.46
390	Bridge									
387.775	27.21	3.63	5.45	5.41	5.96	0.0122	3.19	8.54	7.47	0.95
380.6815	27.21	3.48	5.57		5.84	0.0045	2.27	11.96	8.36	0.61
360.69	27.21	3.41	5.13	5.13	5.66	0.0140	3.24	8.39	7.93	1
340.6907	27.21	2.9	4.56	4.7	5.31	0.0207	3.82	7.12	6.54	1.17
320.6901	27.21	2.26	3.89	4.12	4.81	0.0283	4.25	6.41	7.22	1.44
300.6952	27.21	2.04	4.27	3.57	4.42	0.0022	1.67	16.28	10.34	0.42
280.6955	27.21	1.72	4.11		4.35	0.0037	2.16	12.62	6.85	0.51
260.6967	27.21	1.56	3.54	3.43	4.18	0.0140	3.56	7.64	4.84	0.9
240.6968	27.21	1.14	3.51		3.9	0.0075	2.77	9.82	5.35	0.65
220.6963	27.21	0.98	3.26		3.73	0.0094	3.02	9	5.19	0.73

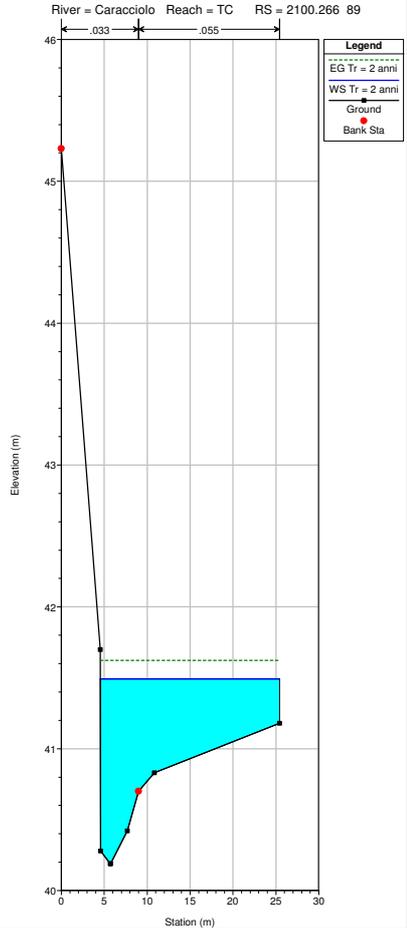
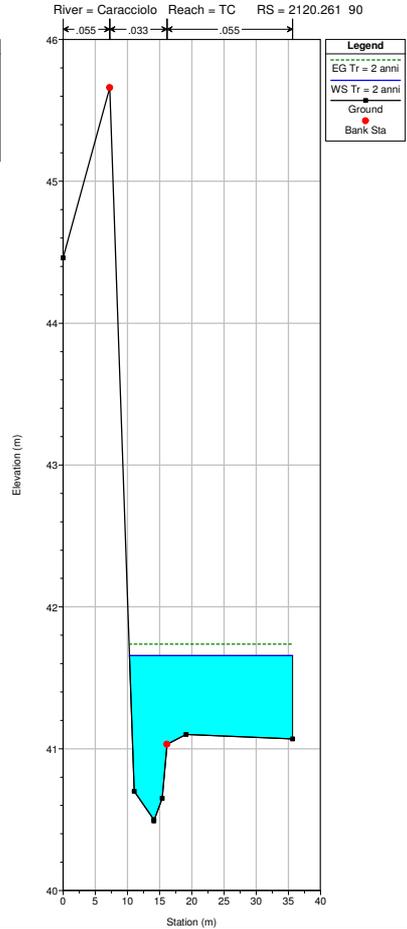
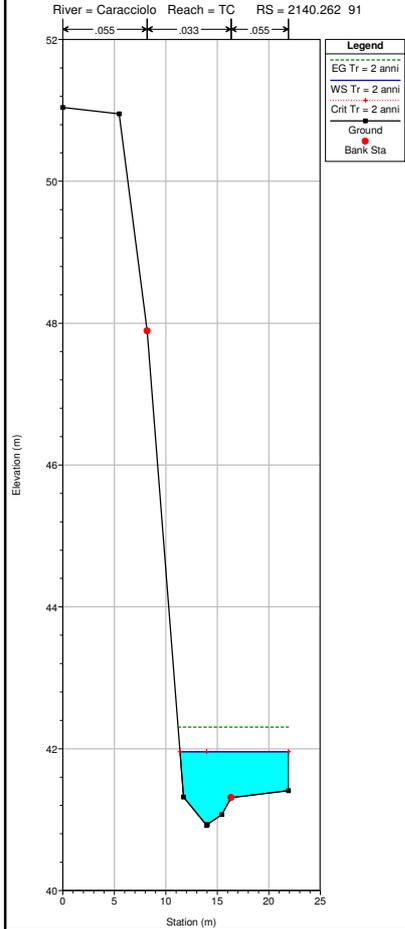
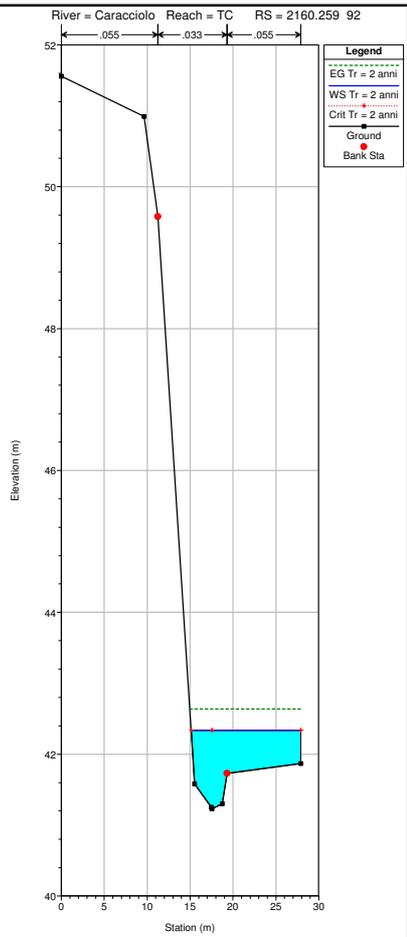
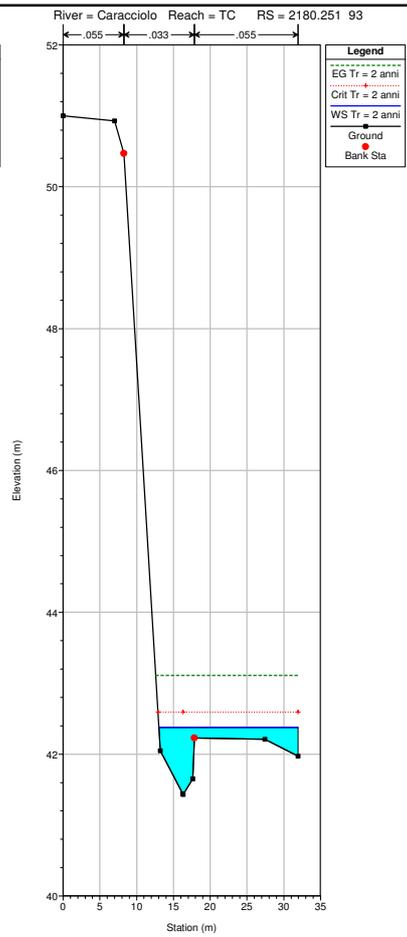
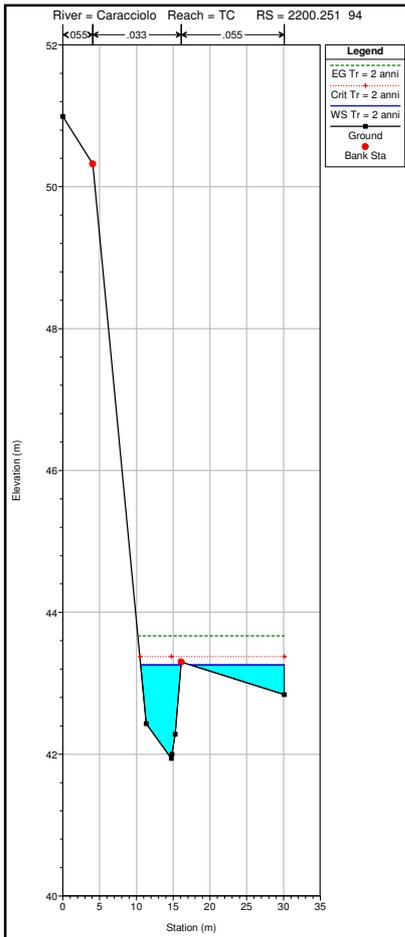


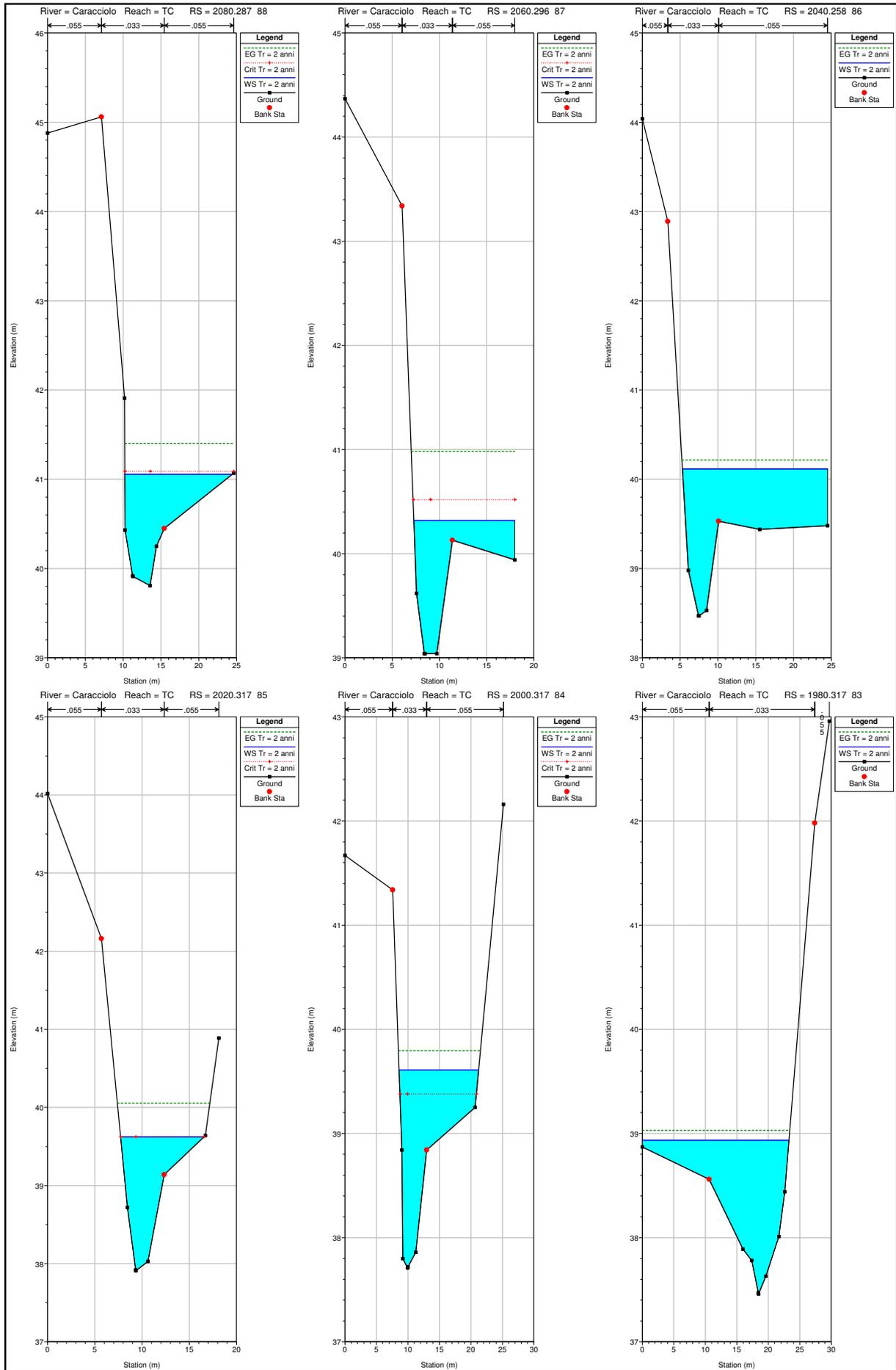
<b>Torrente Caracciolo – Tempo di ritorno 30 anni</b>										
<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
841.5427	28.67	9	11.68		11.74	0.0002	1.07	26.83	10	0.21
838.7848	28.67	8.93	11.36	10.54	11.71	0.0061	2.63	10.91	4.5	0.54
700	Culvert									
683.0241	28.67	8.05	9.96		10.53	0.0116	3.35	8.56	4.97	0.81
662.9866	28.67	7.65	10.02	9.24	10.31	0.0048	2.38	12.04	5.54	0.52
575	Culvert									
570.4053	28.67	6.49	9.21		9.44	0.0037	2.17	13.23	5	0.43
564.611	28.67	6.46	8.92	8.51	9.39	0.0090	3.04	9.44	4.92	0.7
560	Bridge									
559.7754	28.67	6.43	8.55	8.55	9.31	0.0184	3.86	7.42	4.9	1
538.2973	28.67	6.18	8.53	7.71	8.73	0.0029	1.99	14.44	7.29	0.45
535	Bridge									
531.9881	28.67	6.23	8.54		8.71	0.0021	1.8	15.96	7.42	0.39
520.6455	28.67	6.19	8.42		8.66	0.0046	2.37	15.56	14.22	0.55
500.6472	28.67	5.92	8.46		8.57	0.0017	1.63	22.79	13.15	0.34
480.6523	28.67	5.58	8.44	7.72	8.53	0.0018	1.59	25.08	16.61	0.33
460.653	28.67	5.57	7.52	7.52	8.37	0.0185	4.09	7.02	4.17	1.01
440.6576	28.67	4.16	5.34	6.04	7.58	0.0721	6.64	4.35	4.49	1.99
420.6576	28.67	4.05	6.03	6.03	6.73	0.0141	3.84	8.4	6.39	0.92
400.665	28.67	3.66	5.84	5.37	6.15	0.0052	2.49	11.52	7.3	0.63
396.4217	28.67	3.61	5.91	5.15	6.1	0.0026	1.92	14.92	8.72	0.47
390	Bridge									
387.775	28.67	3.63	5.49	5.44	6.02	0.0123	3.23	8.88	7.67	0.96
380.6815	28.67	3.48	5.62		5.89	0.0046	2.32	12.35	8.4	0.61
360.69	28.67	3.41	5.17	5.17	5.72	0.0138	3.28	8.74	8.2	1
340.6907	28.67	2.9	4.62	4.75	5.37	0.0199	3.84	7.47	6.55	1.15
320.6901	28.67	2.26	3.92	4.23	4.88	0.0285	4.33	6.62	7.22	1.45
300.6952	28.67	2.04	4.35	3.6	4.5	0.0021	1.68	17.1	10.63	0.41
280.6955	28.67	1.72	4.19		4.43	0.0037	2.18	13.13	6.86	0.5
260.6967	28.67	1.56	3.6	3.48	4.26	0.0139	3.61	7.95	4.87	0.9
240.6968	28.67	1.14	3.58		3.98	0.0076	2.82	10.17	5.37	0.65
220.6963	28.67	0.98	3.33		3.81	0.0095	3.08	9.32	5.21	0.73
200.7016	28.67	0.95	2.93	2.82	3.57	0.0136	3.53	8.12	5.12	0.9
180.7097	28.67	0.68	2.96		3.3	0.0063	2.6	11.04	7.86	0.7
160.7096	28.67	0.65	2.42	2.4	3.09	0.0137	3.62	7.91	5.76	0.99
140.7096	28.67	0.6	2.24	2.2	2.8	0.0125	3.31	8.66	7.12	0.96
120.7095	28.67	0.55	2.22	1.9	2.56	0.0062	2.56	11.18	8.01	0.69
100.7096	28.67	0.59	1.91	1.83	2.39	0.0105	3.07	9.34	8.11	0.91
79.60665	28.67	0.25	2.15	1.31	2.21	0.0010	1.14	25.1	18.13	0.31
70	Bridge									
69.61012	28.67	0.03	2.12		2.18	0.0010	1.09	26.31	18.26	0.29
60.70964	28.67	0.15	2.11		2.17	0.0008	1.05	27.27	17.81	0.27

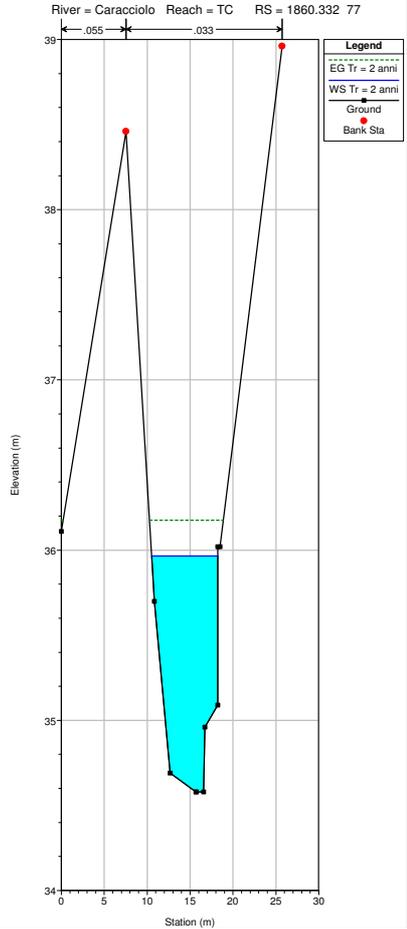
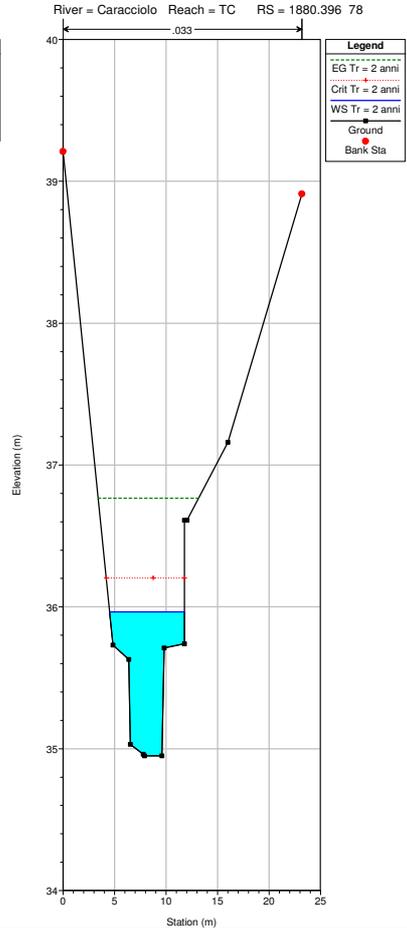
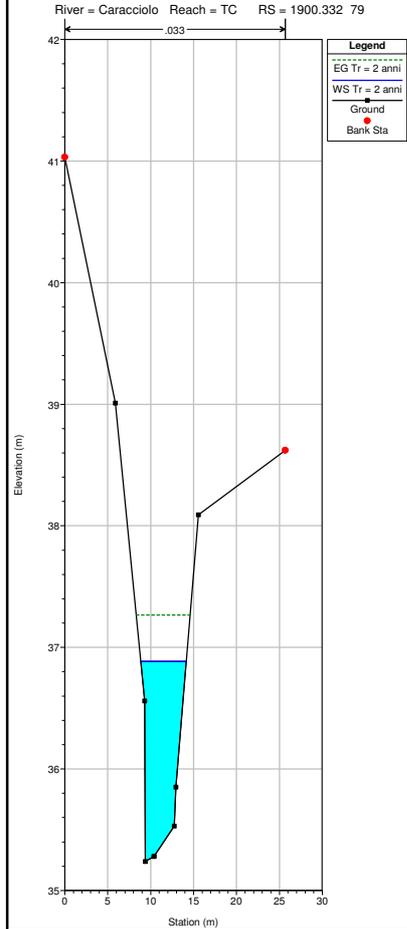
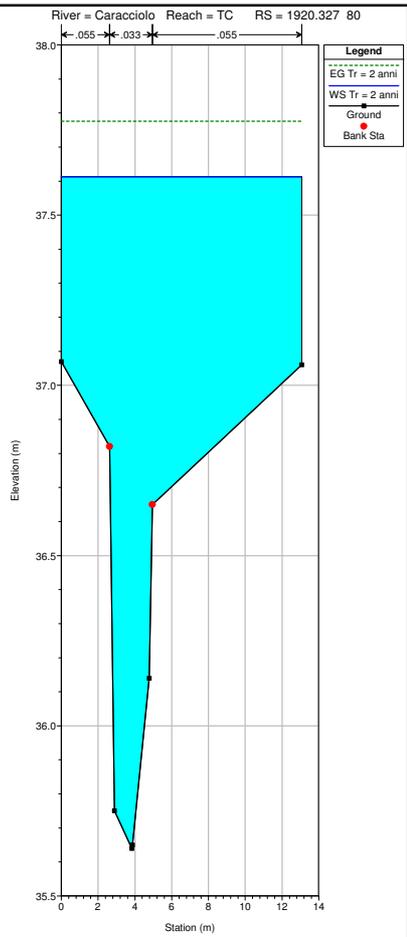
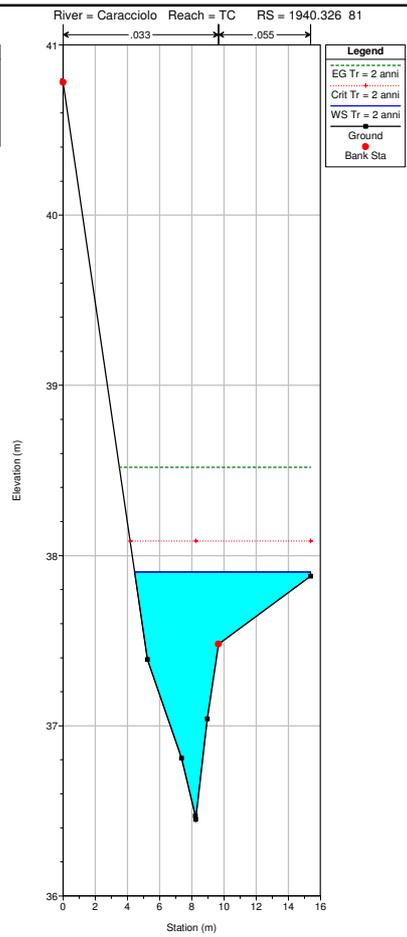
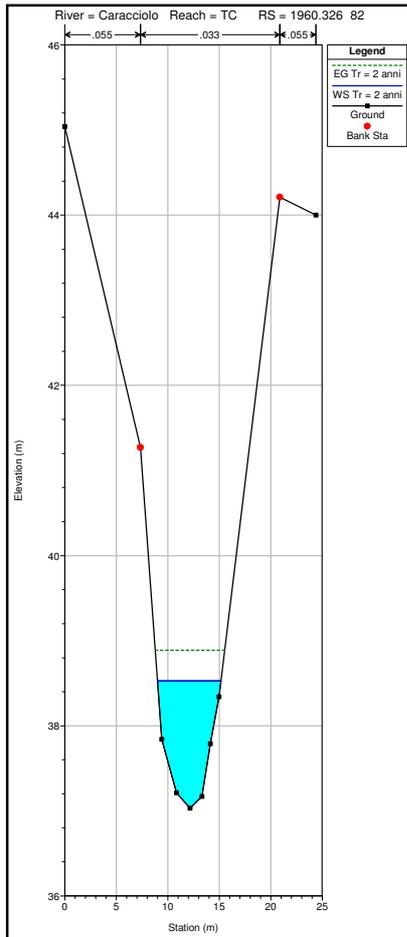
<b>Torrente Caracciolo – Tempo di ritorno 30 anni</b>										
<b>River Sta</b>	<b>Q Total</b>	<b>Min Ch El</b>	<b>W.S. Elev</b>	<b>Crit W.S.</b>	<b>E.G. Elev</b>	<b>E.G. Slope</b>	<b>Vel Chnl</b>	<b>Flow Area</b>	<b>Top Width</b>	<b>Froude # Chl</b>
40.72077	28.67	0.33	1.78	1.78	2.1	0.0144	2.52	11.4	18.03	1.01
0.786057	28.67	0	0.47	0.66	1.15	0.0435	3.66	7.83	16.83	1.72

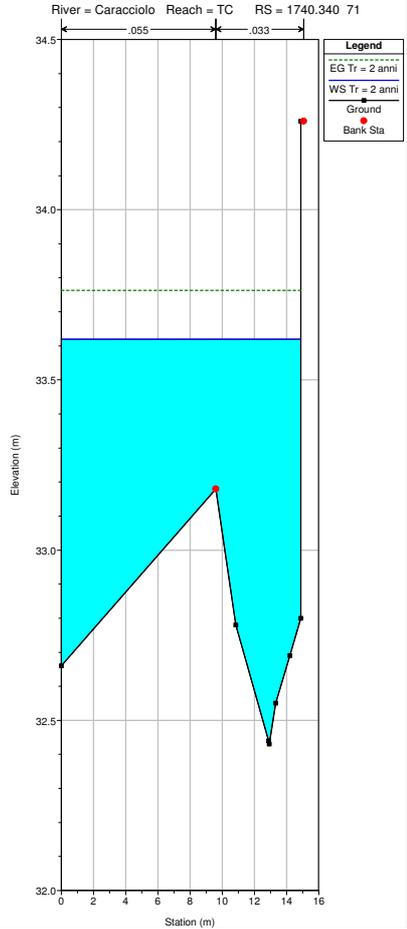
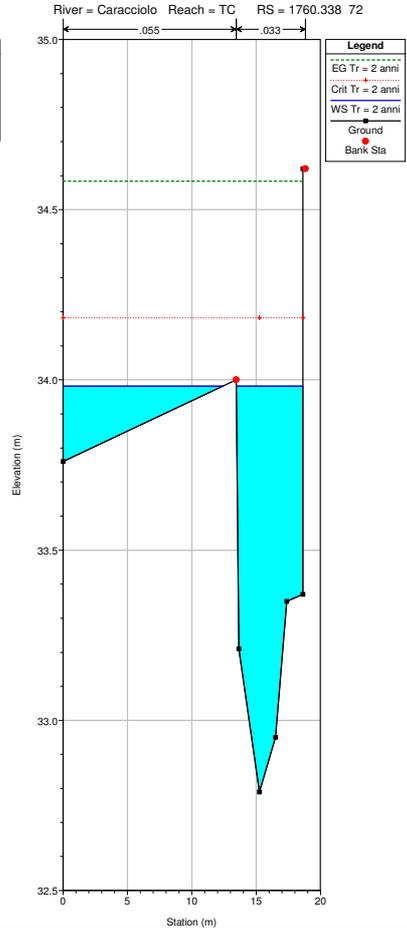
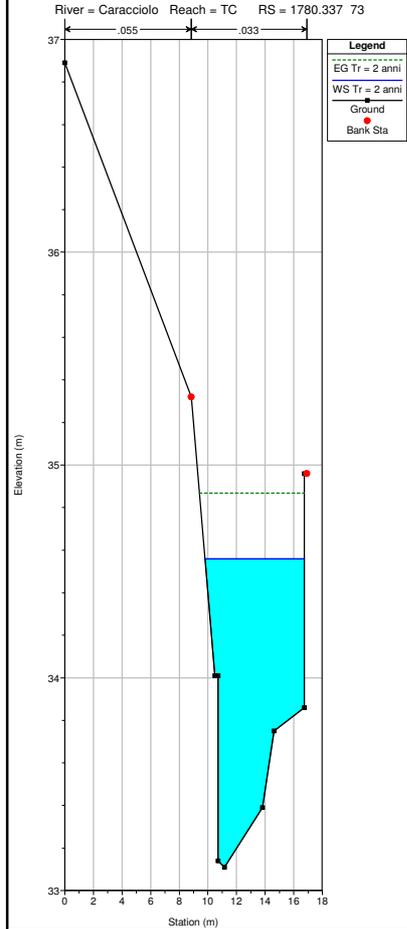
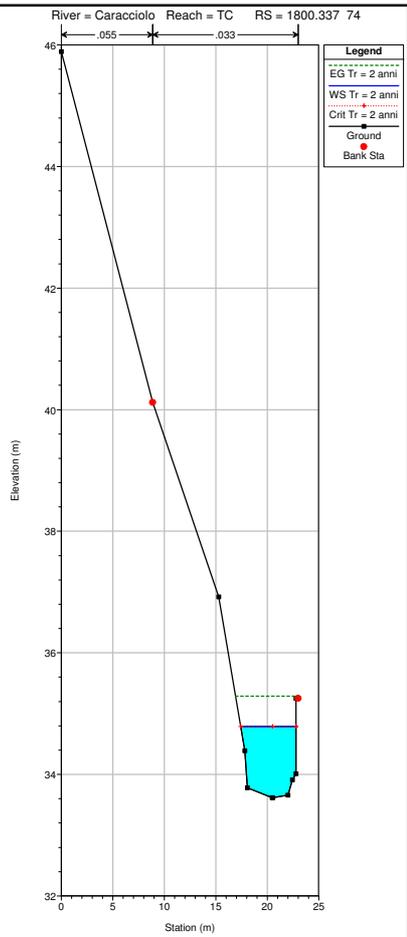
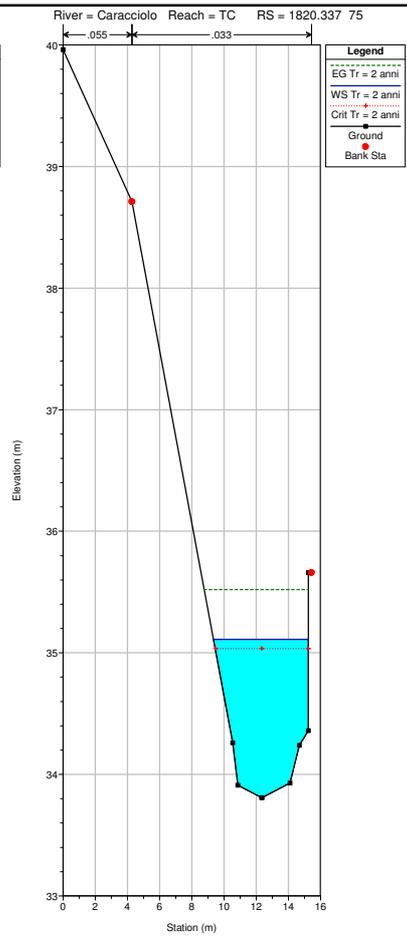
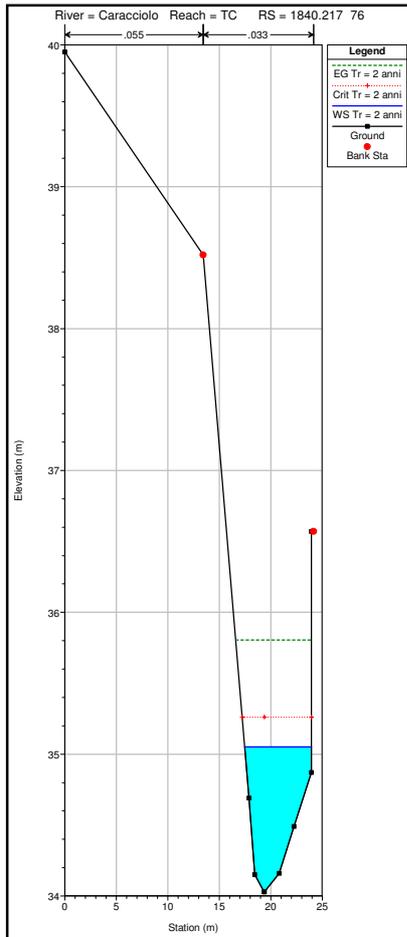
## **Appendice C–Quaderno delle sezioni ante-operam**

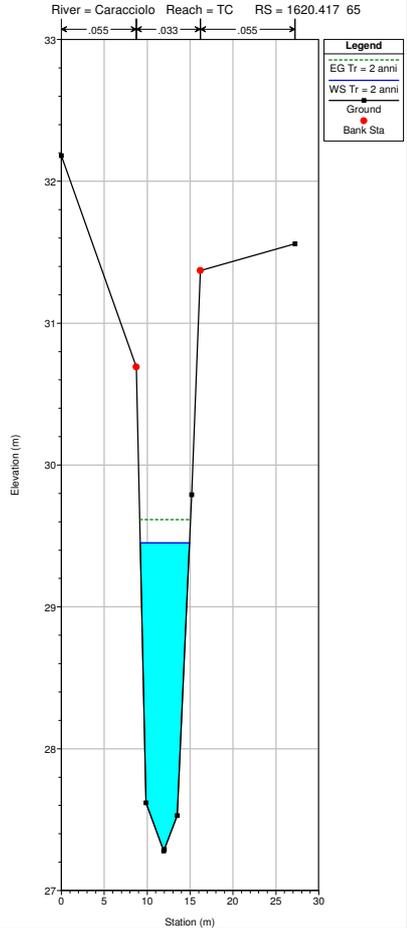
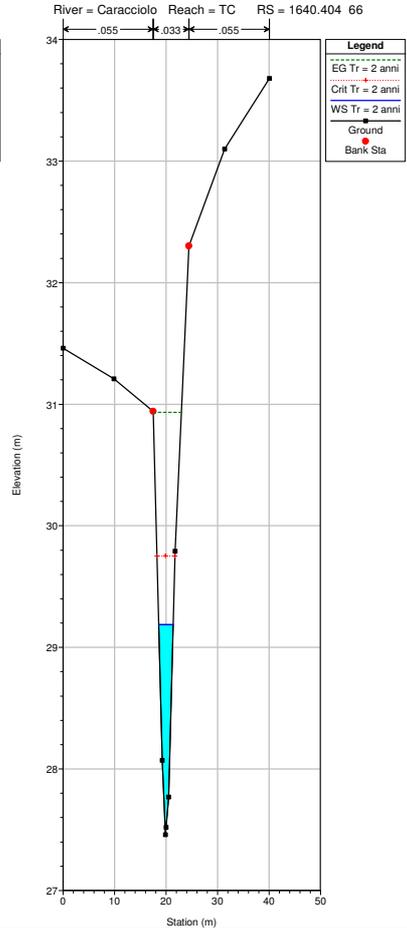
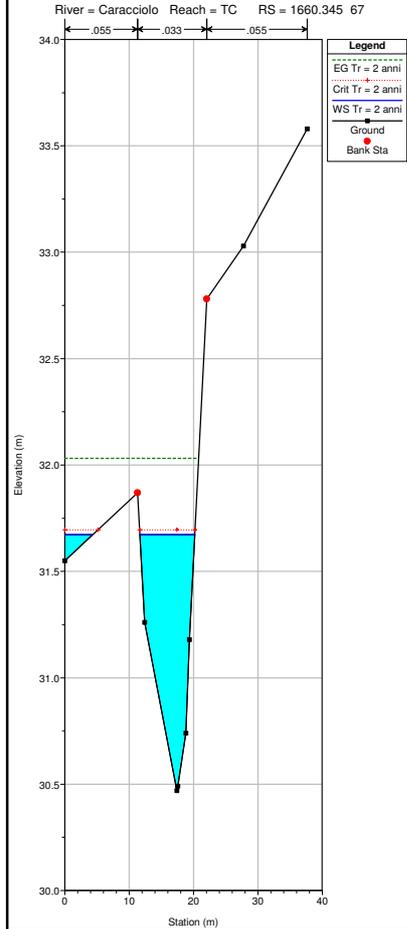
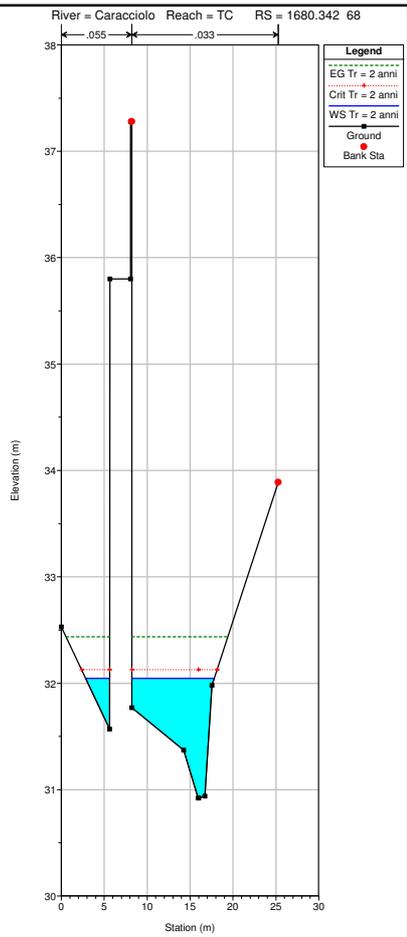
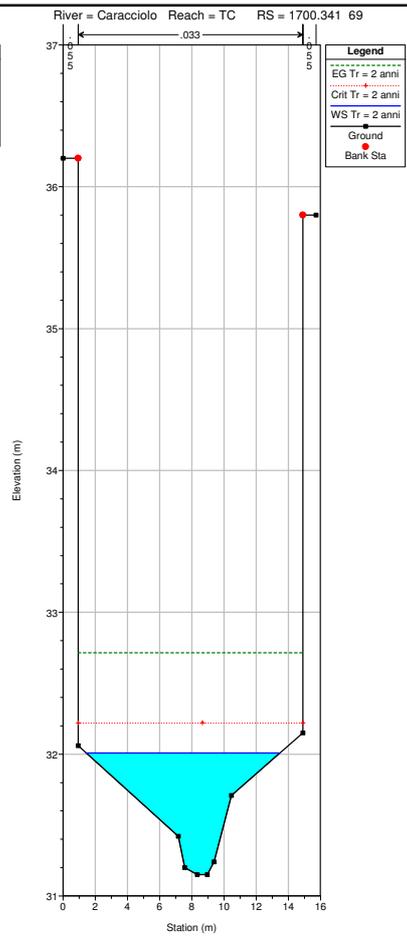
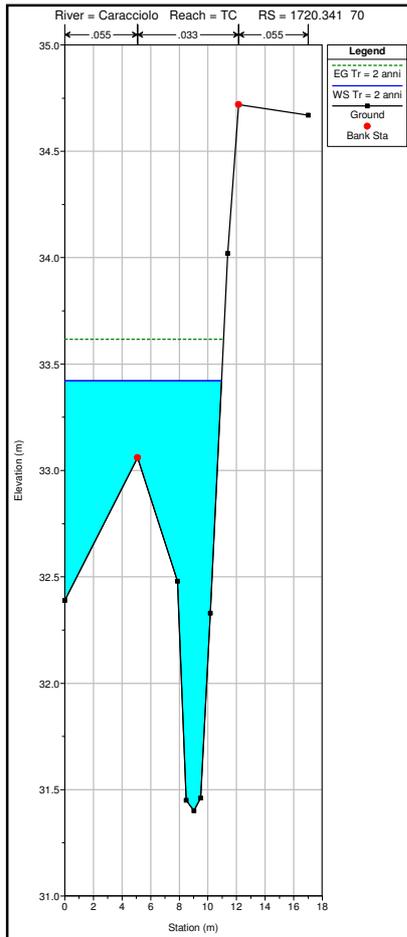


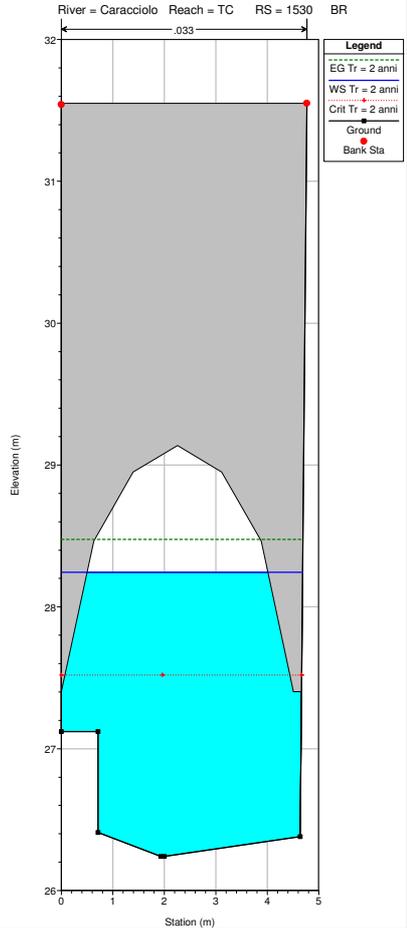
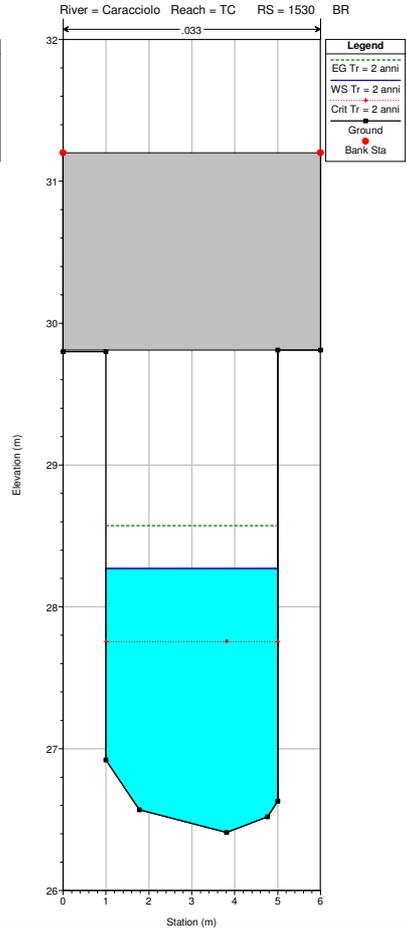
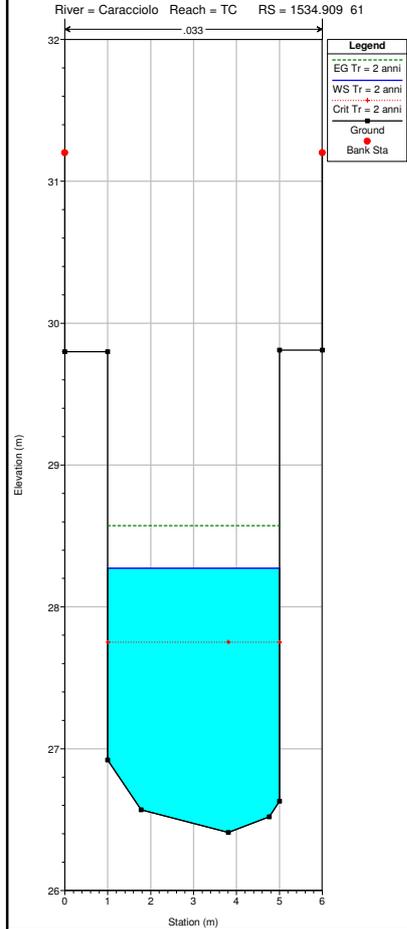
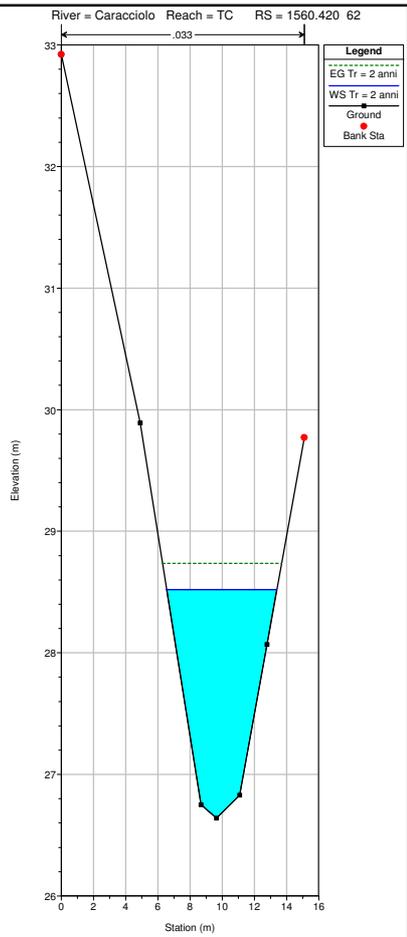
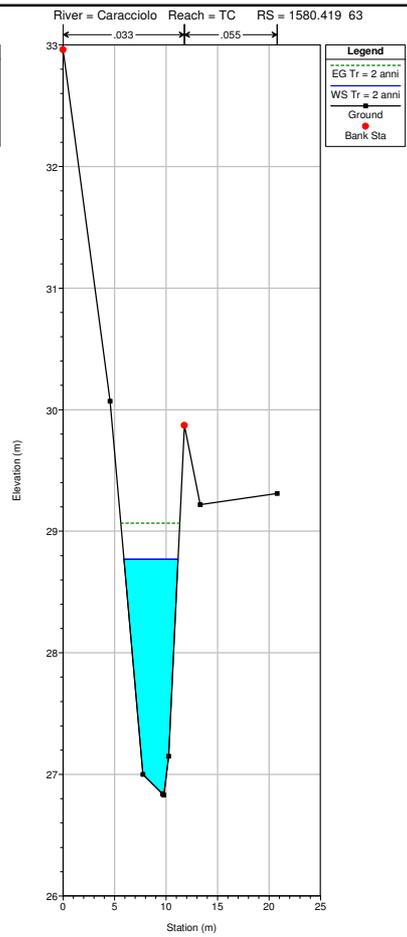
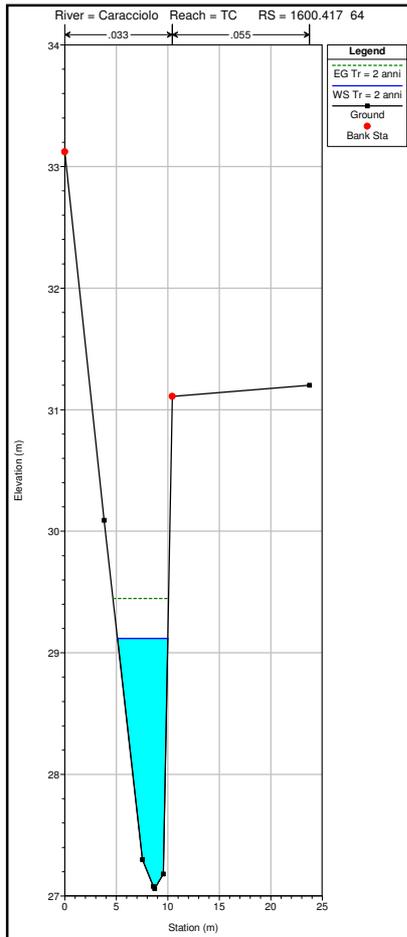


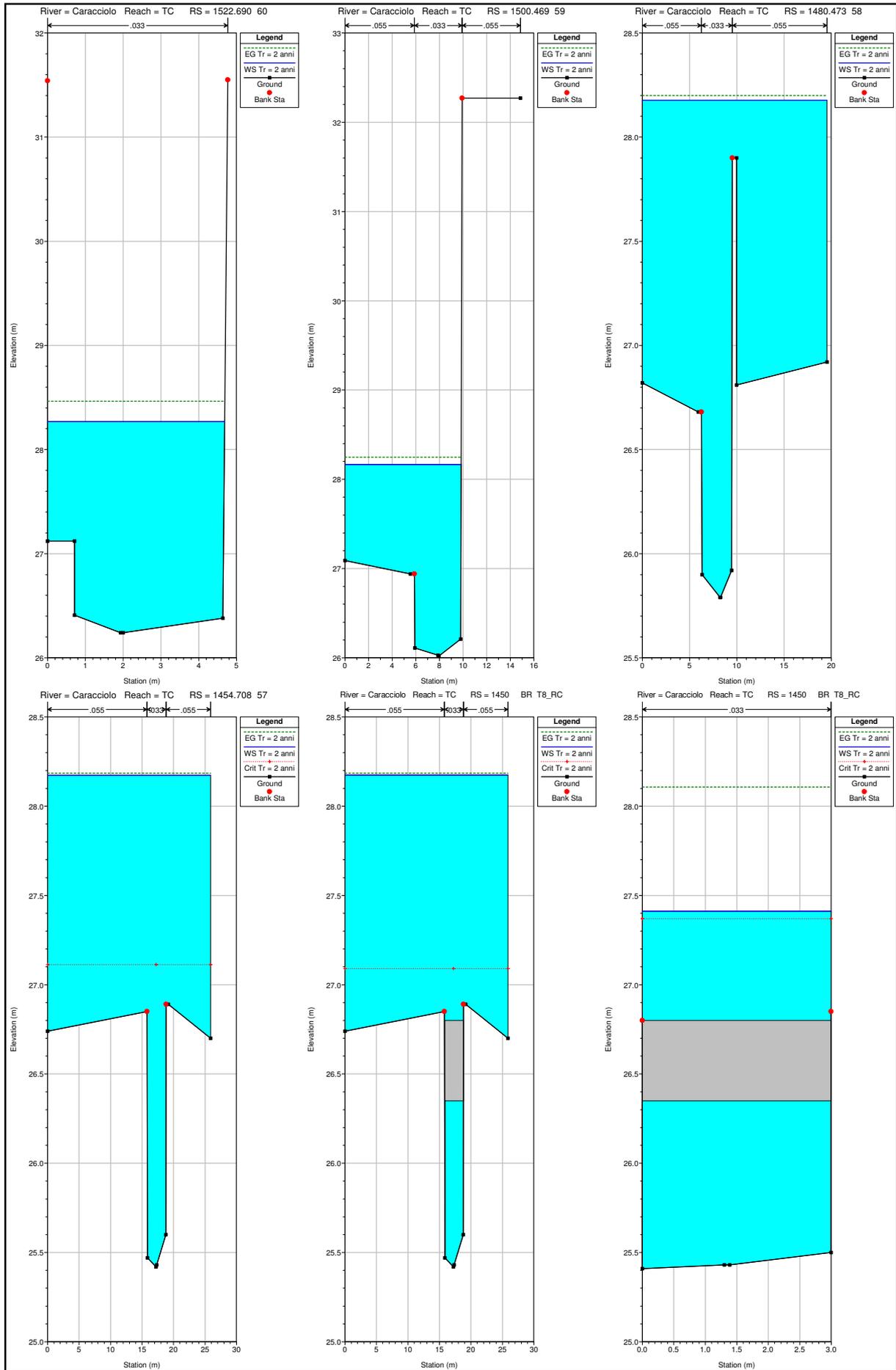


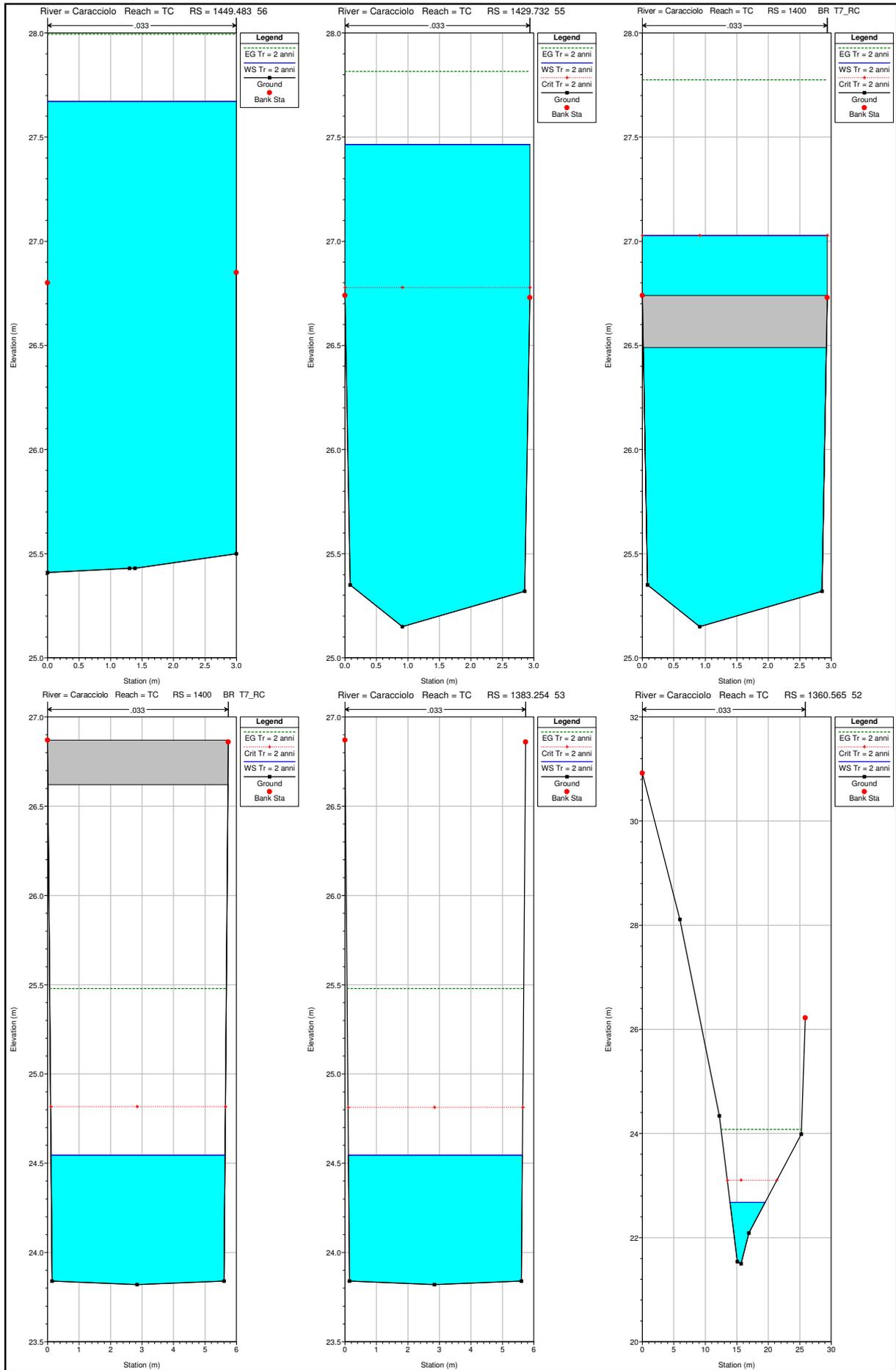


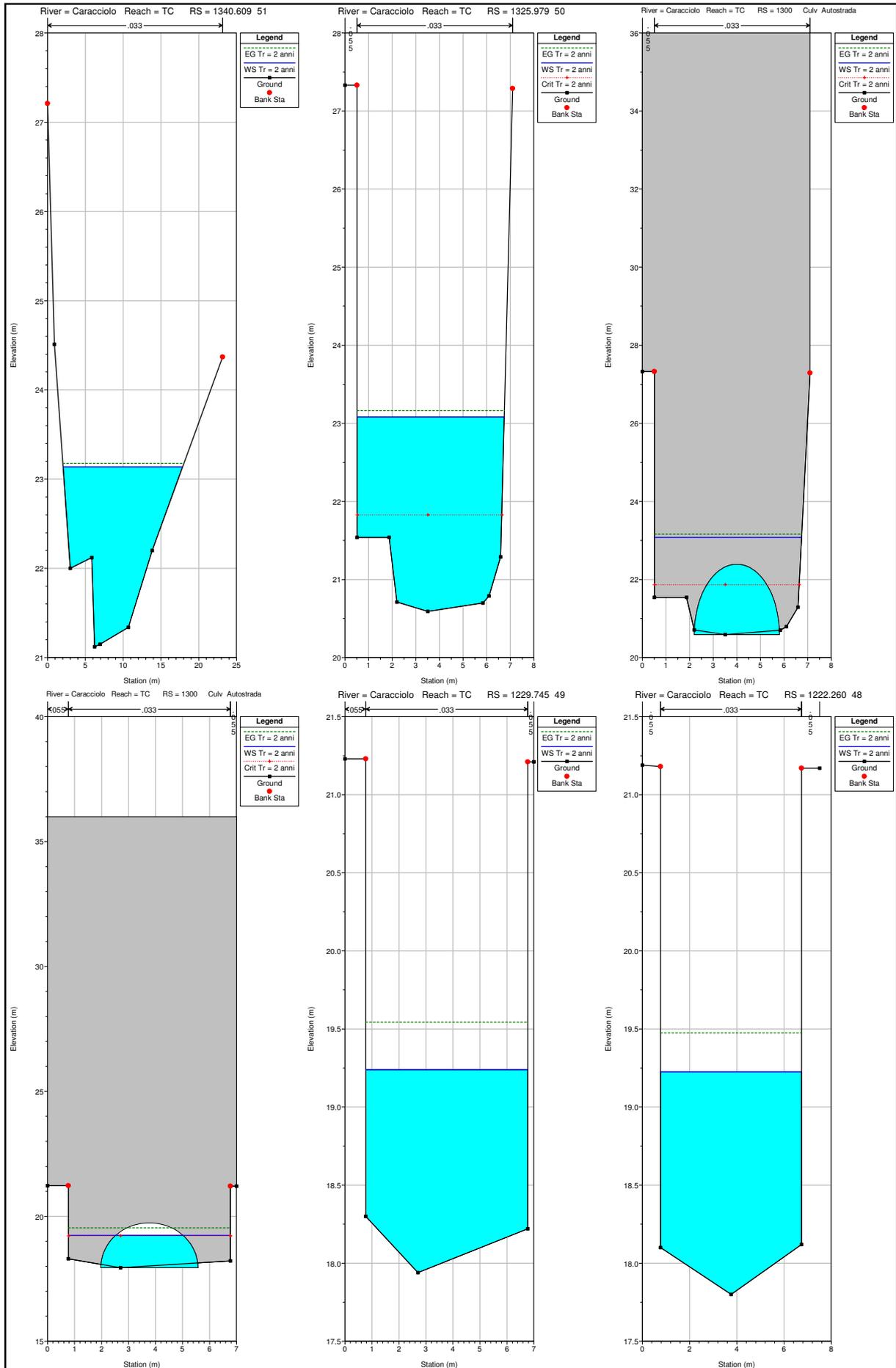


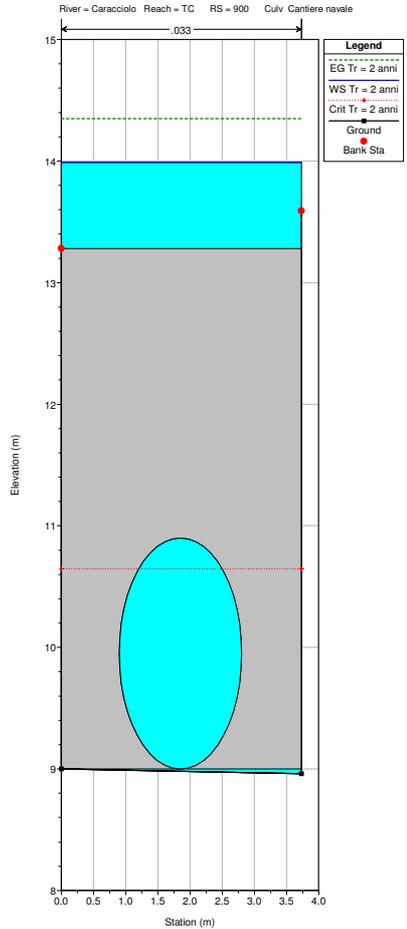
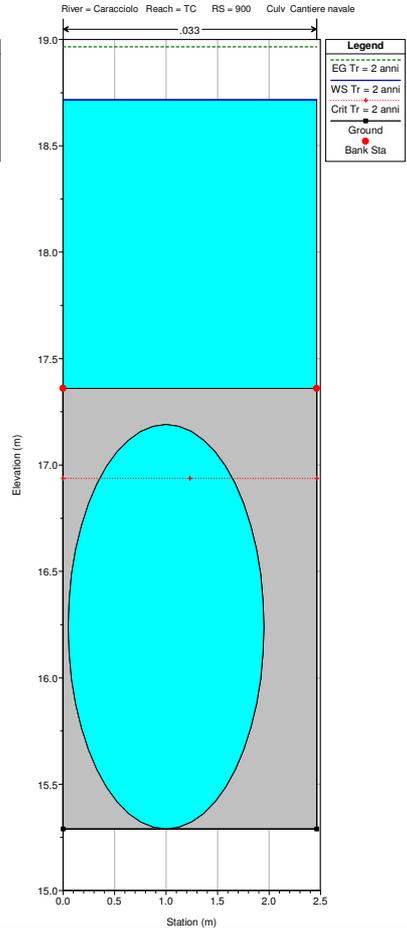
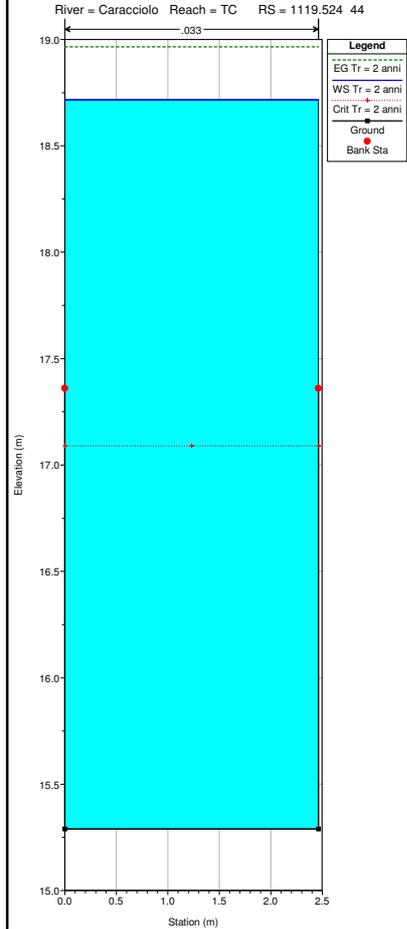
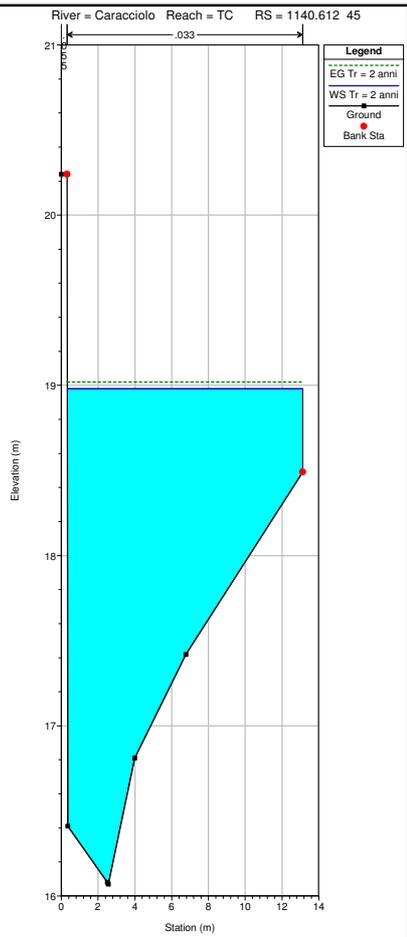
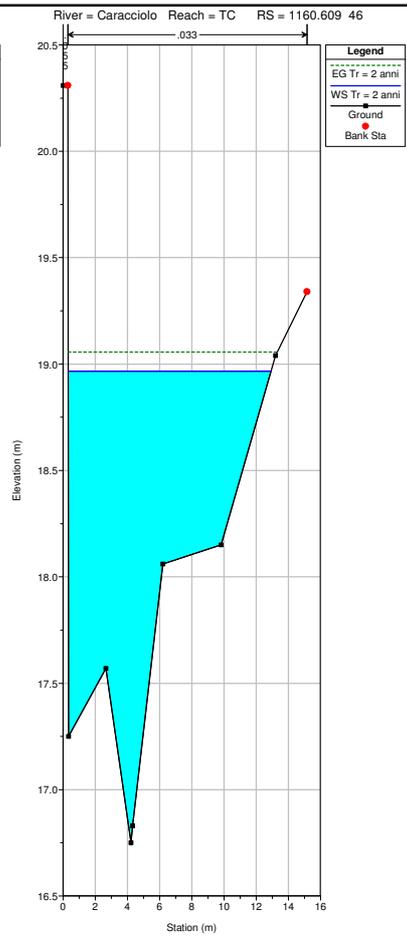
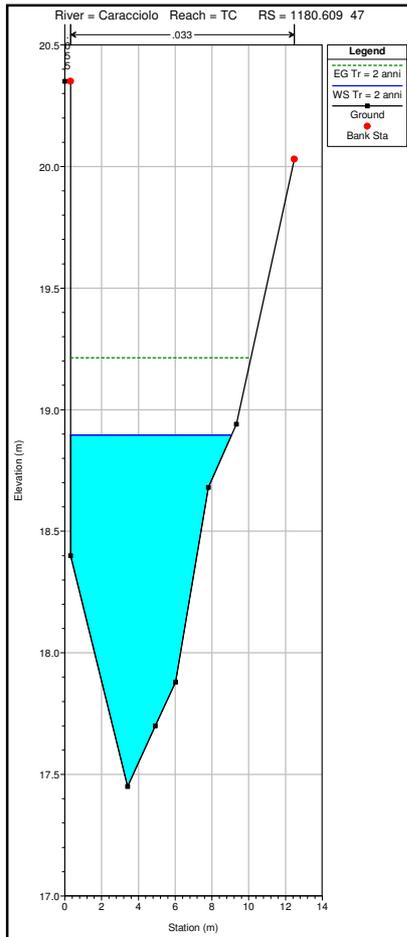


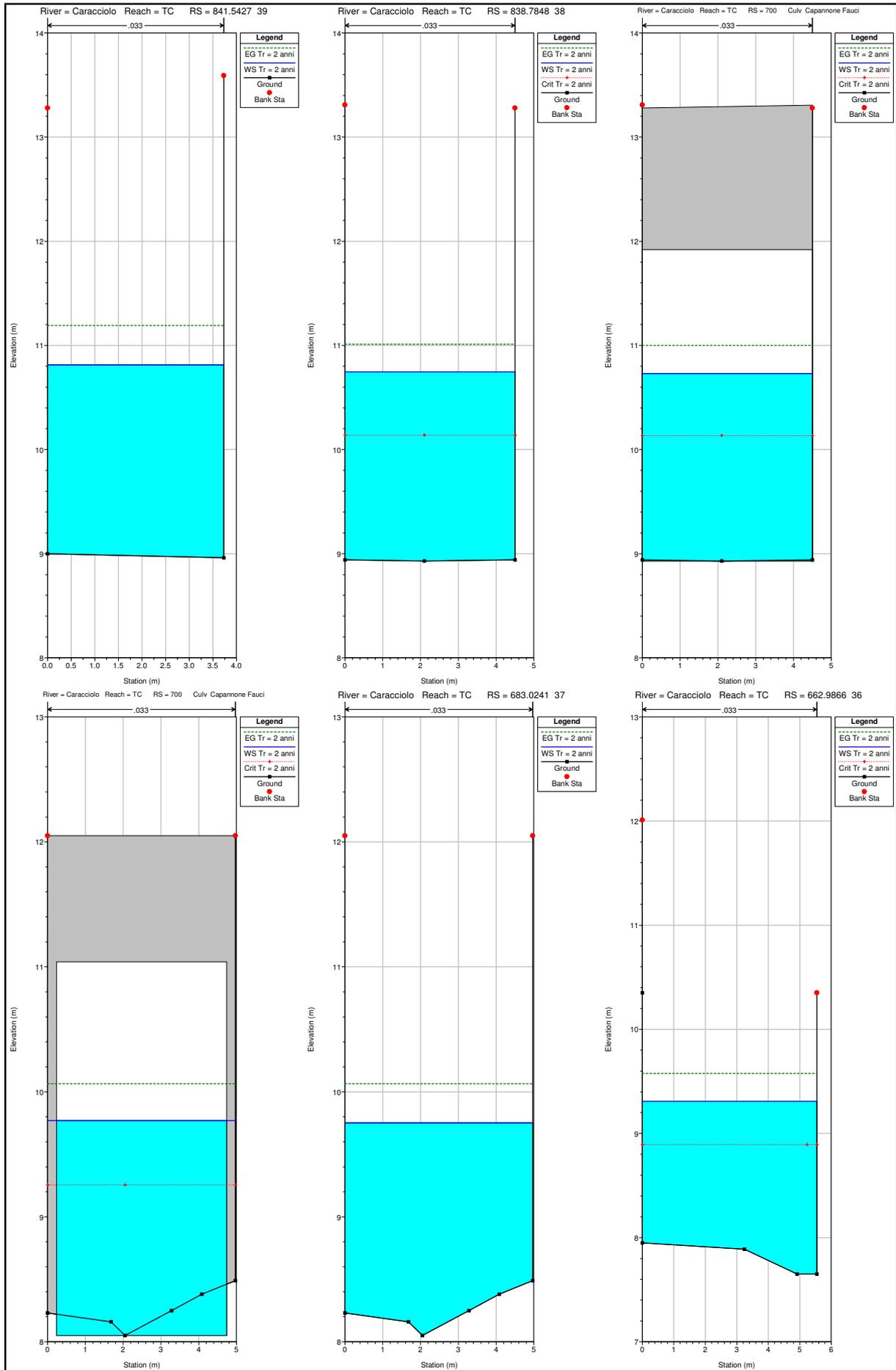


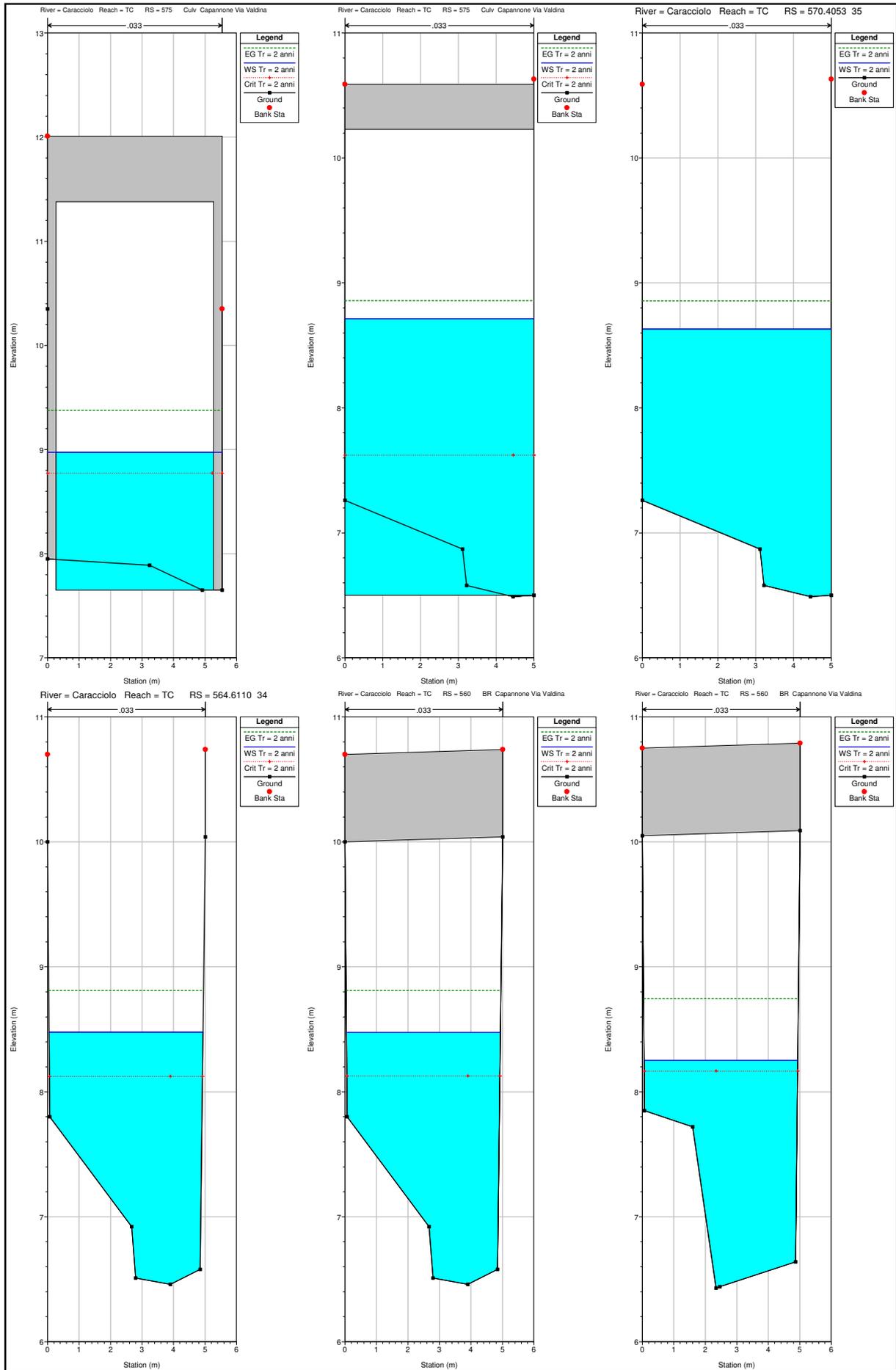


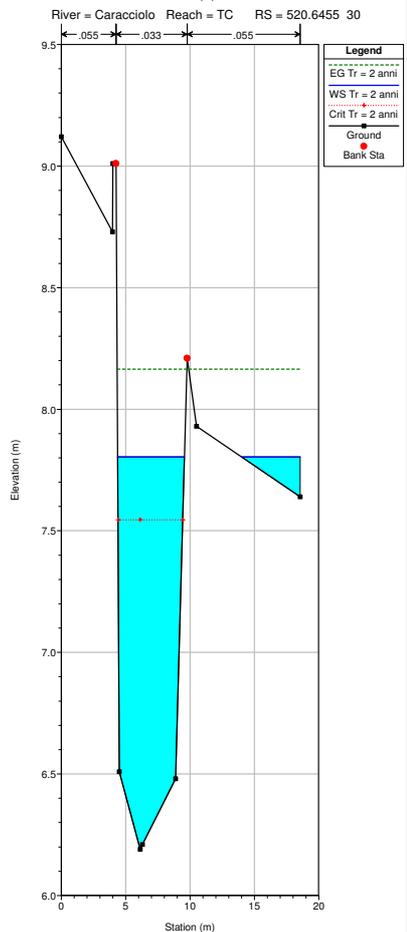
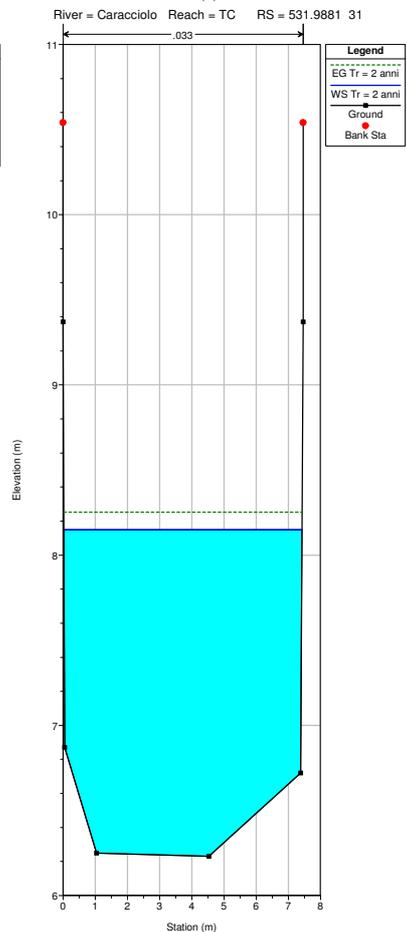
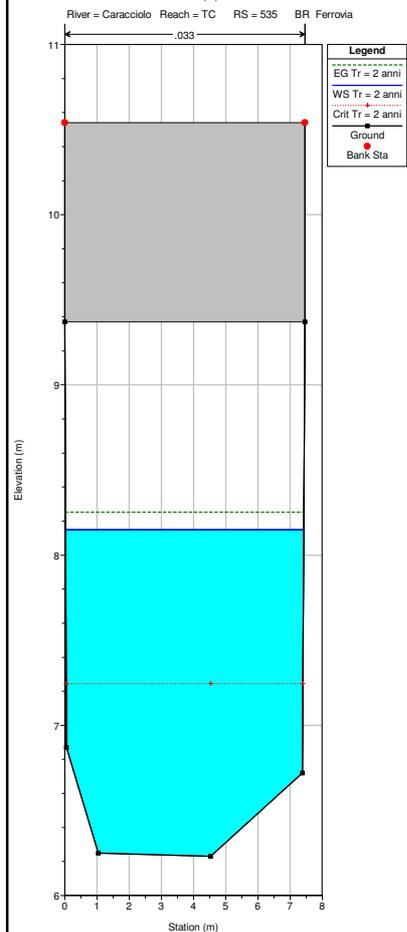
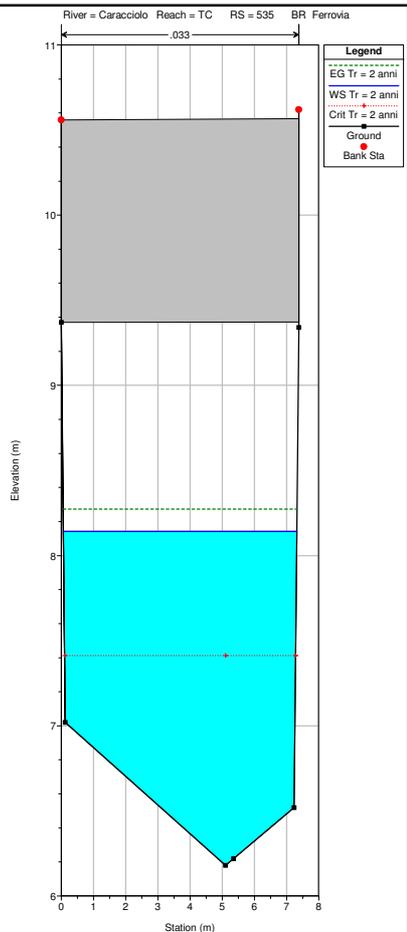
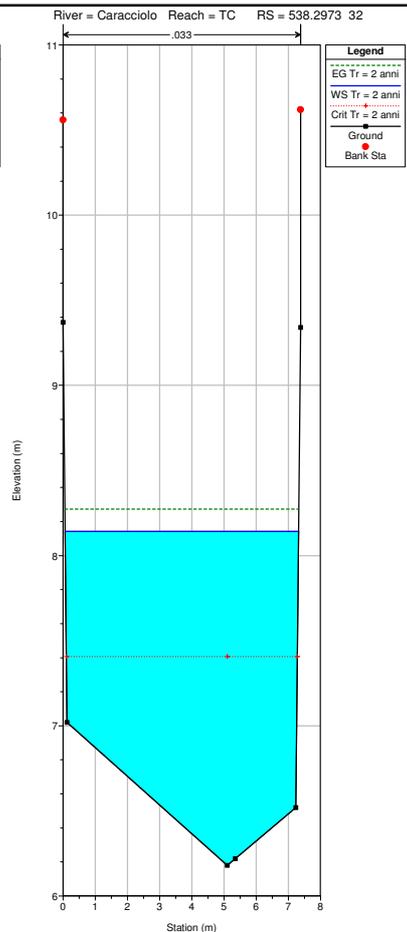
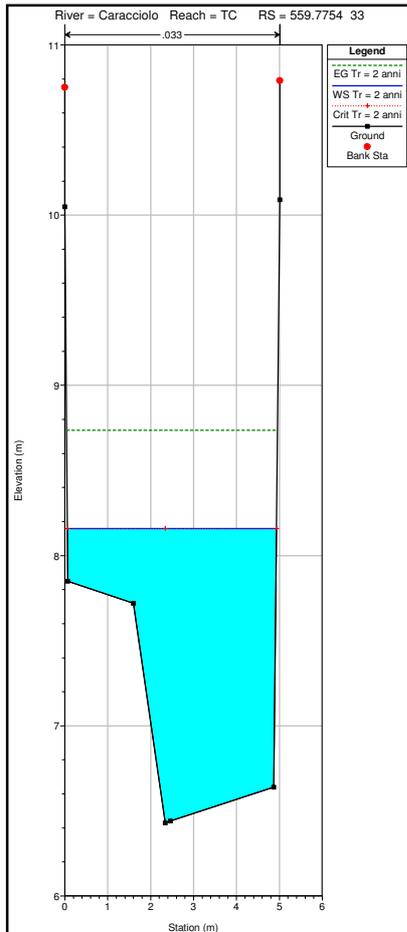


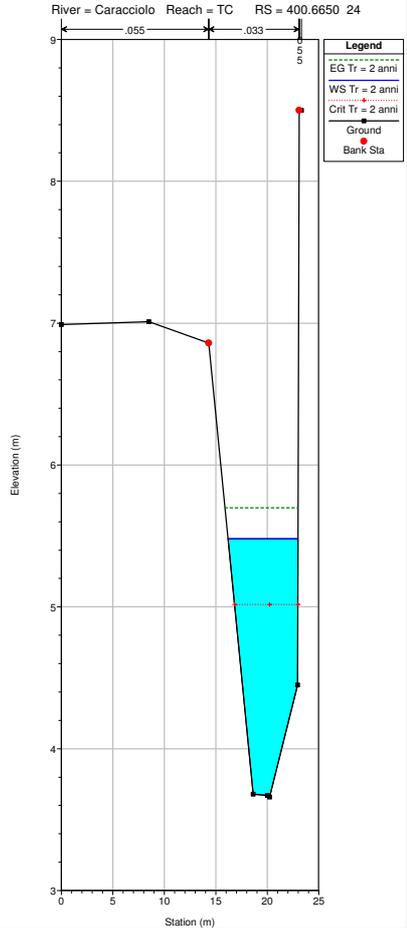
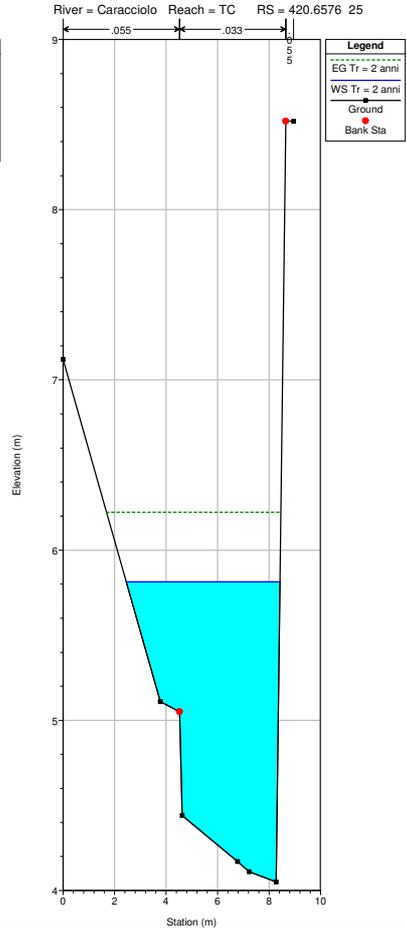
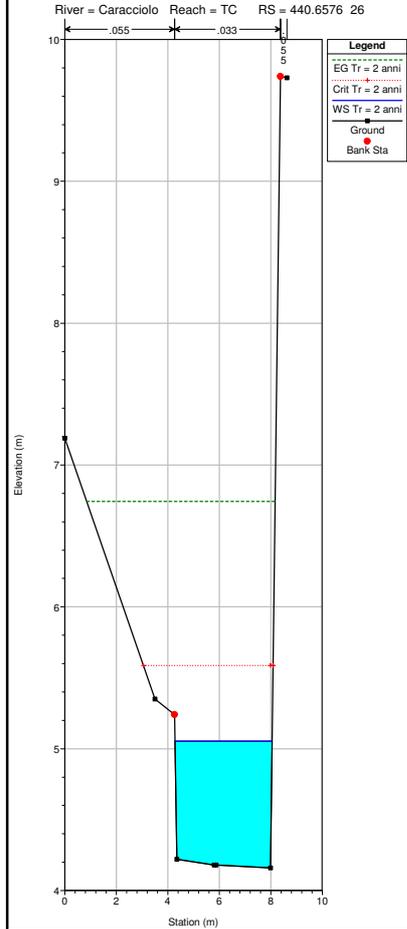
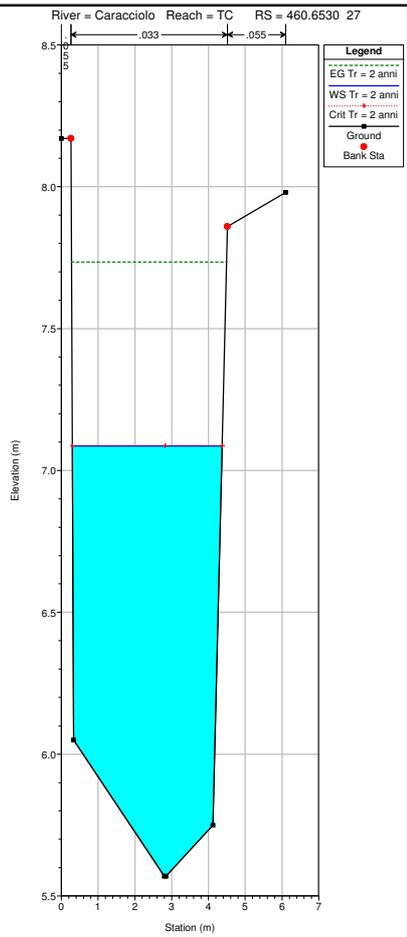
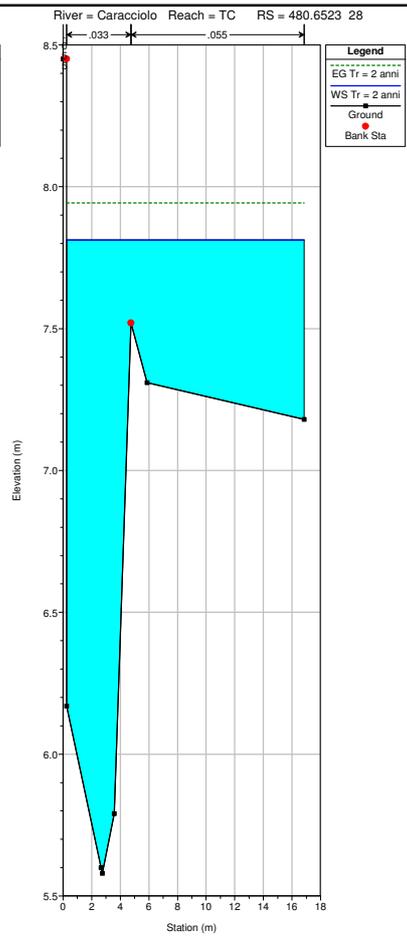
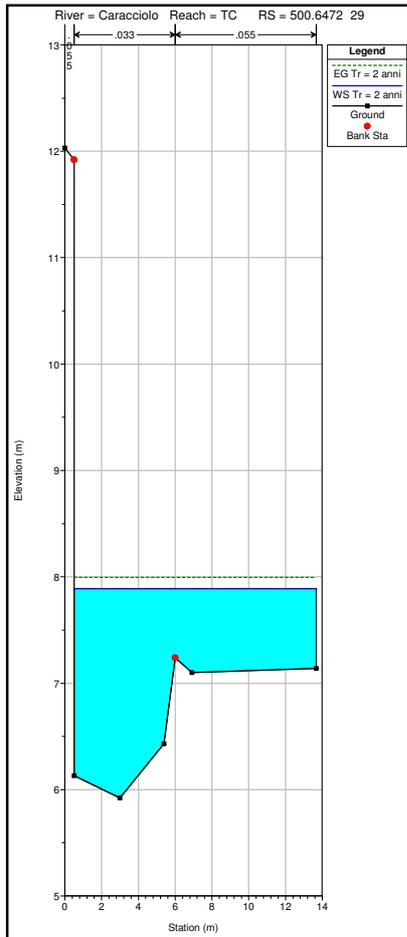


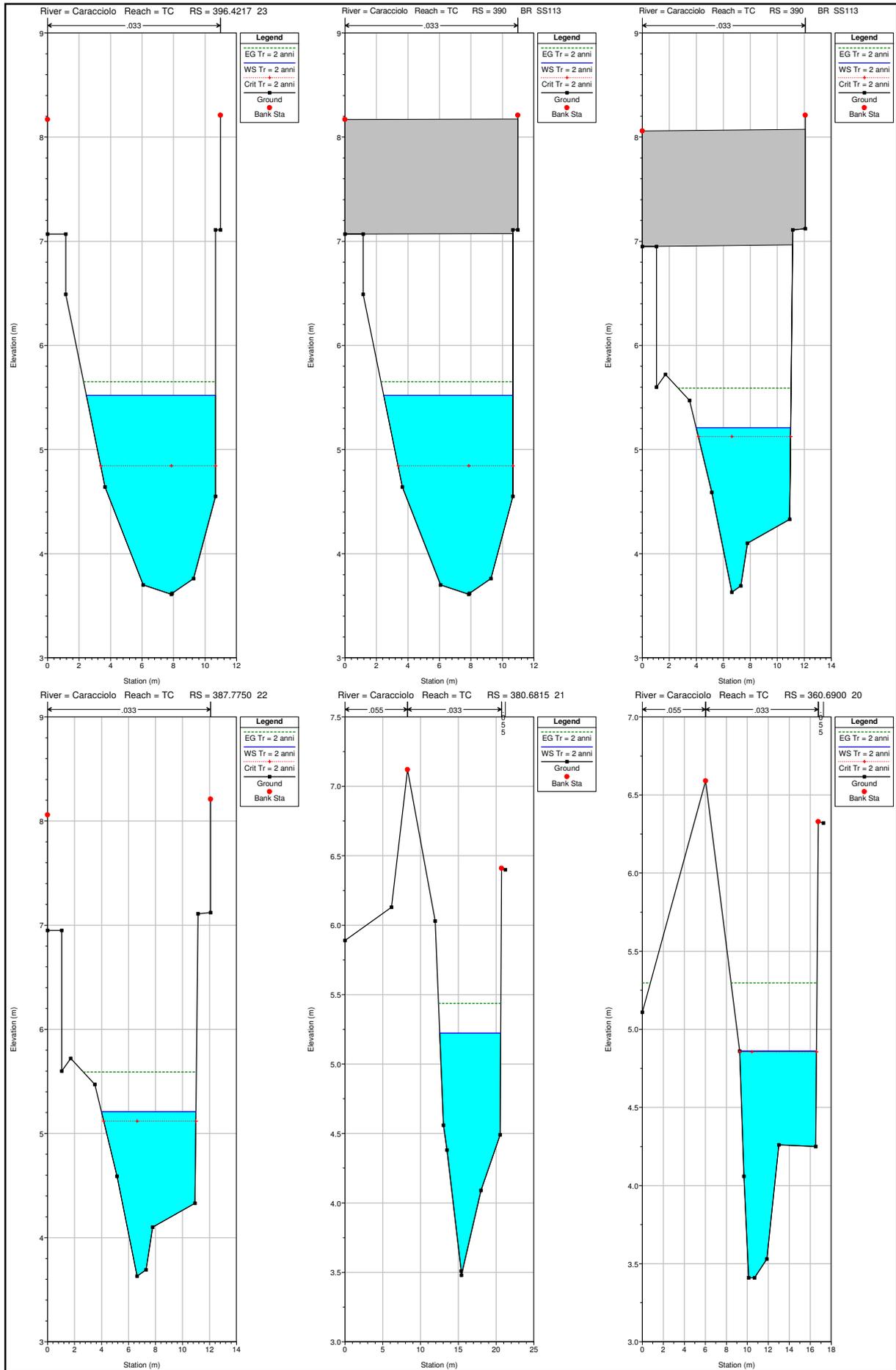


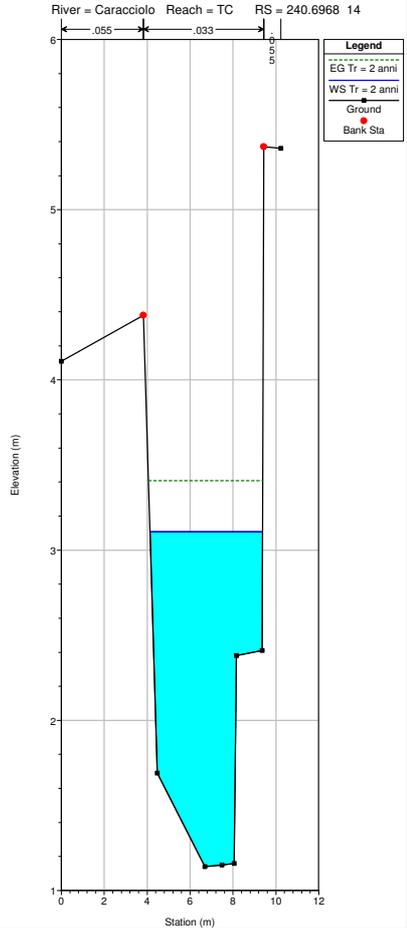
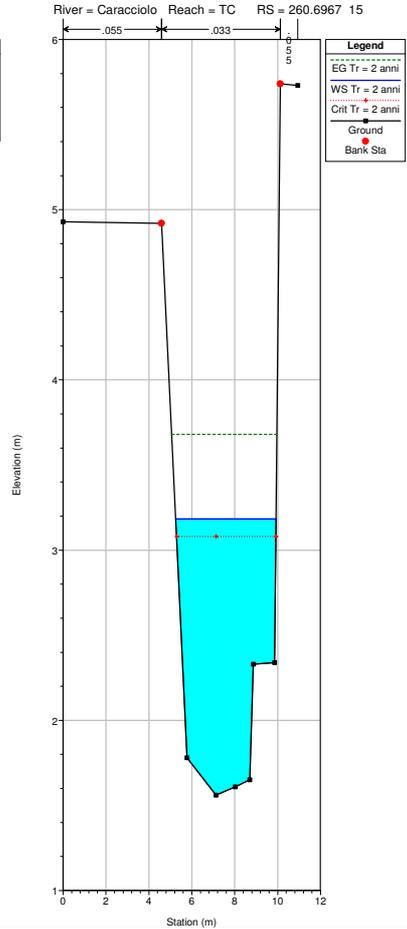
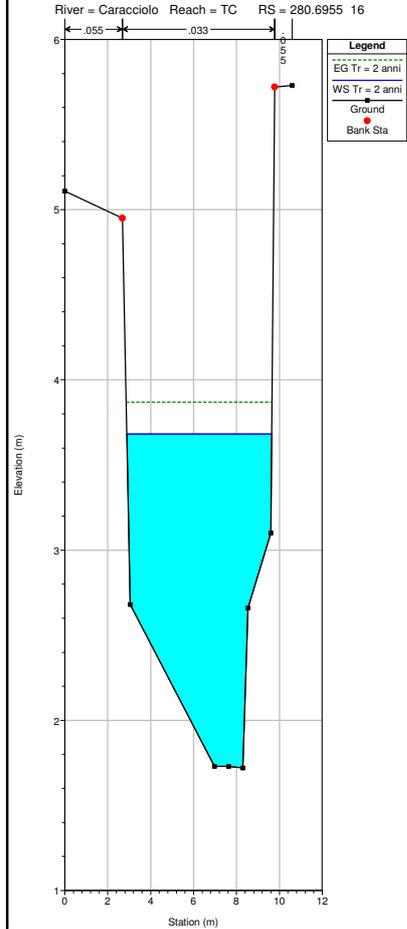
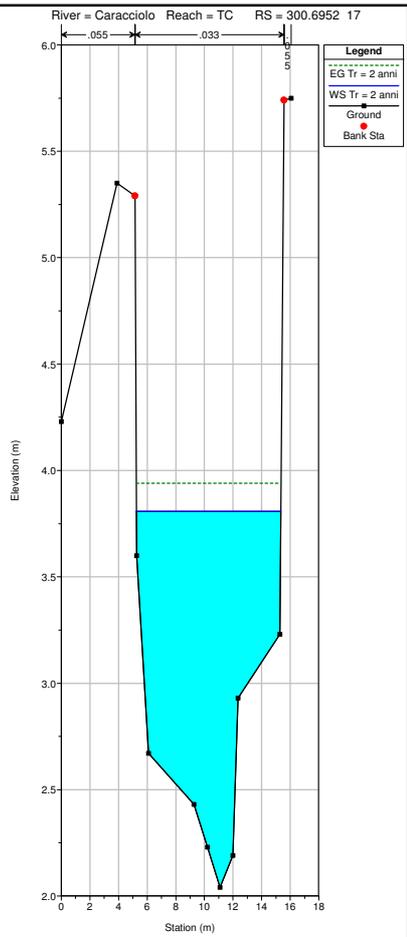
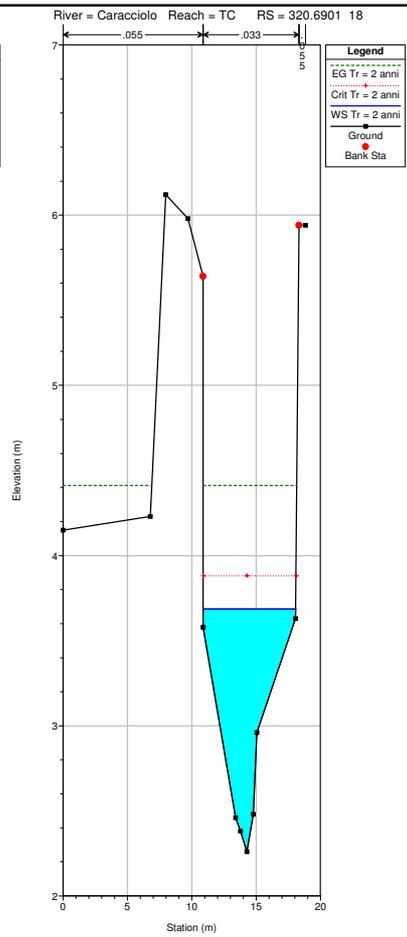
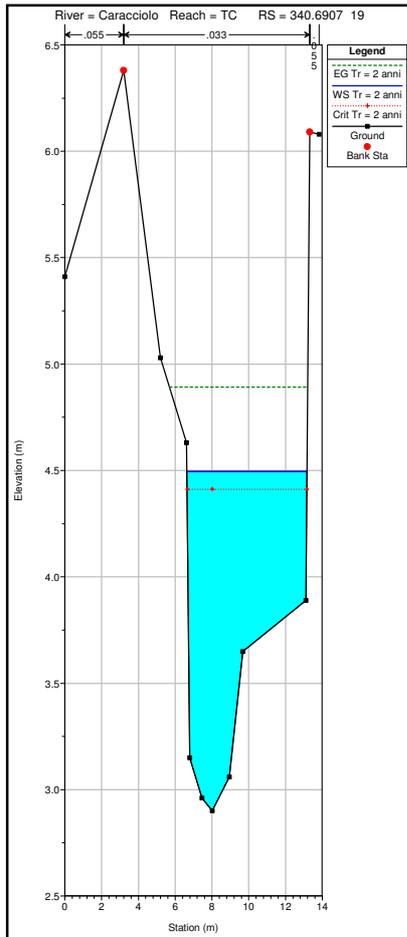


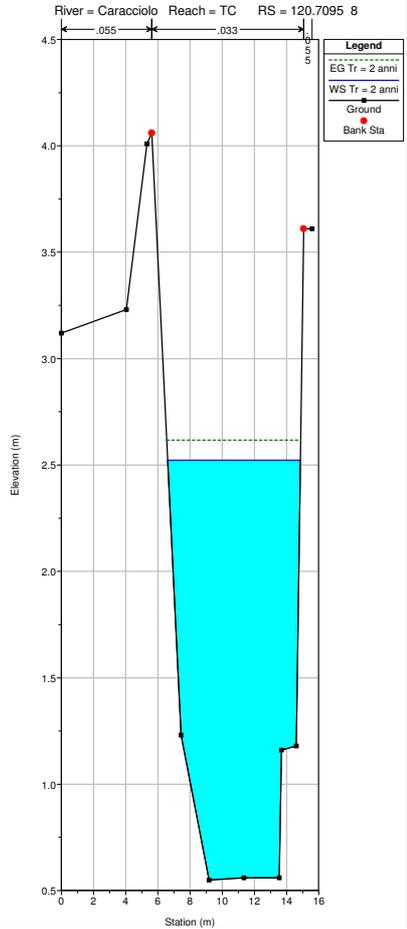
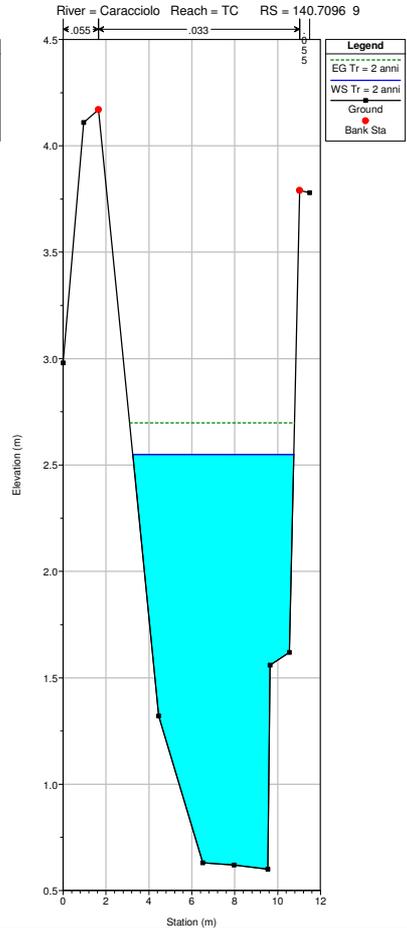
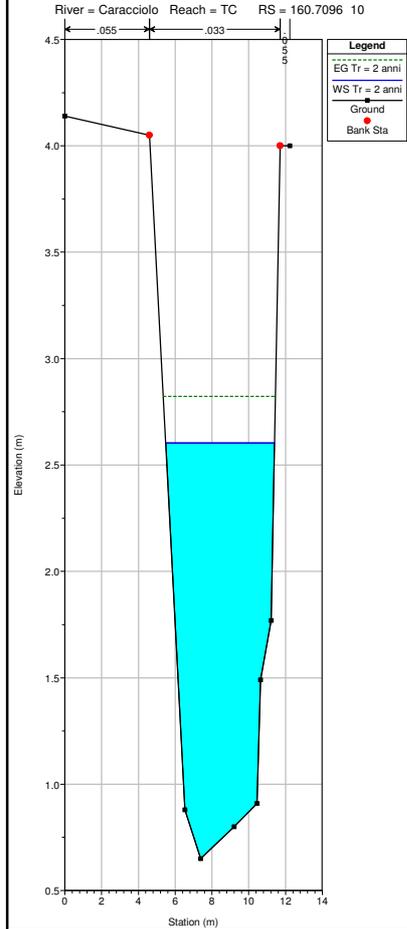
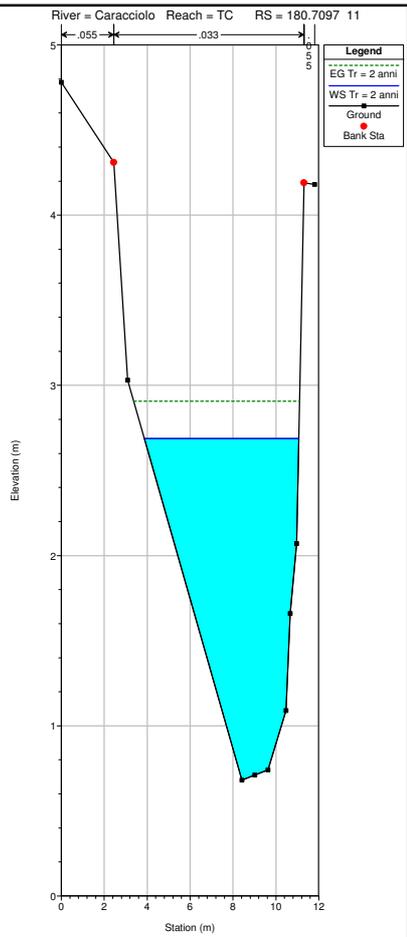
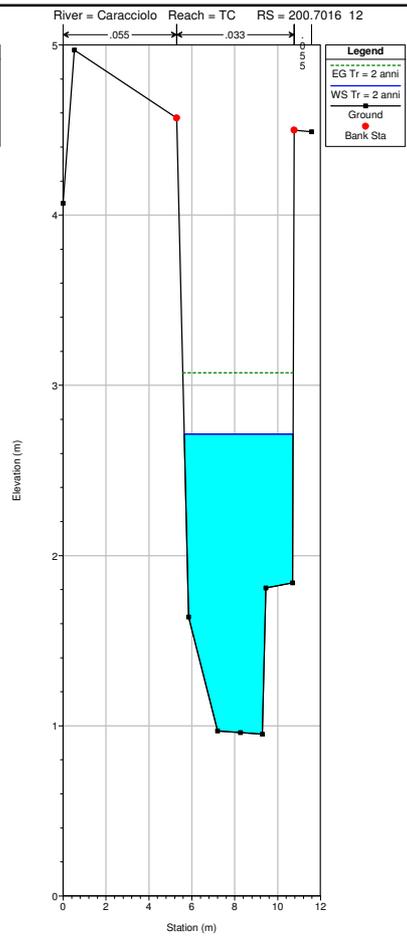
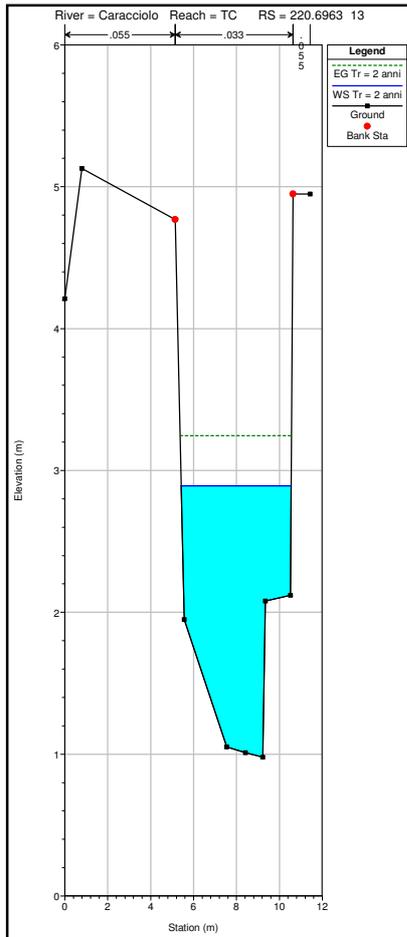


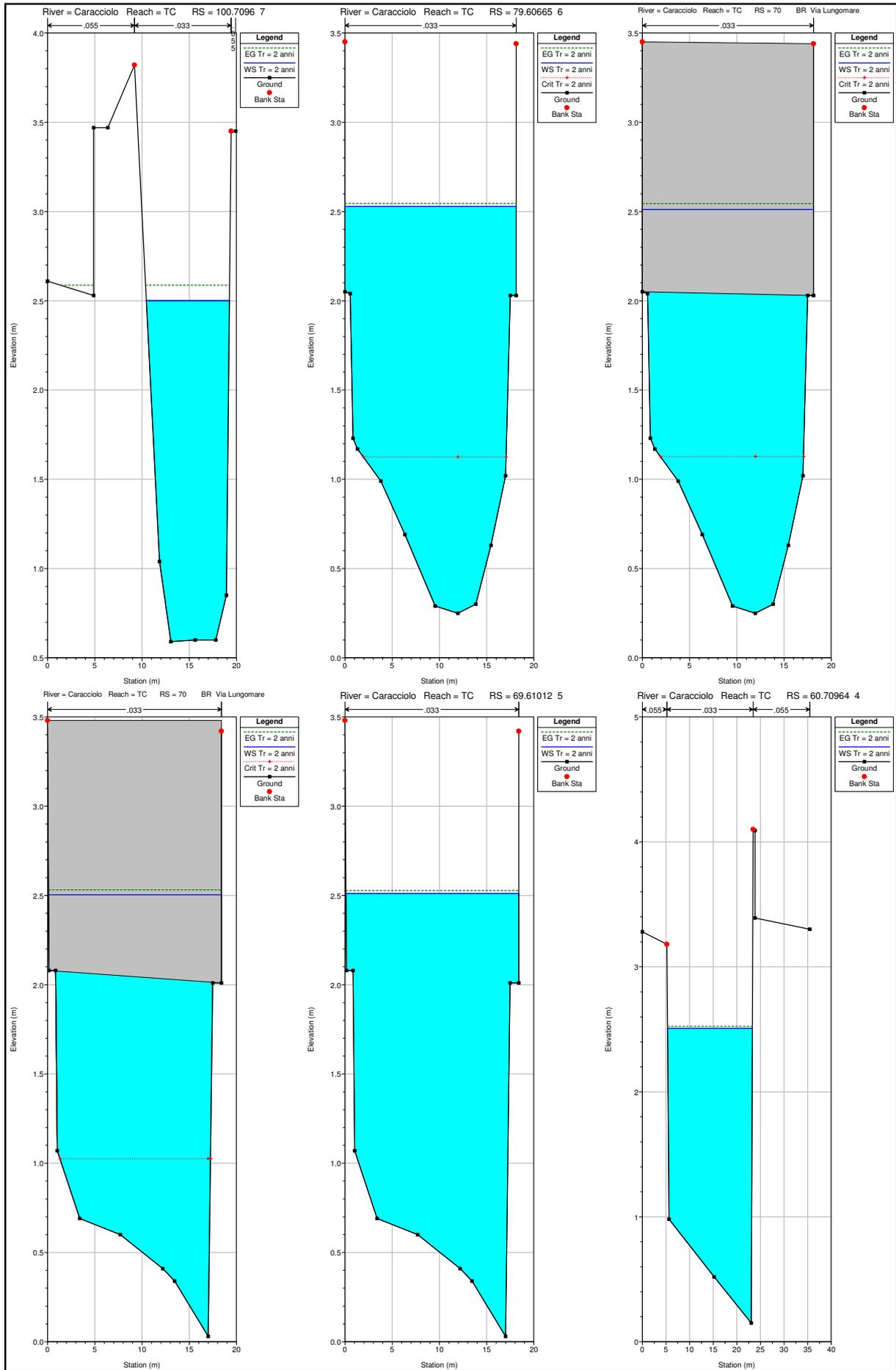


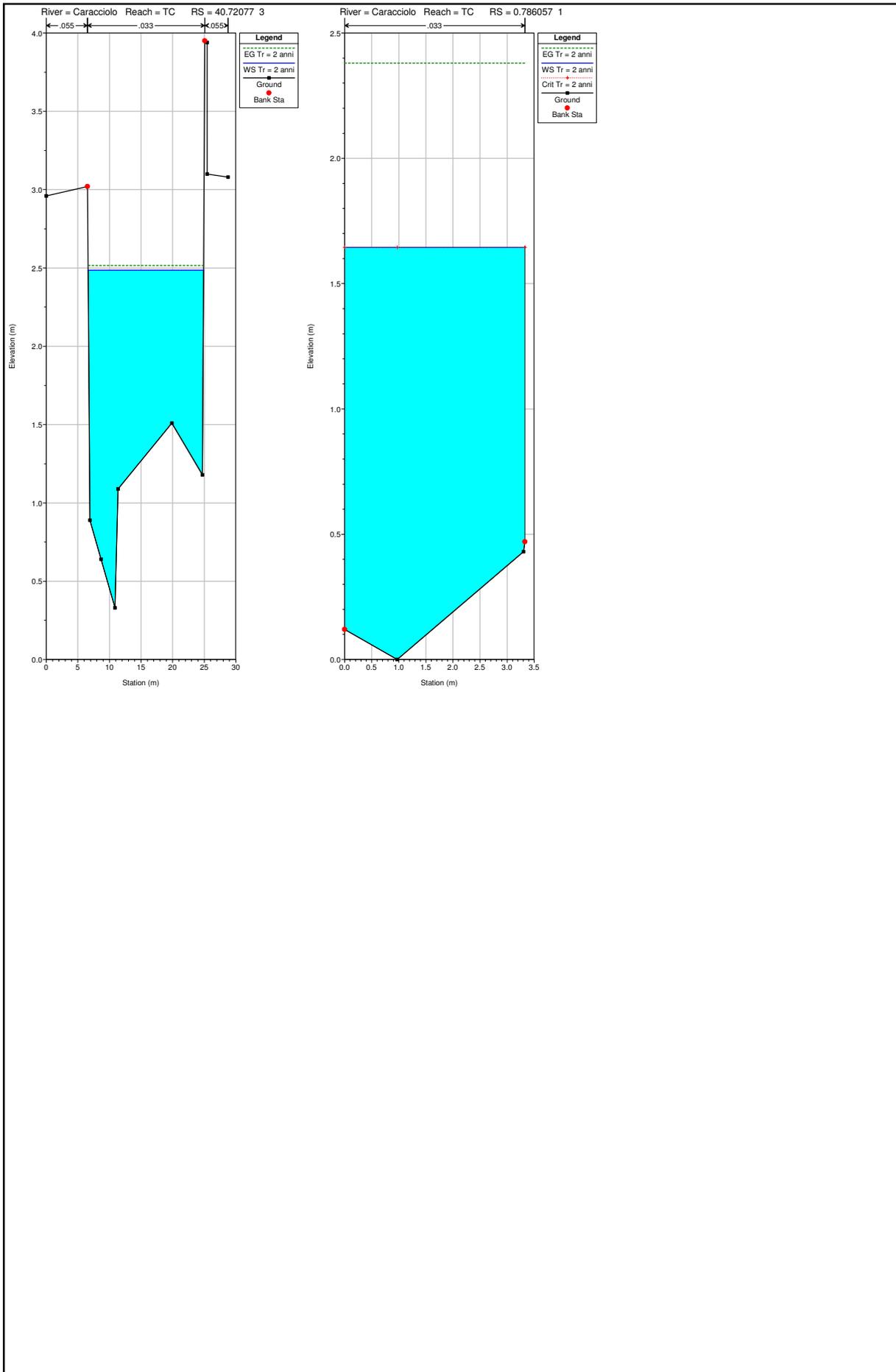


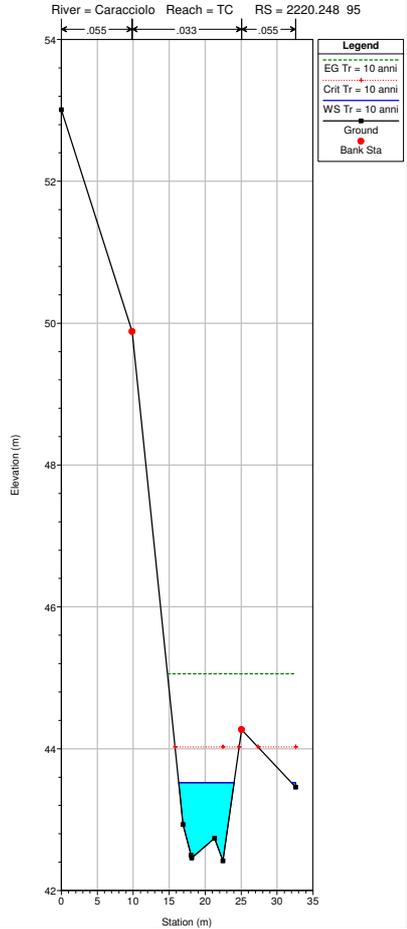
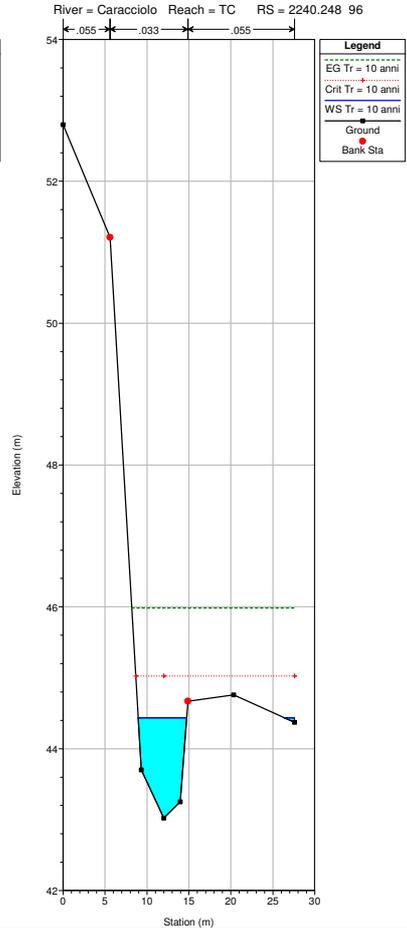
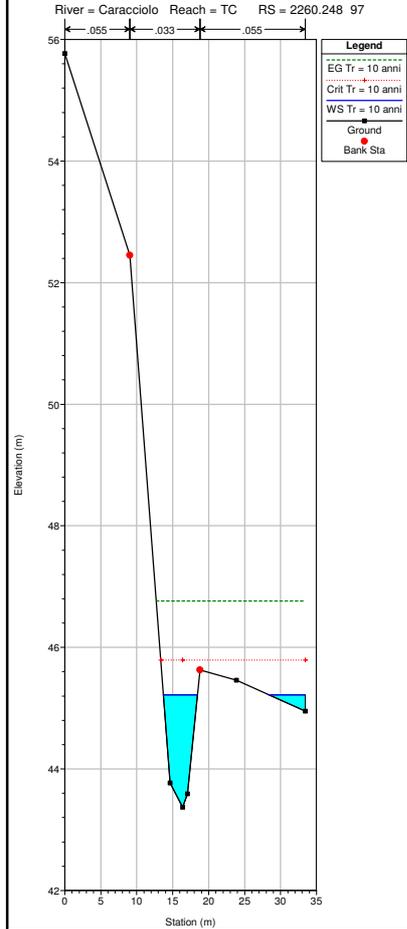
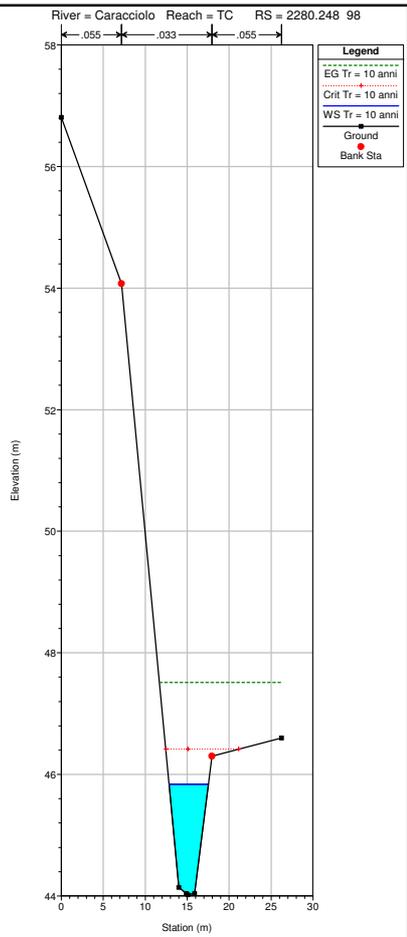
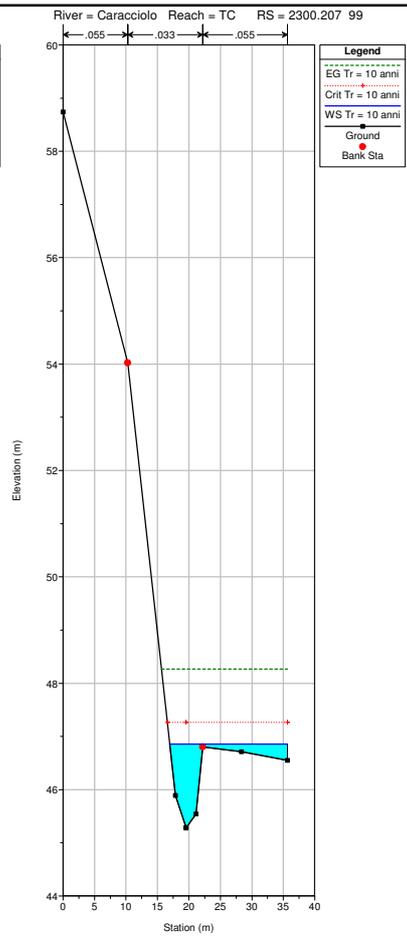
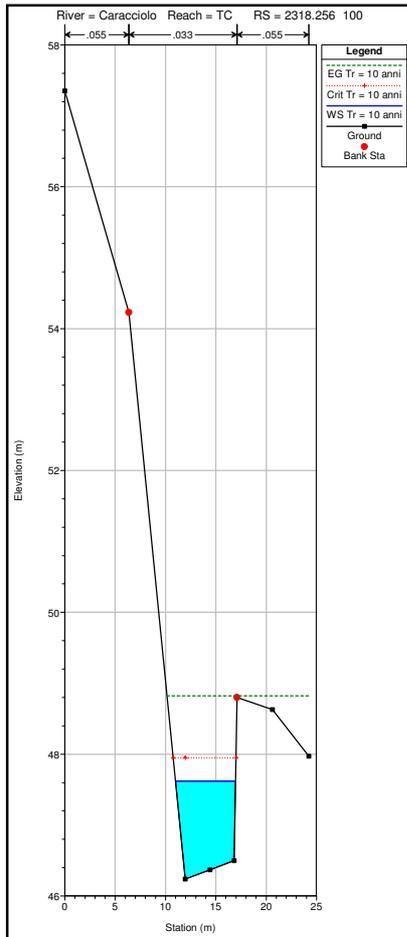


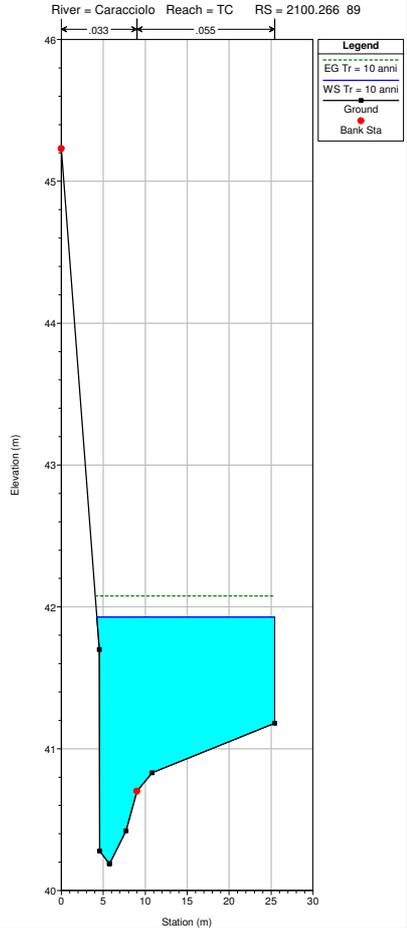
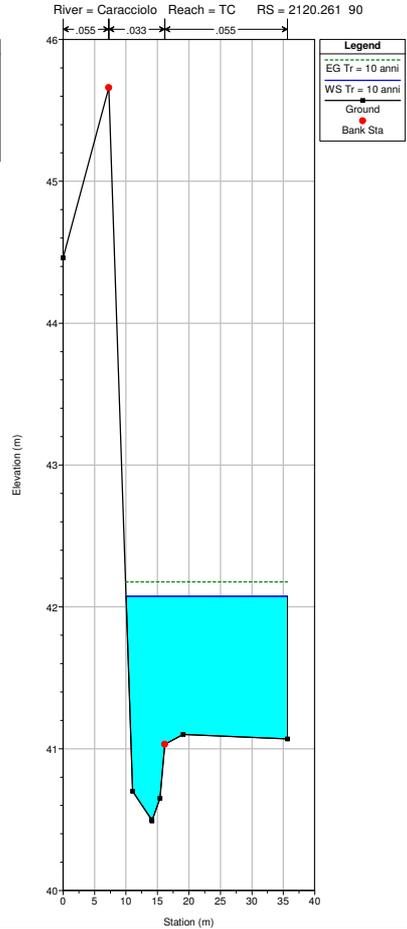
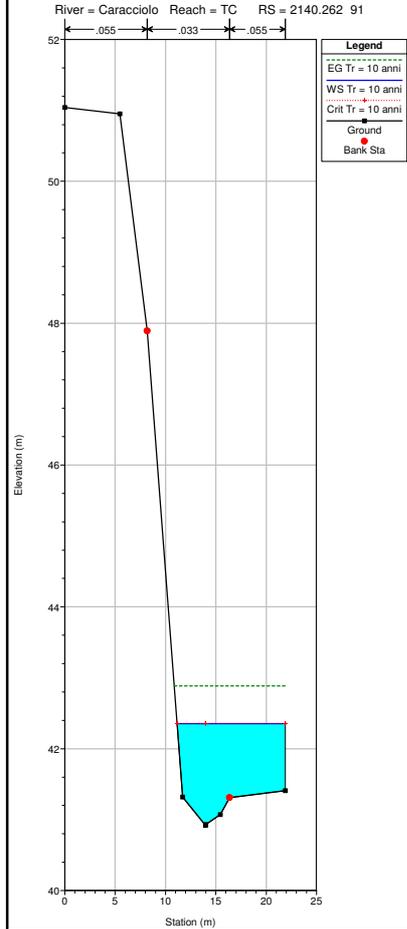
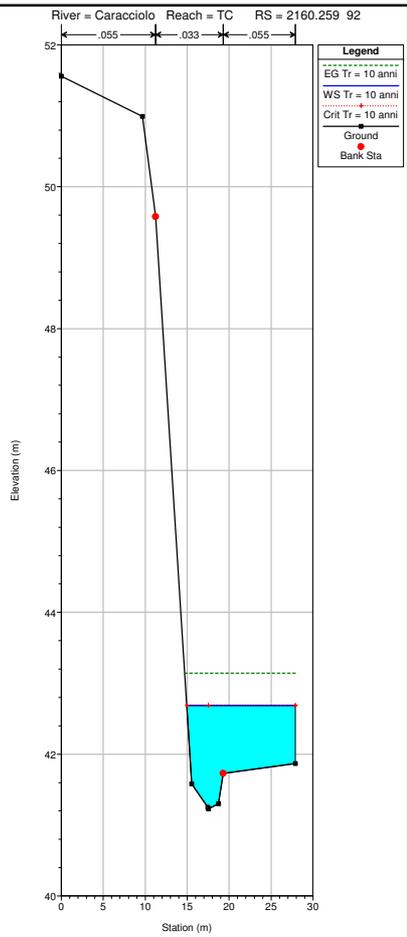
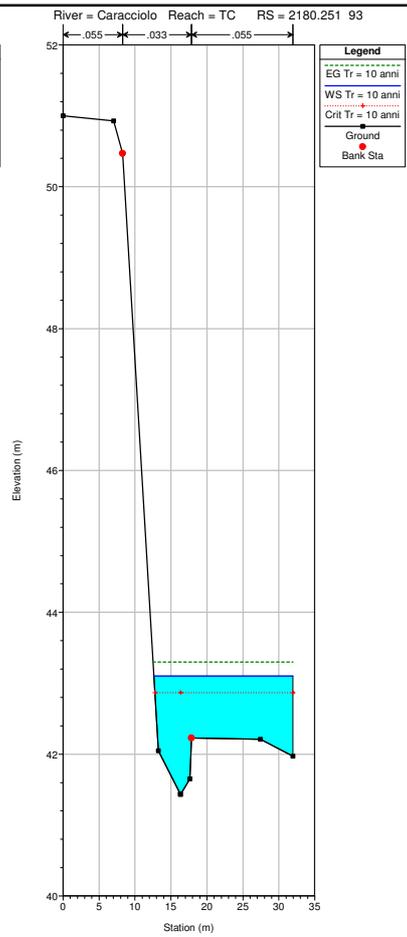
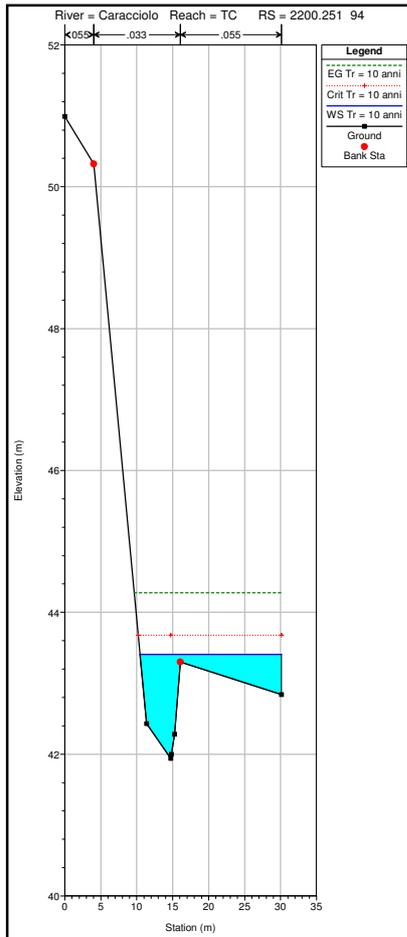


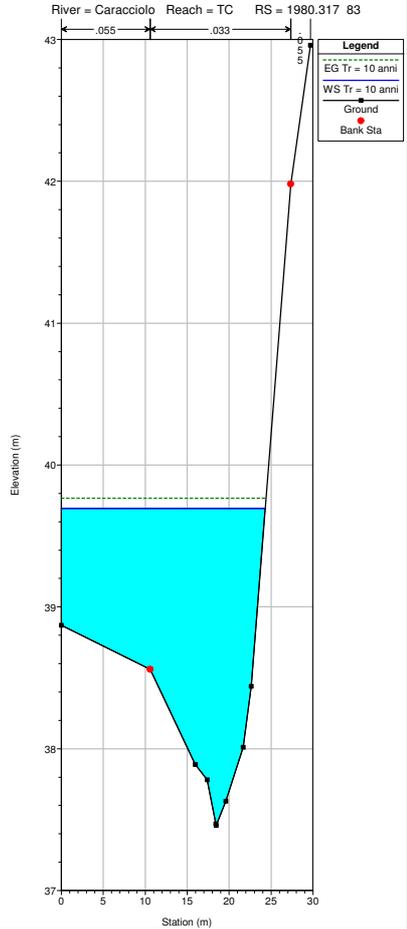
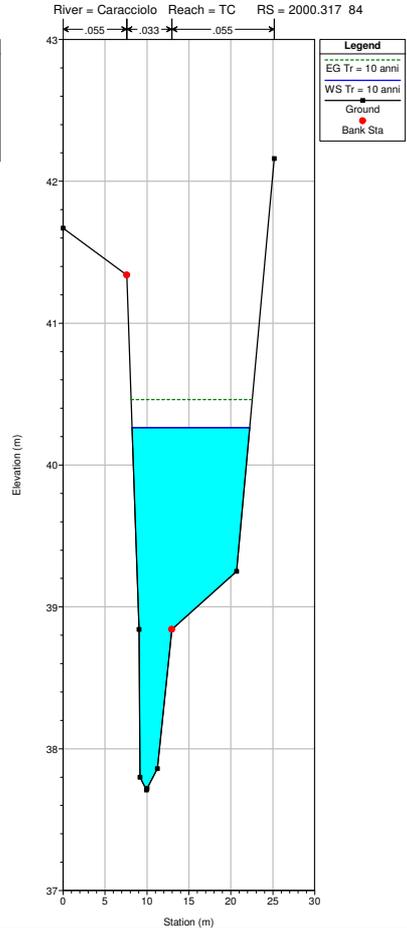
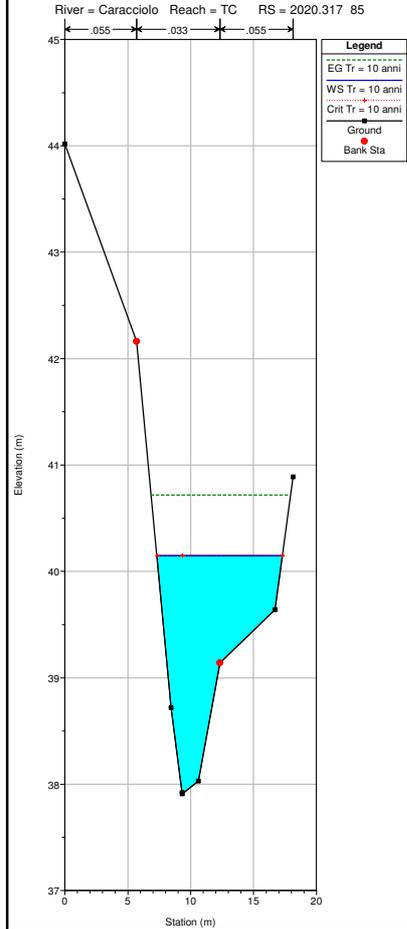
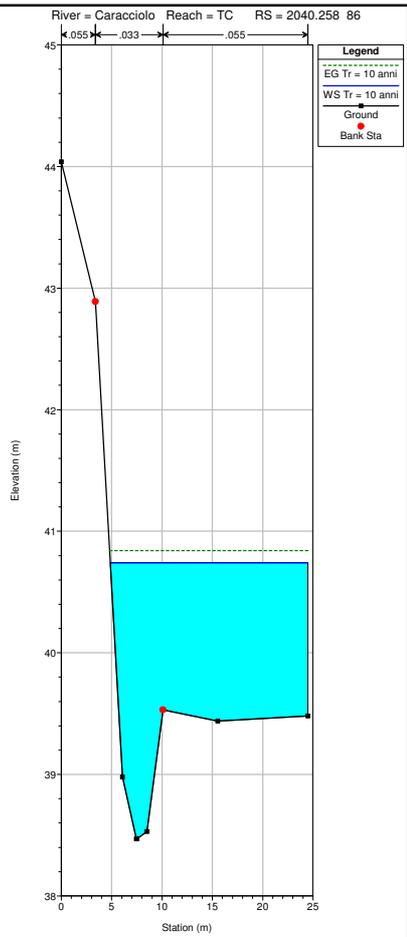
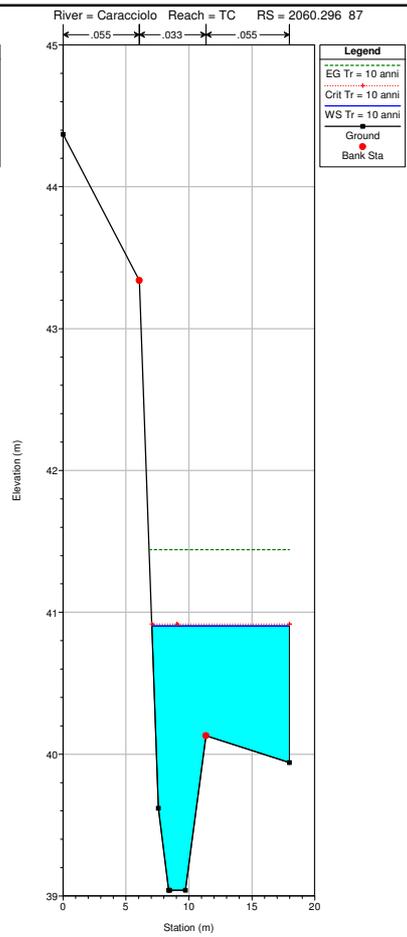
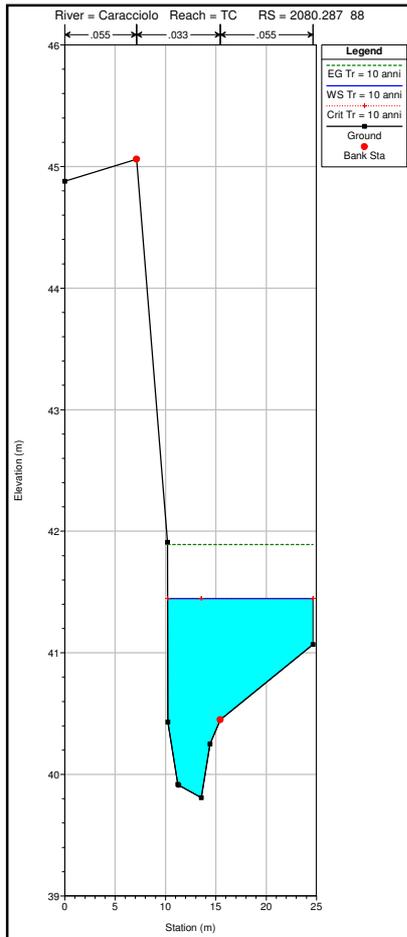


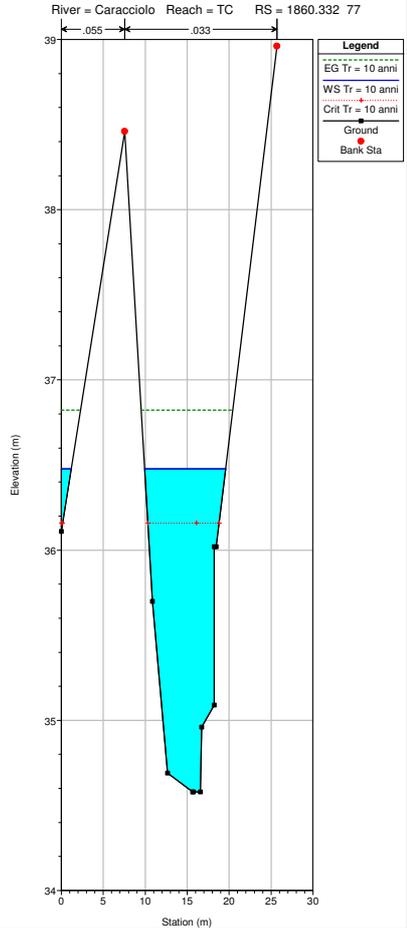
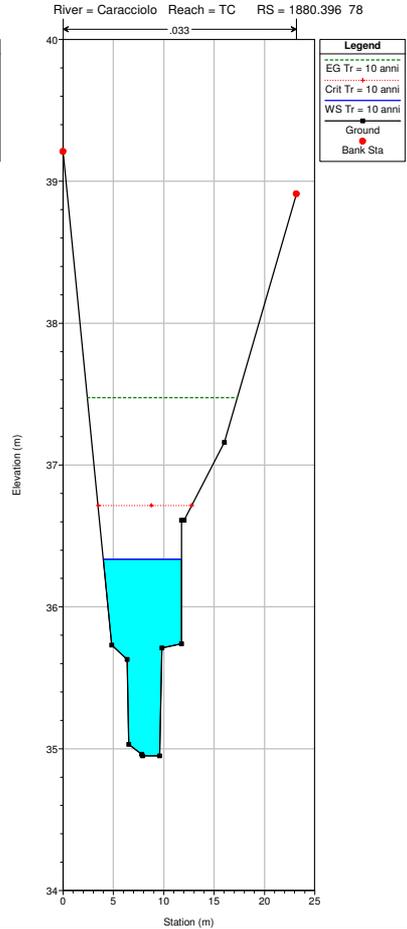
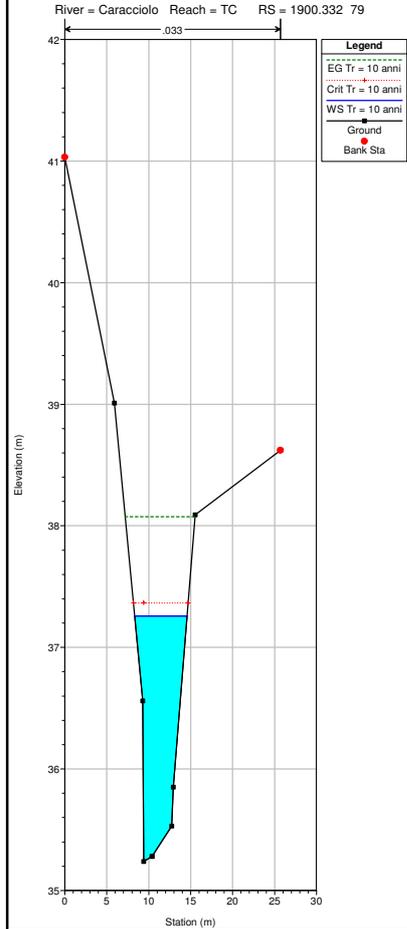
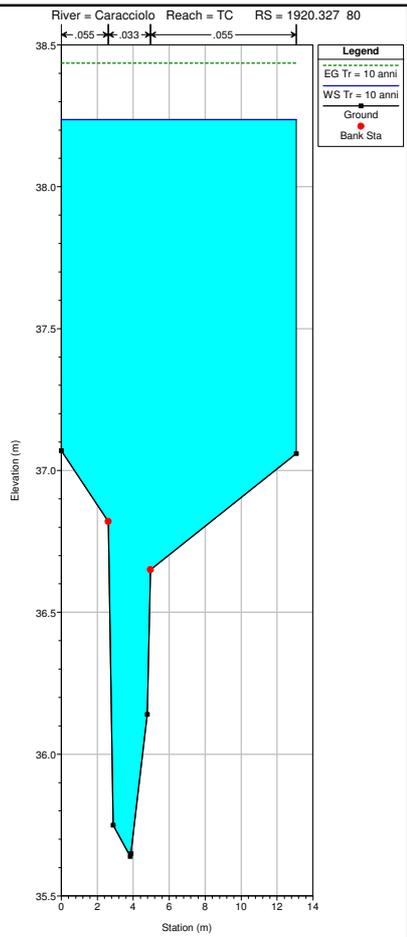
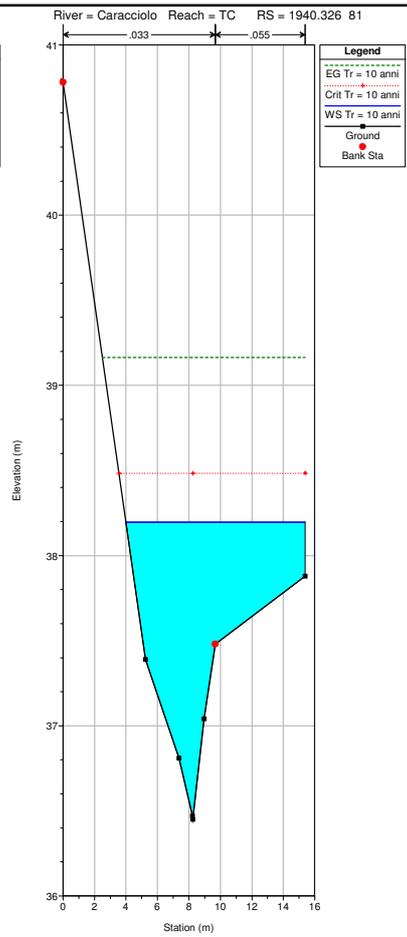
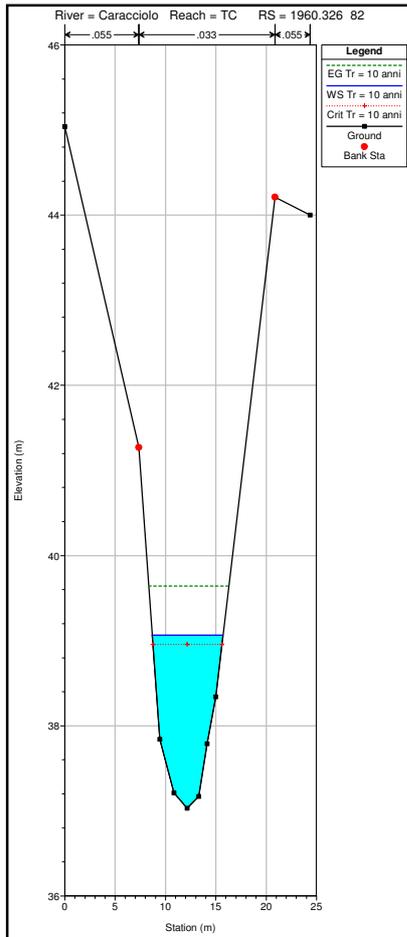


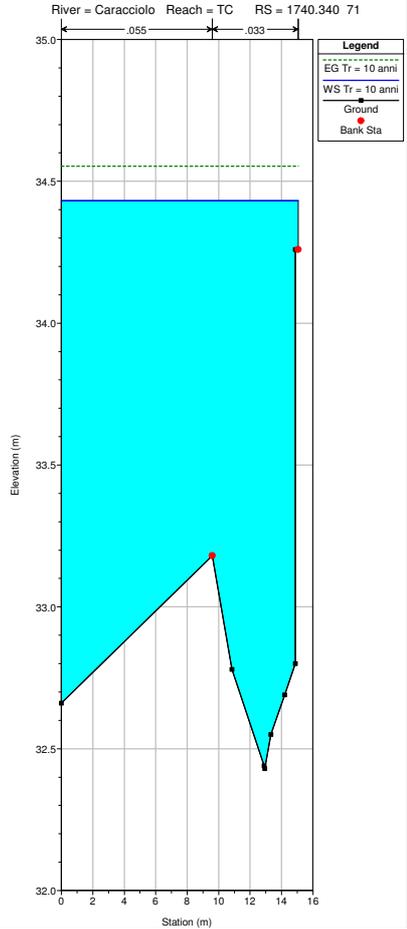
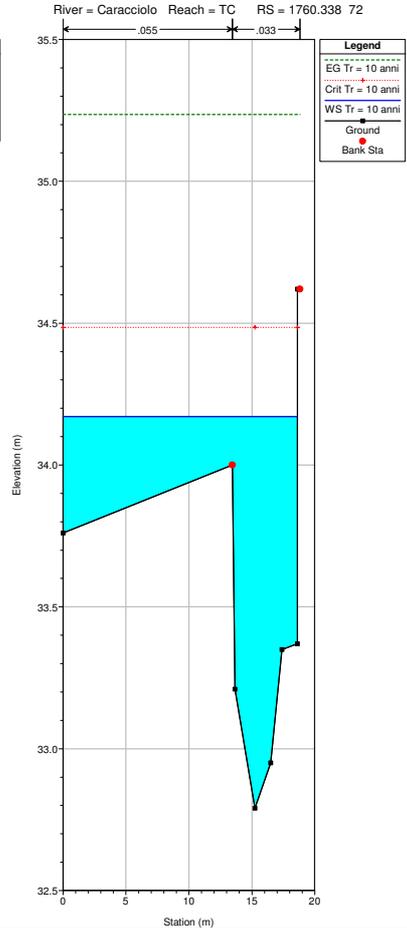
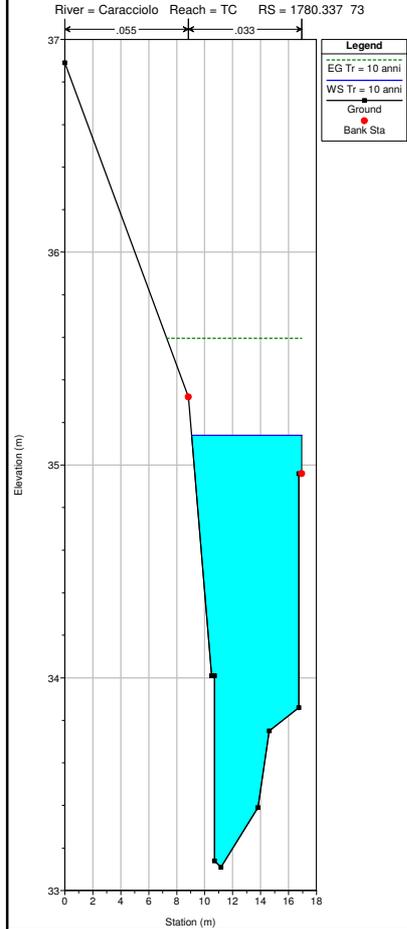
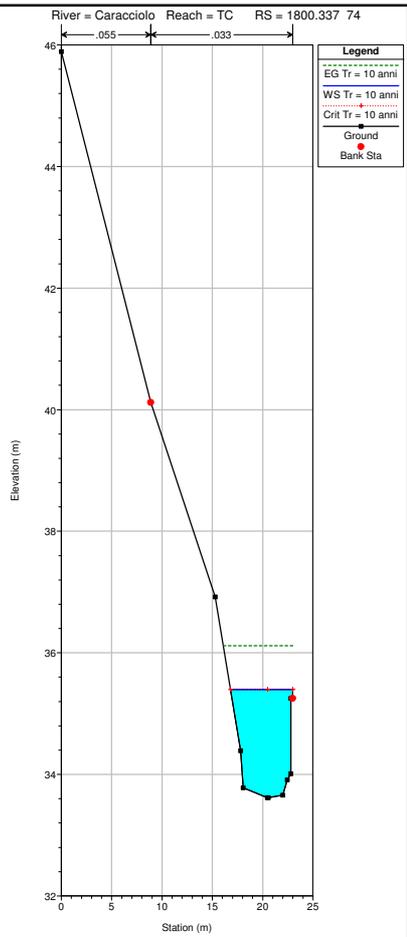
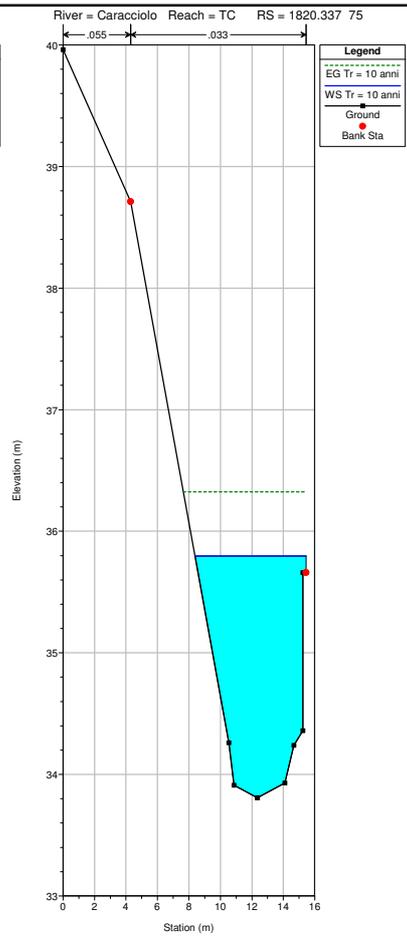
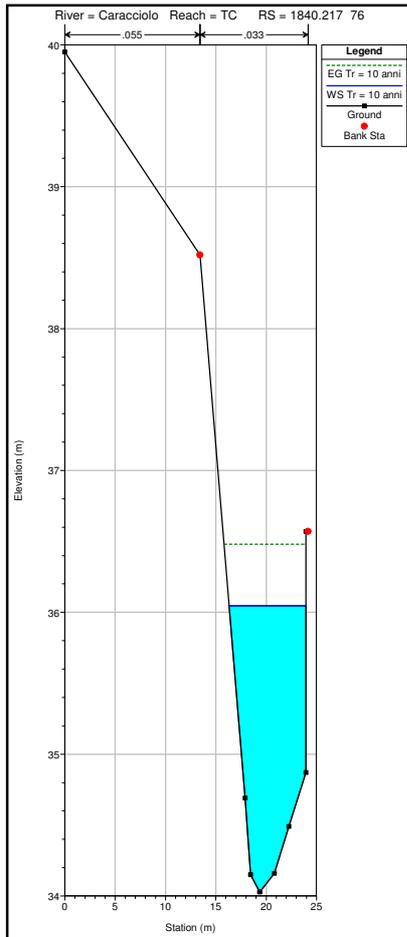


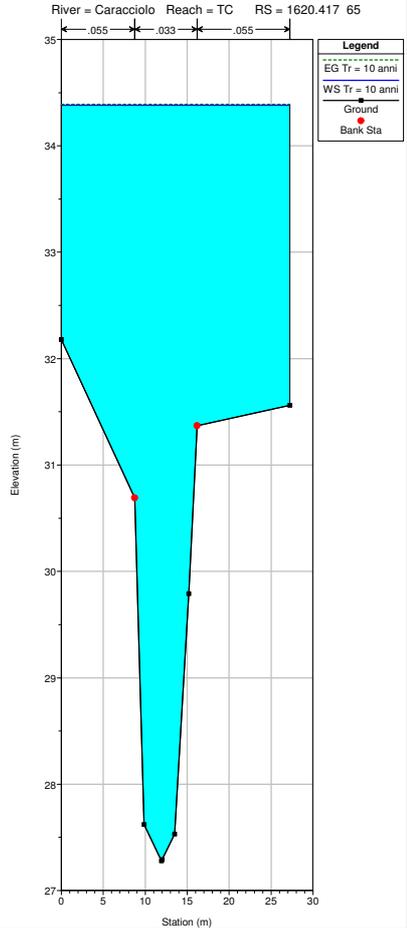
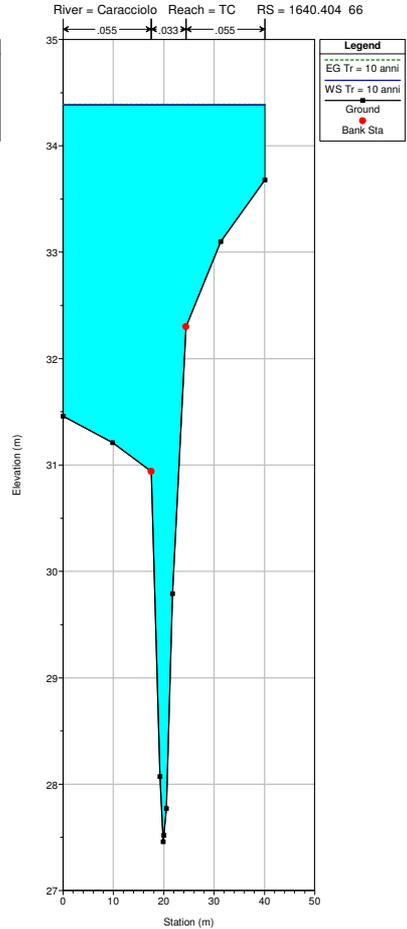
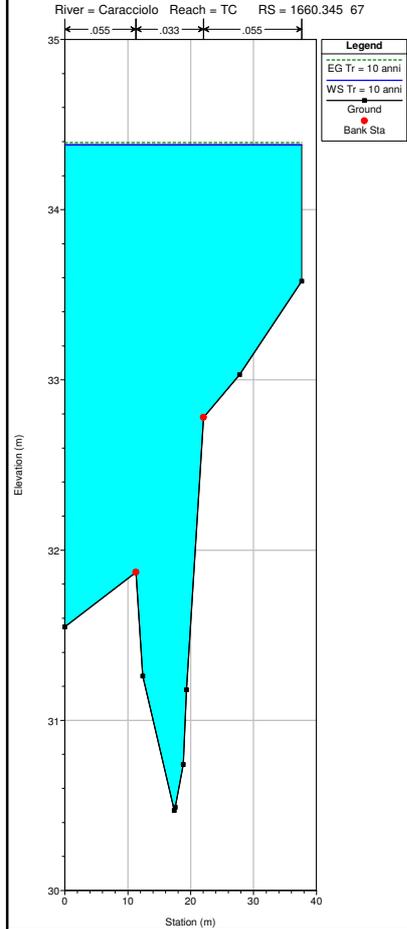
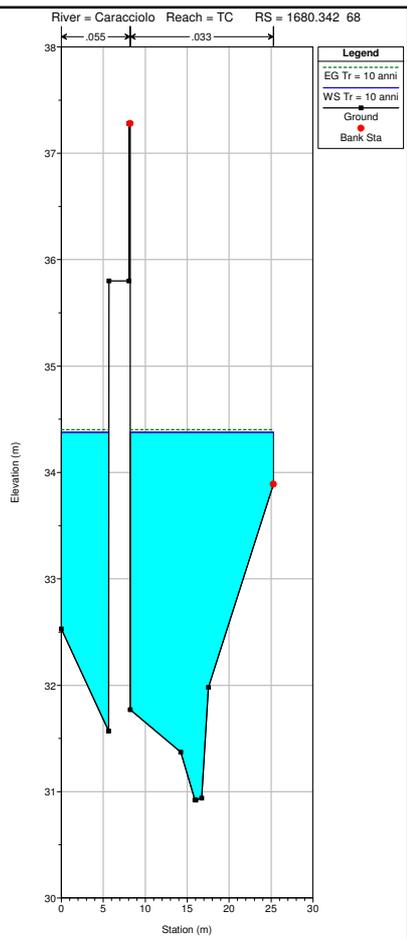
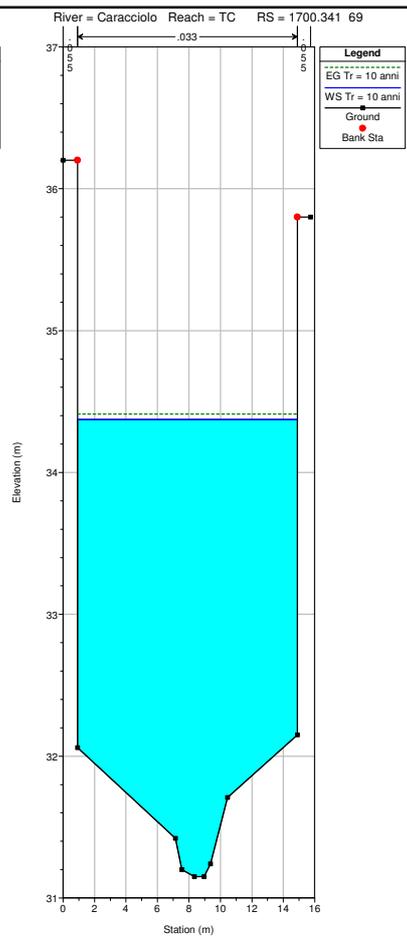
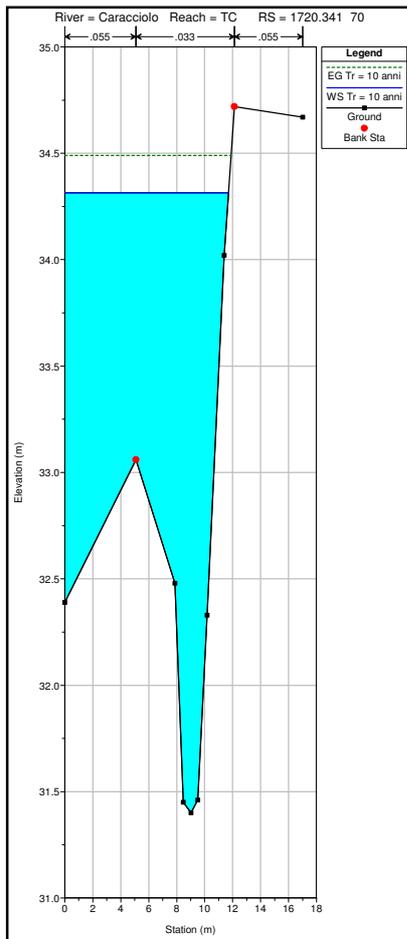


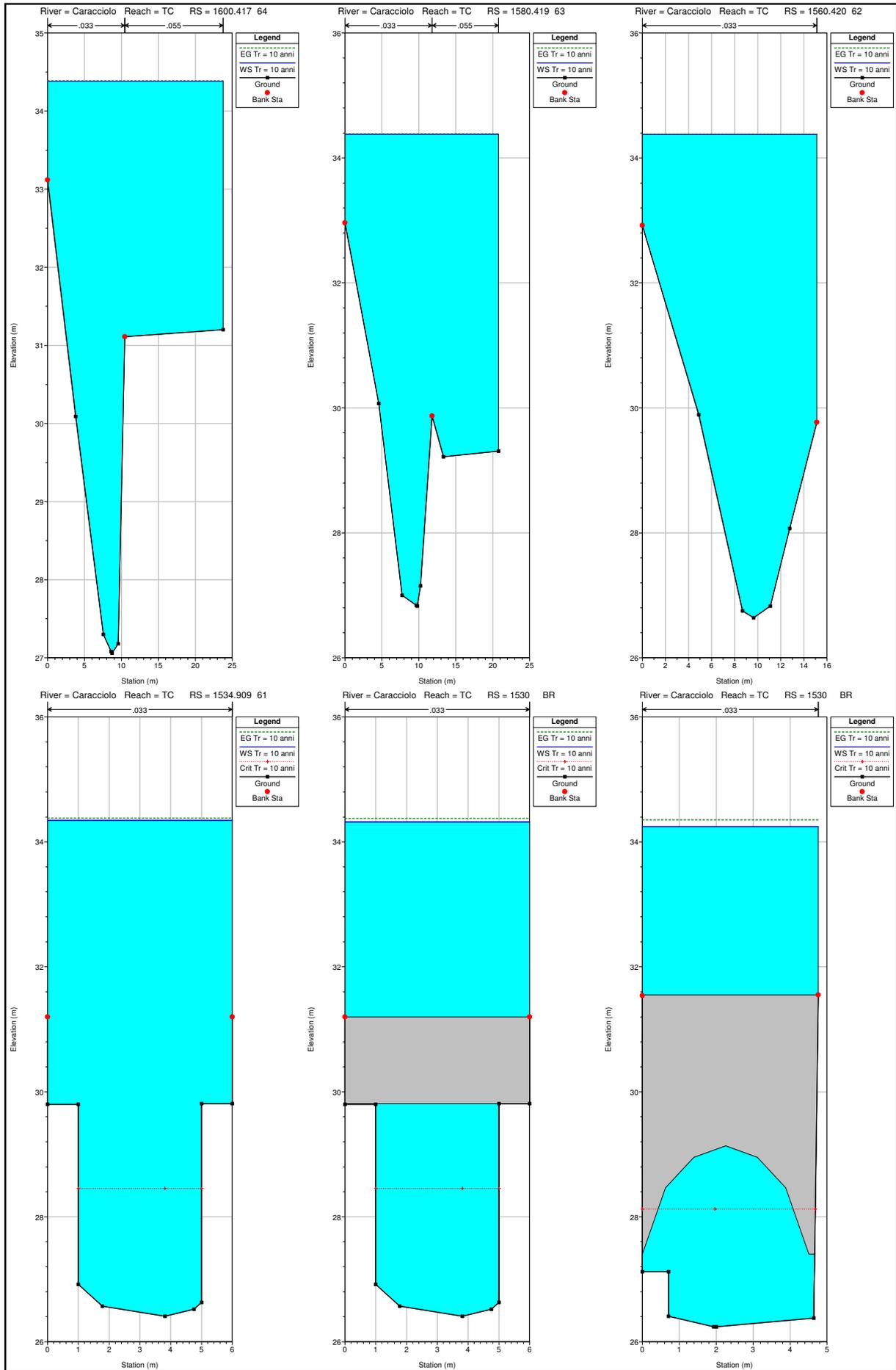


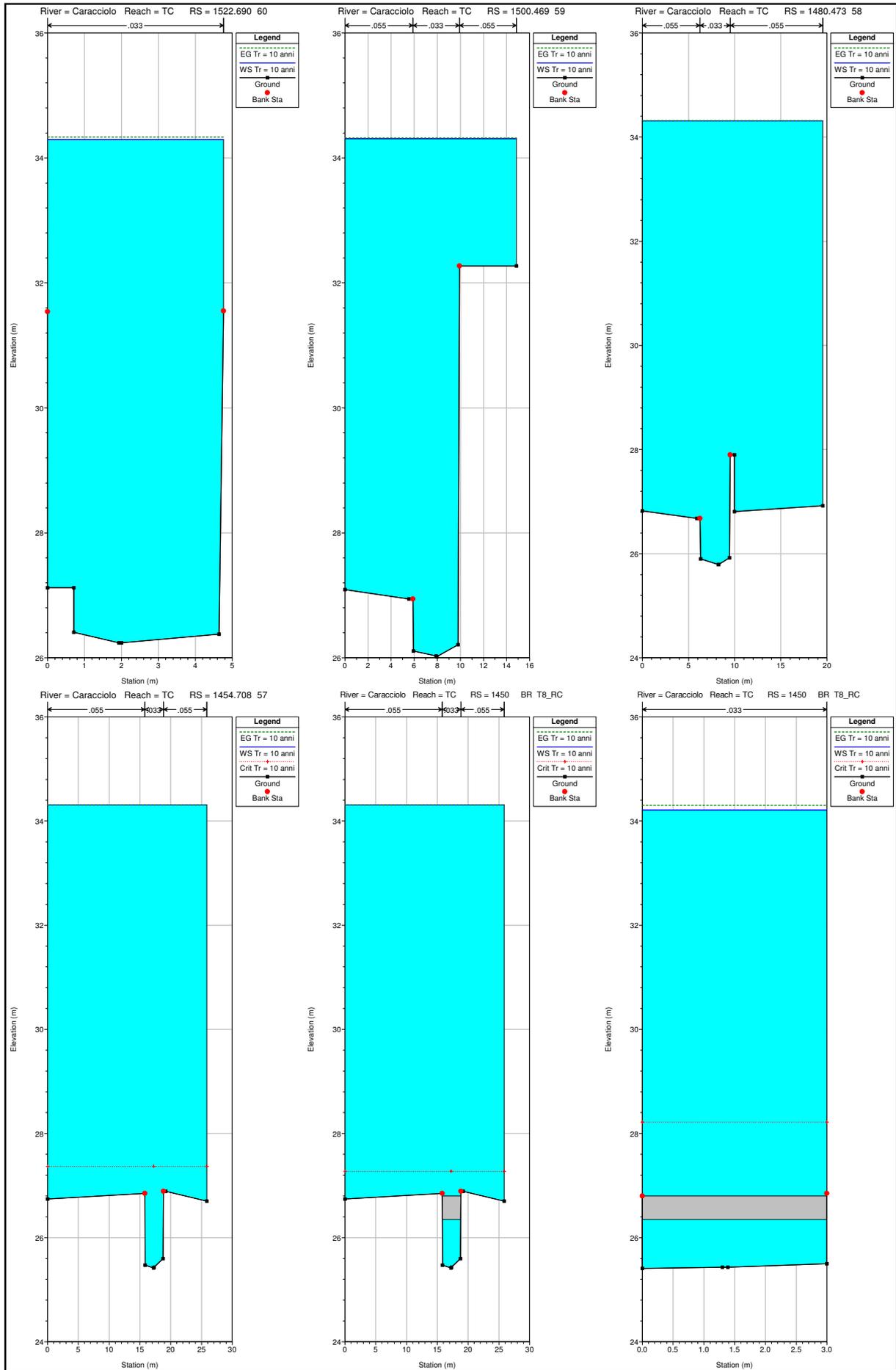


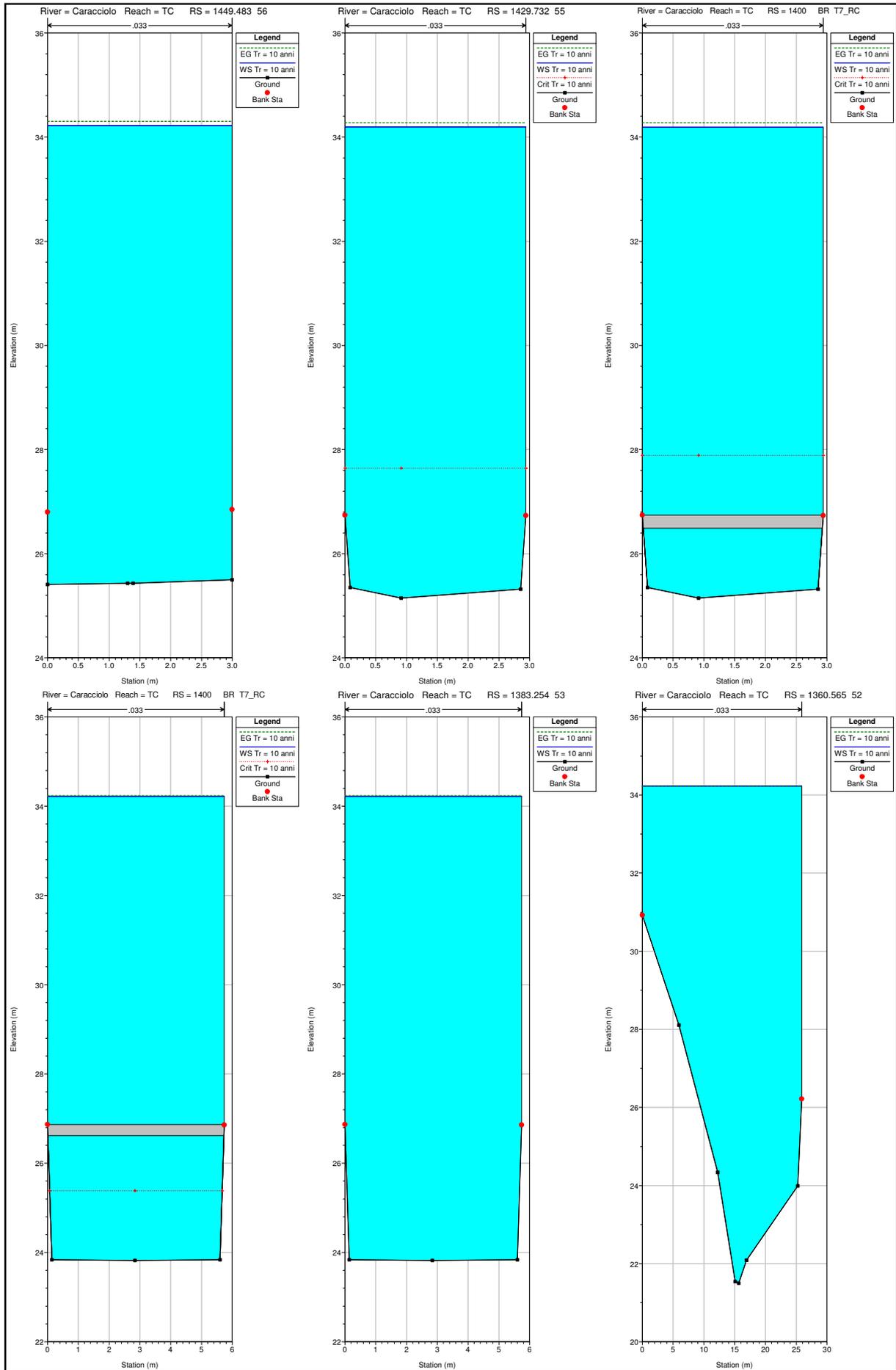


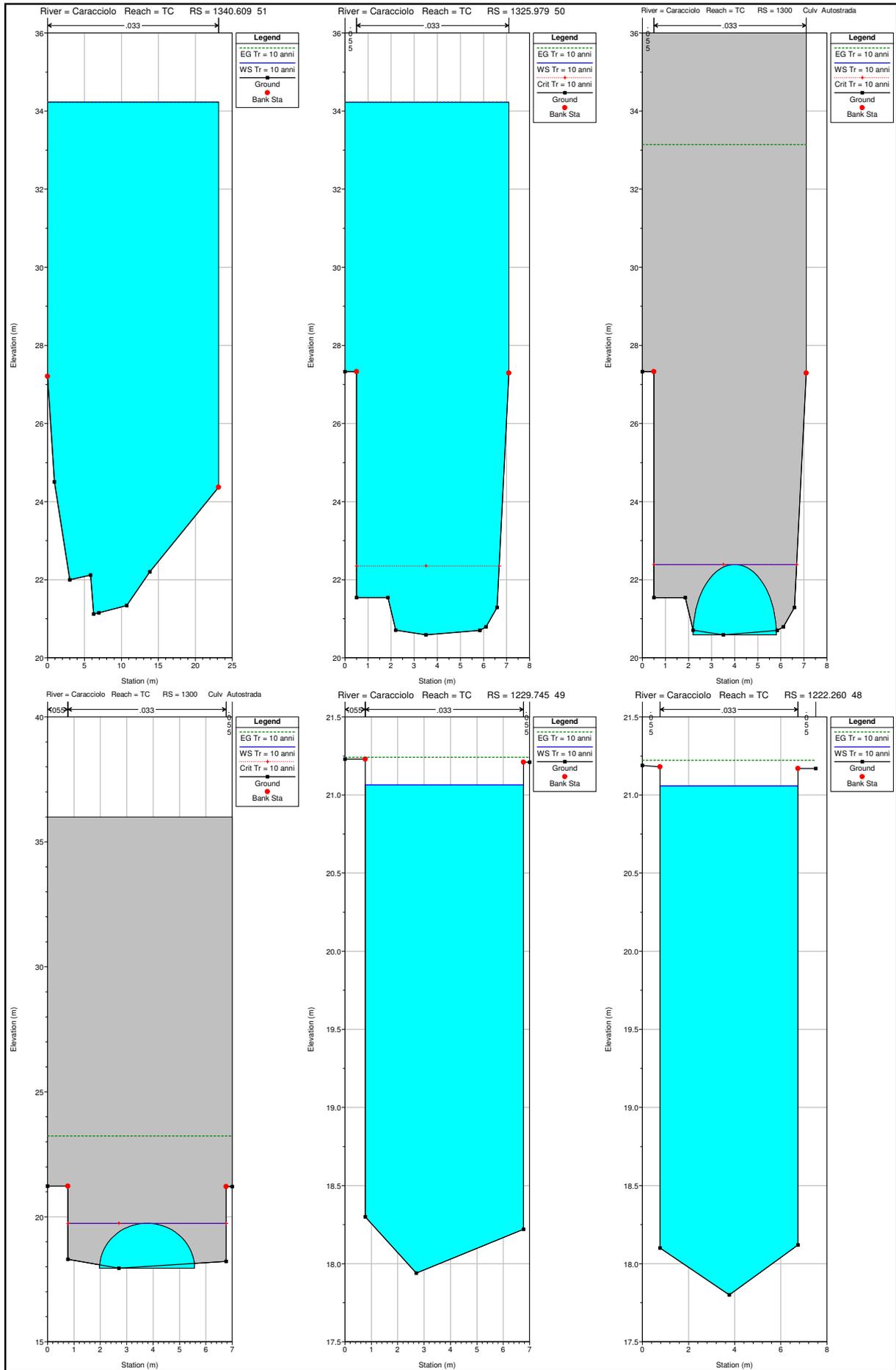


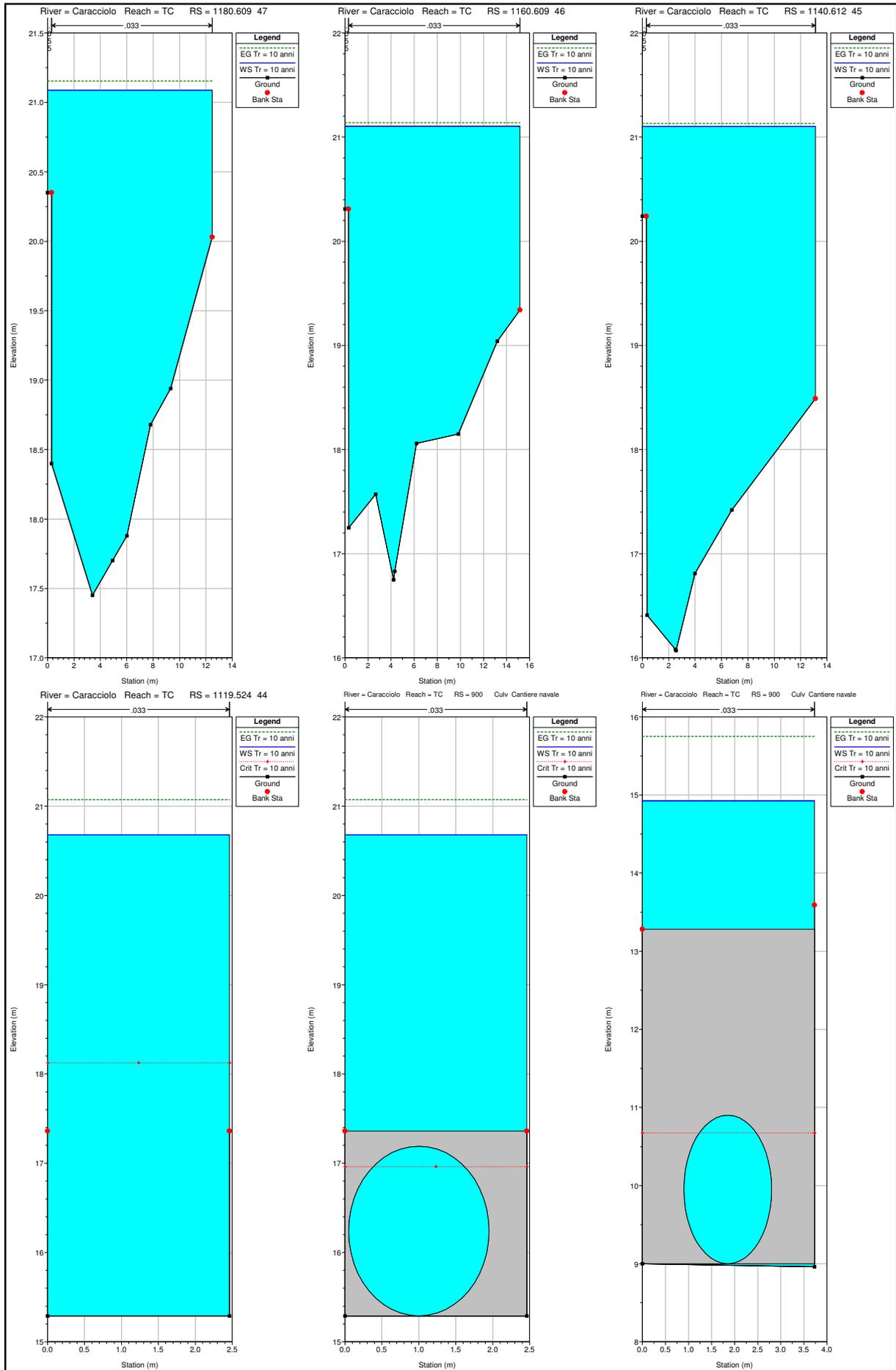


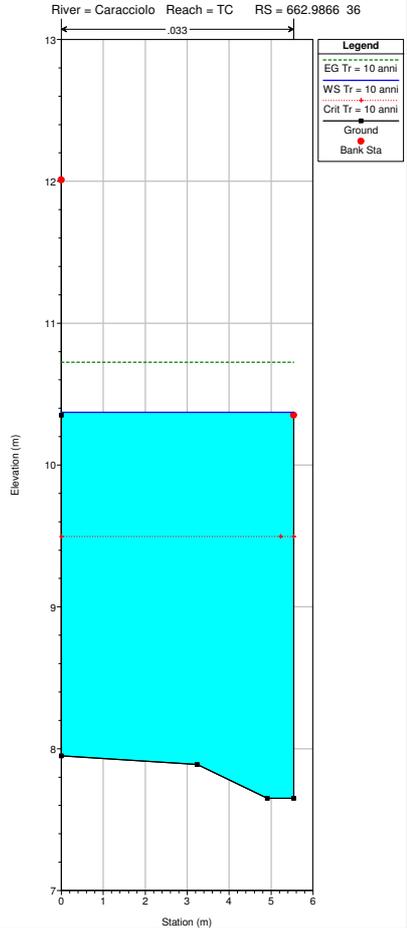
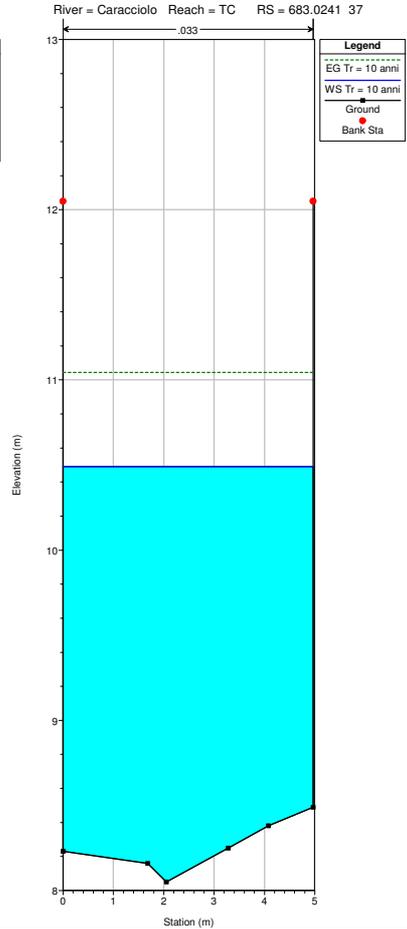
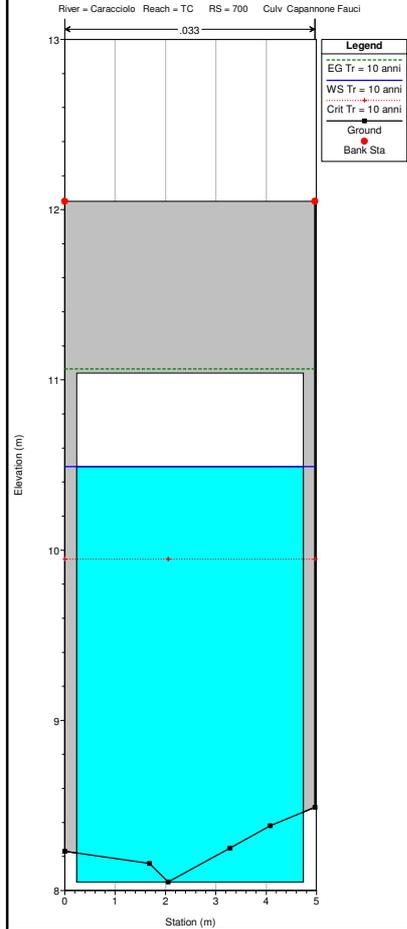
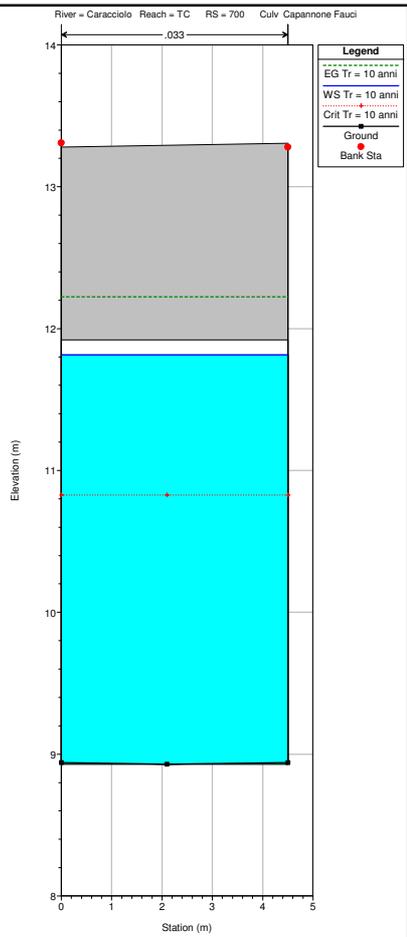
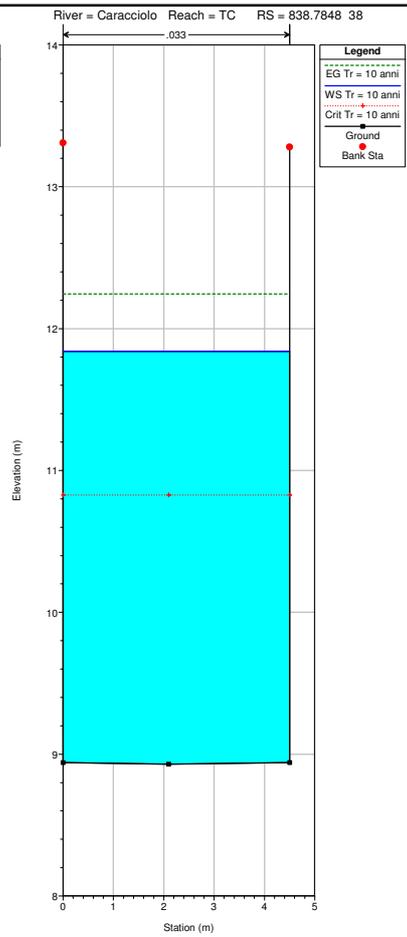
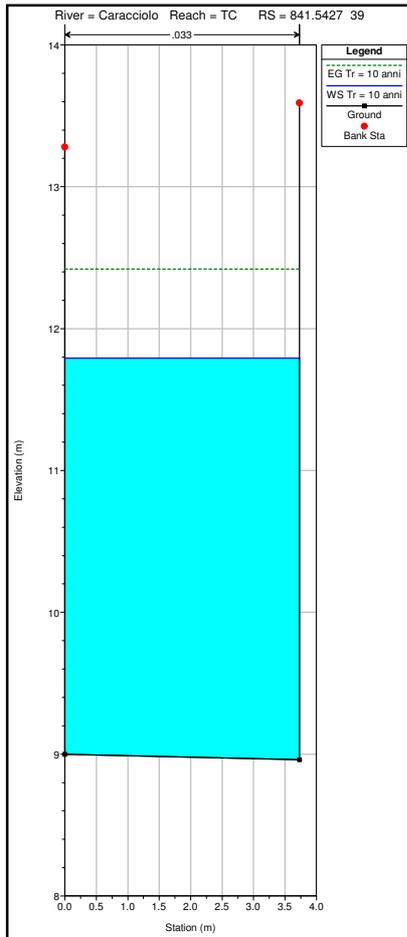


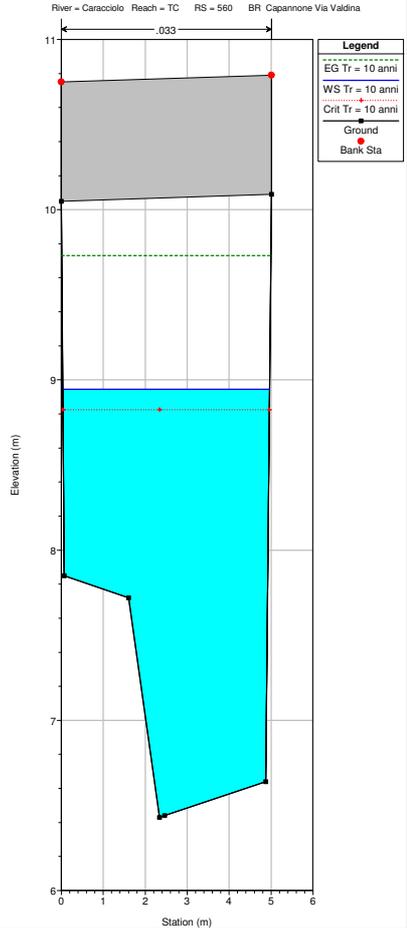
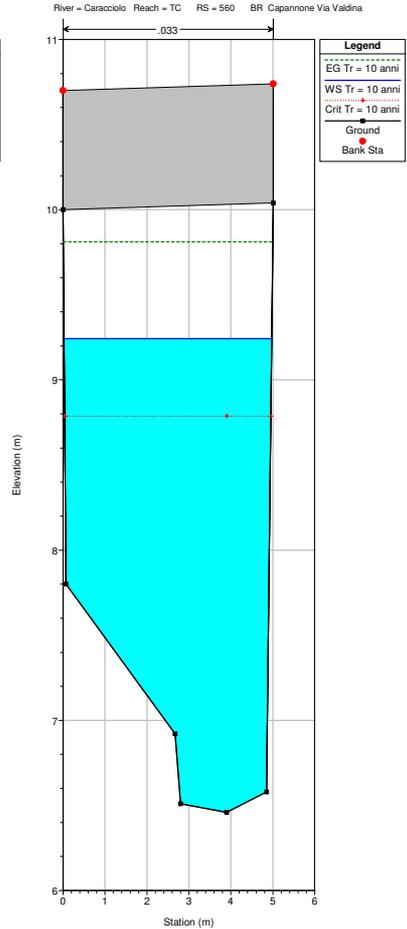
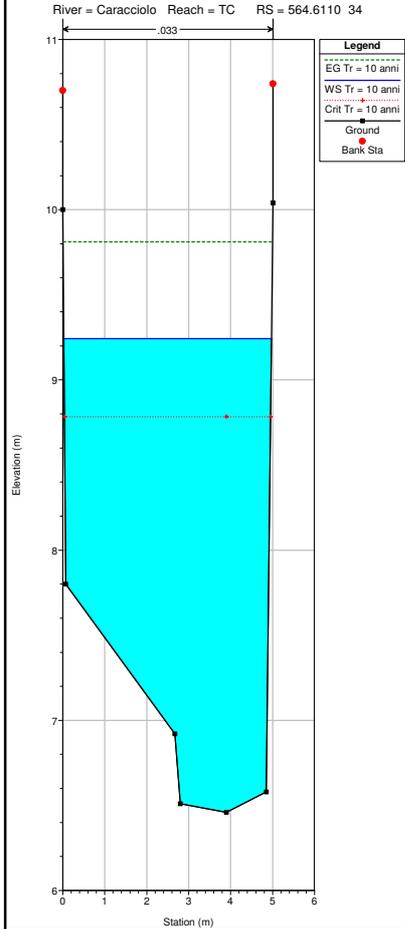
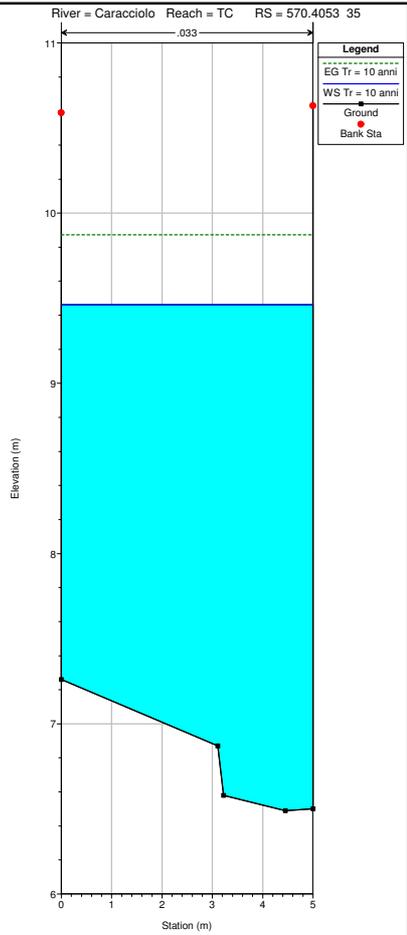
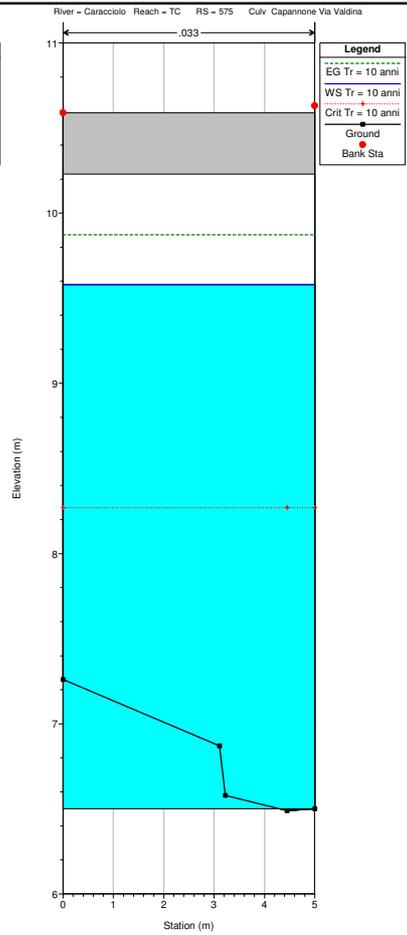
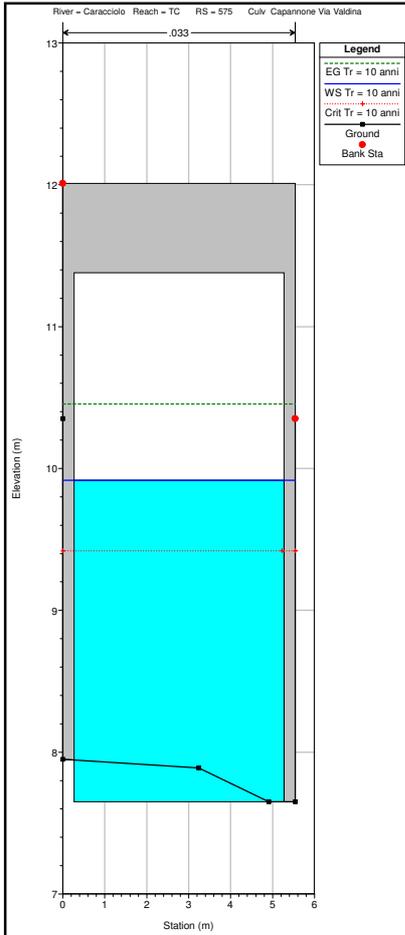


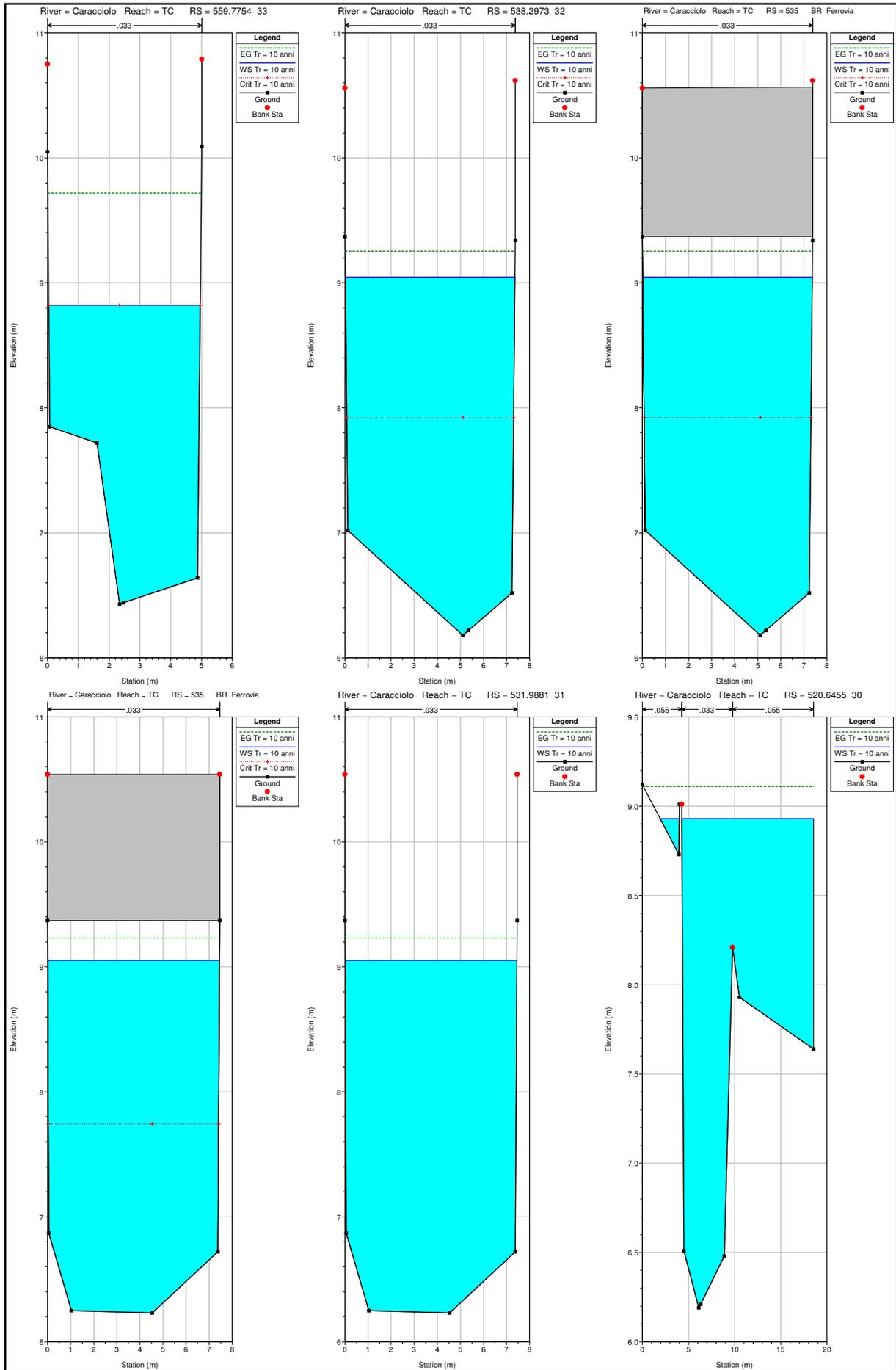


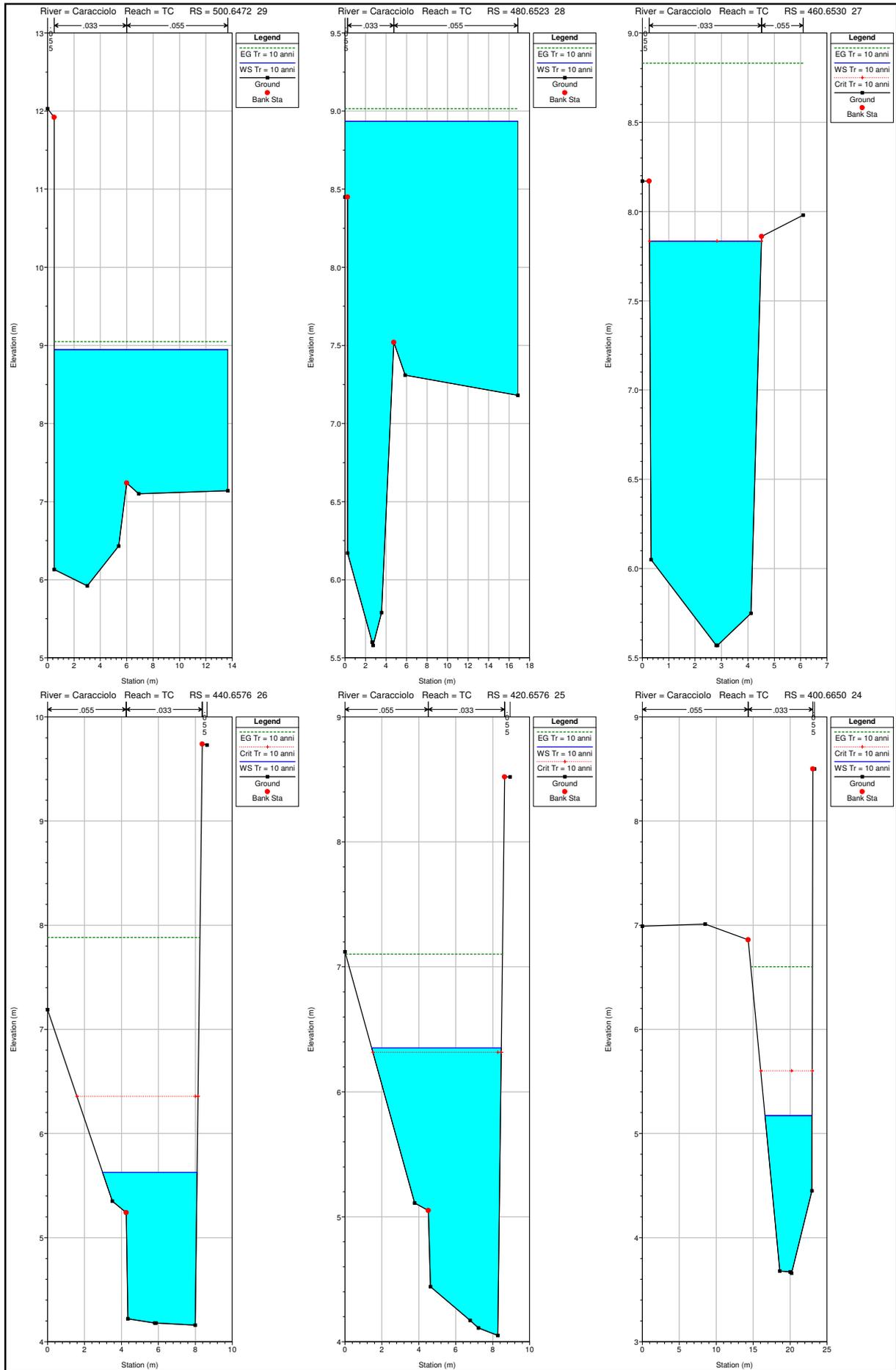


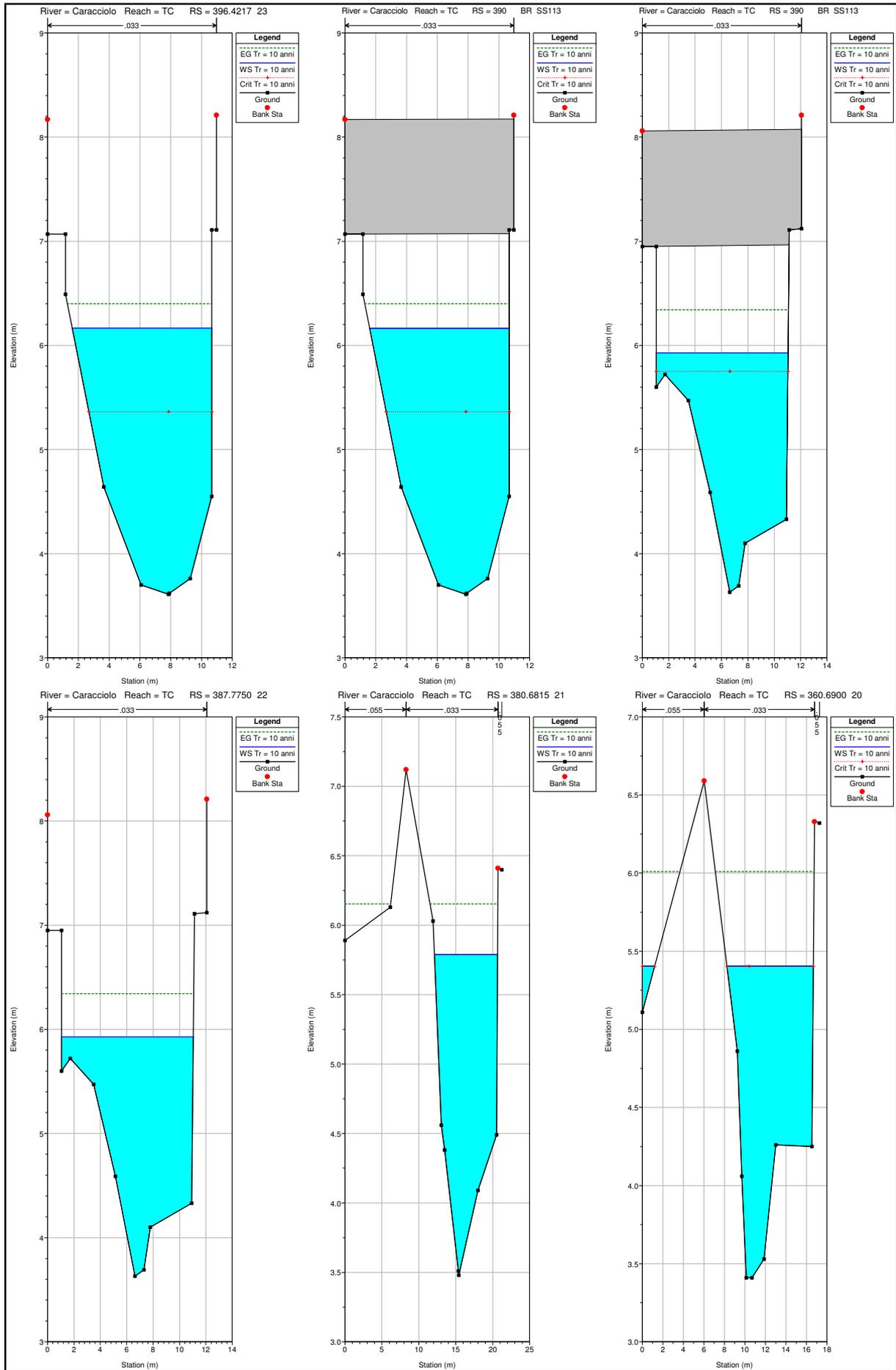


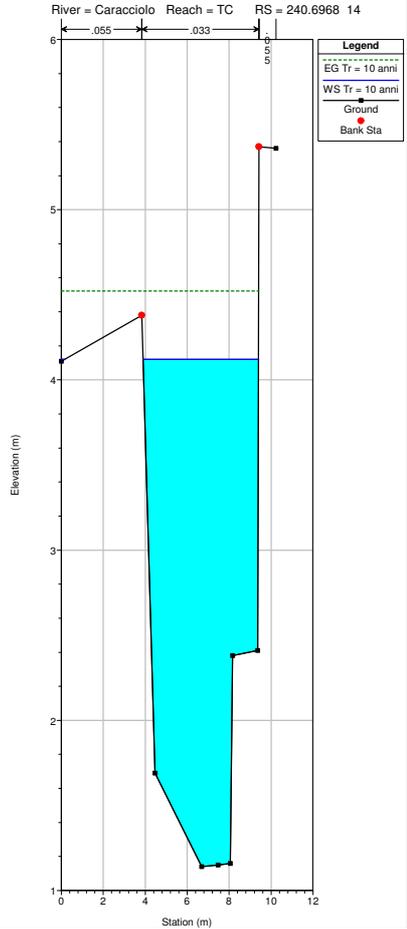
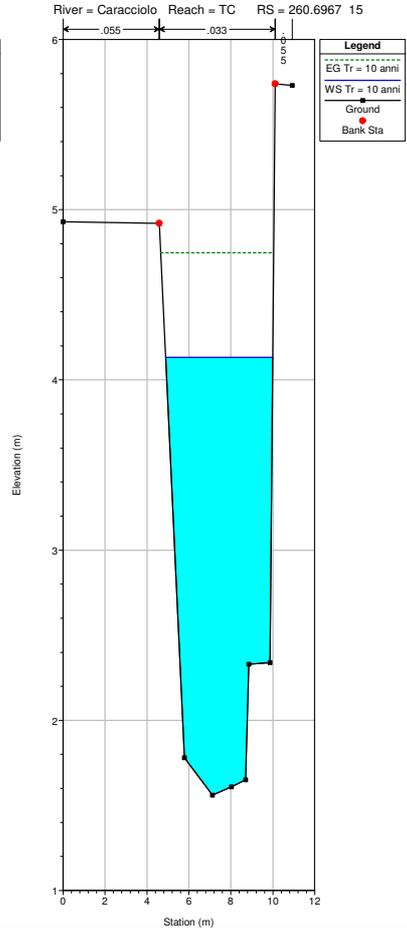
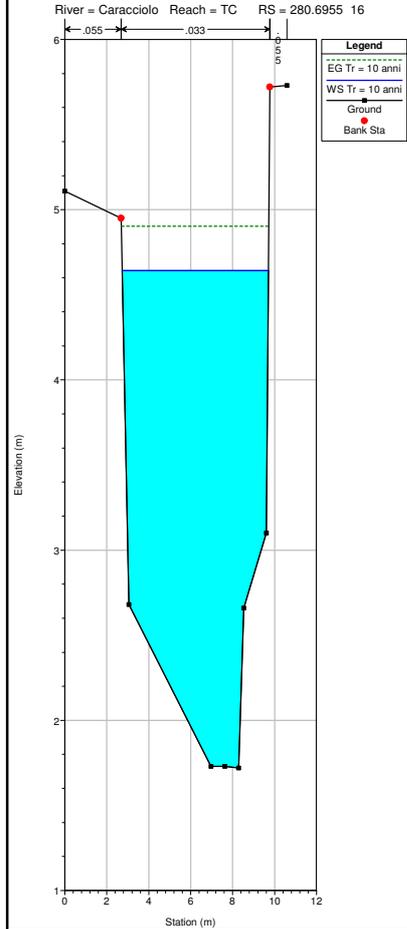
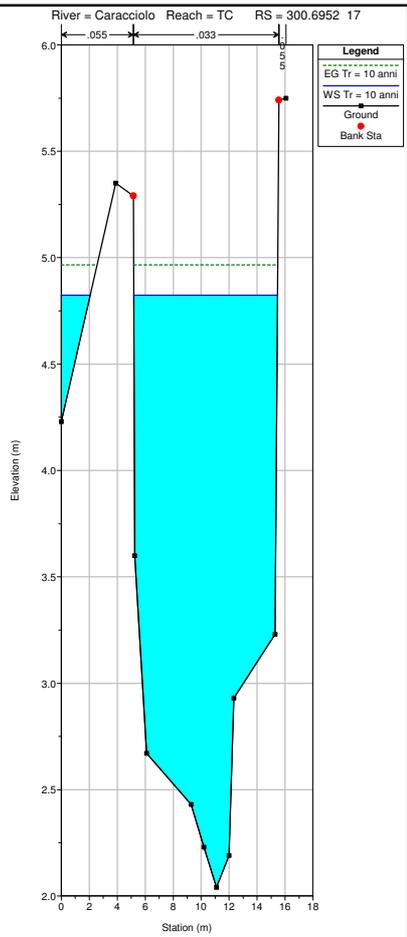
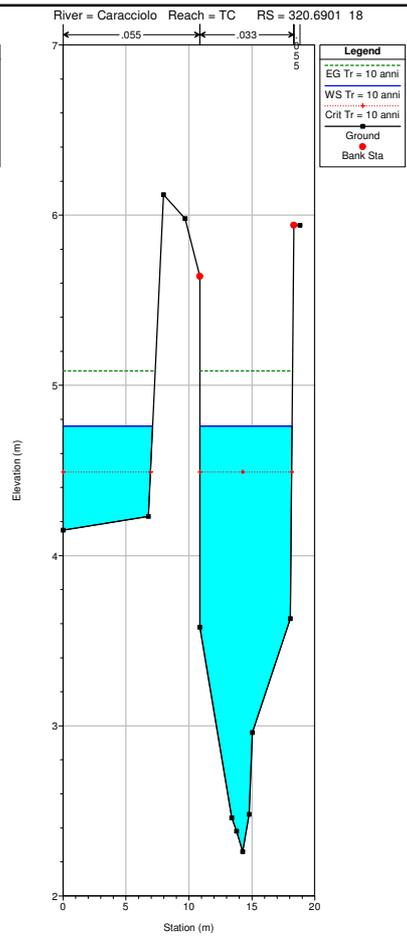
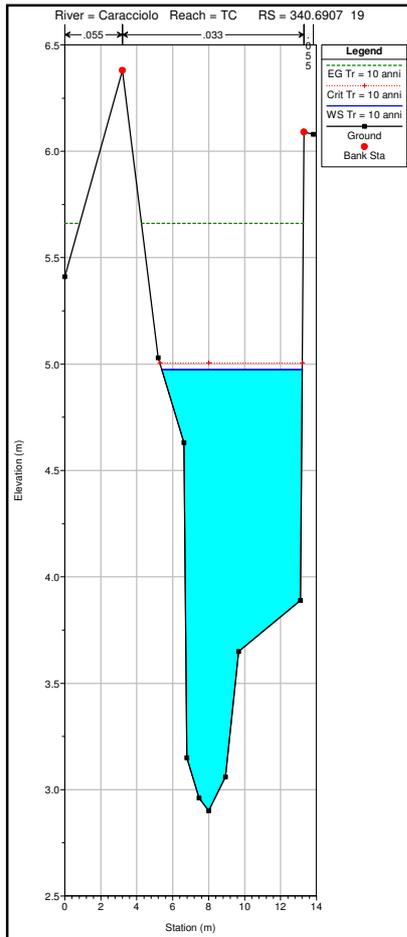


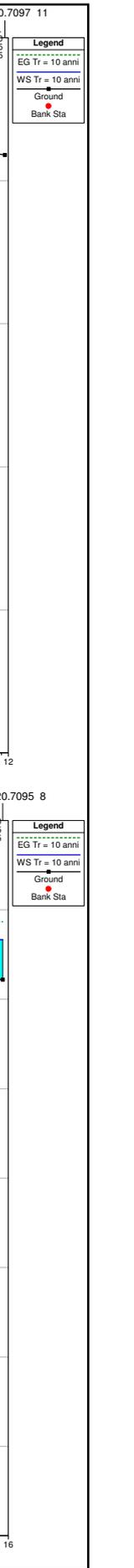
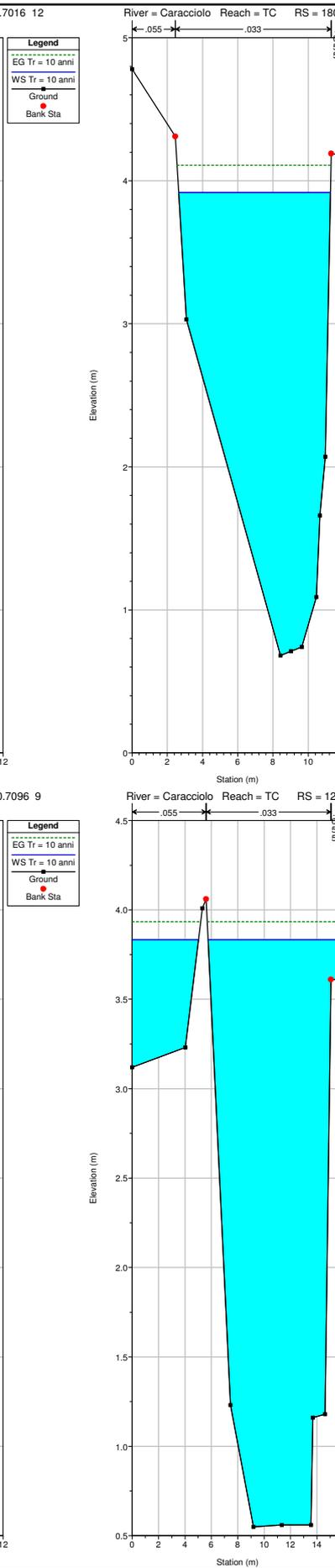
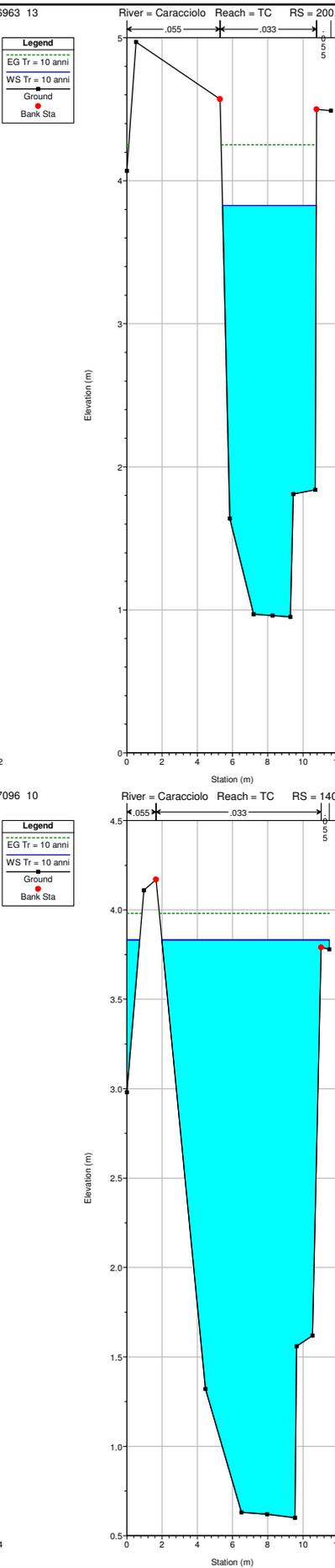
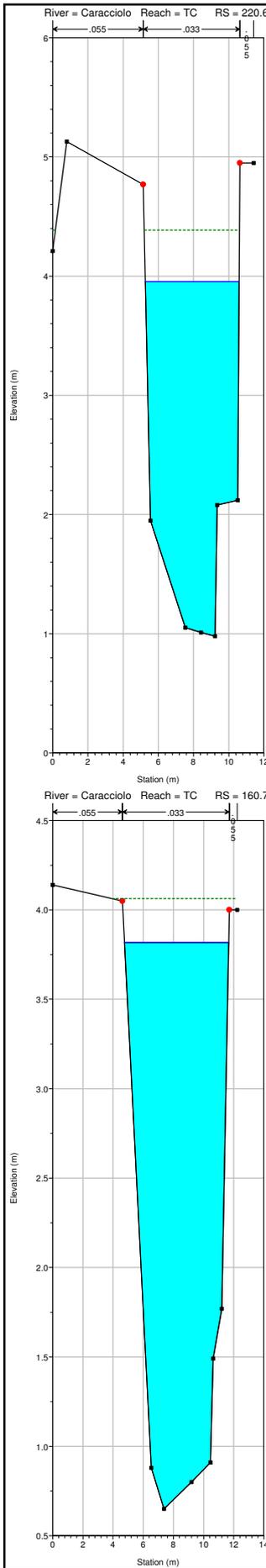


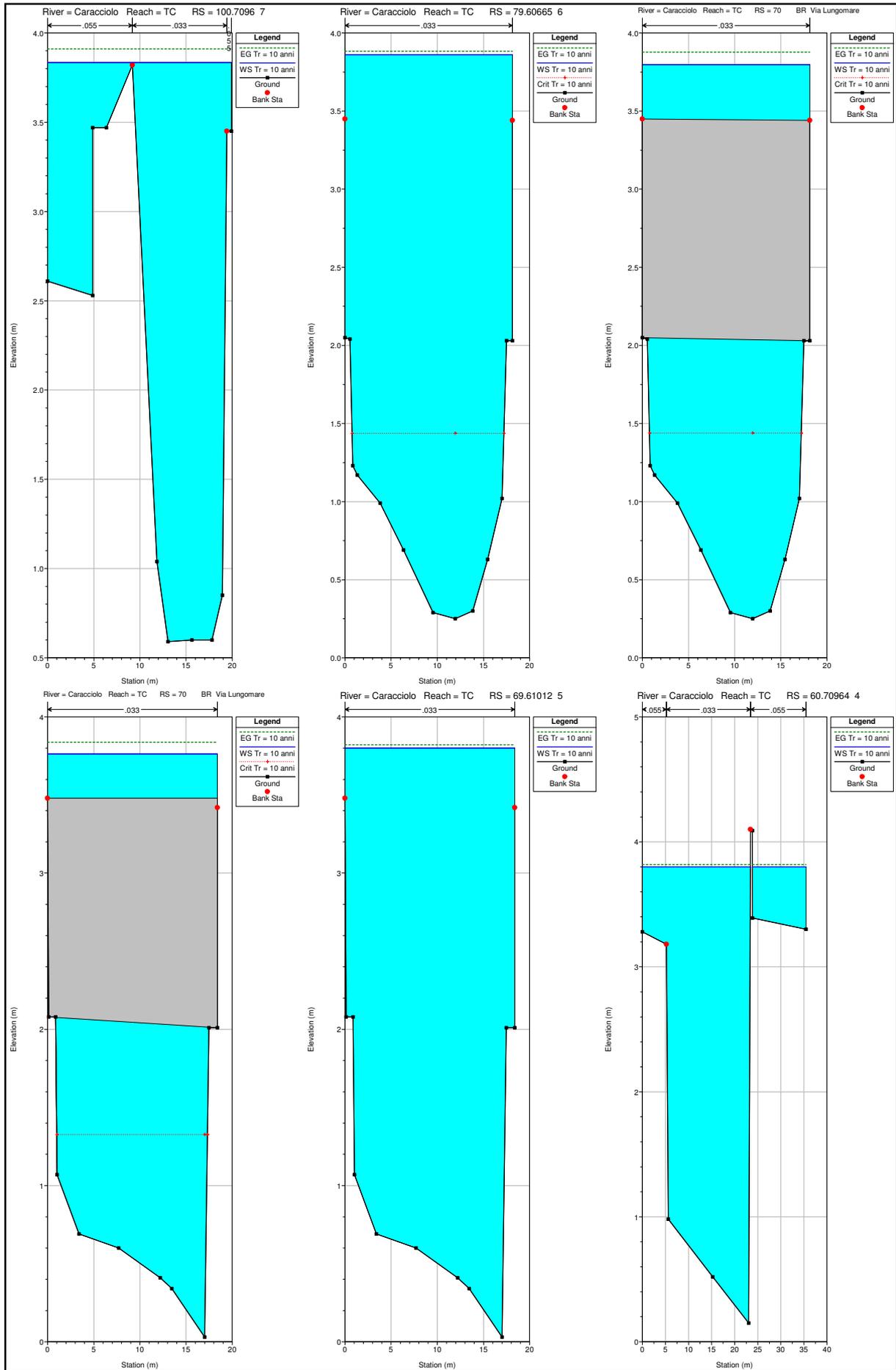


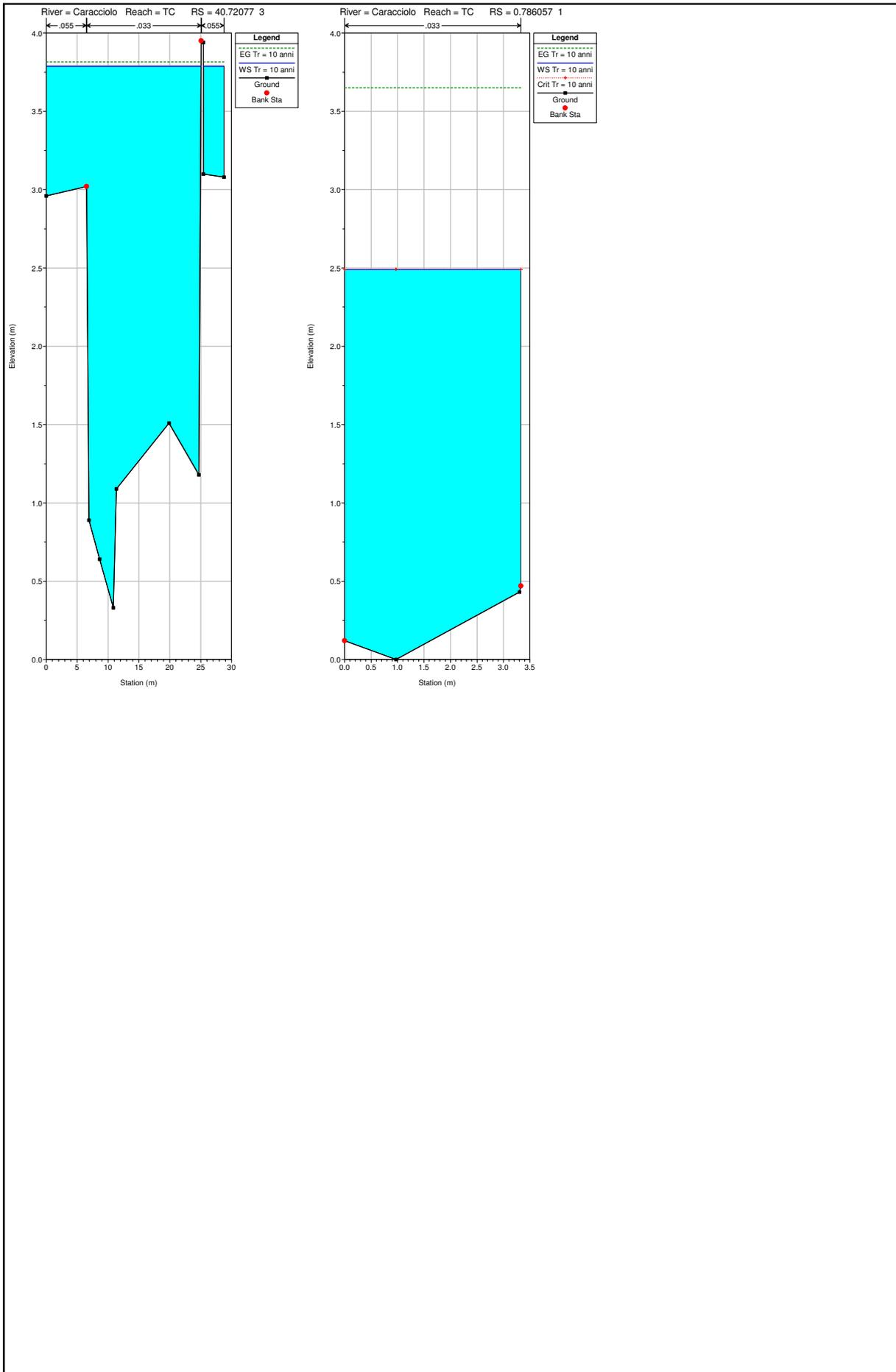


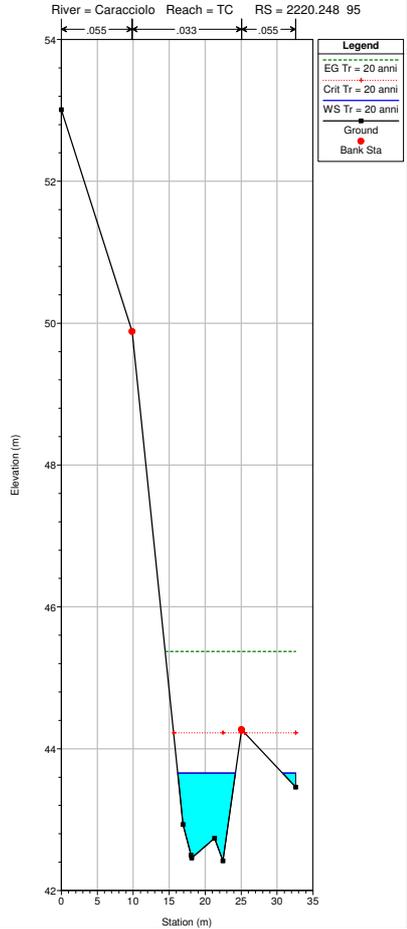
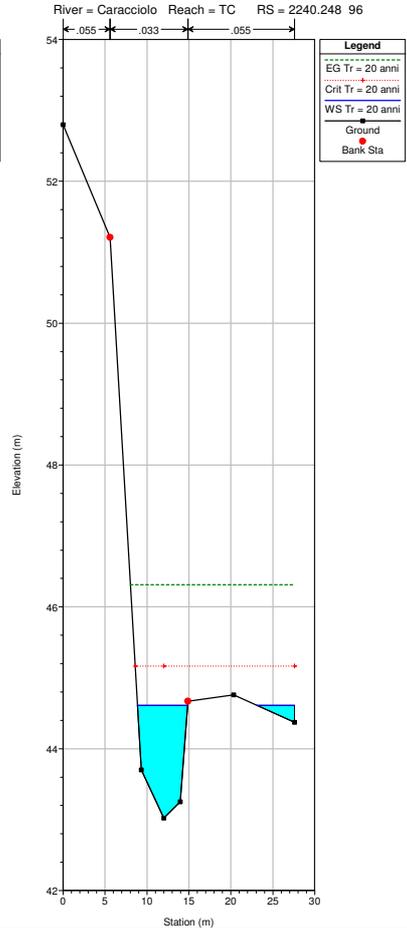
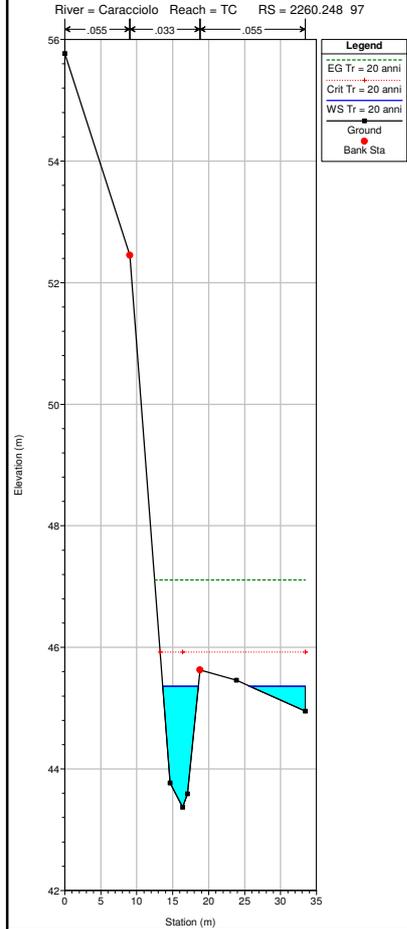
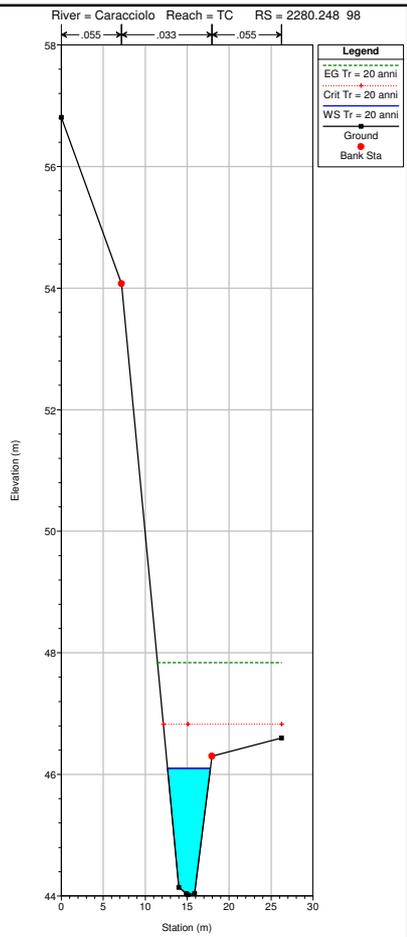
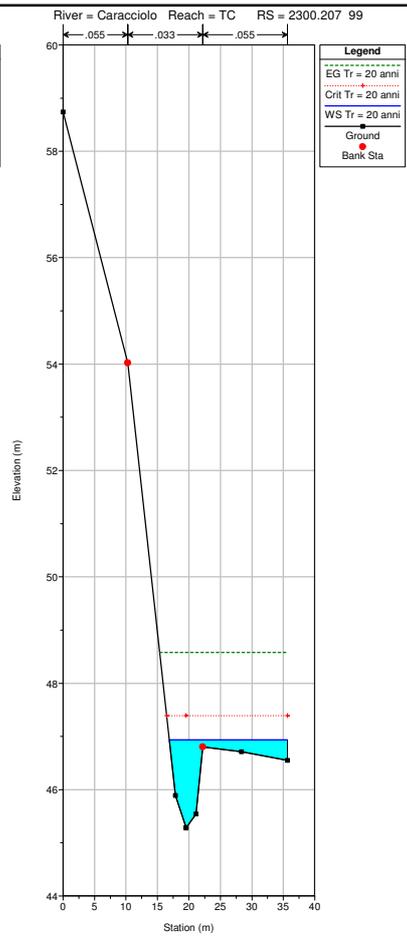
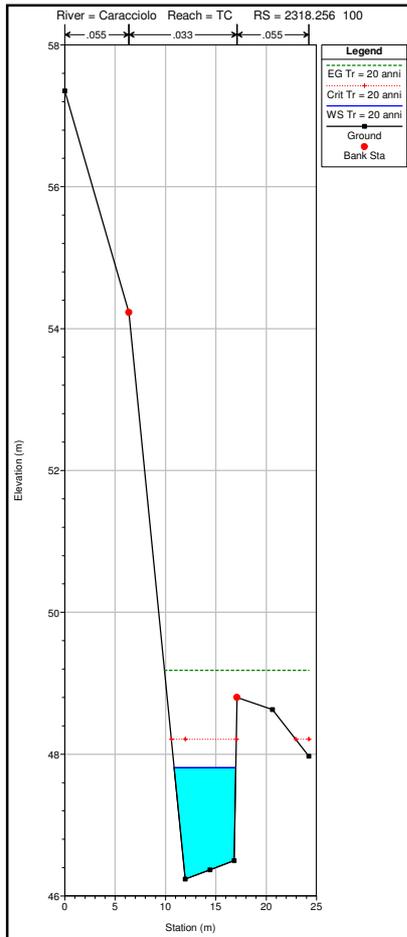


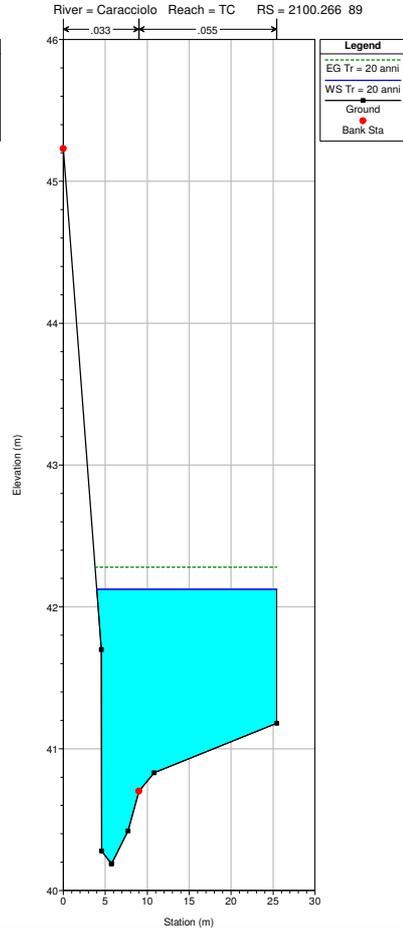
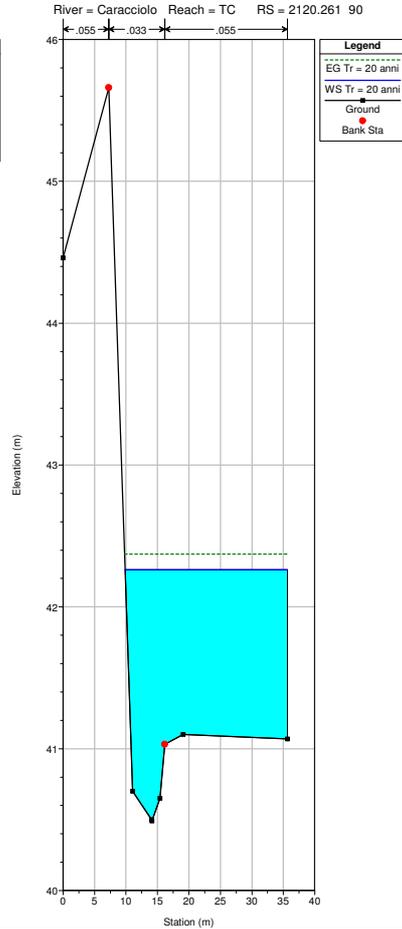
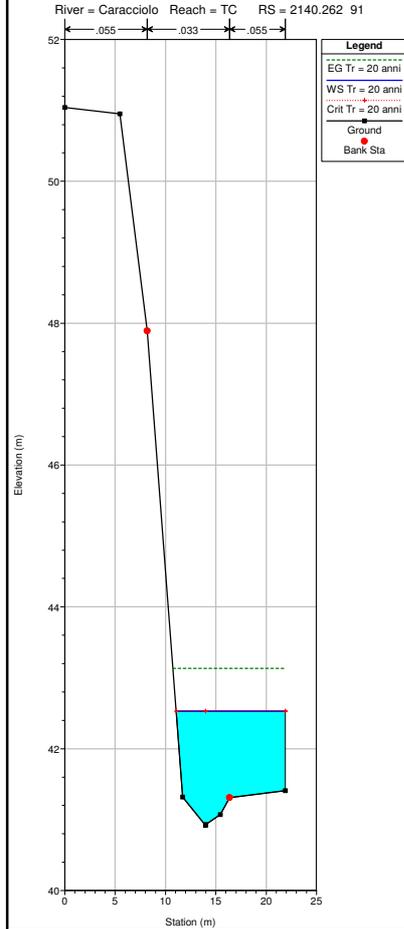
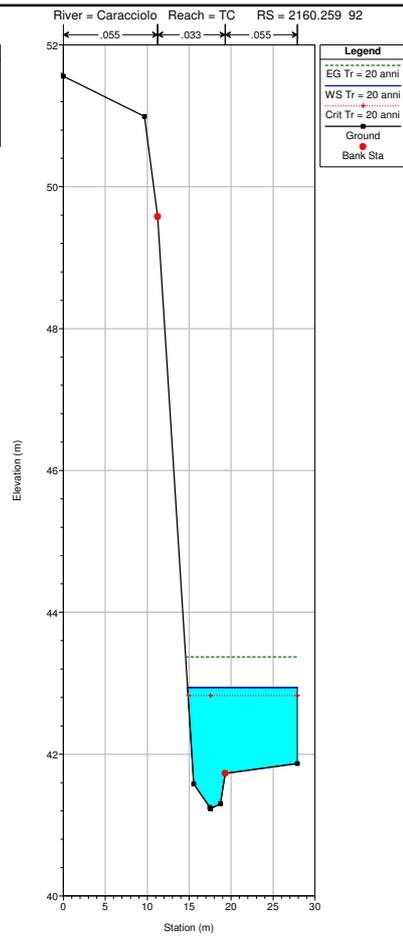
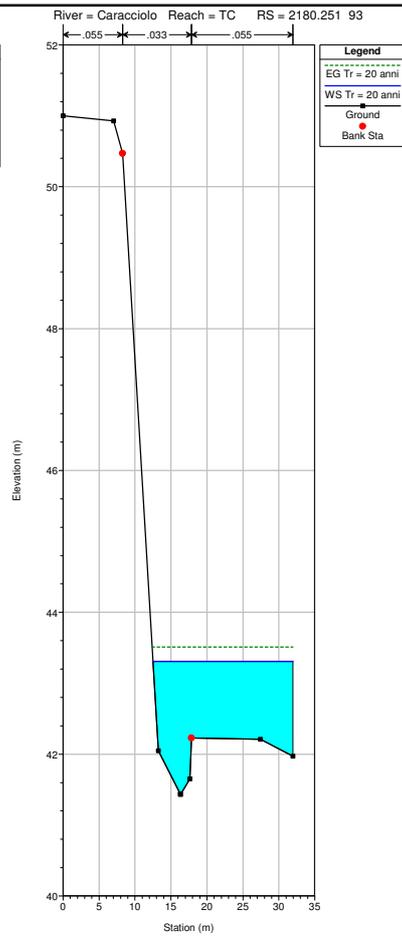
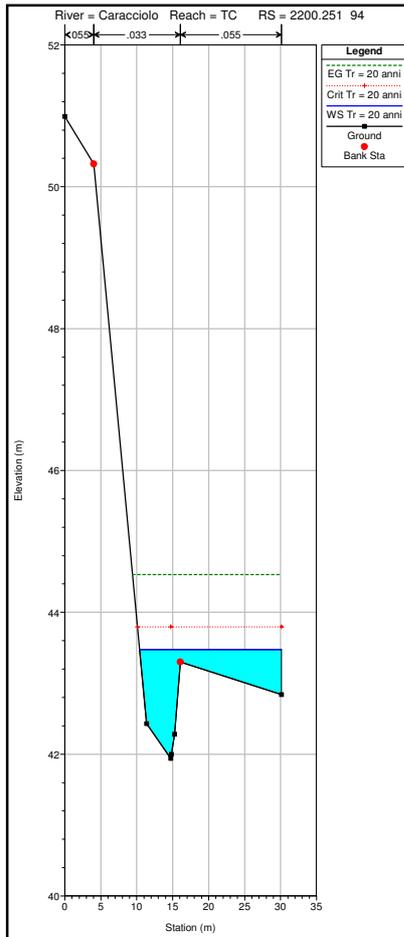


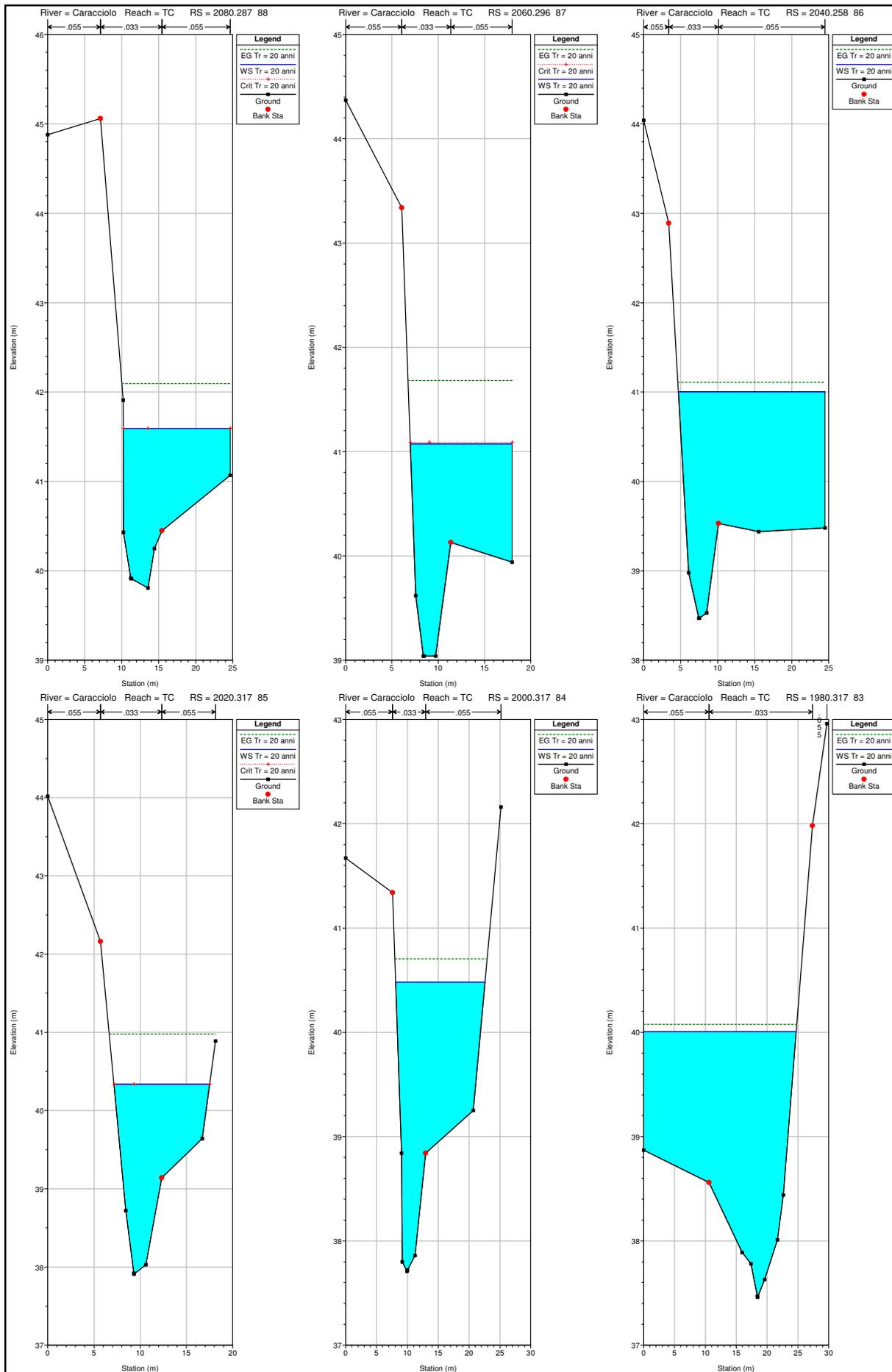


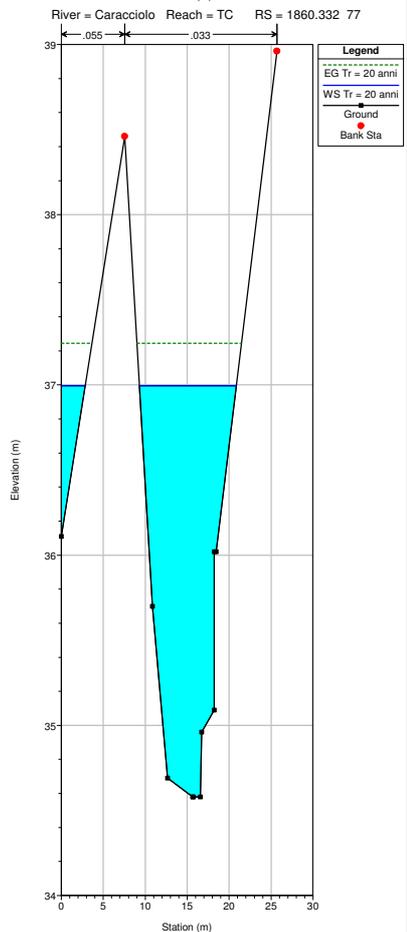
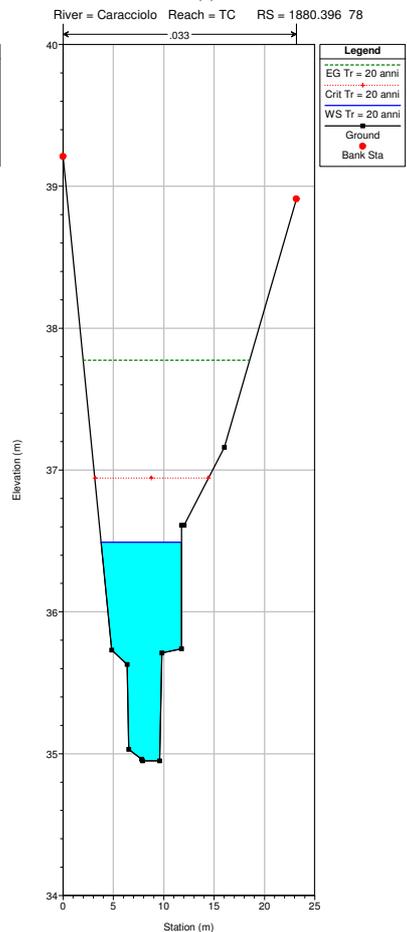
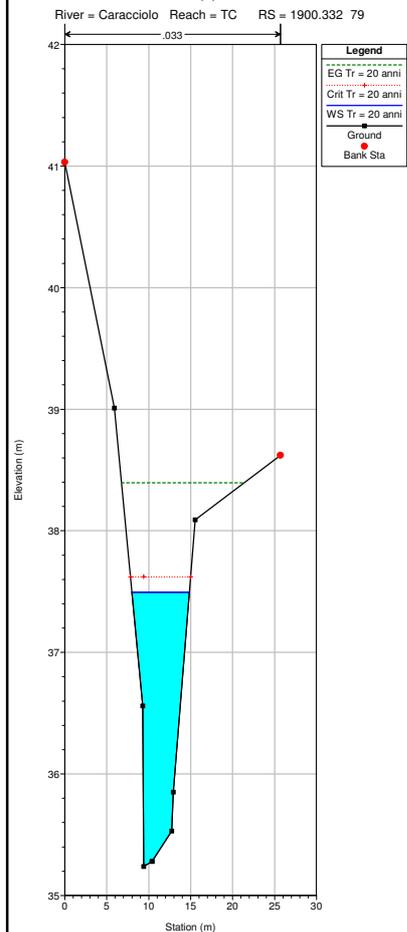
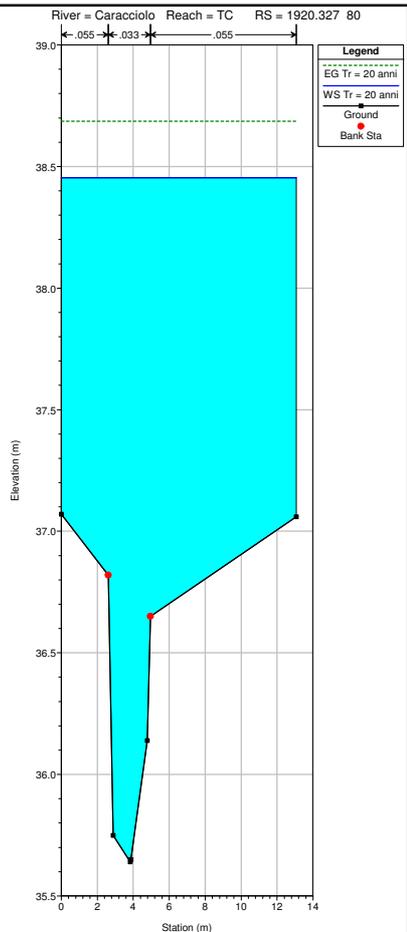
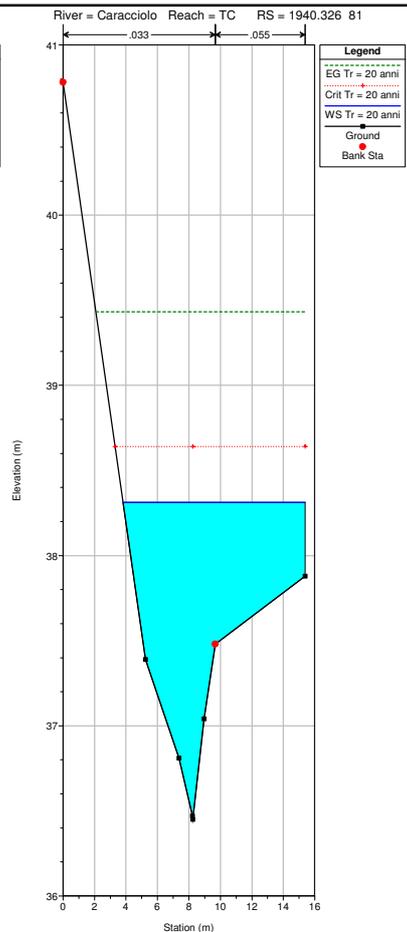
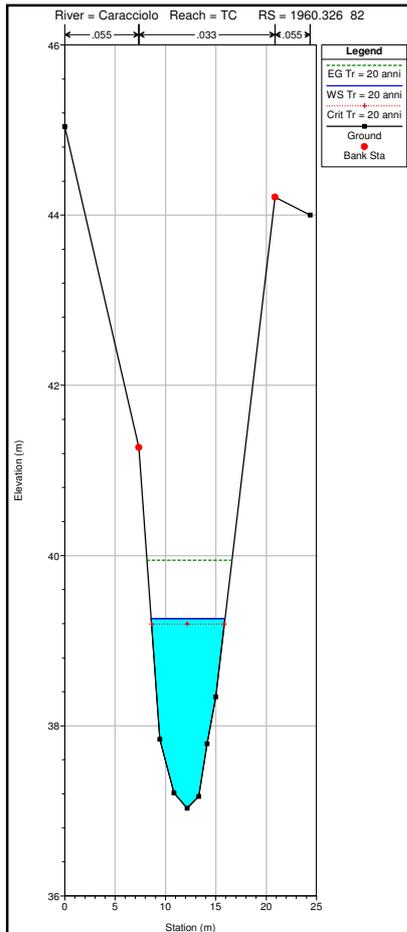


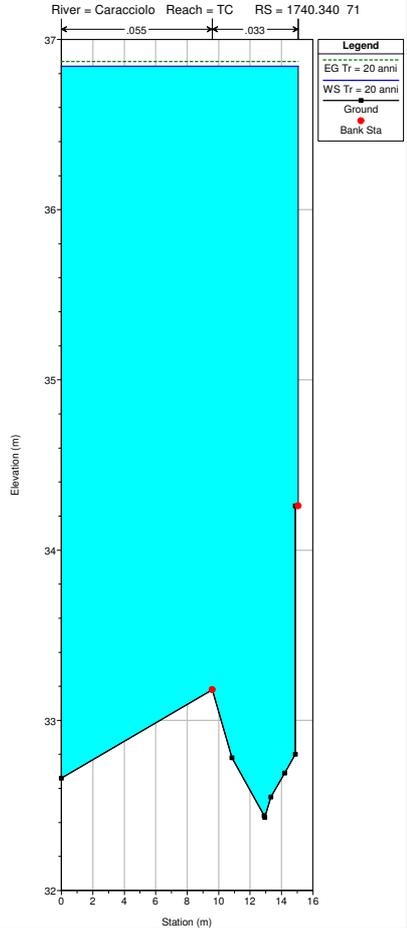
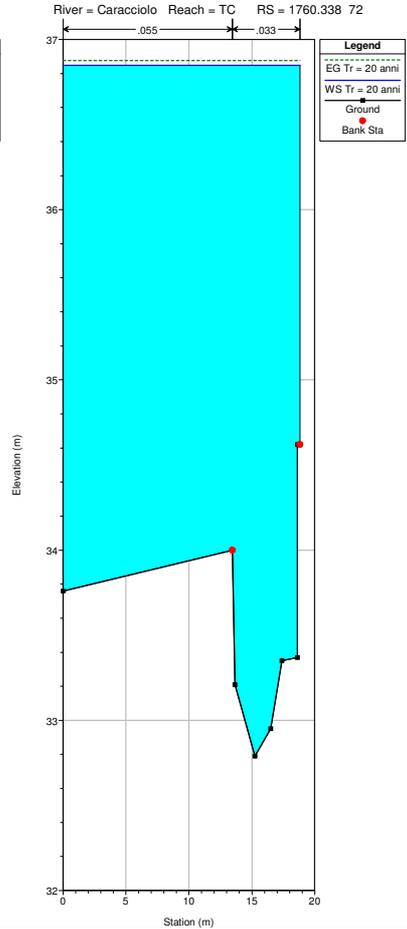
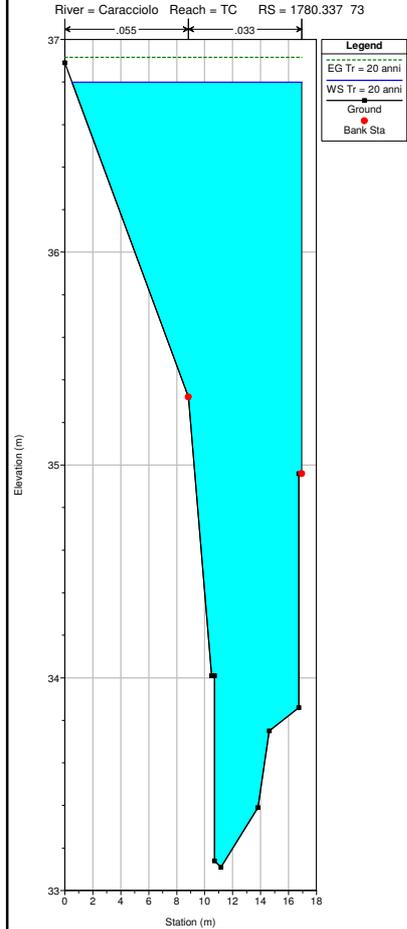
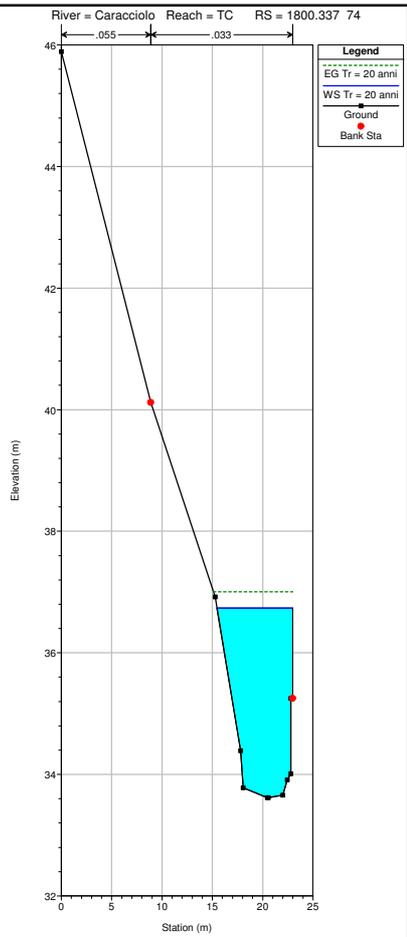
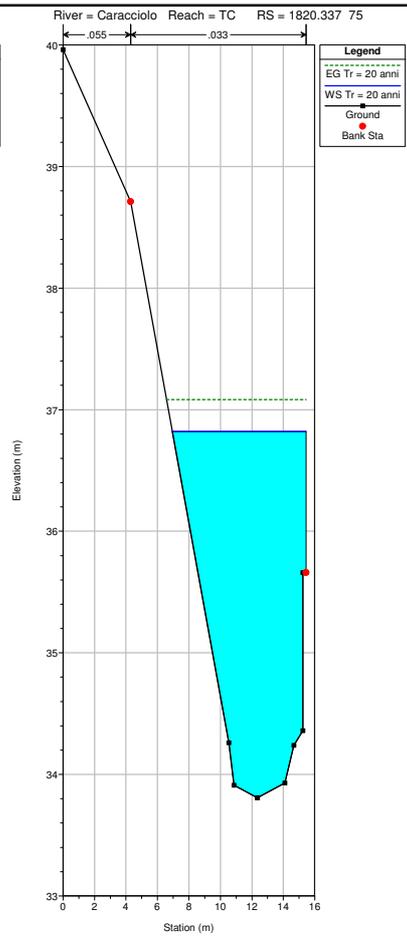
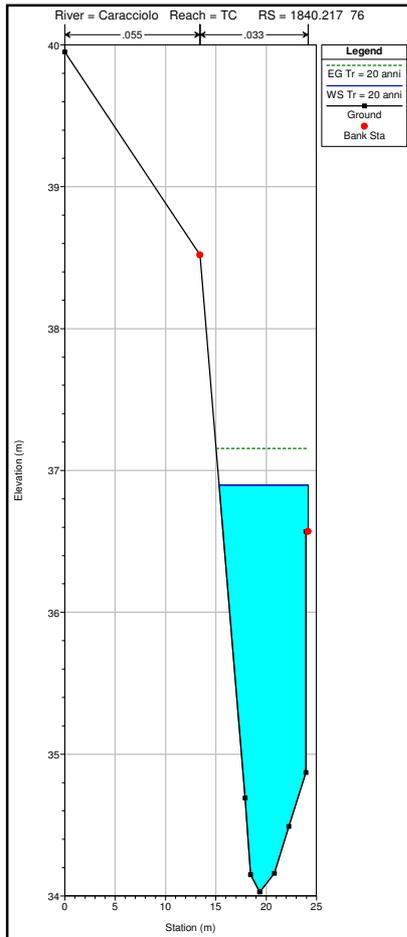


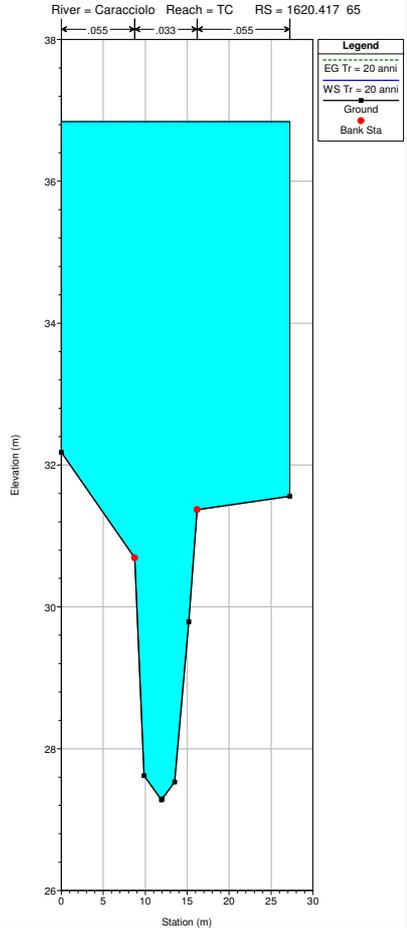
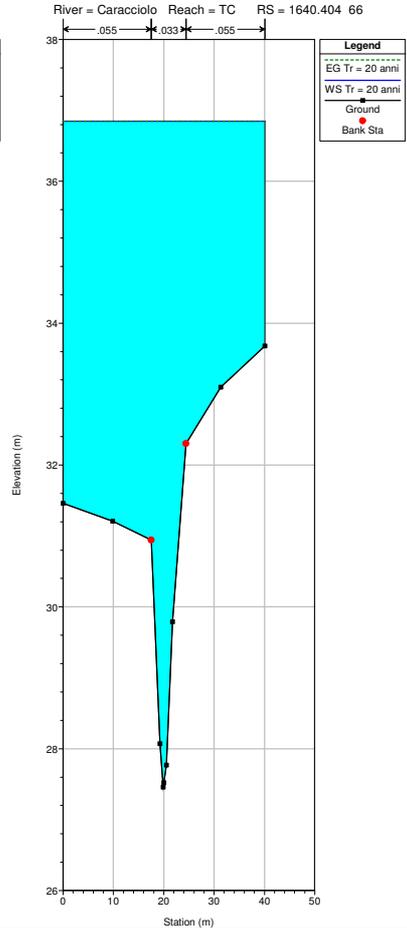
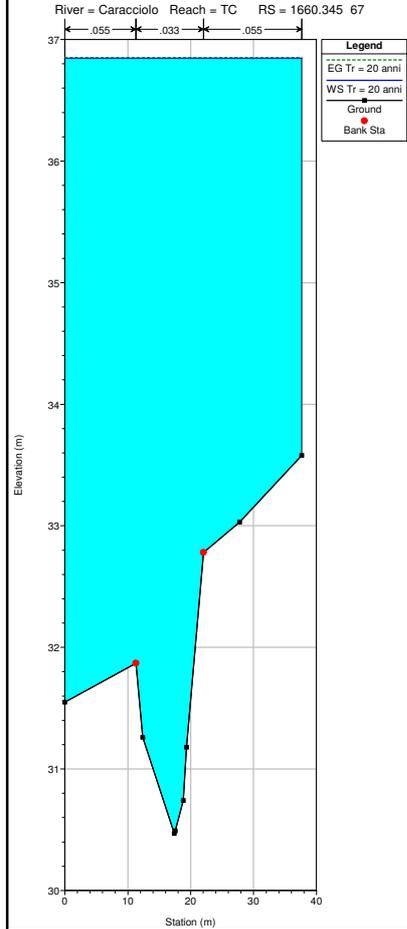
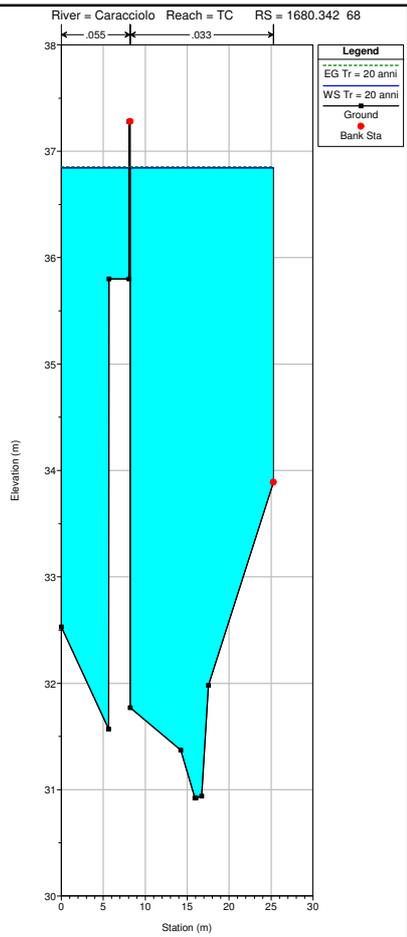
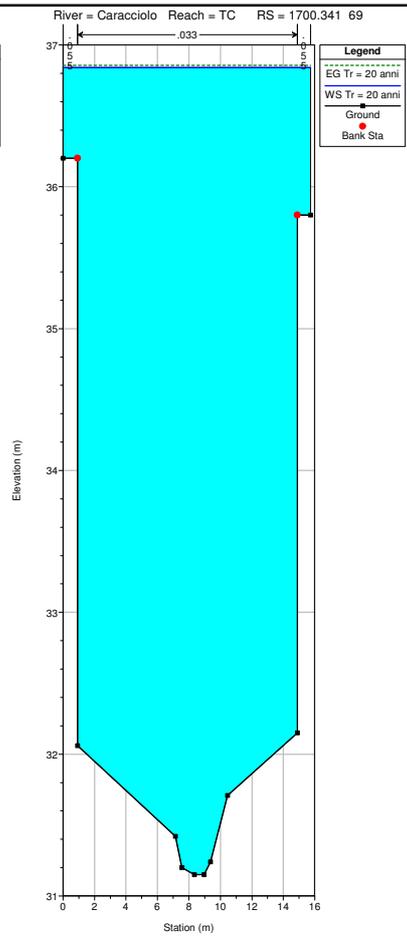
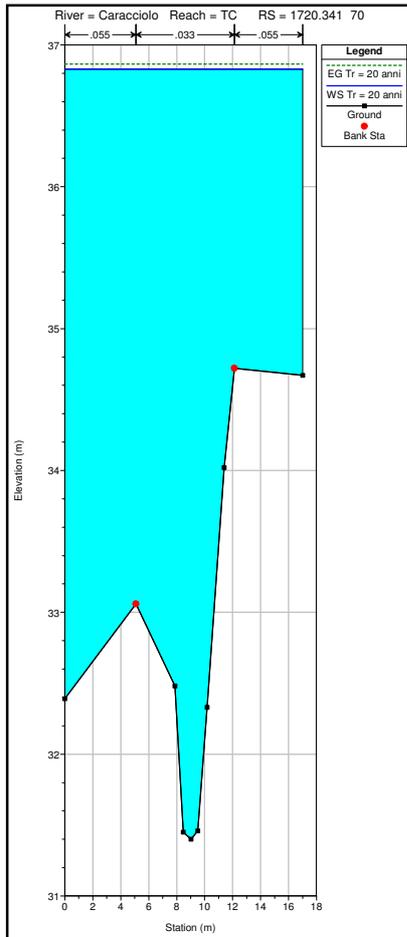


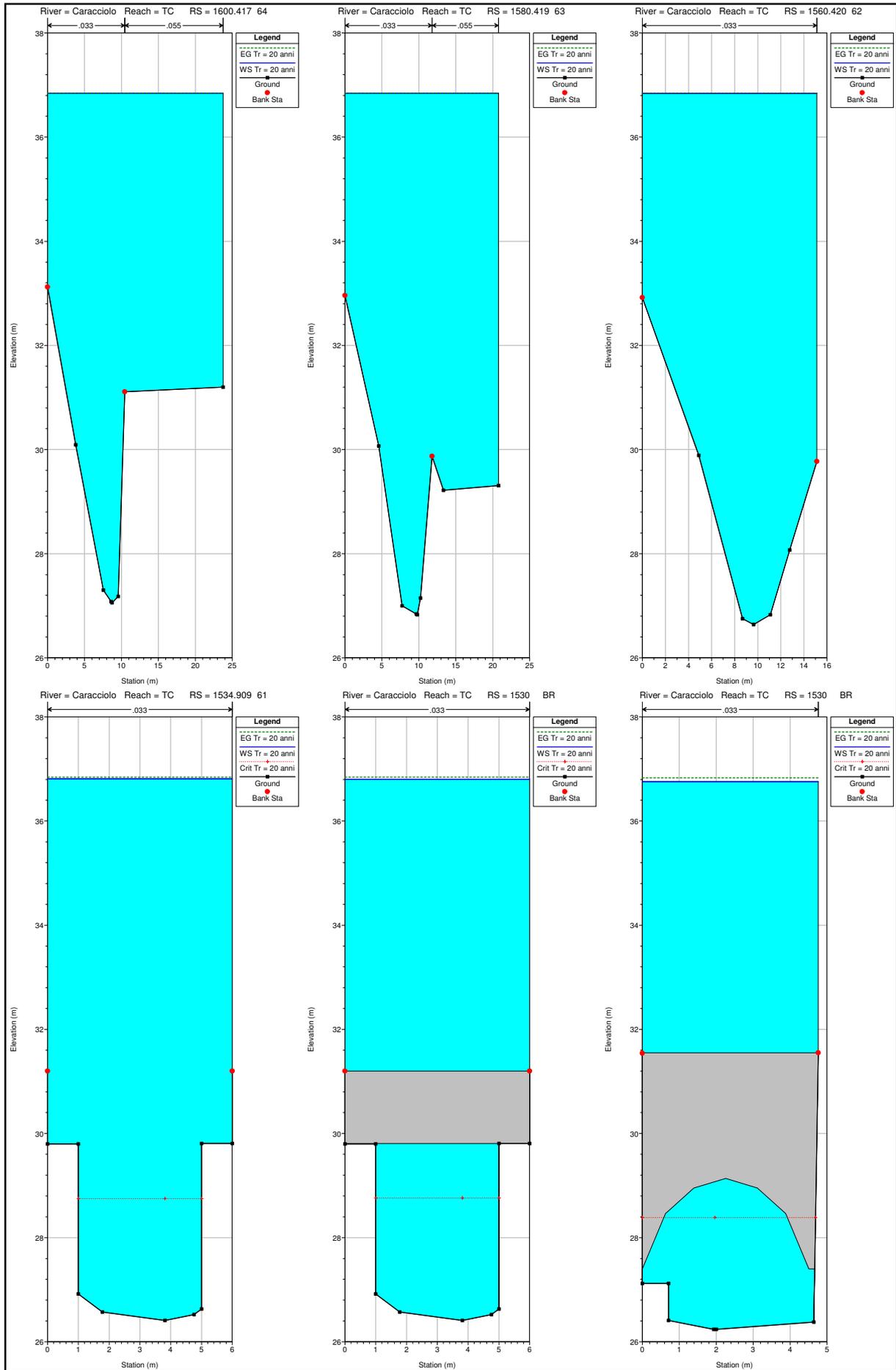


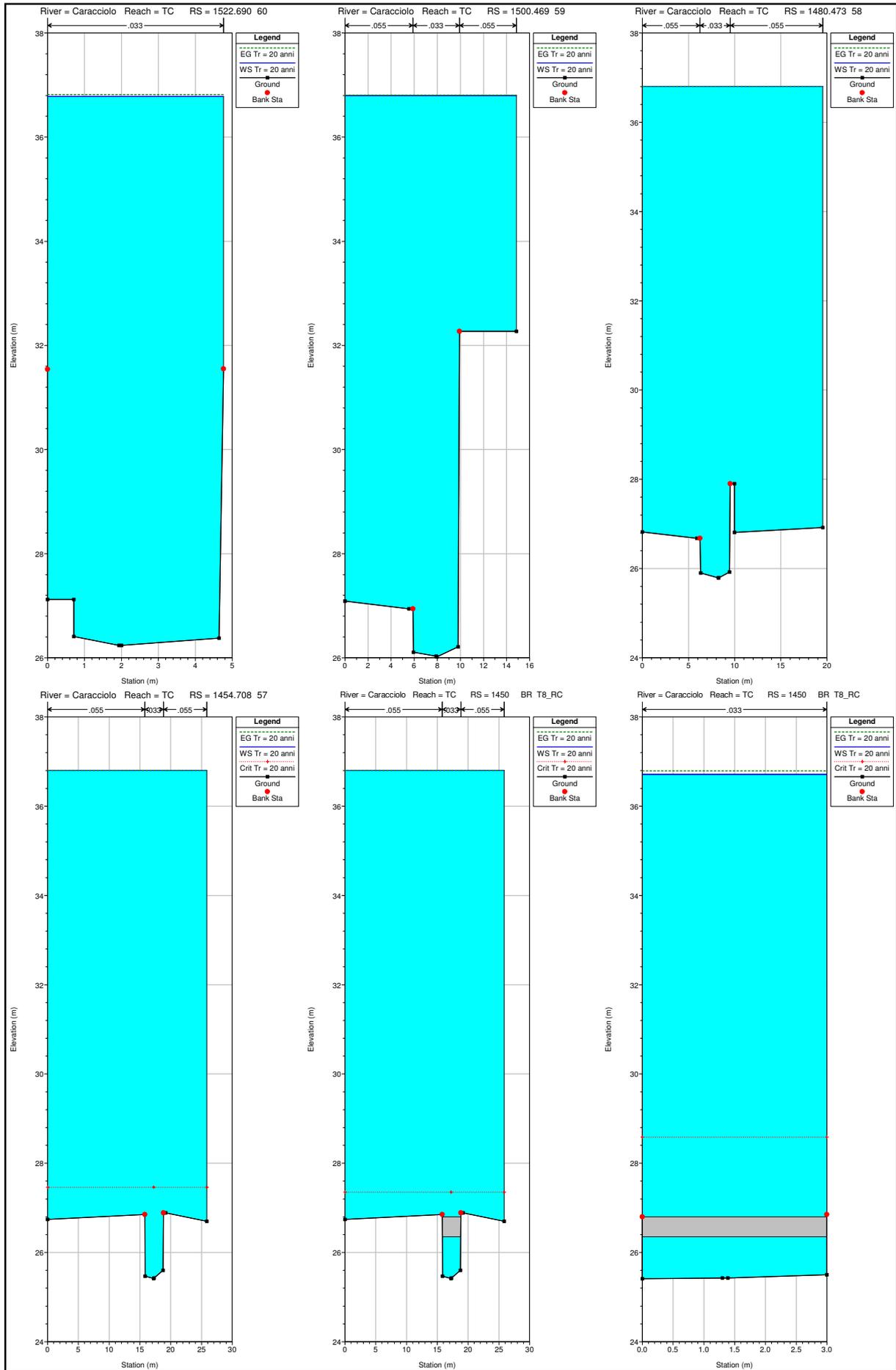


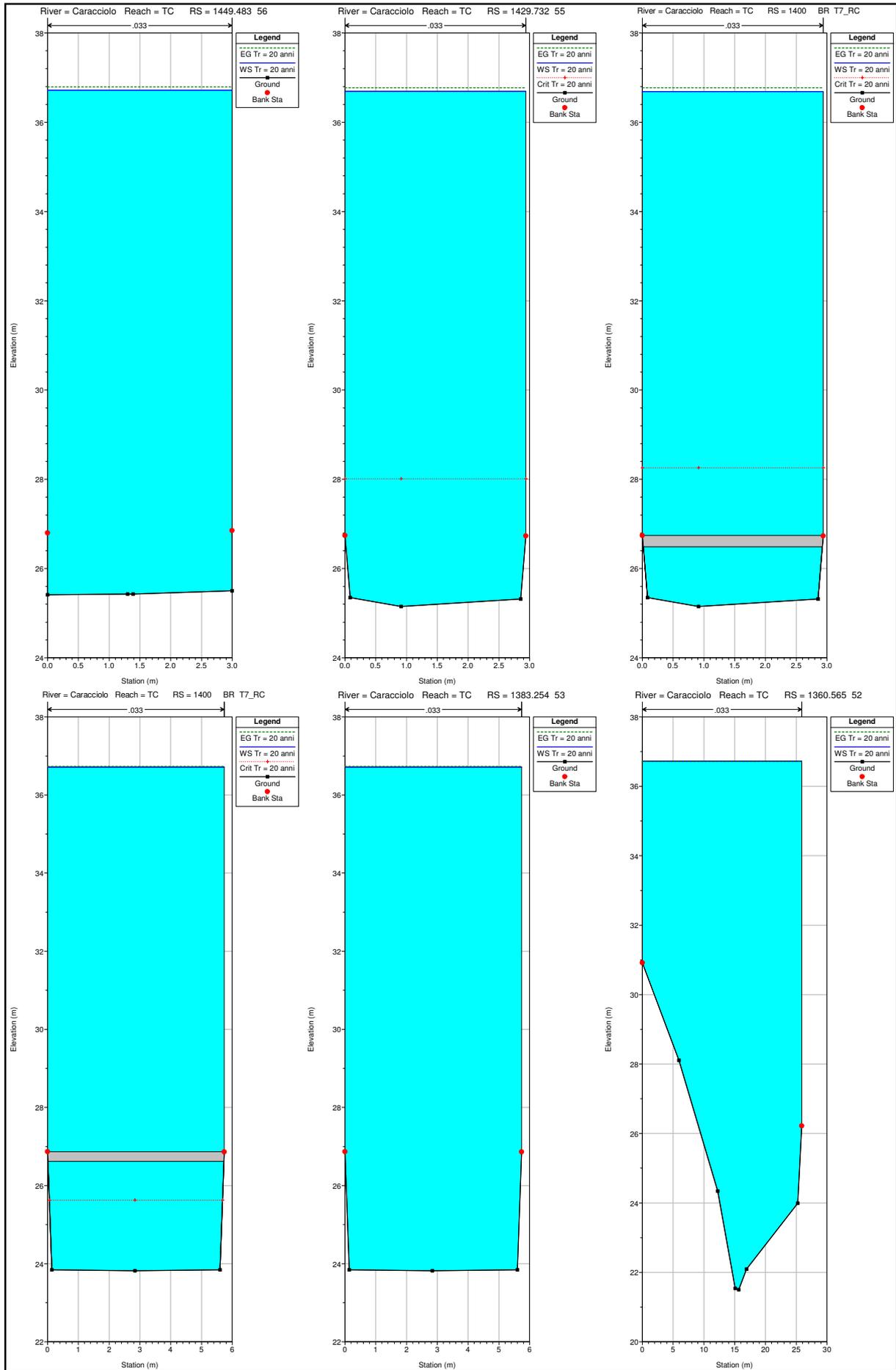


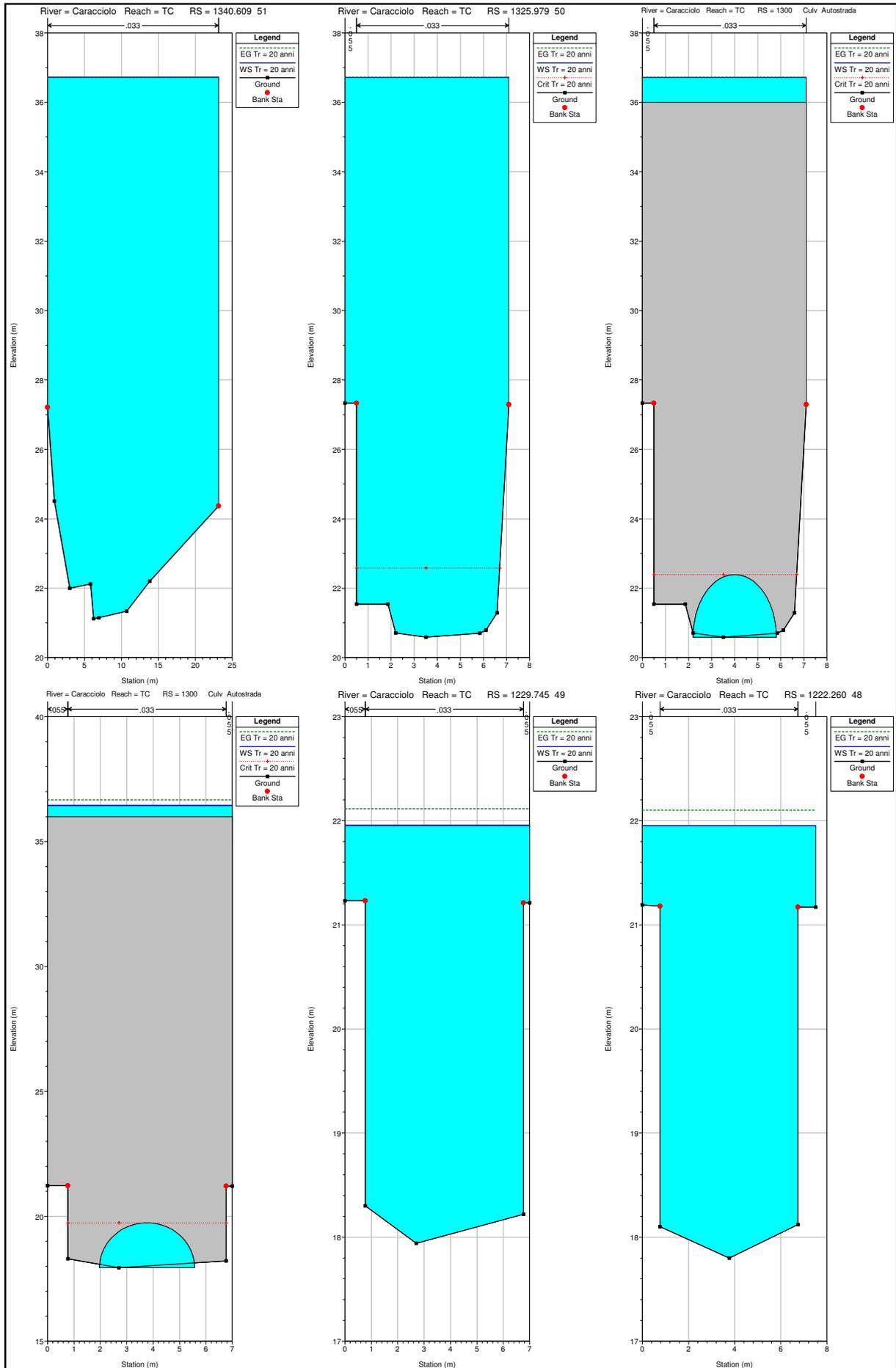


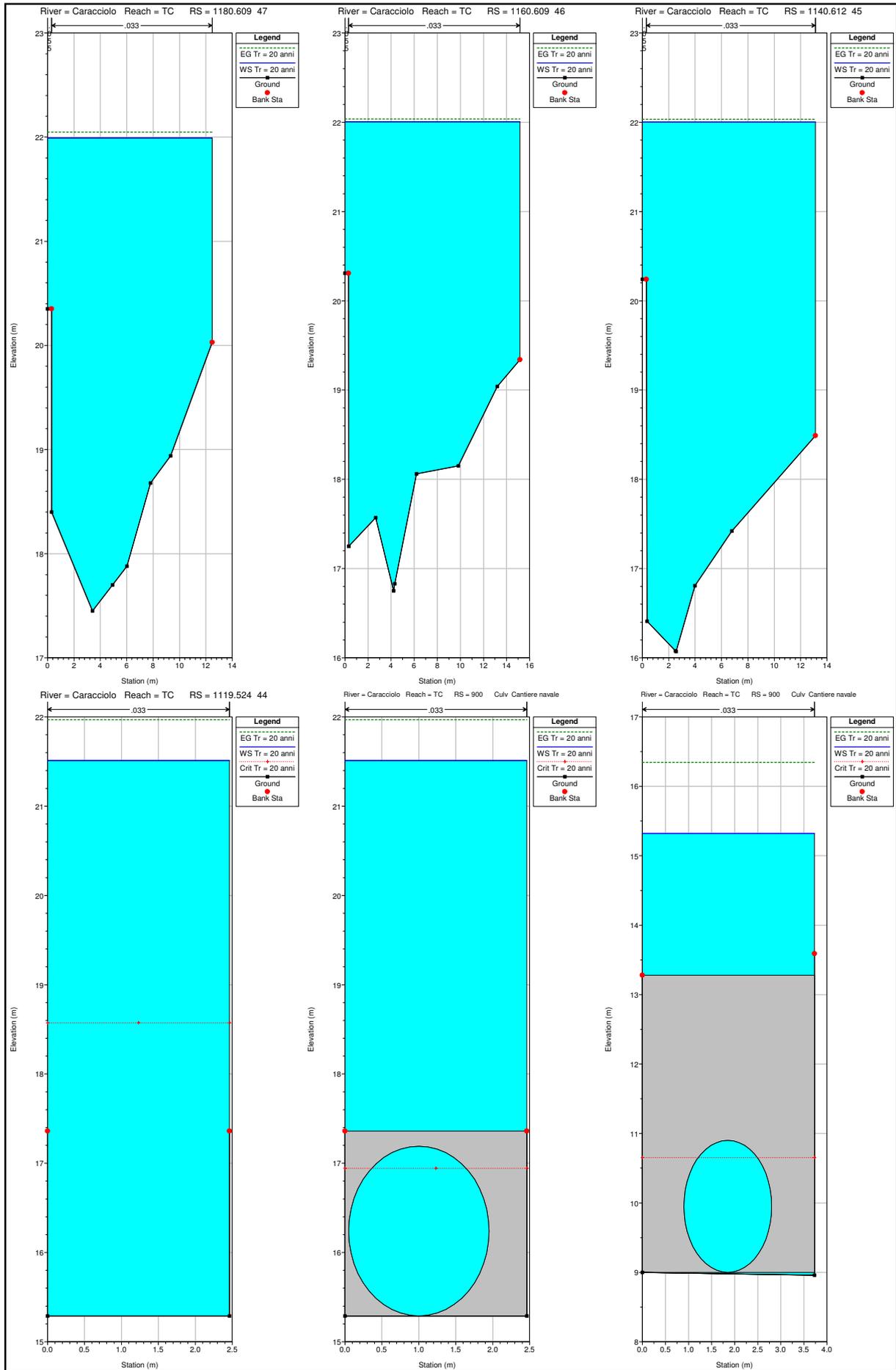


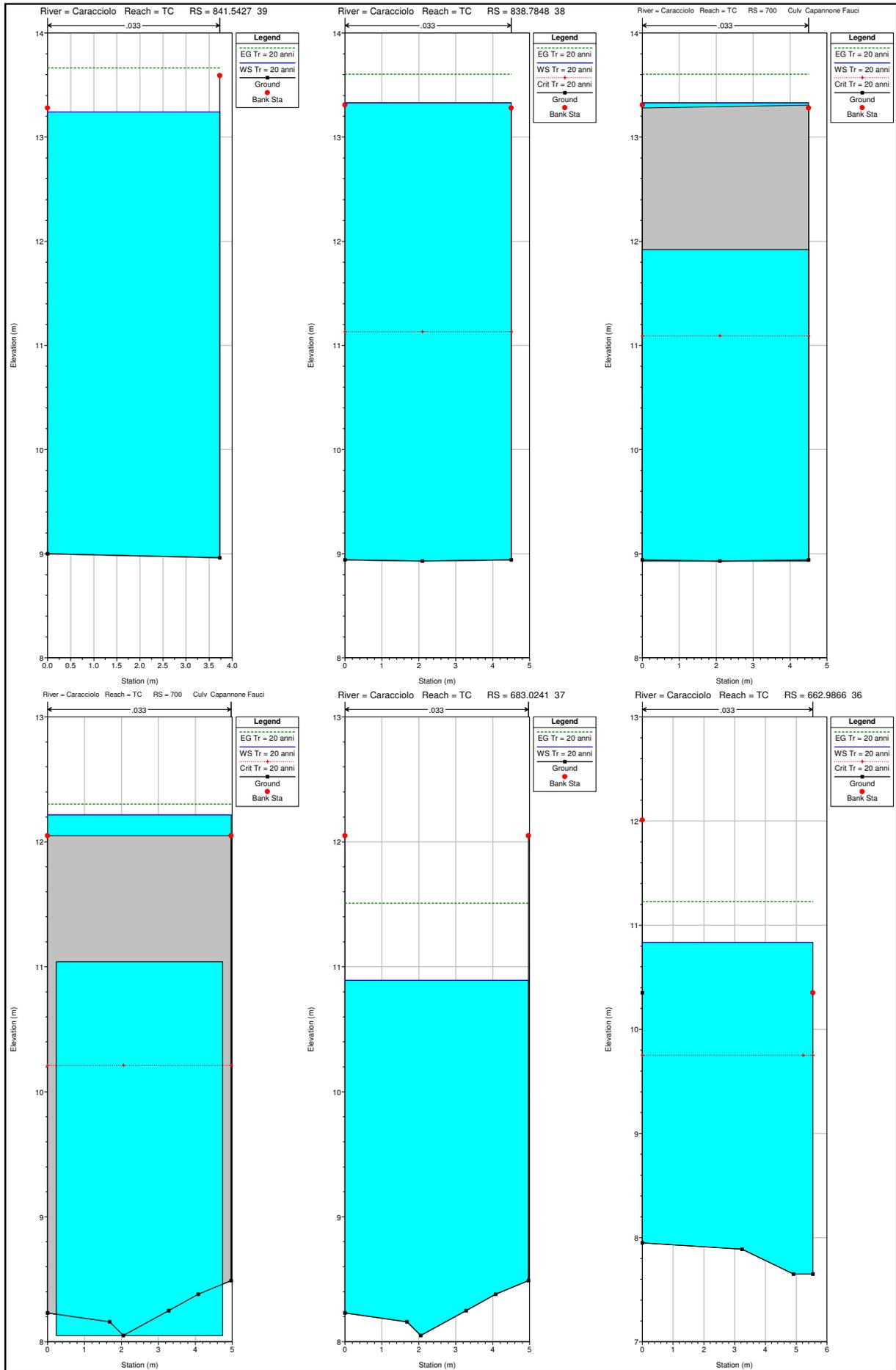


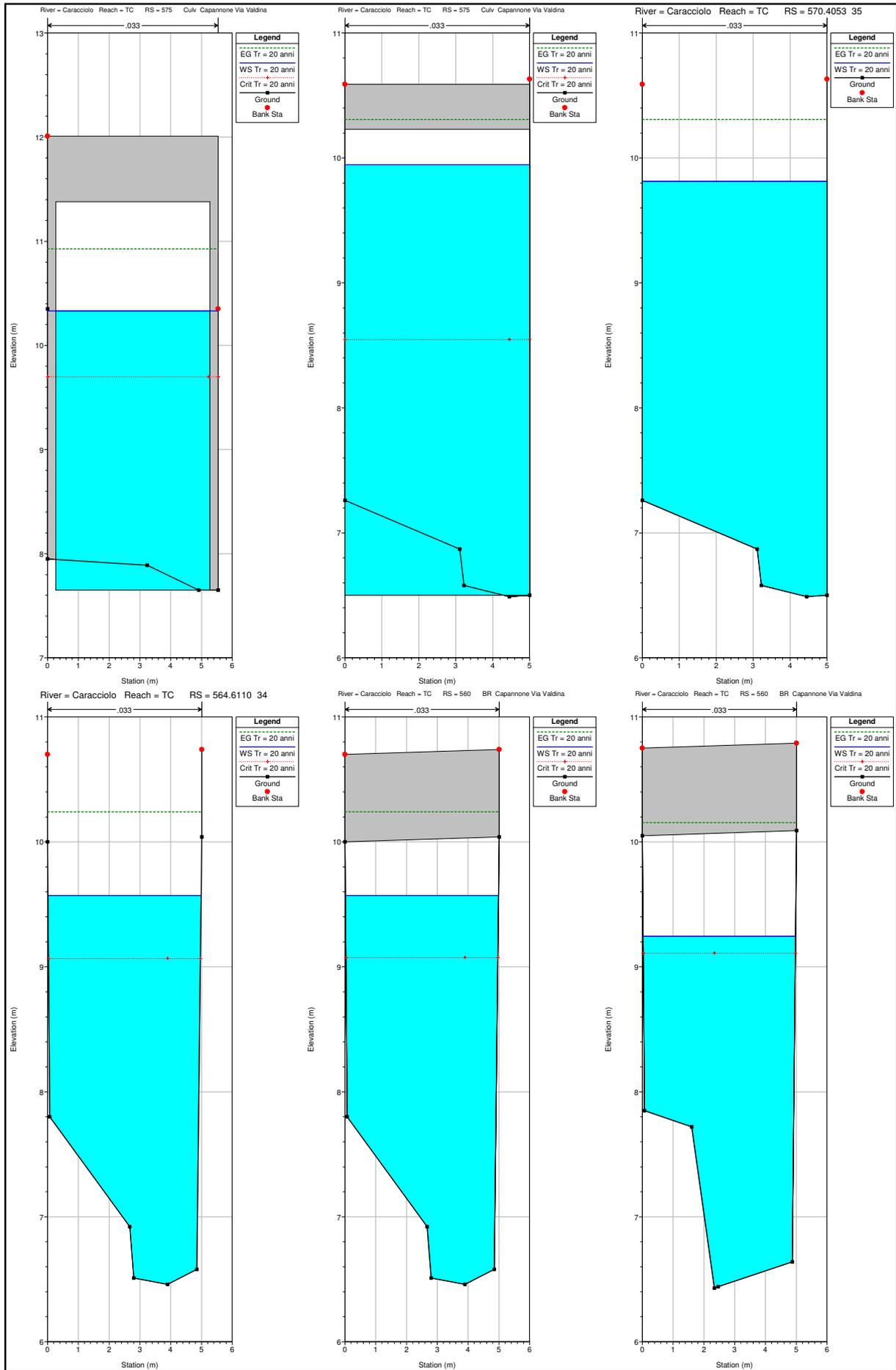


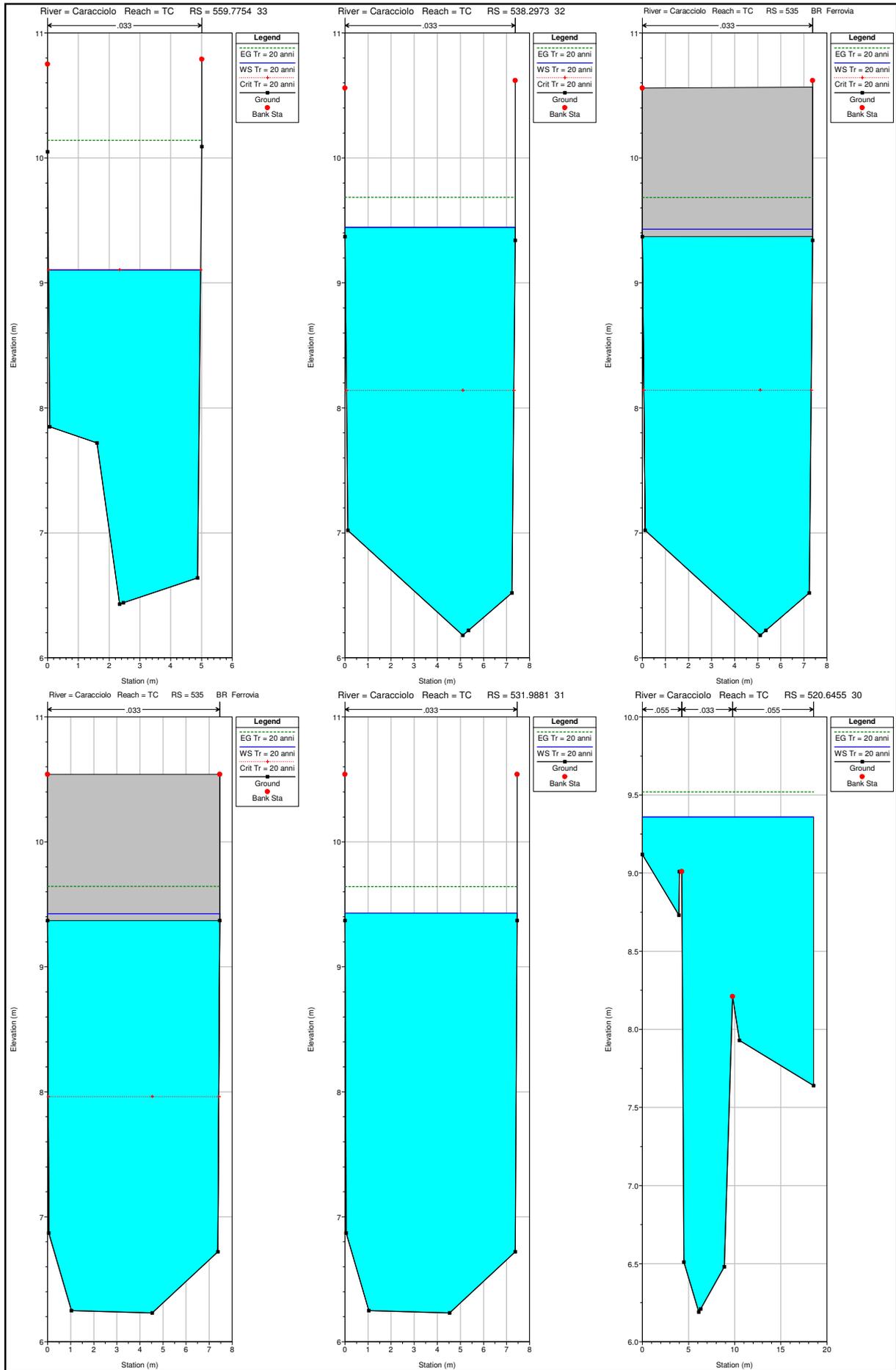


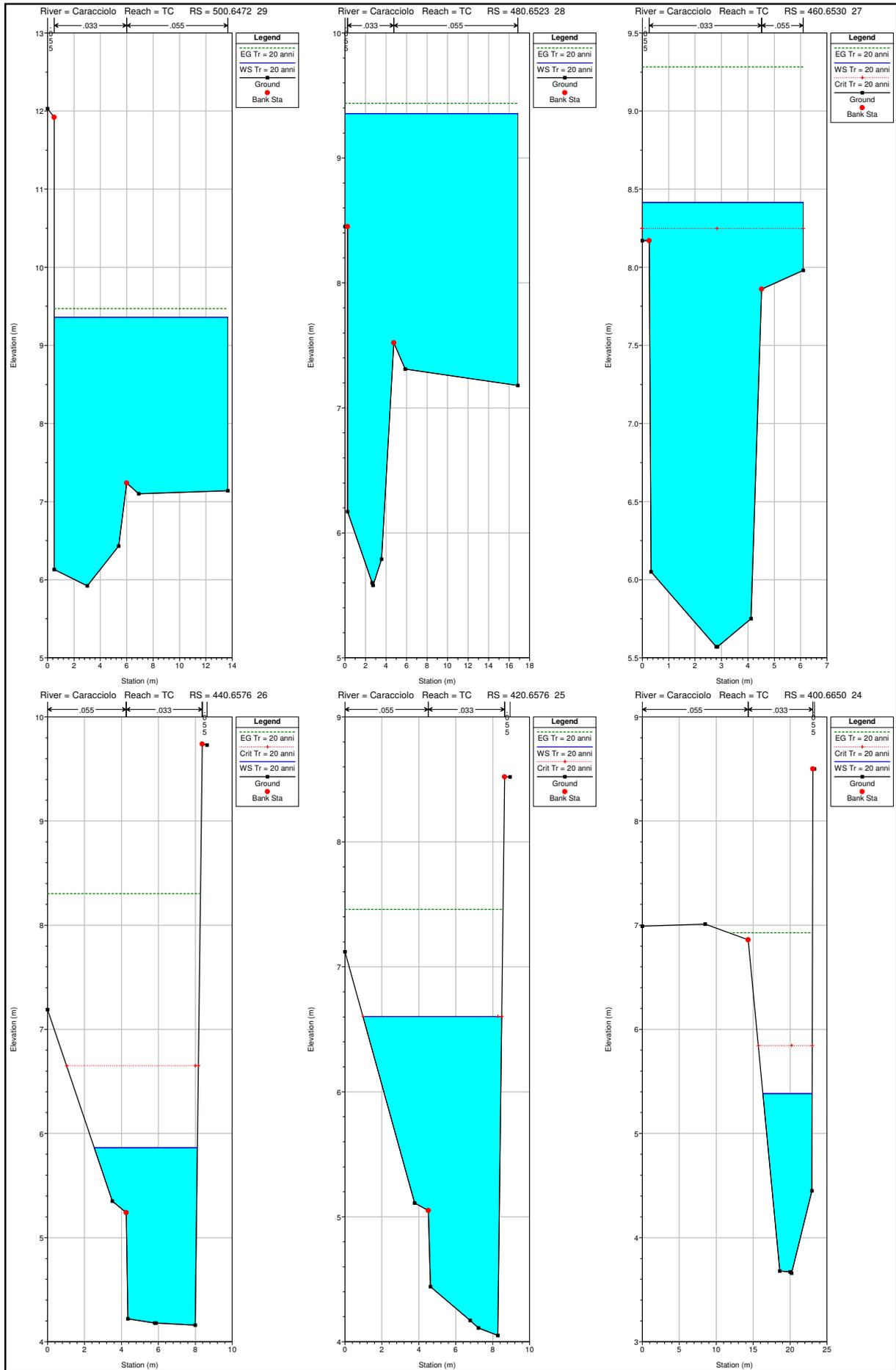


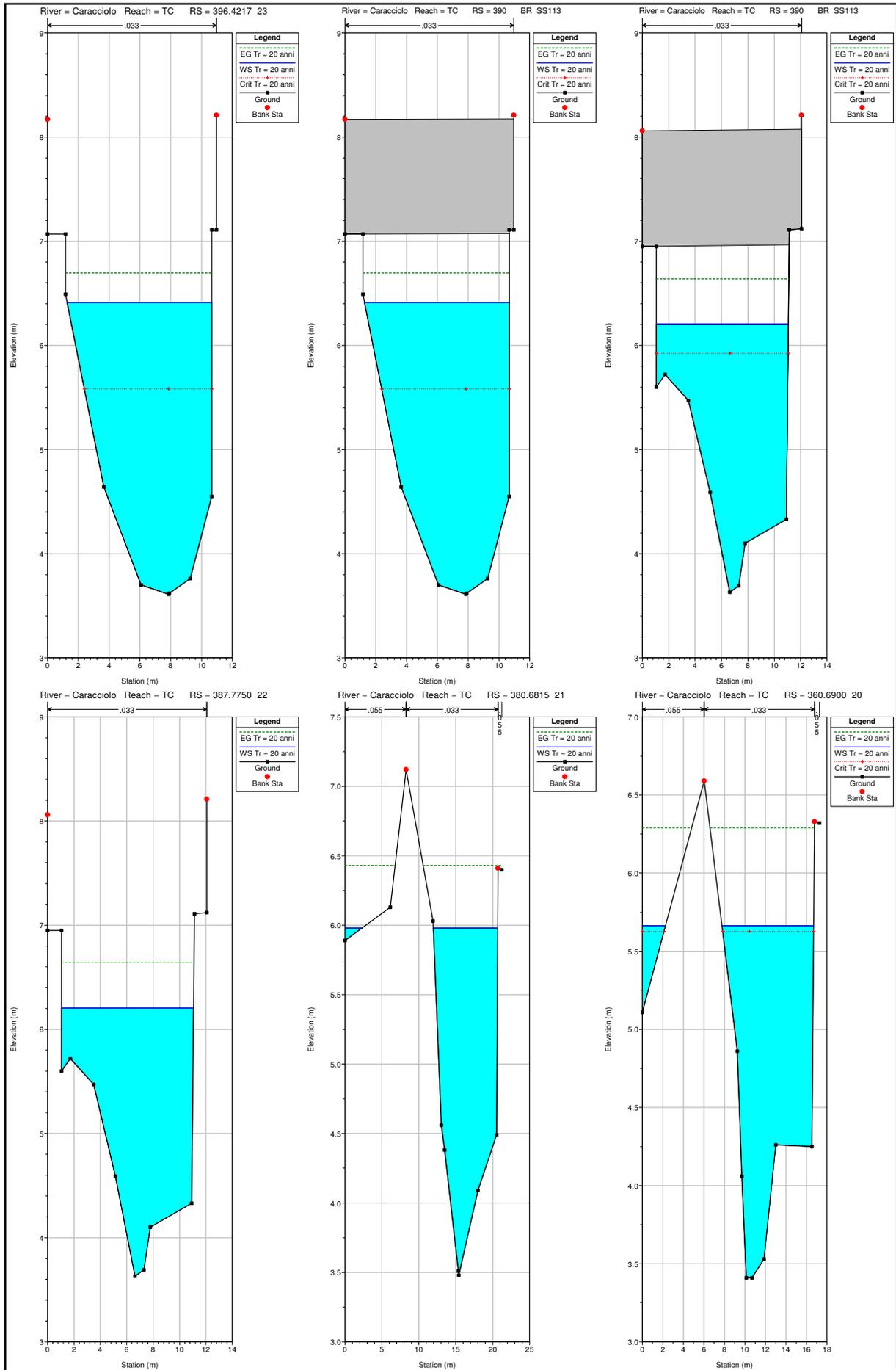


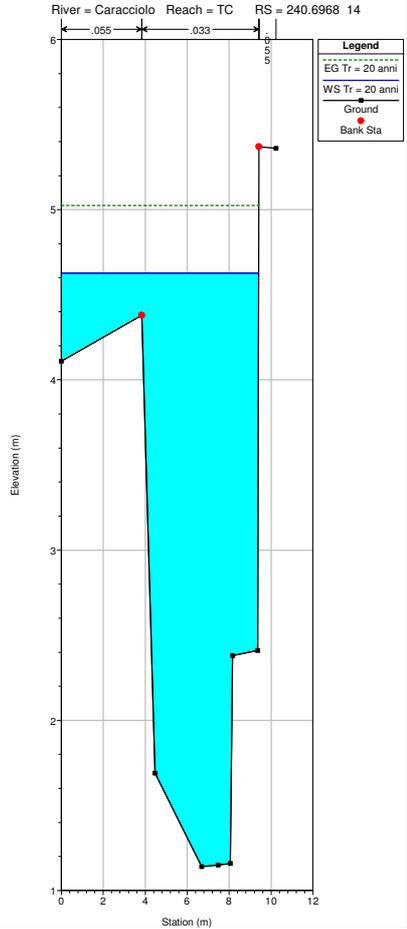
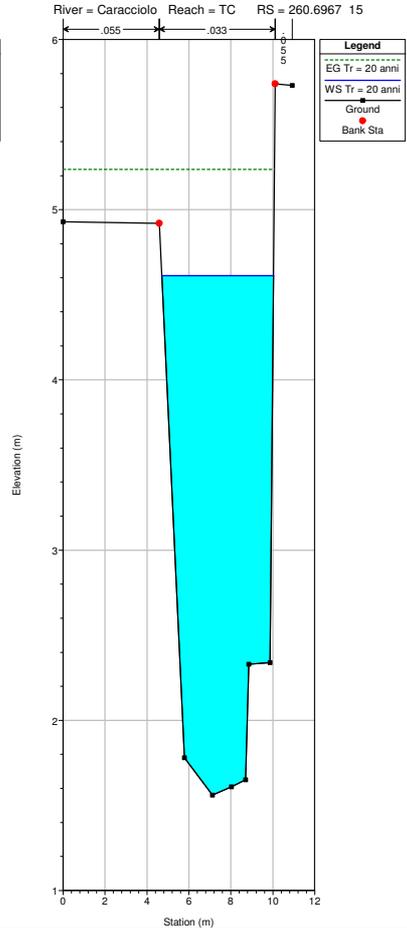
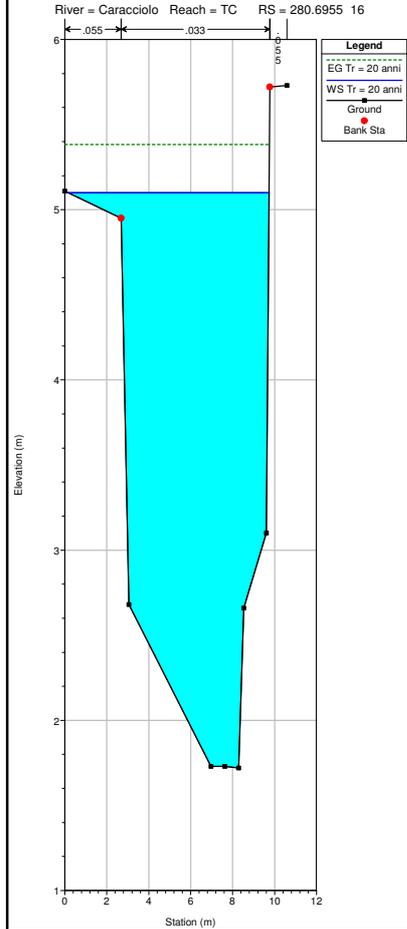
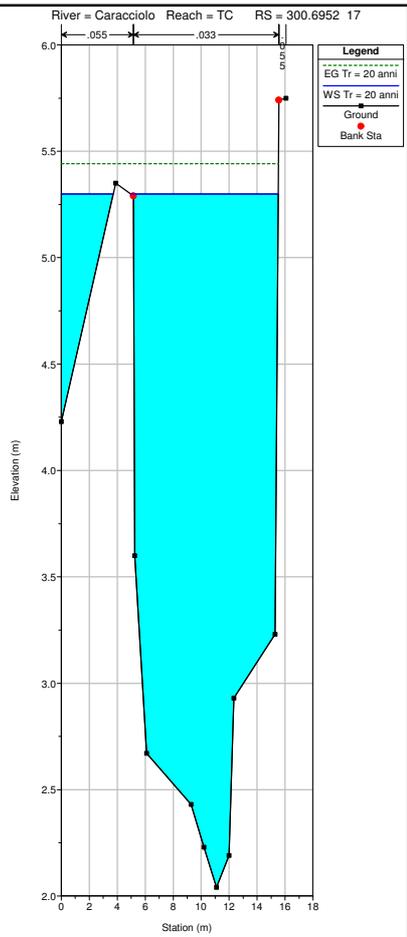
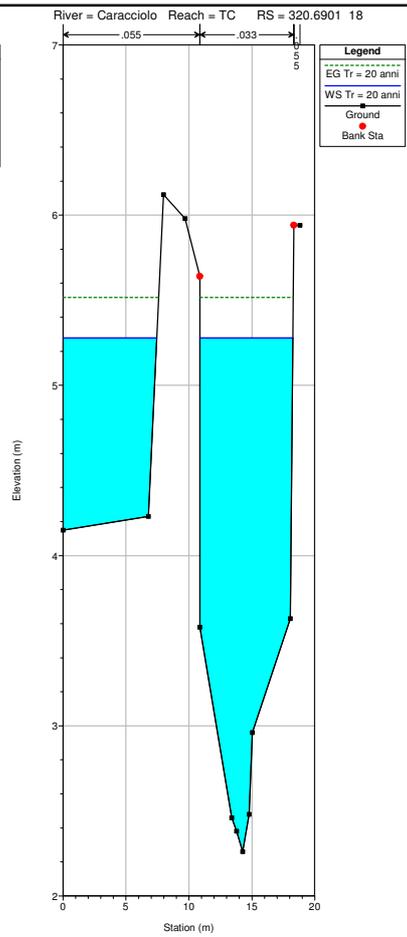
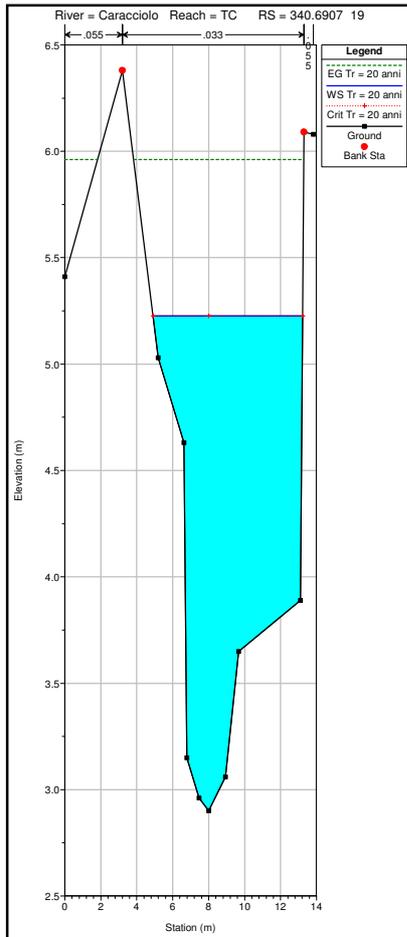


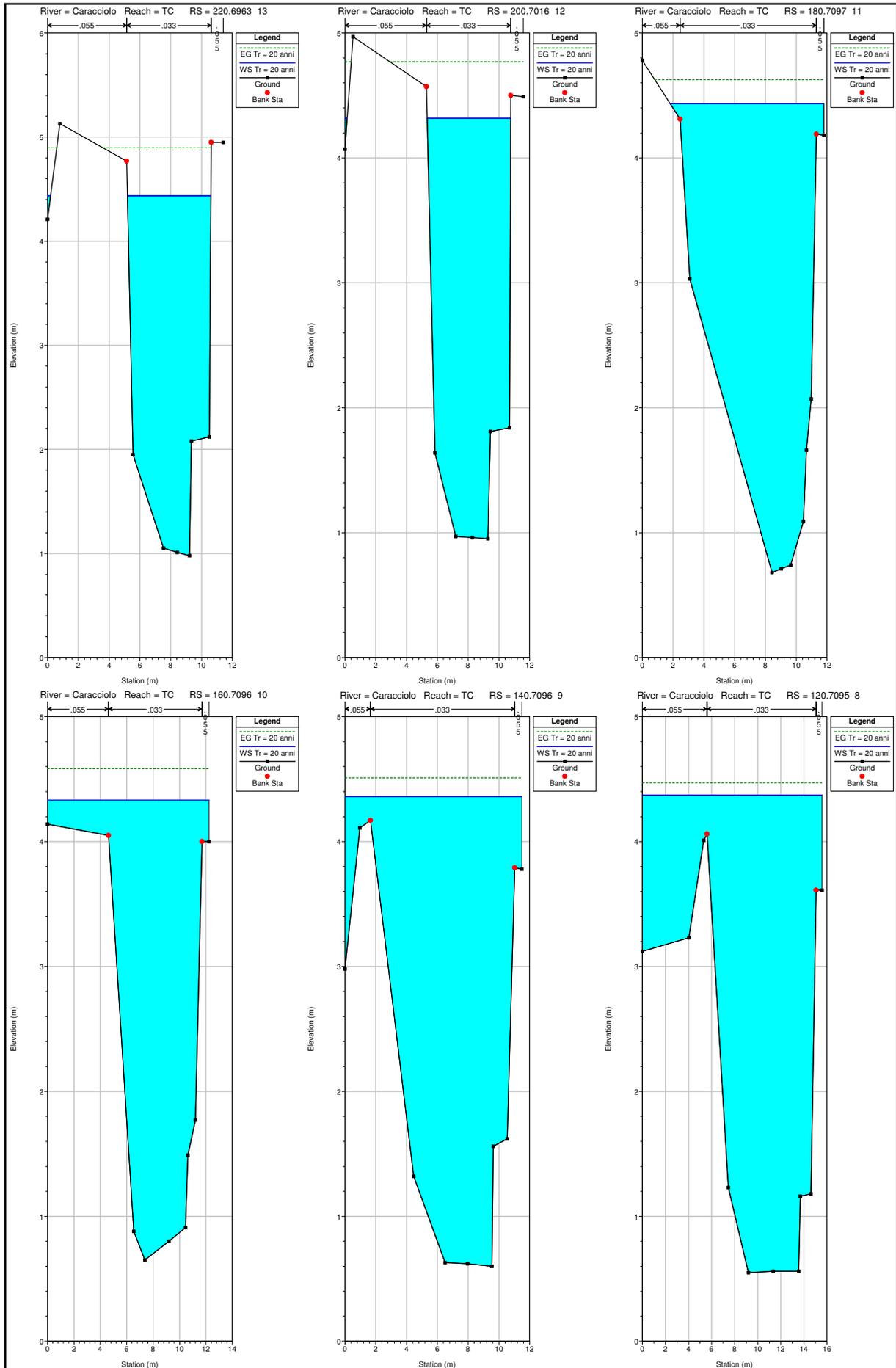


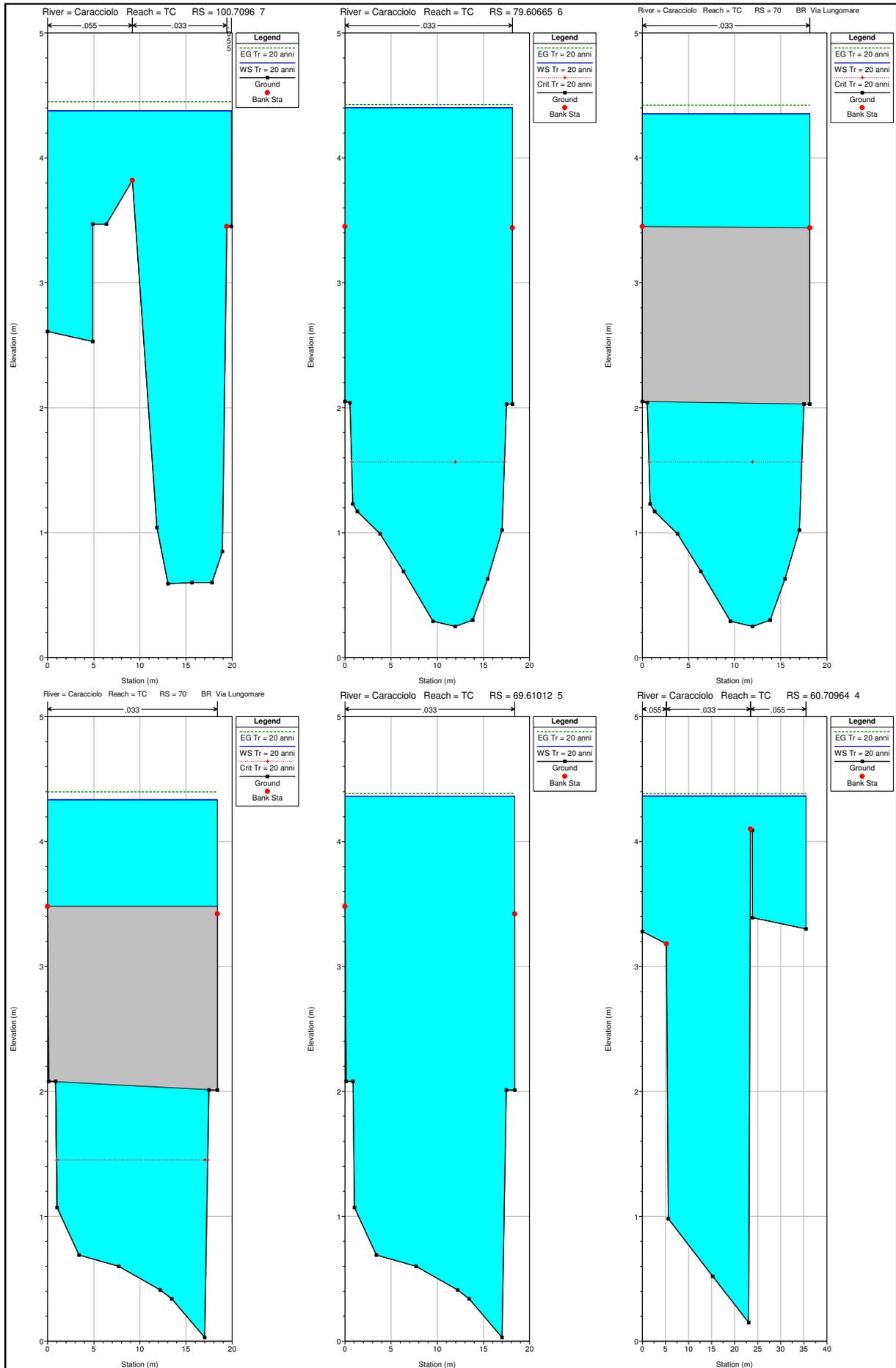


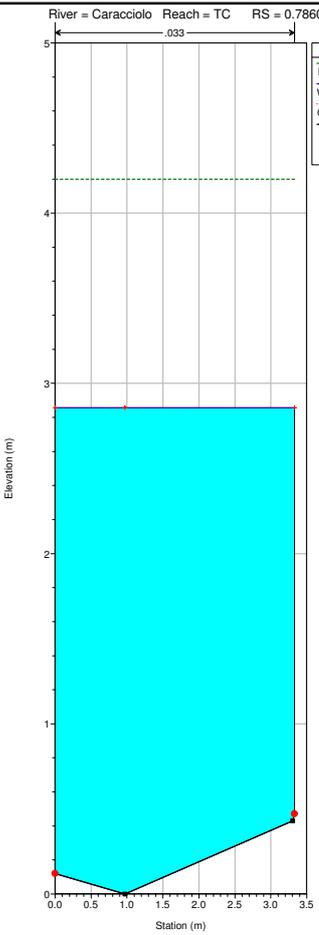
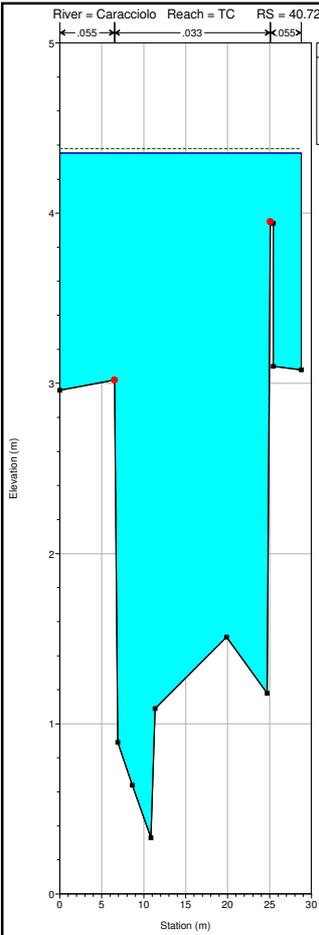






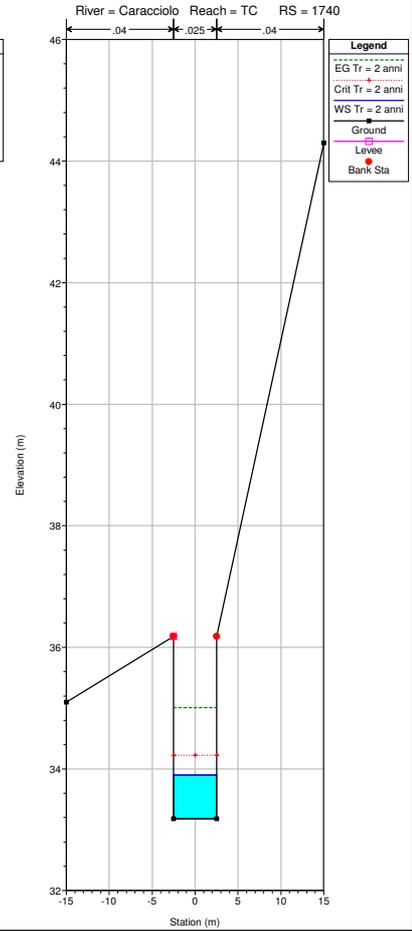
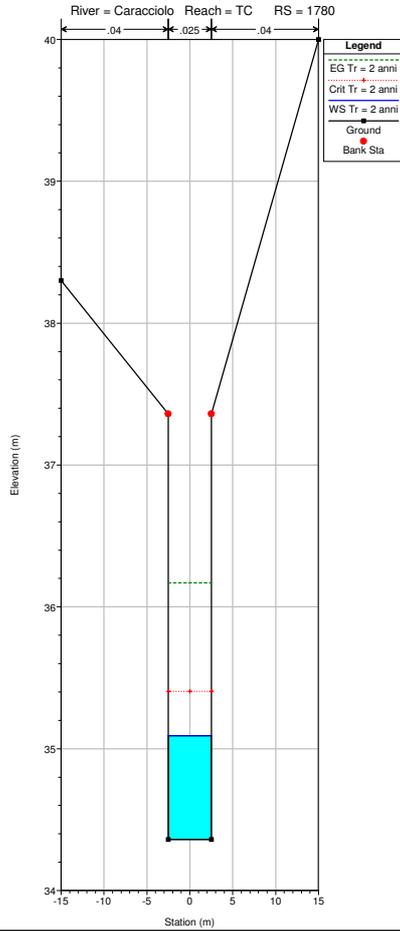
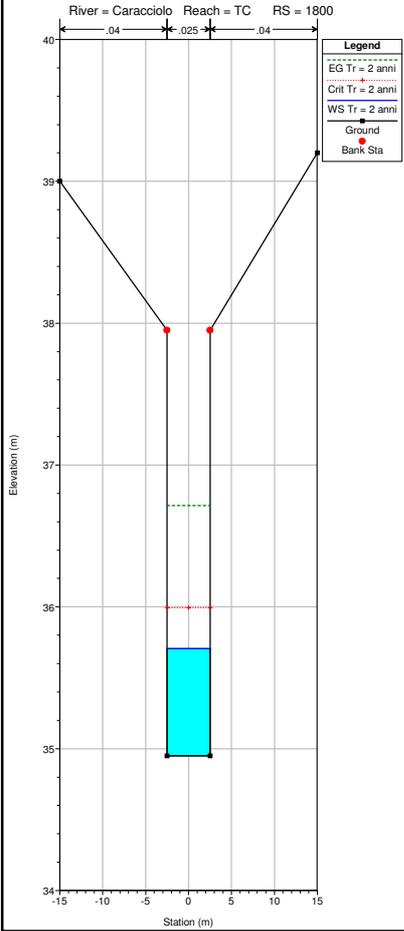
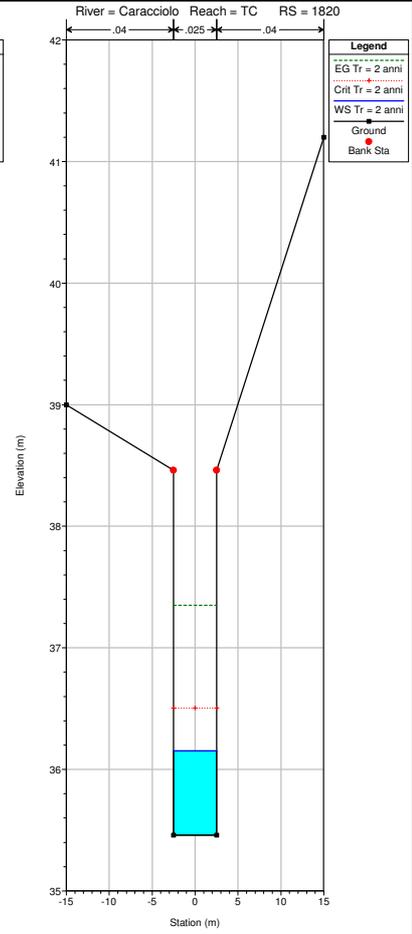
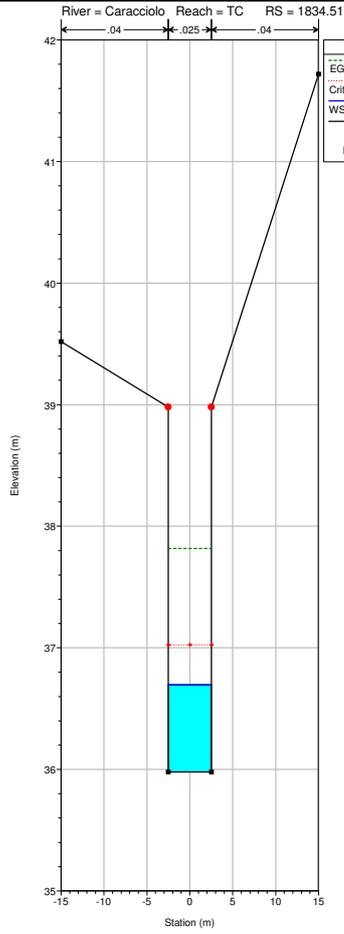


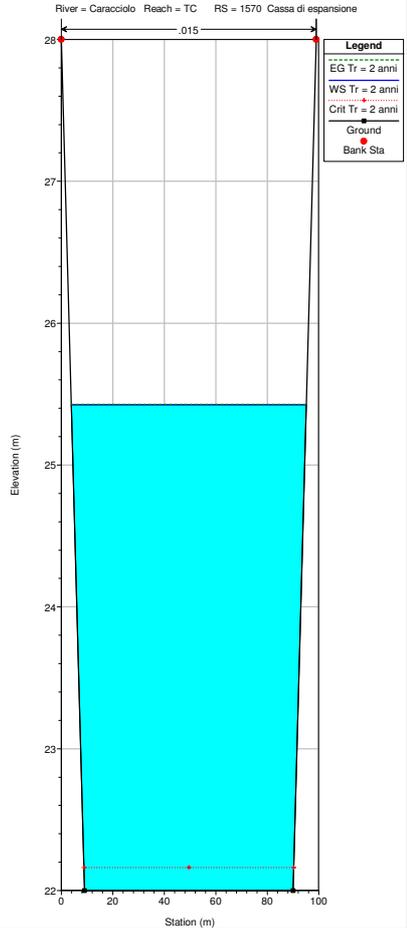
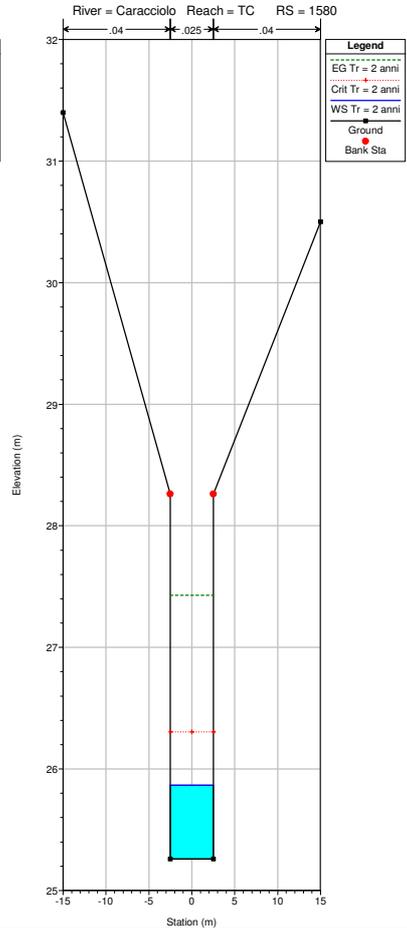
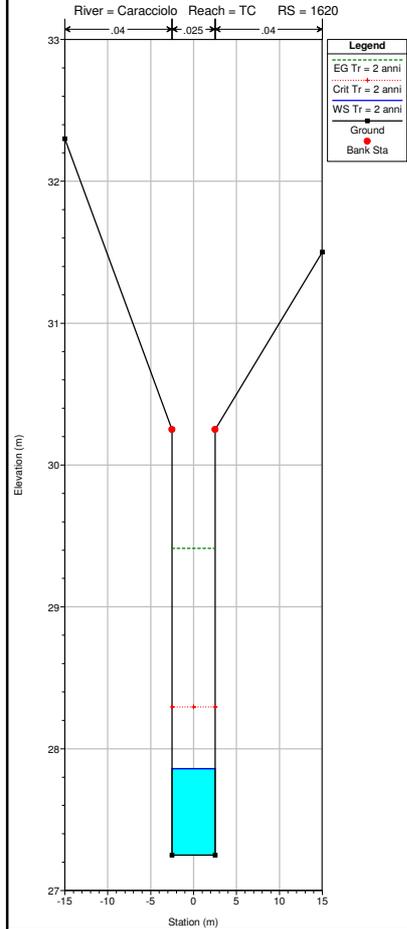
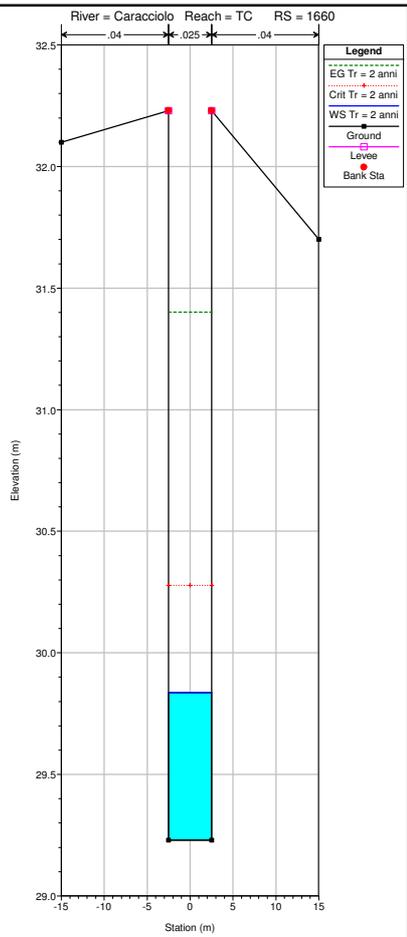
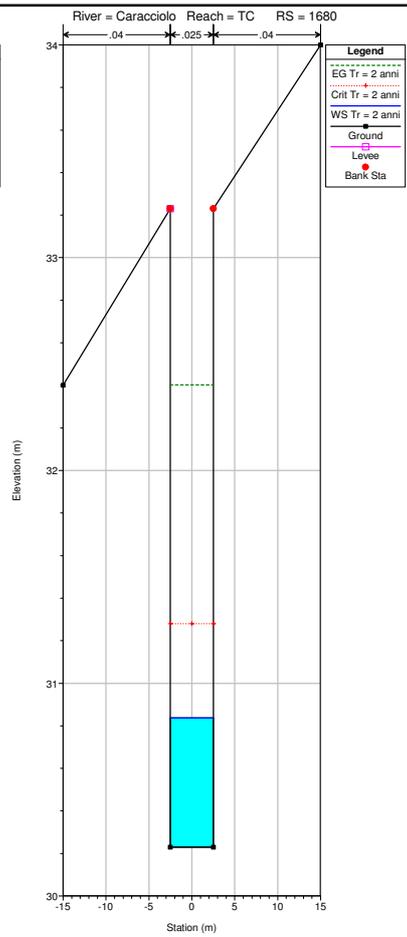
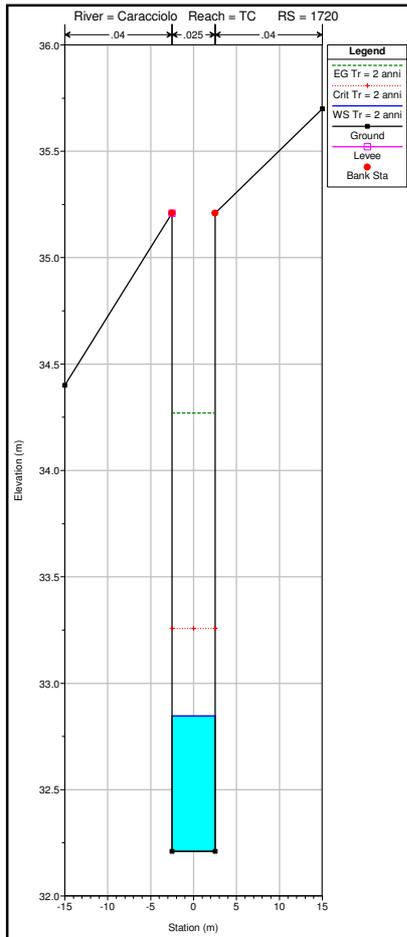


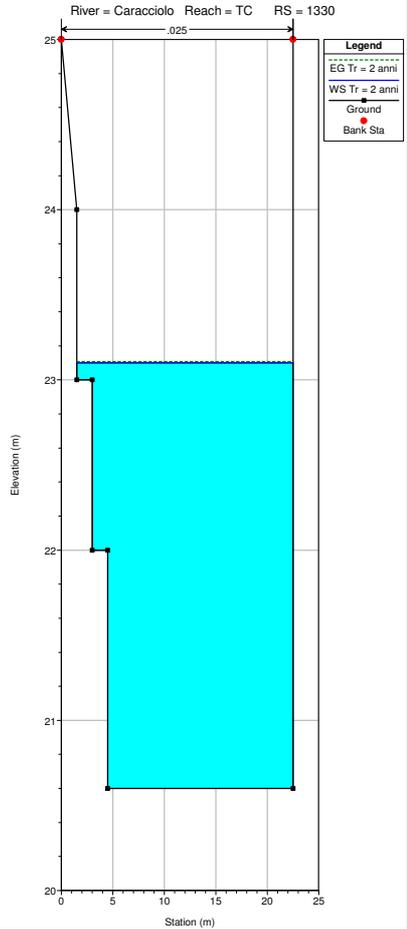
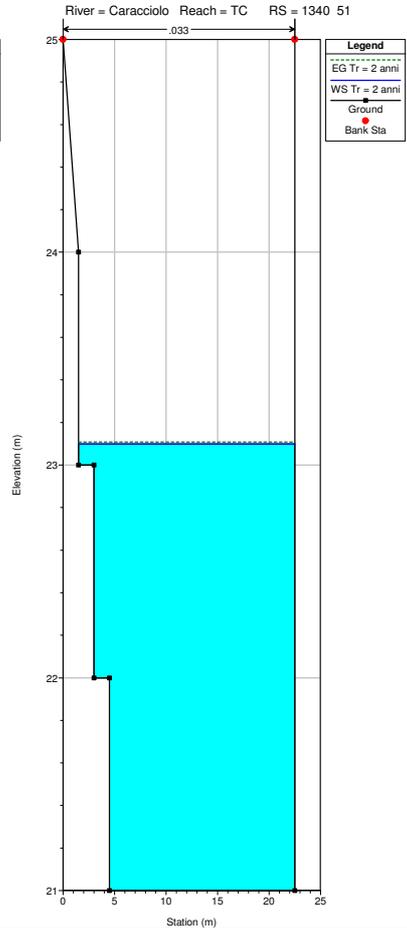
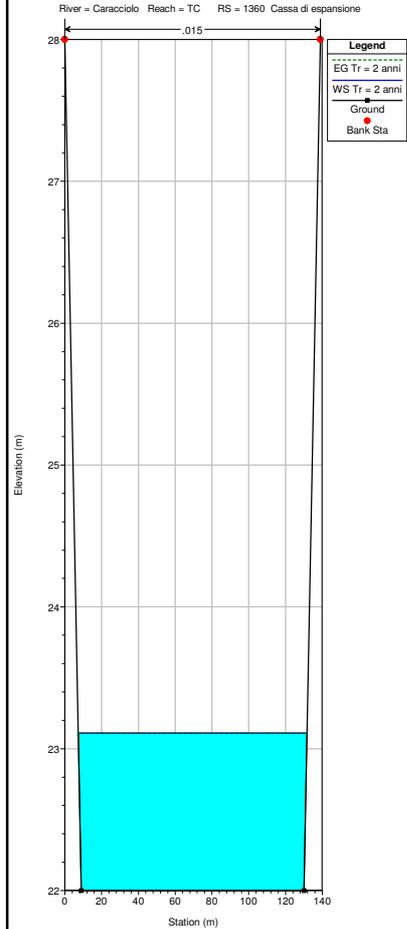
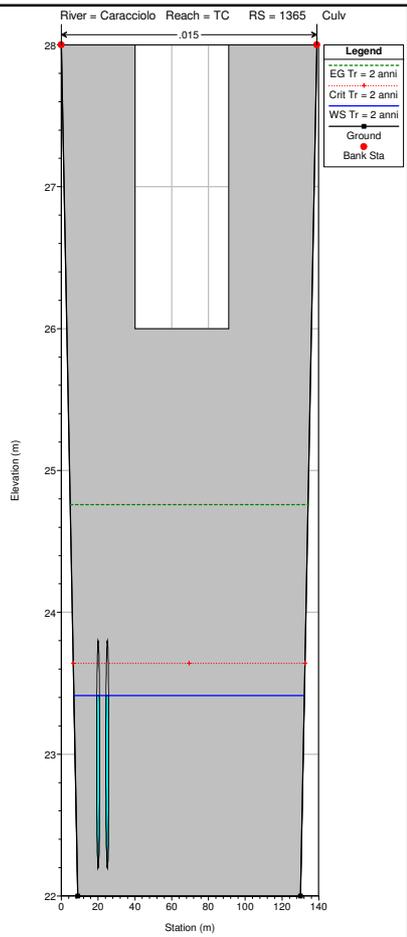
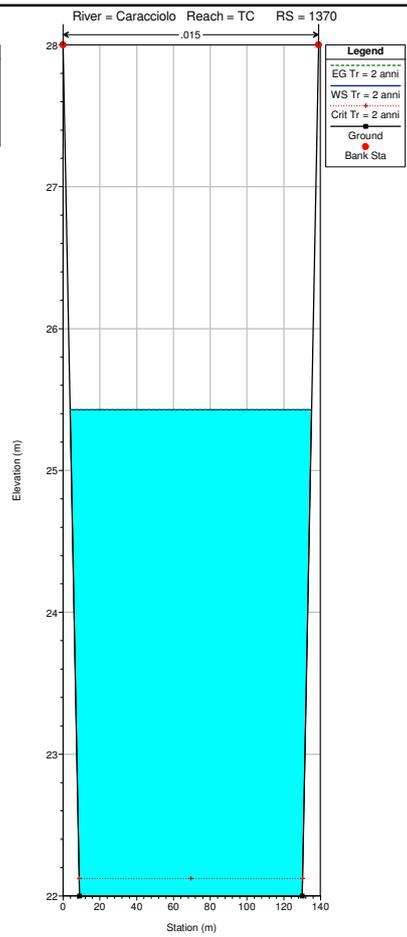
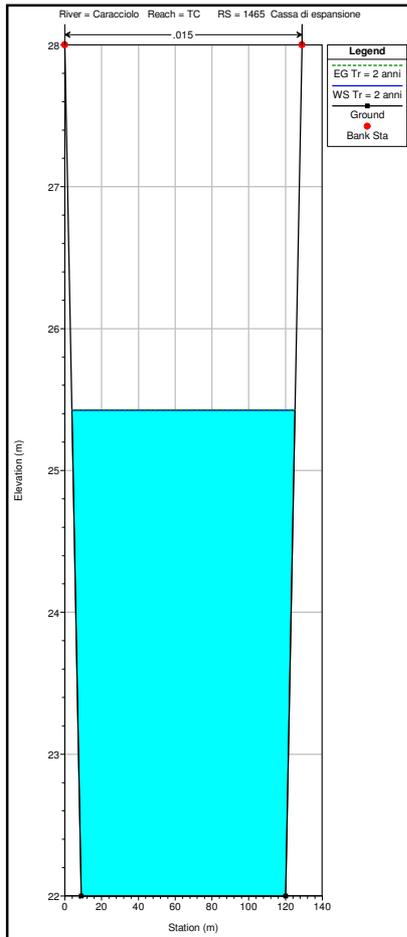


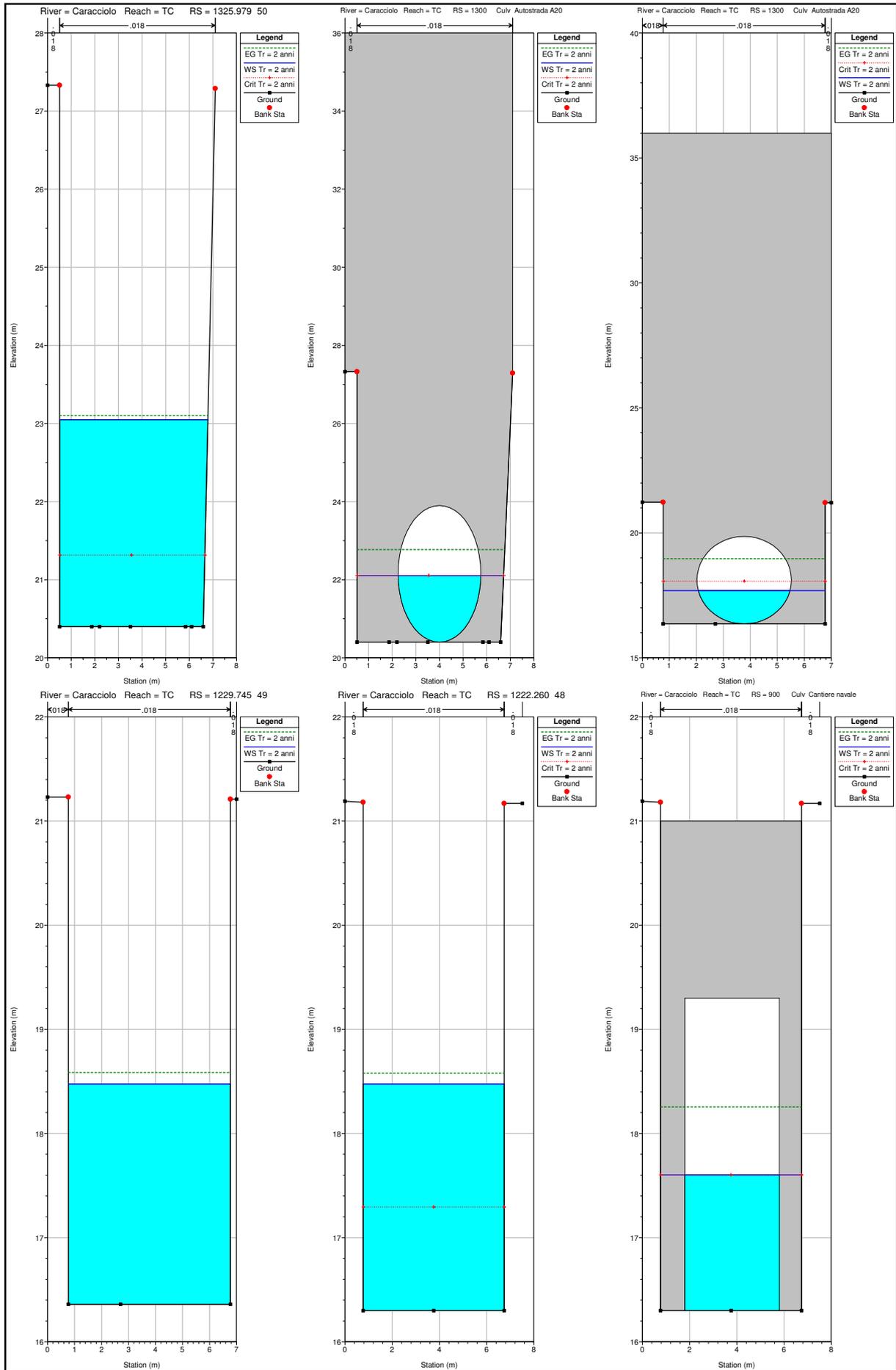
## **Appendice D–Quaderno delle sezioni post-operam**

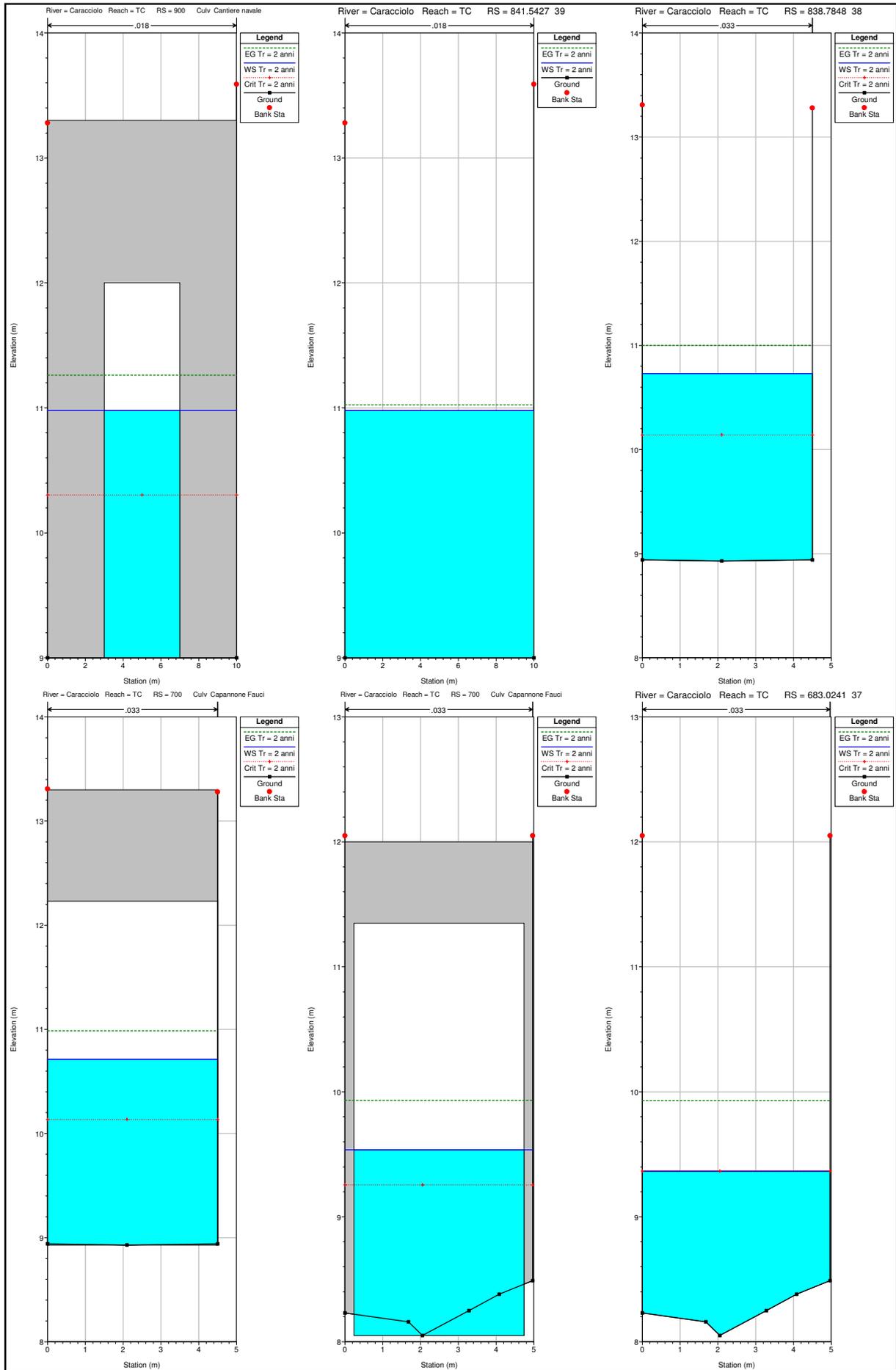
No Data for Plot

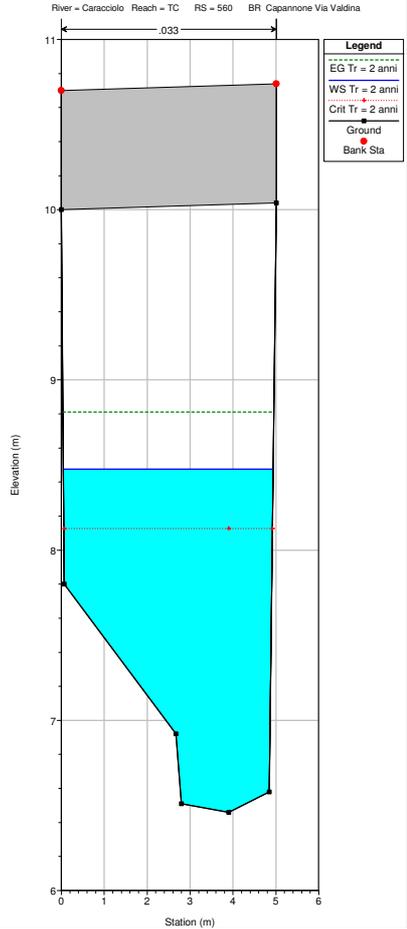
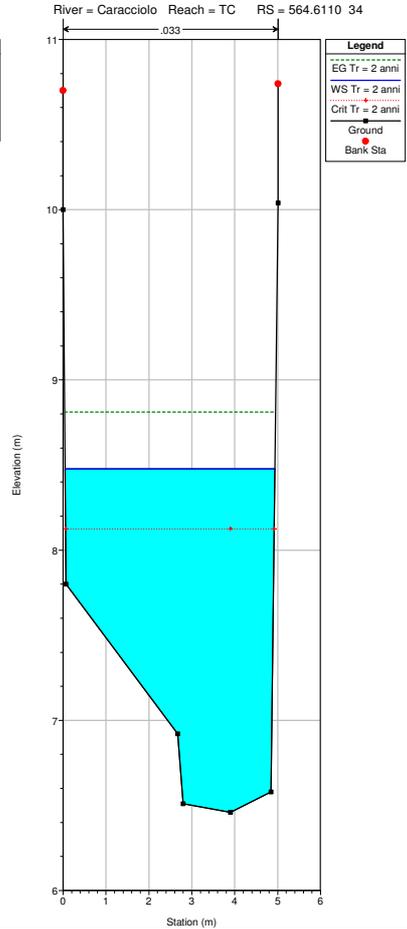
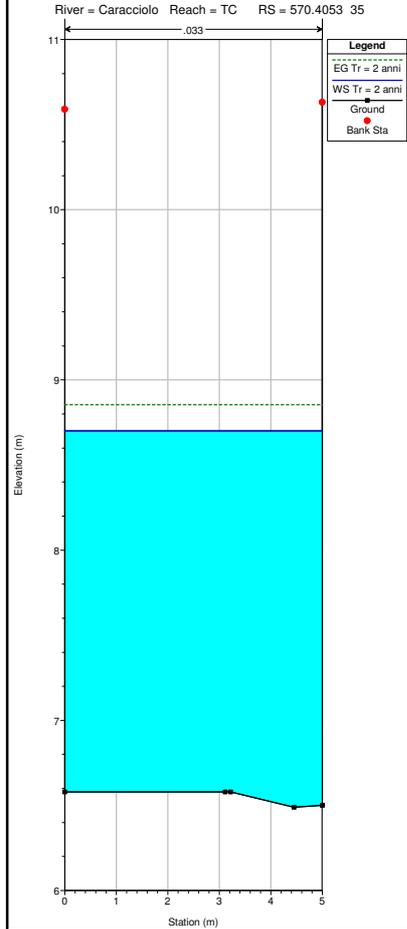
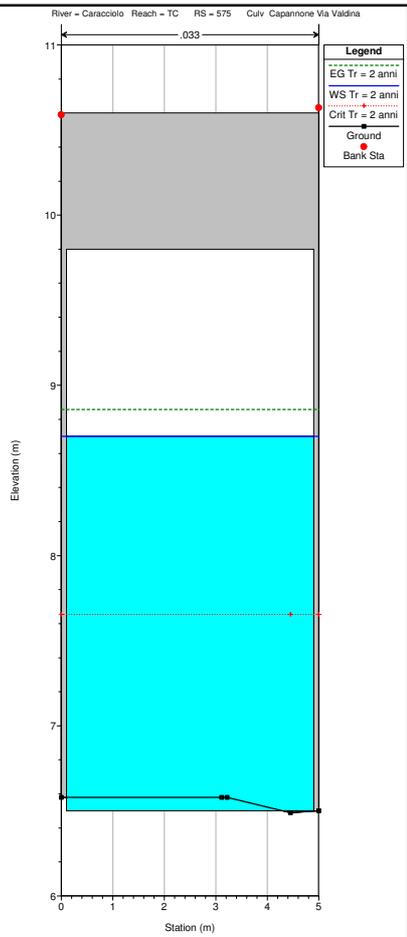
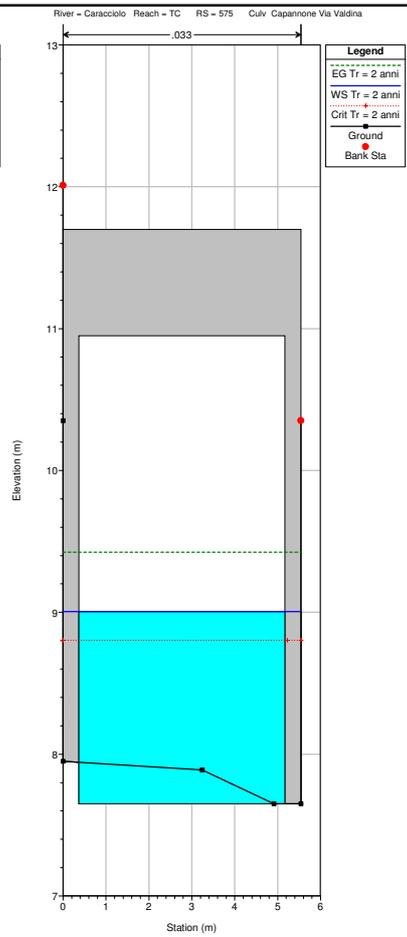
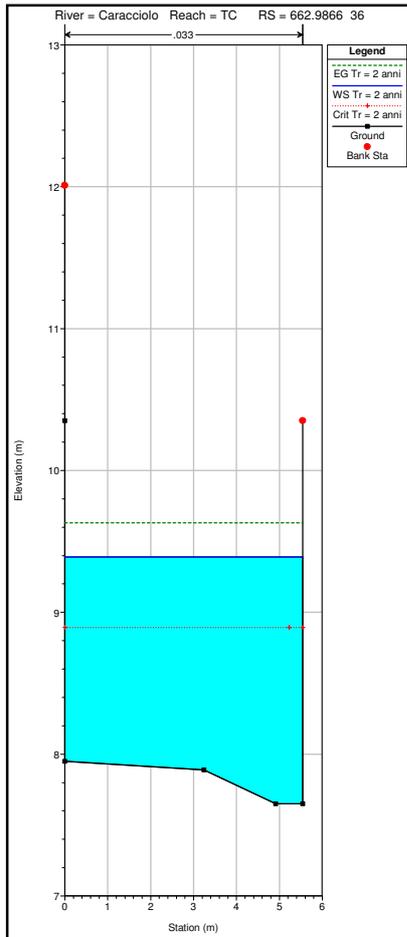


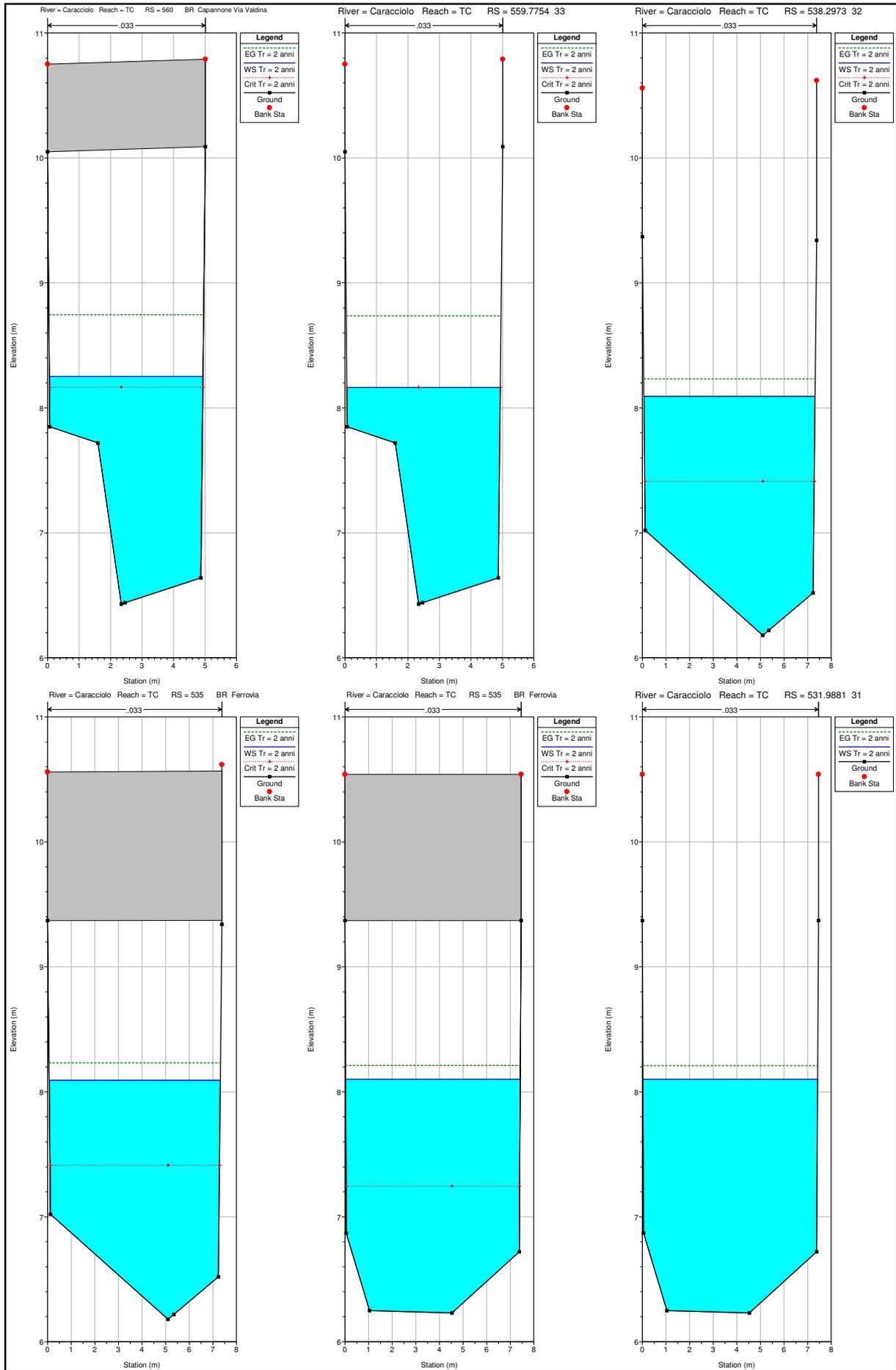


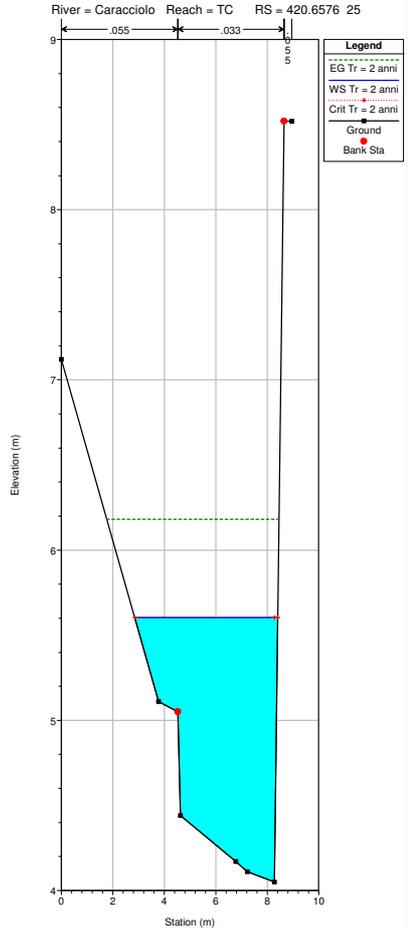
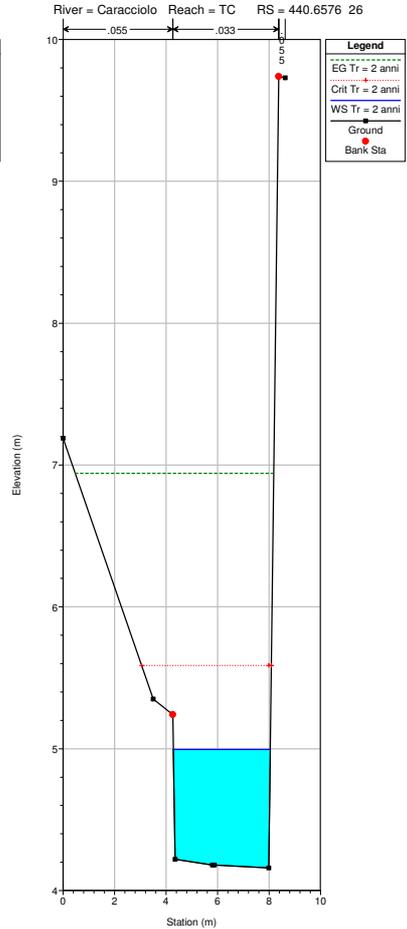
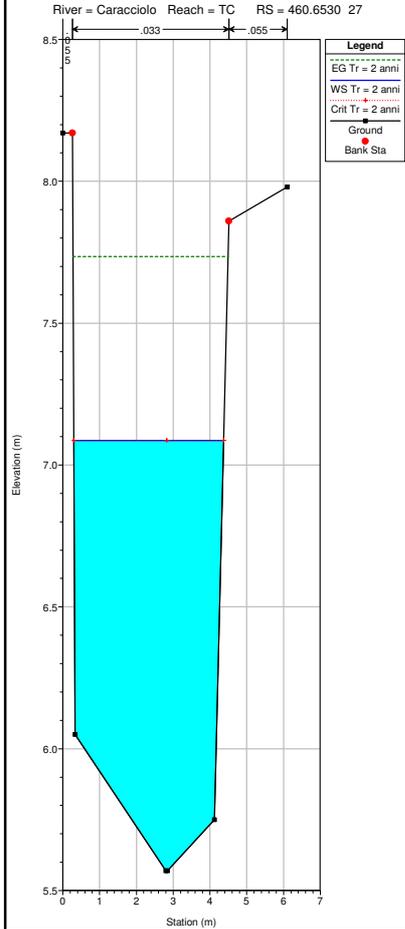
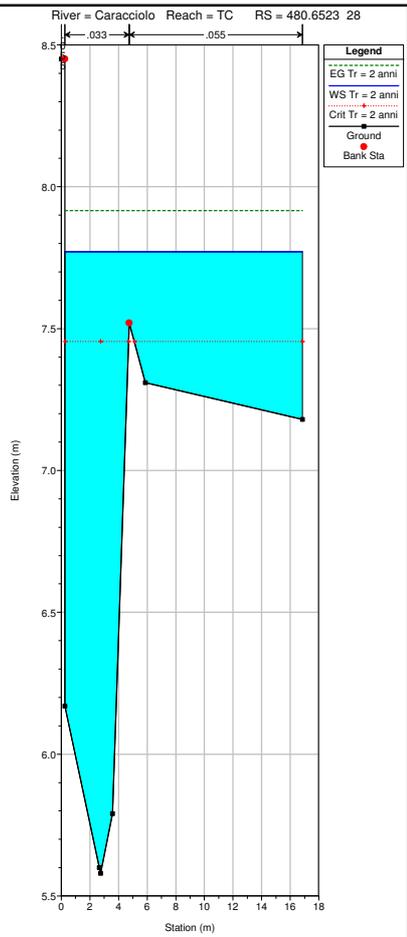
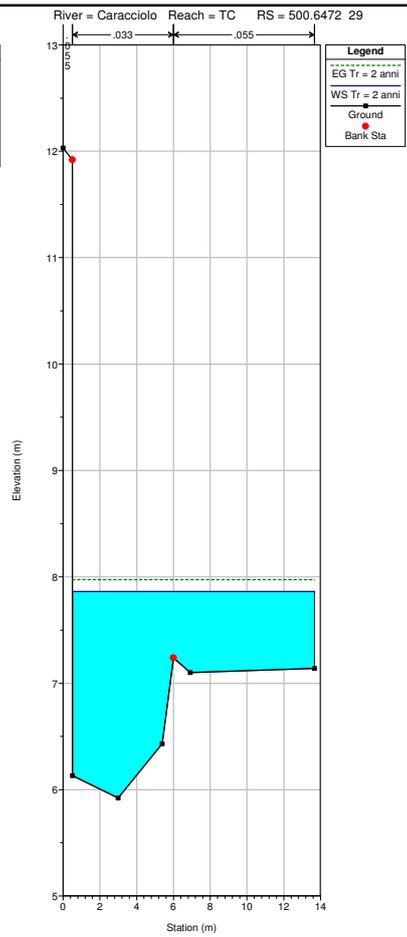
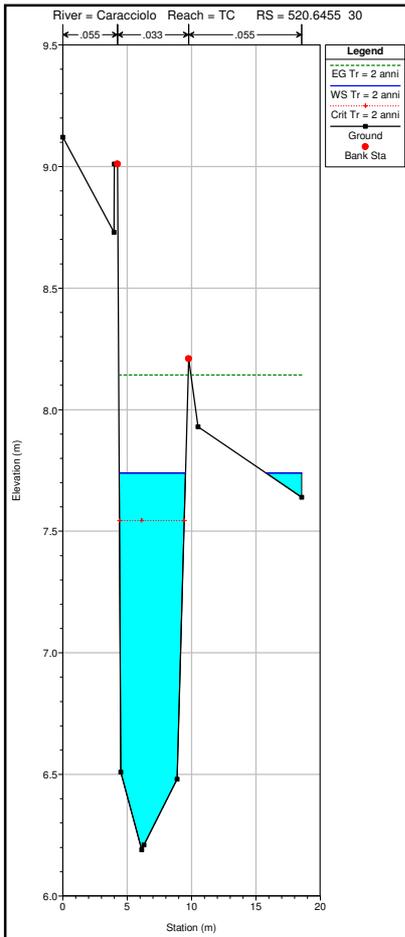


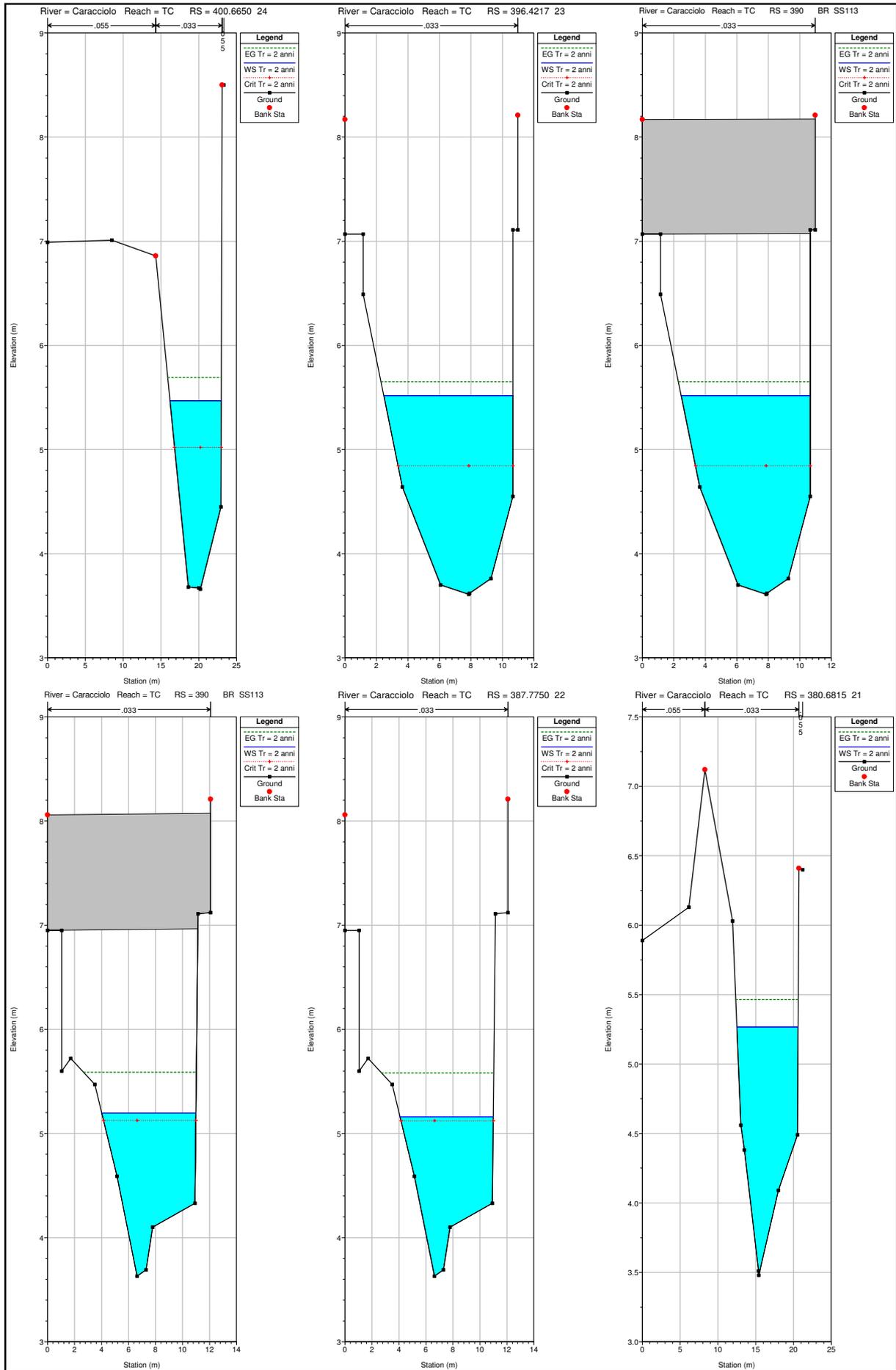


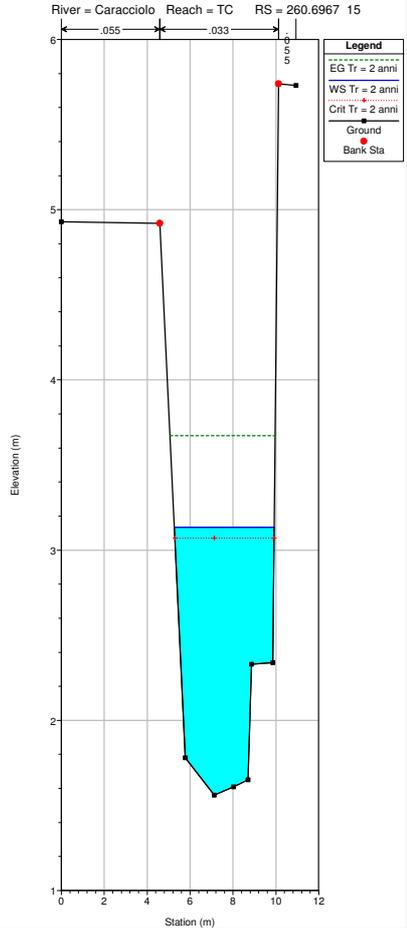
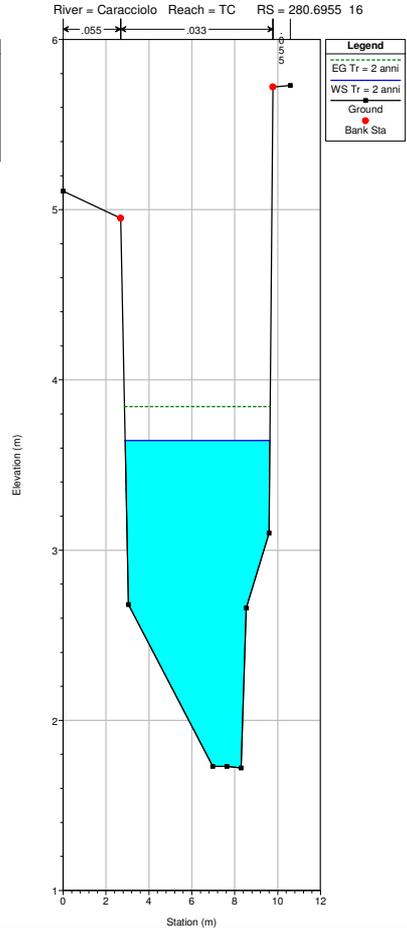
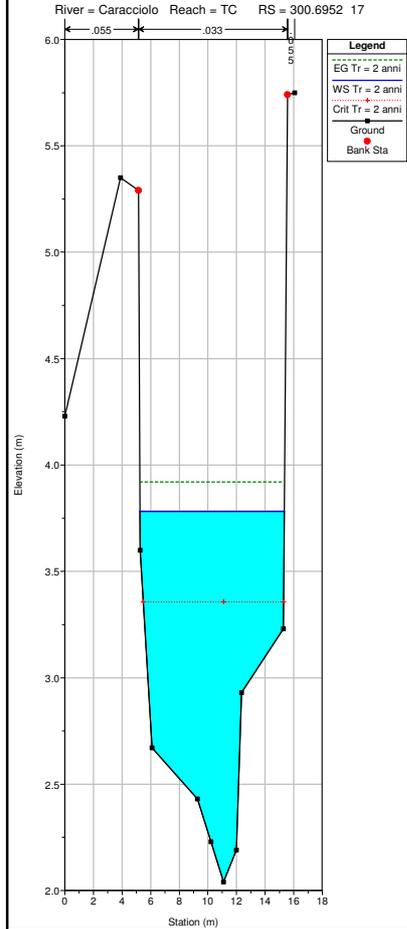
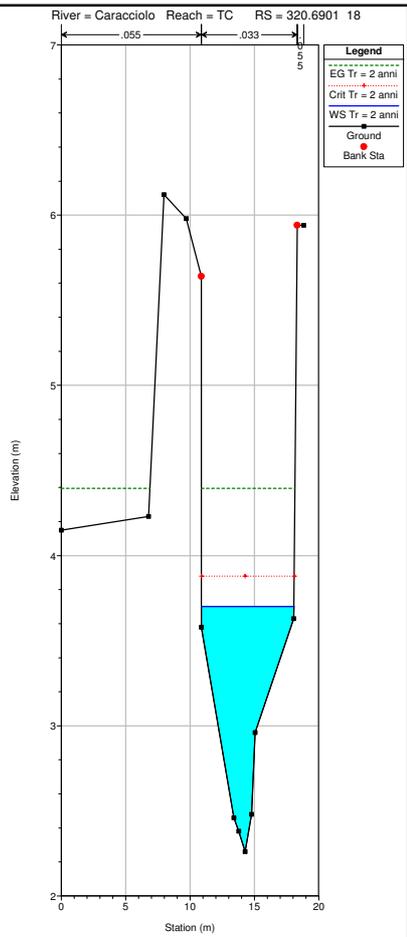
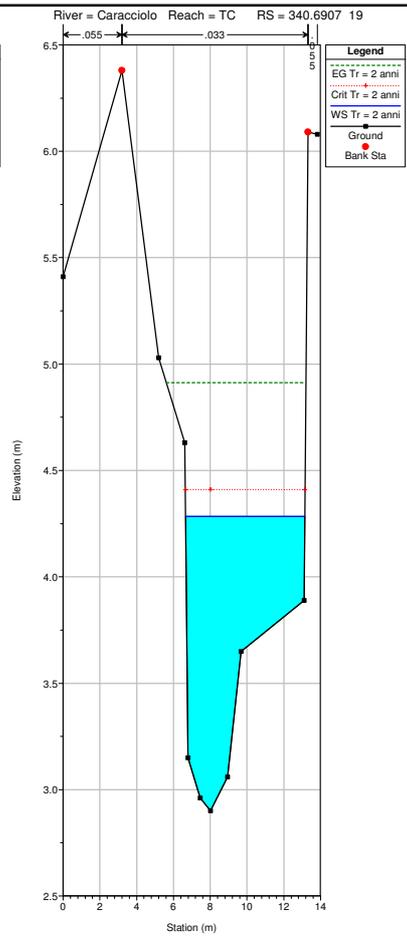
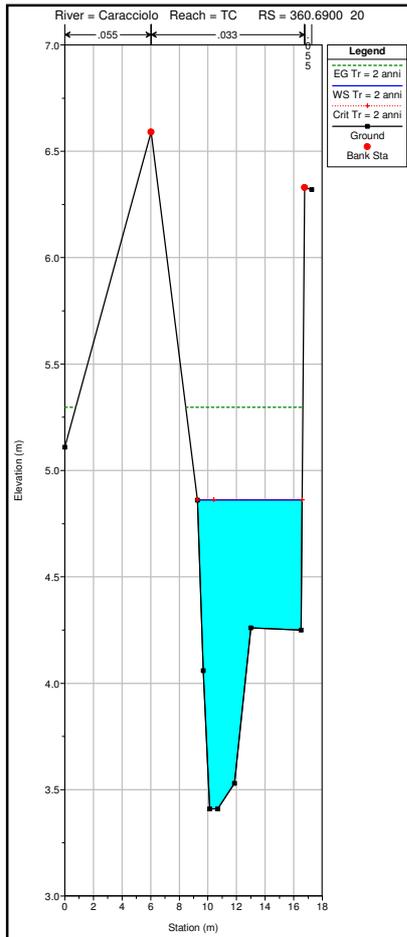


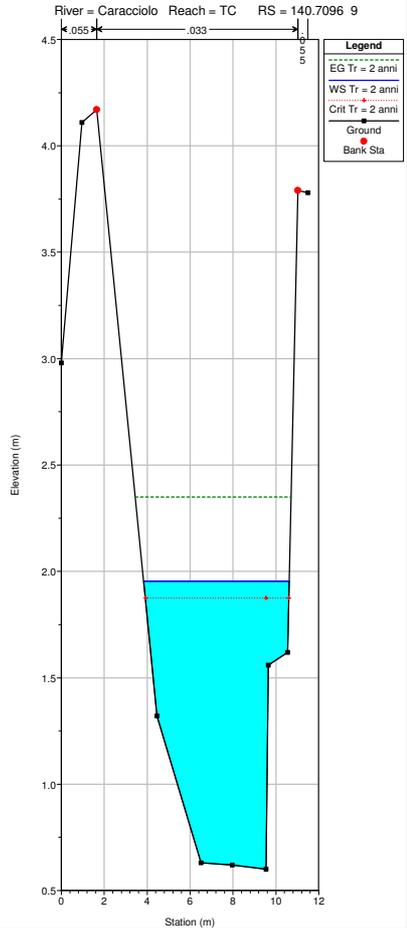
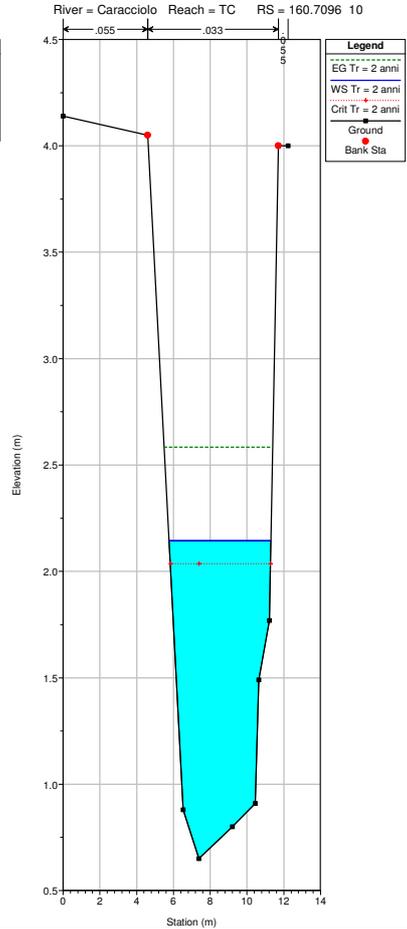
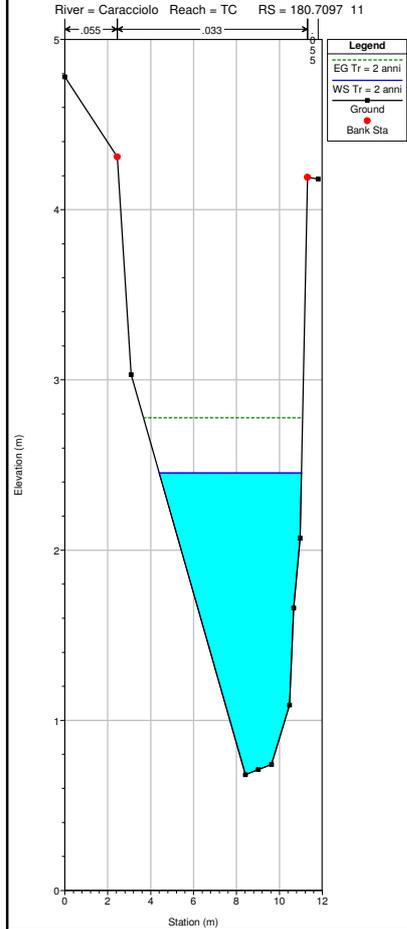
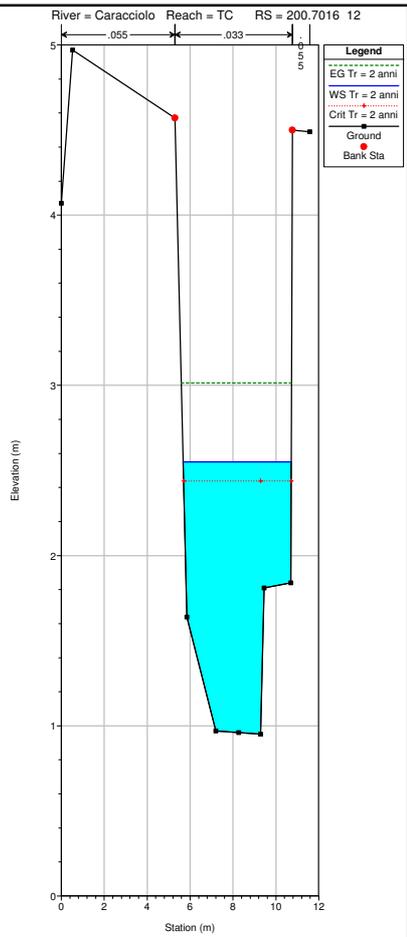
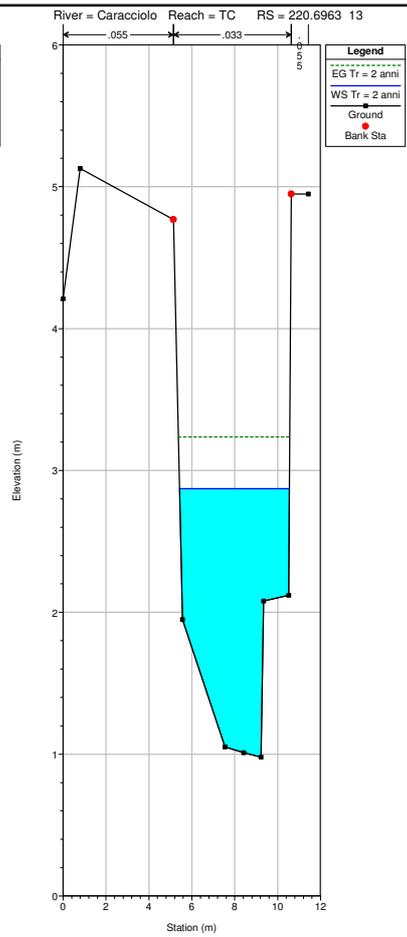
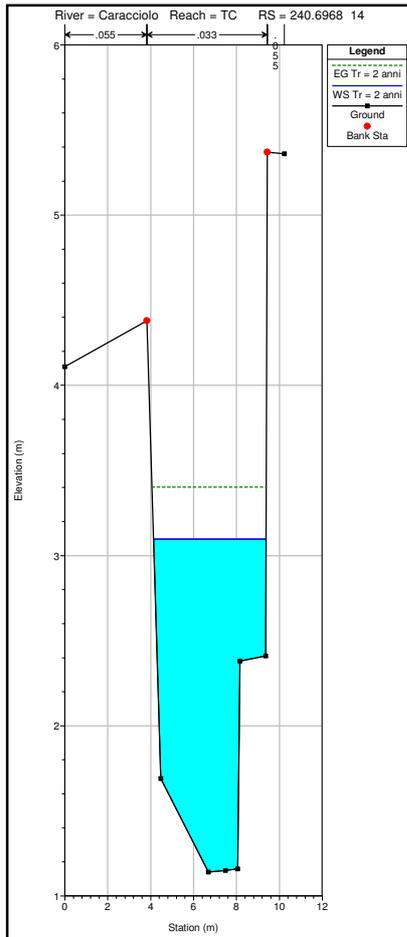


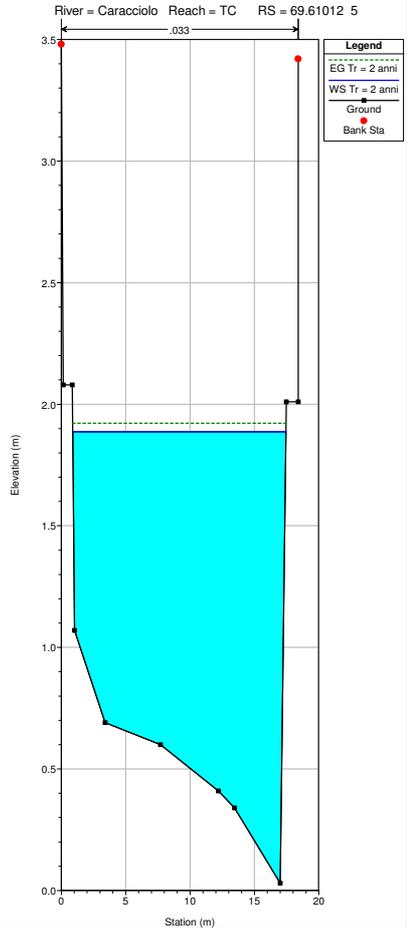
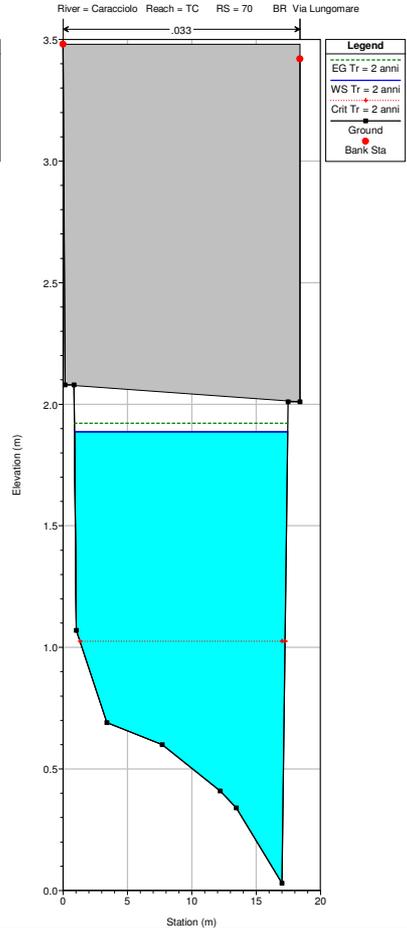
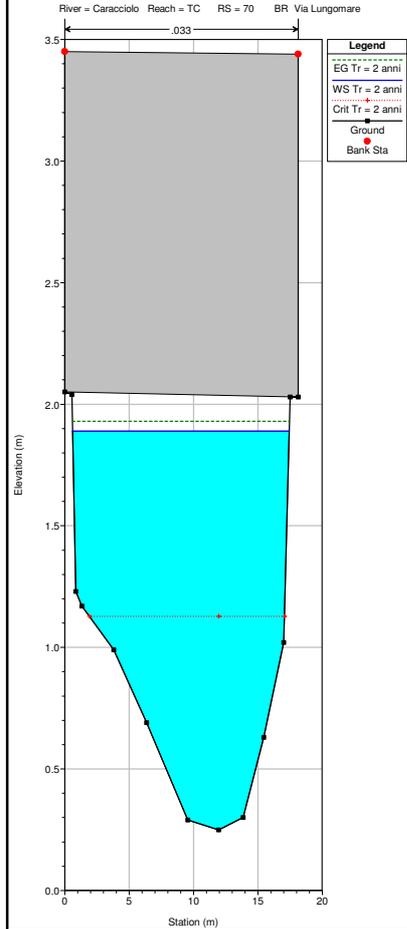
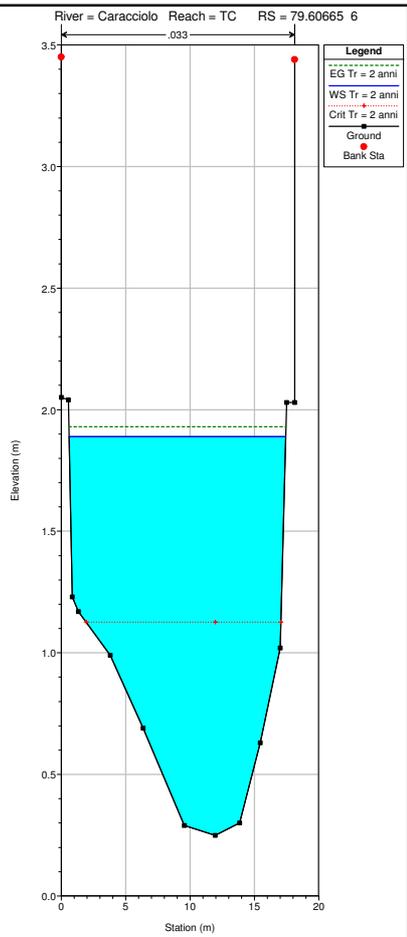
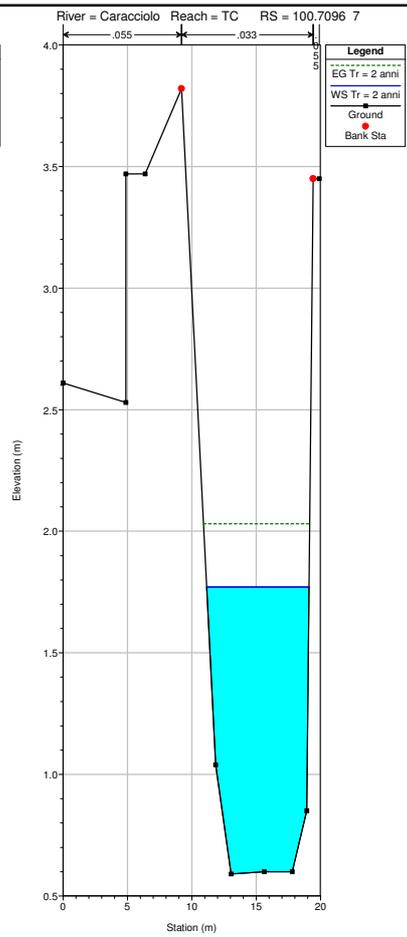
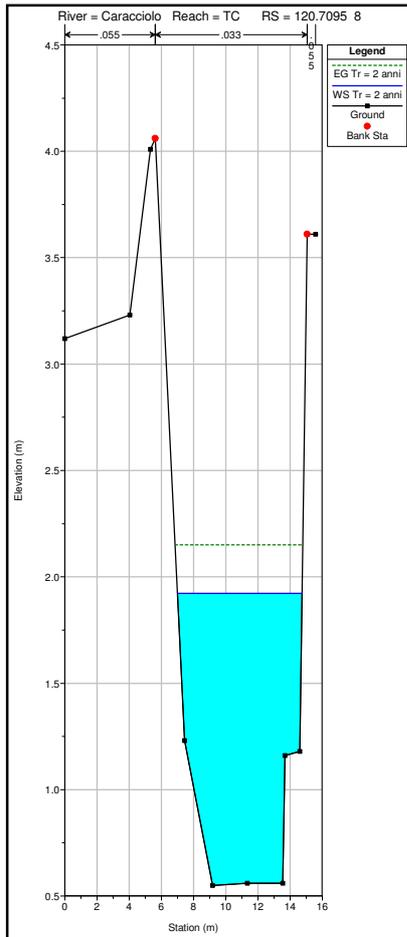


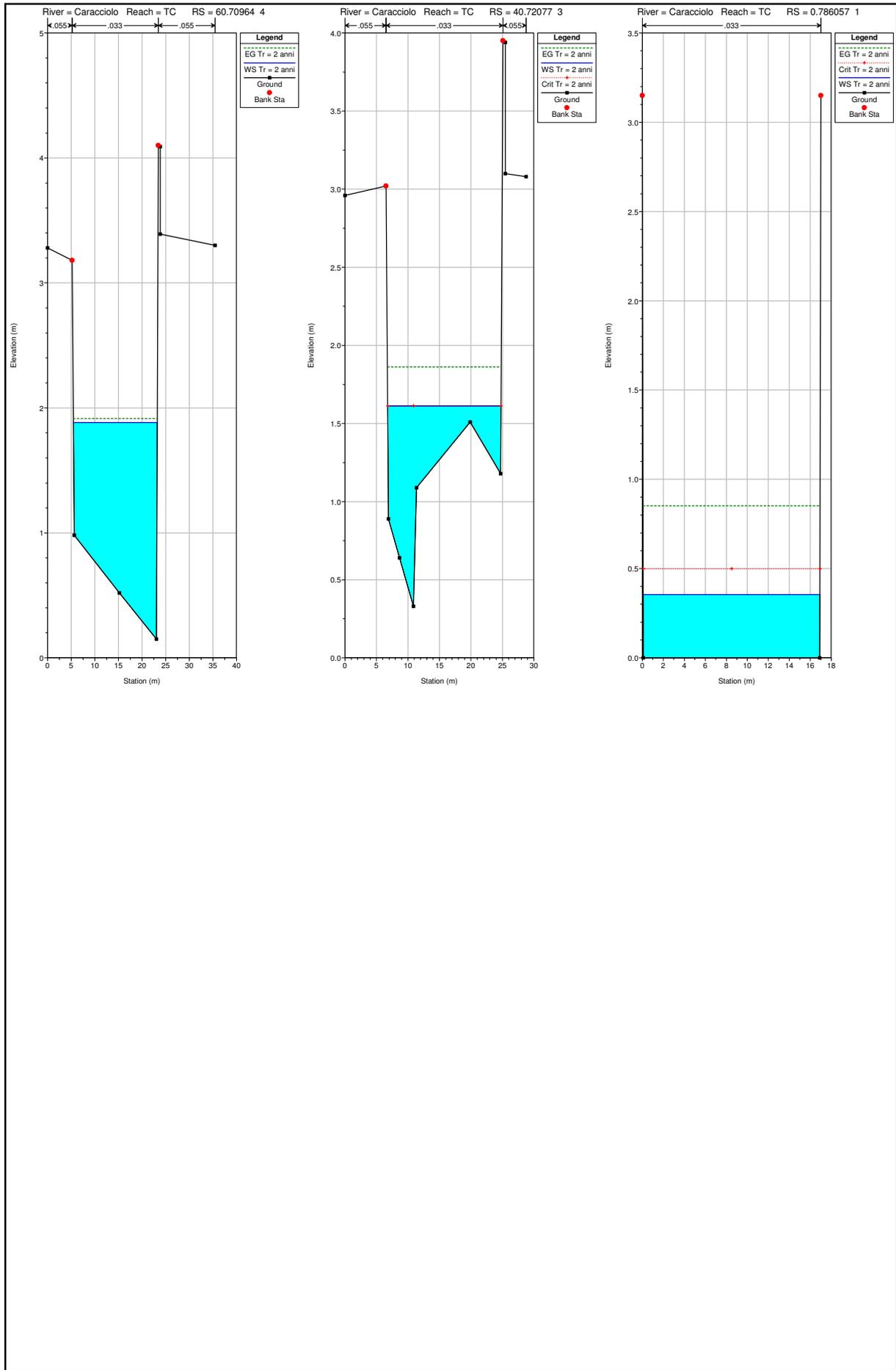




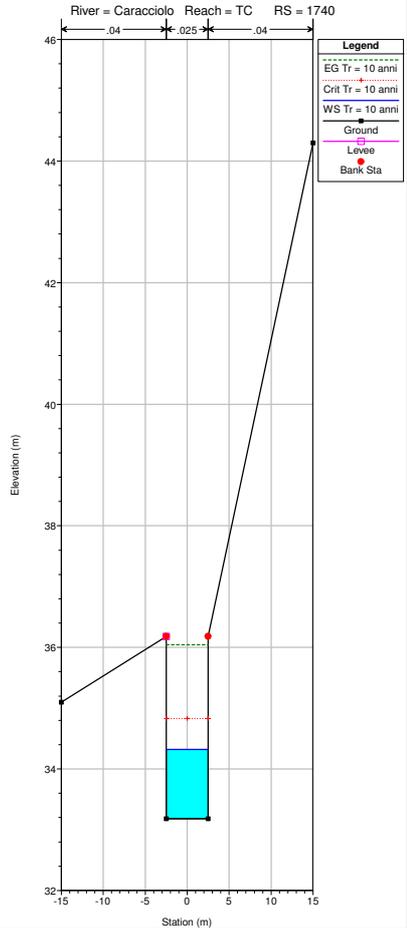
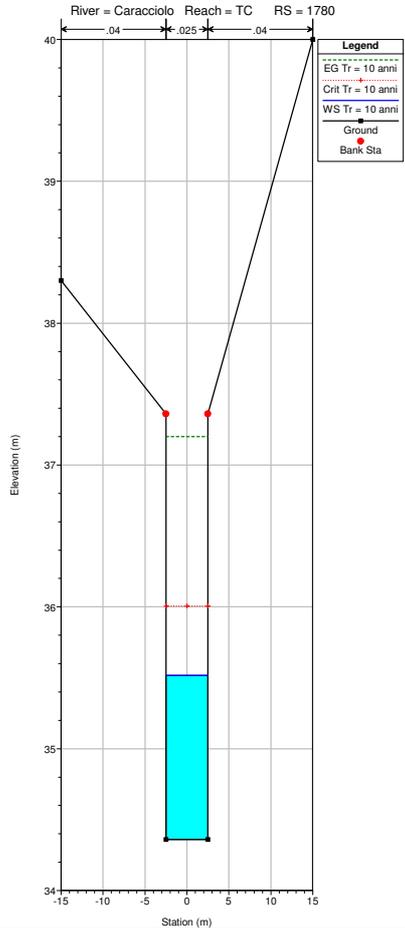
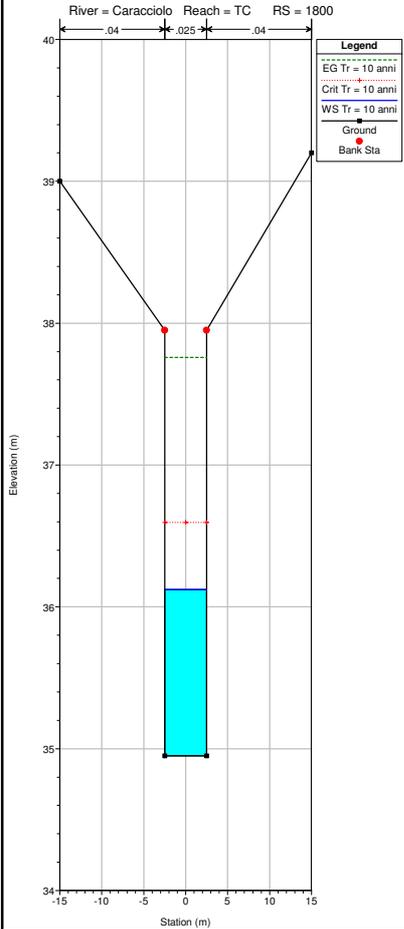
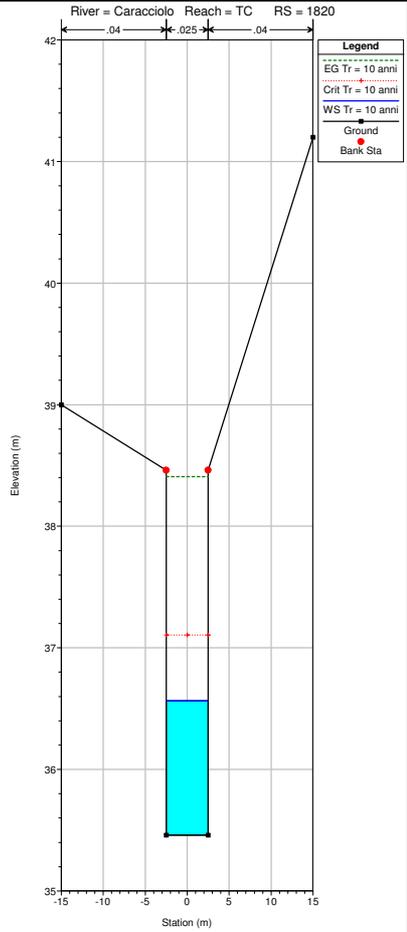
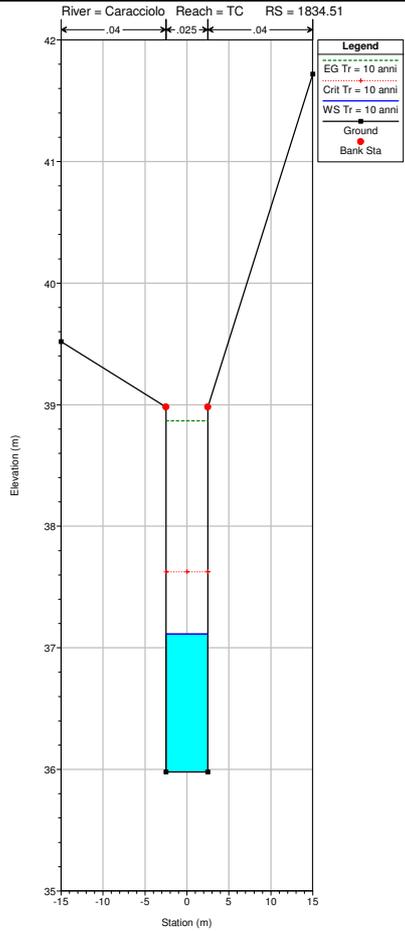


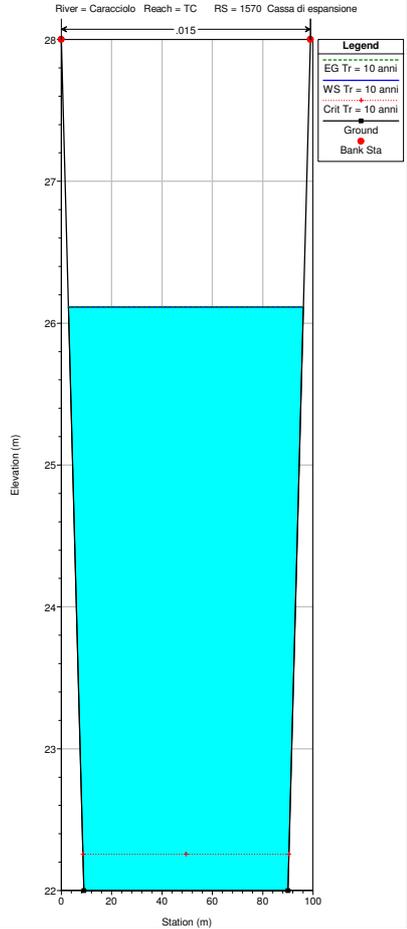
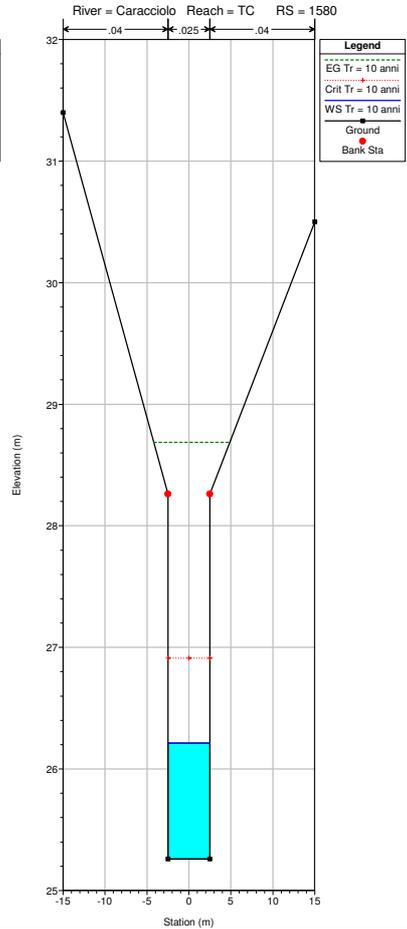
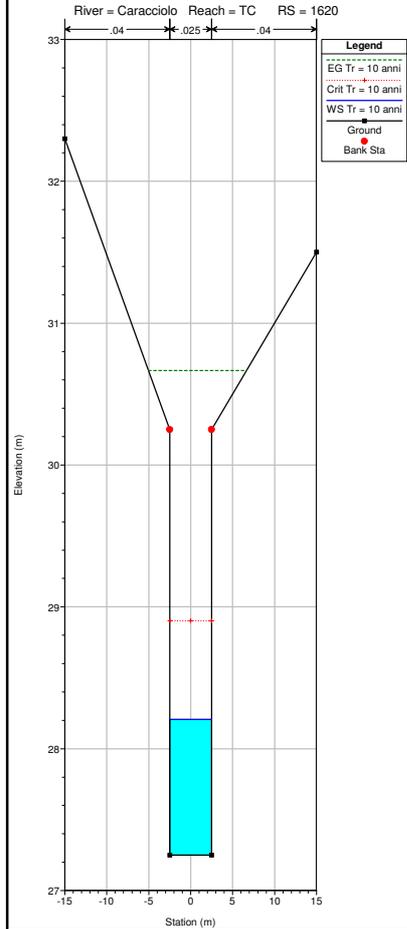
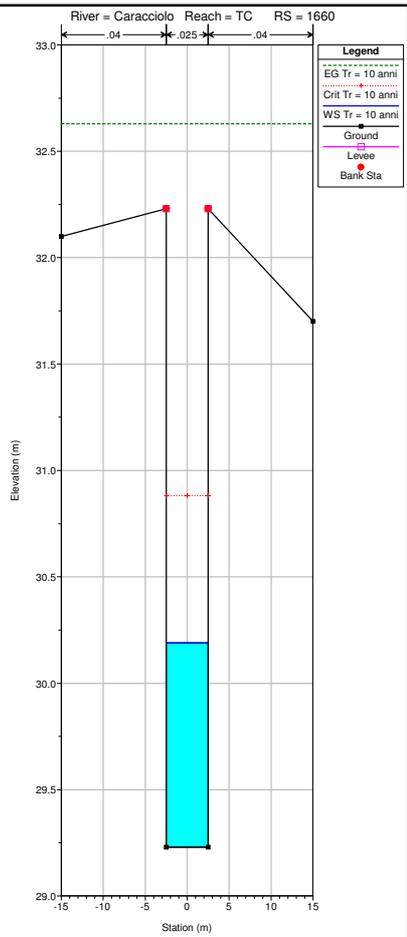
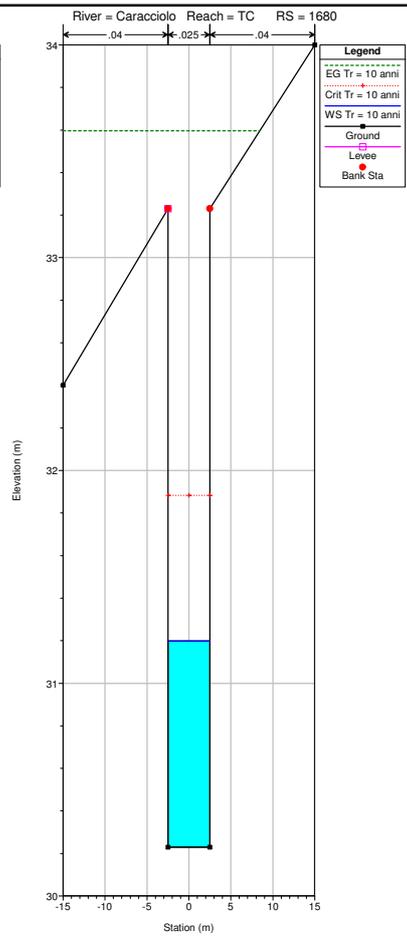
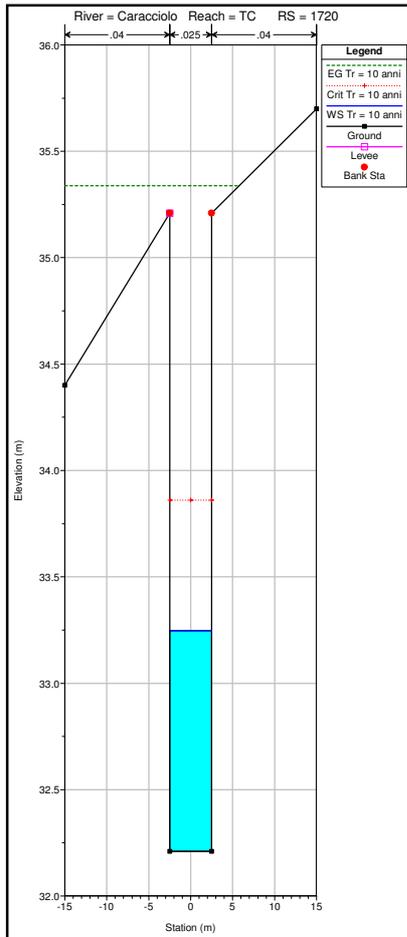


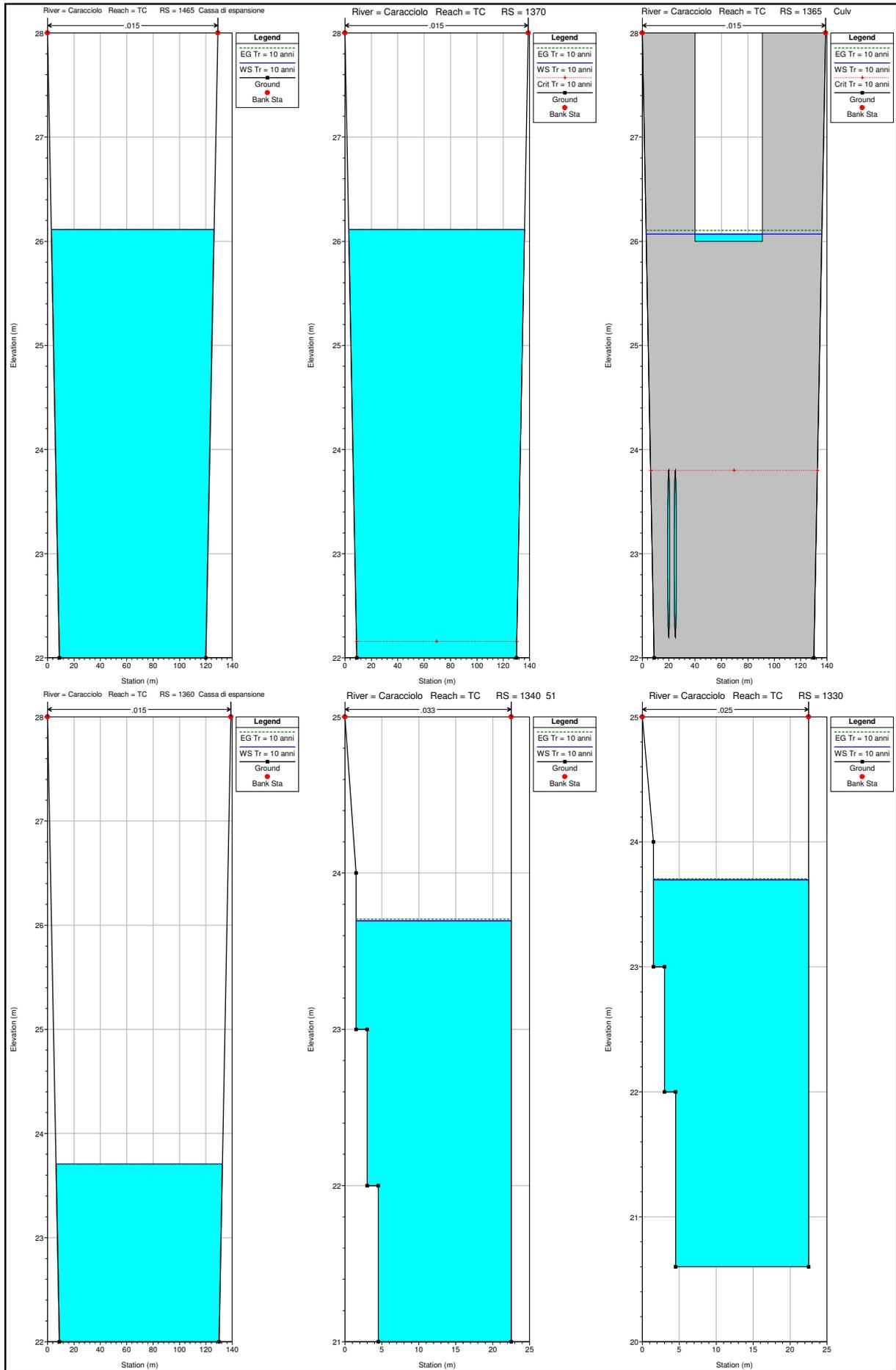


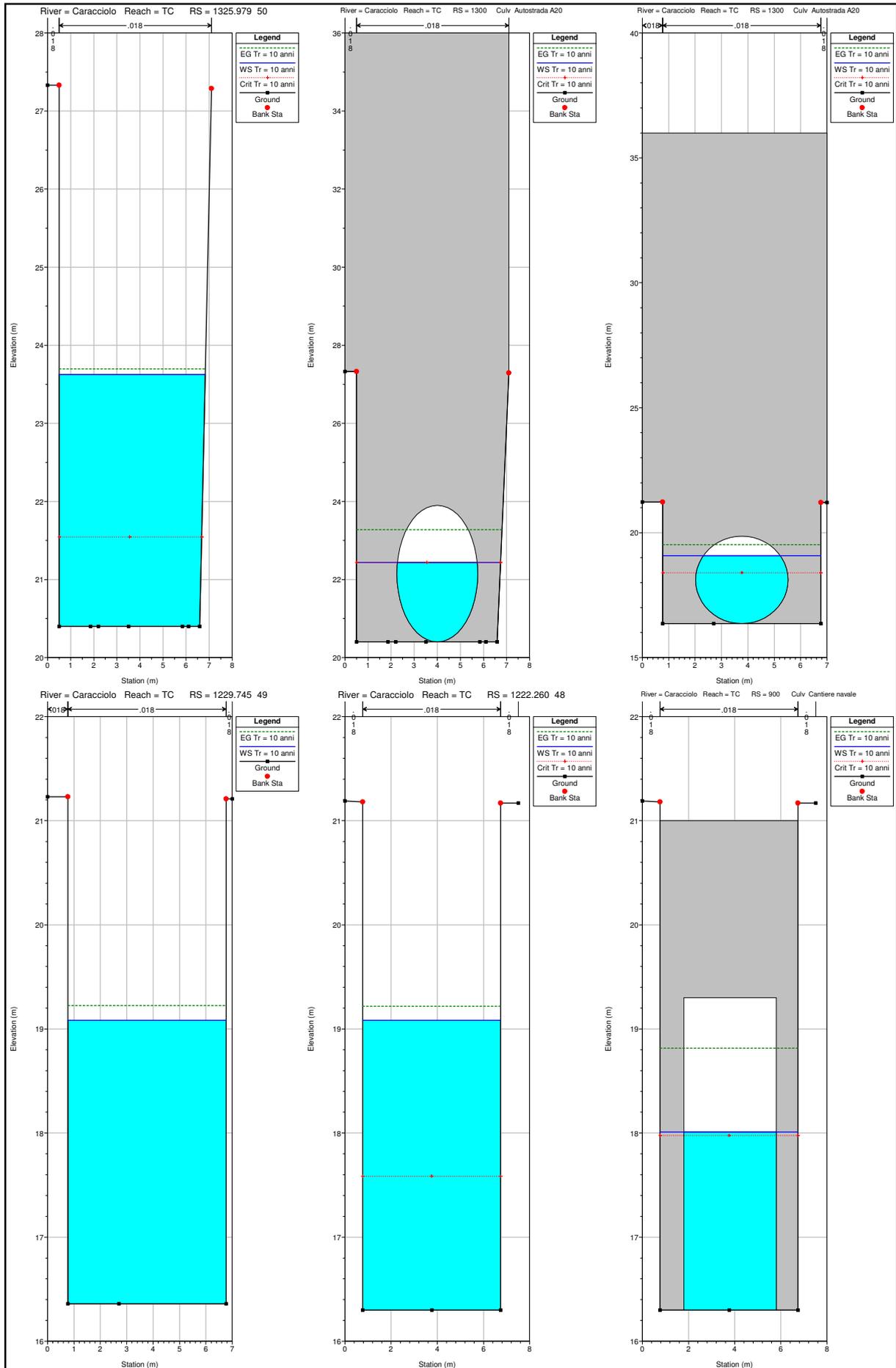


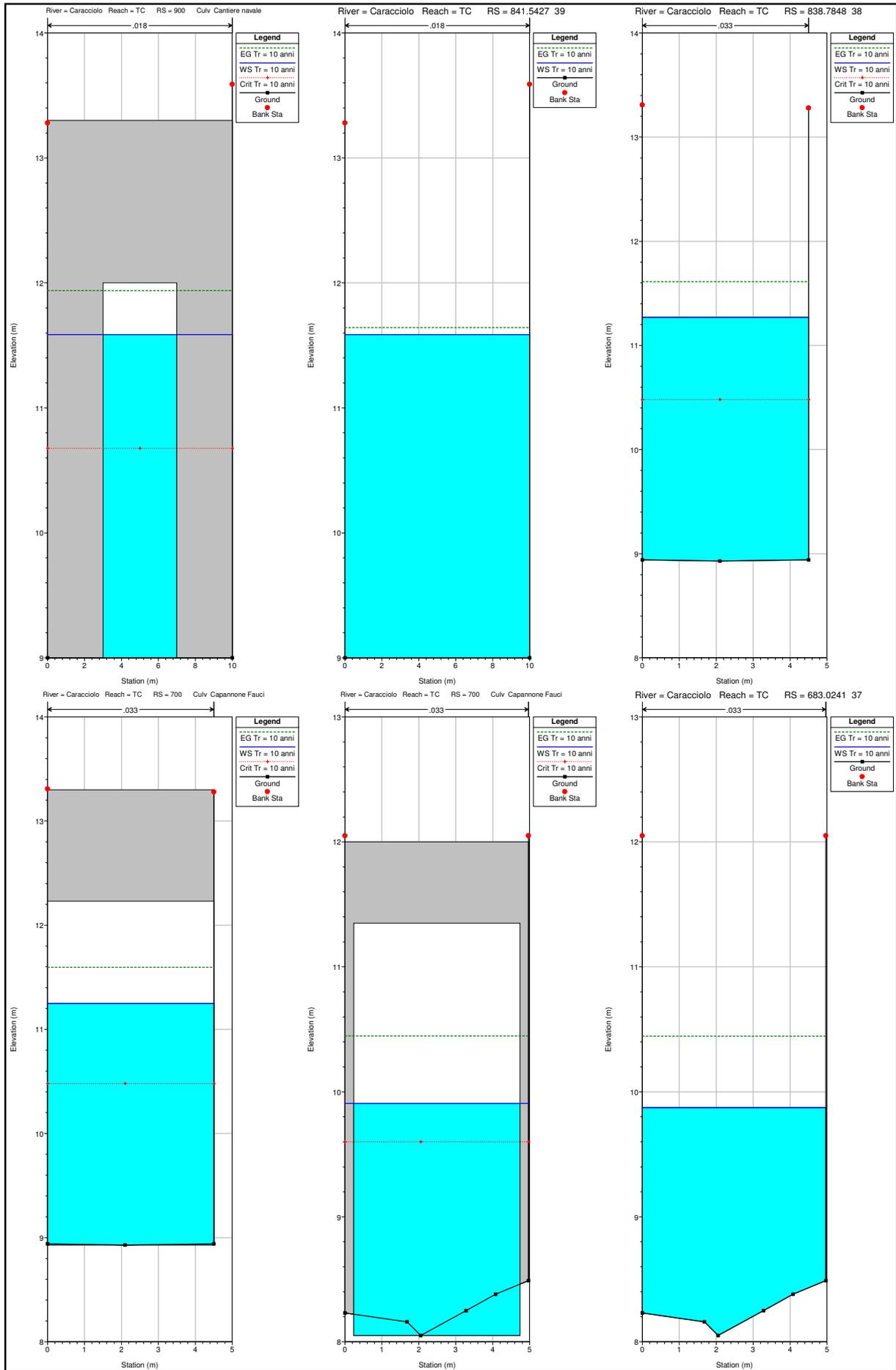
No Data for Plot

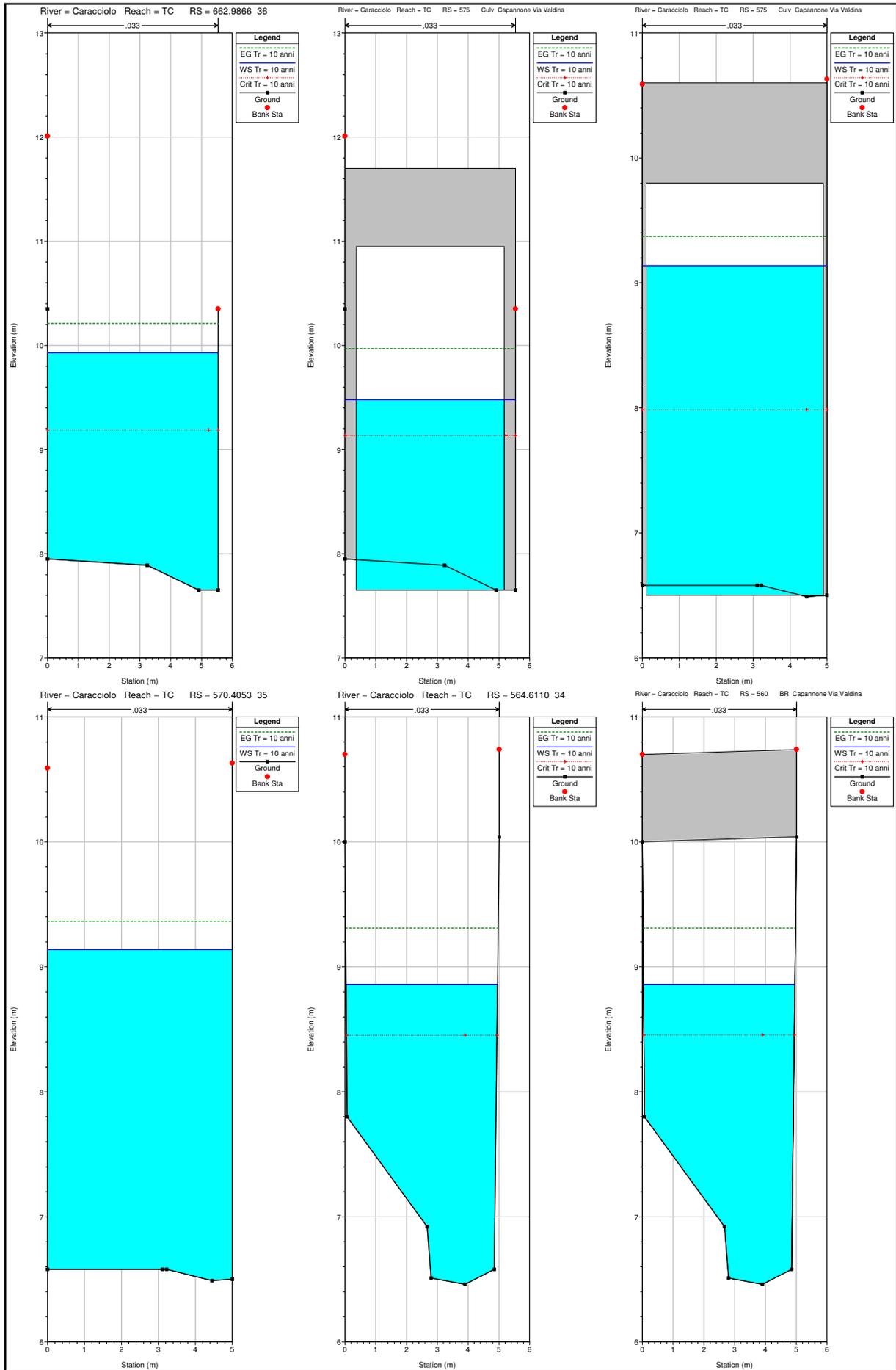


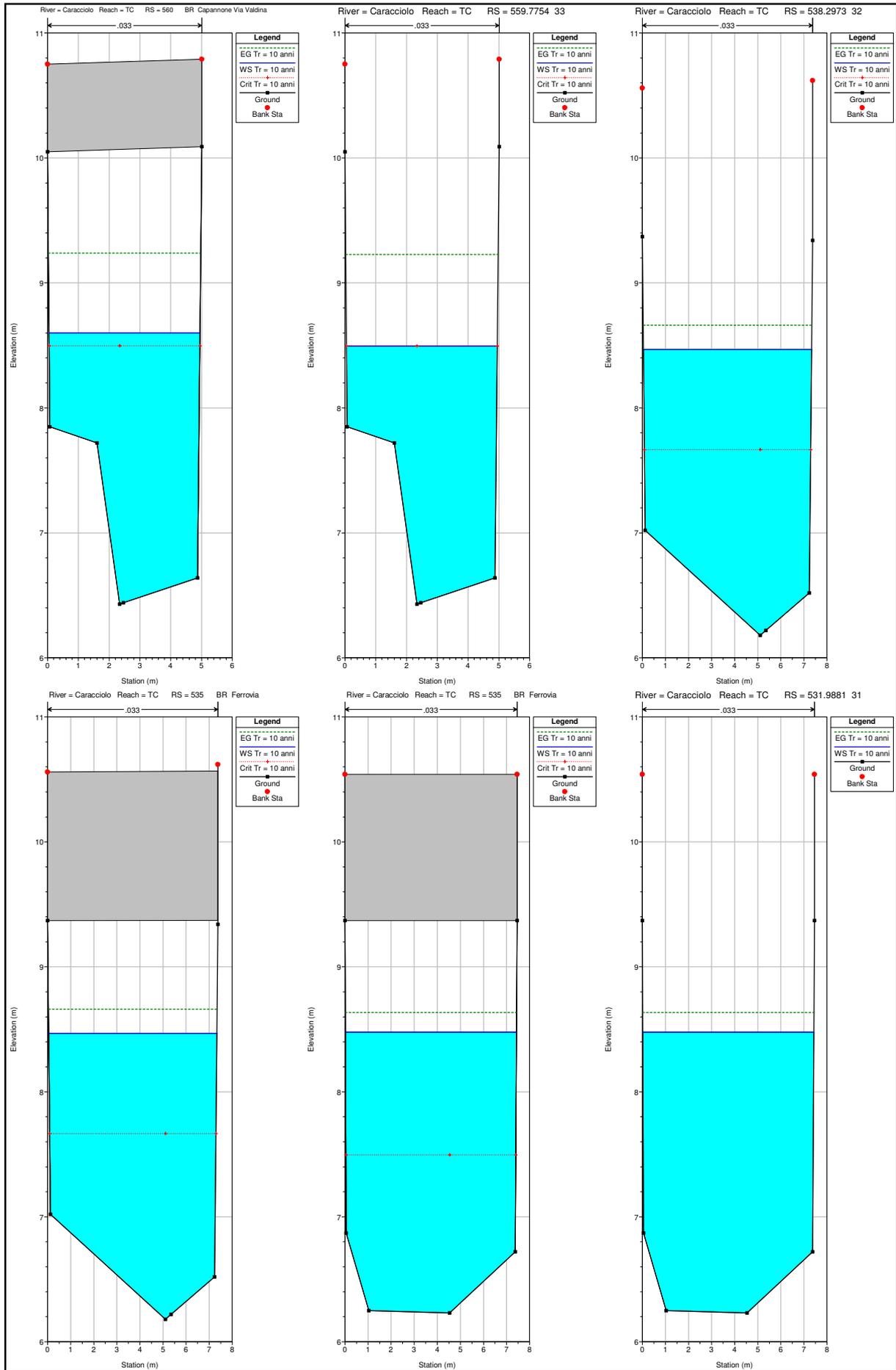


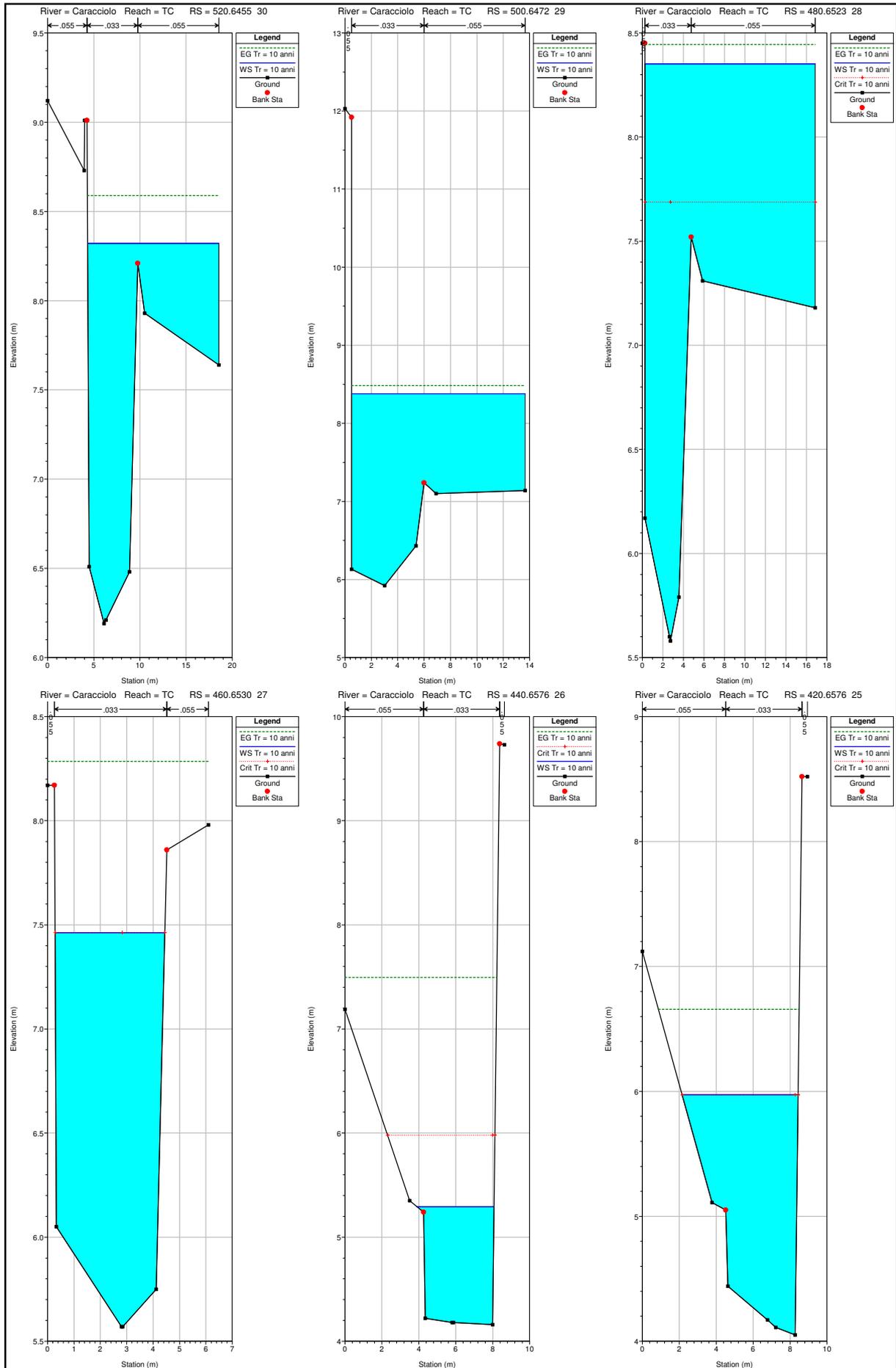


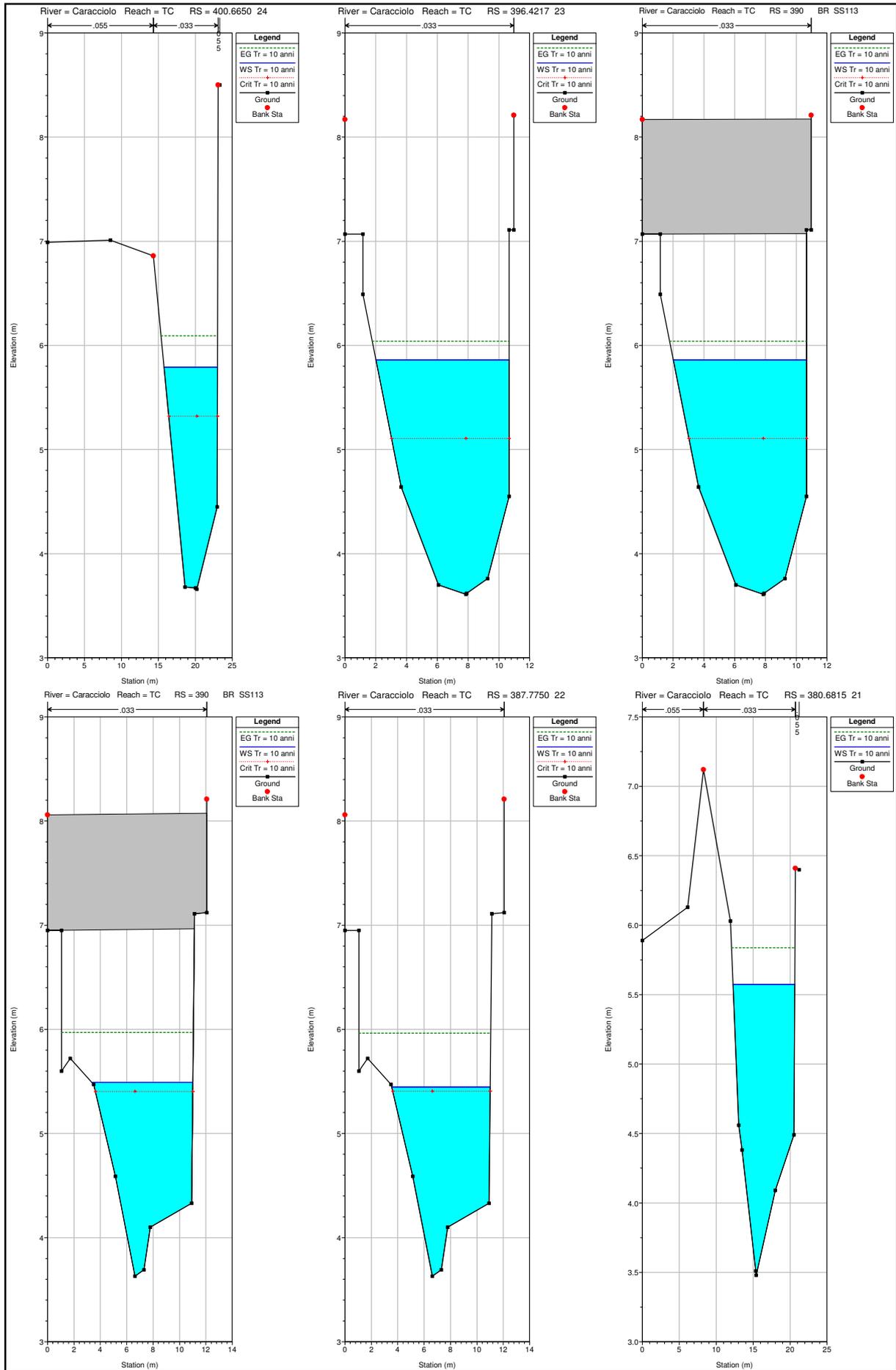


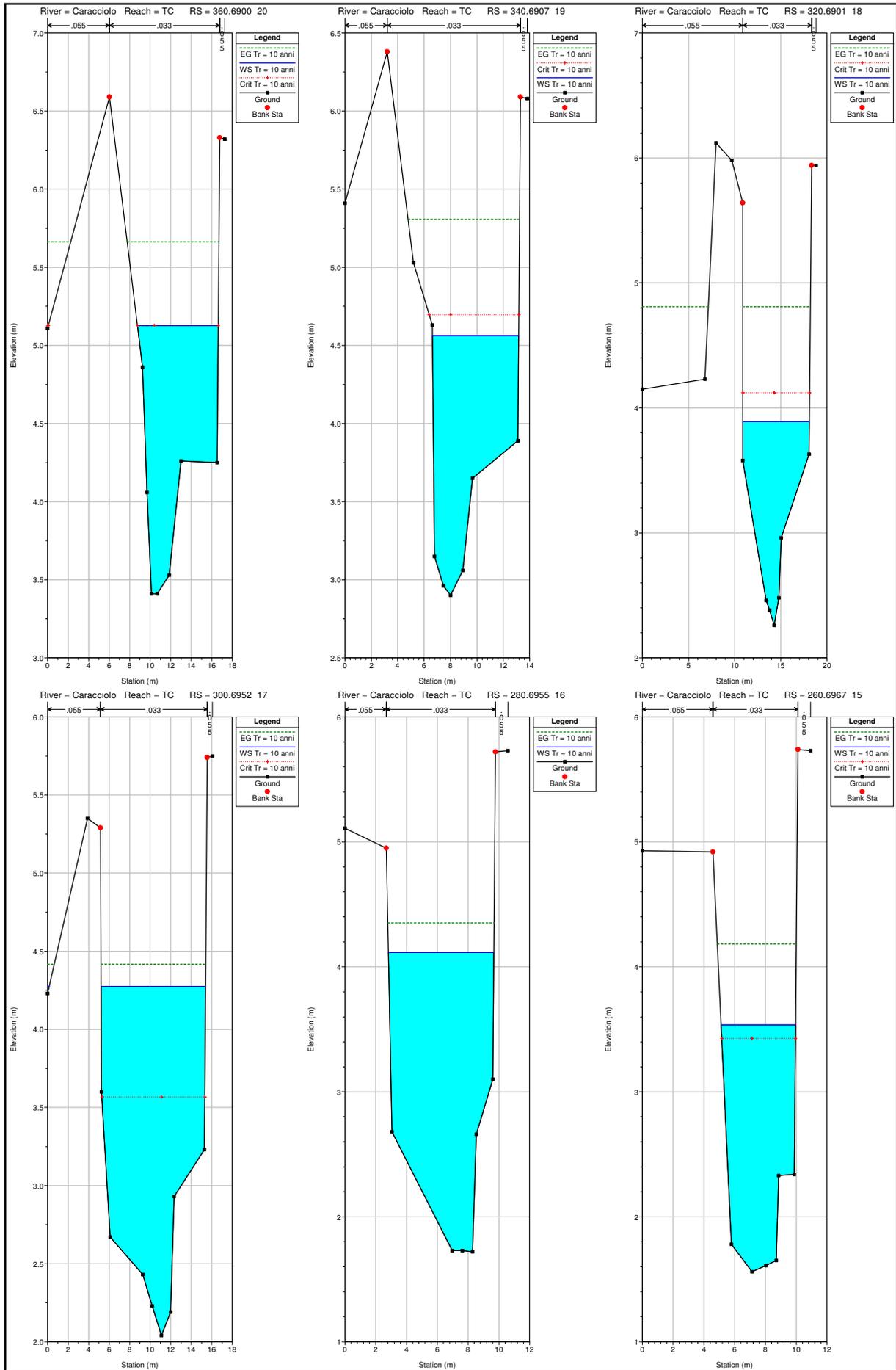


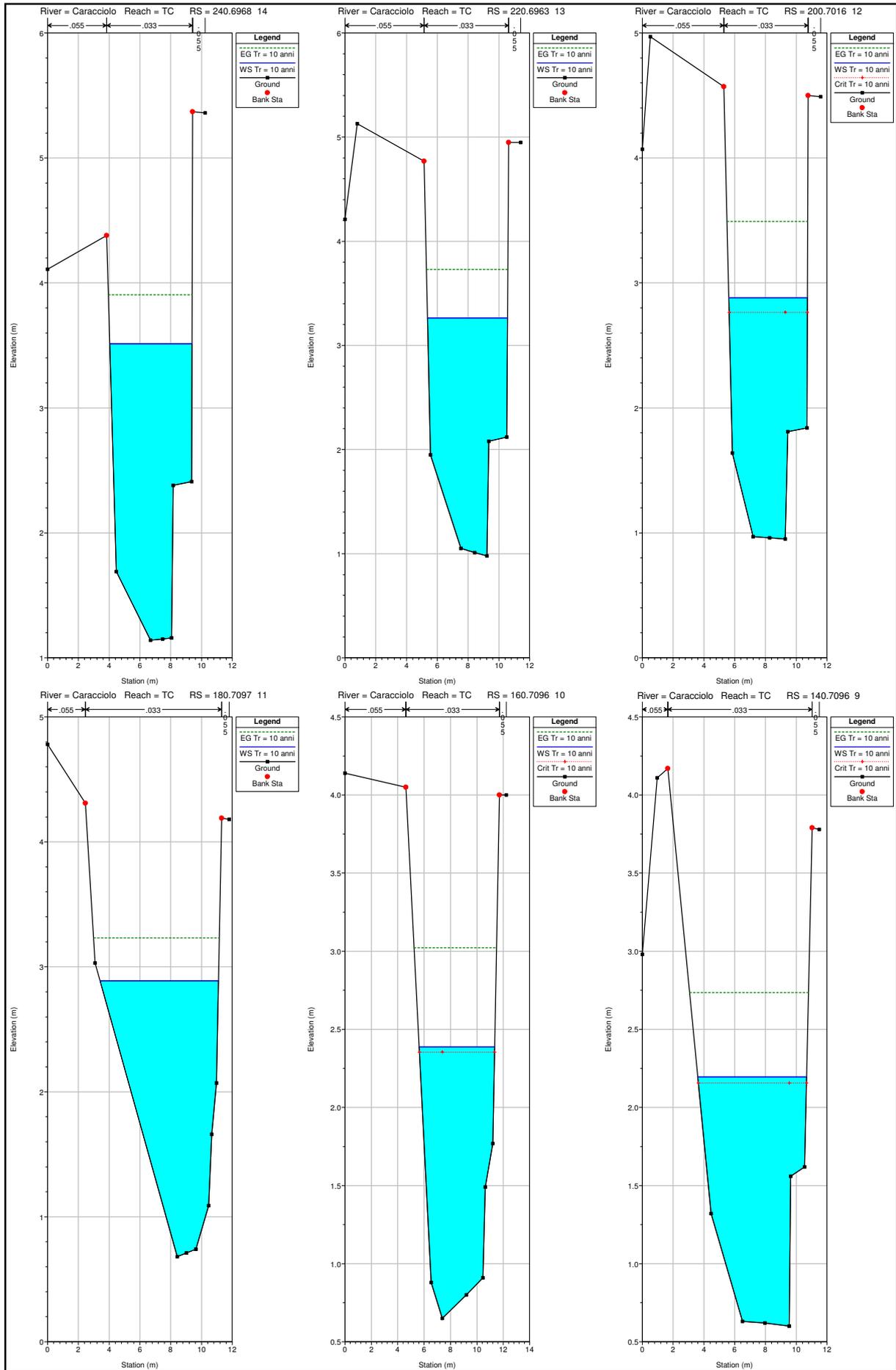


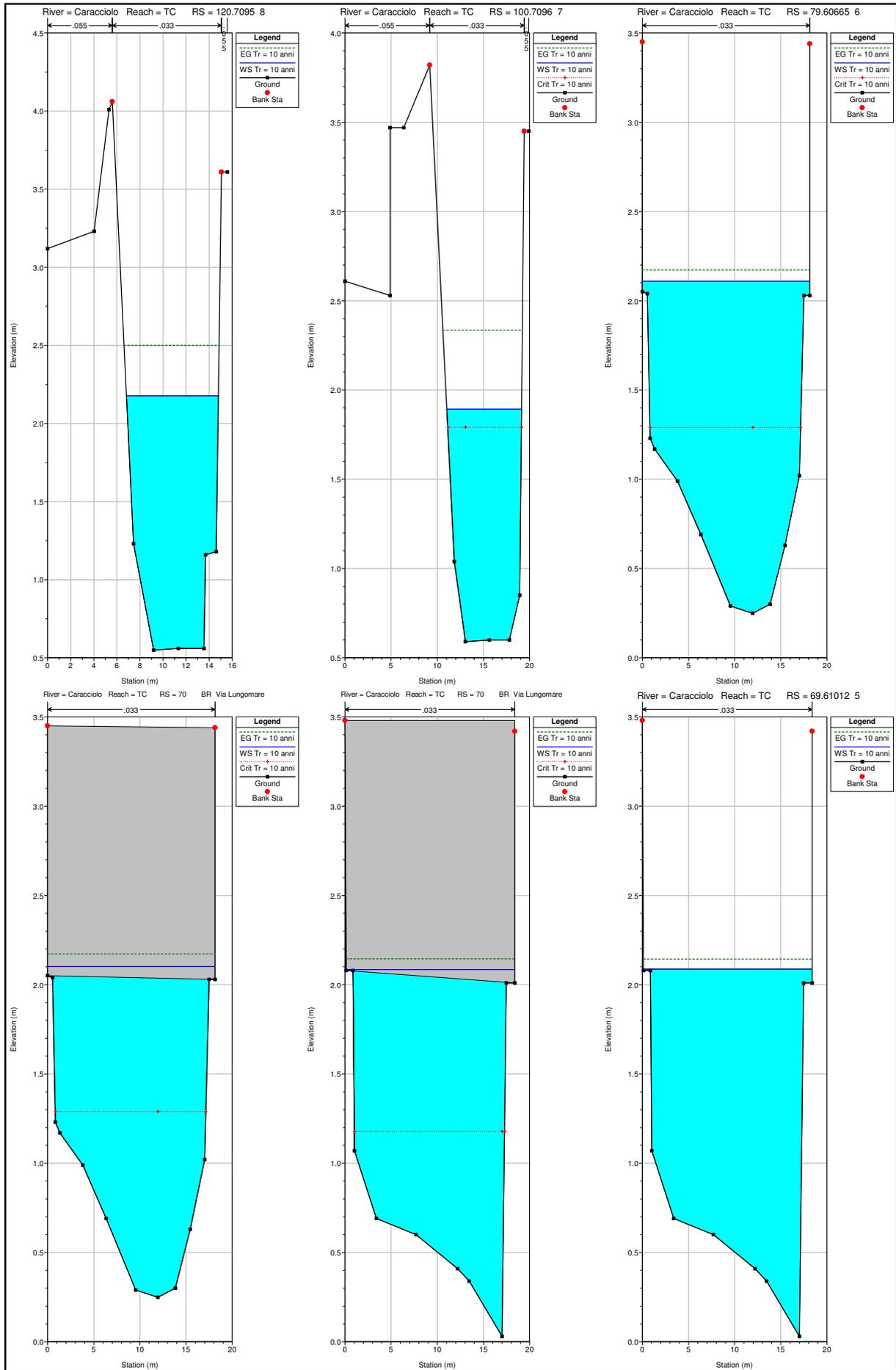


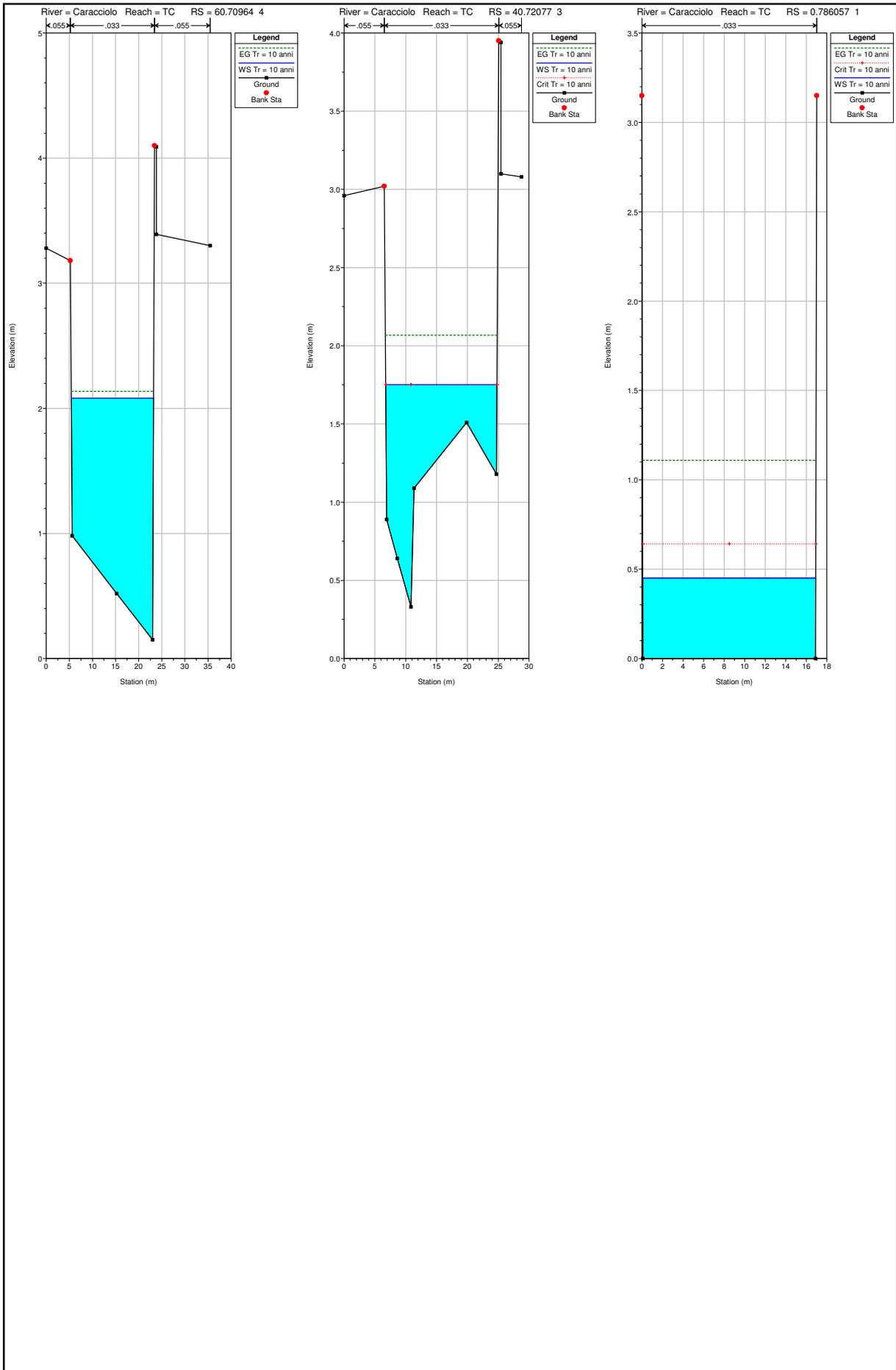












No Data for Plot

