

AUTOSTRADA (A1) : MILANO-NAPOLI

TRATTO: FIRENZE SUD - INCISA VALDARNO

STABILIZZAZIONE VERSANTE IN LOCALITA' FORNACE DI TROGHI
(AREA PISCINALE)

PROGETTO DEFINITIVO

AUTOSTRADA
IDRAULICA
Relazione idrologica e idraulica - Interferenze idrografiche

VERIFICA a cura di: IL PROGETTISTA SPECIALISTICO Ing. Paolo De Paoli Ord. Ingg. Pavia N. 1739 T.L. IDRAULICA	RIESAME a cura di: IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Enrica Bontempi Ord. Ingg. Roma n. 39356	VALIDAZIONE INTERNA a cura di: IL DIRETTORE TECNICO Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola Ord. Ingg. Milano n. A26796 T.A. STRADE
---	---	---

CODICE IDENTIFICATIVO										ORDINATORE	
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	-
T1157	0000	PD	AU	IDR	00000	00000	R	IDR	0001	00	SCALA -

	ENGINEERING COORDINATOR: Ing. Enrica Bontempi Ord. Ingg. Roma n. 39356	REVISIONE		
	SUPPORTO SPECIALISTICO:	n.	Descrizione	Data
		00	Prima emissione	LUGLIO 2024

RIF. ORIGINE										
CODIFICA ASPI	Codice Commessa	Fase	Origine	Disciplina	W B S	Tipo	Progressivo	Classe	Status	Rev.
	0G099-PD-TECN-IDR-00000-REL-000001							1	APD	00

VISTO DEL COMMITTENTE  IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Luca Giacomini	VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle infrastrutture e dei trasporti
---	---

Sommario

1	PREMESSA	2
2	CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROLOGICHE GENERALI	3
2.1	IDROGRAFIA	3
2.2	IDROLOGIA	3
2.2.1	<i>Analisi delle piogge</i>	4
2.2.2	<i>Dati pluviometrici</i>	4
2.2.3	<i>Determinazione delle curve di possibilità climatica</i>	4
2.2.4	<i>Metodologie per il calcolo delle portate di progetto</i>	6
2.2.5	<i>Descrizione del programma "ALTO"</i>	6
2.2.6	<i>Curve di inviluppo regionali delle portate di piena</i>	8
2.3	PORTATE DI PIENA	9
3	CARATTERIZZAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DEL TERRITORIO SULLA BASE DEI VINCOLI DI TIPO IDRAULICO	11
3.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO	11
3.2	CORSI D'ACQUA CLASSIFICATI AI SENSI DELLA DELIBERA C.R.T. N. 12/2000	11
3.3	RIDUZIONE DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE	12
3.4	PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI	13
3.5	CARTA GUIDA DELLE AREE ALLAGATE REDATTA SULLA BASE DEGLI EVENTI ALLUVIONALI SIGNIFICATIVI (1966-1999)	14
4	VERIFICA IDRAULICA DELLE INTERFERENZE CON I CORSI D'ACQUA	15
4.1	PORTATE DI PROGETTO E METODOLOGIA IDRAULICA	15
4.2	DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI	15
4.2.1	<i>Metodo delle tensioni di trascinamento</i>	16
4.3	ANALISI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE	17

1 Premessa

La presente relazione idrologica ed idraulica si inquadra nell'ambito delle lavorazioni per l'ampliamento alla terza corsia dell'autostrada A1 Firenze Sud - incisa, lotto 2B, nel tratto collinare posto più a Sud della nuova galleria San Donato, in località Fornace di Troghi (area Piscinale), nel comune di Rignano sull'Arno (FI). Gli esatti confini delle aree oggetto d'intervento sono altresì riportati nelle planimetrie di progetto.

Lo studio si inquadra nell'ambito della Perizia di Variante che interessa le opere di sostegno del versante poste a margine della zona di ampliamento autostradale.

La perizia si è resa necessaria a seguito degli spostamenti osservati sul versante posto a monte di un'opera di controripa in corso di realizzazione, tali per cui, a valle delle osservazioni e analisi effettuate, si renderebbe necessario un significativo rinforzo dell'opera di sostegno.

La progettazione è stata indirizzata verso una soluzione che prevede la realizzazione di una galleria artificiale eseguita con il metodo "Milano".

Nel seguito sono richiamati i criteri di calcolo e i principali dati assunti alla base della progettazione.

Il progetto sotto gli aspetti idrografici, idrologici ed idraulici è stato articolato secondo i seguenti argomenti principali:

- analisi del sistema fisico territoriale mediante la caratterizzazione dei bacini, del regime delle precipitazioni e dei deflussi, in termini statistico probabilistici;
- caratterizzazione della vulnerabilità del territorio con riferimento ai vincoli di tipo idraulico, censiti e catalogati dagli Enti preposti (Regione, Provincia, Autorità di bacino del fiume Arno, Consorzi di bonifica);
- individuazione delle interferenze idrografiche e verifica idraulica degli attraversamenti autostradali;
- progettazione degli interventi da attuarsi.

Per l'esame del regime delle precipitazioni e dei deflussi, l'ambito territoriale di riferimento si estende all'intero bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura (fiume, torrente, fosso, canale) in corrispondenza dell'attraversamento autostradale.

2 Caratteristiche idrografiche ed idrologiche generali

Lo studio idrologico è stato condotto sia a livello tipologico (idrografia), descrivendo le caratteristiche morfologiche dei bacini e dei corsi d'acqua, che attraverso l'analisi delle precipitazioni e dei deflussi (idrologia).

2.1 Idrografia

Il reticolo idrografico facente capo all'area oggetto di studio è stato caratterizzato attraverso le due tipologie fondamentali di drenaggio: dendritico e parallelo.

La tipologia di drenaggio definisce lo sviluppo della rete a livello strutturale. I due tipi principali sono stati scelti in base alla bibliografia esistente.

Il tipo dendritico, di forma arborescente sviluppantesi uniformemente in ogni direzione, con un canale principale che si suddivide in rami via via meno importanti procedendo verso monte, è molto comune e per lo più associato ad aree a litologia uniforme. Esso è formato da un elevato numero di piccoli corsi d'acqua che si uniscono l'un l'altro, generalmente con angolo acuto, andando a formare il corso d'acqua principale.

Il tipo parallelo caratterizza aree a strati geologici uniformemente inclinati. Tale forma è spesso tipica di situazioni embrionali di drenaggio in cui il fattore tempo non ha ancora permesso lo sviluppo di reti più complesse. Tale forma è però anche caratteristica da reti fortemente antropizzate.

I reticoli idrografici possono presentare caratteristiche che si collocano tra quelle precedentemente descritte le quali rappresentano le estreme tipologie generate da identici fattori genetici, in situazioni geologiche ordinarie. In questi casi vengono denominati sub dendritici e sub paralleli.

2.2 Idrologia

La verifica idrologica è stata realizzata per individuare:

- gli eventi meteorici critici per i bacini idrografici interessati;
- le portate di piena aventi determinata ricorrenza statistica.

Vengono ad essere interessati solo corsi d'acqua naturali.

Le interferenze idrauliche presentano inoltre una casistica estremamente articolata in termini di dimensione dei bacini idrografici di volta in volta interessati.

Nella seguente sintesi della trattazione idrologica vengono esaminate le specifiche problematiche relative alle condizioni climatiche incontrate.

Per la definizione delle principali caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua e dei bacini idrografici sottesi (area, lunghezza dell'asta principale, quota di riferimento, ecc..) è stata utilizzata la cartografia 1:10.000. Per i corsi d'acqua di dimensioni modeste, si è invece utilizzata una cartografia di maggior dettaglio.

La numerazione di ciascun attraversamento riportata nella presente trattazione è riferita a tali elaborati.

2.2.1 Analisi delle piogge

Di seguito viene descritta l'analisi delle piogge che viene riportata solamente per completezza, in quanto, come si vedrà nei paragrafi successivi, non viene utilizzata per il calcolo delle portate dei bacini intersecanti l'autostrada. Infatti, si è preferito utilizzare due metodologie di regionalizzazione, ALTO e Curve Inviluppo, messe a punto rispettivamente dalla Regione Toscana e dal SIMI di Pisa. Queste metodologie forniscono risultati più attendibili per i bacini maggiori, le cui portate sono state calcolate con ALTO, mentre per i bacini più piccoli si ottengono dei valori di portata cautelativi rispetto a quelli che si avrebbero calcolandoli a partire dalle piogge.

I dati utilizzati per l'analisi delle precipitazioni sono stati estratti dagli annuali idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI) aggiornati con i dati non pubblicati relativi al periodo dal 1986 al 1993, reperiti presso gli uffici del medesimo Ente.

2.2.2 Dati pluviometrici

L'analisi idrologica è stata effettuata definendo il regime delle piogge di breve durata e notevole intensità, considerando durate inferiori all'ora e comprese tra 1 e 24 ore.

L'acquisizione dei dati pluviometrici si è limitata quindi a considerare le stazioni dotate di pluviometro registratore che permettono di individuare le precipitazioni di massima intensità e breve durata (Annali Idrologici, Parte I, Tabelle III e V).

Sono state analizzate le stazioni pluviografiche gestite dal Servizio Idrografico e Mareografico - Sezione di Pisa - dotate di strumento registratore, ricadenti nell'area in esame o ad essa adiacenti.

Nella tabella 2.1 si riportano le caratteristiche delle tre stazioni pluviografiche di interesse.

La serie storica esaminata comprende 44 anni, dal 1951 al 1993. La mancanza di registrazioni relative a durate inferiori all'ora, per gli anni precedenti al 1951, non ha reso possibile un'ulteriore estensione della serie.

Tabella 2.1: Stazioni pluviografiche considerate

Num. stazione	Stazione	Comune	Lat.	Long.	Quota (m slm)	Bacino
2764	Firenze (Idrografico)	Firenze	43°47'	1°12'	51	Arno
2766	Firenze (Ximeniano)	Firenze	43°47'	1°12'	51	Arno
2771	Antella	Bagno a Ripoli	43°44'	1°07'	170	Ema

2.2.3 Determinazione delle curve di possibilità climatica

Le elaborazioni condotte sui dati raccolti sono state finalizzate all'individuazione, per ogni stazione, della curva di possibilità climatica o pluviometrica, esprimibile con la relazione:

$$h(t) = a \cdot t^n$$

in cui l'altezza di pioggia (in mm) è legata alla durata (in ore) tramite i parametri a e n, ricavati dalla serie di dati mediante elaborazione statistica.

Nello studio idrologico è stata utilizzata la distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel per le altezze di pioggia.

Questa elaborazione è stata applicata a tutte le stazioni analizzate, con riferimento ai tempi di ritorno di 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anni.

A ciascuna stazione pluviografica e per ciascun tempo di ritorno risulta pertanto associata una curva di possibilità climatica per eventi di pioggia di durata da 0 a 24 ore.

Nella tabella 2.2 si riportano, per ogni stazioni, i parametri delle curve di possibilità pluviometrica.

Tabella 2.2: Curve di possibilità pluviometrica

Stazione	Tr = 10 anni	Tr = 25 anni	Tr = 50 anni	Tr = 100 anni	Tr = 200 anni	Tr = 500 anni
Antella						
t < 1 h	$h = 39.49 \cdot t^{0.48}$	$h = 46.20 \cdot t^{0.50}$	$h = 51.18 \cdot t^{0.52}$	$h = 56.11 \cdot t^{0.53}$	$h = 61.04 \cdot t^{0.54}$	$h = 67.52 \cdot t^{0.55}$
t > 1 h	$h = 39.49 \cdot t^{0.30}$	$h = 46.20 \cdot t^{0.31}$	$h = 51.18 \cdot t^{0.31}$	$h = 56.11 \cdot t^{0.31}$	$h = 61.04 \cdot t^{0.31}$	$h = 67.52 \cdot t^{0.31}$
Firenze Ximeniano						
t < 1 h	$h = 43.69 \cdot t^{0.48}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.51}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.52}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.53}$	$h = 71.022 \cdot t^{0.54}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.55}$
t > 1 h	$h = 43.69 \cdot t^{0.23}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.23}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.23}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.23}$	$h = 71.022 \cdot t^{0.23}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.23}$
Firenze Idrografico						
t < 1 h	$h = 30.55 \cdot t^{0.39}$	$h = 34.90 \cdot t^{0.42}$	$h = 38.14 \cdot t^{0.44}$	$h = 41.36 \cdot t^{0.46}$	$h = 44.574 \cdot t^{0.47}$	$h = 48.82 \cdot t^{0.49}$
t > 1 h	$h = 30.55 \cdot t^{0.33}$	$h = 34.90 \cdot t^{0.35}$	$h = 38.14 \cdot t^{0.36}$	$h = 41.36 \cdot t^{0.37}$	$h = 44.574 \cdot t^{0.37}$	$h = 48.82 \cdot t^{0.38}$

Il regime di precipitazione piovosa è stato descritto anche in riferimento alla Carta dei Tipi Climatici redatta dalla Regione Toscana. In particolare l'area in esame evidenzia la presenza di due tipi climatici: B3-B2 (umido) e B1 (umido) (Tabella 2.3).

Dall'incrocio delle informazioni dedotte dalla Carta dei Tipi Climatici e da quelle idrologiche classiche, tramite il reticolo di Thiessen si sono individuate due zone omogenee, ciascuna caratterizzata da un'unica curva di possibilità climatica (Tabella 2.4), scelta come la più cautelativa tra quelle calcolate.

Tabella 2.3: Zone climatiche

Zona	Tipo climatico	Stazione
Piana di Firenze	B1 (umido)	Firenze (Ximeniano)
Colline a sud di Firenze	C2 (subumido)	Antella

Tabella 2.4: Curve di possibilità climatica di progetto

Stazione	Tr = 10 anni	Tr = 25 anni	Tr = 50 anni	Tr = 100 anni	Tr = 200 anni	Tr = 500 anni
Firenze Ximeniano						
t < 1 h	$h = 43.69 \cdot t^{0.48}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.51}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.52}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.53}$	$h = 71.022 \cdot t^{0.54}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.55}$
t > 1 h	$h = 43.69 \cdot t^{0.23}$	$h = 52.20 \cdot t^{0.23}$	$h = 58.51 \cdot t^{0.23}$	$h = 64.78 \cdot t^{0.23}$	$h = 71.022 \cdot t^{0.23}$	$h = 79.26 \cdot t^{0.23}$
Antella						
t < 1 h	$h = 39.49 \cdot t^{0.48}$	$h = 46.20 \cdot t^{0.50}$	$h = 51.18 \cdot t^{0.52}$	$h = 56.11 \cdot t^{0.53}$	$h = 61.04 \cdot t^{0.54}$	$h = 67.52 \cdot t^{0.55}$
t > 1 h	$h = 39.49 \cdot t^{0.30}$	$h = 46.20 \cdot t^{0.31}$	$h = 51.18 \cdot t^{0.31}$	$h = 56.11 \cdot t^{0.31}$	$h = 61.04 \cdot t^{0.31}$	$h = 67.52 \cdot t^{0.31}$

2.2.4 Metodologie per il calcolo delle portate di progetto

Come detto in precedente, per la determinazione delle portate di progetto dei corsi d'acqua intersecati, non si è utilizzata una metodologia di tipo afflussi-deflussi, ritenendo più affidabili le regionalizzazioni. Laddove presente, è stata riportata la portata di "Alto", modello di regionalizzazione delle Piene messo a punto dalla Regione Toscana. Tale modello è stato applicato solo per alcuni corsi d'acqua di maggiore importanza.

Per i corsi d'acqua di dimensioni minori si è invece utilizzata una Curva Inviluppo, messa a punto dal SIMI di Pisa, che fornisce la portata duecentennale in funzione della sola area del bacino sotteso.

2.2.5 Descrizione del programma "ALTO"

Il programma "ALTO" è composto da un modulo per il calcolo dei parametri idrologici e da un altro modulo che permette la valutazione degli idrogrammi di piena nelle sezioni di interesse del reticolo idrografico considerato.

IDROLOGIA

Le elaborazioni idrologiche sono state condotte secondo la metodologia messa a punto per la "Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana". Il programma prevede, per un dato tempo di ritorno, uno ietogramma di durata fissata e intensità costante. L'intensità dello ietogramma è calcolata noti i parametri della curva di possibilità pluviometrica media del bacino. La curva di possibilità pluviometrica è espressa nella seguente forma:

$$h = a d^n T^m$$

con d durata dell'evento e T tempo di ritorno.

I parametri possono assumere diversi valori per durate superiori o inferiori all'ora. In tal caso la durata limite per l'uso dell'uno o dell'altro set di valori è calcolata con la seguente formula:

$$Dl = \left[\frac{a_1 T^{(m_1-m)}}{a} \right]^{\frac{1}{n-n_1}}$$

dove Dl è la durata limite mentre il pedice 1 sta ad indicare il parametro della curva di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione, K_r , del tipo:

$$K_r = \frac{h_A(A, t)}{h(t)}$$

dove $h_A(A, t)$ è l'altezza di pioggia di durata t ragguagliata all'area A e $h(t)$ l'altezza di pioggia di durata t nel centro di scroscio.

Il valore di K_r dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;

- l'altezza di pioggia.

Per la quantificazione di K_r si è fatto riferimento alla formula dell'USWB opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana.

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove α , β , e γ sono i parametri della formula, $t(h)$ la durata della precipitazione e A (kmq) l'area del bacino.

Per la regione Toscana, nell'ambito dello studio di regionalizzazione, sono stati definiti i seguenti valori per i parametri:

- $\alpha = F_a \cdot a = 0.036 a$, dove a è il parametro della curva di possibilità pluviometrica;
- $\beta = F_b = 0.25$;
- $\gamma = F_c = 0.01$.

Il programma consente anche di utilizzare per il coefficiente di deflusso areale K_a l'opzione globale che utilizza la seguente formula:

$$K_a = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{A_v - A_m}$$

con:

K_v e K_m = coefficienti di ragguglio areale rispettivamente per il bacino di valle e di monte;

A_v e A_m = aree dei bacini rispettivamente di valle e di monte.

IL CALCOLO DEL DEFLUSSO

Il calcolo del deflusso in primo luogo necessita del calcolo della pioggia netta, che nel caso specifico viene condotto con un semplice modello di infiltrazione caratterizzato da due parametri: il volume di suolo non saturo all'inizio dell'evento o perdita iniziale (indicata con I_a) che assorbe completamente la precipitazione durante i primi momenti dell'evento (dall'istante iniziale dell'evento $t=0$ sino all'istante $t=t_a$), e la perdita durante l'evento viene schematizzata con una infiltrazione costante a saturazione (indicata con K_s):

$$\text{se } t < t_a \quad \begin{cases} I_a(t) = I_a - \int_0^t [P(\tau) - K_s] d\tau \\ P_n(t) = 0 \end{cases}$$

$$\text{se } t \geq t_a \quad \begin{cases} I_a(t) = 0 \\ P_n(t) = P(t) - K_s \end{cases}$$

dove:

$P(t)$	intensità di precipitazione raggugliata sul bacino	mm/h
$P_n(t)$	intensità di precipitazione netta sul bacino	mm/h

$I_a(t)$	perdita iniziale all'istante t dell'evento	mm
$I_a=I_a(t_a)$	volume di perdita iniziale per unità di area	mm
K_s	velocità di infiltrazione a saturazione	mm/h

Una volta calcolata la pioggia netta, l'idrogramma di piena viene ricostruito attraverso la convoluzione con l'idrogramma unitario di Nash caratterizzato dai parametri N e K . L'integrale di convoluzione si esprime nella forma:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) P_n(t-\tau) d\tau$$

dove $Q(t)$ è la portata al tempo t e $U(t)$ l'idrogramma unitario.

Nella formulazione di Nash l'idrogramma unitario assume la forma:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-\frac{t}{k}}$$

dove n e k sono rispettivamente il parametro di forma e quello di scala.

2.2.6 Curve di inviluppo regionali delle portate di piena

Il SIMI di Pisa, sulla base degli eventi di piena registrati su vari bacini della Toscana, ha elaborato tre curve empiriche, rappresentative della portata di piena in funzione della superficie del bacino imbrifero, da utilizzare per la verifica o il progetto dei manufatti di attraversamento sui vari corsi d'acqua.

Le tre curve, denominate "curve d'inviluppo regionali delle portate di piena", sono riferite ai seguenti bacini idrografici:

- 1) bacini a sud del Fiume Arno compreso il Fiume Ombrone;
- 2) bacini del Serchio e della Versilia;
- 3) bacino del Fiume Arno.

In generale viene adottata con validità su tutto il territorio toscano la curva d'inviluppo n. 1, che risulta la più cautelativa.

Nella figura 2.1 vengono rappresentate in forma grafica la curva di inviluppo numero 1.

Nella tabella 2.5 sono invece riportati i valori numerici della curva n. 1 che è stata utilizzata per calcolare le portate di progetto. Questi, nell'ambito della presente indagine, sono associabili a tempi di ritorno superiori a 500 anni. Data la modesta estensione areale dei bacini le cui portate sono state calcolate con tale metodo, si è considerata la portata unitaria sempre pari a $38 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

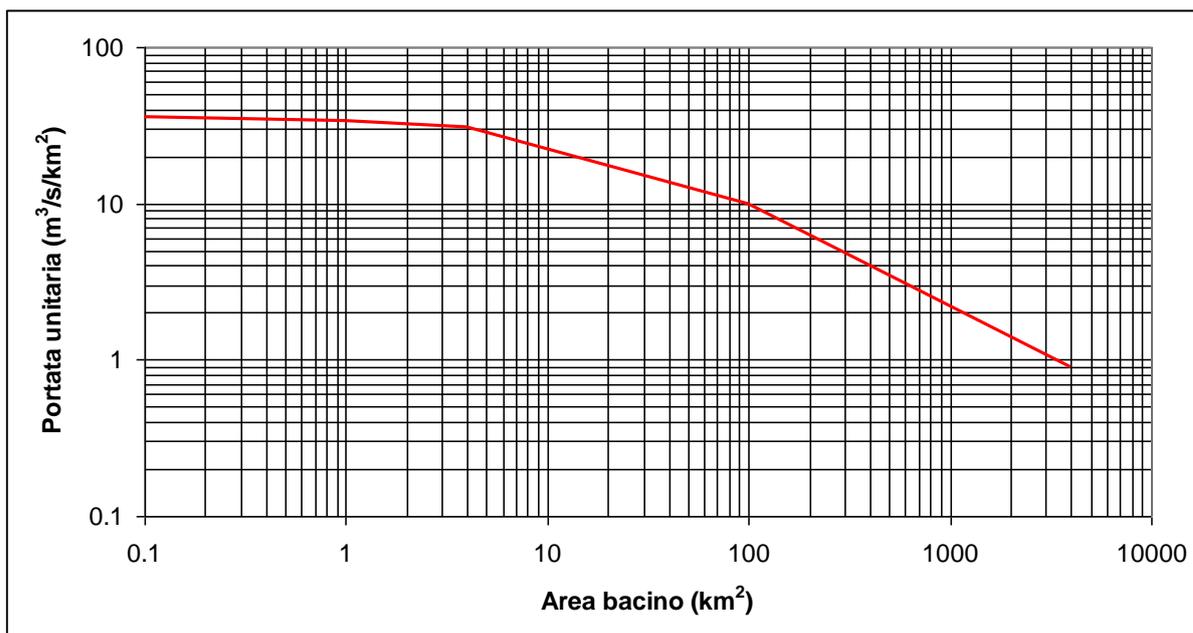


Figura 2.1 – Curva di inviluppo numero 1 del SIMI di Pisa

Tabella 2.5: Valori della curva d'involuppo n.1

Sup. bacino <i>km²</i>	Portata unitaria <i>m³/s/km²</i>
< 1	da 38 a 34
da 1 a 4	da 34 a 31

2.3 Portate di piena

Nella tabella 2.6 sono riepilogati i valori delle portate di piena calcolati nella precedente versione del progetto in assenza della nuova galleria artificiale.

Per i bacini di maggior estensione, che sono stati calcolati con ALTO, si sono presi i valori di portata relativi al tronco immediatamente a valle dell'intersezione con l'autostrada.

Per ciascun attraversamento è riportato un numero progressivo e la codifica dell'opera esistente. Gli attraversamenti sono stati individuati nelle "Planimetrie localizzazione interventi".

La tabella riporta il nome del corso d'acqua interessato, la superficie del bacino idrografico sotteso (A) e le portate di progetto calcolate o con ALTO o con la curva inviluppo.

Considerate le modifiche apportate al progetto con l'inserimento della galleria artificiale si è reso necessario interrompere il TB211 (Op. 2025) deviando la portata in arrivo dal versante al successivo corso d'acqua, costituito dal fosso Piscinale (Op. 2027).

Per le verifiche idrauliche si è dunque incrementato il valore della portata di progetto del fosso Piscinale assumendo il valore di 9.10 mc/s.

Per il tratto terminale del TB211 (Op. 2025), vista la limitata lunghezza, è stato comunque mantenuto un DN1200 come nella precedente versione, il quale avrà la funzione di drenare le acque tra le aree intercluse delle due carreggiate esistenti.

Tabella 2.6: Portate di piena calcolate in assenza della galleria artificiale

Num	N.ro opera	PK	Tipologia	Corso d'acqua	Note	A	Q ₁₀ alto	Q ₂₀₀ alto	Q _{inviluppo}
						km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
13	Op. 2023	10+035.43	DN1200			0.03			1.14
14	Op. 2025	10+216.34	DN1200			0.05			1.90
15	Op. 2027	10+560.01	Scatolare	Fosso Piscinale	Nuovo scatolare	0.38	3.90	7.20	14.44

3 Caratterizzazione della vulnerabilità del territorio sulla base dei vincoli di tipo idraulico

3.1 Inquadramento Normativo

Si riporta una breve sintesi del quadro normativo vigente in materia di vincoli idraulici sul territorio.

Il quadro legislativo storico è costituito dal T.U. sulle OO.PP. di cui al R.D. 25/7/1904 n.523 in cui le opere idrauliche sono il centro di tutto il sistema di difesa idraulica e vengono divise in cinque categorie. Nel tempo sono state modificate le varie competenze idrauliche dei vari organismi (Provveditorato alle OO.PP. per la Toscana, Ufficio Regionale Tutela del Territorio, Provincia, Consorzi di Bonifica) all'interno di tale classificazione, che non viene riportata nel presente studio, la Regione Toscana con delibera in data 13 dicembre 1993 ha sospeso temporaneamente le trasformazioni di destinazione d'uso e le costruzioni su aree interessate da inondazioni o ristagni nel 1991 - 1992 - 1993, ai sensi dell'art.6 della L.R. 31/12/1984, n° 74 prevedendosi in una seconda fase (Del. C.R. n° 90 dell'8 marzo 1994) la sospensione del rilascio di autorizzazioni e concessioni edilizie in prossimità dei corsi d'acqua.

Successivamente con la Delibera 21/6/1994, n° 230 "Provvedimenti sul rischio idraulico" ed aggiornata con delibera C.R.T n.12/2000, il Consiglio Regionale della Toscana ha definito fasce proporzionali alla larghezza dei corsi d'acqua nelle quali è sospesa l'edificazione, chiedendo ai singoli Comuni di esprimersi dopo opportune indagini al fine di mitigare con fasce definite da un punto di vista più consono, geomorfologico - storico, penalizzazioni indotte da un criterio puramente geometrico.

L'Autorità di Bacino del fiume Arno ha redatto il "Piano di Bacino del Fiume Arno stralcio Rischio idraulico" approvato con DPCM del 5 novembre 1999 e pubblicato sulla G.U. n. 226 del 22/12/1999. Tale Piano prevede una serie di vincoli e prescrizioni per la riduzione del rischio idraulico nel Bacino dell'Arno (che verranno analizzati nei successivi paragrafi). Con l'adozione del PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni), il PAI (Piano stralcio Assetto Idrogeologico) ha visto modificato in parte i propri contenuti. Infatti, per quanto riguarda il bacino dell'Arno, i temi relativi alla pericolosità ed al rischio idraulico vengono trattati dal PGRA, con lo scopo di semplificarli ed aggiornarli secondo i disposti europei (direttiva "alluvioni" 2007/60/CE).

Successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano di Gestione Rischio Alluvioni è stato definitivamente approvato e sostituisce integralmente i contenuti del PAI.

3.2 Corsi d'acqua classificati ai sensi della Delibera C.R.T. n. 12/2000

La Delibera C.R.T. n.12/2000, approvazione del Piano di Indirizzo Territoriale, aggiorna la Delibera 230/94 e definisce le zone soggette a prescrizioni e vincoli per la riduzione del rischio idraulico in base ad un elenco di corsi d'acqua definito nella medesima delibera.

Con riferimento a tali corsi d'acqua vengono definiti i limiti territoriali su cui si applicano le varie prescrizioni. In particolare vengono definiti gli ambiti territoriali di tipo A, con prescrizioni e vincoli relativi

alla progettazione di nuove opere, e di tipo B, con prescrizioni e vincoli relativi alla formazione di strumenti urbanistici.

L'ambito di tipo A a sua volta si suddivide in A1 ed A2.

L'ambito A1 è definito di assoluta protezione del corso d'acqua entro la distanza di 10 m, misurata dal ciglio del fosso o comunque dal piede esterno arginale nel caso di alveo pensile; sono fatte salve le opere idrauliche, di attraversamento del corso d'acqua, gli interventi trasversali di captazione e restituzione delle acque, nonché gli adeguamenti di infrastrutture esistenti senza avanzamento verso il corso d'acqua, a condizione che si attuino le precauzioni necessarie per la riduzione del rischio idraulico relativamente alla natura dell'intervento ed al contesto territoriale e si consenta comunque il miglioramento dell'accessibilità al corso d'acqua.

L'ambito A2, da applicarsi ai corsi d'acqua classificati ed aventi larghezza superiore a 10 m (misurata a partire dal piede esterno degli argini oppure, ove mancanti, fra i cigli di sponda), corrisponde alle fasce immediatamente esterne all'ambito A1 che hanno larghezza pari a quella del corso d'acqua, con un massimo di 100 m. In tale ambito sono ammessi interventi a condizione che venga contestualmente documentata l'assenza delle condizioni di rischio legate a fenomeni di esondazione e ristagno ovvero si approvino gli interventi necessari per la riduzione del rischio idraulico.

L'ambito B comprende le aree potenzialmente inondabili in prossimità dei corsi d'acqua. Tale ambito corrisponde alle aree a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a due metri sopra il piede esterno d'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda. Il limite esterno di tale ambito è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica come sopra individuata e non potrà comunque superare la distanza di metri lineari 300 dal piede esterno dell'argine o dal ciglio di sponda.

Le previsioni urbanistiche in tale ambito potranno essere approvate purché si effettui sul corso d'acqua interessato una specifica indagine idrologico-idraulica al fine di individuare l'eventuale presenza del rischio idraulico valutato sulla base della piena con tempo di ritorno duecentennale. In presenza di rischio idraulico così definito dovranno essere individuati nello strumento urbanistico gli interventi di regimazione idraulica nonché le aree da destinare alla localizzazione degli stessi per preservare le nuove previsioni ed i centri abitati vicini.

Per quanto riguarda la variante in progetto, non sono presenti corsi d'acqua classificati ai sensi della C.R.T. 12/2000.

3.3 Riduzione dell'impermeabilizzazione

La Delibera Regionale CRT 12/2000 prescrive alcune linee guida per la riduzione dell'impermeabilizzazione superficiale relativamente ai progetti per la realizzazione delle sistemazioni esterne, dei parcheggi e delle viabilità, che dovranno essere fatti privilegiando sistemazioni superficiali

che consentano la ritenzione temporanea delle acque e diversificando per quanto possibile il loro scarico in fognatura.

L'impermeabilizzazione di superfici la cui destinazione d'uso è agricola, o assimilabile all'agricola, modifica il regime dei deflussi del reticolo idrografico determinando in generale un aumento dei picchi di portata. La compensazione di tale effetto, per evitare che la progressiva impermeabilizzazione del territorio determini situazioni di crisi idraulica sui canali progettati per scenari differenti, impone l'adozione, nella fase di progetto dei nuovi interventi edilizi ed infrastrutturali, di criteri di "autocontenimento" dei deflussi.

Nel progetto in esame, il volume di compenso per l'aumento di impermeabilizzazione si è ottenuto in parte direttamente nell'invaso presente nei collettori di piattaforma ed in parte realizzando delle vasche di adeguato volume. Per maggiori dettagli riguardo al dimensionamento delle opere di compensazione si rimanda al progetto dell'intera tratta della Firenze Sud – Incisa, in quanto il recupero dell'incremento delle aree impermeabili e quello delle aree tolte all'esondazione avviene in tre vasche presenti all'interno della restante parte del lotto, non soggetta a variante.

3.4 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Il Piano di Gestione delle Alluvioni (aggiornato al 14/03/2017) è composto dalle seguenti mappe:

a) Mappa della pericolosità da alluvione fluviale e costiera: le aree con pericolosità da alluvione fluviale sono rappresentate su tre classi, secondo la seguente gradazione: - pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni; - pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni; - pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle. Nella mappa della pericolosità da alluvione è rappresentata la distribuzione degli elementi a rischio individuati ai sensi della direttiva 2007/60/CE e definiti all'art. 5.

b) Mappa delle aree di contesto fluviale: le aree di contesto fluviale sono quelle di particolare interesse ai fini della gestione del rischio idraulico, della tutela del buon regime dei deflussi, della salvaguardia delle peculiarità ambientali culturali e paesaggistiche associate al reticolo idraulico.

c) Mappa delle aree destinate alla realizzazione delle misure di protezione: in tale mappa sono rappresentate le misure di protezione tramite elementi poligonali, lineari e puntuali.

d) Mappa della pericolosità derivata da fenomeni di flash flood: in tale mappa viene rappresentata la distribuzione nel bacino della propensione al verificarsi di eventi intensi e concentrati; la rappresentazione è in quattro classi a propensione crescente.

e) Mappa del rischio di alluvione: la mappa del rischio di alluvioni definisce la distribuzione del rischio ai sensi di quanto previsto dal decreto legislativo n. 49/2010. Le aree a rischio sono rappresentate in quattro classi, secondo la seguente gradazione: R4, rischio molto elevato; R3, rischio elevato; R2, rischio medio; R1, rischio basso.

3.5 Carta guida delle aree allagate redatta sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966-1999)

Redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno, è allegata al Piano di Bacino del Fiume Arno stralcio "Rischio idraulico" approvato con DPCM del 5 novembre 1999.

La carta fornisce indicazioni di pericolosità idraulica sulla base degli eventi alluvionali significativi, posteriori e comprendenti quello del novembre 1966. In tali aree, è previsto che le opere che comportano trasformazioni edilizie ed urbanistiche potranno essere realizzate a condizione che venga documentato dal proponente ed accertato dall'autorità amministrativa competente al rilascio dell'autorizzazione il non incremento del rischio idraulico da esse determinabile o che siano individuati gli interventi necessari alle mitigazioni di tale rischio, da realizzarsi contestualmente all'esecuzione delle opere richieste.

4 VERIFICA IDRAULICA DELLE INTERFERENZE CON I CORSI D'ACQUA

Le interferenze relative all'intervento in progetto dell'autostrada con la rete idrografica, sono state individuate sulle tavole in scala 1:2.000 allegate al progetto (**Planimetrie localizzazioni interventi**). I corsi d'acqua interessati risultano tutti compresi nel bacino idrografico del fiume Arno.

Nelle Tavole suddette sono indicate le codifiche degli attraversamenti, come da codifica Autostradale.

4.1 Portate di progetto e metodologia idraulica

La verifica delle interferenze stradali è stata effettuata in base alle portate riportate al paragrafo 2.3.

Lo studio idraulico effettuato sui corsi d'acqua naturali è finalizzato a:

- dimensionare la sezione di attraversamento del corso d'acqua nel caso di nuovo intervento;
- verificare la sezione di attraversamento del corso d'acqua nel caso di prolungamento del manufatto esistente;
- individuare la necessità di eventuali deviazioni dell'alveo del corso d'acqua, anche in fase provvisoria.

Le portate utilizzate per la verifica sono state ottenute:

- dove possibile in base alla metodologia di regionalizzazione "Alto";
- per i bacini inferiori in base alla portata unitaria dedotta dalla curva regionale di sviluppo.

Tutte le verifiche idrauliche sono state effettuate in moto permanente con il software Hec-Ras. Per i corsi d'acqua minori, si è simulata solo la condizione post operam. Si riportano in allegato i profili, le sezioni e i dati numerici relativi a tutte le verifiche effettuate.

4.2 Dimensionamento delle protezioni

In corrispondenza degli imbocchi e degli sbocchi delle opere idrauliche prolungate, si sono previste delle sistemazioni per evitare che si instaurino fenomeni di erosione localizzata dovuti alla velocizzazione della corrente.

Tranne nei casi in cui l'imbocco o lo sbocco dell'opera avviene in un tratto di corso d'acqua già rivestito in calcestruzzo, si sono realizzate le sistemazioni idrauliche cercando di utilizzare le soluzioni meno impattanti dal punto di vista ambientale e paesaggistico. Questo è stato possibile attraverso l'utilizzo di scogliere di massi sciolti, la cui pezzatura è stata dimensionata per resistere alla spinta della corrente. Al disotto della scogliera è prevista inoltre la stesura di un geotessile filtro per evitare che l'acqua eroda la terra al disotto dei massi. Solo nei casi in cui, a causa della forte pendenza dei corsi d'acqua (anche 30 %) si è reso impossibile l'utilizzo di massi sciolti, si è previsto l'intasamento di questi ultimi con calcestruzzo, in modo da aumentarne la stabilità. Quest'ultima soluzione è la meno impattante dal punto di vista paesaggistico per i corsi d'acqua con un fortissimo potere di erosione.

Di seguito si riporta la descrizione della metodologia adottata per il dimensionamento dei massi delle scogliere.

4.2.1 Metodo delle tensioni di trascinamento

Il calcolo della resistenza all'erosione di una sezione viene eseguita calcolando la velocità della corrente e gli sforzi tangenziali prodotti dalla corrente e controllando se il materiale che costituisce il letto del fiume può resistere senza subire danni permanenti.

Ai fini della valutazione degli effetti antiersivi è necessario che lo sforzo tangenziale effettivo prodotto dalla corrente su ciascun punto della sezione sia minore dello sforzo tangenziale massimo agente sulla superficie del canale. Il metodo delle tensioni di trascinamento asserisce che se lo sforzo tangenziale effettivo è maggiore dello sforzo tangenziale massimo tollerabile dalla superficie, avviene un trasporto dinamico delle sostanze colloidali e successivamente del materiale più grossolano. L'erosione crea instabilità su un tratto di corso d'acqua e successivamente progredisce interessando aree più estese. Gli sforzi tangenziali effettivi vengono calcolati utilizzando i criteri idraulici convenzionali. Gli sforzi tangenziali massimi tollerabili dipendono dal tipo di protezione e dalla loro resistenza alla corrente.

Lo *sforzo tangenziale effettivo agente* su ogni punto della superficie del canale viene calcolato usando la seguente formula:

$$\tau_b = k_1 k_2 \gamma_w y_i i_{fiume}$$

dove:

- k_1 coefficiente di curvatura (maggiore di 1 solamente per punti situati su tratti pendenti esterni di argini curvi). In questo caso i valori suggeriti vengono riportati nella tabella 4.1;
- k_2 coefficiente angolare che è pari ad 1 per punti situati su superfici orizzontali e a 0.75 per superfici inclinate;
- γ_w peso specifico dell'acqua (10 kN/m³);
- y_i livello dell'acqua nel punto considerato;
- i_{fiume} pendenza dell'alveo lungo il tratto preso in esame.

Nel coefficiente k_1 viene considerato un incremento di sforzo tangenziale sulla sponda esterna di un tratto in curva come conseguenza dell'accelerazione centrifuga. I valori del coefficiente k_1 sono riportati nella letteratura e dipendono dalla curvatura e dalla larghezza del corso d'acqua.

Tabella 4.1: coefficienti di curvatura k_1

Raggio di curvatura / Larghezza superficie libera	k_1 (coefficiente di curvatura)
8.0	1.2
6.0	1.4
4.5	1.6
3.2	1.8
2.0	2.0

La *massima resistenza agli sforzi di taglio* dell'opera in pietrame sciolto viene espressa in funzione del parametro di Shields:

$$\tau_c = K_s C^* (\gamma_s - \gamma_w) d_m$$

dove:

C^* coefficiente di Shields (0.047);

γ_s peso specifico delle rocce di riempimento (26 kN/m³);

γ_w peso specifico dell'acqua (10 kN/m³);

d_m diametro medio delle rocce di riempimento;

$K_s \left(1 - \frac{\text{sen}^2 \theta}{\text{sen}^2 \varphi} \right)^{0.5}$ con θ angolo di inclinazione delle sponde e φ angolo di attrito dei massi posto pari a 50°.

Quando gli argini hanno una pendenza superiore ai 35° ($\theta > 35^\circ$) si ha una limitazione nell'utilizzo del coefficiente K_s . In questo caso il fattore di riduzione viene considerato costante e pari a 0.45.

Affinché sia verificata la non trascinabilità dei massi sciolti, basterebbe che la forza resistente sia maggiore di quella agente. Si è però preferito dare un coefficiente di sicurezza del 30% imponendo che il rapporto τ_c / τ_b (detto di seguito fattore di sicurezza) debba essere maggiore di 1.3.

4.3 Analisi delle verifiche idrauliche in moto permanente

Le verifiche sono state effettuate mediante analisi in moto permanente con il software Hec-Ras sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Corps of Engineers.

Le condizioni al contorno utilizzate sono le seguenti:

- *Portata di progetto* duecentennale calcolata con Alto o mediante curve d'involuppo regionali.
- *Condizione di deflusso a valle* corrispondente all'altezza di moto uniforme calcolata sulla base dei rilievi effettuati in funzione della pendenza media dei singoli corsi d'acqua (solo nel caso di soglie e o traverse è stata utilizzata come condizione di valle l'altezza critica).
- *Condizione di deflusso a monte* corrispondente all'altezza critica; questa condizione risulta sempre cautelativa, in quanto il programma la utilizza solamente quando è in corrente veloce, mentre in corrente lenta il livello di monte è calcolato in base a quanto avviene nelle sezioni di valle; in condizione di corrente veloce, imponendo questa condizione, si è a favore di sicurezza in quanto il livello di altezza critica è maggiore di quello di corrente veloce.
- Tranne quando diversamente indicato, è stato utilizzato un valore di *scabrezza* (numero di Manning) per l'alveo pari a 0.03 (fondo in terra con presenza di erba, corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia), come ricavato da bibliografia. Per la zona fuori alveo, la scabrezza è stata posta pari a 0.05.
- All'imbocco e all'uscita dei tombini sono stati impostati dei coefficienti di contrazione ed espansione pari a 0.3 e a 0.5. Nelle altre sezioni tali coefficienti sono stati posti pari a 0.1 e a 0.3.

La simulazione del comportamento idraulico dei corsi d'acqua in studio, nelle vicinanze dell'attraversamento autostradale, implica la realizzazione di rilievi topografici per un tratto di lunghezza significativa, in funzione delle caratteristiche morfologiche dell'alveo (dimensioni, pendenza, grado di naturalità, tortuosità, ecc...), della tipologia dell'opera viaria principale (viadotto o tombino) e della eventuale presenza di altri manufatti di attraversamento minori (tombini e sottopassi di strade secondarie o di rampe autostradali) posti a breve distanza dal manufatto dell'A1, che abbiano una qualche influenza sul deflusso idrico (passaggio in pressione con conseguente rigurgito verso monte). Sono state quindi condotte diverse campagne di rilievi topografici finalizzate all'acquisizione dei dati necessari alla modellazione idraulica dei corsi d'acqua d'interesse.

Per ciascun corso d'acqua oggetto di verifica in moto permanente si dispone quindi di:

- uno stralcio planimetrico georeferenziato in coordinate rettilinee, dell'area di interesse, in scala 1:1.000;
- sezioni trasversali del corso d'acqua, in numero variabile da un minimo di 6 ad un massimo di 25, in funzione della lunghezza e della tortuosità del corso d'acqua;
- la traccia planimetrica georeferenziata delle sezioni rilevate;
- il rilievo, corredato da documentazione fotografica, del manufatto di attraversamento autostradale.

In particolare, oltre al rilievo della sezione dell'alveo in corrispondenza del manufatto, sono stati rilevati gli elementi planimetrici ed altimetrici necessari a consentire di schematizzare la struttura (dimensione e forma delle pile e/o delle spalle, quota dei punti significativi di intradosso ed estradosso dell'impalcato...). Laddove non è stato possibile effettuare un rilievo delle sezioni trasversali queste sono state desunte dal celerimetrico in scala 1:1.000.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate per i corsi d'acqua di maggior interesse sia nelle condizioni ante che post operam, mentre per i corsi d'acqua minori solo nelle condizioni post operam.

Nel caso di tombini circolari o scatolari con unica pendenza, l'opera è stata schematizzata come culvert, mentre quando lo scatolare è scalettato, la verifica è stata effettuata inserendo nel programma delle sezioni ad "U" in CLS (parametro di scabrezza di Manning pari a 0.015) ponendo dei levee sulla sommità delle sezioni per rappresentare nei profili l'andamento del cielo degli scatolari. Questa schematizzazione risulta di facile lettura ed è più corrispondente al fenomeno fisico rispetto all'introduzione nella simulazione di singoli culvert in corrispondenza di ogni salto.

Dove necessario si sono studiate anche le fasi provvisoriale; in questo caso la simulazione fa riferimento alla portata con tempo di ritorno di 10 anni.

Di seguito si riporta, per ogni interferenza, una sintetica descrizione delle verifiche effettuate. Il dettaglio delle simulazioni (profili, sezioni e dati in forma tabellare) sono riportati in allegato.

Opera 2023 – tombino circolare DN1200

Il tombino attuale attraversa entrambe le carreggiate esistenti e presenta un pozzetto di ispezione nella zona interclusa. E' prevista la costruzione di un nuovo tombino di diametro 1.2m che si sviluppa a partire dalla nuova carreggiata in progetto e sotto le due carreggiate esistenti.

E' previsto inoltre un riposizionamento dei pozzetti all'interno della zona interclusa tra le carreggiate esistenti e un nuovo manufatto di confluenza in uscita dove si intersteranno i fossi al piede del rilevato autostradale esistente. Per garantire la continuità dei fossi posti in testa alla nuova paratia in progetto con il nuovo tombino è stato progettato un pozzettone in c.a. di dimensioni 1.7x2m di altezza pari a circa 10m. Il tombino non ha subito modifiche rispetto alla precedente versione del progetto in assenza della galleria artificiale.

Il tirante idraulico massimo nel tombino risulta essere pari a 0.73m.

Il tombino risulta verificato con idoneo franco.

Opera 2025 – tombino circolare DN1200

L'opera esistente è costituita da due tombini circolari di diametro 1.2 m che si trovano al di sotto dell'autostrada esistente. Diversamente da quanto previsto nel precedente progetto è previsto soltanto l'allungamento del tombino dell'attuale carreggiata nord e la realizzazione di pozzetti di confluenza all'imbocco e sbocco. Non sarà più previsto l'allungamento del tombino esistente sotto l'attuale carreggiata sud e il tombino scatolare di dimensioni 0.8x1.5 m al di sotto della nuova carreggiata in direzione sud. La continuità del reticolo idrografico a monte della nuova galleria artificiale sarà garantita tramite la realizzazione di un fosso di versante il cui recapito finale sarà costituito dal fosso Piscinale. Considerata la limitata lunghezza del tombino è stato comunque mantenuto un DN1200 come nella precedente versione, il quale avrà la funzione di drenare soltanto le acque tra le aree intercluse delle due carreggiate esistenti. La portata per tempo di ritorno di 200 anni risulta essere di 0,15mc/s e pertanto il tombino risulta verificato con ampio margine di sicurezza.

Opera 2027 – nuovo tombino scatolare Fosso Piscinale

L'opera 2027 relativa al fosso Piscinale è costituita dal tombino TB212 che risulta al di fuori del perimetro dell'intervento. Come anticipato, a causa dell'inserimento della nuova galleria artificiale si è reso necessario deviare le acque di versante verso il fosso Piscinale e dunque nel seguito è descritta la verifica del tombino nella nuova configurazione. Si anticipa che il tombino in progetto non ha subito modifiche rispetto alla precedente versione poiché le verifiche risultano soddisfatte nonostante l'incremento di portata. Per completezza del quadro conoscitivo si aggiunge che a seguito della divisione del progetto di ampliamento a tre corsie della tratta Firenze Sud – Incisa in due lotti, anche l'intervento sul Fosso Piscinale è realizzato in due parti, la prima parte, a monte dell'autostrada, è stata già realizzata all'interno del Lotto 1 (tratte esterne). La seconda parte sarà realizzata all'interno del Lotto 2 (Variante San Donato).

Il Lotto 1 ha previsto una prima fase provvisoria nella quale è stato previsto di realizzare il rimodellamento e la realizzazione di un'area di deposito ubicata in corrispondenza del fosso stesso nella

zona a monte dell'autostrada. Per tale motivo, è stata prevista la deviazione del fosso che rimarrà in testa all'area di deposito.

La sistemazione finale verrà realizzata in testa al rimodellamento e sarà possibile ultimarla solo a fine lavori. Durante le fasi realizzative, le acque dei corsi d'acqua sono state fatte passare all'interno di un sistema di condotte in lamiera ondulata e fessurate nella metà superiore, in modo da costituire il drenaggio di fondo del riempimento a fine lavori.

La sistemazione finale prevede la realizzazione di un canale a sezione trapezia con base di 1.5 m e sponde alte 2 m e aventi pendenza di 1 su 1. All'interno del Lotto 1 verrà realizzato solo il tratto a monte dell'autostrada che ha una lunghezza di circa 230 m ed una pendenza costante dell'1.8%.

Poiché il nuovo tombino di attraversamento verrà realizzato solo nel Lotto 2, il canale terminerà in un pozzetto da cui partirà un collettore in PEAD DN1800 che, viaggiando parallelamente all'autostrada, porterà le acque ad un pozzettone in calcestruzzo che si svilupperà in elevazione e che si ricollegherà al collettore provvisorio descritto in precedenza.

Il dimensionamento del collettore è stato fatto, sulla base della portata decennale (4.93mc/s), realizzando un modello in moto permanente per il tratto di collettore avente la pendenza minima, cioè il 2.8 %. Con tale pendenza si ha un funzionamento in corrente veloce all'interno del tombino ed il passaggio per l'altezza critica in corrispondenza dell'imbocco. In tale sezione il tirante decennale è pari a 1.10 cm (61% di riempimento), mentre il tirante duecentennale è pari a 1.49 m (83% di riempimento). All'interno del Lotto 2 verranno completati i lavori. In particolare, verrà realizzato un nuovo tombino scatolare gradonato di dimensioni interne 3x3 m. Dalla modellazione idraulica risulta che all'interno dell'opera si avrà un tirante massimo pari a circa 40 cm.

A valle di questa nuova opera verrà realizzata una sistemazione idraulica che avrà uno sviluppo di circa 27 m e che sarà divisa in due tratti con pendenza rispettivamente pari al 19% e al 13%. Essendo la pendenza del fondo molto elevata, le sezioni verranno rivestite di massi di diametro medio pari a 60 cm parzialmente intasati in calcestruzzo. Il franco idraulico rispetto al livello duecentennale è superiore al metro.

Sia il tombino che la deviazione del corso d'acqua risultano verificati con idoneo franco.

Per ulteriori dettagli riguardo i particolari costruttivi dell'opera 2027 si rimanda agli elaborati del Lotto 2 già citati.

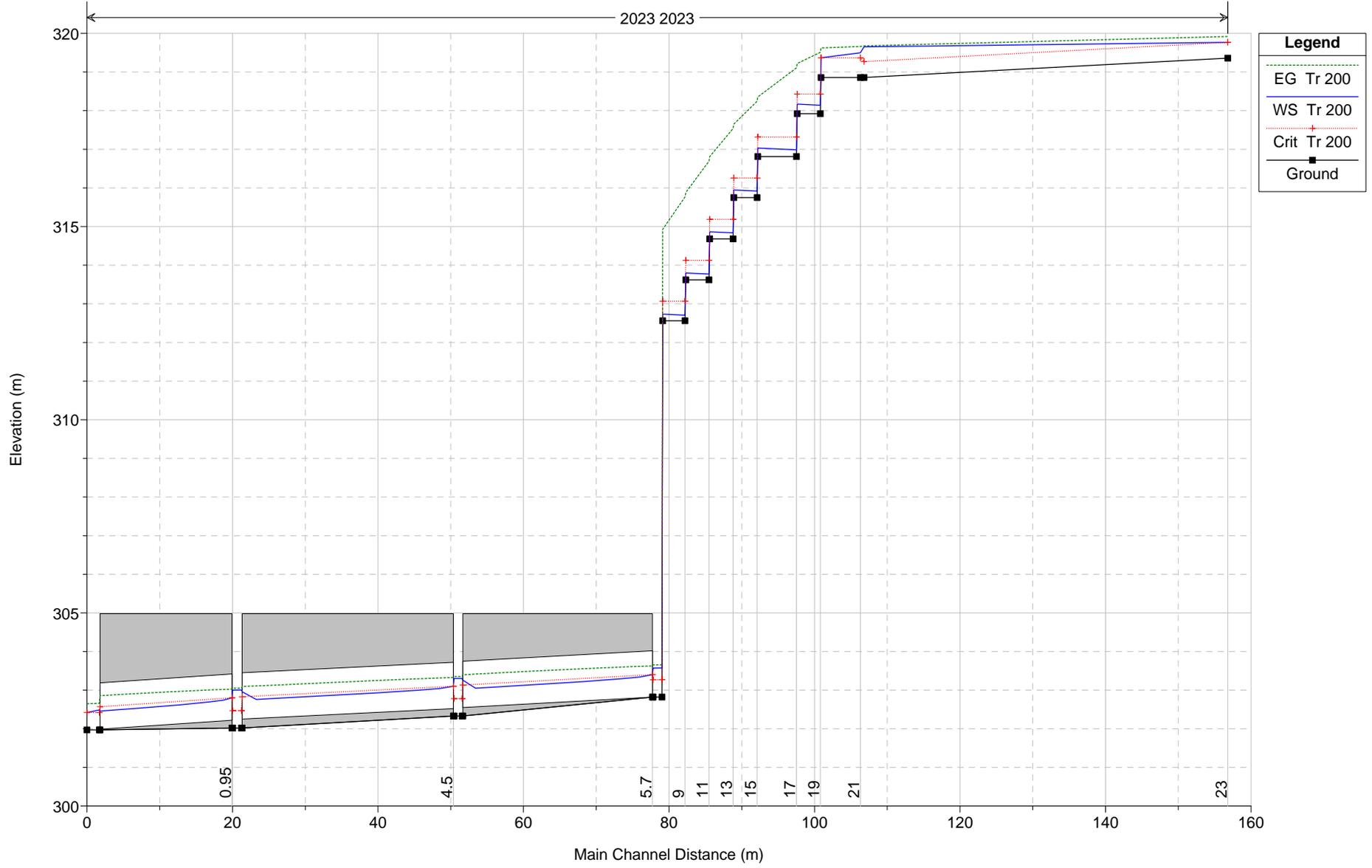
OPERA 2023

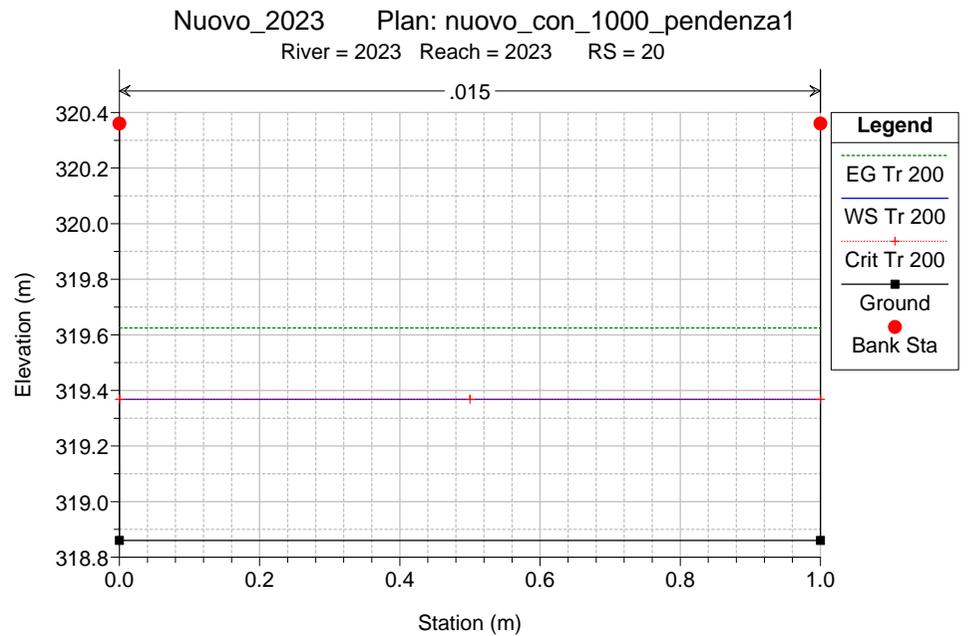
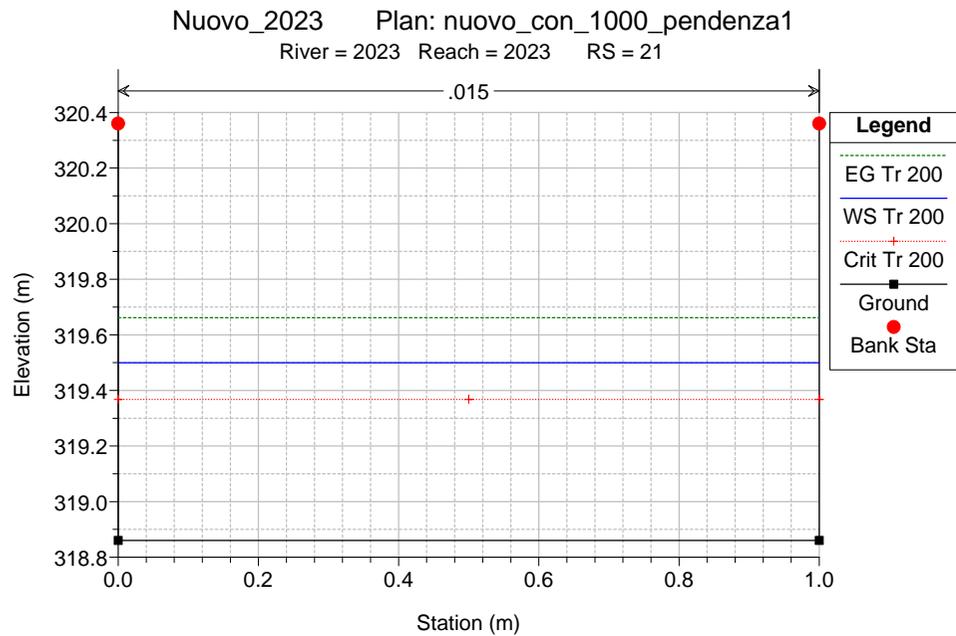
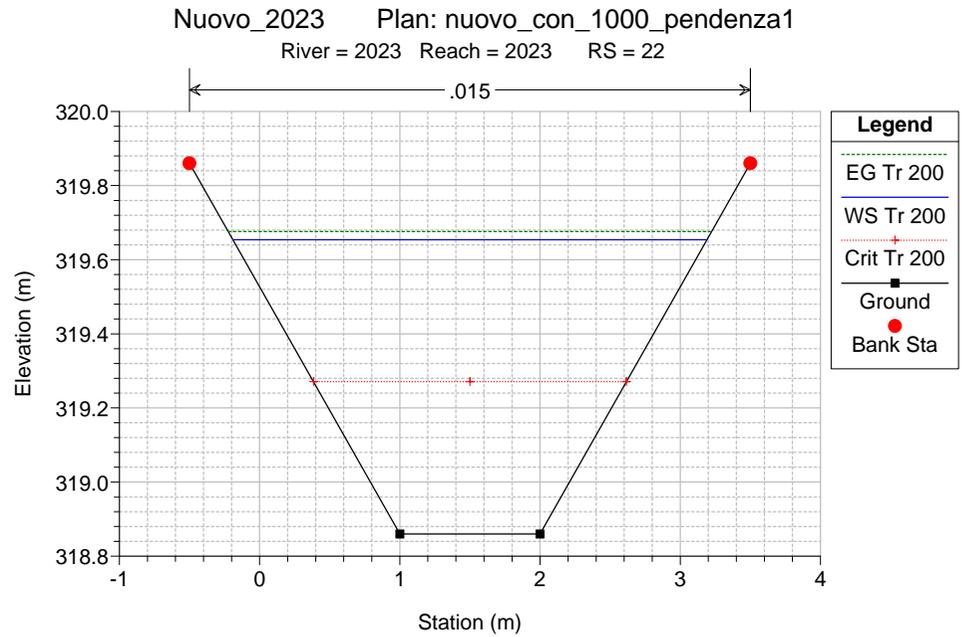
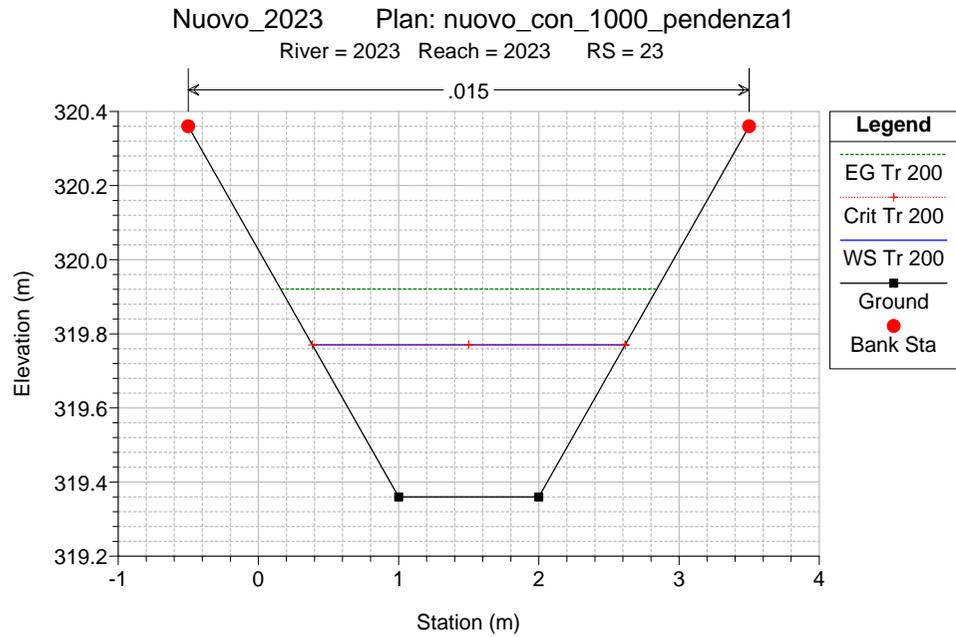
TOMBINO CIRCOLARE DN 1200

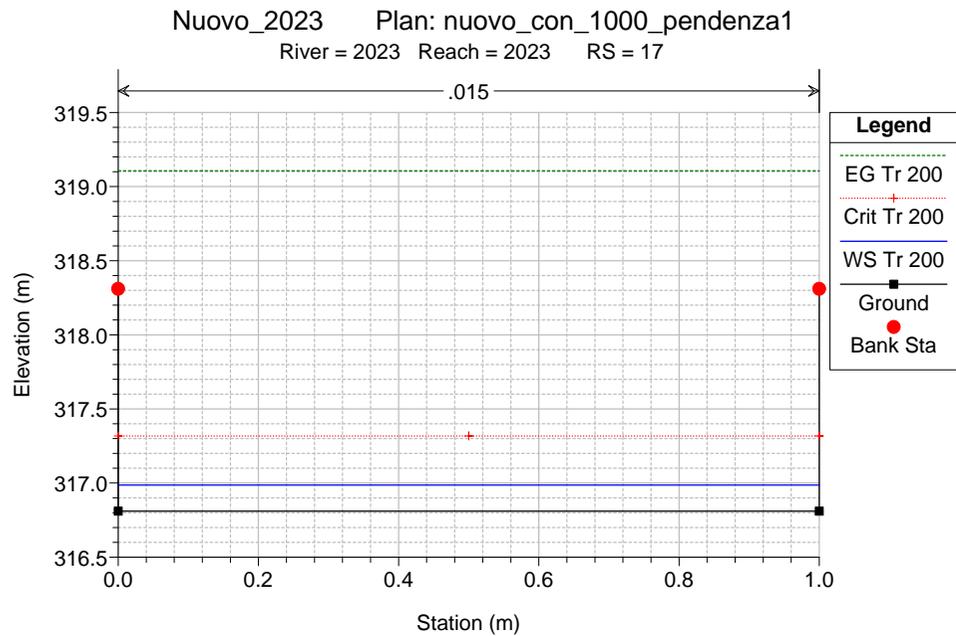
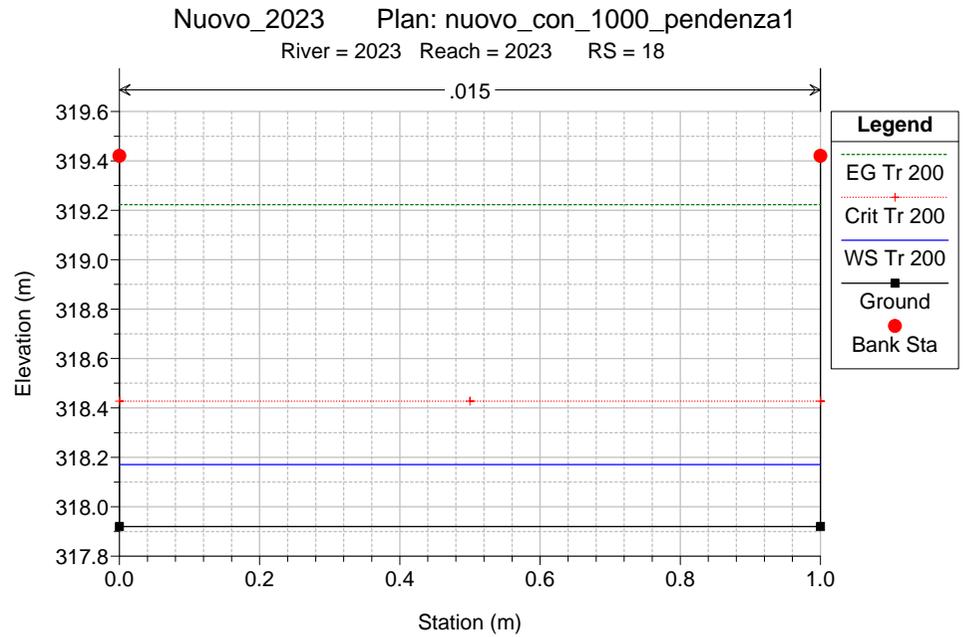
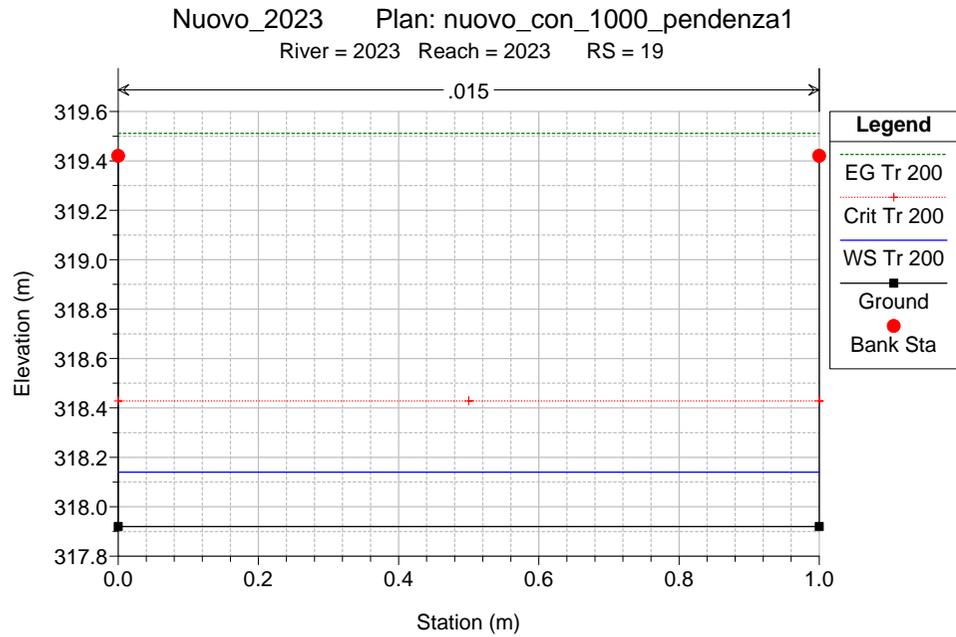
POST OPERAM

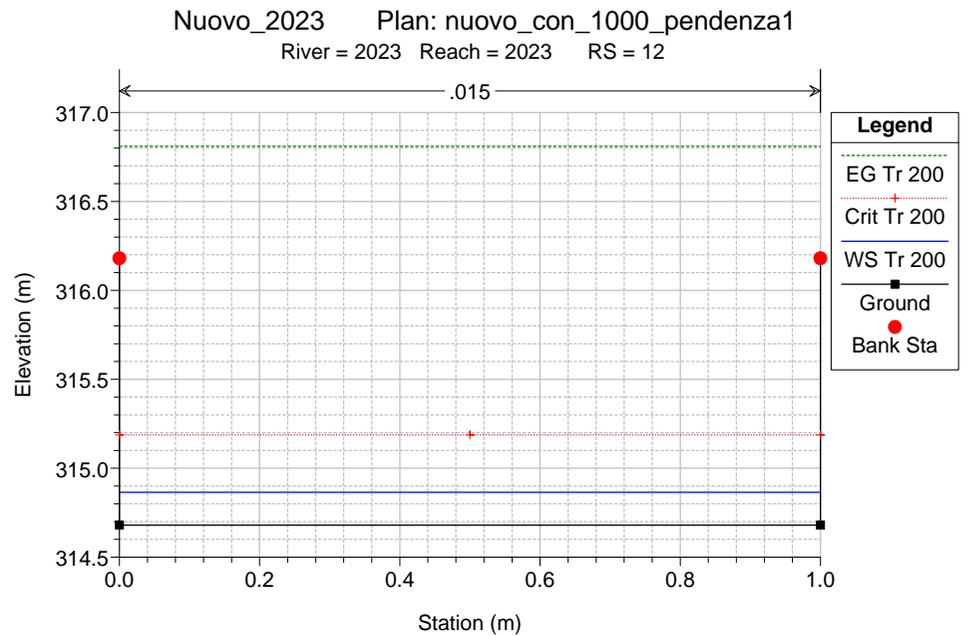
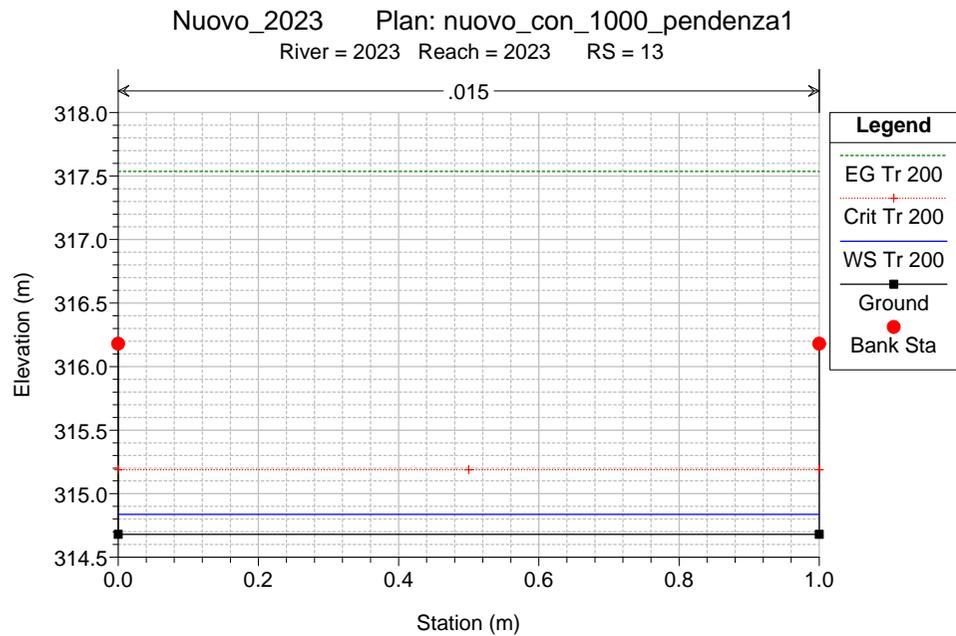
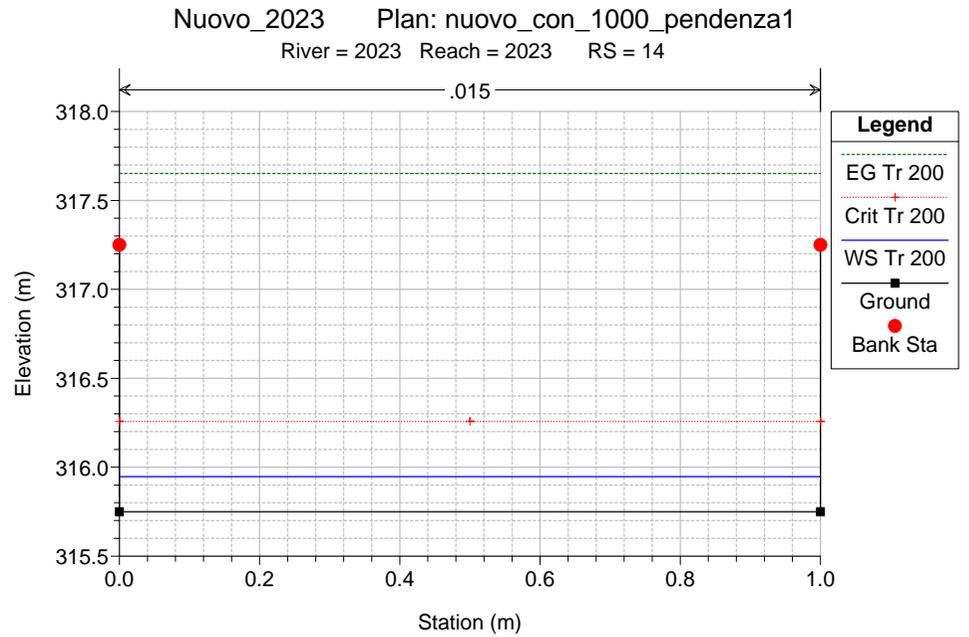
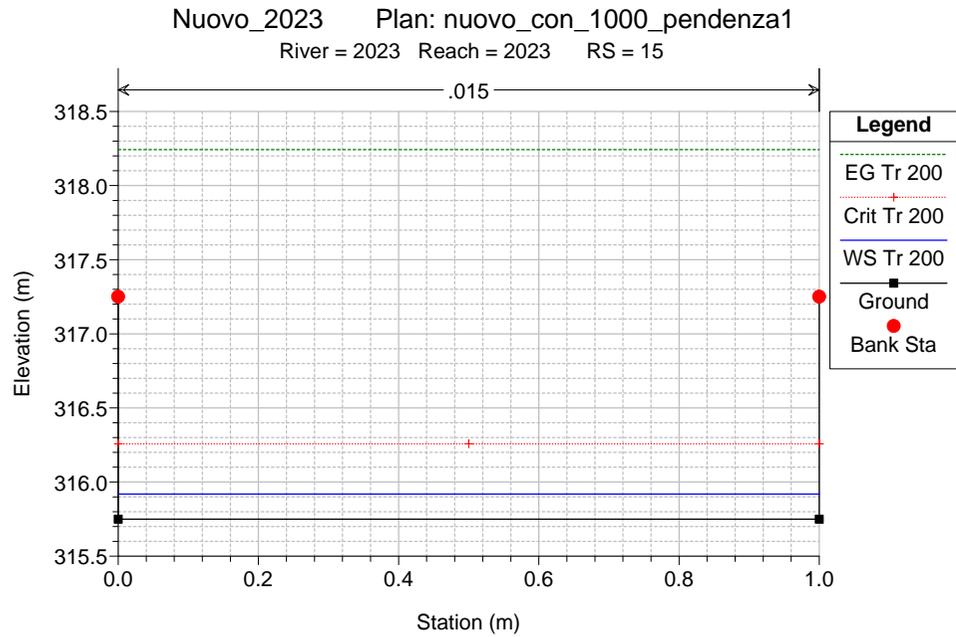
HEC-RAS Plan: PP11 River: 2023 Reach: 2023 Profile: Tr 200

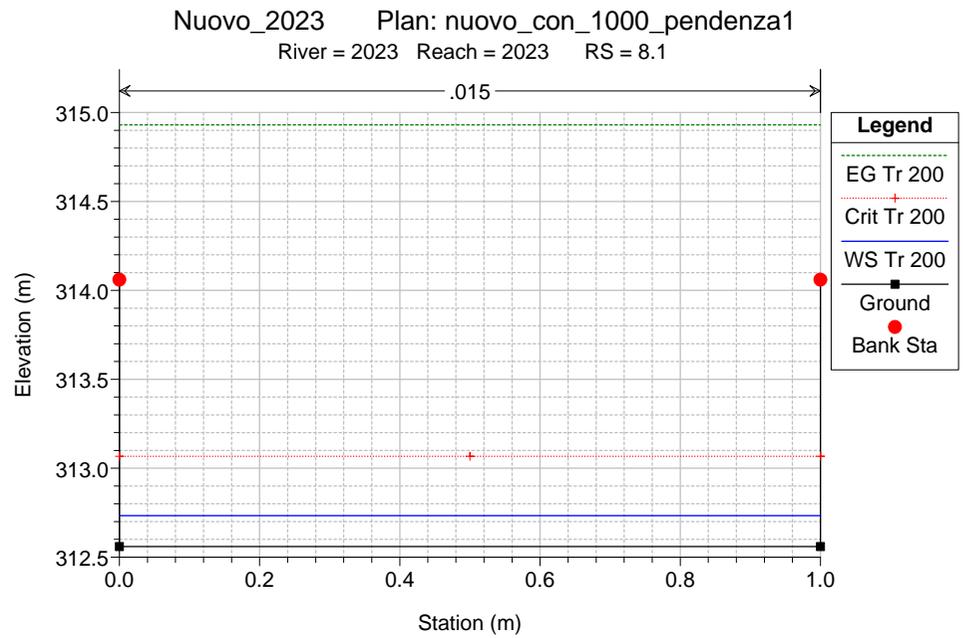
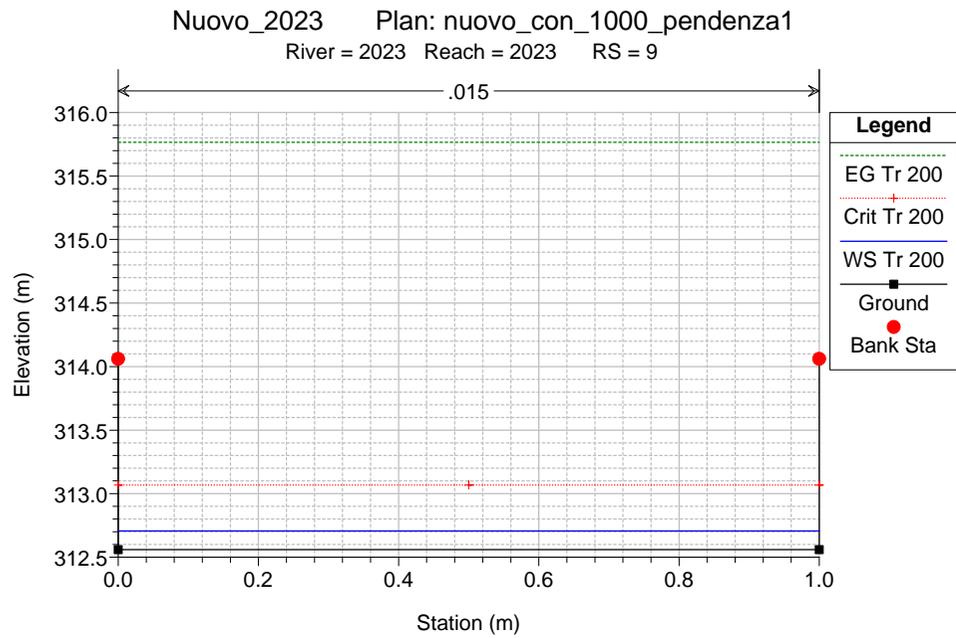
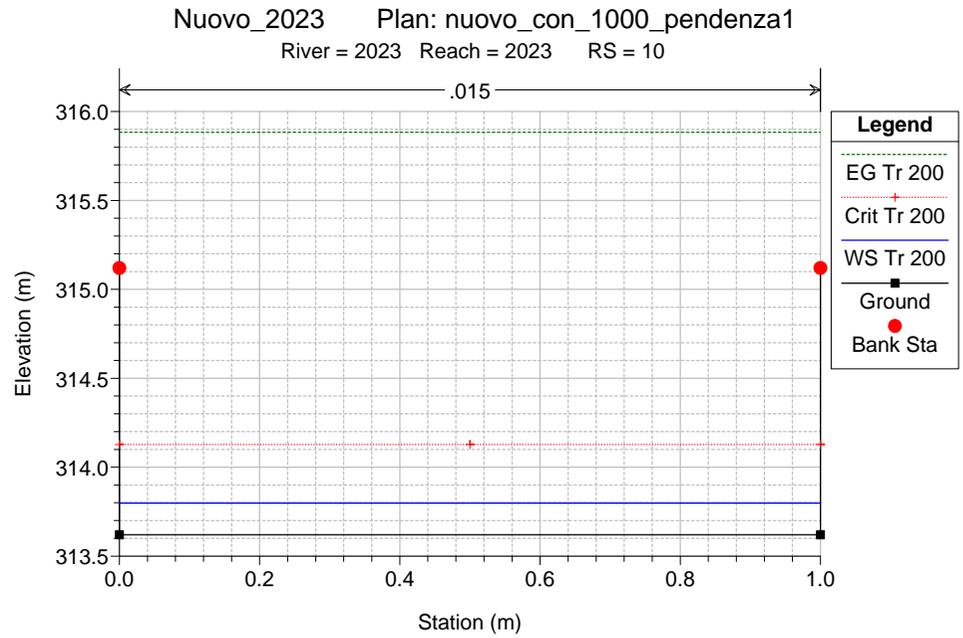
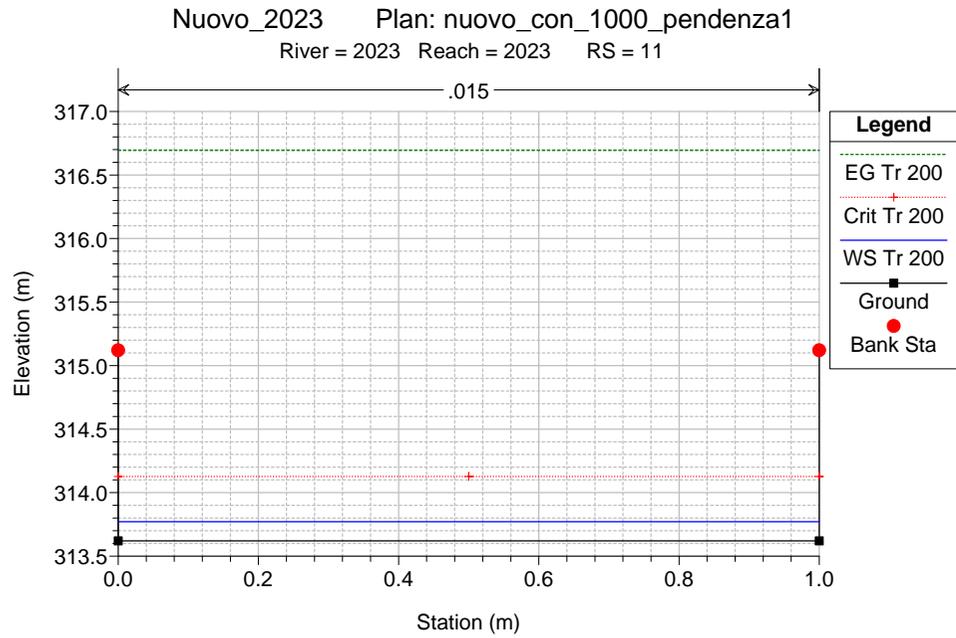
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Froude # Chl
2023	23	Tr 200	1.14	319.36	319.77	319.77	319.92	0.003871	1.72	0.66	1.01
2023	22	Tr 200	1.14	318.86	319.65	319.27	319.68	0.000280	0.66	1.74	0.29
2023	21	Tr 200	1.14	318.86	319.50	319.37	319.66	0.003891	1.78	0.64	0.71
2023	20	Tr 200	1.14	318.86	319.37	319.37	319.62	0.007119	2.24	0.51	1.01
2023	19	Tr 200	1.14	317.92	318.14	318.43	319.51	0.074252	5.19	0.22	3.53
2023	18	Tr 200	1.14	317.92	318.17	318.43	319.22	0.050505	4.54	0.25	2.90
2023	17	Tr 200	1.14	316.81	316.99	317.32	319.11	0.141389	6.45	0.18	4.90
2023	16	Tr 200	1.14	316.81	317.03	317.32	318.36	0.070351	5.09	0.22	3.44
2023	15	Tr 200	1.14	315.75	315.92	316.26	318.24	0.162191	6.75	0.17	5.25
2023	14	Tr 200	1.14	315.75	315.95	316.26	317.65	0.102215	5.78	0.20	4.16
2023	13	Tr 200	1.14	314.68	314.84	315.19	317.54	0.203099	7.28	0.16	5.87
2023	12	Tr 200	1.14	314.68	314.86	315.19	316.81	0.124361	6.18	0.18	4.59
2023	11	Tr 200	1.14	313.62	313.77	314.13	316.69	0.229001	7.57	0.15	6.23
2023	10	Tr 200	1.14	313.62	313.80	314.13	315.88	0.137894	6.40	0.18	4.84
2023	9	Tr 200	1.14	312.56	312.71	313.07	315.77	0.245332	7.75	0.15	6.45
2023	8.1	Tr 200	1.14	312.56	312.73	313.07	314.93	0.149037	6.57	0.17	5.03
2023	7	Tr 200	1.14	302.82	303.57	303.27	303.65	0.001547	1.26	0.90	0.46
2023	6	Tr 200	1.14	302.82	303.57	303.27	303.65	0.001559	1.27	0.90	0.47
2023	5.7		Culvert								
2023	5.5	Tr 200	1.14	302.33	303.30	302.78	303.35	0.000802	0.98	1.17	0.32
2023	5	Tr 200	1.14	302.33	303.30	302.78	303.35	0.000804	0.98	1.17	0.32
2023	4.5		Culvert								
2023	2	Tr 200	1.14	302.02	303.00	302.47	303.05	0.000784	0.97	1.18	0.31
2023	1	Tr 200	1.14	302.02	303.00	302.47	303.05	0.000786	0.97	1.18	0.31
2023	0.95		Culvert								
2023	0.9	Tr 200	1.14	301.97	302.49	302.42	302.66	0.004170	1.83	0.62	0.81
2023	0.8	Tr 200	1.14	301.97	302.42	302.42	302.65	0.006142	2.11	0.54	1.01

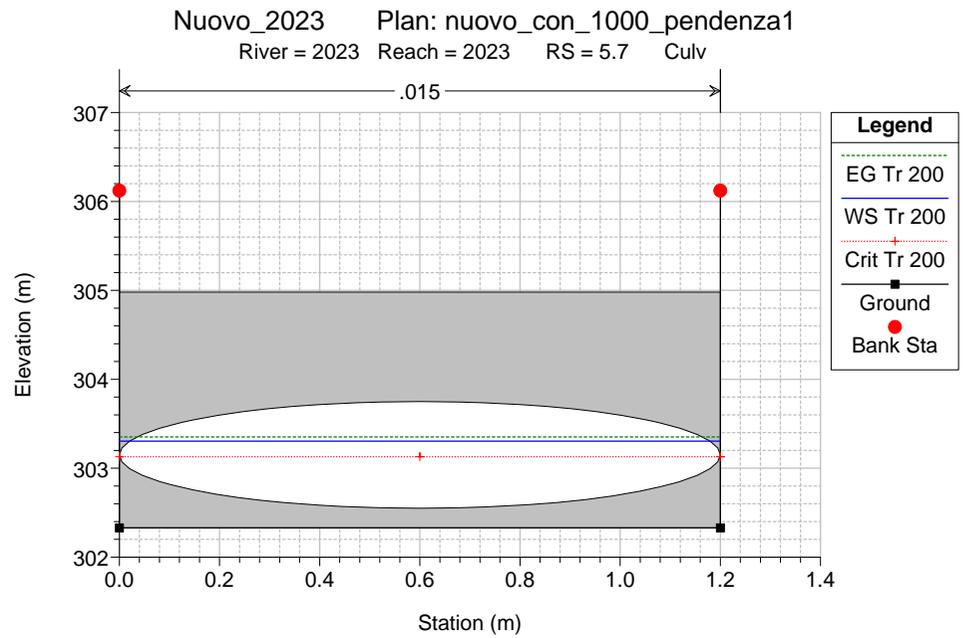
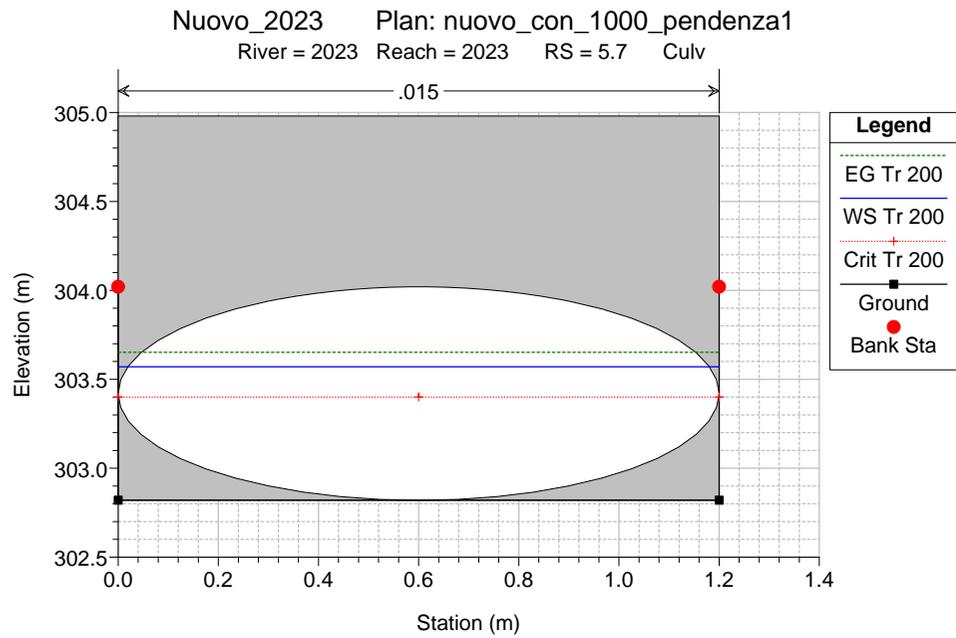
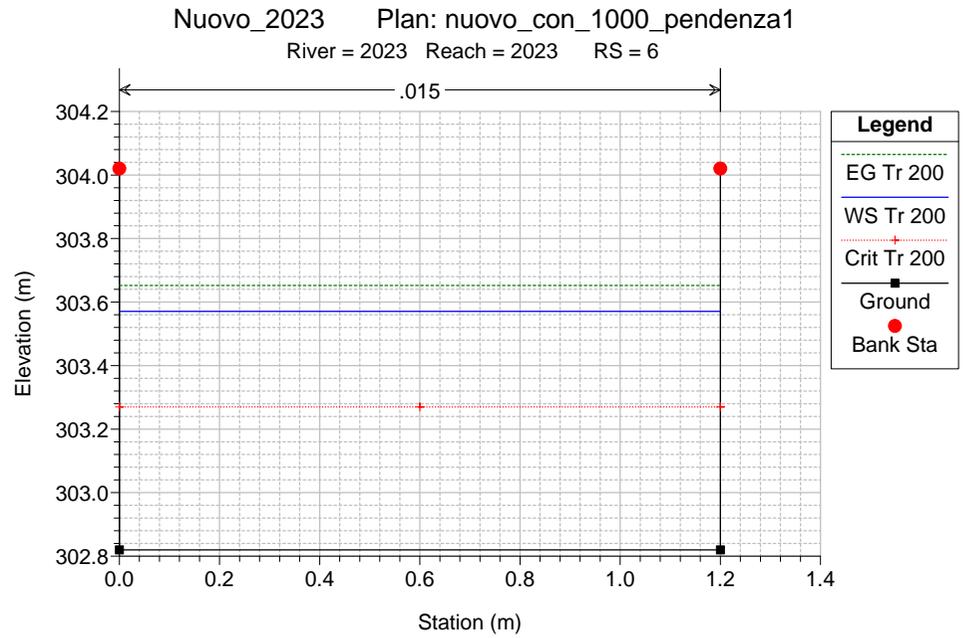
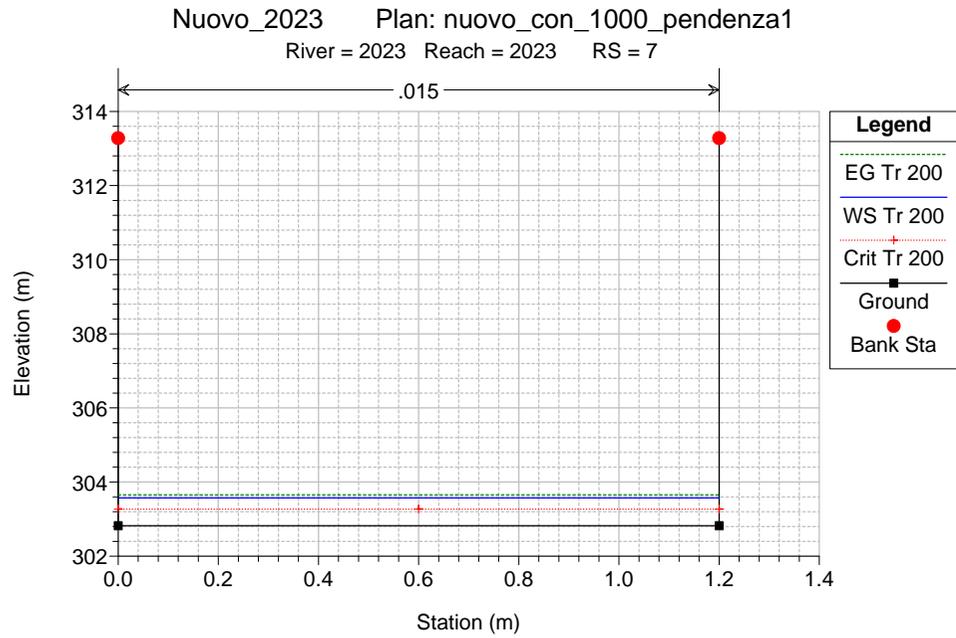


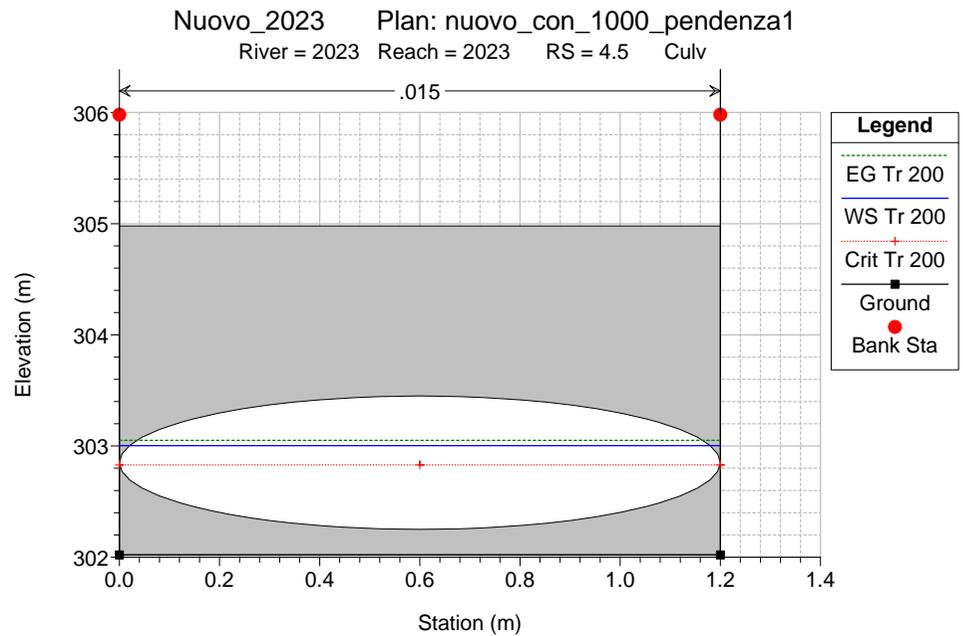
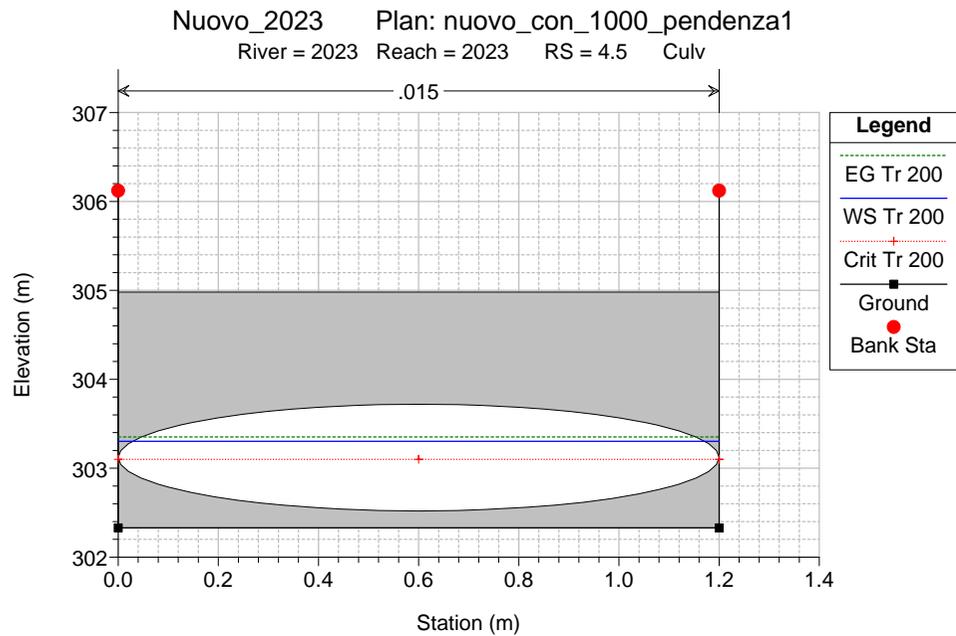
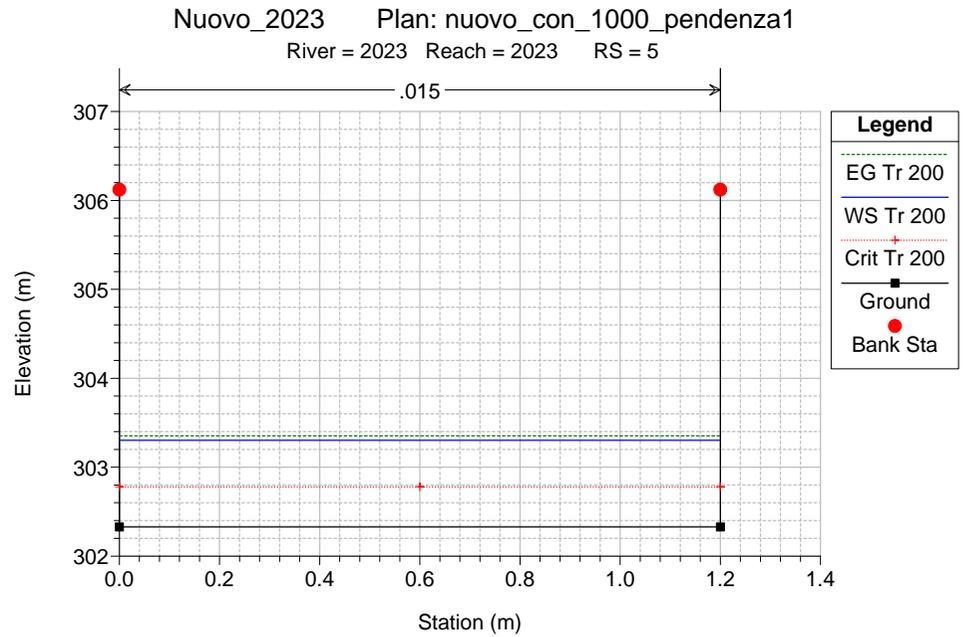
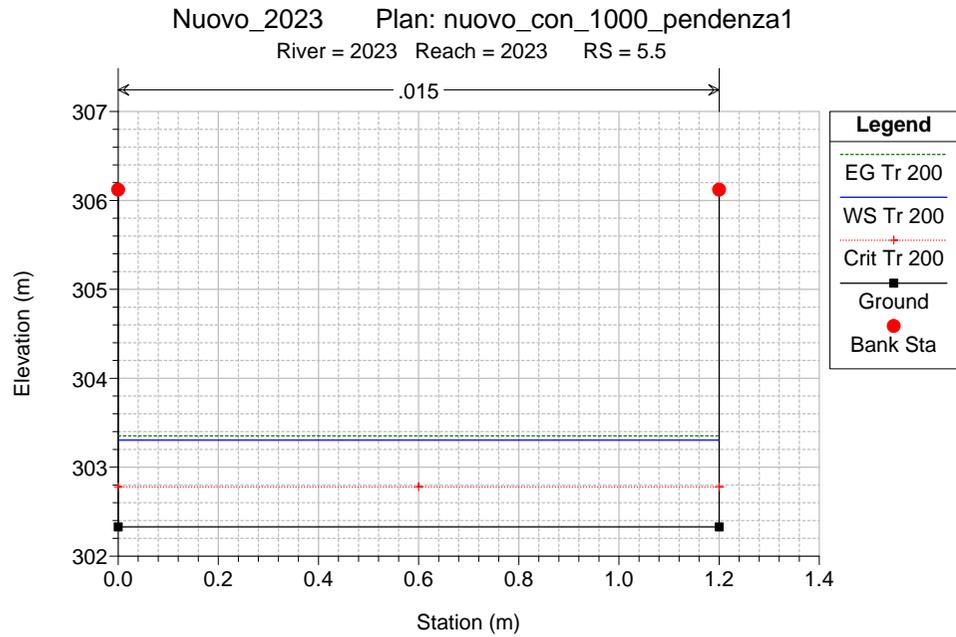


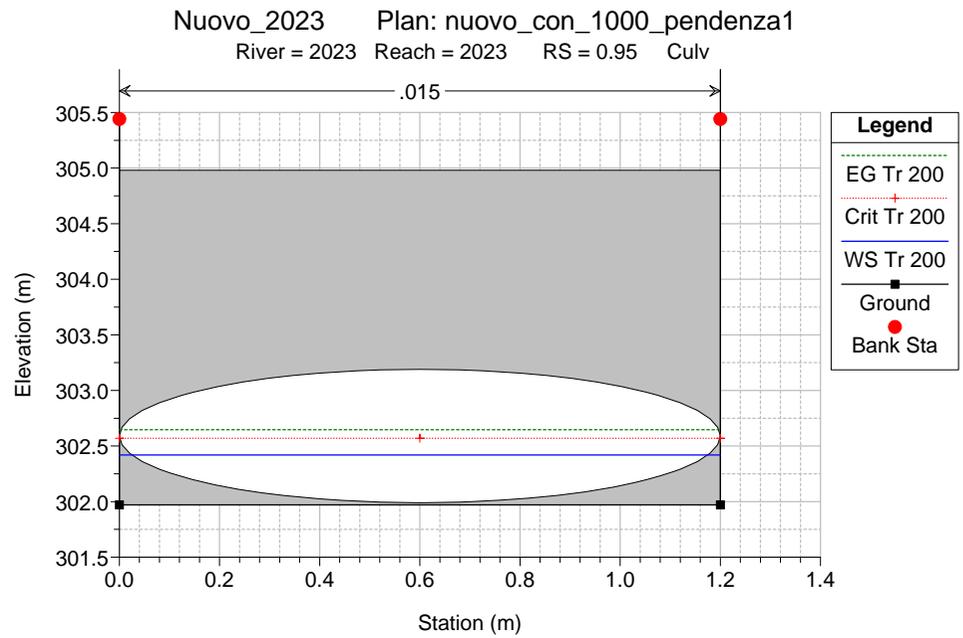
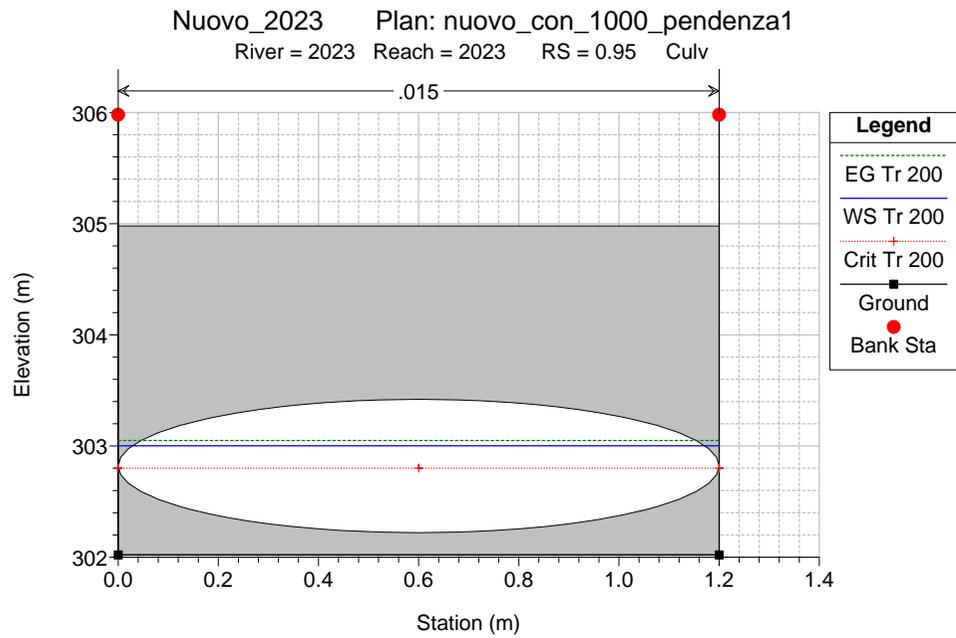
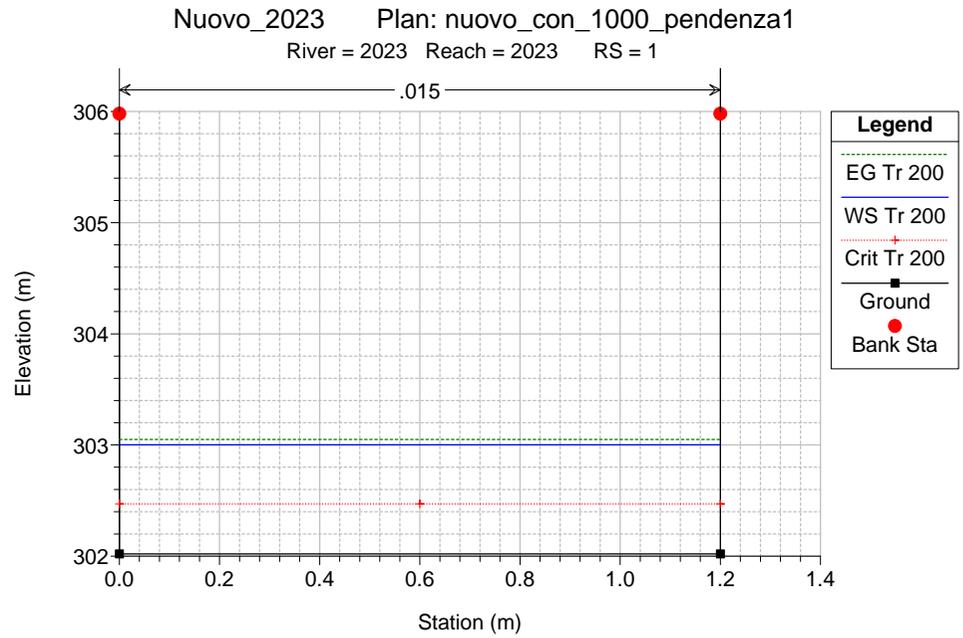
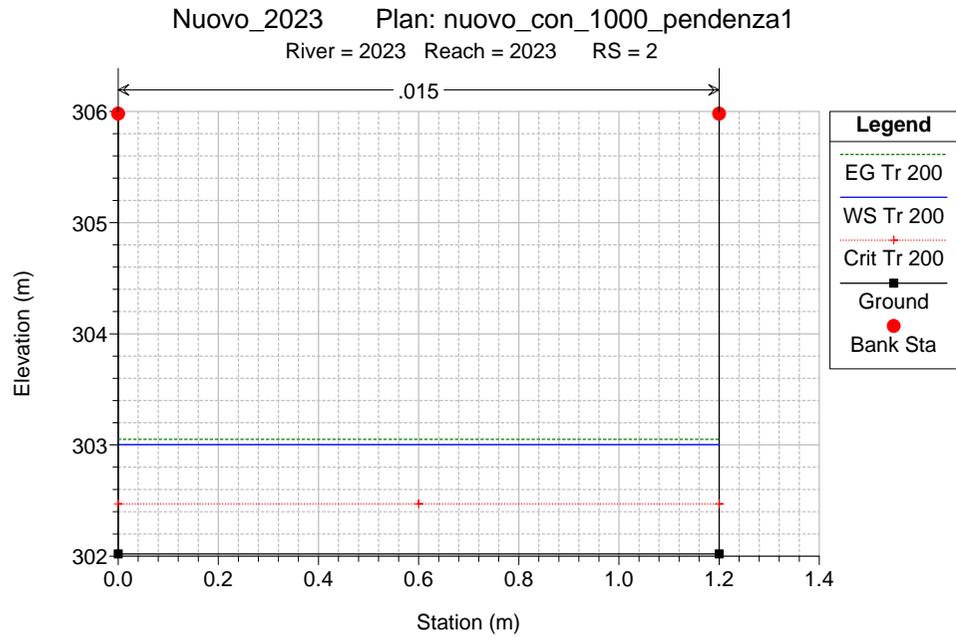




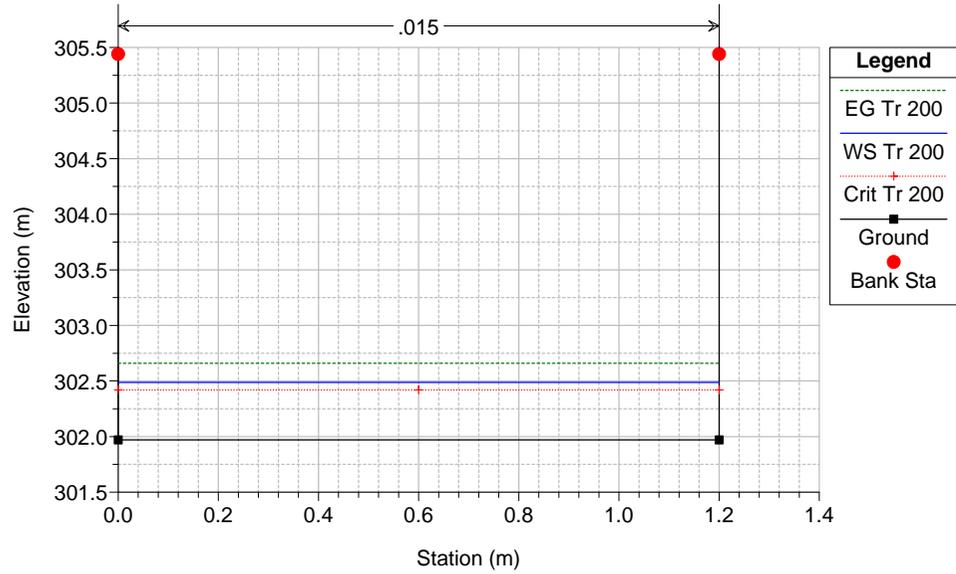




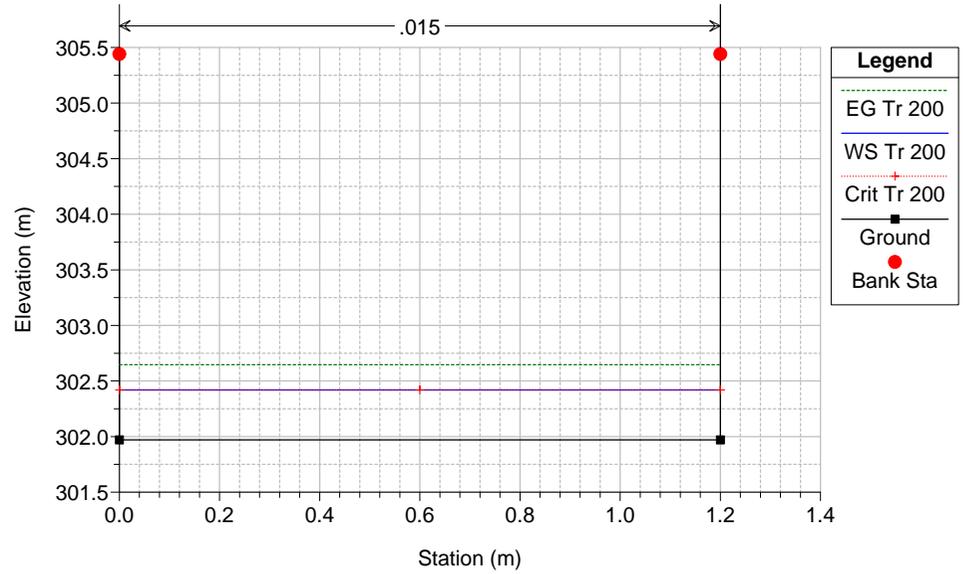




Nuovo_2023 Plan: nuovo_con_1000_pendenza1
River = 2023 Reach = 2023 RS = 0.9



Nuovo_2023 Plan: nuovo_con_1000_pendenza1
River = 2023 Reach = 2023 RS = 0.8



OPERA 2025

TOMBINO CIRCOLARE DN 1200

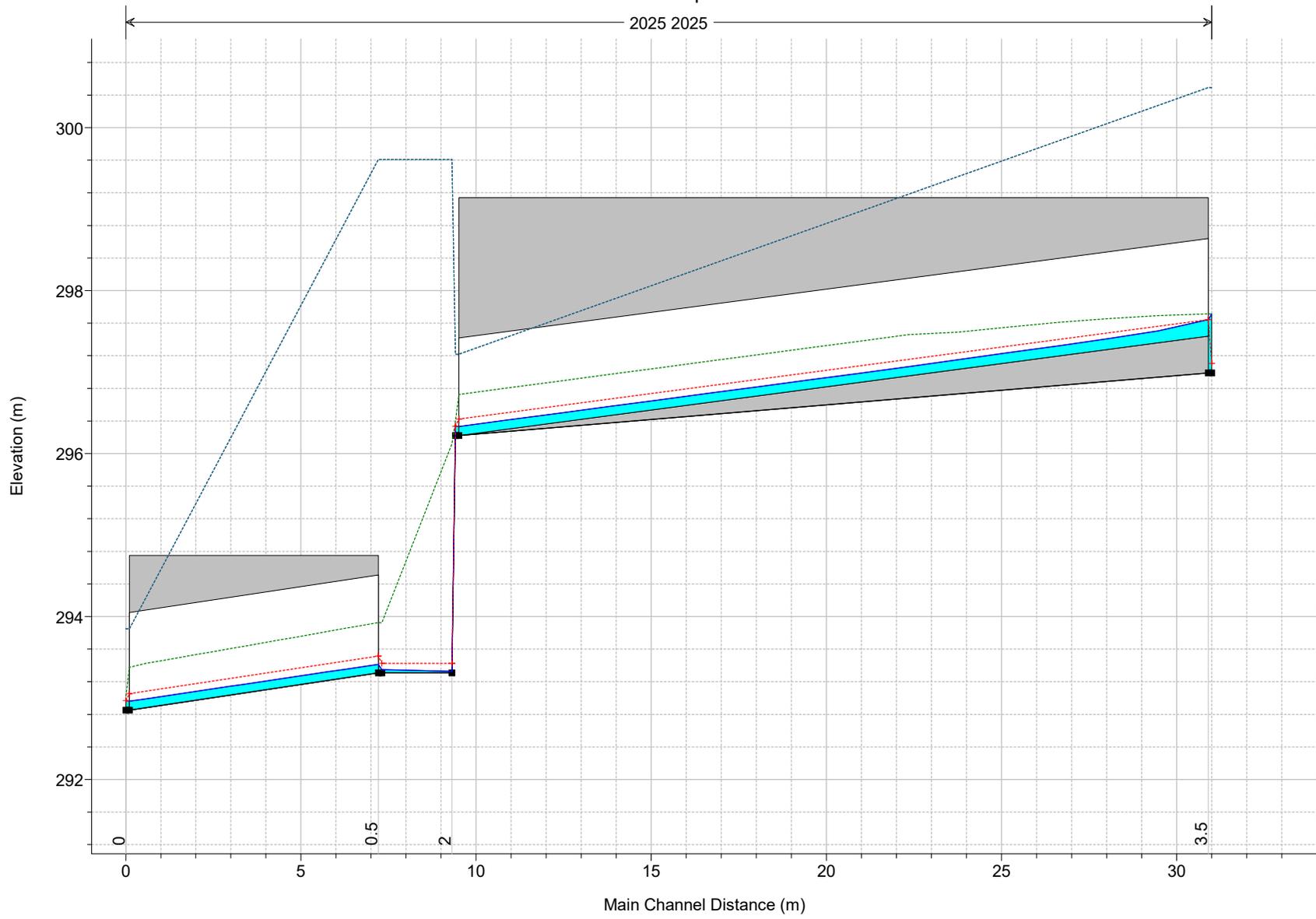
POST OPERAM

HEC-RAS Plan: P189 River: 2025 Reach: 2025 Profile: Tr 200

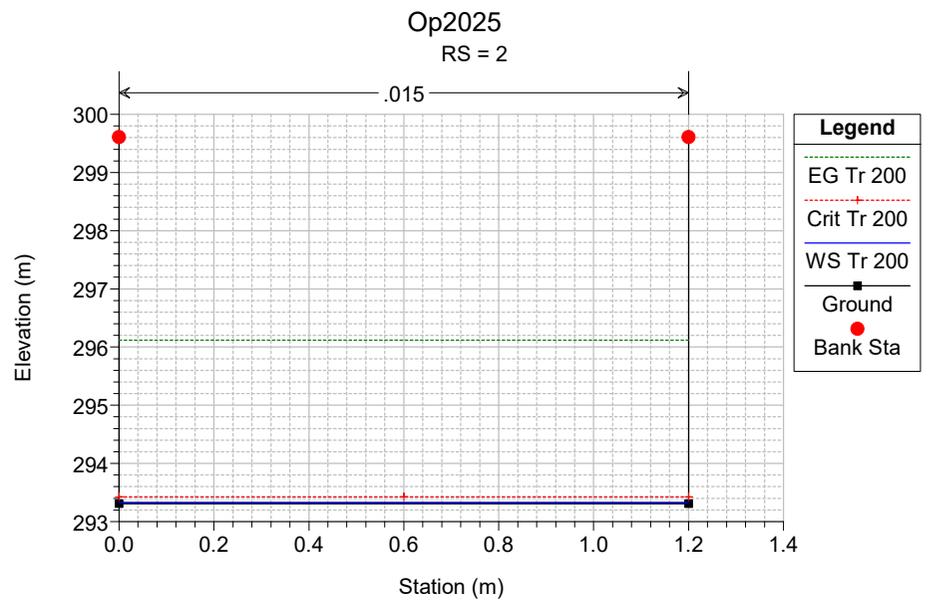
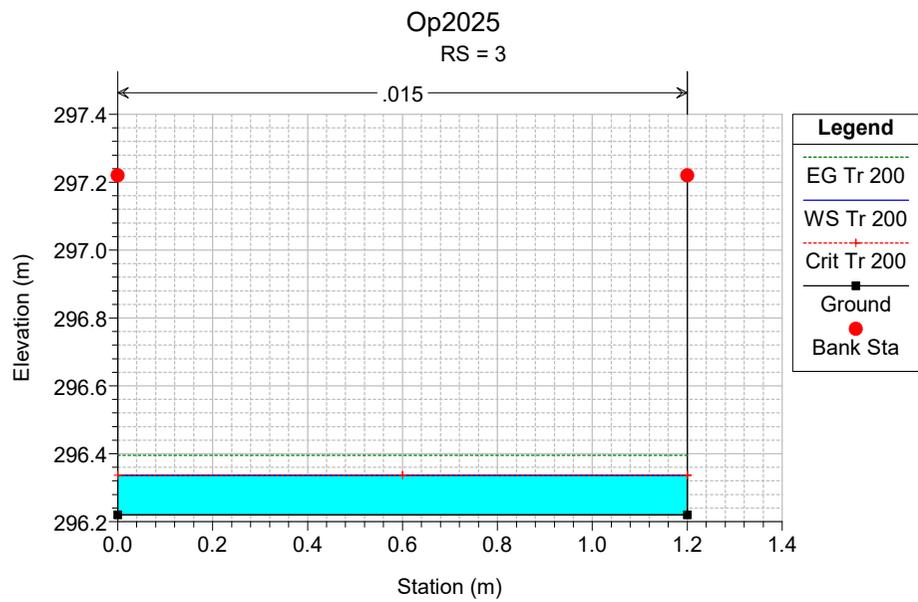
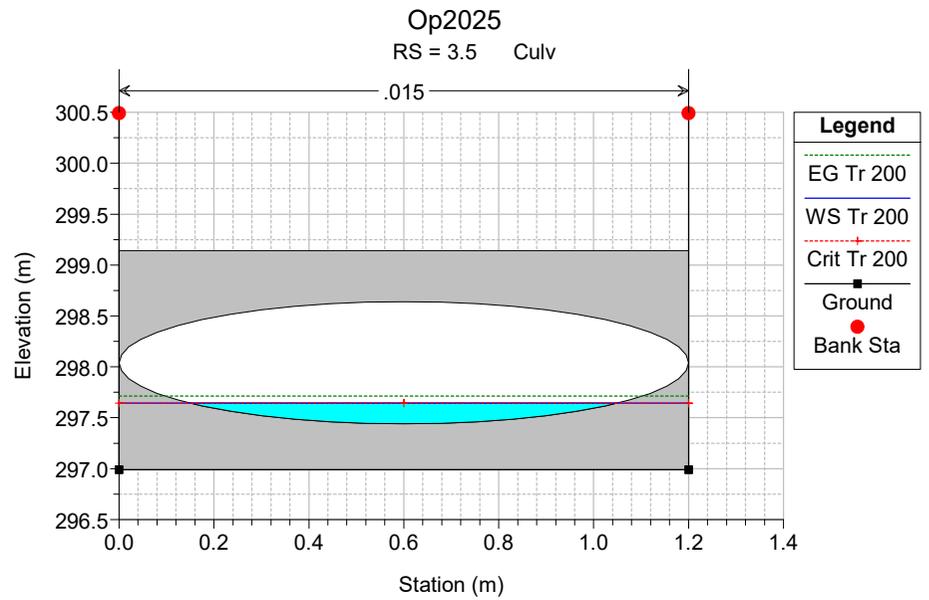
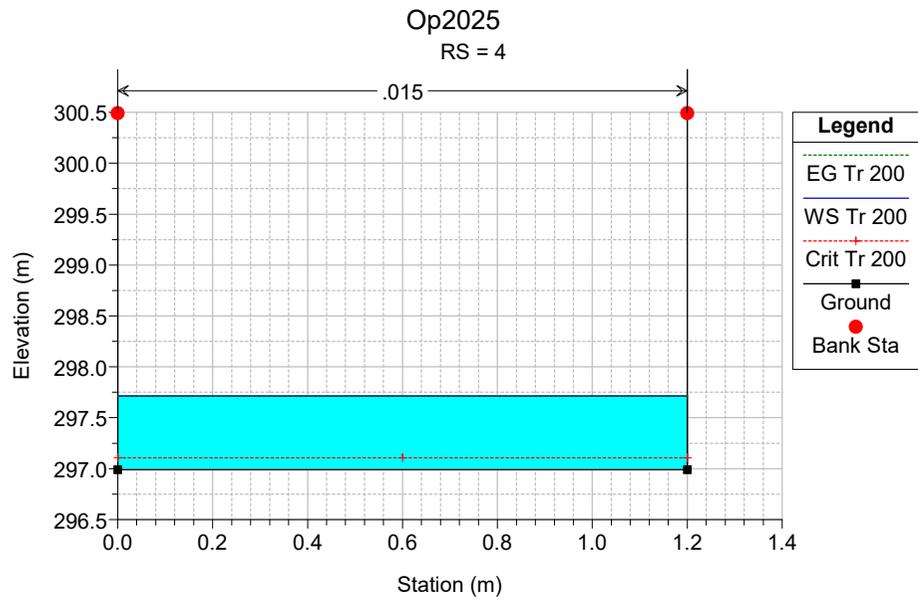
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
2025	4	Tr 200	0.15	296.99	297.71	297.11	297.71	0.000030	0.17	0.87	1.20	0.06
2025	3.5		Culvert									
2025	3	Tr 200	0.15	296.22	296.34	296.34	296.40	0.005820	1.08	0.14	1.20	1.01
2025	2	Tr 200	0.15	293.31	293.33	293.43	296.12	2.949926	7.40	0.02	1.20	18.18
2025	1	Tr 200	0.15	293.31	293.35	293.43	293.92	0.220807	3.36	0.04	1.20	5.55
2025	0.5		Culvert									
2025	0	Tr 200	0.15	292.85	292.97	292.97	293.03	0.005820	1.08	0.14	1.20	1.01

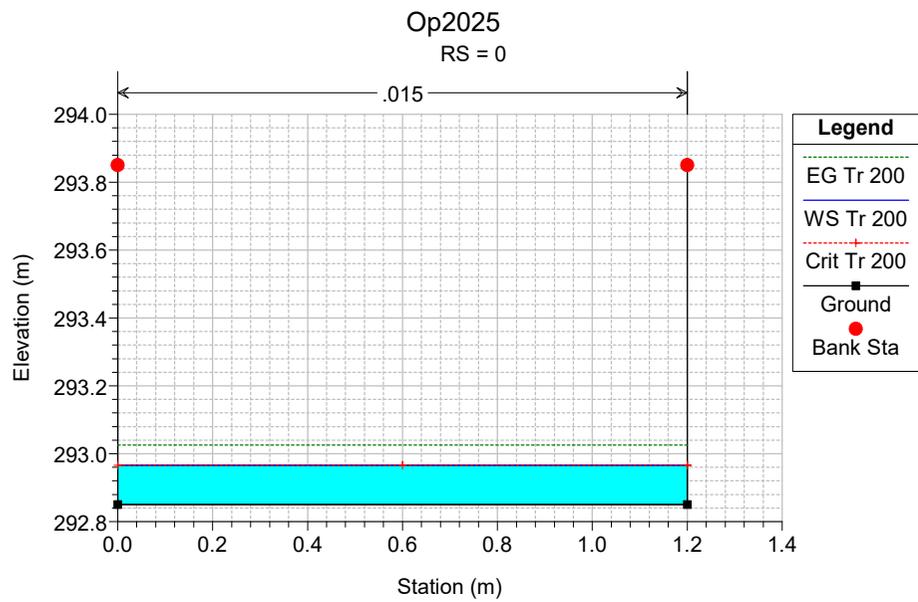
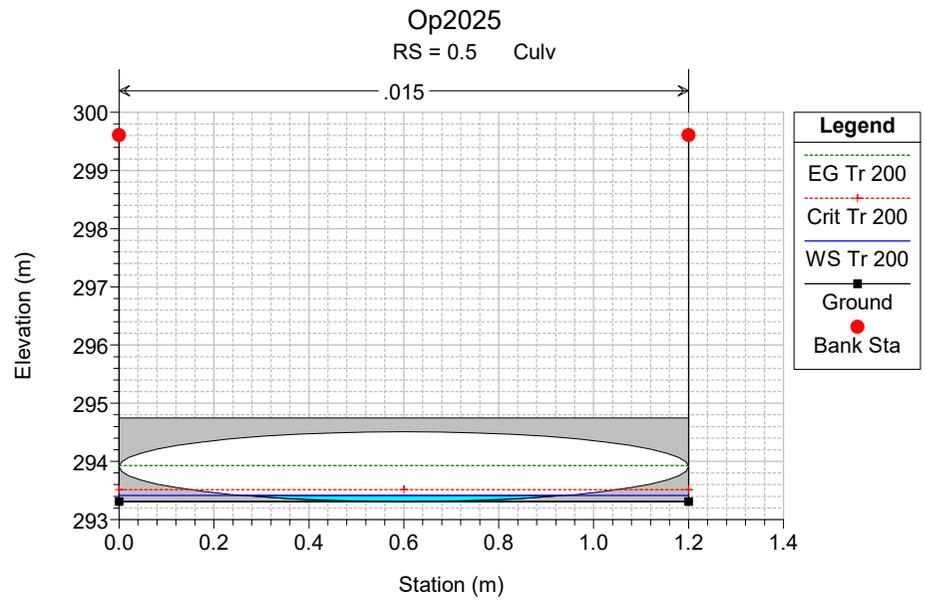
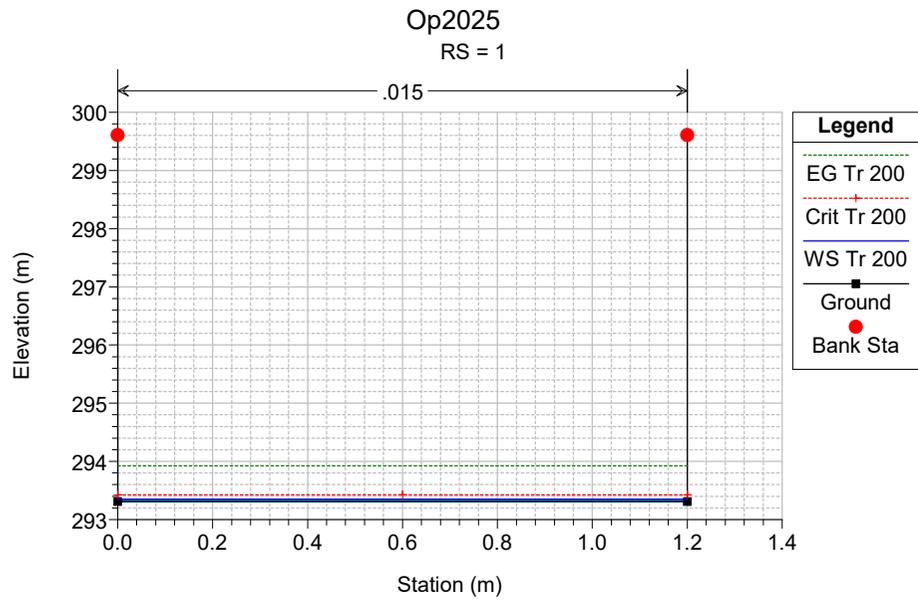
Op2025

2025 2025



Legend	
EG Tr 200	(Green dashed line)
WS Tr 200	(Blue solid line)
Crit Tr 200	(Red dashed line)
Ground	(Black solid line)
LOB	(Purple dashed line)
ROB	(Cyan dashed line)





OPERA 2027

FOSSO PISCINALE

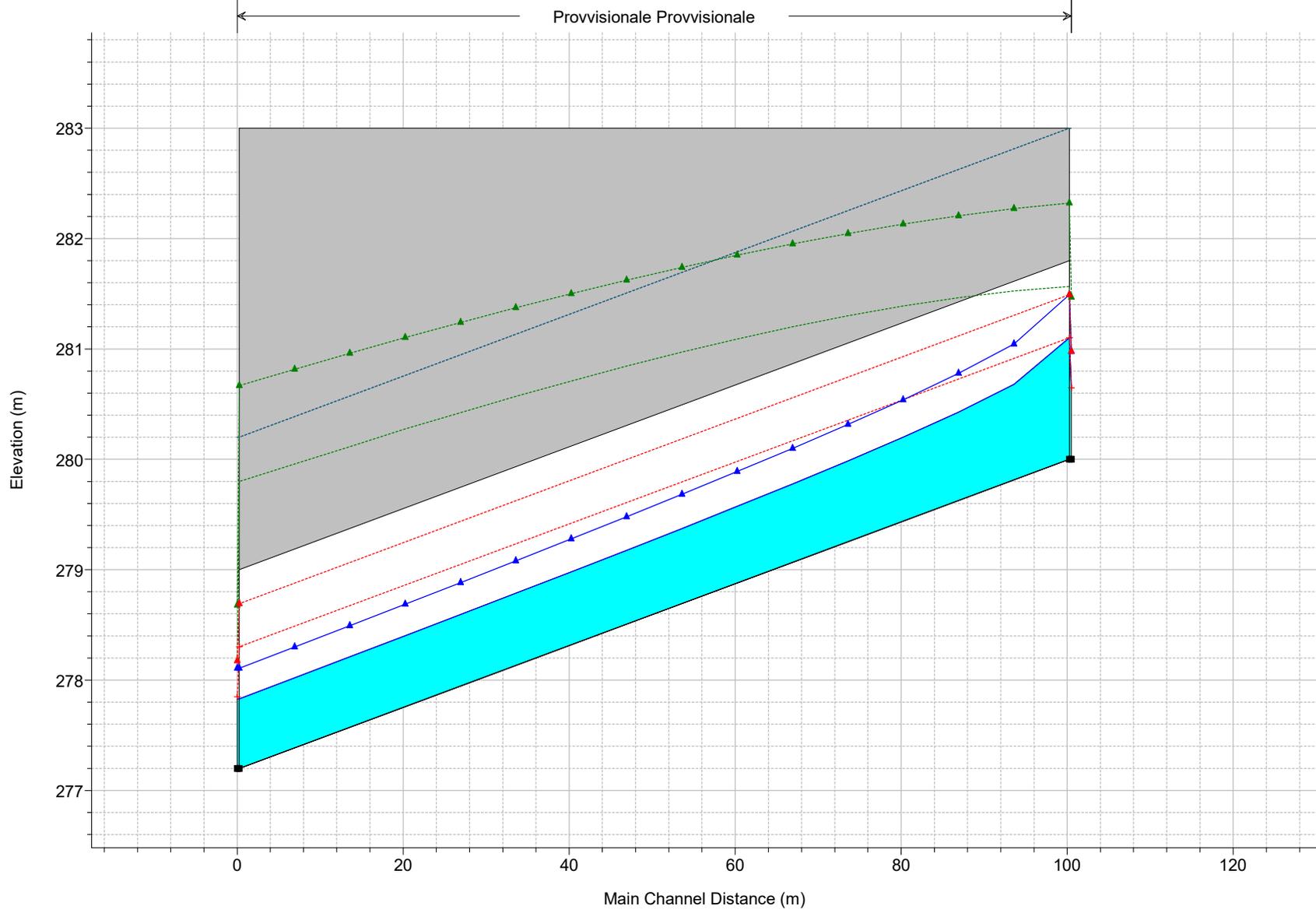
POST OPERAM

HEC-RAS Plan: Plan 07 River: Provvisionale Reach: Provvisionale

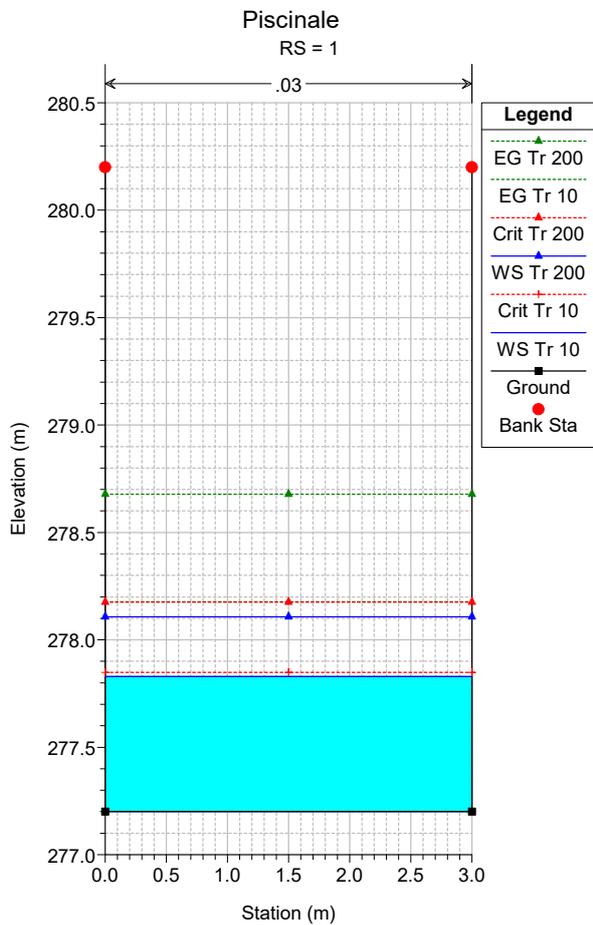
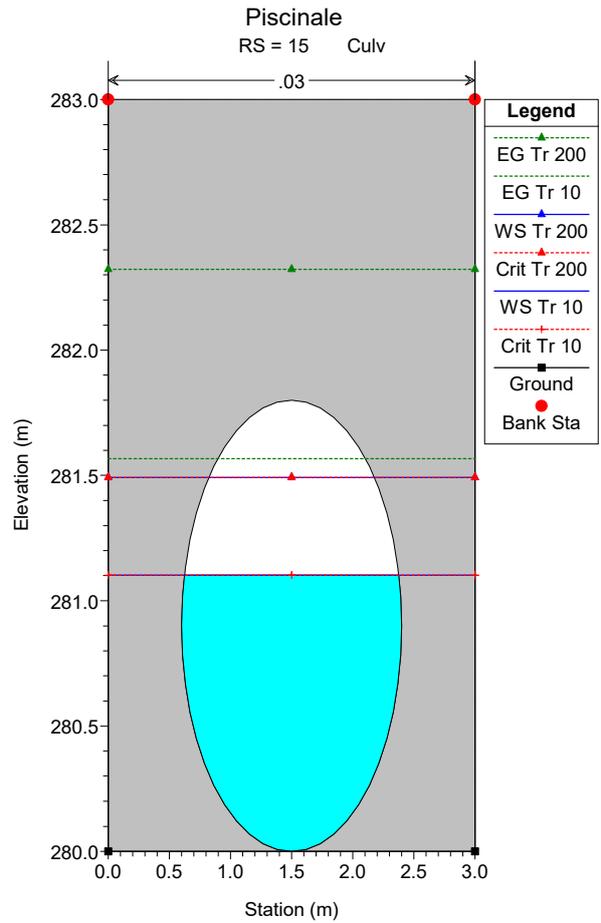
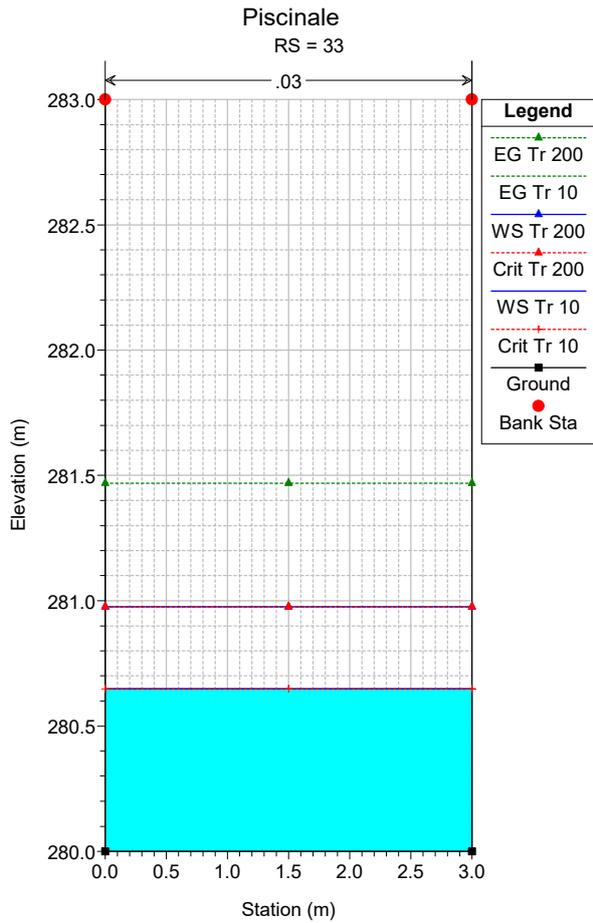
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Provvisionale	33	Tr 10	4.93	280.00	280.65	280.65	280.98	0.016624	2.53	1.95	3.00	1.00
Provvisionale	33	Tr 200	9.10	280.00	280.98	280.98	281.47	0.017542	3.11	2.93	3.00	1.01
Provvisionale	15		Culvert									
Provvisionale	1	Tr 10	4.93	277.20	277.83	277.85	278.18	0.018110	2.61	1.89	3.00	1.05
Provvisionale	1	Tr 200	9.10	277.20	278.11	278.18	278.68	0.021571	3.35	2.72	3.00	1.12

Piscinale

Provisionale Provisionale



Legend	
EG Tr 200	
EG Tr 10	
Crit Tr 200	
WS Tr 200	
Crit Tr 10	
WS Tr 10	
Ground	
LOB	
ROB	



OPERA 2027

FOSSO PISCINALE

POST OPERAM

HEC-RAS Plan: REV2024 River: Piscinale_Proget Reach: Reach 1 Profile: Tr 200

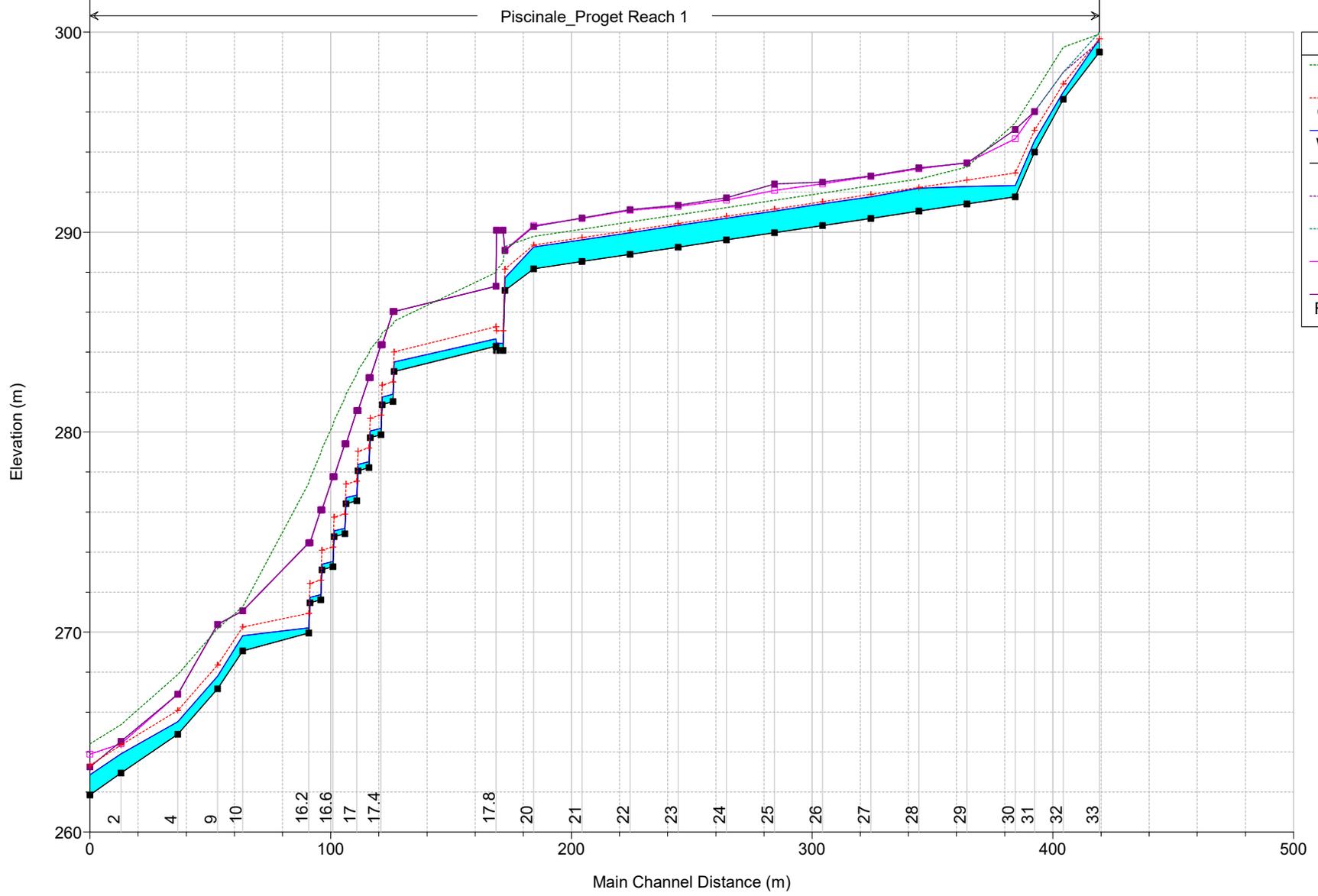
Reach	River Sta		Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Reach 1	33	P-1	Tr 200	9.10	299.00	299.66	299.66	299.90	0.011312	2.17	4.24	9.38	0.99
Reach 1	32	P-2	Tr 200	9.10	296.64	297.02	297.42	299.25	0.235993	6.62	1.38	5.14	4.08
Reach 1	31	P-A	Tr 200	9.10	294.00	294.57	295.09	296.96	0.156053	6.85	1.33	3.19	3.39
Reach 1	30	P-3	Tr 200	9.10	291.77	292.33	292.96	295.46	0.203745	7.83	1.16	2.63	3.76
Reach 1	29	P-4	Tr 200	9.10	291.41	292.29	292.60	293.26	0.040706	4.37	2.08	3.26	1.74
Reach 1	28	P-5	Tr 200	9.10	291.05	292.20	292.23	292.65	0.014384	2.98	3.06	3.81	1.06
Reach 1	27	P-6	Tr 200	9.10	290.69	291.77	291.88	292.32	0.018492	3.27	2.79	3.66	1.20
Reach 1	26	P-7	Tr 200	9.10	290.33	291.42	291.52	291.95	0.018054	3.24	2.81	3.67	1.18
Reach 1	25	P-8	Tr 200	9.10	289.97	291.06	291.16	291.59	0.018013	3.23	2.81	3.68	1.18
Reach 1	24	P-9	Tr 200	9.10	289.61	290.70	290.80	291.23	0.018013	3.23	2.81	3.68	1.18
Reach 1	23	P-10	Tr 200	9.10	289.25	290.34	290.44	290.87	0.017807	3.22	2.82	3.68	1.17
Reach 1	22	P-11	Tr 200	9.10	288.89	289.97	290.08	290.51	0.018259	3.25	2.80	3.67	1.19
Reach 1	21	P-12	Tr 200	9.10	288.53	289.62	289.72	290.15	0.017949	3.23	2.82	3.68	1.18
Reach 1	20	P-13	Tr 200	9.10	288.17	289.26	289.36	289.79	0.017949	3.23	2.82	3.68	1.18
Reach 1	19	P-B	Tr 200	9.10	287.09	287.72	288.16	289.28	0.083831	5.55	1.64	3.25	2.49
Reach 1	18		Tr 200	9.10	284.09	284.43	285.07	288.47	0.098428	8.90	1.02	3.00	4.87
Reach 1	17.9		Tr 200	9.10	284.09	284.45	285.07	288.11	0.084456	8.47	1.07	3.00	4.52
Reach 1	17.8		Tr 200	9.10	284.29	284.67	285.27	287.99	0.072742	8.07	1.13	3.00	4.20
Reach 1	17.7		Tr 200	9.10	283.03	283.51	284.01	285.55	0.034755	6.33	1.44	3.00	2.92
Reach 1	17.6		Tr 200	9.10	281.53	281.90	282.51	285.38	0.078371	8.27	1.10	3.00	4.36
Reach 1	17.5		Tr 200	9.10	281.37	281.75	282.35	284.97	0.069271	7.94	1.15	3.00	4.10
Reach 1	17.4		Tr 200	9.10	279.87	280.19	280.85	284.78	0.120069	9.49	0.96	3.00	5.36
Reach 1	17.3		Tr 200	9.10	279.72	280.06	280.70	284.14	0.099868	8.94	1.02	3.00	4.90
Reach 1	17.2		Tr 200	9.10	278.22	278.51	279.20	283.94	0.155541	10.32	0.88	3.00	6.08
Reach 1	17.1		Tr 200	9.10	278.07	278.39	279.05	283.10	0.125102	9.62	0.95	3.00	5.47
Reach 1	17		Tr 200	9.10	276.57	276.85	277.55	282.90	0.184088	10.89	0.84	3.00	6.59
Reach 1	16.9		Tr 200	9.10	276.42	276.72	277.40	281.91	0.144814	10.08	0.90	3.00	5.87
Reach 1	16.8		Tr 200	9.10	274.92	275.19	275.90	281.69	0.206053	11.29	0.81	3.00	6.96
Reach 1	16.7		Tr 200	9.10	274.77	275.06	275.75	280.58	0.159691	10.41	0.87	3.00	6.15
Reach 1	16.6		Tr 200	9.10	273.27	273.53	274.25	280.35	0.222365	11.57	0.79	3.00	7.21
Reach 1	16.5		Tr 200	9.10	273.11	273.40	274.09	279.17	0.171135	10.64	0.86	3.00	6.36
Reach 1	16.4		Tr 200	9.10	271.61	271.87	272.59	278.94	0.235042	11.77	0.77	3.00	7.41
Reach 1	16.3		Tr 200	9.10	271.46	271.74	272.44	277.68	0.178925	10.79	0.84	3.00	6.50
Reach 1	16.2		Tr 200	9.10	269.96	270.21	270.94	277.45	0.243606	11.91	0.76	3.00	7.54
Reach 1	10	P-E	Tr 200	9.10	269.06	269.81	270.25	271.27	0.070749	5.35	1.70	3.01	2.27
Reach 1	9	P-15	Tr 200	9.10	267.16	267.79	268.35	270.18	0.140051	6.85	1.33	2.75	3.15

HEC-RAS Plan: REV2024 River: Piscinale_Proget Reach: Reach 1 Profile: Tr 200 (Continued)

Reach	River Sta		Profile	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)	
Reach 1	4	P-16	Tr 200	9.10	264.89	265.52	266.08	267.88	0.137451	6.80	1.34	2.75	3.12
Reach 1	2	P-18	Tr 200	9.10	262.95	263.91	264.35	265.37	0.069331	5.35	1.70	2.86	2.22
Reach 1	1	P-19	Tr 200	9.10	261.85	262.86	263.33	264.42	0.077667	5.52	1.65	2.93	2.35

Piscinale

Piscinale_Proget Reach 1



Legend	
EG Tr 200	(Green dashed line)
Crit Tr 200	(Red dashed line with crosses)
WS Tr 200	(Blue solid line)
Ground	(Black solid line with squares)
LOB	(Purple dotted line)
ROB	(Cyan dotted line)
Left Levee	(Magenta solid line with squares)
Right Levee	(Purple solid line with squares)

