

S.G.C. E78 GROSSETO - FANO

Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa.
Adeguamento a 2 corsie del tratto della Variante di Urbania

PROGETTO DEFINITIVO

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A25111</p> <p><i>Ing. Moreno Panfilì</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Müller</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>(Mandante)</p> <p>cooprogetti cocoprogetti</p> <p>(Mandante)</p> <p>engeko</p> <p>(Mandante)</p> <p>AIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri ROMA N° 14035</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

STUDI ED INDAGINI

Idrologia e idraulica

Relazione idraulica attraversamenti maggiori (viadotti)

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00ID00IDRRE04_B		
DPAN247	D	22	CODICE ELAB. T00ID00IDRRE04	B	-
D					
C					
B	Rev. Ist.U.0039705 24/01/22 e Ist.U.0057794 01/02/22	Feb. '22	Capponi	Panfilì	Guiducci
A	Emissione	Ottobre '21	Capponi	Panfilì	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA	2
2. ANALISI IDRAULICA	3
2.1. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2.2. MODELLO IDRAULICO	4
3. OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MAGGIORI	5
3.1. MODELLO IDRAULICO PONTE TRA LE PROGRESSIVE 0+500.00 E 0+520.00	7
3.1.1. <i>Planimetrie, profili e sezioni</i>	7
3.1.2. <i>Outputs numerici</i>	13
3.2. ALLEGATO 2: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "S. ERACLIANO" SUL FIUME BOTTRINA.....	15
3.2.1. <i>Planimetrie, profili e sezioni</i>	15
3.2.2. <i>Outputs numerici</i>	23
3.3. ALLEGATO 3: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "S. CATERINA"	24
3.3.1. <i>Planimetrie, profili e sezioni</i>	24
3.3.2. <i>Outputs numerici</i>	29
3.4. ALLEGATO 3: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "VENTURELLO" SUL FOSSO ISOLA.....	31
3.4.2. <i>Outputs numerici</i>	40
3.5. MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "CERRETO"	42
3.5.1. <i>Planimetrie, profili e sezioni</i>	42
3.5.2. <i>Outputs numerici</i>	46
3.6. ALLEGATO 7: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "METAURO" SUL FIUME METAURO	47
3.6.1. <i>Planimetrie, profili e sezioni</i>	47
3.6.2. <i>Outputs numerici</i>	53
4. ANALISI DELL'EROSIONE ALLA BASE DELLE PILE IN ALVEO DEL VIADOTTO "METAURO" SUL FIUME METAURO	55

1. PREMESSA

Scopo della presente relazione è quello di descrivere le analisi e le verifiche idrauliche condotte nell'ambito del progetto definitivo relativo all'intervento "*E 78 Grosseto – Fano, Tratto Selci - Lama (E 45) - S. Stefano di Gaifa, Adeguamento a 2 corsie del tratto della variante di Urbania*". Pertanto la c.d. Variante di Urbania si inquadra lungo la direttrice della Strada di Grande Comunicazione (S.G.C.) E78 Grosseto-Fano, Tronco Selci Lama - S. Stefano di Gaifa - Lotto 7.

Il presente studio va esaminato congiuntamente all'elaborato T00 ID 00 IDR RE 01 "*Relazione idrologica*", nell'ambito della quale si sono sviluppati i modelli concettuali utili alla definizione delle portate di riferimento.

In particolare, la presente relazione contiene le verifiche idrauliche finalizzate alla valutazione delle possibili interferenze tra le correnti di piena e le opere di attraversamento per scenari caratterizzati da tempo di ritorno pari a 200 anni. L'analisi è stata condotta con lo scopo di verificare il franco idraulico. Le principali interferenze del tracciato, per le quali si sono attenzionati questi aspetti specifici, sono:

1. ponte tra le progressive 0+500 e 0+520;
2. viadotto S. Eracliano sul fiume Bottrina;
3. viadotto S. Caterina;
4. viadotto Venturello sul fosso Isola
5. viadotto Cerreto
6. Viadotto Metauro sul fiume Metauro

PROGETTAZIONE ATI:

2. ANALISI IDRAULICA

2.1. RIFERIMENTI NORMATIVI

La verifica idraulica degli attraversamenti è effettuata sulla base di quanto disposto dalle normative vigenti in materia, le quali vengono di seguito elencate:

- Regio Decreto 25 luglio 1904, n°523 “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”
- D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” (G.U. n.8 del 20/02/2018) - comma 5.1.2.3 “Compatibilità idraulica”
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (G.U. n.5 del 21/01/2019) - – cap. 5.1. Ponti stradali – Comma 5.1.2.3 “Compatibilità idraulica”

Per la progettazione dei ponti, la normativa prescrive che:

- Portata di progetto: *Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni ($T_r=200$) (D.M. 17/01/2018 - comma 5.1.2.3)*
- Alveo: *Ai fini dell’applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s’intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. (Circolare 21 gennaio 2019 - comma 5.1.2.3)*
- Posizionamento pile e spalle: *Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d’acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.*
- Franco idraulico: *Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l’intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l’intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l’intradosso delle strutture non sia costituito da un’unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m. (D.M. 17/01/2018 - comma 5.1.2.3)*
- Quota sottotrave: *Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d’acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell’attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6÷7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla*

PROGETTAZIONE ATI:

quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature. (Circolare 21 gennaio 2019 - comma 5.1.2.3)

- Tombino: La Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019, contenente le istruzioni per l'applicazione delle NTC 2018, al punto C5.1.2.3 *Compatibilità Idraulica*, precisa che per tombino si intende "un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 mc/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comune un tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti". Relativamente al franco nei tombini la predetta circolare prescrive che "nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idraulico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 50 cm".

2.2. MODELLO IDRAULICO

I fenomeni di deflusso in esame si caratterizzano per la prevalenza di una dimensione rispetto alle altre, ed appare quindi del tutto ragionevole l'accettazione della ipotesi di monodimensionalità del moto. Un ragionevole compromesso tra l'accuratezza e lo sforzo computazionale appare pertanto quello di limitare la simulazione, in condizioni di portate estreme, all'ipotesi di condizioni di quasi stazionarietà concomitanti con il passaggio del colmo di piena, ed adottando differenti coefficienti di scabrezza e di ragguaglio delle velocità per le aree golenali, rispetto all'alveo vero e proprio. Anche in tali condizioni, assai incerte rimangono le determinazioni relative alla effettiva direzione del moto ed al conseguente fenomeno di riduzione delle distanze, per effetto dei tagli temporanei di eventuali curve, e delle conseguenti accentuazioni della pendenza idrica locale.

Al fine di valutare le condizioni di sicurezza dal punto di vista idraulico delle predette opere di attraversamento, per ciascuna di esse è stata sviluppata una modellazione in moto permanente mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS (River Analysis System) versione 5.0.7, sviluppato presso l'Hydrologic Engineering Center, dall'United States Army Corps of Engineers. per l'esauritiva trattazione dei principi teorici sui quali si basa la soluzione numerica delle equazioni di moto e di continuità che regolano il processo di moto si rimanda all'indirizzo internet <http://www.hec.usace.army.mil> (in particolare alle pubblicazioni "Hydraulic Reference Manual", e "User's Manual").

3. OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MAGGIORI

La geometria delle sezioni fluviali è stata desunta da apposito rilievo topografico effettuato nell'ambito del presente progetto.

Il coefficiente di scabrezza dei corsi d'acqua, avendo adottato la formulazione di Manning, è stato assunto come indicato nella tabella seguente:

Opera	Alveo ordinario (Manning $m^{-1/3}s$)	Aree golenali (Manning $m^{-1/3}s$)
ponte tra le progressive 0+500 e 0+520	0.04	0.06
viadotto S. Eracliano sul fiume Bottrina	0.04	0.06
viadotto S. Caterina	0.04	0.06
viadotto Venturello sul fosso Isola	0.04	0.06
viadotto Cerreto	0.04	0.06
viadotto Metauro sul fiume Metauro	0.035	0.07

Per svolgere la simulazione e calcolare il livello del pelo libero in una data sezione, è necessario conoscere la medesima grandezza in una sezione prossima a questa, a monte o a valle a seconda del regime di corrente.

Il programma provvede automaticamente al riconoscimento per tratti del regime di corrente che si può effettivamente instaurare per la portata assegnata e, se in un tratto la corrente ad esempio è veloce, esso adotterà quale altezza di riferimento quella fornita in input per l'estremo di monte; viceversa, se la corrente del tratto è lenta, quale altezza di controllo sarà adottata quella fornita in input per la sezione terminale di valle. Nei tratti intermedi il programma adotta analoghi criteri ed è in grado di processare situazioni in cui i due regimi si susseguono in qualsiasi ordine.

Per effettuare la simulazione è quindi necessario imporre delle condizioni al contorno a monte e a valle dei tratti in esame. Com'è noto questa condizione può essere imposta in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme, scala di deflusso.

A questo proposito va tuttavia osservato che il metodo d'integrazione numerica adottato dal software ("Standard step method") è intrinsecamente autoregolante, ovvero, dopo pochi step spaziali (sezioni), l'altezza della corrente risulta invariante rispetto alla condizione al contorno adottata. Per questo motivo, eventuali imprecisioni nella valutazione delle altezze di controllo diventano inessenziali se si dispone di un numero di sezioni in eccesso rispetto a quelle strettamente occorrenti per l'estensione del tratto da indagare.

Quali condizioni al contorno di monte e di valle si è optato per l'altezza di moto uniforme.

Nella tabella seguente, con riferimento alla sezione posta immediatamente a monte di ciascuno degli attraversamenti oggetto di analisi, si indica: la portata duecentennale di riferimento (in mc/s), il livello idrico (m.s.l.m.), la quota di intradosso del manufatto di progetto (m.s.l.m.).

PROGETTAZIONE ATI:

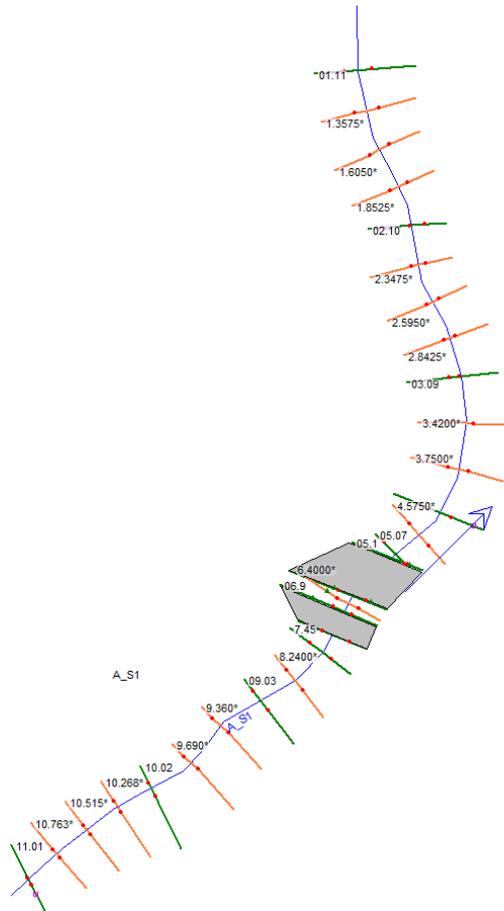
Attraversamento	QTR200 [mc/s]	Livello idrico [m s.l.m.]	Quota intradosso [m s.l.m.]	Franco [m]
<i>ponte tra le progressive 0+500 e 0+520 – sez.7.00</i>	6.07	309.79	313.00	3.21
<i>ponte sulla viabilità esistente a monte del ponte di progetto tra le progressive 0+500 e 0+520 – sez.5.50</i>	6.07	307.99	312.00	4.01
<i>viadotto S. Eracliano sul fiume Bottrina – sez. 5.00</i>	29.00	287.78	304.27	16.49
<i>viadotto S. Eracliano sull'affluente di destra del fiume Bottrina – sez. 3.80</i>	0.83	297.09	305.19	8.10
<i>viadotto S. Caterina – sez. 6.00</i>	7.88	295.63	309.40	13.77
<i>viadotto Venturello sul fosso Isola sez. 5.00</i>	38.69	259.99	298.34	38.35
<i>tombino scatolare 2m x 2m sull'affluente di sinistra del fosso Isola – sez.5.00</i>	6.30	288.83	289.83	1.00
<i>viadotto Venturello sull'affluente di sinistra del fosso Isola – sez.4.35</i>	6.30	287.30	295.55	8.25
<i>viadotto Cerreto – sez. 4.00</i>	5.68	245.12	269.54	24.42
<i>viadotto Metauro sul fiume Metauro – sez. 7.50</i>	823.98	240.50	252.10	11.6

Nei paragrafi seguenti si riportano gli outputs grafici e numerici delle simulazioni effettuate.

PROGETTAZIONE ATI:

3.1. MODELLO IDRAULICO PONTE TRA LE PROGRESSIVE 0+500.00 E 0+520.00

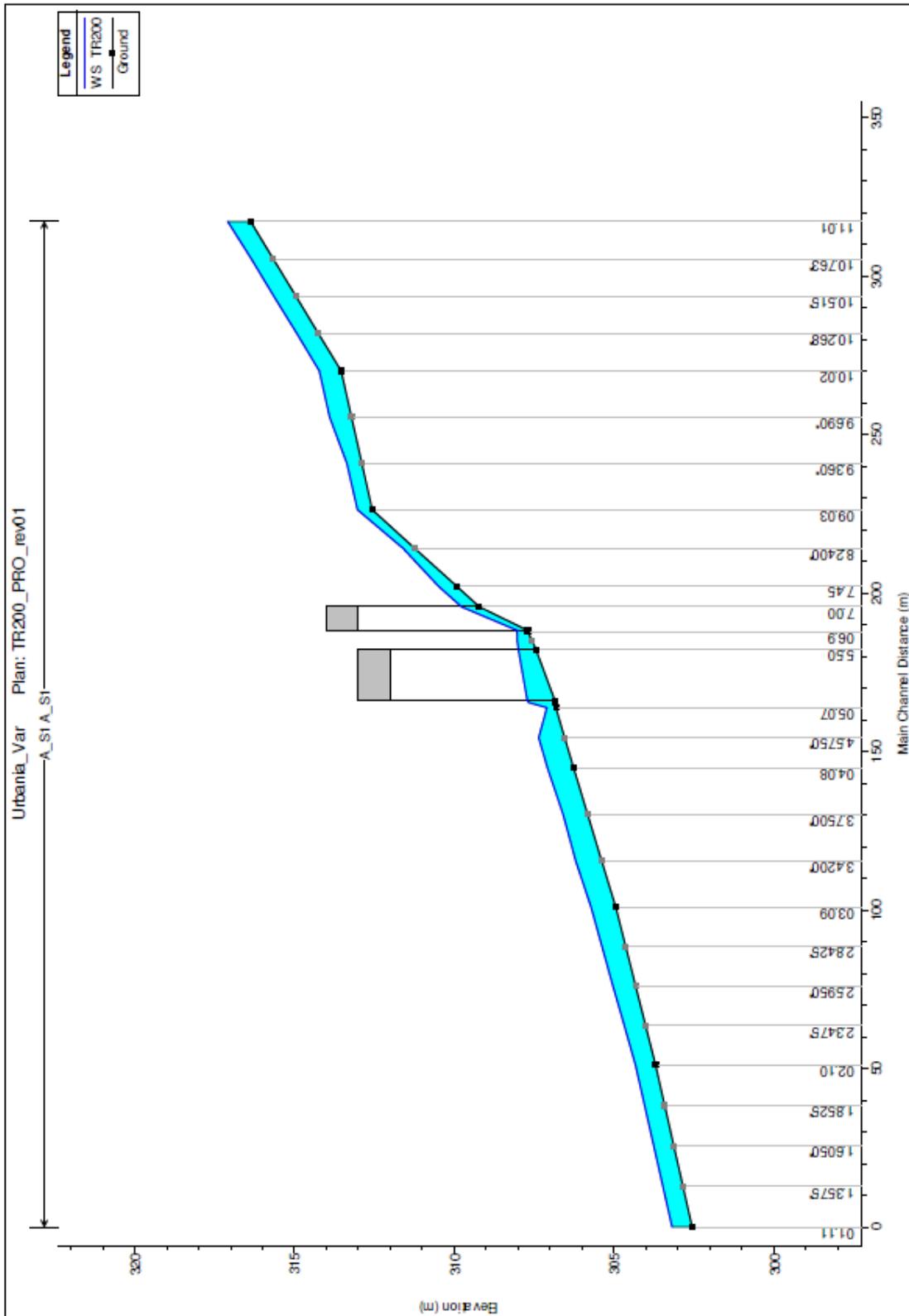
3.1.1. Planimetrie, profili e sezioni



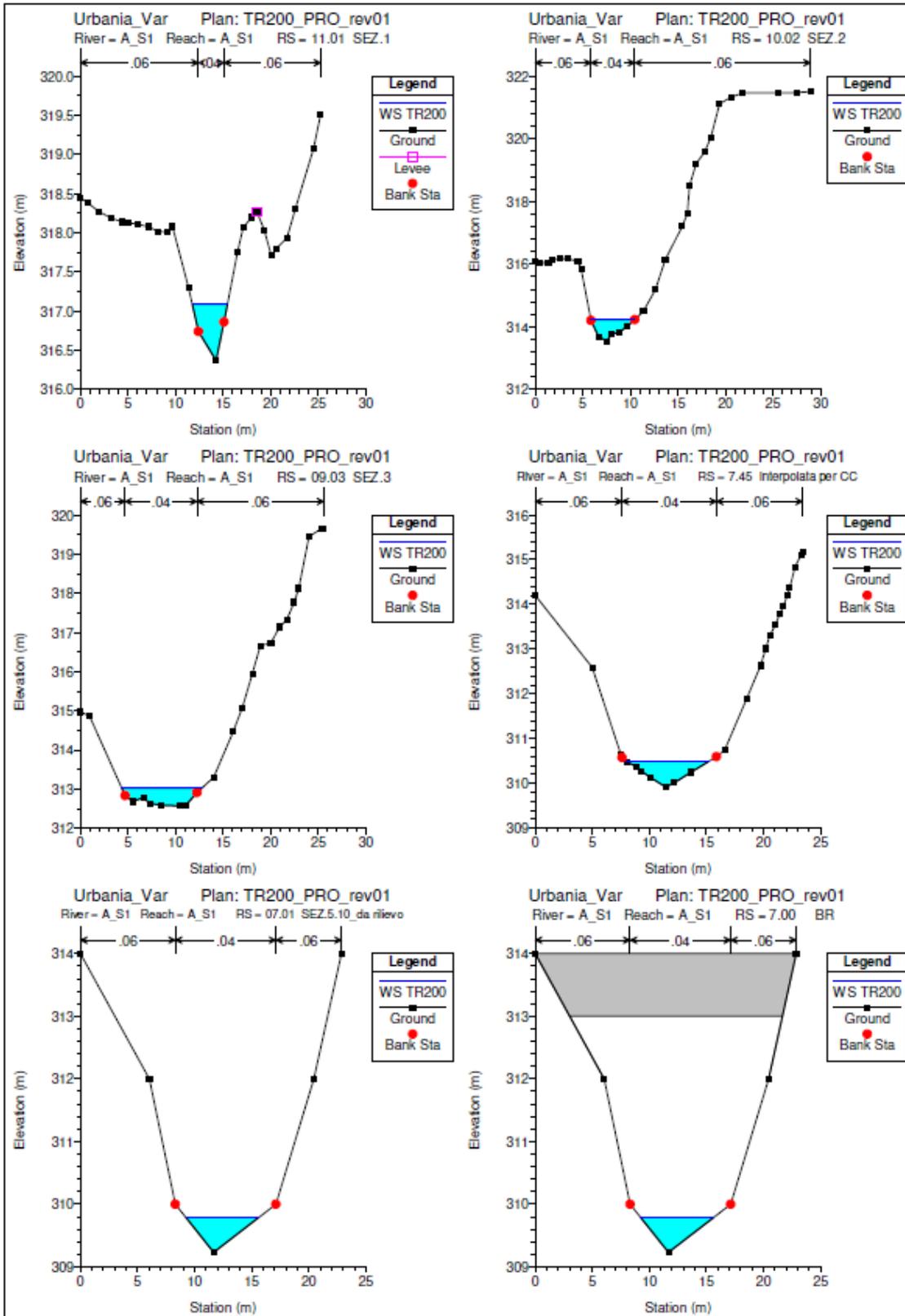
PROGETTAZIONE ATI:



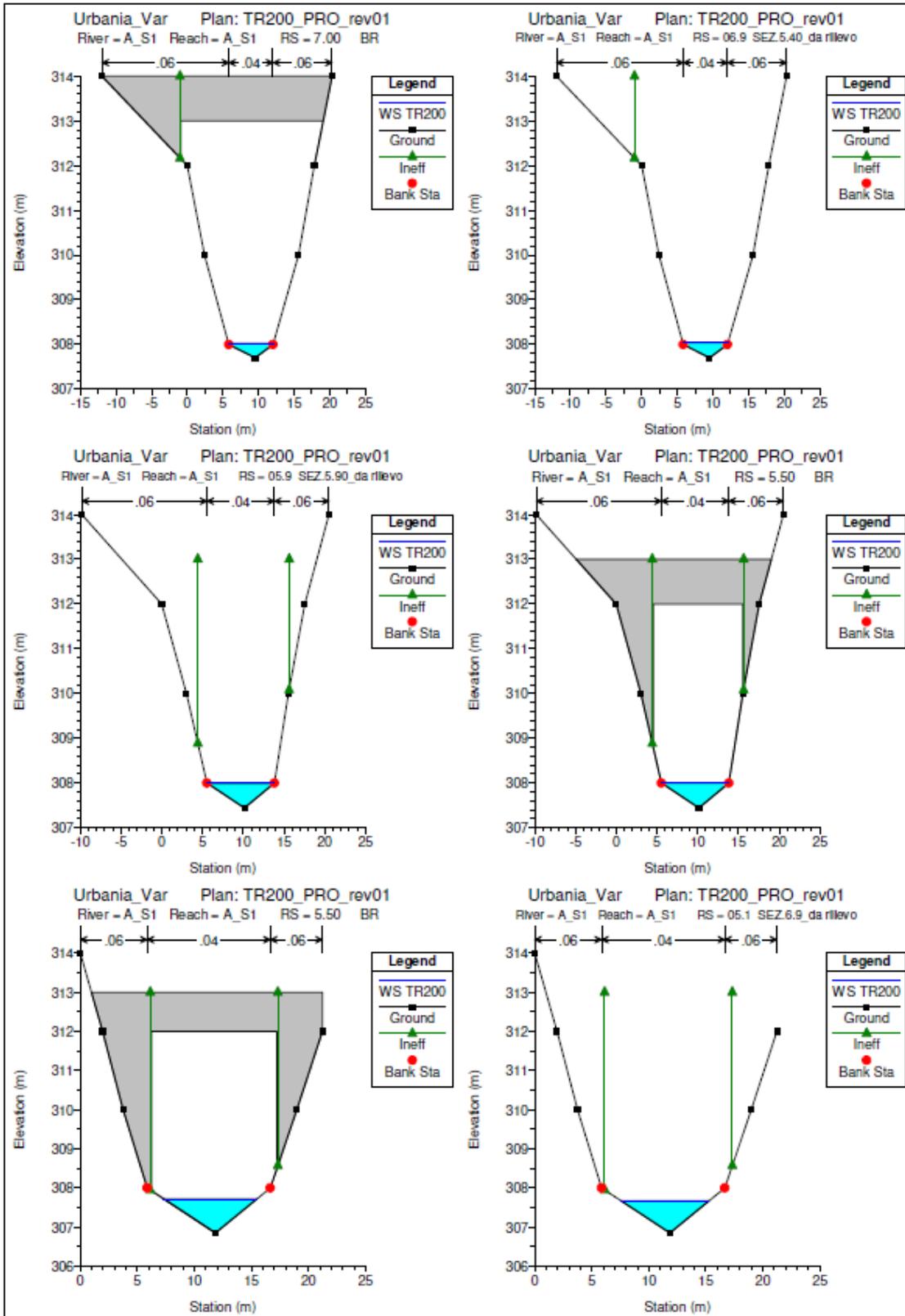
PROGETTAZIONE ATI:



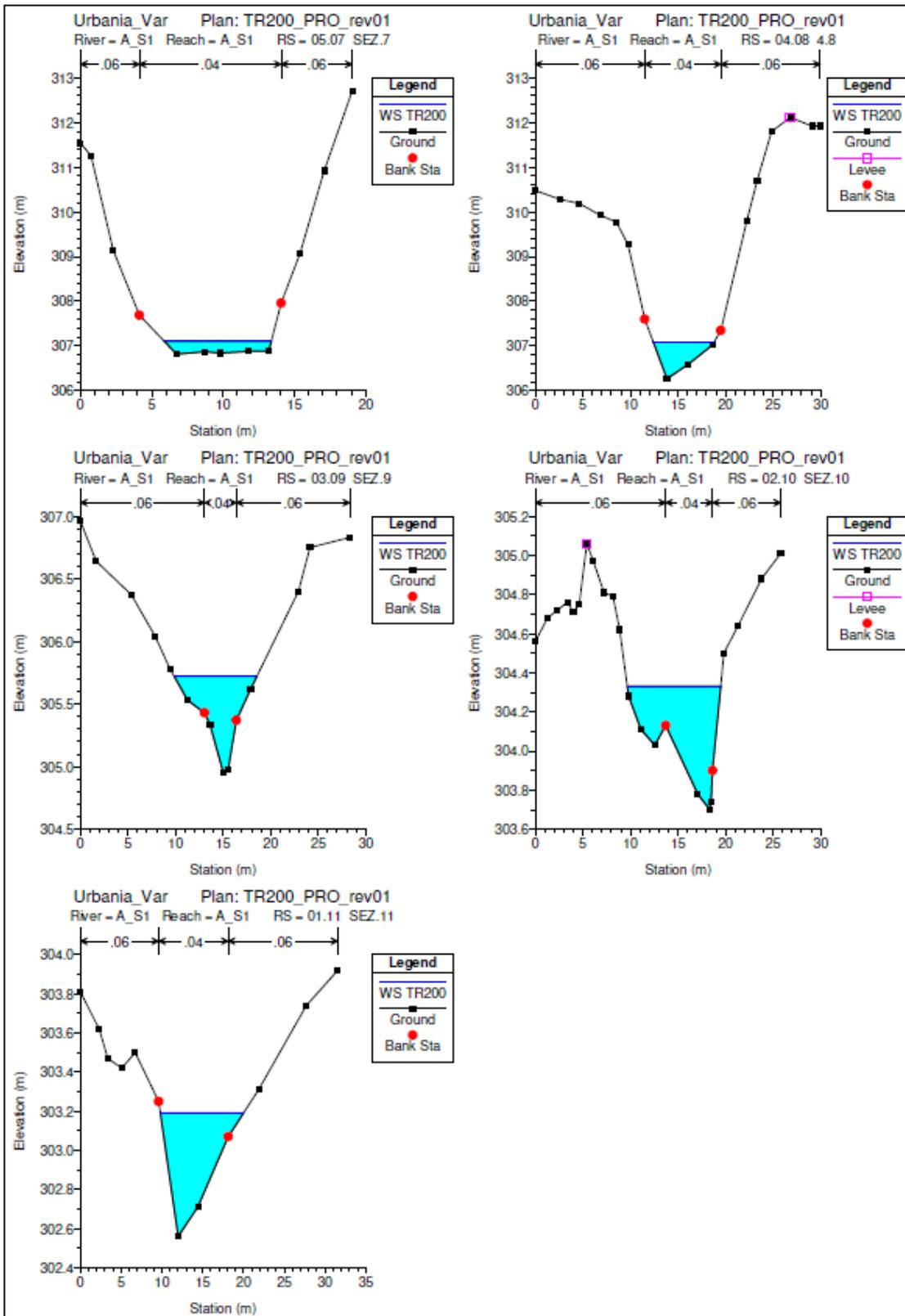
PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

3.1.2. Outputs numerici

Tabella 3-1: outputs numerici nel tratto oggetto di analisi

HEC-RAS Plan: TR200_PRO_rev01 River: A_S1 Reach: A_S1 Profile: TR200

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
A_S1	11.01	TR200	5.35	316.37	317.09	317.33	317.79	0.060010	3.77	1.53	3.69	1.68
A_S1	10.02	TR200	5.35	313.54	314.23	314.37	314.72	0.061939	3.11	1.72	4.60	1.62
A_S1	09.03	TR200	5.35	312.57	313.03	313.03	313.21	0.022551	1.91	2.85	8.45	1.01
A_S1	7.45	TR200	6.07	309.92	310.49	310.63	310.92	0.071633	2.91	2.09	7.20	1.72
A_S1	07.01	TR200	6.07	309.23	309.79	309.98	310.39	0.106625	3.44	1.77	6.36	2.08
A_S1	7.00	Bridge										
A_S1	06.9	TR200	6.07	307.70	308.04	308.31	309.35	0.371828	5.07	1.20	6.36	3.69
A_S1	05.9	TR200	6.07	307.44	307.99	308.09	308.36	0.064169	2.67	2.27	8.20	1.62
A_S1	5.50	Bridge										
A_S1	05.1	TR200	6.07	306.85	307.67	307.67	307.86	0.019958	1.92	3.16	7.71	0.96
A_S1	05.07	TR200	6.07	306.82	307.11	307.29	307.73	0.141851	3.50	1.73	7.50	2.32
A_S1	04.08	TR200	6.07	306.27	307.09	307.09	307.33	0.024243	2.17	2.79	6.40	1.05
A_S1	03.09	TR200	6.07	304.95	305.72	305.83	306.07	0.029051	2.80	2.81	8.73	1.20
A_S1	02.10	TR200	6.07	303.70	304.33	304.39	304.57	0.026517	2.34	3.22	9.83	1.12
A_S1	01.11	TR200	6.07	302.56	303.19	303.21	303.38	0.021620	1.91	3.27	10.22	0.99

Tabella 3-2: outputs numerici alla sezione 7.00 a monte del ponte di progetto sulla viabilità secondaria per TR=200 anni

Plan: TR200_PRO_re A_S1 A_S1 RS: 7.00 Profile: TR200

E.G. US. (m)	310.39	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	309.79	E.G. Elev (m)	310.38	309.60
Q Total (m3/s)	6.07	W.S. Elev (m)	309.79	308.03
Q Bridge (m3/s)	6.07	Crit W.S. (m)	309.98	308.31
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	0.56	0.33
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	3.41	5.55
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	1.78	1.09
Weir Submerg		Froude # Chl	2.06	4.23
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	2.44	3.56
Min El Weir Flow (m)	314.00	Hydr Depth (m)	0.28	0.17
Min El Prs (m)	313.00	W.P. Total (m)	6.49	6.34
Delta EG (m)	1.86	Conv. Total (m3/s)	18.8	8.5
Delta WS (m)	1.74	Top Width (m)	6.39	6.30
BR Open Area (m2)	43.14	Frctn Loss (m)	1.19	0.10
BR Open Vel (m/s)	5.55	C & E Loss (m)	0.05	0.05
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	279.93	853.25
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	953.27	4737.78

Tabella 3-3: outputs numerici alla sezione 5.50 a monte del ponte di progetto sulla viabilità principale tra le progressive 0+500.00 e 0+520.00 per TR=200 anni

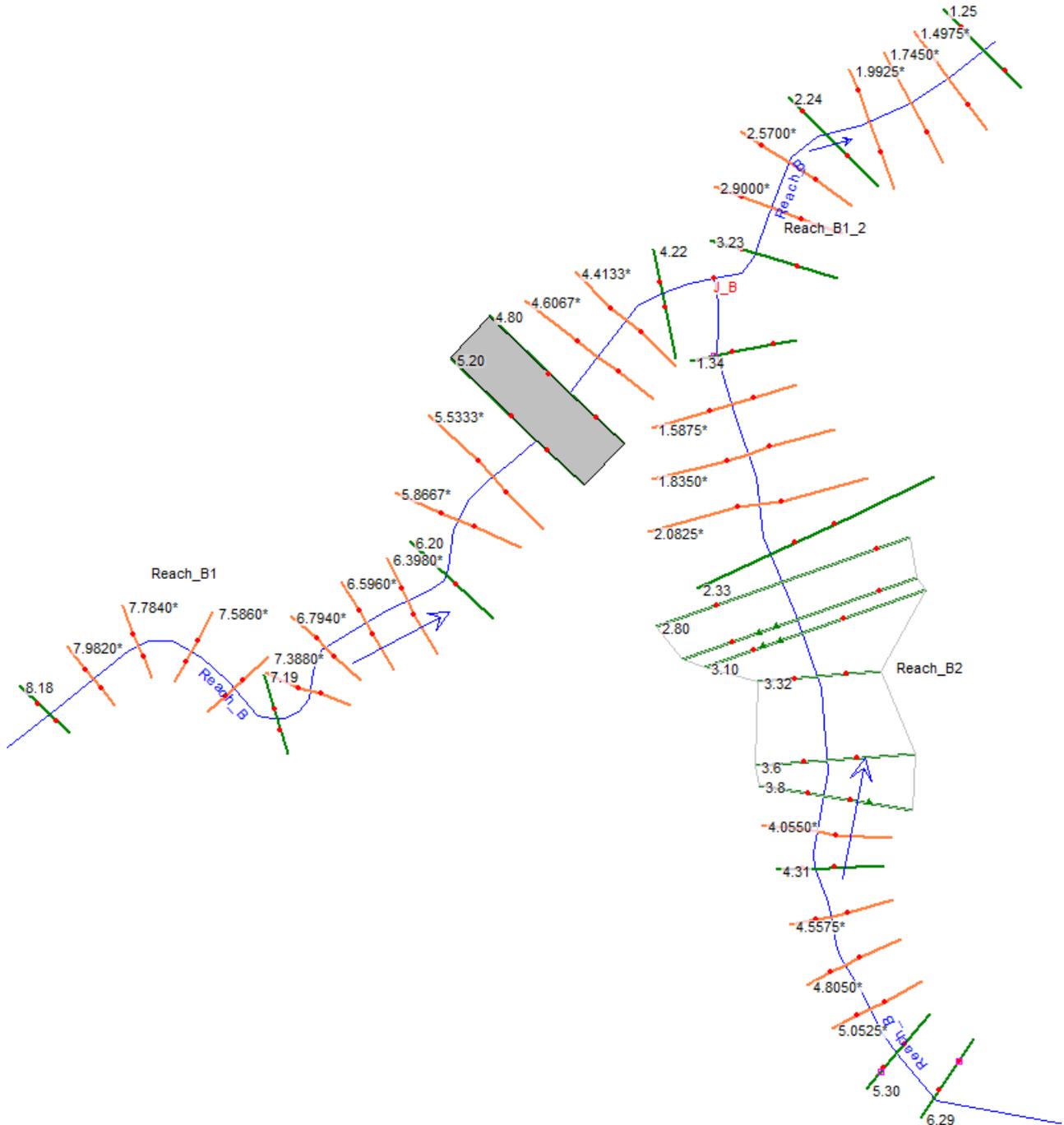
Plan: TR200_PRO_re A_S1 A_S1 RS: 5.50 Profile: TR200

E.G. US. (m)	308.36	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	307.99	E.G. Elev (m)	308.35	307.87
Q Total (m3/s)	6.07	W.S. Elev (m)	308.00	307.72
Q Bridge (m3/s)	6.07	Crit W.S. (m)	308.09	307.67
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	0.56	0.87
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.64	1.71
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	2.30	3.54
Weir Submerg		Froude # Chl	1.60	0.83
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	2.06	2.09
Min El Weir Flow (m)	313.00	Hydr Depth (m)	0.28	0.43
Min El Prs (m)	312.00	W.P. Total (m)	8.32	8.34
Delta EG (m)	-0.17	Conv. Total (m3/s)	24.3	50.0
Delta WS (m)	0.32	Top Width (m)	8.25	8.16
BR Open Area (m2)	44.24	Frctn Loss (m)		0.01
BR Open Vel (m/s)	2.64	C & E Loss (m)		0.00
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	168.34	61.29
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	444.90	105.02

PROGETTAZIONE ATI:

3.2. ALLEGATO 2: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "S. ERACLIANO" SUL FIUME BOTTRINA

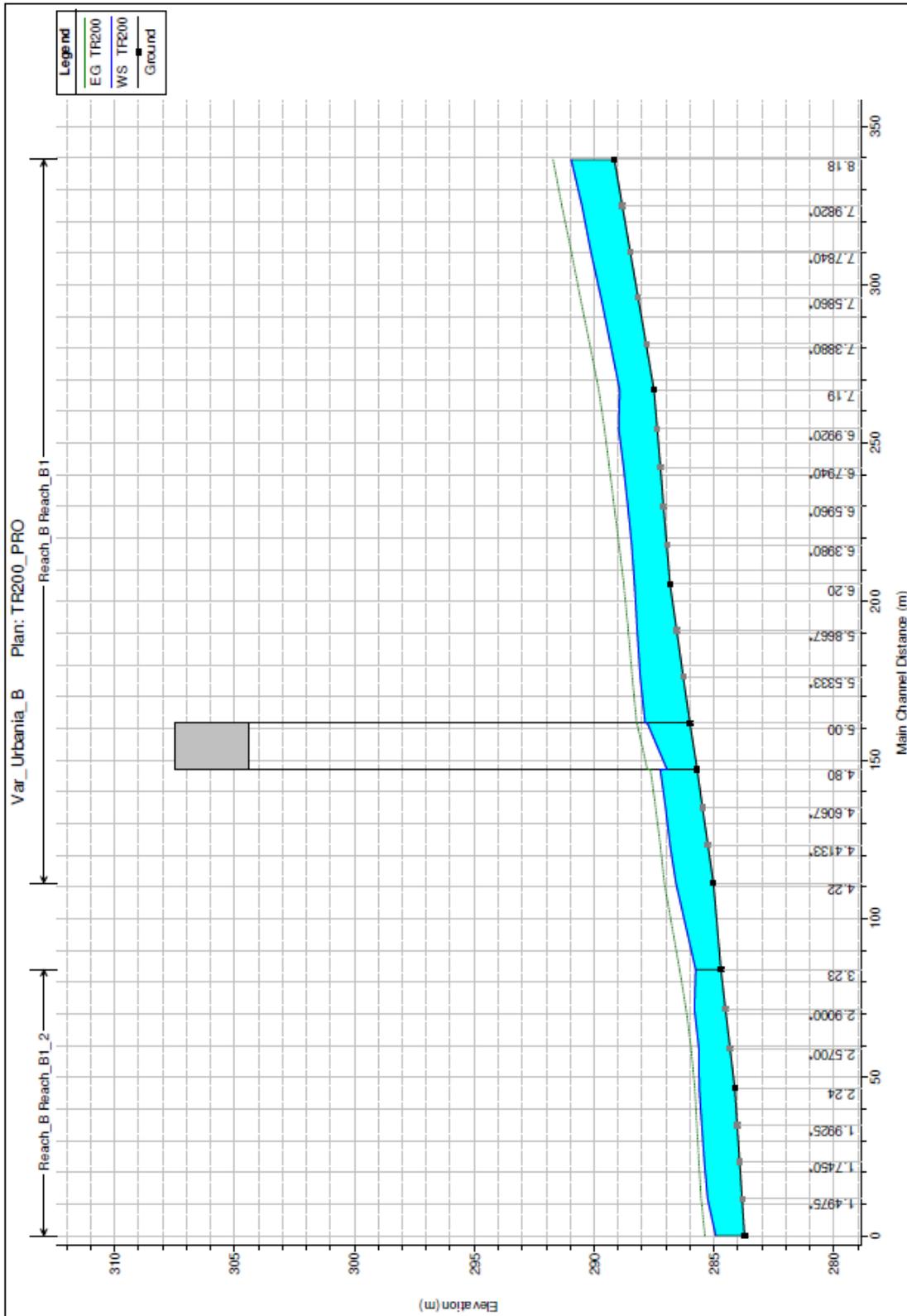
3.2.1. Planimetrie, profili e sezioni



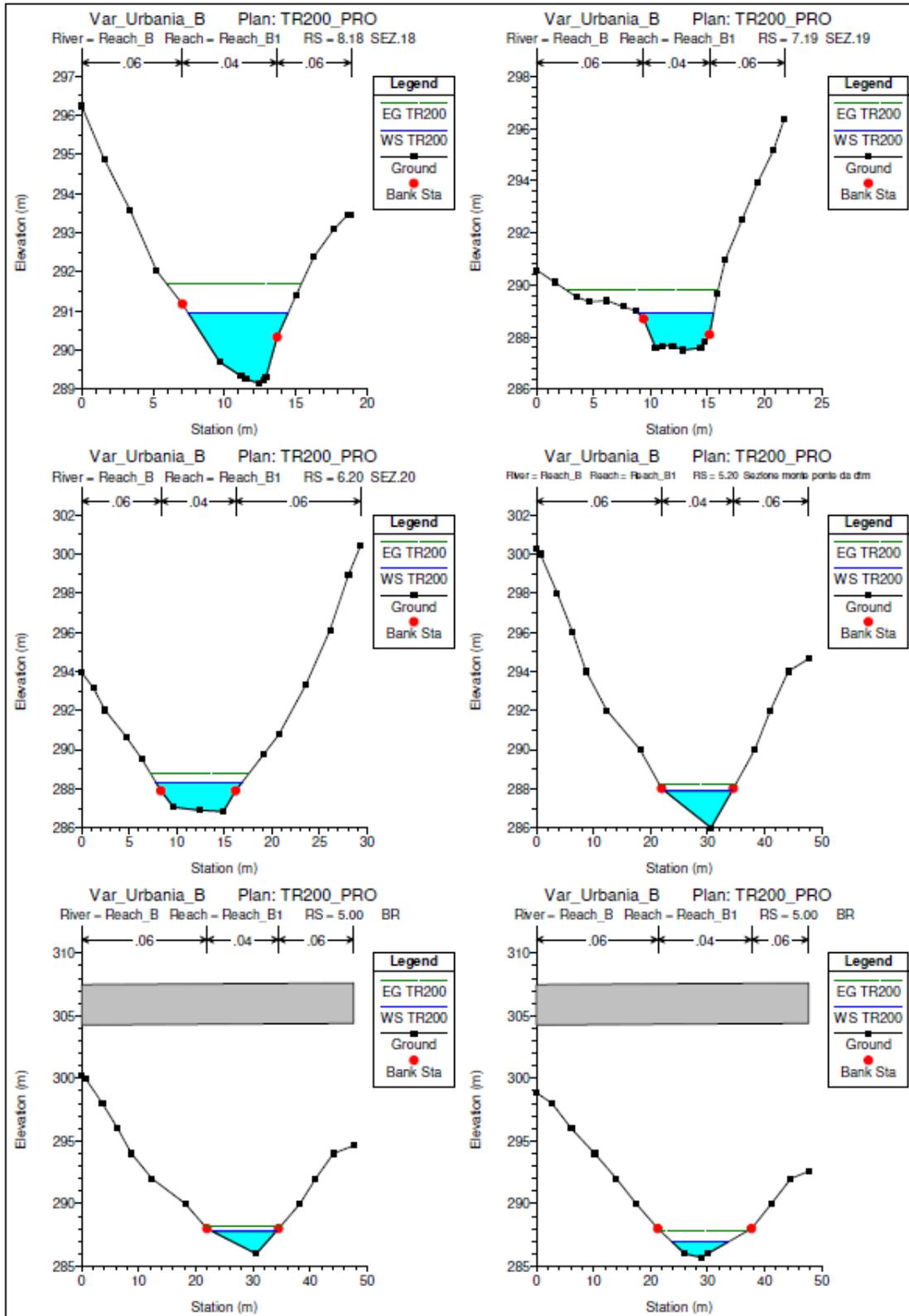
PROGETTAZIONE ATI:



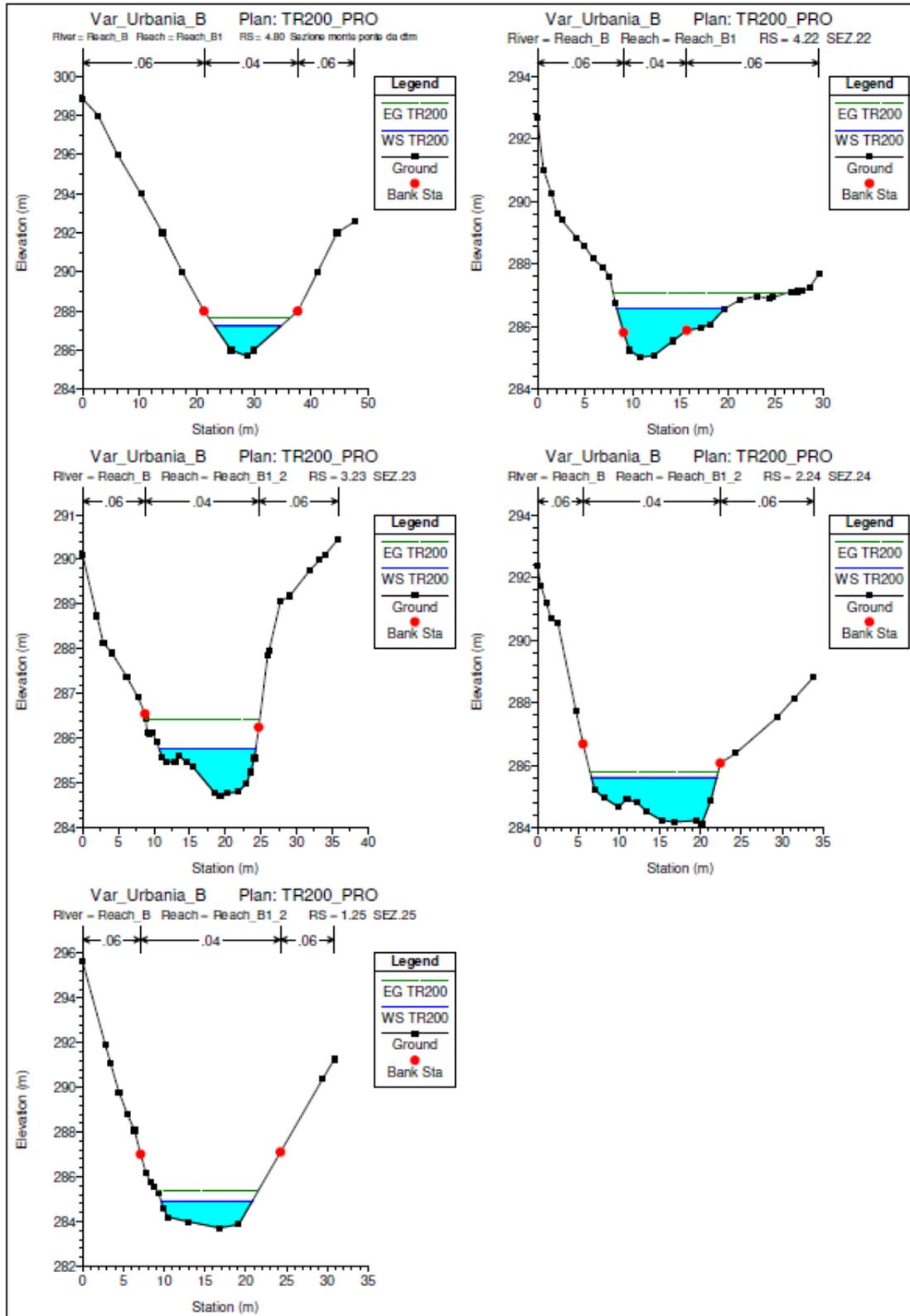
PROGETTAZIONE ATI:



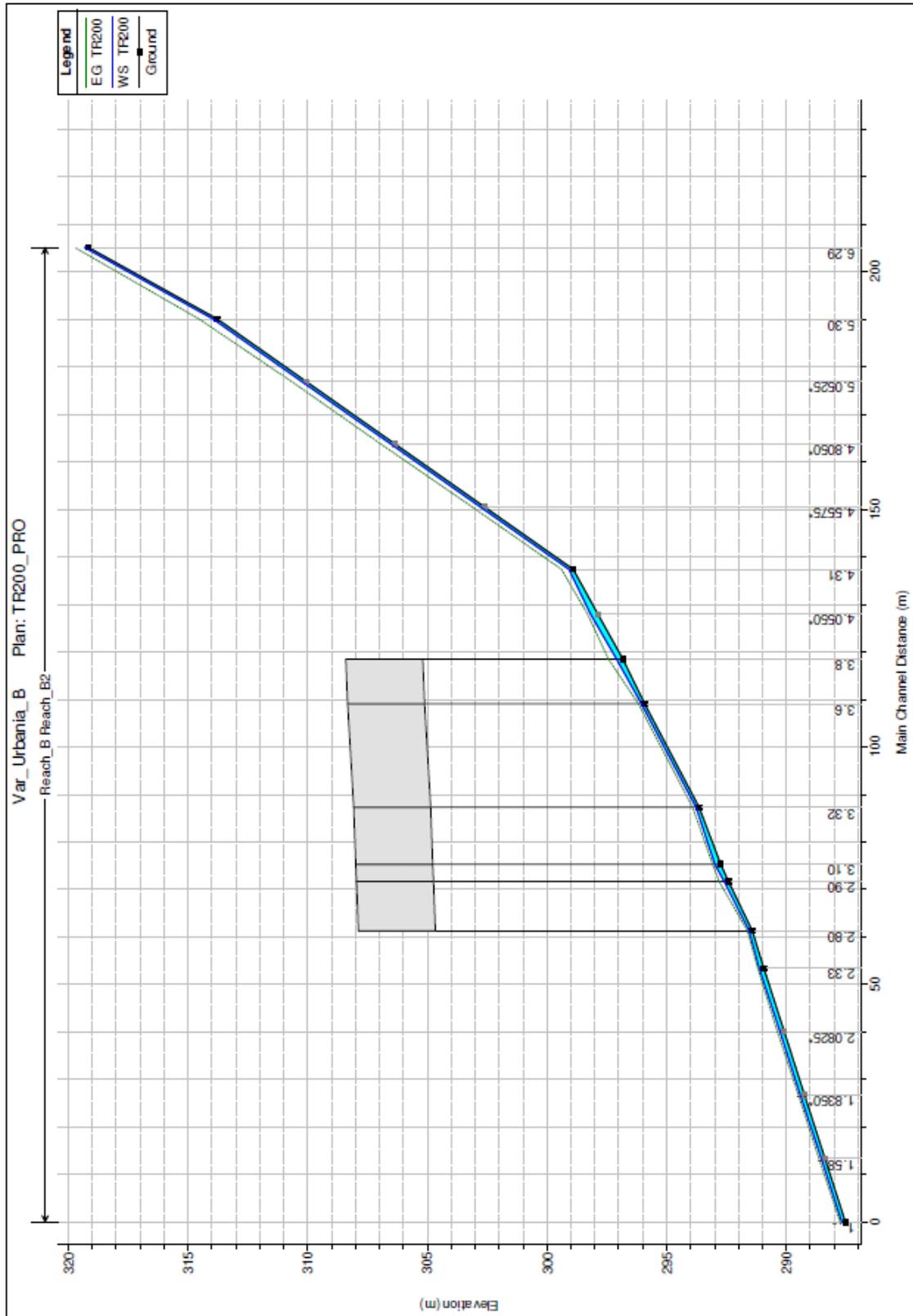
PROGETTAZIONE ATI:



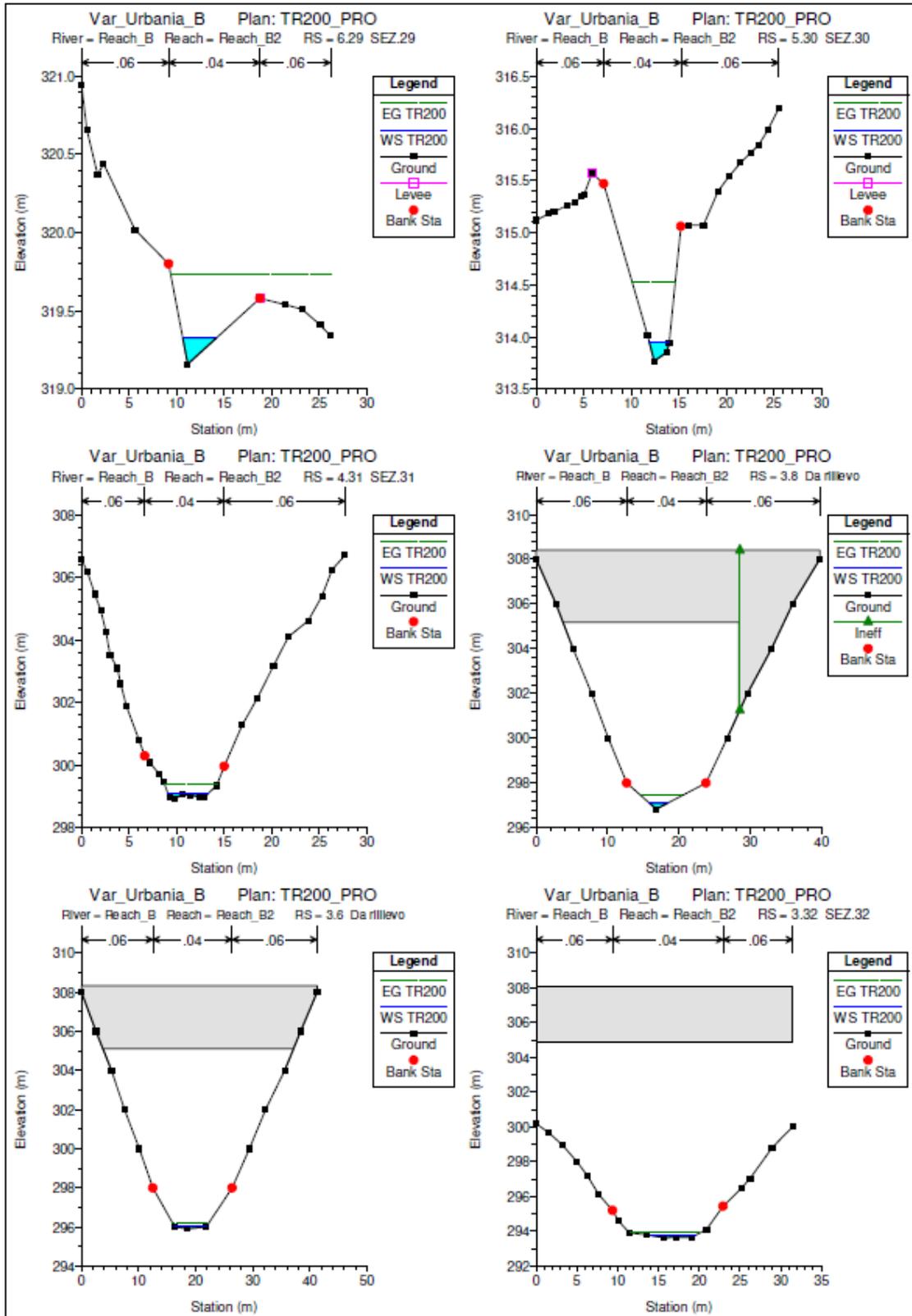
PROGETTAZIONE ATI:



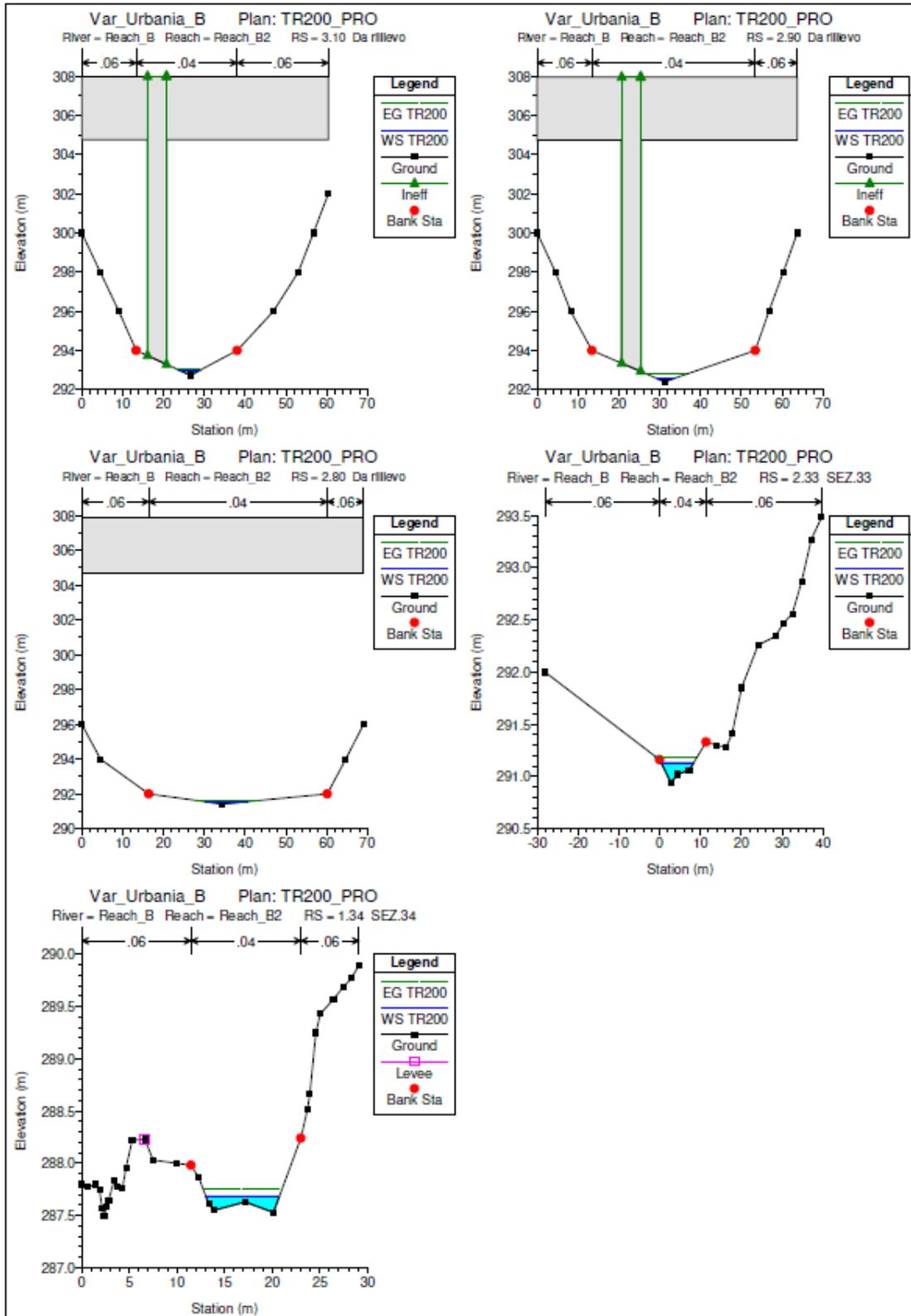
PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

3.2.2. Outputs numerici

Tabella 3-4: outputs numerici nel tratto oggetto di analisi

HEC-RAS Plan: TR200_PRO Profile: TR200

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
Reach_B1	8.18	TR200	29.00	289.15	290.95	291.07	291.71	0.022732	3.87	7.68	7.01	1.13
Reach_B1	7.19	TR200	29.00	287.50	288.93	289.12	289.81	0.024927	4.16	7.14	6.60	1.21
Reach_B1	6.20	TR200	29.00	286.83	288.31	288.22	288.76	0.012074	2.99	9.90	9.04	0.86
Reach_B1	5.20	TR200	29.00	286.00	287.87	287.78	288.23	0.013202	2.65	10.96	11.73	0.87
Reach_B1	5.00	Bridge										
Reach_B1	4.80	TR200	29.00	285.70	287.24	287.21	287.65	0.016157	2.84	10.22	11.66	0.97
Reach_B1	4.22	TR200	29.00	285.02	286.58	286.58	287.07	0.013203	3.22	10.45	11.37	0.92
Reach_B2	6.29	TR200	0.83	319.16	319.33	319.41	319.73	0.353494	2.82	0.29	3.53	3.12
Reach_B2	5.30	TR200	0.83	313.77	313.95	314.08	314.54	0.331014	3.38	0.25	2.10	3.16
Reach_B2	4.31	TR200	0.83	298.91	299.08	299.16	299.40	0.303259	2.51	0.33	4.19	2.85
Reach_B2	3.8	TR200	0.83	296.83	297.09	297.19	297.43	0.166534	2.58	0.32	2.47	2.28
Reach_B2	3.6	TR200	0.83	295.92	296.05	296.10	296.18	0.097433	1.58	0.52	5.72	1.67
Reach_B2	3.32	TR200	0.83	293.64	293.77	293.80	293.91	0.109080	1.66	0.50	5.49	1.76
Reach_B2	3.10	TR200	0.83	292.74	292.99	293.02	293.08	0.046692	1.35	0.62	4.92	1.22
Reach_B2	2.90	TR200	0.83	292.41	292.59	292.65	292.80	0.167798	2.05	0.41	4.51	2.18
Reach_B2	2.80	TR200	0.83	291.42	291.56	291.57	291.63	0.078046	1.17	0.71	10.34	1.43
Reach_B2	2.33	TR200	0.83	290.94	291.13	291.13	291.19	0.042154	1.08	0.77	7.95	1.11
Reach_B2	1.34	TR200	0.83	287.53	287.68	287.68	287.75	0.048748	1.14	0.73	7.73	1.19
Reach_B1_2	3.23	TR200	29.83	284.71	285.77	285.95	286.43	0.042006	3.61	8.25	13.54	1.48
Reach_B1_2	2.24	TR200	29.83	284.13	285.61	285.29	285.80	0.006058	1.90	15.68	15.36	0.60
Reach_B1_2	1.25	TR200	29.83	283.72	284.93	284.93	285.37	0.017391	2.96	10.07	11.21	1.00

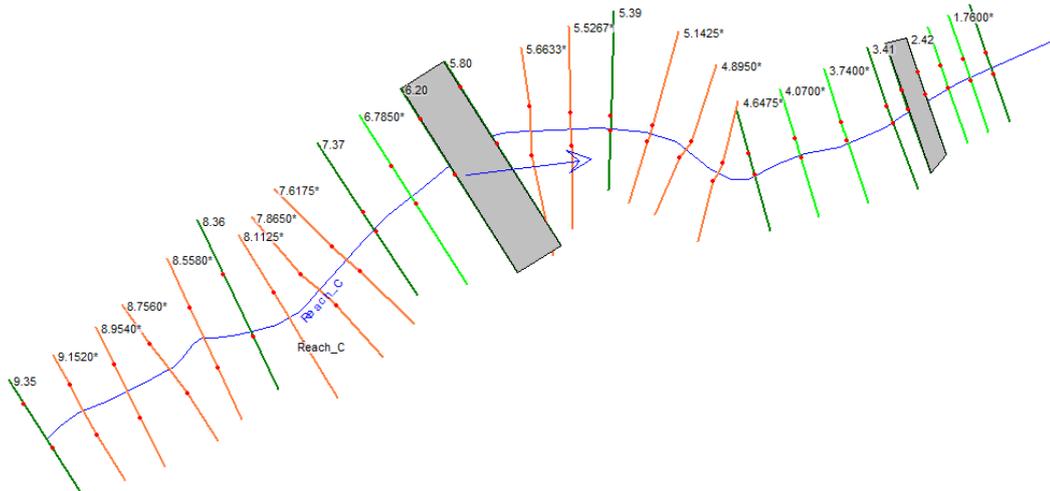
Tabella 3-5: outputs numerici alla sezione 5.00 a monte del viadotto di progetto "S. Eracliano" sul Fiume Bottrina per $T_R=200$ anni

Plan: TR200_PRO Reach_B Reach_B1 RS: 5.00 BR U Profile: TR200

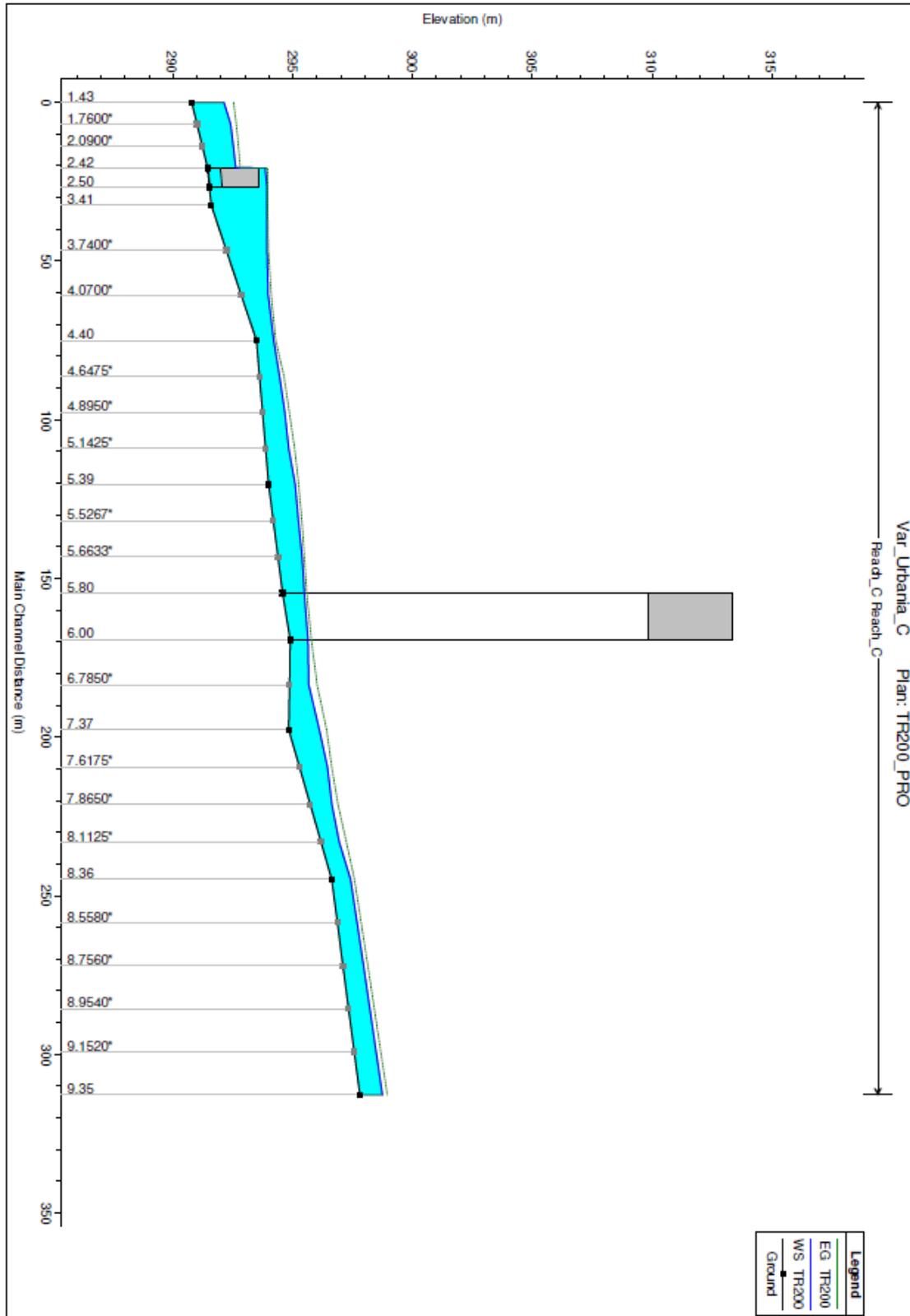
E.G. Elev (m)	288.21	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.43	Wt. n-Val.		0.040	
W.S. Elev (m)	287.78	Reach Len. (m)	14.60	14.60	14.60
Crit W.S. (m)	287.78	Flow Area (m2)		9.98	
E.G. Slope (m/m)	0.016947	Area (m2)		9.98	
Q Total (m3/s)	29.00	Flow (m3/s)		29.00	
Top Width (m)	11.19	Top Width (m)		11.19	
Vel Total (m/s)	2.91	Avg. Vel. (m/s)		2.91	
Max Chl Dpth (m)	1.78	Hydr. Depth (m)		0.89	
Conv. Total (m3/s)	222.8	Conv. (m3/s)		222.8	
Length Wtd. (m)	14.60	Wetted Per. (m)		11.82	
Min Ch El (m)	286.00	Shear (N/m2)		140.26	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		407.67	
Frctn Loss (m)	0.22	Cum Volume (1000 m3)	0.01	0.70	0.04
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	0.01	0.52	0.04

3.3. ALLEGATO 3: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "S. CATERINA"

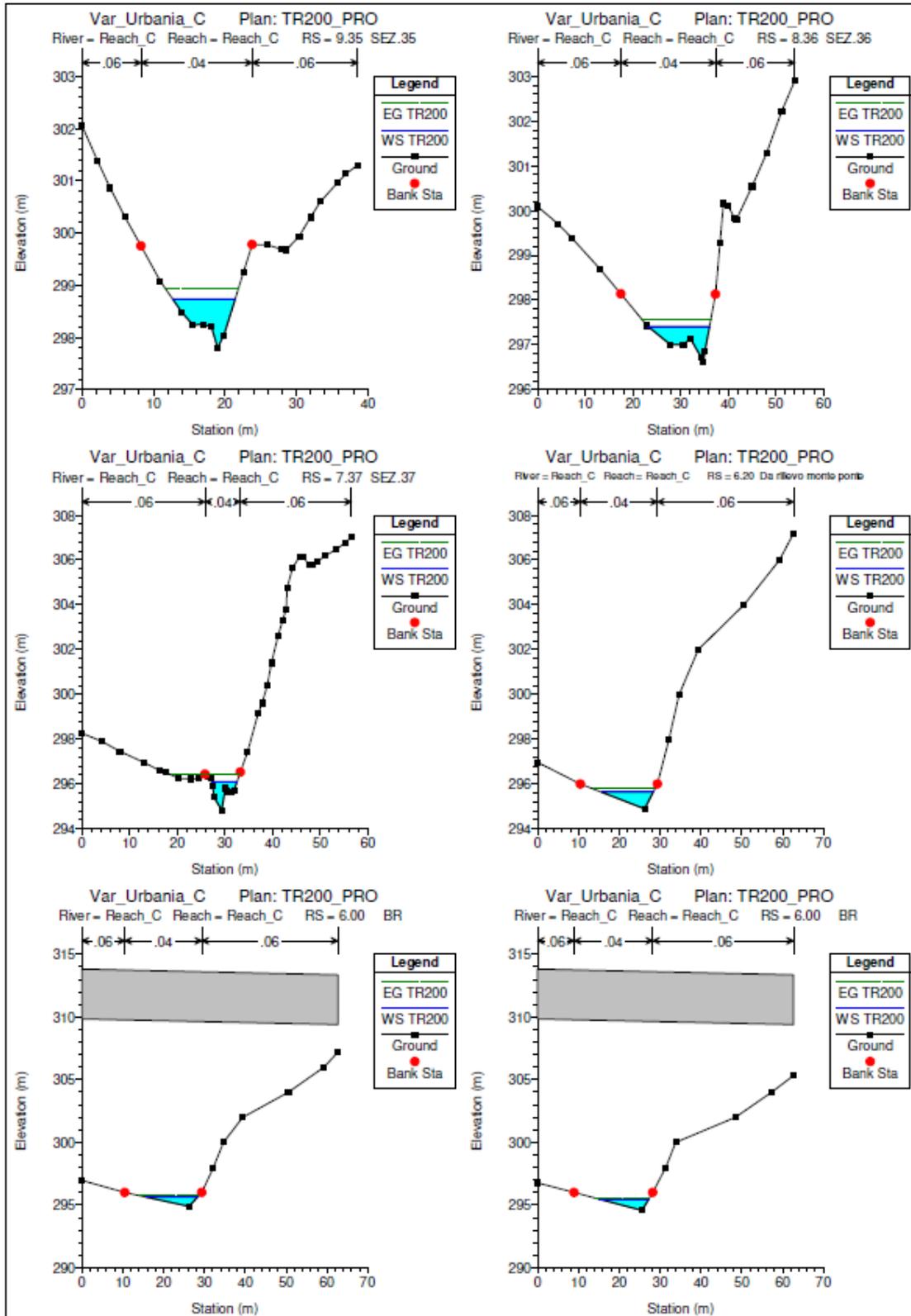
3.3.1. Planimetrie, profili e sezioni



PROGETTAZIONE ATI:

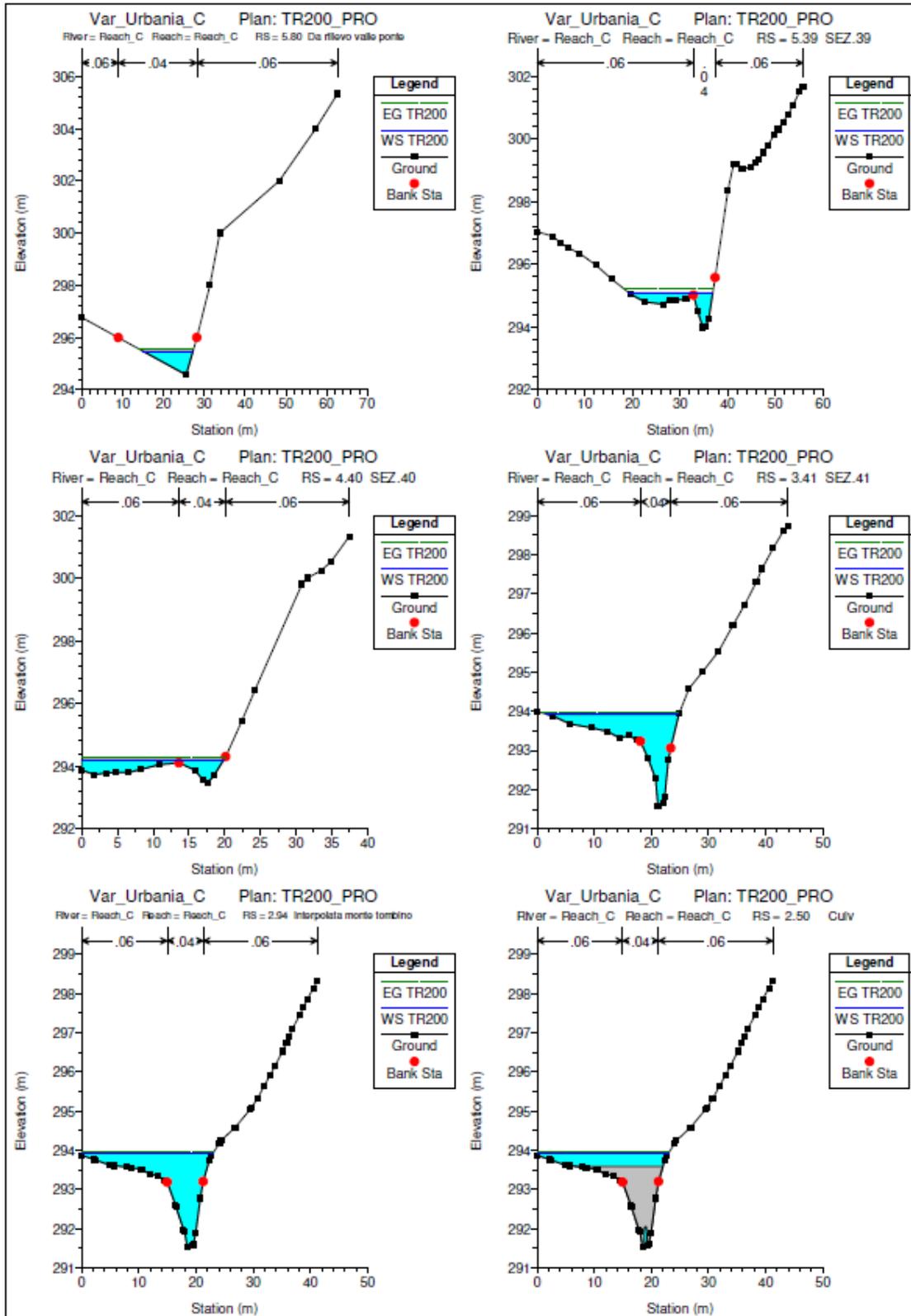


PROGETTAZIONE ATI:

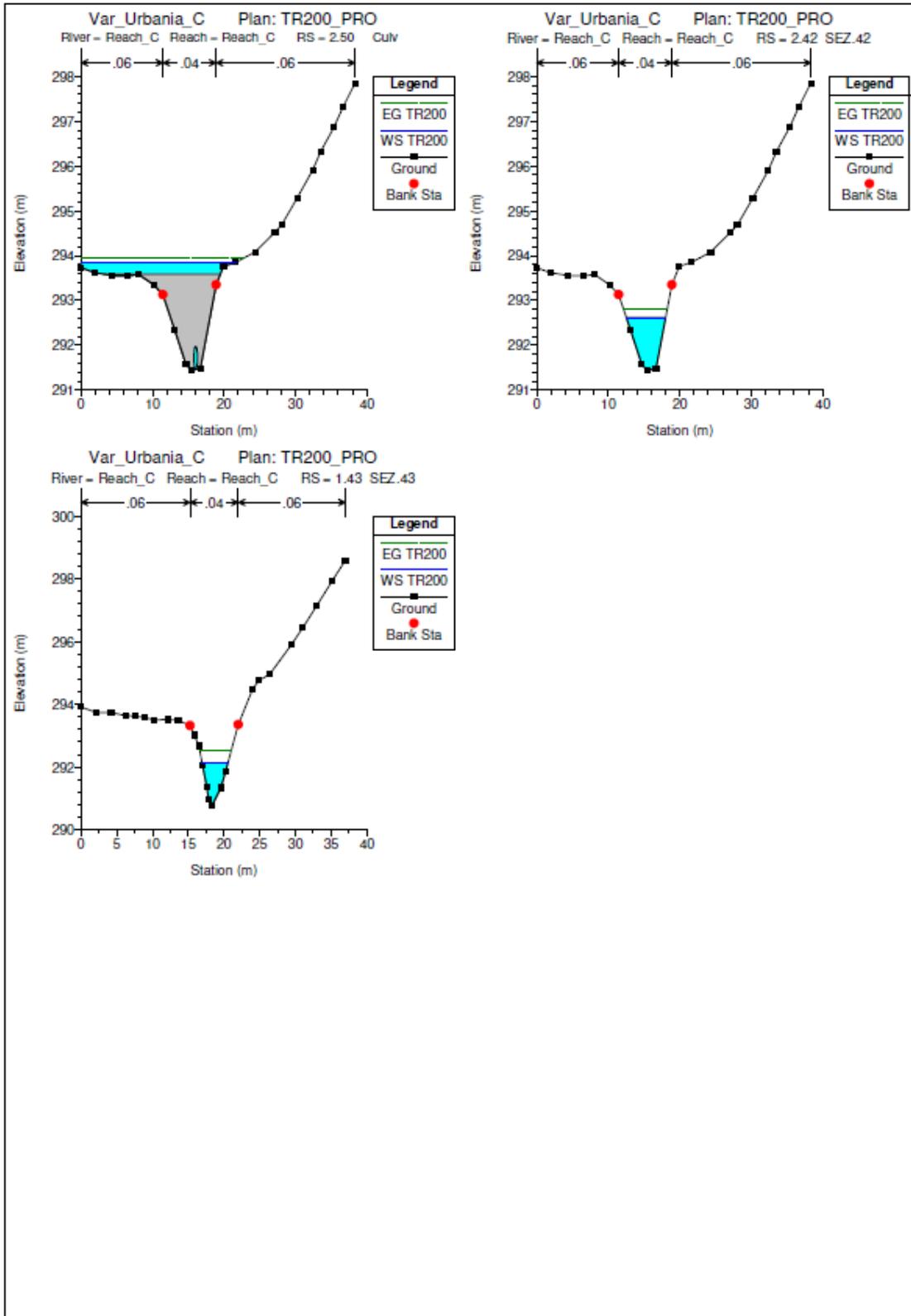


PROGETTAZIONE ATI:

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MAGGIORI (VIADOTTI)



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

3.3.2. Outputs numerici

Tabella 3-6: outputs numerici nel tratto oggetto di analisi

HEC-RAS Plan: TR200_PRO River: Reach_C Reach: Reach_C Profile: TR200

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
Reach_C	9.35	TR200	7.88	297.80	298.74	298.71	298.94	0.019464	2.00	3.94	8.76	0.95
Reach_C	8.36	TR200	7.88	296.62	297.41	297.41	297.57	0.020984	1.76	4.47	12.89	0.96
Reach_C	7.37	TR200	7.88	294.83	296.11	296.11	296.41	0.023983	2.44	3.22	5.33	1.00
Reach_C	6.20	TR200	7.88	294.89	295.64	295.60	295.78	0.016952	1.67	4.71	12.64	0.87
Reach_C	6.00	Bridge										
Reach_C	5.80	TR200	7.88	294.57	295.48	295.35	295.58	0.009647	1.43	5.52	12.20	0.68
Reach_C	5.39	TR200	7.88	293.99	295.10	295.10	295.25	0.012135	1.97	6.07	17.65	0.75
Reach_C	4.40	TR200	7.88	293.48	294.20	294.16	294.29	0.015925	1.61	6.63	19.88	0.84
Reach_C	3.41	TR200	7.88	291.59	293.92	292.96	293.95	0.000756	0.79	14.65	23.20	0.21
Reach_C	2.94	TR200	7.88	291.52	293.93	292.68	293.95	0.000437	0.66	16.34	22.96	0.16
Reach_C	2.50	Culvert										
Reach_C	2.42	TR200	7.88	291.44	292.62	292.43	292.80	0.009640	1.89	4.17	5.50	0.69
Reach_C	1.43	TR200	7.88	290.78	292.13	292.13	292.52	0.023669	2.78	2.84	3.61	1.00

Tabella 3-7: outputs numerici alla sezione 2.50 a monte dell'attraversamento esistente per $T_R=200$ anni

Plan: TR200_PRO Reach_C Reach_C RS: 2.50 Culv Group: Culvert #1 Profile: TR200

Q Culv Group (m3/s)	0.75	Culv Full Len (m)	6.00
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	3.83
Q Barrel (m3/s)	0.75	Culv Vel DS (m/s)	3.83
E.G. US. (m)	293.95	Culv Inv El Up (m)	291.55
W.S. US. (m)	293.93	Culv Inv El Dn (m)	291.47
E.G. DS (m)	292.80	Culv Frctn Ls (m)	0.20
W.S. DS (m)	292.62	Culv Exit Loss (m)	0.57
Delta EG (m)	1.14	Culv Entr Loss (m)	0.37
Delta WS (m)	1.31	Q Weir (m3/s)	7.05
E.G. IC (m)	293.96	Weir Sta Lft (m)	0.00
E.G. OC (m)	293.95	Weir Sta Rgt (m)	23.05
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	0.00
Culv WS Inlet (m)	292.05	Weir Max Depth (m)	0.36
Culv WS Outlet (m)	291.97	Weir Avg Depth (m)	0.31
Culv Nml Depth (m)	0.50	Weir Flow Area (m2)	7.18
Culv Crt Depth (m)	0.50	Min El Weir Flow (m)	293.59

PROGETTAZIONE ATI:

Tabella 3-8: outputs numerici alla sezione 6.00 a monte del viadotto di progetto "S. Caterina" per $T_R=200$ anni

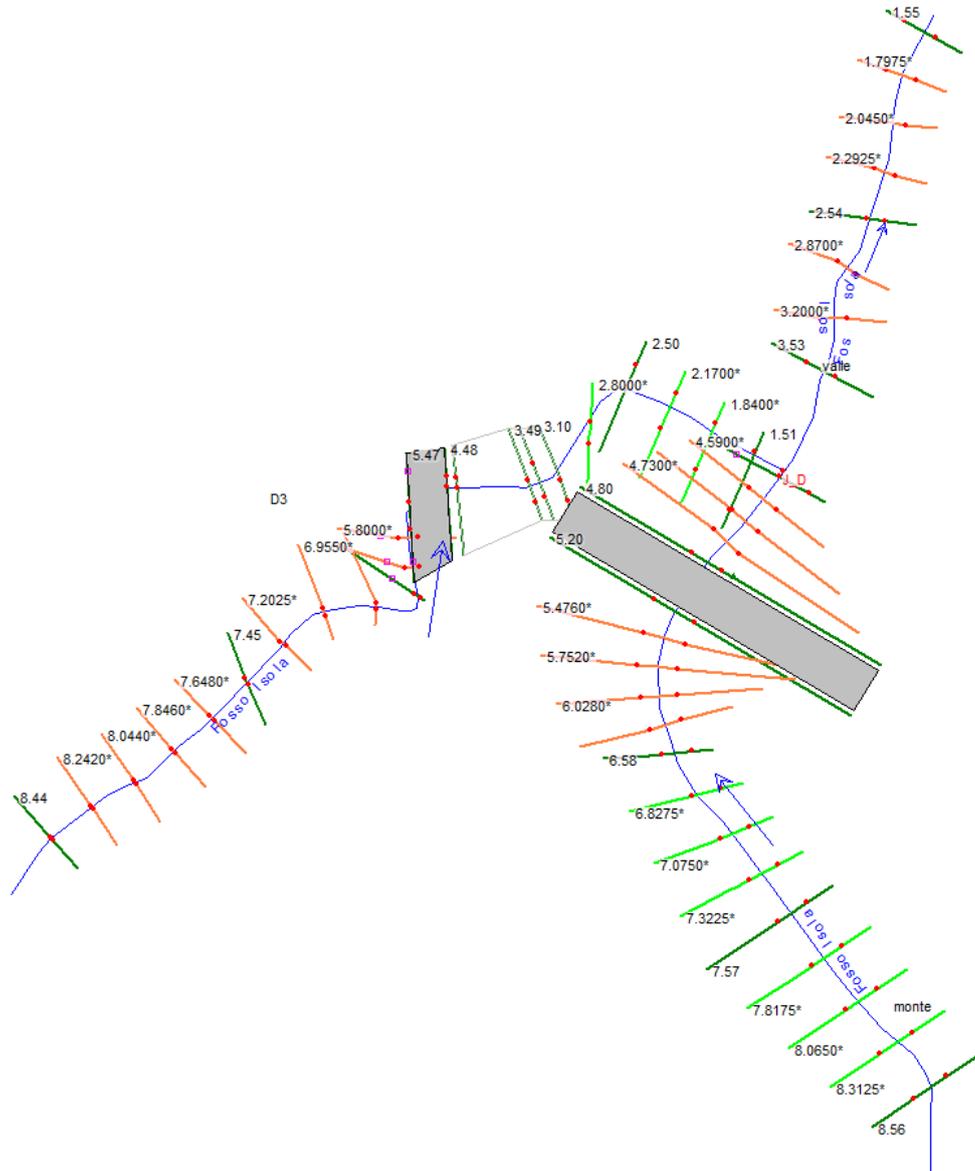
Plan: TR200_PRO Reach_C Reach_C RS: 6.00 BR U Profile: TR200

E.G. Elev (m)	295.78	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.15	Wt. n-Val.		0.040	
W.S. Elev (m)	295.63	Reach Len. (m)	14.50	14.50	14.50
Crit W.S. (m)	295.60	Flow Area (m2)		4.65	
E.G. Slope (m/m)	0.017596	Area (m2)		4.65	
Q Total (m3/s)	7.88	Flow (m3/s)		7.88	
Top Width (m)	12.56	Top Width (m)		12.56	
Vel Total (m/s)	1.70	Avg. Vel. (m/s)		1.70	
Max Chl Dpth (m)	0.74	Hydr. Depth (m)		0.37	
Conv. Total (m3/s)	59.4	Conv. (m3/s)		59.4	
Length Wtd. (m)	14.50	Wetted Per. (m)		12.71	
Min Ch El (m)	294.89	Shear (N/m2)		63.09	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		106.99	
Frctn Loss (m)	0.18	Cum Volume (1000 m3)	0.34	0.75	0.01
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	1.48	1.14	0.04

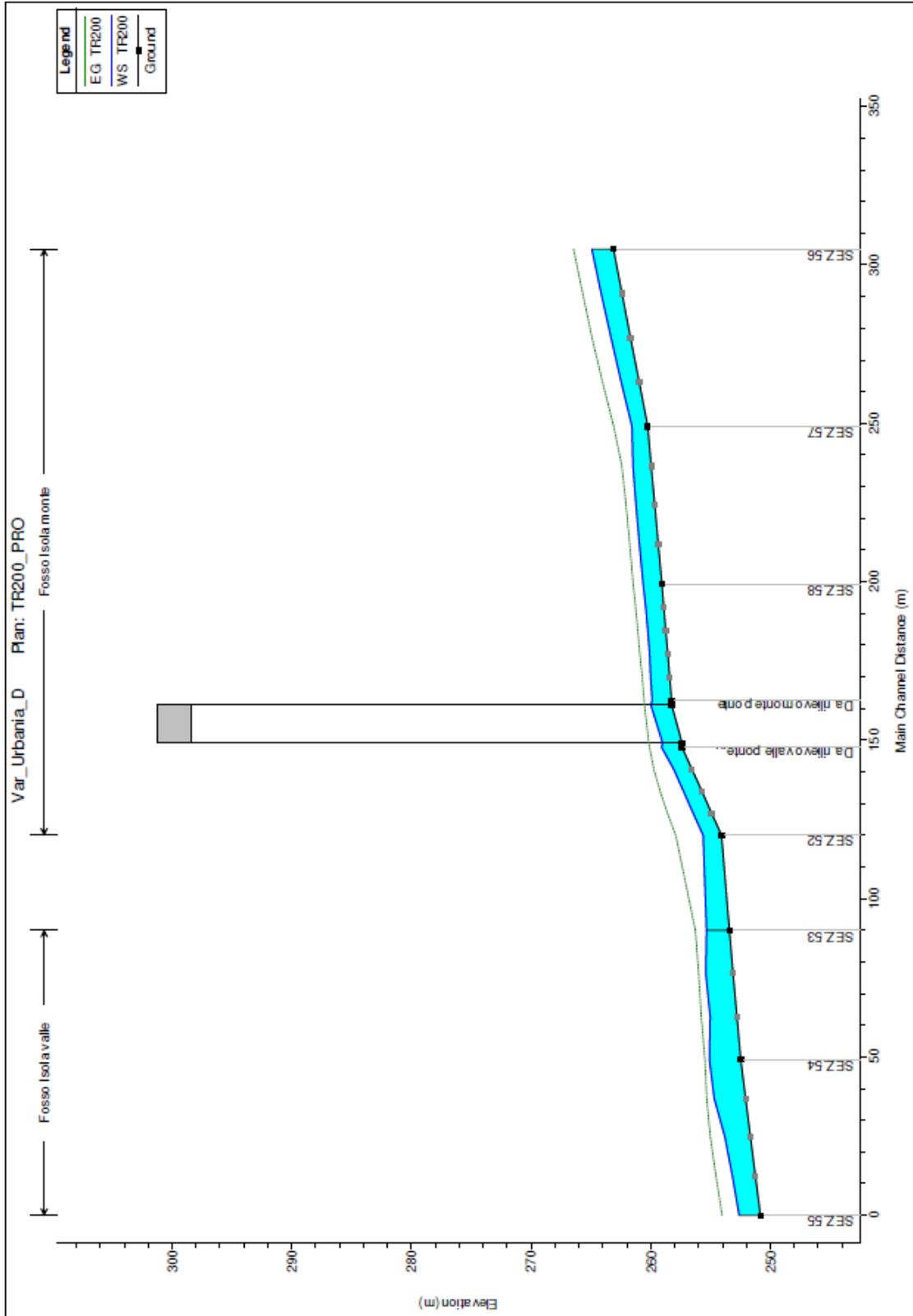
PROGETTAZIONE ATI:

3.4. ALLEGATO 3: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "VENTURELLO" SUL FOSSO ISOLA

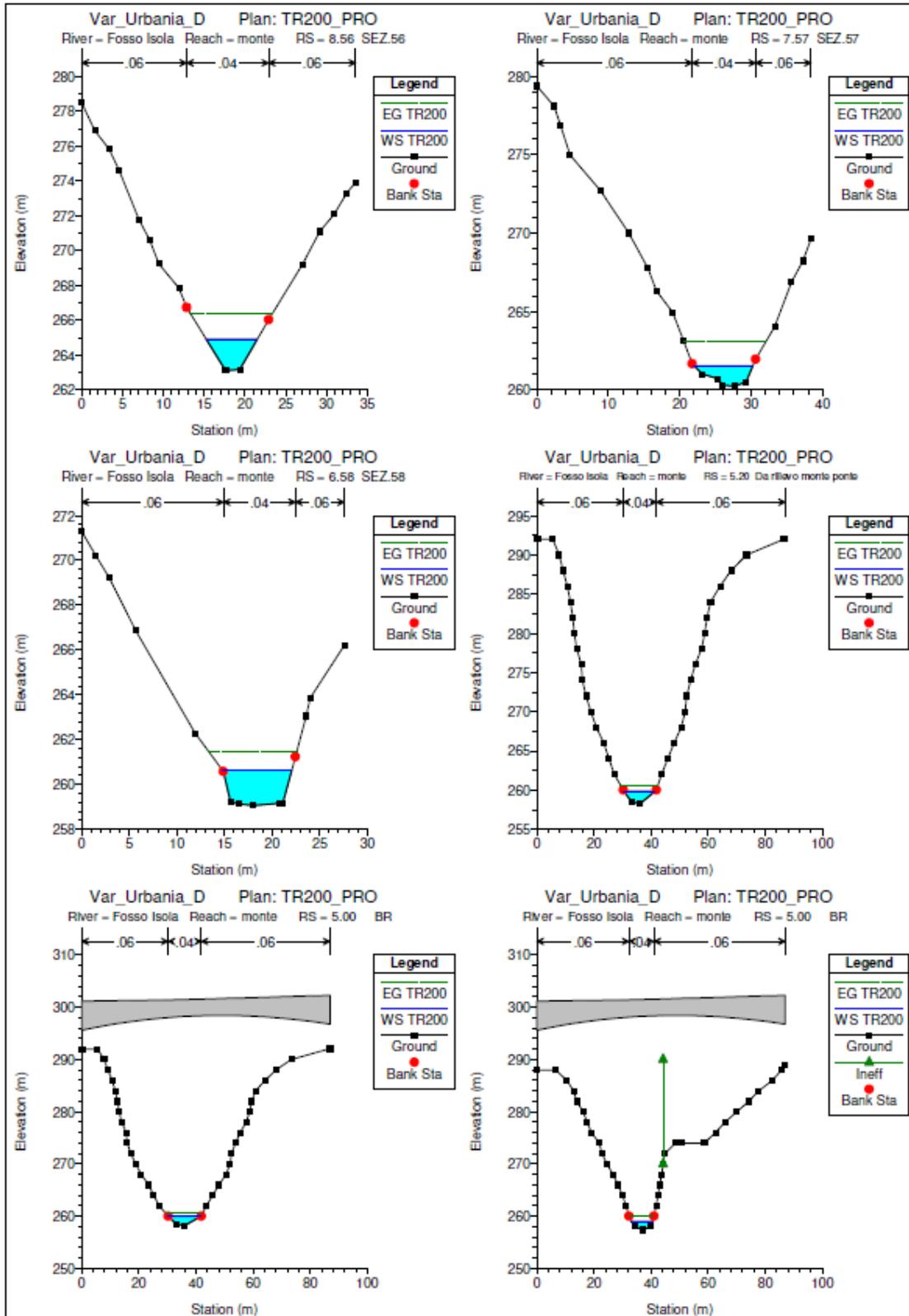
3.4.1.1. Planimetrie, profili e sezioni



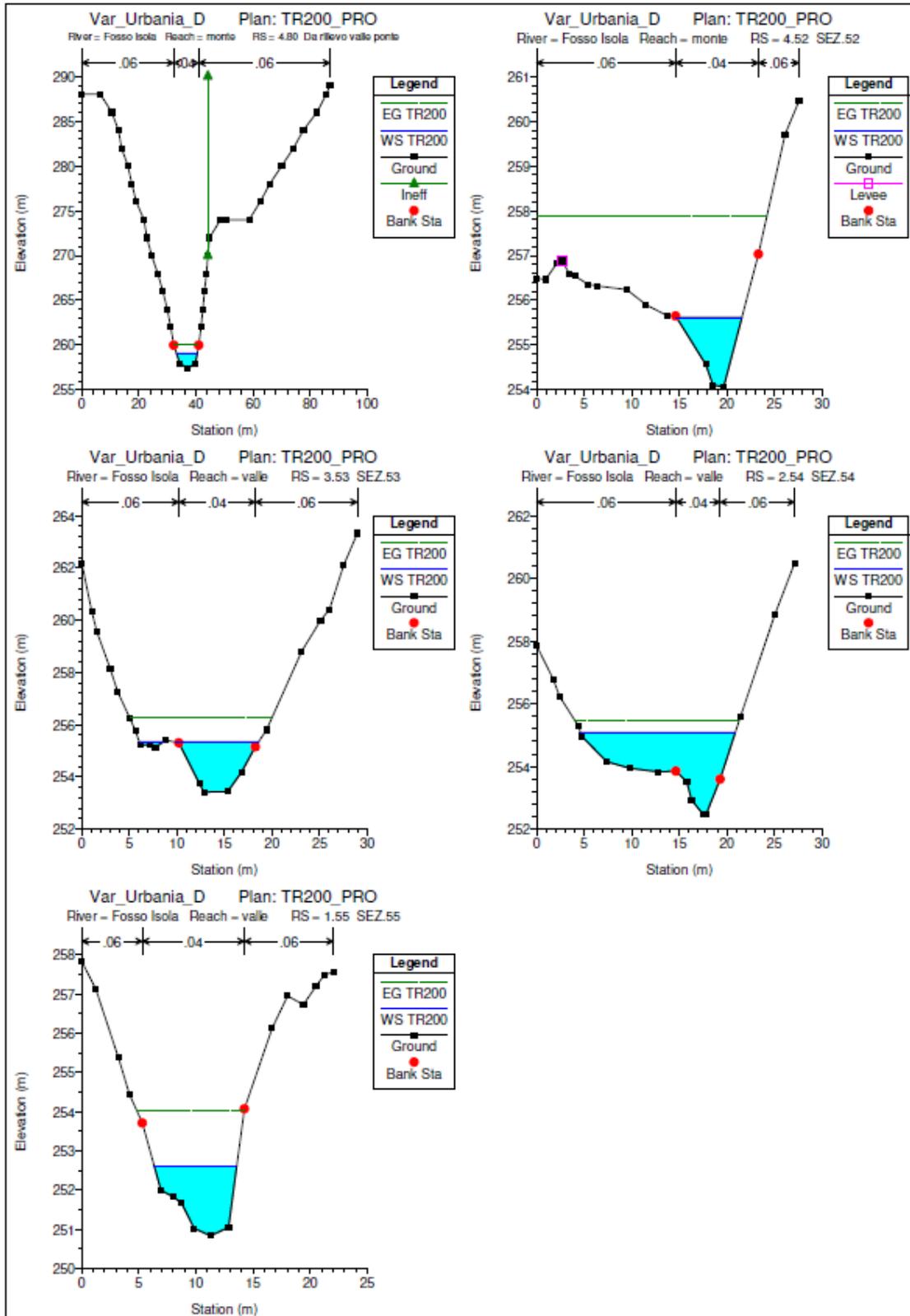
PROGETTAZIONE ATI:



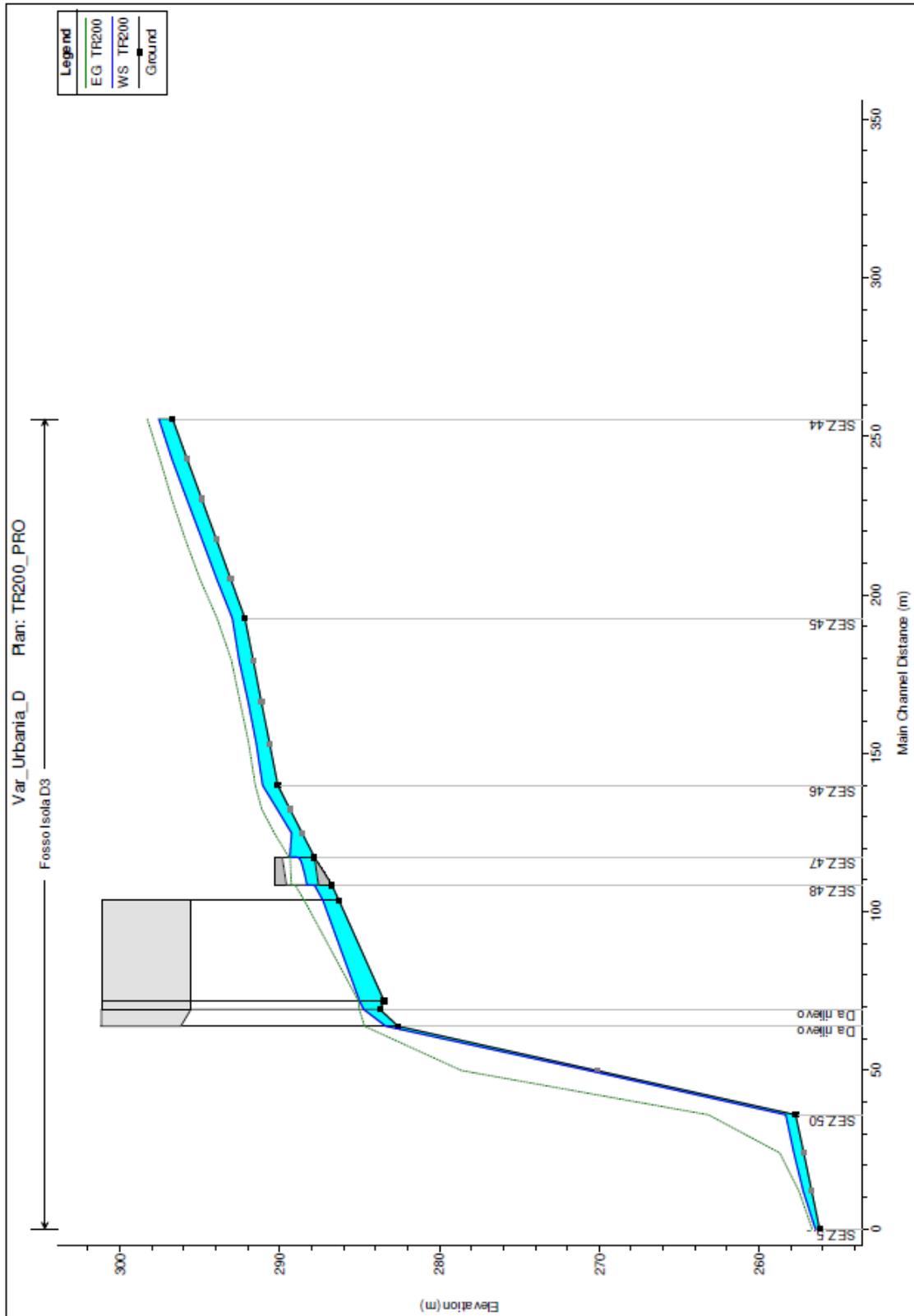
PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

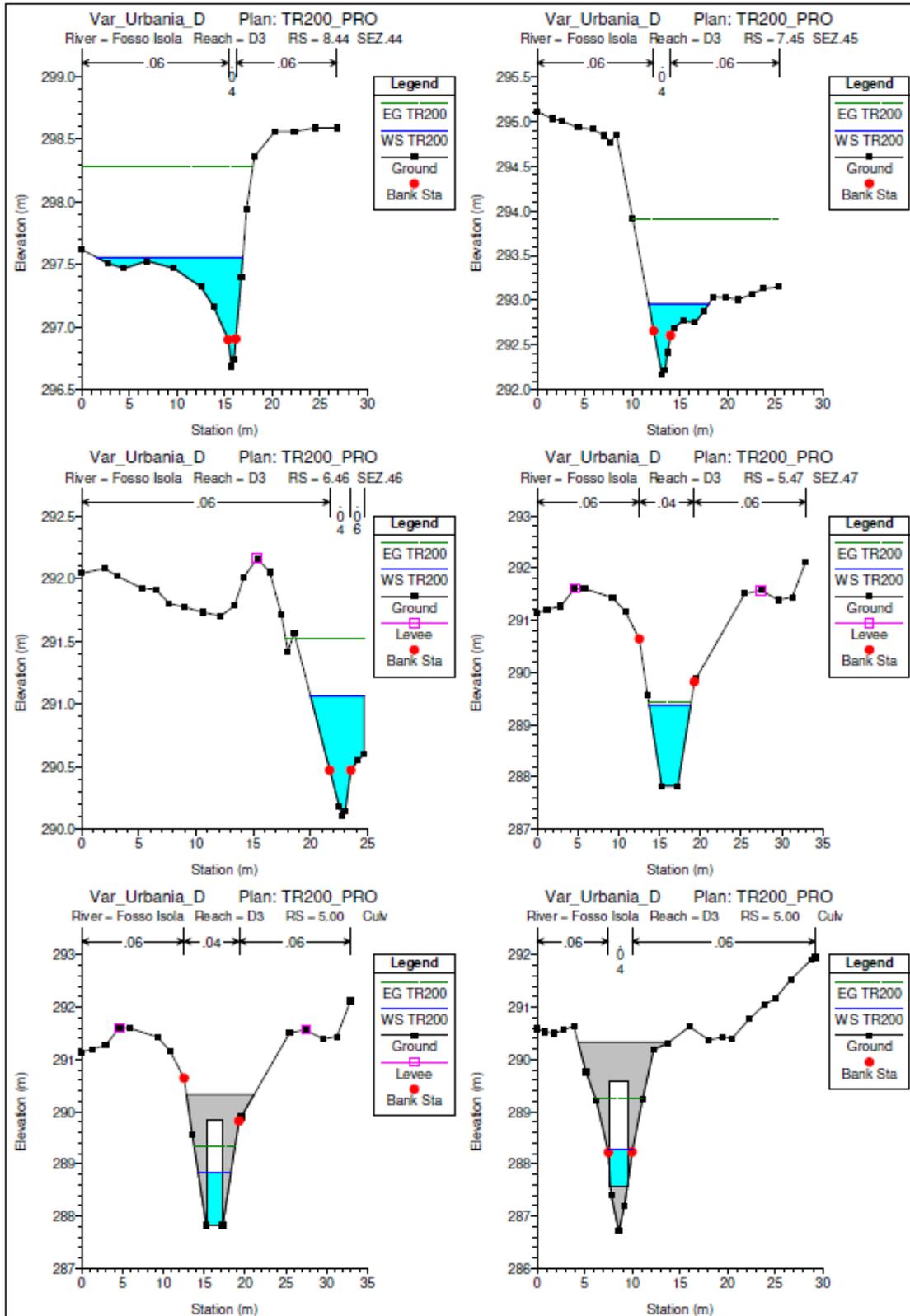


PROGETTAZIONE ATI:

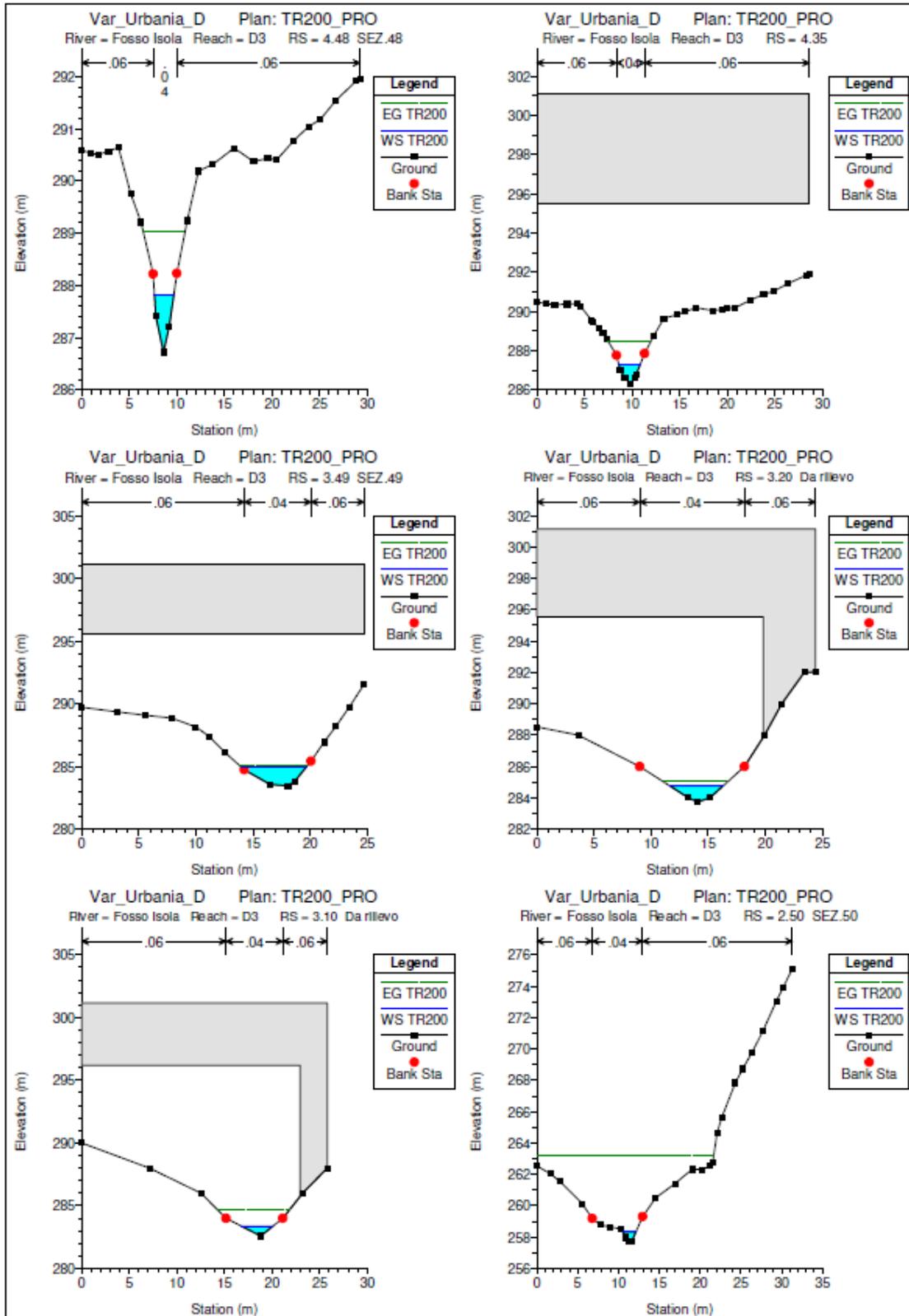


PROGETTAZIONE ATI:

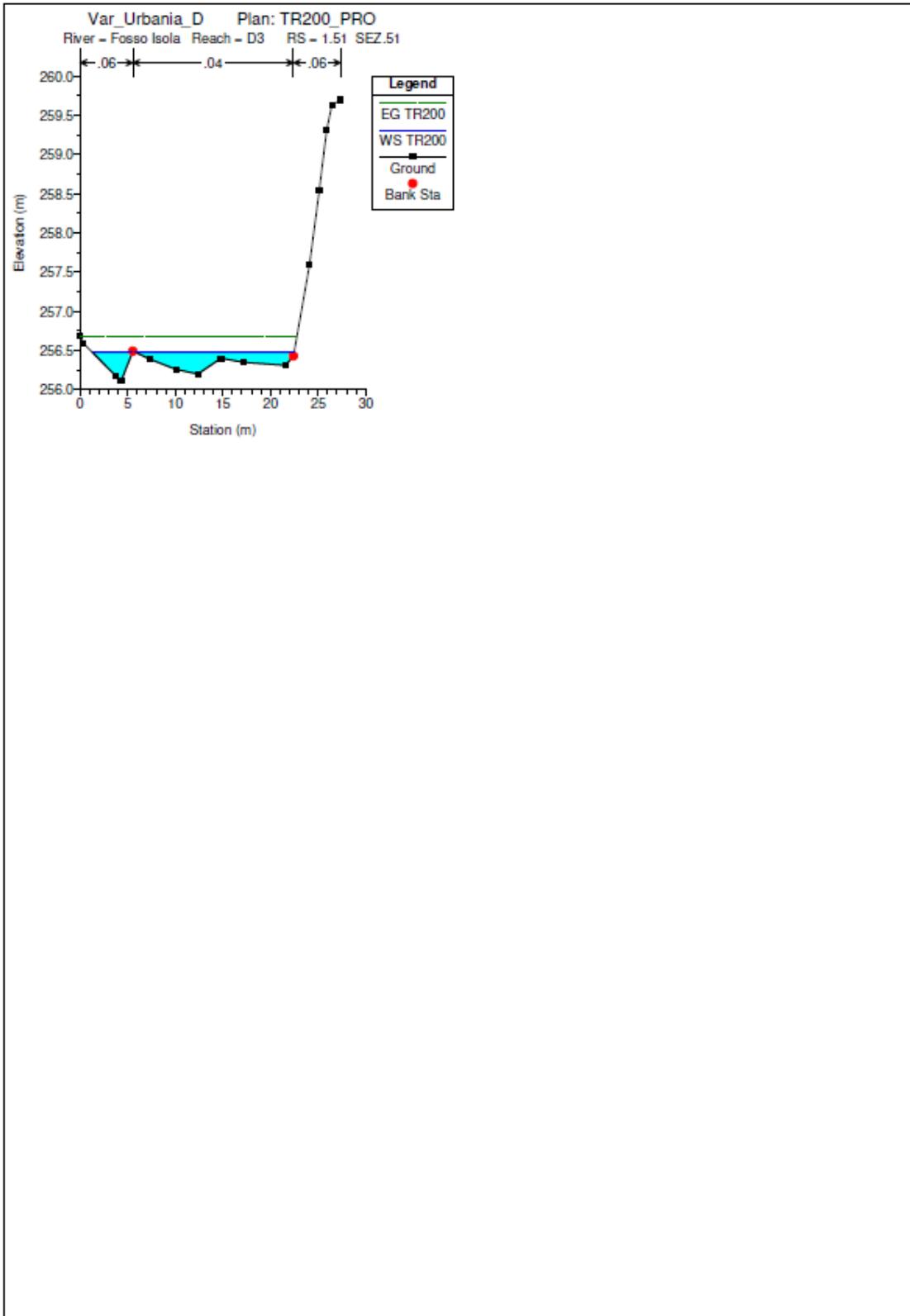
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MAGGIORI (VIADOTTI)



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

3.4.2. Outputs numerici

Tabella 3-9: outputs numerici nel tratto oggetto di analisi

HEC-RAS Plan: TR200_PRO Profile: TR200

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
monte	8.56	TR200	38.69	263.11	264.91	265.40	266.43	0.051335	5.46	7.09	6.27	1.64
monte	7.57	TR200	38.69	260.24	261.56	262.04	263.08	0.065846	5.47	7.08	8.26	1.89
monte	6.58	TR200	38.69	259.06	260.64	260.73	261.46	0.023123	4.02	9.63	7.29	1.11
monte	5.20	TR200	38.69	258.24	259.87	259.99	260.54	0.023375	3.63	10.66	10.92	1.17
monte	5.00		Bridge									
monte	4.80	TR200	38.69	257.38	259.08	259.32	260.09	0.030674	4.45	8.70	7.29	1.30
monte	4.52	TR200	38.69	254.07	255.62	256.24	257.90	0.105085	6.68	5.79	6.88	2.33
D3	8.44	TR200	6.30	296.69	297.56	297.73	298.29	0.072035	5.15	2.97	15.32	1.86
D3	7.45	TR200	6.30	292.17	292.97	293.26	293.91	0.088535	4.78	1.88	6.34	1.99
D3	6.46	TR200	6.30	290.11	291.06	291.17	291.52	0.026970	3.33	2.56	4.68	1.19
D3	5.47	TR200	6.30	287.83	289.36	288.69	289.43	0.002643	1.16	5.44	5.08	0.36
D3	5.00		Culvert									
D3	4.48	TR200	6.30	286.72	287.81	288.19	289.03	0.119452	4.88	1.29	2.03	1.95
D3	4.35	TR200	6.30	286.30	287.30	287.67	288.46	0.112249	4.77	1.32	2.25	1.99
D3	3.49	TR200	6.30	283.46	285.00	284.39	285.06	0.002330	1.11	5.69	5.77	0.35
D3	3.20	TR200	6.30	283.73	284.74	284.74	285.03	0.020877	2.36	2.67	4.60	0.99
D3	3.10	TR200	6.30	282.59	283.35	283.71	284.67	0.171504	5.09	1.24	3.24	2.63
D3	2.50	TR200	6.30	257.70	258.33	258.96	263.17	0.747185	9.74	0.65	1.60	4.90
D3	1.51	TR200	6.30	256.20	256.48	256.54	256.68	0.087054	2.06	3.24	20.92	1.71
valle	3.53	TR200	44.99	253.42	255.34	255.59	256.25	0.023783	4.25	10.87	11.24	1.18
valle	2.54	TR200	44.99	252.47	255.09	254.88	255.46	0.007990	3.19	20.27	16.30	0.72
valle	1.55	TR200	44.99	250.83	252.60	253.04	254.02	0.045734	5.27	8.53	7.21	1.55

Tabella 3-10: outputs numerici alla sezione 5.00 a monte del viadotto di progetto "Venturello" sul Fosso Isola per TR=200 anni

Plan: TR200_PRO Fosso Isola monte RS: 5.00 BR U Profile: TR200

E.G. Elev (m)	260.52	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.53	Wt. n-Val.		0.040	
W.S. Elev (m)	259.99	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	259.99	Flow Area (m2)		12.01	
E.G. Slope (m/m)	0.016934	Area (m2)		12.01	
Q Total (m3/s)	38.69	Flow (m3/s)		38.69	
Top Width (m)	11.54	Top Width (m)		11.54	
Vel Total (m/s)	3.22	Avg. Vel. (m/s)		3.22	
Max Chl Dpth (m)	1.75	Hydr. Depth (m)		1.04	
Conv. Total (m3/s)	297.3	Conv. (m3/s)		297.3	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		12.19	
Min Ch El (m)	258.24	Shear (N/m2)		163.60	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		526.98	
Frctn Loss (m)	0.29	Cum Volume (1000 m3)	0.00	0.43	0.00
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)		0.19	

PROGETTAZIONE ATI:

Tabella 3-11: outputs numerici alla sezione 5.00 a monte del tombino di progetto sull'affluente di sinistra del Fosso Isola per $T_R=200$ anni

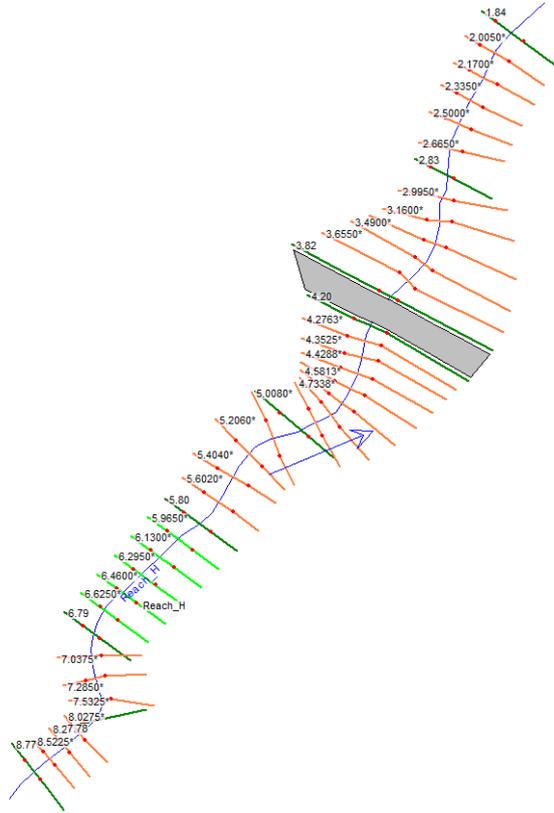
Plan: TR200_PRO Fosso Isola D3 RS: 5.00 Culv Group: Culvert #1 Profile: TR200

Q Culv Group (m3/s)	6.30	Culv Full Len (m)	
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	3.14
Q Barrel (m3/s)	6.30	Culv Vel DS (m/s)	4.38
E.G. US. (m)	289.44	Culv Inv El Up (m)	287.83
W.S. US. (m)	289.36	Culv Inv El Dn (m)	287.57
E.G. DS (m)	288.63	Culv Frctn Ls (m)	0.07
W.S. DS (m)	288.19	Culv Exit Loss (m)	0.63
Delta EG (m)	0.80	Culv Entr Loss (m)	0.10
Delta WS (m)	1.17	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	289.41	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	289.44	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	288.83	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	288.29	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	0.49	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crt Depth (m)	1.00	Min El Weir Flow (m)	290.33

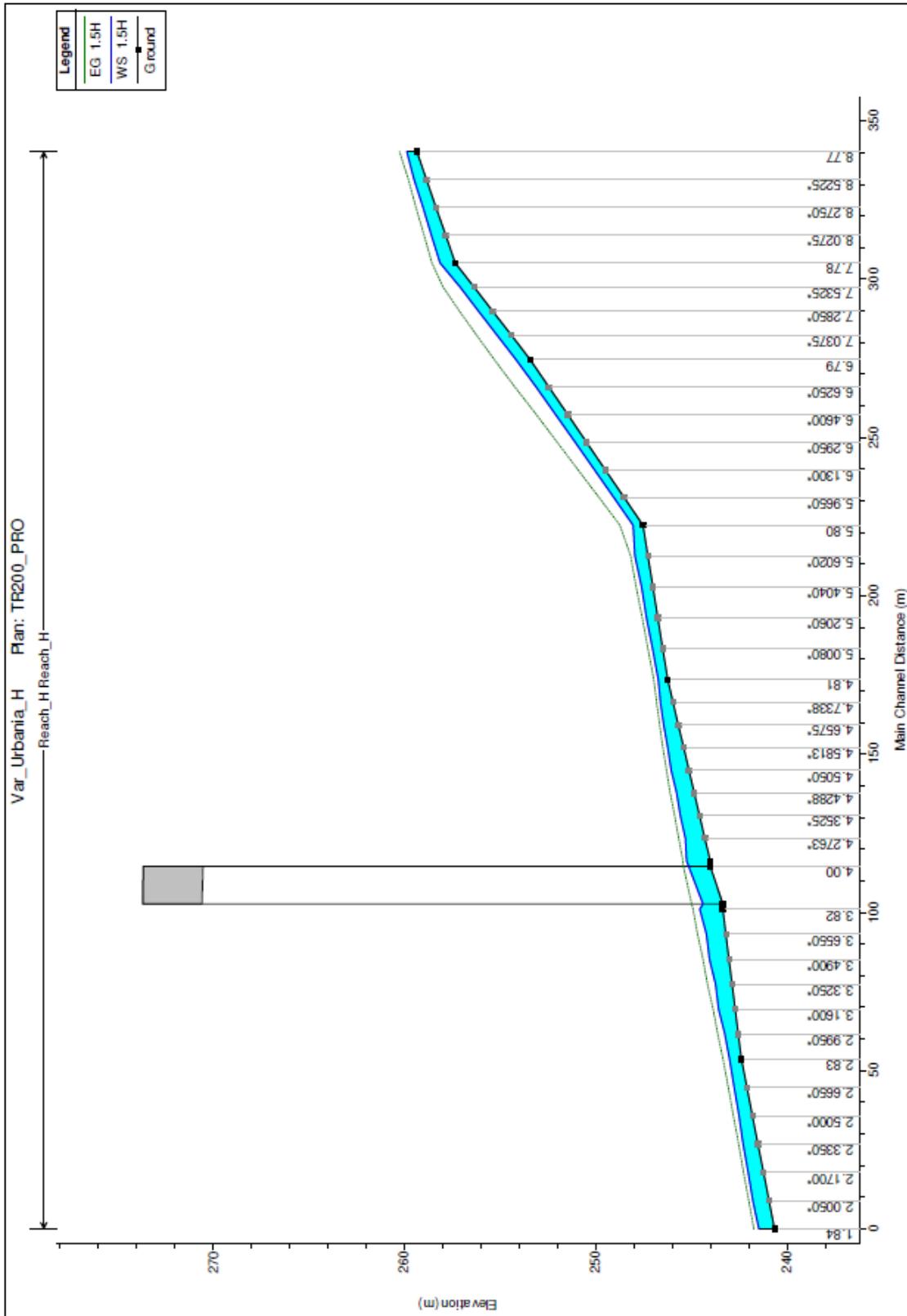
PROGETTAZIONE ATI:

3.5. MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "CERRETO"

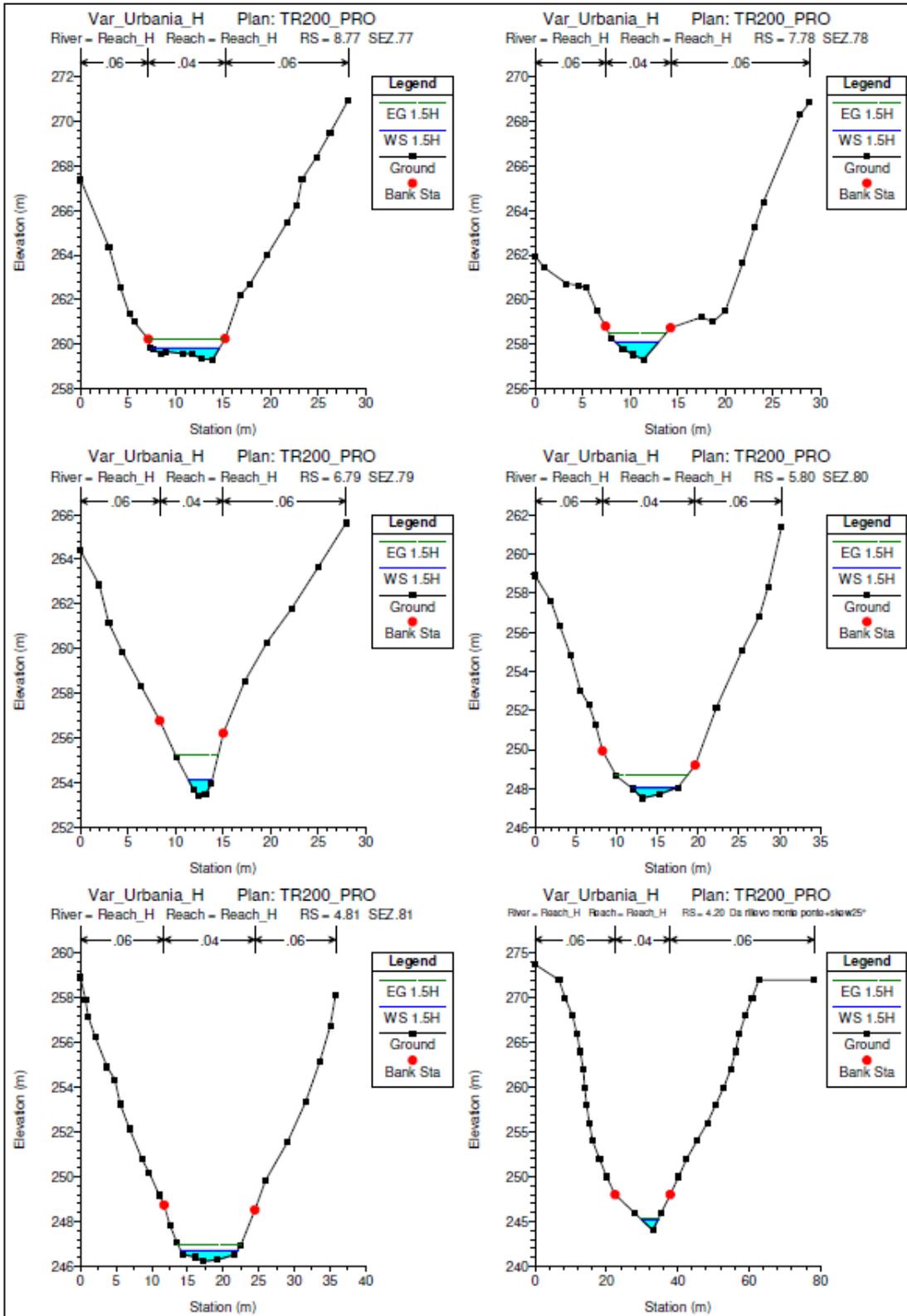
3.5.1. Planimetrie, profili e sezioni



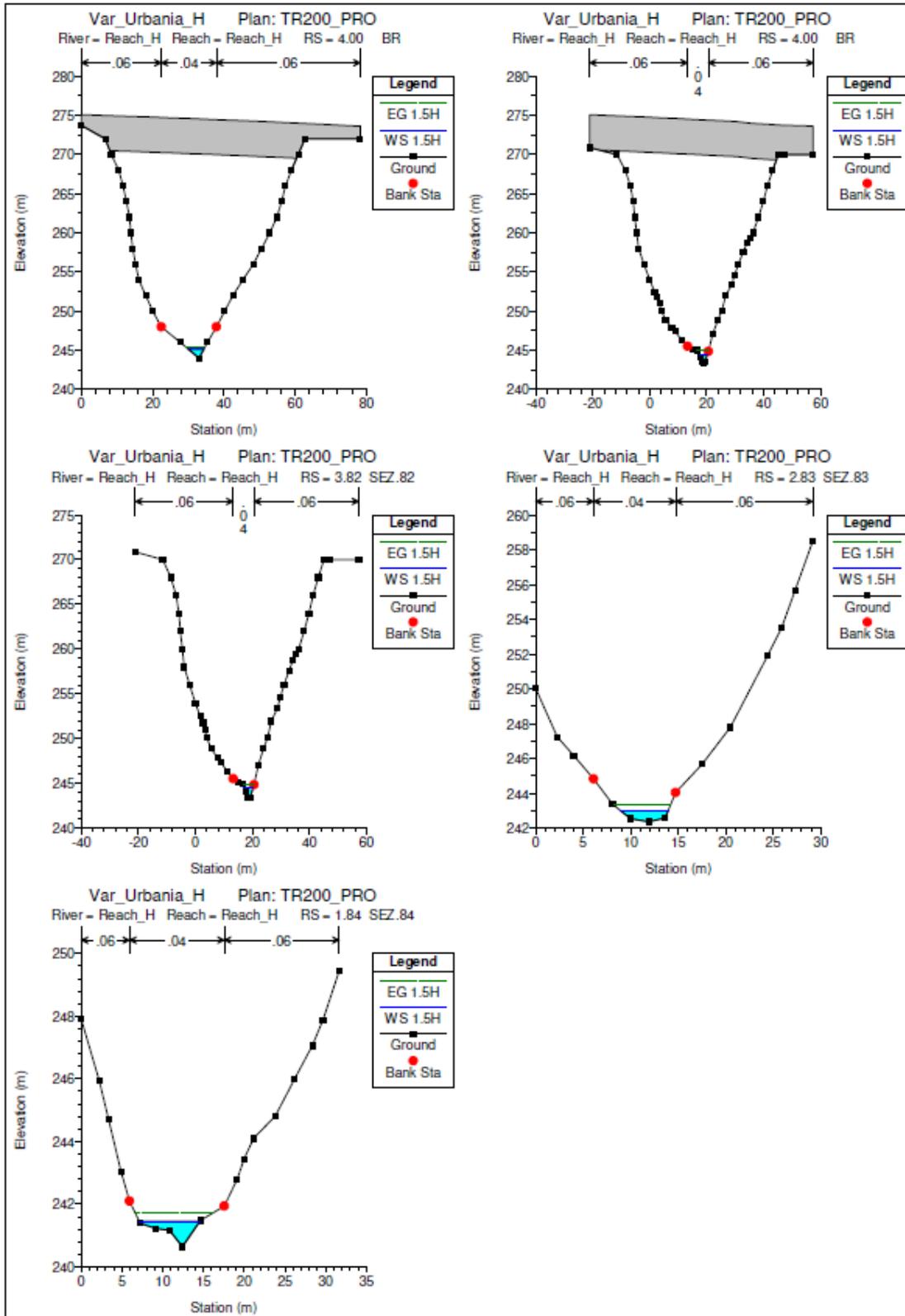
PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

3.5.2. Outputs numerici

Tabella 3-12: outputs numerici nel tratto oggetto di analisi

HEC-RAS Plan: TR200_PRO River: Reach_H Reach: Reach_H Profile: 1.5H

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach_H	8.77	1.5H	5.68	259.32	259.85	259.96	260.23	0.068478	2.76	2.06	7.27	1.66
Reach_H	7.78	1.5H	5.68	257.32	258.11	258.25	258.54	0.044449	2.88	1.97	4.58	1.40
Reach_H	6.79	1.5H	5.68	253.40	254.14	254.48	255.28	0.120963	4.71	1.21	2.51	2.17
Reach_H	5.80	1.5H	5.68	247.51	248.03	248.24	248.72	0.120312	3.67	1.55	5.47	2.21
Reach_H	4.81	1.5H	5.68	246.22	246.71	246.75	246.95	0.033343	2.15	2.64	7.99	1.20
Reach_H	4.20	1.5H	5.68	244.00	245.23	245.12	245.43	0.014303	1.98	2.87	4.68	0.81
Reach_H	4.00		Bridge									
Reach_H	3.82	1.5H	5.68	243.34	244.54	244.54	244.90	0.025480	2.63	2.16	3.11	1.01
Reach_H	2.83	1.5H	5.68	242.37	242.99	243.06	243.33	0.033553	2.56	2.22	4.97	1.23
Reach_H	1.84	1.5H	5.68	240.64	241.45	241.52	241.72	0.038689	2.30	2.47	7.43	1.28

Tabella 3-13: outputs numerici alla sezione 4.00 a monte del viadotto di progetto "Cerreto" per T_R=200 anni

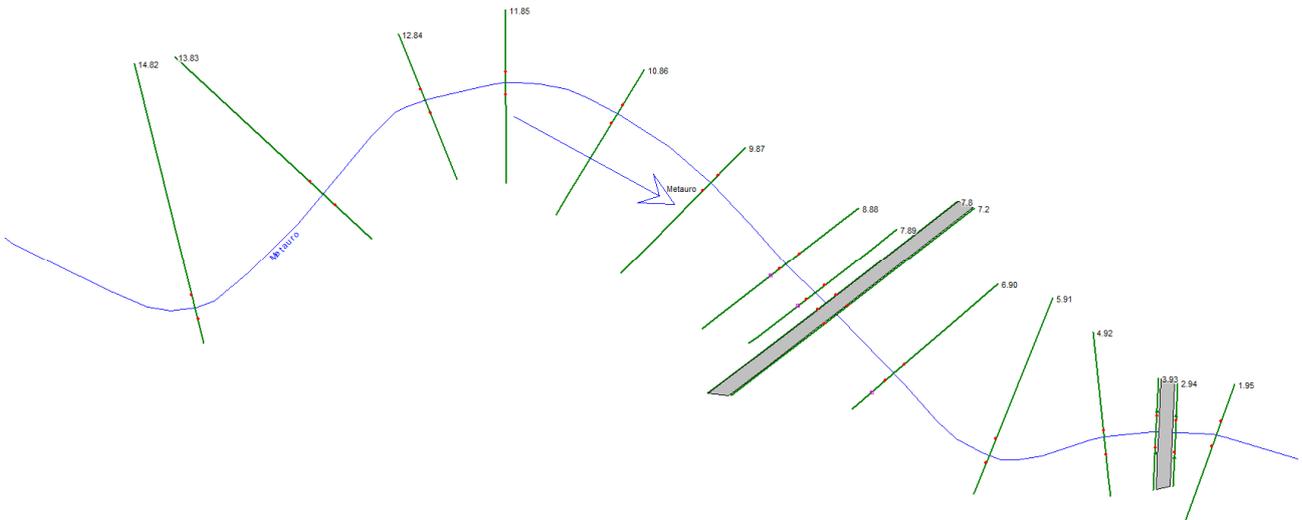
Plan: TR200_PRO Reach_H Reach_H RS: 4.00 Profile: 1.5H

E.G. US. (m)	245.43	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	245.23	E.G. Elev (m)	245.41	244.97
Q Total (m ³ /s)	5.68	W.S. Elev (m)	245.12	244.37
Q Bridge (m ³ /s)	5.68	Crit W.S. (m)	245.12	244.54
Q Weir (m ³ /s)		Max Chl Dpth (m)	1.12	1.03
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.36	3.42
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m ²)	2.41	1.66
Weir Submerg		Froude # Chl	1.00	1.39
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m ³)	2.27	2.64
Min El Weir Flow (m)	273.64	Hydr Depth (m)	0.56	0.61
Min El Prs (m)	270.49	W.P. Total (m)	4.90	3.50
Delta EG (m)	0.53	Conv. Total (m ³ /s)	37.5	25.3
Delta WS (m)	0.68	Top Width (m)	4.29	2.71
BR Open Area (m ²)	822.60	Frctn Loss (m)	0.21	
BR Open Vel (m/s)	3.42	C & E Loss (m)	0.02	
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m ²)	110.38	234.67
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	260.11	801.65

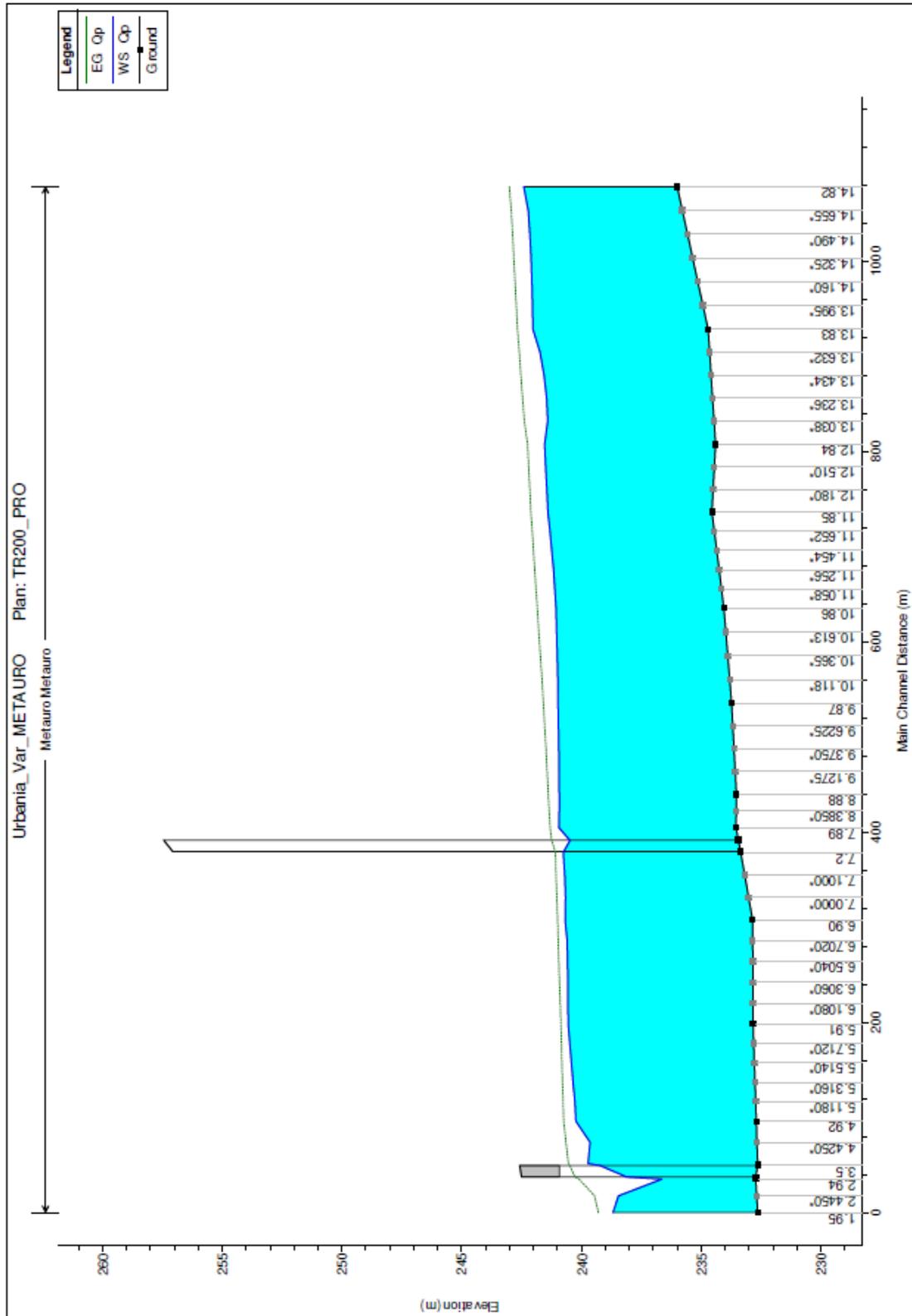
PROGETTAZIONE ATI:

3.6. ALLEGATO 7: MODELLO IDRAULICO VIADOTTO "METAURO" SUL FIUME METAURO

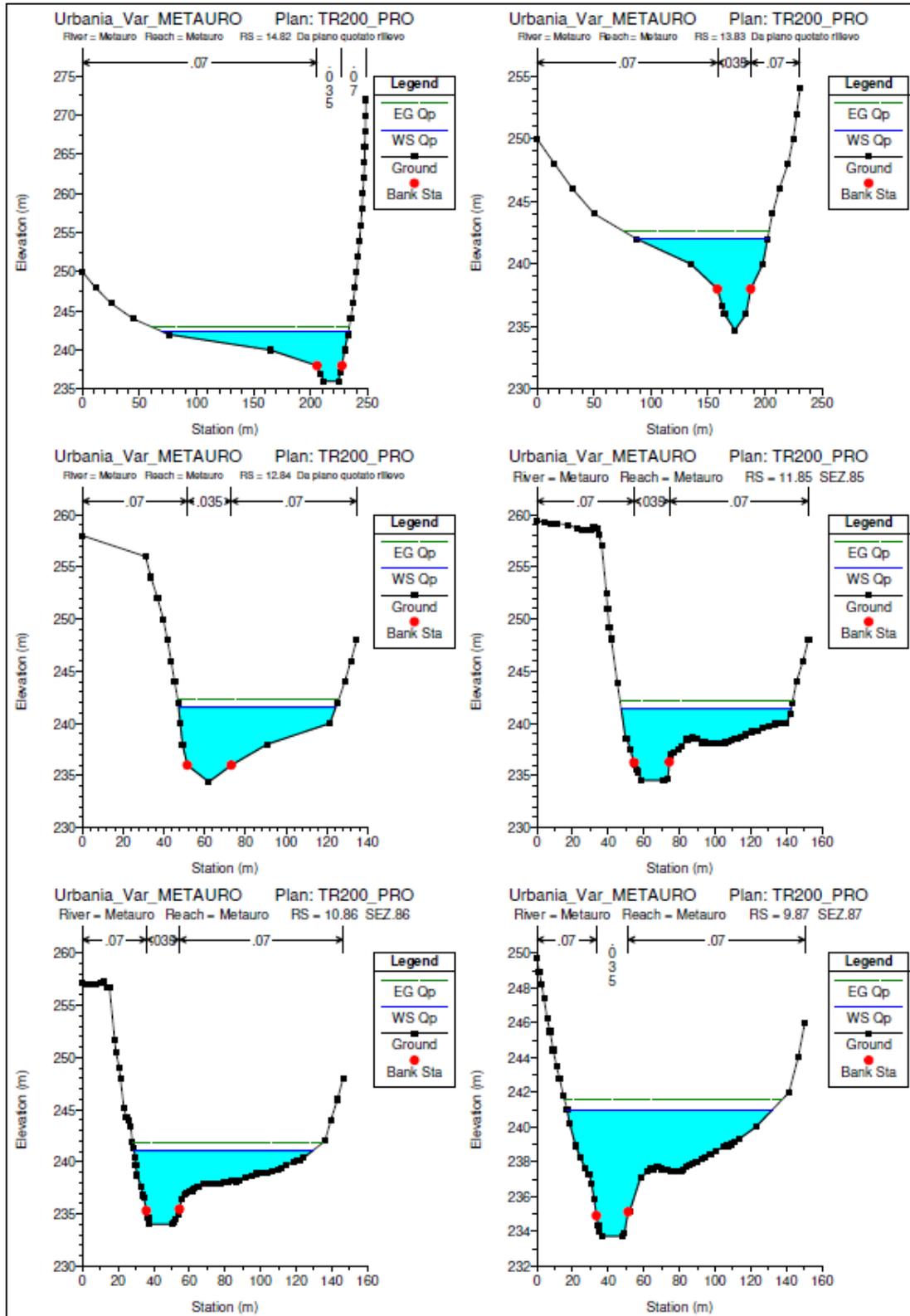
3.6.1. Planimetrie, profili e sezioni



PROGETTAZIONE ATI:

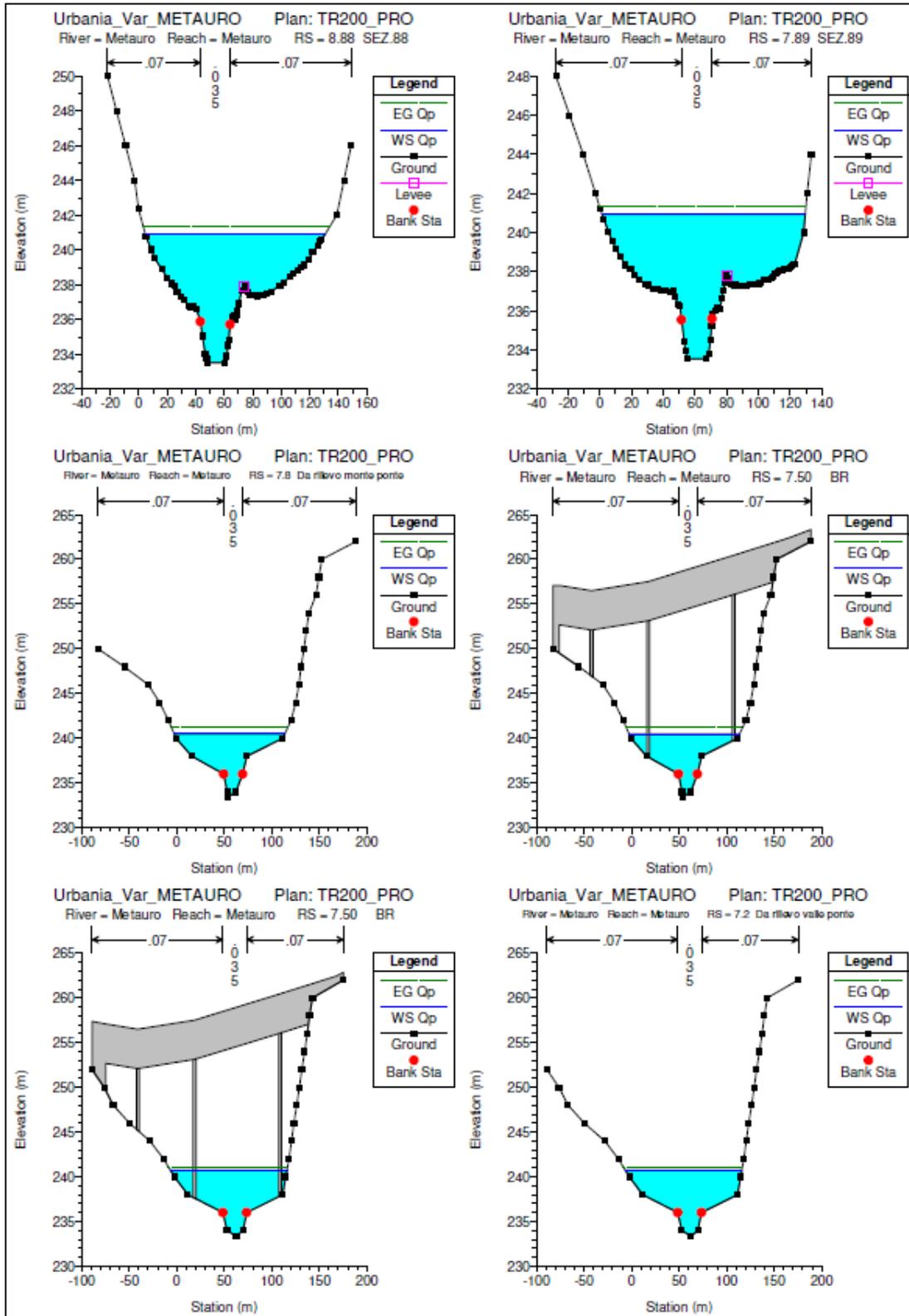


PROGETTAZIONE ATI:

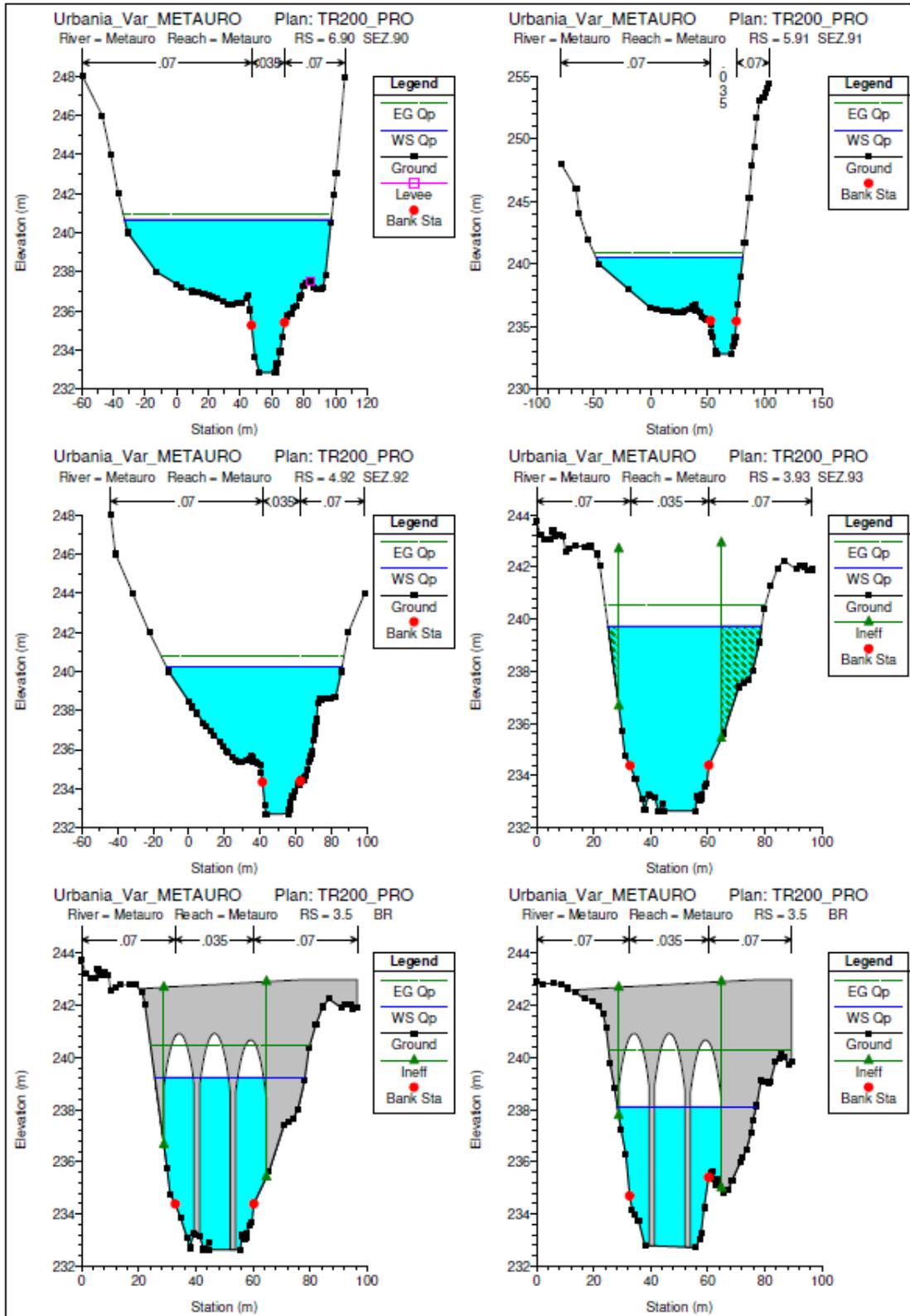


PROGETTAZIONE ATI:

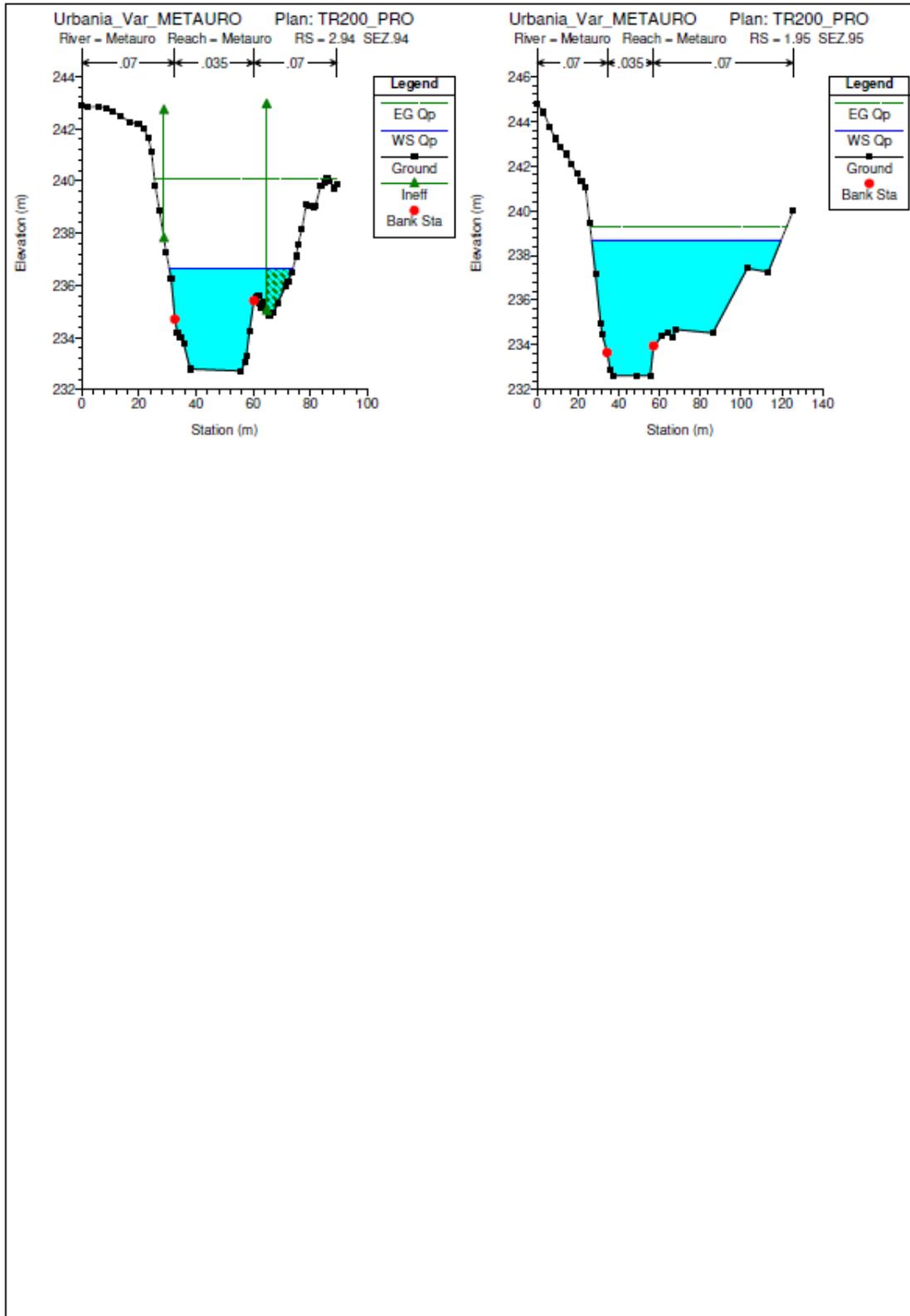
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MAGGIORI (VIADOTTI)



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

3.6.2. Outputs numerici

Tabella 3-14: outputs numerici nel tratto oggetto di analisi

HEC-RAS Plan: TR200_PRO River: Metauro Reach: Metauro Profile: Qp

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
Metauro	14.82	Qp	823.98	236.00	242.41	241.49	243.01	0.002049	4.15	409.64	163.84	0.54
Metauro	13.83	Qp	823.98	234.71	242.03	240.38	242.67	0.001710	3.86	333.83	115.13	0.50
Metauro	12.84	Qp	823.98	234.40	241.53	240.26	242.25	0.002001	4.34	310.72	77.14	0.55
Metauro	11.85	Qp	823.98	234.55	241.40	240.40	242.11	0.002071	4.40	333.61	95.42	0.55
Metauro	10.86	Qp	823.98	234.05	241.07	240.02	241.85	0.002103	4.59	331.32	100.14	0.56
Metauro	9.87	Qp	823.98	233.73	240.98	239.71	241.59	0.001688	4.23	386.64	114.95	0.51
Metauro	8.88	Qp	823.98	233.53	240.93	239.31	241.39	0.001328	3.66	433.65	126.15	0.44
Metauro	7.89	Qp	823.98	233.54	240.94	239.26	241.31	0.001145	3.43	481.41	128.23	0.41
Metauro	7.8	Qp	823.98	233.45	240.50	239.60	241.25	0.002439	4.56	337.48	116.43	0.59
Metauro	7.50	Bridge										
Metauro	7.2	Qp	823.98	233.35	240.76	238.74	241.09	0.001001	3.12	479.65	122.70	0.39
Metauro	6.90	Qp	823.98	232.85	240.68	238.68	240.99	0.000940	3.16	512.60	130.37	0.37
Metauro	5.91	Qp	823.98	232.83	240.55	238.21	240.86	0.000886	3.04	511.64	128.62	0.36
Metauro	4.92	Qp	823.98	232.70	240.23	238.06	240.74	0.001327	3.74	389.46	98.47	0.45
Metauro	3.93	Qp	823.98	232.64	239.73	237.45	240.54	0.001761	4.14	223.90	53.88	0.51
Metauro	3.5	Bridge										
Metauro	2.94	Qp	823.98	232.72	236.64	237.60	240.10	0.016645	8.30	105.09	43.30	1.41
Metauro	1.95	Qp	823.98	232.64	238.68	237.12	239.29	0.002003	4.12	342.45	92.93	0.54

Tabella 3-15: outputs numerici alla sezione 7.50 a monte del viadotto di progetto "Metauro" per Tr=200 anni

Plan: TR200_PRO Metauro Metauro RS: 7.50 Profile: Qp

E.G. US. (m)	241.25	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	240.50	E.G. Elev (m)	241.24	241.10
Q Total (m3/s)	823.98	W.S. Elev (m)	240.47	240.74
Q Bridge (m3/s)	823.98	Crit W.S. (m)	239.59	238.68
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	7.02	7.39
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.54	1.79
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	324.01	459.55
Weir Submerg		Froude # Chl	0.60	0.40
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	965.71	1297.70
Min El Weir Flow (m)	256.50	Hydr Depth (m)	2.94	3.94
Min El Prs (m)	257.44	W.P. Total (m)	118.45	130.68
Delta EG (m)	0.16	Conv. Total (m3/s)	16407.5	25271.1
Delta WS (m)	-0.25	Top Width (m)	110.17	116.58
BR Open Area (m2)	2595.17	Frctn Loss (m)	0.02	0.00
BR Open Vel (m/s)	2.54	C & E Loss (m)	0.12	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	67.65	36.66
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	172.04	65.74

Tabella 3-16: outputs numerici alla sezione 3.50 a monte del viadotto di progetto "Metauro" per $T_R=200$ anni

Plan: TR200_PRO Metauro Metauro RS: 3.5 Profile: Qp

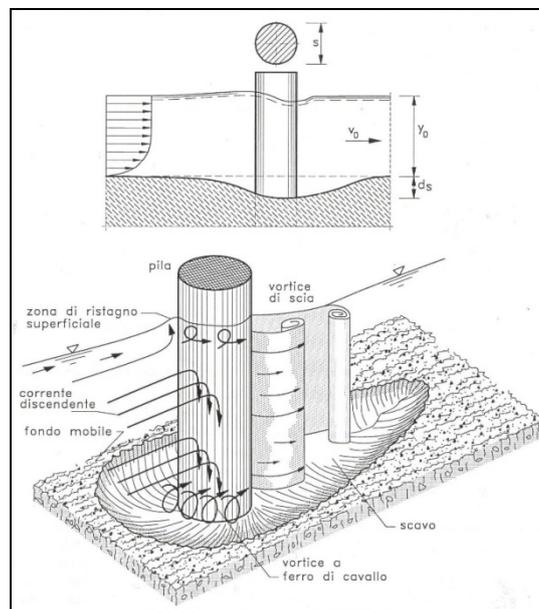
E.G. US. (m)	240.54	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	239.73	E.G. Elev (m)	240.49	240.27
Q Total (m3/s)	823.98	W.S. Elev (m)	239.23	238.12
Q Bridge (m3/s)	823.98	Crit W.S. (m)	237.84	238.12
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	6.59	5.40
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	4.57	6.06
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	180.16	136.02
Weir Submerg		Froude # Chl	0.62	0.89
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	939.83	859.29
Min El Weir Flow (m)	242.69	Hydr Depth (m)	6.31	4.26
Min El Prs (m)	240.93	W.P. Total (m)	67.34	59.49
Delta EG (m)	0.45	Conv. Total (m3/s)	9174.9	6572.3
Delta WS (m)	3.08	Top Width (m)	28.55	31.92
BR Open Area (m2)	202.09	Frctn Loss (m)	0.13	0.02
BR Open Vel (m/s)	6.06	C & E Loss (m)	0.09	0.15
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	211.62	352.45
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	967.86	2135.04

PROGETTAZIONE ATI:

4. ANALISI DELL'EROSIONE ALLA BASE DELLE PILE IN ALVEO DEL VIADOTTO "METAURO" SUL FIUME METAURO

La causa principale dell'erosione localizzata in corrispondenza della base delle pile in alveo a fondo mobile è la formazione di vortici alla loro base, che sono comunemente detti "vortici a ferro di cavallo".

Tale fenomeno viene ad interessare planimetricamente tutta l'area circostante la pila fino alla linea di separazione del vortice dal flusso circostante (vedi figura seguente).



Erosione localizzata provocata dalla pila di un ponte

(Da Deppo/Datei "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali" – maggio 1999)

La metodologia sviluppata da Breusers, descritta in dettaglio ad esempio in Da Deppo e Datei (1994)¹, è una delle formule più utilizzate per la stima dello scalzamento. Secondo tale approccio i principali fattori che influenzano il processo di erosione alla base delle pile sono la velocità media e la profondità della corrente, la larghezza, la lunghezza e la forma della pila, l'angolo di attacco della corrente, la natura e le dimensioni del materiale d'alveo e l'eventuale presenza di detriti trasportati. Data una pila di forma generica, la profondità dello scavo d_s può essere dunque descritta così:

¹ Luigi Da Deppo, Claudio Datei, *Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali*. Editoriale Bios. (1994)

PROGETTAZIONE ATI:

$$\frac{d_s}{s} = f_1\left(\frac{v}{v_{cr}}\right) f_2(forma) f_3\left(\alpha, \frac{l}{s}\right) \left[2 \tanh\left(\frac{y}{s}\right) \right]$$

nelle quali le funzioni f_1 , f_2 e f_3 hanno le seguenti espressioni:

$$f_1\left(\frac{v}{v_{cr}}\right) = 0 \quad \text{per } \frac{v}{v_{cr}} \leq 0.5$$

$$f_1\left(\frac{v}{v_{cr}}\right) = 2 \frac{v}{v_{cr}} - 1 \quad \text{per } 0.5 < \frac{v}{v_{cr}} \leq 1$$

$$f_1\left(\frac{v}{v_{cr}}\right) = 1 \quad \text{per } \frac{v}{v_{cr}} > 1$$

$$f_2(forma) = 1.00 \quad \text{per pile circolari o con fronti arrotondati;}$$

$$f_2(forma) = 0.75 \quad \text{per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente;}$$

$$f_2(forma) = 1.30 \quad \text{per pile rettangolari;}$$

$$f_3\left(\alpha, \frac{l}{s}\right) \text{ ricavabile dal grafico seguente;}$$

essendo:

d_s la profondità dello scavo misurata a partire dal fondo del terreno indisturbato;

s la larghezza della pila di lunghezza l ;

v la velocità media della corrente indisturbata;

v_{cr} la velocità critica di trascinamento, intesa come velocità media alla quale inizia il movimento del materiale del fondo di assegnato diametro d e ricavata con la seguente formula di Hincu (1965):

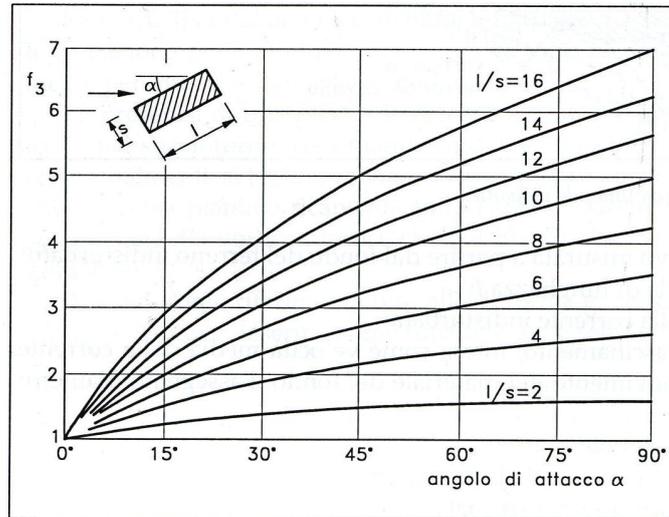
$$v_{cr} = 1.2 \sqrt{gd \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \left(\frac{y}{d} \right)^{0.2}}$$

d la dimensione del materiale; per i miscugli si adotta normalmente come riferimento granulometrico d_{50} ;

α l'angolo che la corrente indisturbata forma con la pila;

y la profondità della corrente indisturbata.

PROGETTAZIONE ATI:



Andamento della funzione f_3 al variare di α e di l/s .

Allo scopo di stimare l'entità dello scavo indotto dall'erosione localizzata intorno alla base delle pile del viadotto Metauro nel corso di una piena duecentennale del F. Metauro, dal modello numerico allestito sono stati desunti i dati caratteristici della corrente di piena nell'alveo 1D, all'interno del quale transita una portata di picco complessiva pari a $823.98 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dal momento che le pile di progetto sono previste in ambito golenale, a oltre 30 m di distanza dall'alveo inciso, per le verifiche sono stati ricavati i parametri idraulici relativi alla golena in sinistra idrografica (dove è prevista la realizzazione della pila "P2" del viadotto) e alla golena destra (dove è prevista la realizzazione della pila "P1"), in quanto assumere i parametri medi dell'intera sezione sarebbe risultato eccessivamente cautelativo.

HEC-RAS Plan: TR200_PRO Locations: User Defined Profile: Qp																
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 # Chi	Q Left	Top W Left	Flow Area L	Vel Left
			(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)		(m^3/s)	(m)	(m^2)	(m/s)
Metauro	7.8	Qp	823.98	233.45	240.50	239.60	241.25	0.002439	4.56	337.48	116.43	0.59	197.30	52.02	142.98	1.38

Le immagini seguenti riportano l'analisi granulometrica ritenuta rappresentativa dei materiali in alveo, da cui si ricava $d_{50} = 20 \text{ mm}$.

Le pile hanno larghezza pari a 3 m.

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA (ASTM D422)

COMMITTENTE:	GAMMA GEOSERVIZI SRL				
CANTIERE:	E78 GROSSETO-FANO VARIANTE URBANIA - TRONCO SELCI LAMA - S.STEFANO DI GAIFA- CIG 82488942AC - URBANIA (PU)				
CAMPIONE:	CR1	SONDAGGIO:	S17-DH	PROFONDITA' PRELIEVO (m):	3,45-3,90
COMMESSA:	5489/21/L013/0065	DURATA PROVE:	10/05/21-21/05/21		
VERBALE ACC.:	ACC.131/21 del 30/04/2021	DATA CONSEGNA:	21/05/2021		
GEO - CERT. n°:	GA-2021-4295	rev.0 del:	21/05/21		
COD. STRUMENTAZIONE: WD110005022, setacci					

Note:

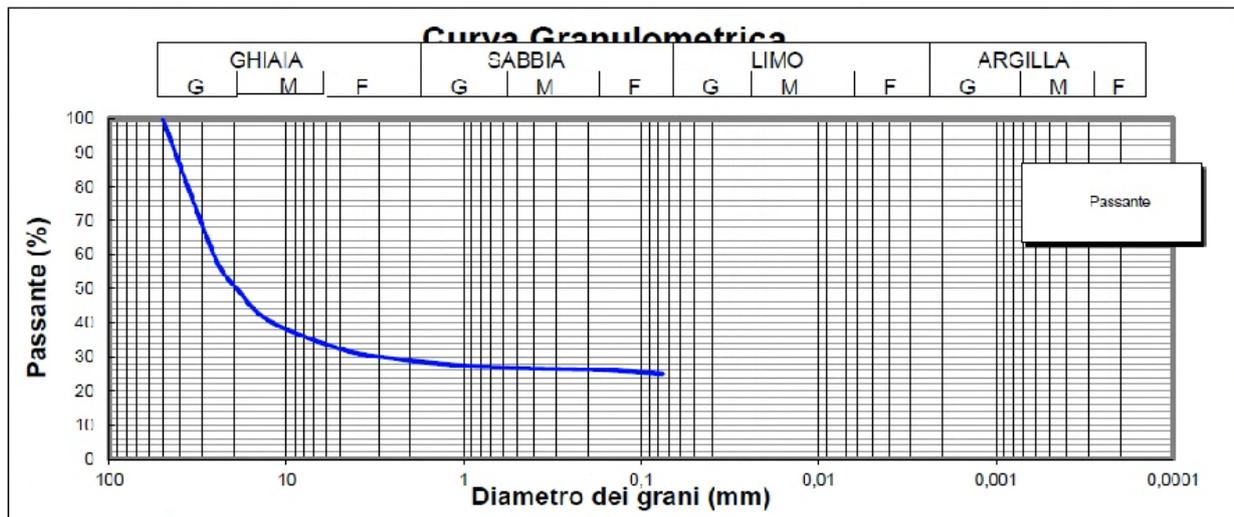
VAGLI	APERTURE	TRATT.	% TRATT.	% TRATT.	% Passante
ASTM	(mm)	(g)		Progres.	
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,000	716,29	11,47	41,47	58,53
3/4"	19,000	148,08	8,57	50,05	49,95
1/2"	12,600	163,28	9,45	59,50	40,60
4	4,750	147,08	8,52	68,01	31,99
8	2,360	46,08	2,67	70,68	29,32
10	2,000	8,81	0,51	71,19	28,81
16	1,180	19,98	1,16	72,35	27,65
20	0,850	9,00	0,53	72,88	27,12
30	0,600	4,99	0,29	73,16	26,84
40	0,425	4,21	0,24	73,41	26,59
60	0,250	4,19	0,24	73,65	26,35
80	0,180	2,15	0,12	73,78	26,22
100	0,150	3,19	0,18	73,96	26,04
200	0,075	18,24	1,06	75,02	24,98
FONDO	//	431,24	24,97	99,98	//
TOTALI		1726,89	99,98	C.Q. > 97 %	

OPERAZIONE LAVAGGIO CAMPIONE

Contenitore n°	A
Peso contenitore (g)	268,75
Peso umido campione (g)	1866,4
Peso secco campione (g)	1727,17
Peso secco campione lavato (g)	1295,93
Peso quantità > 25 mm (g)	716,29
Perdita lavaggio (g)	431,24
Riscontro pesi (g)	0,28

RISULTATI

GHIAIE		Grosse	49
		Medie	18
71		Fini	4
SABBIE		Grosse	2
		Medie	1
4		Fini	1
LIMO/ARGILLA			25



Lo Sperimentatore

Dott. Geol. Alessandro Puzella

Pagina 1 di 1

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Geol. Paola Venezia

Laboratorio autorizzato con Doc. n. 563 del 11/11/2019, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC
Sistema di Gestione Certificati QUALITÀ UNI EN ISO 9001:2015 AMBIENTE UNI EN ISO 14001:2015 SICUREZZA UNI EN ISO 45001:2018

PROGETTAZIONE ATI:

I calcoli svolti per la pila P2 in sinistra idrografica mediante il foglio elettronico di seguito allegato fornisce uno scavo alla base della pila pari a 2.71 m, fino alla quota 234.50 m s.l.m.

Tale risultato è da ritenersi valido anche per la pila P1, per la quale si ottengono valori inferiori di scavo.

Dati caratteristici della sezione, della pila e del materiale di fondo		
Sezione Metauro	7.8 di Hec	sezione di monte del ponte
Q200 [mc/s]	= 197.30	portata duecentennale
h [m s.l.m.]	= 240.50	livello del pelo libero Tr=200
h terreno [m s.l.m.]	= 237.21	livello del fondo alla base della pila
y [m]	= 3.29	Profondità della corrente indisturbata a monte
b [m]	= 52.02	larghezza del pelo libero nella sezione del ponte
A [mq]	= 142.98	Area bagnata
v [m/s]	= 1.38	velocità media moto uniforme
s [m]	= 3.00	larghezza iniziale della pila
d ₅₀ [m]	= 0.0200	dimensione mediana del materiale di fondo
γs [N/mc]	= 26500	peso specifico materiale
γ [N/mc]	= 9810	peso specifico acqua
α	= 0.00	angolo tra corrente e pila
Calcolo dello scavo in corrispondenza della pila		
v _{cr} [m/s]	= 1.92	velocità critica di trascinamento
v/v _{cr}	= 0.71733	
f1	= 0.43	
f2	= 1.3	fattore forma pile con fronti rettangolari
f3	= 1	
ds/s	= 0.90	
ds1 [m]	= 2.71	scavo alla base della pila
fondo scavo [m s.l.m.]	= 234.50	

Lo scavo calcolato mediante la metodologia di Breusers alla base della pila più sollecitata, pari a 2.71 m, è ritenuto rappresentativo in quanto l'applicazione di altri metodi tratti dalla letteratura di settore (HEC-18 2012, Sheppard & Miller 2006, Florida Dot, Froehlich, Froehlich Design) fornisce un valore medio di scalzamento pari a 2.50 m.

Nonostante la profondità di scavo calcolata non interessi il plinto di fondazione di progetto, posto ad una profondità di 2.95 m dal piano campagna (vedi Elab T00VI06STRDI03), si prevede la messa in opera di opere di corazzamento del fondo mediante rivestimento in scogliera di massi naturali di congrua pezzatura, da sistemare sopra e all'intorno della platea di fondazione delle pile P1 e P2. Dette opere di presidio sono previste in scogliera in massi di natura silicea o calcarea, non gelivi, di diametro equivalente pari a circa 1.0 m e di peso prossimo a 1.4 t, sistemati su uno strato

appoggiato su una base di misto in ghiaia avente spessore di 35 cm, a sua volta allettato su uno strato separatore costituito da un telo di geotessile di peso pari ad almeno 500 gr/m².

Di seguito si riportano i calcoli svolti per la pila P2 in sinistra idrografica mediante il foglio elettronico allegato nella configurazione di progetto.

Dati caratteristici della sezione, della pila e del materiale di fondo		
Sezione Metauro	7.8 di Hec	sezione di monte del ponte
Q200 [mc/s] =	197.30	portata duecentennale
h [m s.l.m.] =	240.50	livello del pelo libero Tr=200
h terreno [m s.l.m.] =	237.21	livello del fondo alla base della pila
y [m] =	3.29	Profondità della corrente indisturbata a monte
b [m] =	52.02	larghezza del pelo libero nella sezione del ponte
A [mq] =	142.98	Area bagnata
v [m/s] =	1.38	velocità media moto uniforme
s [m] =	3.00	larghezza iniziale della pila
d ₅₀ [m] =	1.0000	dimensione mediana del materiale di fondo
γ _s [N/mc] =	26500	peso specifico materiale
γ [N/mc] =	9810	peso specifico acqua
α =	0.00	angolo tra corrente e pila
Calcolo dello scavo in corrispondenza della pila		
v _{cr} [m/s] =	6.22	velocità critica di trascinamento
v/v _{cr} =	0.22184	
f ₁ =	0.00	
f ₂ =	1.3	fattore forma pile con fronti rettangolari
f ₃ =	1	
ds/s =	0.00	
ds ₁ [m] =	0.00	scavo alla base della pila
fondo scavo [m s.l.m.] =	237.21	