

**ITINERARIO RAGUSA-CATANIA**

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte" con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 3 - Dallo svincolo n. 5 "Grammichele" (compreso) allo svincolo n. 8 "Francofonte" (escluso)

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **PA897**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE**

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini

Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia n° A1373

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N.Granieri  
Dott. Ing. F.Durastanti  
Dott. Ing. V.Truffini  
Dott. Arch. A.Bracchini  
Dott. Ing. L.Nani

Dott. Ing. M.Abram  
Dott. Ing. F.Pambianco  
Dott. Ing. M.Briganti Botta  
Dott. Ing. L.Gagliardini  
Dott. Geol. G.Cerquiglini

MANDANTI:



Dott. Ing. G.Guiducci  
Dott. Ing. A.Signorelli  
Dott. Ing. E.Moscatelli  
Dott. Ing. A.Bela

Dott. Ing. G.Lucibello  
Dott. Arch. G.Guastella  
Dott. Geol. M.Leonardi  
Dott. Ing. G.Parente



Dott. Arch. E.A.E.Crimi  
Dott. Ing. M.Panfilii  
Dott. Arch. P.Ghirelli  
Dott. Ing. D.Pelle

Dott. Ing. L.Ragnacci  
Dott. Arch. A.Strati  
Archeol. M.G.Liseno



Dott. Ing. D.Carlaccini  
Dott. Ing. S.Sacconi  
Dott. Ing. C.Consorti

Dott. Ing. F.Aloe  
Dott. Ing. A.Salvemini



Dott. Ing. V.Rotisciani  
Dott. Ing. G.Pulli  
Dott. Ing. F.Macchioni

Dott. Ing. G.Verini Supplizi  
Dott. Ing. V.Piunno  
Geom. C.Sugaroni



Dott. Ing. P.Agnello



IL RESPONSABILE DI PROGETTO: INGEGNERE

**Vladimiro ROTISCIANI**

civile ed ambientale industriale dell'informazione  
A 376  
Provincia di TERNI

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

**Relazione idraulica attraversamenti principali e secondari**

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T03ID00IDRRE03			
L O 4 0 8 Z	E	2 1 0 1	CODICE ELAB. T 0 3 I D 0 0 I D R R E 0 3	B	-	
B	Revisione a seguito di Rapporto di Verifica		Nov. 2021	F.Macchioni	V. Rotisciani	N.Granieri
A	Emissione		Giu 2021	F.Macchioni	V. Rotisciani	N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CORSI D'ACQUA PRINCIPALI</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1</b>	<b>MODELLAZIONE IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI</b> .....	<b>6</b>
4.1.1	Fondamenti teorici del deflusso in moto permanente.....	6
4.1.2	Ipotesi di calcolo .....	14
4.1.3	Torrente Fiumicello.....	17
<b>5</b>	<b>CORSI D'ACQUA SECONDARI E ATTRAVERSAMENTI FOSSI DI GUARDIA</b> .....	<b>18</b>
<b>5.1</b>	<b>MODELLAZIONE IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI</b> .....	<b>18</b>
5.1.1	Fosso Buseara .....	21
5.1.2	Attraversamenti HY8.....	21
<b>6</b>	<b>FENOMENI IDRODINAMICI E MORFOLOGICI INDOTTI DALL'INTERAZIONE DELL'ALVEO CON LE OPERE VIARIE</b> .....	<b>23</b>
<b>6.1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>23</b>
<b>6.2</b>	<b>VULNERABILITÀ IDRAULICA DEI PONTI PER FENOMENI EROSIVI</b> .....	<b>24</b>
6.2.1	Generalità sull'erosione.....	25
6.2.2	Abbassamento generalizzato dell'alveo .....	28
6.2.3	Fenomeni di erosione localizzata in corrispondenza di pile e spalle di un ponte .....	28
<b>6.3</b>	<b>TENDENZA EVOLUTIVA DI UN CORSO D'ACQUA</b> .....	<b>34</b>
6.3.1	Condizione di incipiente movimento .....	36
6.3.2	Trasporto solido .....	37
6.3.3	Capacità di trasporto solido.....	39
6.3.4	Portata formativa.....	40
6.3.5	Bilancio sedimentologico.....	42
<b>6.4</b>	<b>ANALISI DELL'INTERAZIONE DELLE OPERE VIARIE CON I CORSI D'ACQUA DI INTERESSE</b> .....	<b>43</b>
6.4.1	Valutazione dello stato di erosione dell'alveo dei corsi d'acqua in attraversamento e stima della tendenza evolutiva.....	44
6.4.2	Analisi dello scalzamento al piede delle pile .....	45
6.4.3	Interventi di sistemazione idraulica.....	46
<b>7</b>	<b>ALLEGATI SIMULAZIONI IDRAULICHE HEC-RAS</b> .....	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>ALLEGATI SIMULAZIONI IDRAULICHE HY8</b> .....	<b>53</b>

---

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

## 1 PREMESSA

Nell'ambito della progettazione esecutiva dell' "ammodernamento a n° 4 corsie della S.S. 514 "di Chiaramonte" e della S.S. 194 Ragusana dallo svincolo con la S.S. 115 allo svincolo con la S.S. 114", è stato effettuato uno "Studio idrologico e idraulico di dettaglio" finalizzato all'analisi delle interferenze idrografiche.

In particolare è stato sviluppato uno studio a supporto alla progettazione teso a fornire un'analisi delle interazioni tra le opere viarie e i corsi d'acqua con esse interferenti, valutando l'adeguatezza dei manufatti di attraversamento, esistenti e in progetto, sia in termini di sezione idraulica sia di franco di sicurezza rispetto all'intradosso del manufatto.

Sono stati eseguiti approfondimenti di tipo morfologico, morfometrico e topografico al fine di meglio caratterizzare le fenomenologie idrodinamiche e morfologiche che intervengono nel corso di eventi di piena per il corretto dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica e la caratterizzazione del grado di sicurezza degli attraversamenti.

## 2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Si riporta di seguito un elenco delle normative vigenti che sono state prese a riferimento per la definizione degli interventi di carattere idraulico.

- Regio Decreto 25 luglio 1904, n°523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie"
- Decreto del Ministero LL.PP. 4 maggio 1990 "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali"
- Circolare n. 34233 del 25 febbraio 1991 del Ministero dei LL.PP. "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali"
- D.M. 17/01/2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n. 42 del 20/02/2018) – comma 5.1.2.4 "Compatibilità idraulica"
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (GU n. 35 del 11-2-2019 - Suppl. Ordinario n.5) " – cap. 5.1. Ponti stradali – Comma 5.1.2.4 "Compatibilità idraulica"
- "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico" a cura dell'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia (2004) – Norme di Attuazione
- (P.G.R.A.) Piano di gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) - Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni - NORME DI ATTUAZIONE.
- D.S.G. 189/2020 "Prime direttive per la determinazione dell'ampiezza dell'alveo nel caso di sponde incerte (art. 94 del R.D. 523/1904) e per la determinazione della fascia di pertinenza fluviale da sottoporre alle limitazioni d'uso" - Dipartimento regionale dell'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico Sicilia.

### 3 ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

L'infrastruttura in progetto prevede l'attraversamento dei corsi d'acqua interferiti mediante viadotti, ponti e tombini scatolari.

Si riporta di seguito un elenco degli attraversamenti con l'indicazione della tipologia d'opera.

Tabella 3.1 - Attraversamenti idraulici.

Corso d'acqua	Progr. (km)	Tipologia attraversamento
Affluente Torrente Fiumicello	1+256,20	Viadotto "Piano delle Rose"
Torrente Fiumicello	1+400,00	Viadotto "Piano delle Rose"
Fosso Buscara	4+683,65	scatolare 4.00x3.00 m
Affluente Fosso Buscara	5+460,16	scatolare 2.00x2.00 m
Affluente Fosso Buscara	5+567,43	scatolare 2.00x2.00 m
Fosso S.N.	9+986,97	scatolare 2.00x2.00 m
Fosso S.N.	10+756,80	scatolare 2.00x2.00 m
Affluente torrente Canale	16+357,48	scatolare 2.00x2.00 m

Le verifiche idrauliche sono condotte in accordo con la specifica normativa di settore contenuta al paragrafo 5.1.2.3 (Compatibilità idraulica) delle Norme Tecniche per le costruzioni approvate con Decreto Ministeriale 17/01/2018 e al paragrafo 5.1.2.3 (Compatibilità idraulica) della Circolare 21/01/2019, n. 7 del Consiglio Superiore Lavori Pubblici. La portata di progetto è quella caratterizzata da  $Tr=200$  anni e per tale valore il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo (intesa come alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di progetto), la luce netta tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare.

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.

L'analisi di compatibilità idraulica è effettuata nel rispetto dell'art. 5 commi 1 e 2 del P.G.R.A. relativo all'invarianza idraulica per una portata di progetto con  $Tr=300$  anni.

Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della NTC 2018 i tombini tuttavia al paragrafo 5.1.2.3 (Compatibilità idraulica) della Circolare 21/01/2019, n. 7 sono riportate le seguenti indicazioni progettuali:

- L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti;
- Nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 1/3.

## 4 CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

I corsi d'acqua principali, sottoposti a modellazione in moto permanente per la verifica degli attraversamenti, sono di seguito elencati.

Tabella 4.1 - Elenco corsi d'acqua principali.

Corso d'acqua	Progr. (km)	Tipologia attraversamento
Torrente Fiumicello	1+400,00	Viadotto "Piano delle Rose" Ldx = 321 m - Lsx = 325 m

### 4.1 MODELLAZIONE IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI

La ricostruzione del profilo di piena è stata eseguita in moto permanente con l'ausilio del software di calcolo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), sviluppato dall'U.S. Army Corp of Engineers.

Il programma permette la ricostruzione dei tiranti idrici di un corso d'acqua mediante l'integrazione numerica con il metodo dello "standard step" dell'equazione differenziale del moto permanente.

Il modello di calcolo è basato sulle seguenti ipotesi:

- il moto è permanente (le grandezze idrauliche non variano con il tempo);
- la geometria dell'alveo è caratterizzata generalmente da variazioni graduali di sezione dove è applicabile l'equazione del moto; nei tronchi dove si realizzano variazioni brusche di sezione viene adottata l'equazione dinamica in forma globale;
- il moto è monodimensionale, cioè si trascurano le componenti della velocità nelle direzioni ortogonali a quella di avanzamento della corrente; ne discende che: il carico energetico totale è lo stesso per tutti i punti di una sezione trasversale, la velocità ha una sola componente nella direzione della corrente e la superficie dell'acqua è orizzontale per tutta la sezione trasversale;
- la pendenza longitudinale non sia troppo elevata (minore del 10%);
- i dati di base richiesti dal programma di calcolo utilizzato sono sostanzialmente quelli relativi alle caratteristiche geometriche ed idrauliche del corso d'acqua in analisi. I dati necessari sono i profili di fondo (sezioni trasversali), le lunghezze dei tratti e la scabrezza dell'alveo e delle aree golenali.

I risultati delle simulazioni sono riportati sotto forma di allegati alla presente relazione.

#### 4.1.1 Fondamenti teorici del deflusso in moto permanente

In ogni sezione normale all'asse della corrente, la pressione varia seguendo la legge idrostatica. La condizione di continuità prevede che la portata sia costante, mentre l'area della sezione "Ω" e la velocità media "V" variano gradualmente lungo l'asse "s" della corrente:

$$Q = \Omega * V = Cost \quad [1]$$

L'equazione del moto è espressa mediante la formula:

$$J = -\frac{dH}{ds} \quad [2]$$

dove H, che rappresenta il carico totale, è espresso dalla relazione:

$$H = z_f + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad [3]$$

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Per quanto concerne la cadente J del carico idraulico totale, essa si valuta assumendo che gli sforzi tangenziali sul contorno dipendano solo dalle condizioni di scabrezza della parete, dalla forma della sezione e dalla velocità media. Si assume quindi:

$$J = \frac{V^2}{\chi^2 * R} \quad [4]$$

dove  $\chi$  è il coefficiente di resistenza di Chèzy, variabile da sezione a sezione, in funzione della variazione dell'area della sezione e del perimetro bagnato (e di conseguenza il raggio idraulico e la scabrezza relativa).

Le due equazioni fondamentali sono risolte mediante la procedura iterativa (standard step method) allo scopo di calcolare la quota del pelo libero incognita per una sezione:

- equilibrio energetico:

$$h_2 + \frac{a_2 * V_2^2}{2g} = h_1 + \frac{a_1 * V_1^2}{2g} * \Delta H \quad [5]$$

- perdite di carico:

$$\Delta H = \lambda * L + c * \left| \frac{a_2 * V_2^2}{2g} - \frac{a_1 * V_1^2}{2g} \right| \quad [6]$$

in cui:

$h_1, h_2$  rappresentano le quote del pelo libero, nelle sezioni di monte e di valle rispettivamente [m];

$V_1, V_2$  rappresentano la velocità media nelle sezioni di monte e di valle rispettivamente [m/s];

$\alpha_1, \alpha_2$  sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica nelle sezioni di monte e di valle rispettivamente;

$g$  è l'accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>];

$\Delta H$  le perdite di carico nel tratto [m];

$L$  è la lunghezza del tratto di riferimento (pesata sulle portate nel caso di alveo pluricursale) [m];

$\lambda$  è il coefficiente di attrito per le perdite distribuite nel tratto;

$c$  è il coefficiente di perdita di carico localizzata nelle eventuali variazioni di sezioni.

La lunghezza del tratto di riferimento viene pesata sulle portate ed è ricavata dalla relazione:

$$L = \frac{L_{sx} * Q_{sx} + L_{ch} * Q_{ch} + L_{dx} * Q_{dx}}{Q_{sx} + Q_{ch} + Q_{dx}} \quad [7]$$

in cui.

- $L_{sx}, L_{ch}, L_{dx}$  rappresentano rispettivamente la lunghezza specifica dell'area, interessata al flusso, della gola a sinistra, all'interno e a destra delle sponde;
- $Q_{sx}, Q_{ch}, Q_{dx}$ , media aritmetica (sulle due sezioni) delle portate di competenza delle sezioni parziali rispettivamente a sinistra, all'interno ed a destra delle sponde.

Al fine di determinare la portata complessiva in una sezione, il flusso viene diviso in flussi parziali interni a sotto-sezioni per le quali si possa considerare la distribuzione di velocità come uniforme, senza per questo incorrere in approssimazione eccessive.

La conduttanza di competenza di ogni sotto-sezione è ottenuta mediante la seguente equazione:

$$k = \frac{1}{n} * a * r^{2/3} \quad [8]$$

in cui:

- $k$  = conduttanza nella sotto-sezione di deflusso;

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

- n = coefficiente di Manning per la sotto-sezione;
- a = area della sotto - sezione interessata al flusso;
- r = raggio idraulico della sotto-sezione.

La conduttanza totale sarà data dalla somma delle conduttanze di competenza di ogni sotto - sezione. Nei calcoli la sezione naturale è stata divisa in tre aree con diverse caratteristiche rappresentate rispettivamente dal canale e dalle due aree laterali golenali.

Anche il coefficiente correttivo dell'energia cinetica è ricavato tenendo conto della suddivisione della sezione, tramite la seguente equazione:

$$\alpha = A^2 * \frac{\left( \frac{K_{sx}^3}{A_{sx}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{dx}^3}{A_{dx}^2} \right)}{K^3} \quad [9]$$

in cui:

- A = area totale interessata al flusso;
- K = conduttanza totale nella sezione;
- A<sub>sx</sub>, A<sub>ch</sub>, A<sub>dx</sub> = area, interessata al flusso, rispettivamente per le sotto-sezioni a sinistra, all'interno ed a destra delle sponde;
- K<sub>sx</sub>, K<sub>ch</sub>, K<sub>dx</sub> = conduttanze nelle sotto-sezioni, rispettivamente, a sinistra, all'interno e a destra delle sponde.

Le perdite distribuite nel tronco di corso d'acqua di lunghezza "L" (pesata sulle portate) è data dal prodotto di quest'ultima per il coefficiente di attrito λ.

$$\Delta H = \lambda * L \quad [10]$$

Il programma consente di scegliere l'espressione di λ tra le seguenti alternative:

- coefficiente di attrito media aritmetica:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad [11]$$

- coefficiente di attrito media sulle portate:

$$\lambda = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad [12]$$

- coefficiente di attrito media geometrica:

$$\lambda = \sqrt{\lambda_1 * \lambda_2} \quad [13]$$

- coefficiente di attrito media armonica:

$$\lambda = \frac{2 * \lambda_1 * \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad [14]$$

in cui:

- Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> = portata nelle due sezioni che limitano il tratto;
- K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> = conduttanza nelle due sezioni che limitano il tratto;
- λ<sub>1</sub>, λ<sub>2</sub> = coefficienti di attrito nelle due sezioni che limitano il tratto.

Il calcolo delle perdite di carico dovute alla contrazione o espansione della corrente si basa sulla seguente relazione:

$$\Delta H = c * \left| \frac{a_2 * V_2^2}{2g} - \frac{a_1 * V_1^2}{2g} \right| \quad [15]$$

dove:

## RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

- $V_1, V_2$  = velocità media nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;
- $\alpha_1, \alpha_2$  = coefficienti correttivi dell'energia cinetica nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;
- $g$  = accelerazione di gravità;
- $\Delta H$  = perdite di carico concentrate nel tratto;
- $c$  = coefficiente di perdita di carico localizzata nelle eventuali variazioni di sezioni.

Secondo il programma si verifica una contrazione della corrente ogni volta che il carico cinetico a valle è maggiore di quello a monte; analogamente, quando il carico cinetico a monte è maggiore di quello a valle, il programma assume che vi sia un'espansione. Il coefficiente  $c$  nel caso di espansione varia tra 0,3 e 0,8, mentre nel caso di contrazione varia tra 0,1 e 0,6.

La quota del pelo libero ad una sezione trasversale è determinata risolvendo iterativamente le equazioni [5] e [6] secondo la seguente procedura:

- Passo 1: Assunzione di un valore (arbitrario) per la quota del pelo libero nella sezione più a monte, nel caso di corrente veloce, od a valle nel caso di corrente lenta.
- Passo 2: Determinazione della portata totale e della velocità della corrente corrispondenti alla quota di cui al passo 1.
- Passo 3: Calcolo dei valori del coefficiente di attrito  $\lambda$  e determinazione delle perdite energetiche mediante la risoluzione dell'equazione [10].
- Passo 4: Calcolo della quota del pelo libero  $h_2$  mediante risoluzione dell'equazione [1] utilizzando i valori ottenuti con i passi 2 e 3.
- Passo 5: Comparazione del valore della quota del pelo libero calcolata con il passo 4 con quella assunta al passo 1; ripetizione dell'intera procedura finché la differenza tra le due quantità è minore di quella assunta ammissibile.

Una volta ottenuta la quota del pelo libero "bilanciata" in una sezione, il programma verifica che questa sia in accordo con le ipotesi assunte sul regime della corrente; se ciò non avviene la quota del pelo libero verrà considerata coincidente con la profondità critica.

La profondità critica è la quota per la quale il carico specifico è minimo e viene calcolata con procedura iterativa basata sull'equazione che definisce il carico specifico in una data sezione.

La profondità critica per una sezione trasversale viene determinata ogni volta che si verifica una delle seguenti condizioni:

- La corrente è veloce;
- Il calcolo della profondità critica viene richiesto dall'utente.

La quota del pelo libero iniziale per le sezioni al contorno può essere specificata in uno dei seguenti quattro modi:

- come profondità critica;
- come una elevazione nota;
- come profondità di moto uniforme con pendenza assegnata, ovvero come pendenza della linea dei carichi assegnata;
- da una scala di deflusso.

La portata viene specificata in una apposita variabile nella sezione di monte, ma può essere variata in una qualunque sezione e per tutte le sezioni a valle impostando una seconda variabile.

---

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

---

Nei tronchi sede di ponti, tombini o altre strutture che provocano effetti localizzati le condizioni idrometriche di monte si correlano con quelle di valle tramite relazioni empiriche appropriate tratte dalla letteratura tecnica.

**Ponti e viadotti**

Ai fini della simulazione numerica, la sezione in cui è localizzato il ponte viene trattata nel modo di seguito descritto.

Nella sezione del ponte si inseriscono gli ingombri geometrici delle pile e delle spalle del ponte; la geometria reale viene schematizzata con una idraulicamente equivalente, ove gli ingombri delle singole pile vengono assemblati in un numero ridotto di sagome. Questa operazione viene fatta separatamente per le zone di alveo, golena e coltivo.

Alla stessa ascissa della sezione predetta si posizionano una sezione di monte (identificata dal suffisso 'm') e una sezione di valle (identificata dal suffisso 'v') con lo stesso contorno bagnato, che differiscono dalla sezione del ponte solo per l'assenza dell'ingombro delle pile/spalle.

Queste due sezioni convenzionali di monte e di valle delimitano il tronco, che ha lunghezza trascurabile, in cui è localizzata la variazione della geometria.

La sezione del ponte con gli ingombri delle pile/spalle entra soltanto nel calcolo delle perdite localizzate che, appunto, da tali ingombri sono causate.

Pertanto, nel risultato finale, in corrispondenza della sezione del ponte, saranno riportati alla stessa ascissa i tre livelli corrispondenti, nell'ordine, alla sezione immediatamente a monte ('m'), a quella del ponte con gli ingombri di pile/spalle, e a quella immediatamente a valle ('v').

Il rigurgito dei ponti può essere valutato con metodologie diverse.

**Formula di Yarnell**

Nel breve tronco in cui è localizzato il ponte la differenza tra il livello di monte e quello di valle ( $z_m - z_v$ ) può essere calcolata con la formula di Yarnell dedotta da una estesa informazione sperimentale relativa a sezioni di forma rettangolare.

Si deve distinguere tra la situazione in cui la contrazione non è così forte da produrre la sezione di controllo tra le pile (di 'classe A' nella terminologia di Yarnell) e il caso in cui tale situazione si verifica (di 'classe B').

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

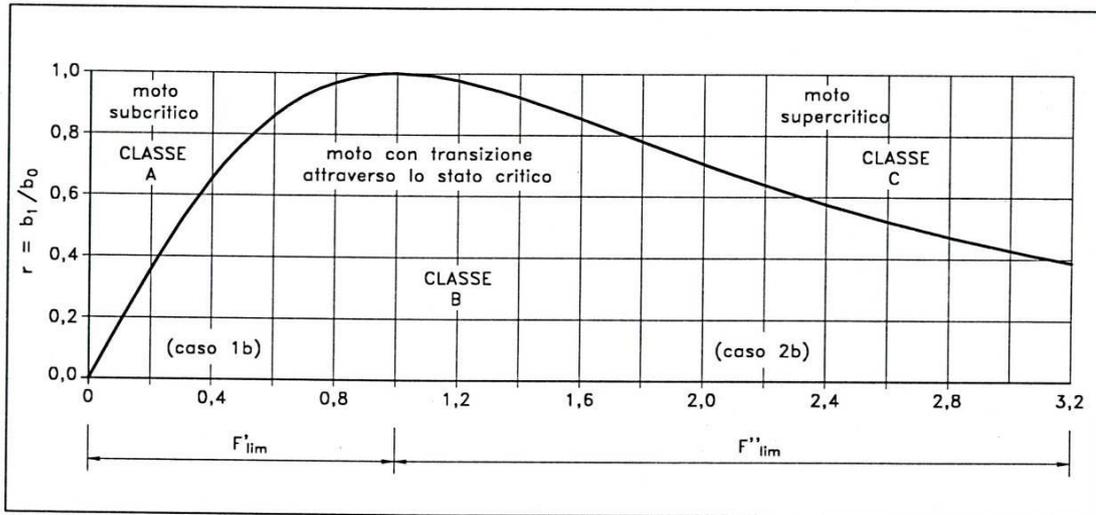


Figura 4.1: Classificazione dei modi di deflusso attraverso un restringimento (Da Deppo, Datei "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali")

Si calcola preventivamente il rapporto di contrazione  $r = b_1/b_0$  e si confronta con il rapporto di contrazione limite  $r_{lim}$  discriminante tra le classi 'A' e 'B' definito dall' espressione:

$$r_{lim}^2 = 27 \frac{F^2}{(2 + F^2)^3}$$

Se il rapporto di contrazione  $r$  risulta minore di  $r_{lim}$  il problema é di classe 'B' e il livello di monte si ottiene dal valore dell'energia nella sezione di monte posta pari a quella critica che si stabilisce tra le pile incrementata di una perdita di carico in contrazione pari a circa 1/3 del termine cinetico critico.

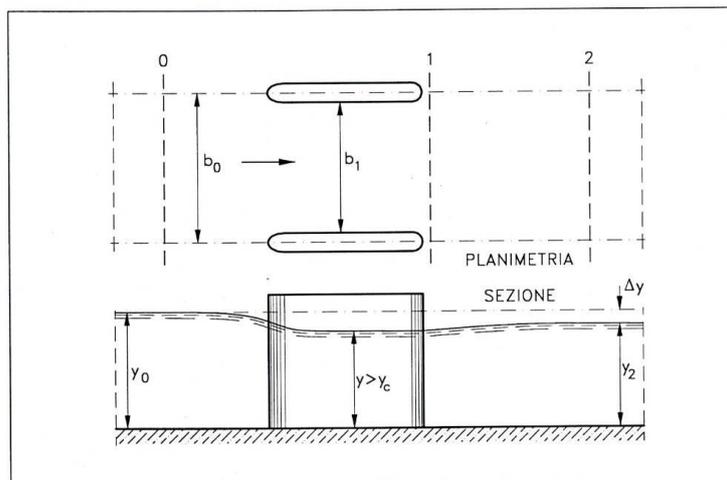


Figura 4.2: Deflusso attraverso le pile di un ponte senza transizione – classe A (Da Deppo, Datei "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali")

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Per il problema di 'classe A' la formula di Yarnell esprime l'entità del rigurgito ( $\Delta y$ ) in funzione del tirante idrico di valle ( $y_2$ ), del rapporto di ingombro del ponte ( $z = 1 - r$ ), di un coefficiente di forma della pila ( $K_Y$ ) e del numero di Froude ( $F = V/\sqrt{gA/B}$ ) della corrente nella sezione di valle ( $F_2$ ) con l'espressione:

$$\frac{\Delta y}{y} = K_Y (K_Y - 0.6 + 5F_2^2) (z + 15z^4) F_2^2$$

Il coefficiente di forma  $K_Y$  assume valori che vanno da 1.25 per pile non arrotondate a valori dell'ordine di 0.9 per pile arrotondate con vari profili (vedi Figura 4.3).

Nell'ipotesi che la corrente investa l'asse della pila con un angolo  $\alpha$  diverso da 0, i valori di  $\Delta y$  devono essere moltiplicati per il coefficiente 1.3 per  $\alpha = 10^\circ$  e 2.3 per  $\alpha = 20^\circ$ .

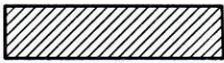
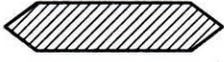
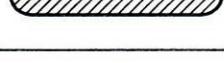
forma della pila	$K_Y$
	1,25
	1,05
	1,05
	0,95
	0,90

Figura 4.3: Coefficienti di forma delle pile dei ponti (Da Deppo, Datei "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali")

Formula di Rehbock

In base alla formula di Rehbock, l'espressione del rigurgito è:

$$\Delta y = K_R (1 - r) \frac{v_2^2}{2g}$$

dove  $K_R$  è un coefficiente di forma pari a 1 per pile a rostri arrotondati e 2 per pile a spigoli vivi.

Bilanci di energia (e-b) e di spinta totale (e-s)

Si distinguono, in corrispondenza dei ponti, il tratto tra la sezione di monte (M) e quella delle pile (P), in cui la corrente accelera, e quello tra questa sezione (P) e quella di valle (V) in cui la corrente rallenta.

Nel tratto M-P si impone il bilancio energetico conteggiando le perdite di carico in contrazione come una frazione del termine cinetico in P valutata in ragione del raccordo delle pile:

$$H_M = H_P + I \frac{v_P^2}{2g}$$

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Nel tratto P-V si può ancora imporre il bilancio energetico valutando le perdite di rallentamento con l'espressione di Borda (schema e-b):

$$H_p = H_v + I \frac{(v_p - v_v)^2}{2g}$$

oppure si può, in alternativa, imporre l'invarianza della spinta totale tra le sezioni P e V utilizzando la geometria della sezione V per valutare la spinta idrostatica nella sezione P (schema e-s).

La scelta dello schema di rappresentazione degli effetti di rigurgito può essere effettuata con appropriata analisi di sensitività: gli schemi e-b e e-s, più elaborati, hanno comunque, a priori, il vantaggio di essere applicabili a sezioni non sensibilmente rettangolari.

**Tombini**

In particolare, per quanto riguarda i tombini, l'analisi è condotta mediante due differenti approcci che tengono in debito conto delle condizioni idrauliche di monte e di valle che governano il moto:

- 1) **Outlet Control**: il flusso all'interno del tombino è in regime di outlet control quando è condizionato dalle condizioni di valle e/o dalla capacità portante della condotta. Pertanto si valuta l'altezza d'acqua in testa al tombino (upstream headwater depth) utilizzando i convenzionali metodi dell'idraulica considerando prevalenti le perdite dovute alla rugosità della condotta ed all'effetto tappo che si instaura con la eventuale presenza di un battente idrico a valle (tailwater);
- 2) **Inlet Control**: in questo caso, la capacità del sistema è condizionata dalle perdite di carico all'ingresso del tombino più che dalla capacità della condotta. Pertanto il tirante idrico in testa si determina considerando prevalenti le perdite causate dal restringimento della sezione di monte.

HEC – RAS calcola l'energia a monte del tombino necessaria affinché il flusso sia in regime di outlet control e quella corrispondente al regime di inlet control; il caso per cui risulta maggiore tale energia è quello che viene considerato per la determinazione delle caratteristiche idrodinamiche del flusso.

**Outlet control**

E' utilizzata l'equazione di Bernouilli

$$Z_3 + Y_3 + \frac{V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + H_L$$

dove  $Z_3, Z_2$  sono le quote di imbocco e di sbocco del tombino (m);

$Y_3, Y_2$  sono i tiranti idrici di monte e di valle (m);

$V_3, V_2$  sono le velocità di ingresso e di uscita della corrente (m);

$H_L$  sono le perdite di carico totali, date dalla somma delle perdite concentrate di ingresso e di uscita e dalle perdite distribuite lungo la condotta.

Inlet control

L'analisi si differenzia a seconda dell'entità delle portate da smaltire:

- a) Unsubmerged Inlet: portate per le quali il sistema si comporta come uno stramazzo; ci sono due metodi proposti dall'United States Federal Highway Administration:

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

dove  $HW_i$  è il carico idraulico all'ingresso del tombino;

$D$  è l'altezza della condotta;

$H_c$  è l'energia specifica corrispondente all'altezza critica;

$Q$  è la portata;

$A$  è l'area della sezione della condotta;

$S$  è la pendenza della condotta;

$K$  e  $M$  sono costanti dipendenti dalla geometria e dal tipo di condotta

- b) Submerged Inlet: quando la condotta si comporta da orifizio nel sistema

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

dove  $HW_i$  è il carico idraulico all'ingresso del tombino;

$D$  è l'altezza della condotta;

$H_c$  è l'energia specifica corrispondente all'altezza critica;

$Q$  è la portata;

$A$  è l'area della sezione della condotta;

$S$  è la pendenza della condotta;

$c$  e  $Y$  sono costanti dipendenti dalla geometria e dal tipo di condotta

- c) Transitional: in situazioni intermedie tra il comportamento a stramazzo e il comportamento ad orifizio

**4.1.2 Ipotesi di calcolo**

**Sezioni di calcolo**

---

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

La geometria delle sezioni di deflusso dei corsi d'acqua e delle opere esistenti è stata definita attraverso rilievi topografici specifici.

**Portata di verifica**

Le portate inserite nelle verifiche fanno riferimento ai tempi di ritorno di 200 e 300 anni.

**Coefficiente di scabrezza**

La definizione dei coefficienti di scabrezza caratterizzanti l'alveo dei corsi d'acqua è stata condotta attraverso il metodo di Cowan in cui la stima di  $n$  è ricondotta alla conoscenza di una serie di coefficienti che tengono conto della presenza di diversi fattori dissipativi. L'equazione da lui fornita è la seguente:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m$$

dove:

- $n_0$  è la quota parte di scabrezza corrispondente ad un alveo rettilineo con andamento uniforme e regolare;
- $n_1$  è il valore aggiuntivo che tiene conto delle irregolarità della superficie dell'alveo;
- $n_2$  è il contributo alla scabrezza dovuto alle variazioni di forma e dimensioni delle sezioni trasversali lungo il tratto in esame;
- $n_3$  è il valore che tiene conto di ostruzioni quali detriti, alberi morti, ecc.;
- $n_4$  è il contributo dovuto alla presenza di vegetazione;
- $m$  è un fattore di correzione per alveo meandriforme.

Per l'attribuzione dei valori ai suddetti coefficienti, corrispondenti alle diverse caratteristiche morfologiche e di ricoprimento presentate dal corso d'acqua, si è fatto riferimento alla Tabella 4.2

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Tabella 4.2 - parametri per la valutazione del coefficiente di scabrezza dell'alveo mediante l'equazione di Cowan.

Materiale	$n_0$	Calcestruzzo	0.012 - 0.018
		Argilla e limo	0.025 - 0.032
		Sabbia	0.026 - 0.033
		Ghiaia	0.028 - 0.035
		Ciottoli	0.030 - 0.050
		Massi	0.040 - 0.070
Grado di irregolarità	$n_1$	Regolare	0.000
		Minimo	0.001 - 0.005
		Moderato	0.006 - 0.010
		Elevato	0.011 - 0.020
Variazione della sezione di deflusso	$n_2$	Graduali	0.000
		Alternanze occasionali	0.001 - 0.005
		Alternanze frequenti	0.010 - 0.015
Effetti di ostacolo al deflusso	$n_3$	Trascurabile	0.000 - 0.004
		Minimo	0.005 - 0.015
		Apprezzabile	0.020 - 0.030
		Elevato	0.040-0.050
Grado di ricoprimento vegetale	$n_4$	Basso	0.001 - 0.010
		Medio	0.010 - 0.025
		Elevato	0.025 - 0.050
		Molto elevato	0.050 - 0.100
		Estremo	0.100 - 0.200
Grado di meandrazione	$m$	Minimo	1.00
		Medio	1.15
		Elevato	1.30

La definizione dei coefficienti di scabrezza caratterizzanti le zone golenali interessate dall'onda di piena è stata condotta attraverso l'equazione di Cowan modificata, secondo cui:

$$n = n_0 + n_1 + n_3 + n_4$$

dove:

- $n_0$  è la quota parte di scabrezza corrispondente ad una zona golenale con andamento uniforme e regolare;
- $n_1$  è il valore aggiuntivo che tiene conto delle irregolarità della superficie della zona golenale (p.e. depressioni);
- $n_3$  è il valore che tiene conto di ostruzioni quali detriti, alberi morti, ecc.;
- $n_4$  è il contributo dovuto alla presenza di vegetazione.

Per l'attribuzione dei valori ai suddetti coefficienti, corrispondenti alle diverse caratteristiche morfologiche e di ricoprimento presentate dalle zone golenali, si è fatto riferimento alla Tabella 4.3.

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Tabella 4.3: parametri per la valutazione del coefficiente di scabrezza delle zone golenali mediante l'equazione di Cowan

Materiale	$n_0$	Calcestruzzo	0.012 - 0.018
		Argilla e limo	0.025 - 0.032
		Sabbia	0.026 - 0.033
		Ghiaia	0.028 - 0.035
		Ciottoli	0.030 - 0.050
		Massi	0.040 - 0.070
Grado di irregolarità	$n_1$	Regolare	0.000
		Minimo	0.001 - 0.005
		Moderato	0.006 - 0.010
		Elevato	0.011 - 0.020
Effetti di ostacolo al deflusso	$n_3$	Trascurabile	0.000 - 0.004
		Minimo	0.004 - 0.005
		Apprezzabile	0.020 - 0.030
Grado di ricoprimento vegetale	$n_4$	Basso	0.001 - 0.010
		Medio	0.010 - 0.025
		Elevato	0.025 - 0.050
		Molto elevato	0.050 - 0.100
		Estremo	0.100 - 0.200

**Condizioni al contorno**

L'analisi sviluppata è stata un'analisi di moto stazionario di tipo misto (mixed flow). Quali condizioni al contorno di monte e di valle si è assunto l'uguaglianza delle pendenze della linea dell'energia con quella di fondo alveo, nell'ipotesi di moto uniforme in corrispondenza delle sezioni estreme a monte ed a valle.

**4.1.3 Torrente Fiumicello**

L'attraversamento del Torrente Fiumicello avviene grazie al Viadotto "Piano delle Rose" di lunghezza complessiva pari a 325 m in carreggiata sinistra e pari a 321 m in carreggiata destra, realizzato in variante rispetto all'attuale S.S.514, a valle della stessa.

Come evidente dalle modellazioni idrauliche l'onda di piena è contenuta all'interno dell'alveo, il quale si presenta fortemente inciso in corrispondenza dell'attraversamento in progetto.

Al fine di evitare possibili divagazioni dell'alveo con conseguente possibile scalzamento alla fondazione della pila 4 della carreggiata destra è prevista una protezione spondale in materassi tipo Reno.

Come evidente dalle tabelle sotto riportate è abbondantemente garantito il franco idraulico.

Tabella 4.4 - Torrente Fiumicello - verifica del franco idraulico.

Q (Tr200)	sez. calcolo	q min. intradosso	WS	Franco
(mc/s)	(-)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)
39.88	470 sx	468.67	429.22	39.45
39.88	440 dx	465.15	423.41	41.74

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

## 5 CORSI D'ACQUA SECONDARI E ATTRAVERSAMENTI FOSSI DI GUARDIA

Per l'attraversamento dei corsi d'acqua minori e per gli attraversamenti dei fossi di guardia e relativo scarico nel ricettore finale, si realizzano tombini scatolari. L'elenco degli attraversamenti in progetto è riportato nella seguente tabella.

Tabella 5.1 - Corsi d'acqua e attraversamenti idraulici

Corso d'acqua/Identificativo	Progr. (km)	Tipologia attraversamento
TM02	2+442,98	scatolare 2.00x2.00 m
TM03	2+596,39	scatolare 2.00x2.00 m
TM04	2+780,72	scatolare 2.00x2.00 m
TM05	3+096,36	scatolare 2.00x2.00 m
TM06	3+833,09	scatolare 2.00x2.00 m
TM07	4+037,58	scatolare 2.00x2.00 m
TM08	4+415,83	scatolare 2.00x2.00 m
Fosso Buseara	4+638,65	scatolare 4.00x3.00 m
TM10	5+156,96	scatolare 2.00x2.00 m
Affluente fosso Buseara	5+460,16	scatolare 2.00x2.00 m
Affluente fosso Buseara	5+567,43	scatolare 2.00x2.00 m
TM13	5+941,04	scatolare 2.00x2.00 m
TM14	7+488,63	scatolare 2.00x2.00 m
TM15	9+151,37	scatolare 2.00x2.00 m
TM16	9+316,53	scatolare 2.00x2.00 m
TM17	9+548,87	scatolare 2.00x2.00 m
TM18	9+888,79	scatolare 2.00x2.00 m
Fosso S.N.	9+986,97	scatolare 2.00x2.00 m
Fosso S.N.	10+756,80	scatolare 2.00x2.00 m
TM21	11+240,21	scatolare 2.00x2.00 m
TM22	11+606,90	scatolare 2.00x2.00 m
TM23	11+907,07	scatolare 2.00x2.00 m
TM24	12+530,35	scatolare 2.00x2.00 m
TM25	13+518,18	scatolare 2.00x2.00 m
TM26	14+468,53	scatolare 2.00x2.00 m
TM27	15+108,87	scatolare 2.00x2.00 m
Affluente torrente Canale	16+357,48	scatolare 2.00x2.00 m
TM29	17+608,87	scatolare 2.00x2.00 m

### 5.1 MODELLAZIONE IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI

La ricostruzione del profilo di piena è stata eseguita in moto permanente con l'ausilio del software di calcolo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), sviluppato dall'U.S. Army Corp

## RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

of Engineers ed il software di calcolo HY8 sviluppato dalla FHWA (Federal Highway Administration). La scelta del software di calcolo è funzione della geometria del tombino e della portata transitante per tempo di ritorno pari a 200 anni: per dimensioni dello scatolare non superiori a 2x2 m ovvero per portate  $\leq$  a 10 mc/s si effettua la simulazione con HY8. Nel presente lotto tutti gli attraversamenti sono modellati attraverso HY8 tranne il tombino alla pk 4+638.65 del Fosso Buseara. Per i modelli sviluppati con Hec-Ras si rimanda alle indicazioni descritte nei capitoli precedenti relative ai corsi d'acqua principali.

La verifica proposta dalla FHWA (Federal Highway Administration, intende stabilire il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control) e ricavare in base ad esso il grado di riempimento della sezione. Il "controllo da monte" si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico. Per ottenere un deflusso all'imbocco a superficie libera è necessario che nella verifica idraulica il carico a monte (indicato con  $H_w$ ) sia al massimo pari a  $1,2 D$  (dove  $D$  è l'altezza del tombino), essendo libero lo sbocco di valle. Il programma HY-8 ha lo scopo di consentire un supporto alla progettazione ed alla verifica delle intersezioni dei corsi d'acqua minori con le infrastrutture viarie come strade e ferrovie. Il software utilizza le routines, in accordo ai criteri della FHWA definiti nelle pubblicazioni seguenti: HDS-5, "Hydraulic Design of Highway Culverts," e HEC-14, "Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels".

I principali risultati che si possono ottenere tramite questo programma sono:

- determinare la dimensione, la forma ed il numero di opere d'arte (tombini e scatolari) necessari a far defluire una portata di progetto;
- definire la capacità di deflusso di un manufatto esistente imponendo il livello idrico ammissibile di monte;
- calcolare il livello idrico raggiunto a monte del manufatto per far defluire una determinata portata, sia in condizioni di normale deflusso che in condizioni di acqua ferma all'imbocco.
- determinare la scala di portata o altre relazioni tra le principali variabili idrauliche per determinare il livello di rischio della struttura.
- determinare il profilo idrico della portata transitante nell'opera.

Il programma fornisce direttamente output sintetici con le variabili principali della simulazione ed alcuni grafici che mostrano il comportamento idraulico della struttura al variare della portata di progetto o del livello idrico di monte.

I dati di ingresso sono i seguenti:

- Culvert Data
- project name : nome del progetto
- the station or location : progressiva
- the date (automatically set) : data

I dati di portata sono :

- minimum discharge : portata minima di deflusso
- design discharge : portata di progetto
- maximum discharge : portata massima di deflusso
- number of barrels : numero di manufatti

## RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

La portata di progetto deve essere sempre maggiore della minima, mentre quella massima sarà di norma maggiore o pari a quelle di progetto. Tali dati sono utilizzati solo nel caso si vogliano determinare le scale di deflusso del manufatto ed eseguire analisi di sensitività.

Nel caso specifico è stata condotta solo l'analisi per la portata di progetto.

I dati del tombino prevedono:

- culvert shape : forma del tombino
- size : dimensioni
- inlet : tipo di imbocco
- material : materiale
- roughness coefficients : scabrezza di Manning.

I dati di output sono i seguenti I dati di output sono i seguenti:

- headwater depth : carico idraulico totale in coordinate relative, della corrente nel tombino. Tale valore è stato assunto come livello idrico all'imbocco nel caso in cui il tombino preveda acqua ferma ( es. un pozzo) all'ingresso.
- inlet control elevation : quota assoluta del carico all'imbocco
- inlet depth : altezza idrica all'imbocco nel caso di imbocco senza pozzo di ingresso, ovvero considerando il carico cinetico all'ingresso
- break control elevation : carico idraulico in termini di quote assolute
- critical depth : altezza critica
- tailwater depth : altezza idrica nel canale di valle
- occurrence of a hydraulic jump : presenza di risalto idraulico
- hydraulic jump location (if occurred) . posizione del risalto
- hydraulic jump length (if occurred) lunghezza del risalto
- outlet depth : altezza idrica nella sezione di sbocco
- outlet velocity : velocità nella sezione di sbocco
- outlet Froude number : numero di Froude nella sezione di sbocco.

Il software HY-8 determina, per diversi valori della portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna e fornisce per esso il profilo della superficie idrica lungo la canna e il tirante all'imbocco e allo sbocco. Nell'analisi delle strutture di progetto di nuovi tombini è fondamentale conoscere la condizione al contorno di valle. Il programma permette di assegnare al livello idrico di valle un valore costante (caso tipico dell'immissione in un lago o in un altro fiume, o in un manufatto di sbocco in cui per la sezione di partenza del canale di allontanamento si possono ipotizzare condizioni di acqua ferma e quindi componente cinetica iniziale nulla.) o l'altezza di moto uniforme che si sviluppa nel canale di valle.

A questo scopo è stata definita di volta in volta la sezione del canale (trapezia non rivestita e rivestita in cls, gabbioni).

Il calcolo del moto uniforme si basa sulla formula di Manning:

$$v = 1/n * R_H^{2/3} * i^{1/2} (m/s)$$

dove:

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

- $n$  = coefficiente di scabrezza dipendente dalle caratteristiche dell'alveo: nel caso di canali naturali pari a 0.035, di canali in cls pari a 0.017 e di gabbioni pari a 0.03;
- $R_H$  = raggio idraulico (m);
- $i$  = pendenza motrice coincidente con la pendenza del fondo (m/m).

I risultati delle simulazioni sono riportati sotto forma di allegati alla presente relazione.

**5.1.1 Fosso Buseara**

L'opera di attraversamento è costituita da un tombino scatolare di dimensioni interne 4.00x3.00 m.

Rispetto allo stato attuale, il fosso è deviato per l'attraversamento dell'infrastruttura effettuando una riprofilatura del terreno con gabbionate metalliche riempite in pietrame ottenendo una larghezza d'alveo pari a 4 m.

Come evidente dalle tabelle sotto riportate viene così garantito il corretto franco idraulico.

Tabella 5.2 - Fosso Buseara - verifica del franco idraulico.

Q (Tr200)	sez. calcolo	q min. intradosso	WS	Franco
(mc/s)	(-)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)
23.45	58	578.84	577.81	1.03

**5.1.2 Attraversamenti HY8**

I restanti scatolari in progetto nel lotto, avendo dimensioni interne pari a 2.00x2.00 m, vengono modellati e verificati con il software di calcolo HY8. I tabulati di calcolo sono riportati come allegati alla presente relazione. Di seguito si riportano la verifica del franco idraulico che risulta sempre superiore ad 1/3 dell'altezza della sezione come indicato in Normativa.

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Tabella 5.3 - Attraversamenti HY8 - verifica del franco idraulico.

Corso d'acqua/Identificativo	Progr.	Q (Tr200)	q min. intradosso	WS	Franco
	(km)	(mc/s)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)
TM01	1+733,06	5.17	512.80	511.68	1.12
TM02	2+442,98	6.49	553.00	552.02	0.98
TM03	2+596,39	8.23	559.50	558.70	0.80
TM04	2+780,72	5.89	569.50	568.67	0.83
TM05	3+096,36	6.02	579.25	578.43	0.82
TM06	3+833,09	8.94	517.63	516.90	0.73
TM07	4+037,58	9.11	580.30	579.58	0.72
TM08	4+415,83	8.25	580.00	579.20	0.80
TM10	5+156,96	7.77	591.35	590.50	0.85
Affluente fosso Buseara	5+460,16	1.58	592.00	590.40	1.60
Affluente fosso Buseara	5+567,43	3.25	593.00	591.65	1.35
TM13	5+941,04	6.68	605.30	604.34	0.96
TM14	7+488,63	7.45	643.80	642.92	0.88
TM15	9+151,37	8.06	648.41	647.59	0.82
TM16	9+316,53	7.87	645.40	644.56	0.84
TM17	9+548,87	8.83	640.30	639.56	0.74
TM18	9+888,79	5.98	625.18	624.15	1.03
Fosso S.N.	9+986,97	6.04	622.50	621.48	1.02
Fosso S.N.	10+756,80	9.26	603.74	602.36	1.38
TM22	11+606,90	6.29	555.57	554.57	1.00
TM23	11+907,07	8.51	538.90	538.13	0.77
TM24	12+530,35	7.89	497.09	496.26	0.83
TM25	13+518,18	6.98	457.22	456.46	0.76
TM26	14+468,53	9.37	436.52	435.83	0.69
TM27	15+108,87	6.17	419.53	418.52	1.01
Affluente torrente Canale	16+357,48	6.91	353.62	352.69	0.93
TM29	17+608,87	8.81	321.98	321.24	0.74

## 6 FENOMENI IDRODINAMICI E MORFOLOGICI INDOTTI DALL'INTERAZIONE DELL'ALVEO CON LE OPERE VIARIE

### 6.1 PREMESSA

L'analisi idraulica di un attraversamento deve tenere conto dei fenomeni di tipo geomorfologico che interessano l'alveo, siano essi naturali che derivanti da fattori antropici e, in particolare, dagli effetti indotti dall'attraversamento stesso. L'obiettivo principale è stimare il grado di stabilità e le tendenze evolutive in rapporto alle correlazioni esistenti tra i diversi fattori interagenti. I corsi d'acqua sono intrinsecamente un sistema dinamico, che tende a modificare le sue caratteristiche, secondo processi che possono essere lenti o rapidi in risposta a sollecitazioni diverse. Le modificazioni possono riguardare le erosioni di sponda, il deposito dei sedimenti con formazione di isole, l'abbassamento del fondo alveo. Molti corsi d'acqua naturali dimostrano un accentuato grado di instabilità naturale, mentre in altri casi i fenomeni di instabilità sono prevalentemente da ricondurre all'effetto di fattori antropici. I fenomeni che maggiormente influenzano le verifiche idrauliche di un ponte sono quelli che riguardano l'instabilità planimetrica dell'alveo, in rapporto alla posizione e all'orientamento delle luci del ponte, e quelli relativi all'abbassamento del fondo alveo, in relazione ai fenomeni di scalzamento sulle opere di sostegno dell'impalcato collocate in alveo, ovvero le pile e le spalle. Queste opere, se poste all'interno della sezione di deflusso, provocano il restringimento della sezione stessa e, conseguentemente, la variazione dell'assetto idrometrico della corrente in particolare durante il deflusso della portata di piena. Il fenomeno idraulico più visibilmente rilevante è l'aumento del tirante idrico a monte dell'ostacolo (rialzo idraulico).

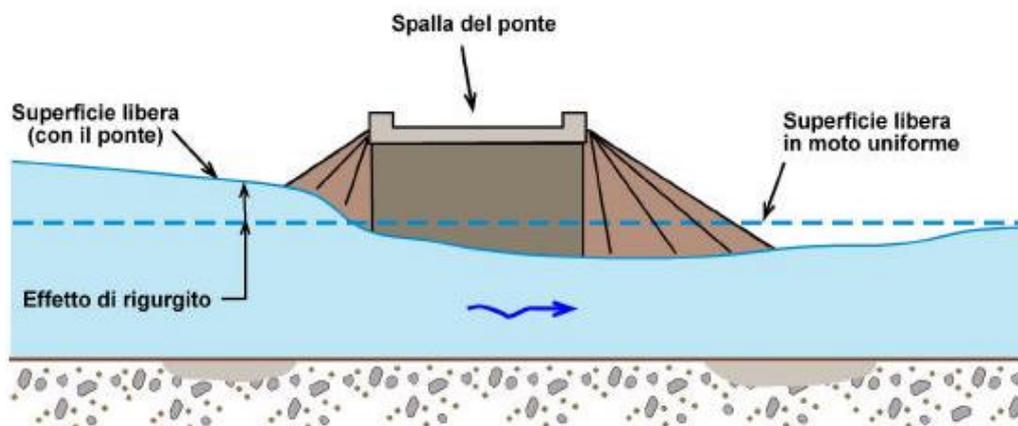


Figura 6.1 - effetto di rigurgito innalzamento del profilo idrico) a monte dell'ostacolo

Il secondo ma non meno importante fenomeno idraulico da considerare è l'erosione localizzata che si verifica alla base delle opere di fondazione in alveo. Il moto della corrente in corrispondenza del ponte risente delle maggiori velocità provocate dal restringimento di sezione; alla velocità in corrispondenza delle strutture del ponte sono correlati l'elevata turbolenza e i vortici che determinano i fenomeni di scalzamento sulle fondazioni delle spalle e delle pile, con potenziali problemi di stabilità alla struttura

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

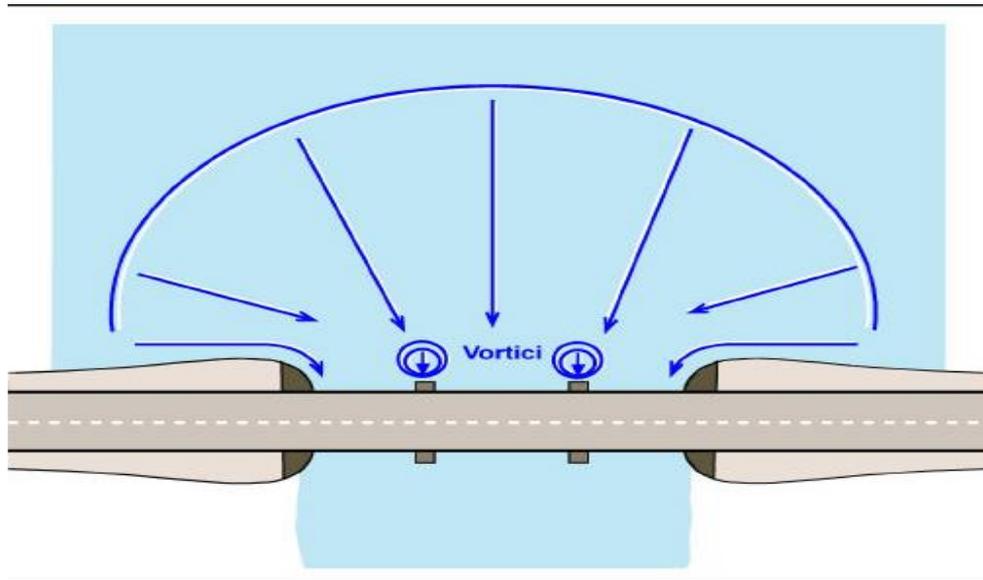


Figura 6.2: Schematizzazione del campo di moto in prossimità dell'attraversamento

## 6.2 VULNERABILITÀ IDRAULICA DEI PONTI PER FENOMENI EROSIVI

L'elevata vulnerabilità delle strutture di attraversamento fluviale all'azione della corrente è dimostrata dall'occorrenza di danneggiamenti o crolli delle medesime, in occasione di eventi alluvionali significativi. Le conseguenze, potenzialmente calamitose, dell'insufficienza idraulica dei ponti pongono la valutazione della loro vulnerabilità fra le esigenze primarie degli Enti preposti alla pianificazione ed alla tutela della sicurezza idraulica del territorio. Un'indagine su un campione di circa 400 ponti investiti da 8 distinti eventi alluvionali relativa alla situazione nazionale (*Ballio et al., 1998*) evidenzia come i fenomeni erosivi localizzati siano responsabili di buona parte dei casi di deficienza delle strutture. Le tipologie di danno primario ai ponti riscontrate in detta indagine sono riassunte nel grafico riportato nella Figura 6.3 (a sinistra), che riporta anche l'indicazione della relativa frequenza di accadimento; esse possono essere divise nelle seguenti classi principali:

- cedimento delle pile o delle spalle del ponte a causa di erosione alla base delle relative fondazioni;
- lesione o distruzione dell'impalcato;
- crollo totale o parziale del rilevato di accesso.

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

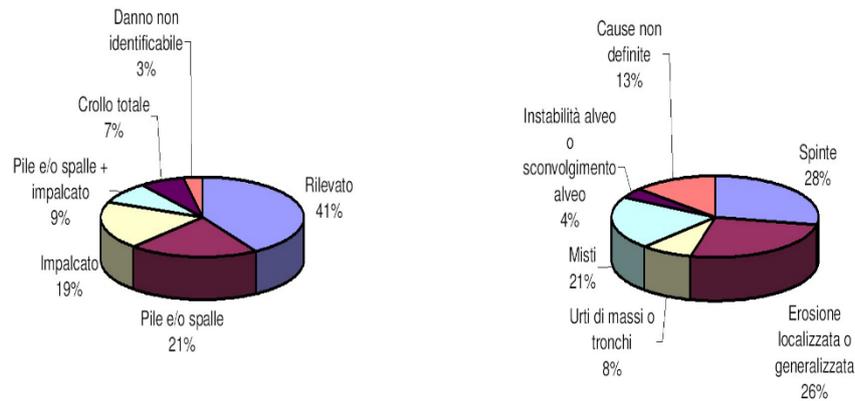


Figura 6.3: Elementi strutturali dei manufatti di attraversamento danneggiati a seguito di eventi alluvionali (a sx) e cause di danno primario subito dai ponti (a dx). Dati desunti da Ballio et al. (1998)

Le cause di danneggiamento primario sono invece mostrate nel grafico riportato in Figura 6.3 (a destra); si noti come l'erosione, sia una delle maggiori cause di vulnerabilità degli attraversamenti considerati, in quanto responsabile del 26% dei danneggiamenti compresi nel campione a disposizione. E' anche interessante osservare che la parte del manufatto più spesso danneggiata è il rilevato di accesso, che è soggetto a danneggiamento con maggior frequenza (41% dei casi) rispetto a pile e spalle dei ponti (26% dei casi), mentre è rilevante anche il numero dei casi che riguardano l'impalcato (19%). Tale peculiare comportamento potrebbe, almeno in prima istanza, essere spiegabile da un lato in base ad una maggiore frequenza nel nostro Paese di rilevati di accesso ai ponti ubicati nelle zone golenali dell'alveo, che potrebbe giustificare la maggiore frequenza dei danni ai rilevati stessi, dall'altro agli effetti della vegetazione fluitata dalla corrente in precedenza che potrebbero giustificare la frequenza piuttosto elevata di danni agli impalcati delle strutture di attraversamento.

### 6.2.1 Generalità sull'erosione

L'erosione è il risultato dell'azione della corrente fluviale, che mobilita e trasporta i sedimenti d'alveo. I materiali sciolti sono più facilmente erodibili in tempi brevi di quelli coesivi, sebbene le profondità di scavo raggiunte all'equilibrio siano scarsamente dipendenti dalla coesione medesima. L'entità dell'erosione, inoltre, dipende strettamente dal trasporto solido del corso d'acqua. La stima della profondità massima potenzialmente raggiungibile dallo scavo è resa complessa dalla natura ciclica del fenomeno. Le escavazioni, infatti, generalmente raggiungono le profondità maggiori durante gli eventi alluvionali, in particolare al momento del transito del picco di portata, per poi essere parzialmente o totalmente riempite nella fase di esaurimento dell'idrogramma di piena. Il fenomeno dell'erosione alla base delle pile dei ponti è generalmente costituito dalla sovrapposizione di tre processi, che vengono solitamente stimati indipendentemente per poi sommarne gli effetti. Detti processi sono:

- abbassamento del fondo dell'alveo in prossimità del ponte che non dipende dalla presenza dell'opera fluviale stessa ed è dovuto unicamente al trasporto solido dei sedimenti da parte della corrente fluviale. Le cause più comuni di questo tipo di erosione sono generalmente la variazione del profilo del corso d'acqua o la variazione delle traiettorie della corrente. Entrambe queste variazioni, comportano un cambiamento delle forze di trascinamento e possono quindi portare al

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

superamento della situazione di moto incipiente dando inizio così all'asportazione di materiale (general scour o erosione generalizzata);



Figura 6.4: Esempio di erosione generalizzata sul fiume Po

- l'erosione (localizzata) dovuta direttamente alla presenza del ponte che, occupando una parte del letto con le sue fondazioni, riduce la sezione dell'alveo e di conseguenza fa aumentare la velocità della corrente. Così facendo aumentano le forze di trascinamento e quindi, se le condizioni di moto incipiente sono superate, l'entità del trasporto aumenta a sua volta causando erosione su tutta la sezione (contraction scour);

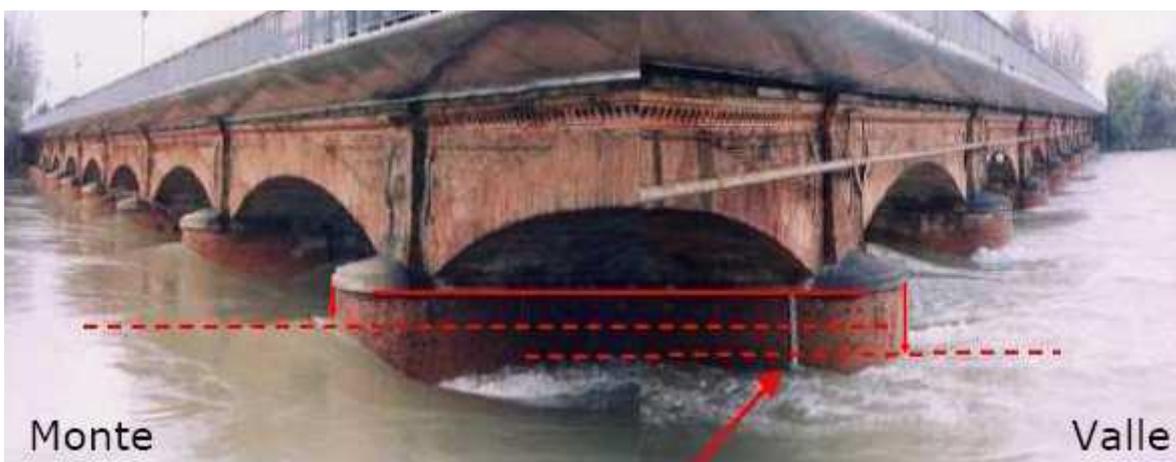


Figura 6.5: Scavi in contrazione: la presenza delle pile di ponte provoca un dislivello di circa 40 cm tra monte e valle

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

- l'erosione localizzata alla base delle pile e delle spalle del ponte, causata dalle deviazioni del flusso idrico indotte dalla presenza delle strutture in alveo, che causano aumenti locali della velocità della corrente (local scour). L'aumento di velocità e il suo cambio di direzione causano fenomeni di erosione "puntuali" alla base del ponte.



Figura 6.6 - esempi del fenomeno di erosione localizzata alla base delle pile.

La profondità totale di scavo è variabile nel tempo, sia a breve che a lungo termine. Una descrizione accurata del fenomeno non potrebbe quindi prescindere dalla definizione dell'evoluzione temporale dei diversi processi di erosione.

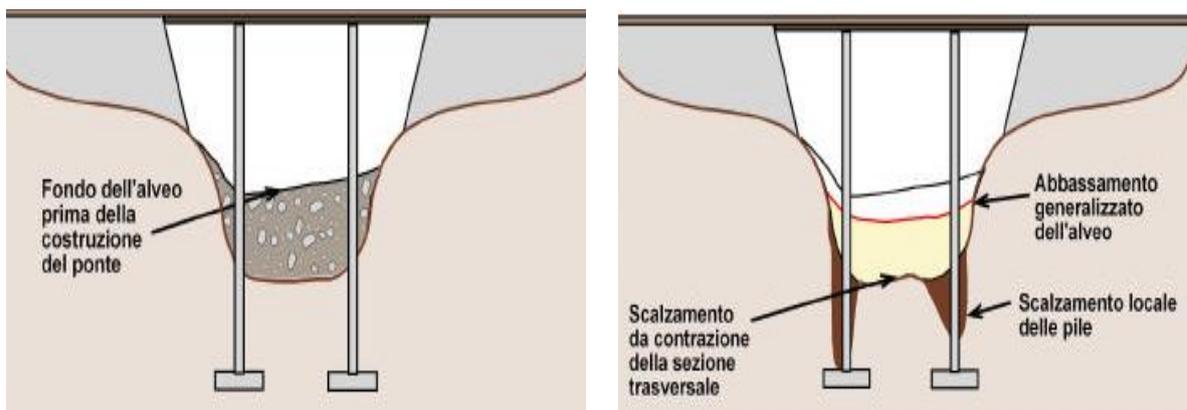


Figura 6.7 - componenti dello scalzamento nella sezione di un ponte

### 6.2.2 Abbassamento generalizzato dell'alveo

Il calcolo dell'eventuale abbassamento d'alveo è indispensabile al fine di definire la quota che il fondo alveo assumerebbe in assenza del manufatto, che viene assunta quale quota di riferimento per calcolare l'entità dei fenomeni di erosione localizzata e per scavo di contrazione, questi ultimi, riconducibili alla presenza in alveo del manufatto. Detta quota può variare nel tempo sia per evoluzioni temporali di periodo medio-lungo sia per evoluzioni di periodo più breve, spesso limitato alla durata di un unico evento di piena. L'evoluzione temporale del fenomeno deve in ogni caso essere determinata sulla base di accurate valutazioni idrologiche e idrauliche, queste ultime riferite ad un tratto d'alveo adeguatamente esteso a monte ed a valle dell'opera considerata. La tendenza del fondo alveo ad essere soggetto ad abbassamenti globali può essere desunta da osservazioni dirette, compiute in condizioni di magra. In particolare, è significativa la posizione altimetrica del fondo alveo nei confronti di opere non interferenti con l'attraversamento fluviale e poste a sufficiente distanza da quest'ultimo; ad esempio, la presenza di fondazioni scoperte di opere radenti di difesa spondale è sintomatica di una significativa tendenza all'abbassamento del tronco d'alveo esaminato. La valutazione in prossimità dell'attraversamento della quota del fondo alveo non è semplice, poiché quest'ultima è influenzata dai fenomeni erosivi locali che verranno descritti nei paragrafi successivi. Il livello del pelo libero della corrente in condizioni di magra, qualora il tirante sia trascurabile, può essere un efficace indicatore per risalire alla posizione della quota del fondo a monte e a valle dell'opera, poiché tende a livellare gli effetti dell'erosione locale in corrispondenza dell'attraversamento.

### 6.2.3 Fenomeni di erosione localizzata in corrispondenza di pile e spalle di un ponte

Poiché il processo di erosione attiva è il risultato di un'alternanza tra scavo e deposito prodotto dalla corrente, la dinamica della formazione di uno scavo attorno ad opere di sostegno deve essere considerato in termini generali di trasporto solido. Nell'intorno di un ostacolo posto in alveo rapide variazioni di intensità e di distribuzione della velocità possono provocare fenomeni di erosione localizzata, specie quando l'alveo sia composto da materiale incoerente. L'erosione localizzata alla base delle pile o delle spalle è, come visto, una delle cause più frequenti di crollo o danneggiamento dei manufatti di attraversamento fluviale. La causa principale dell'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è la formazione di vortici alla loro base, che sono comunemente detti "vortici a ferro di cavallo".

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

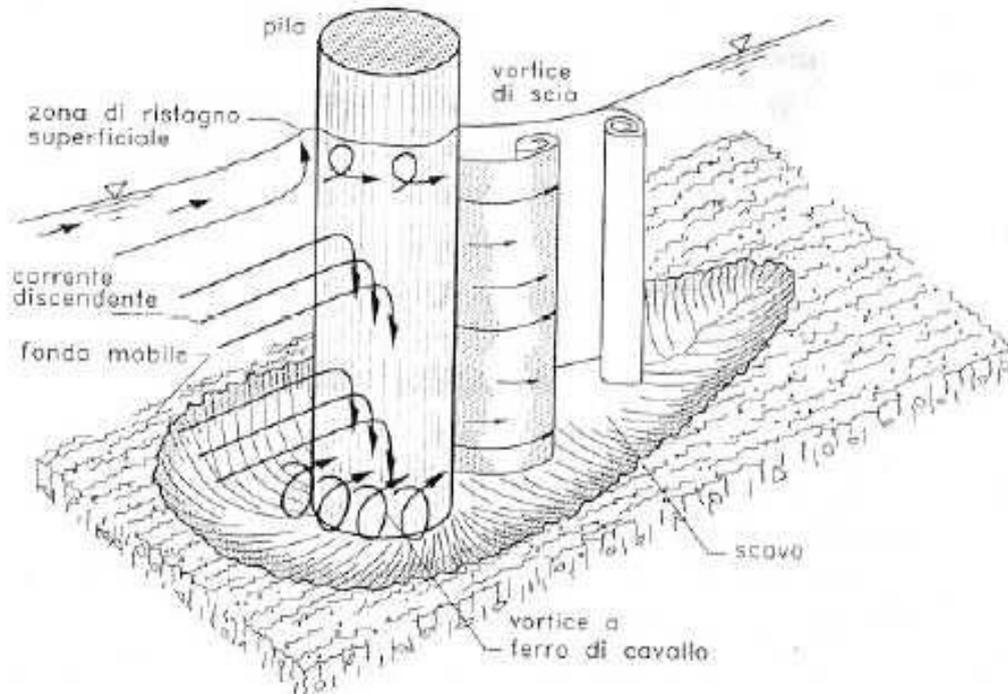


Figura 6.8: rappresentazione schematica del processo di escavazione localizzata in corrispondenza di una pila di ponte

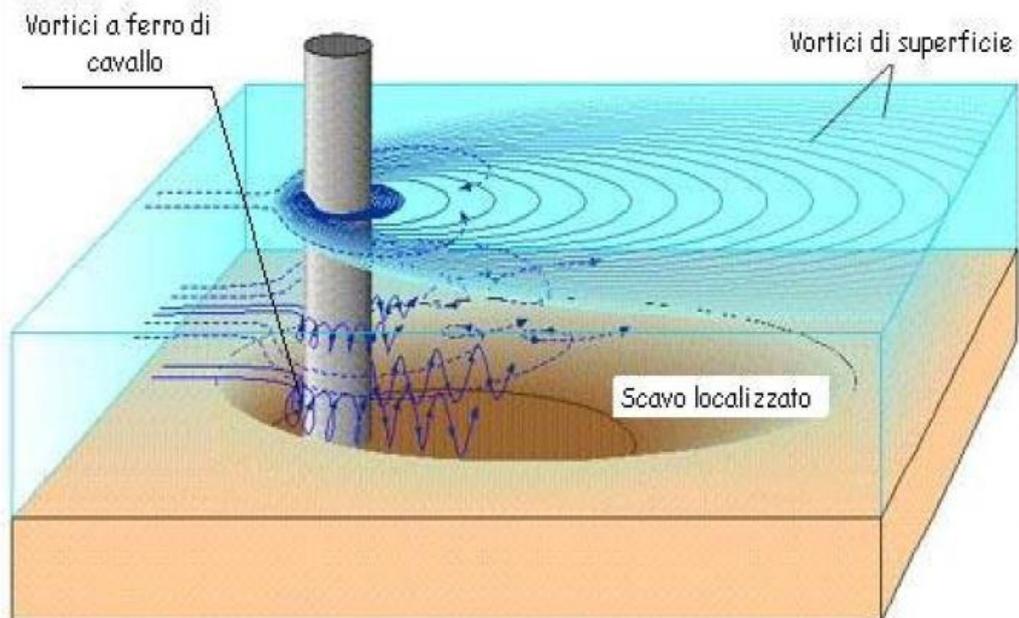


Figura 6.9: rappresentazione schematica del campo di moto del processo di escavazione localizzata in corrispondenza di una pila di ponte

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Al crescere della profondità dello scavo, l'energia del vortice tende a diminuire, sicché l'escavazione tende a raggiungere una profondità di equilibrio.

Oltre al vortice a ferro di cavallo, a valle della pila si formano vortici ad asse verticale, che pure contribuiscono alla rimozione dei sedimenti d'alveo; tuttavia, l'intensità di questi ultimi vortici diminuisce rapidamente al crescere della distanza dalla pila, sicché spesso, immediatamente a valle del ponte, si ha la deposizione del materiale asportato. L'altezza di scavo raggiungibile in condizioni di assenza di trasporto solido (clear-water scour) è superiore alla corrispondente in presenza di trasporto (live bed scour, vedi Figura 6.10).

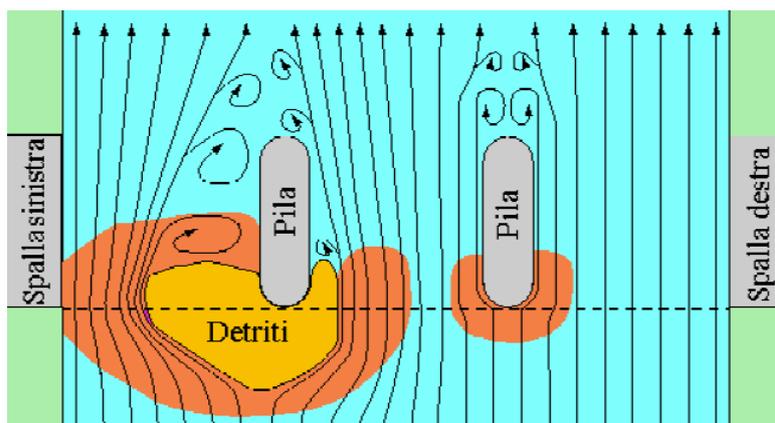


Figura 6.10: effetto della presenza di detriti sull'erosione localizzata alla base delle pile dei ponti

E' interessante notare che, qualora si sia in presenza di trasporto solido, l'altezza di scavo attorno alla base della pila, dopo una fase iniziale di crescita, oscilla attorno alla configurazione di equilibrio per effetto del continuo succedersi di fasi di parziale riempimento e successivo approfondimento dello scavo (vedi Figura 6.11). Indicativamente, si può ritenere che la massima altezza di scavo sia superiore in percentuale pari a circa il 10% rispetto all'altezza raggiunta all'equilibrio (Richardson e Davis, 1995).

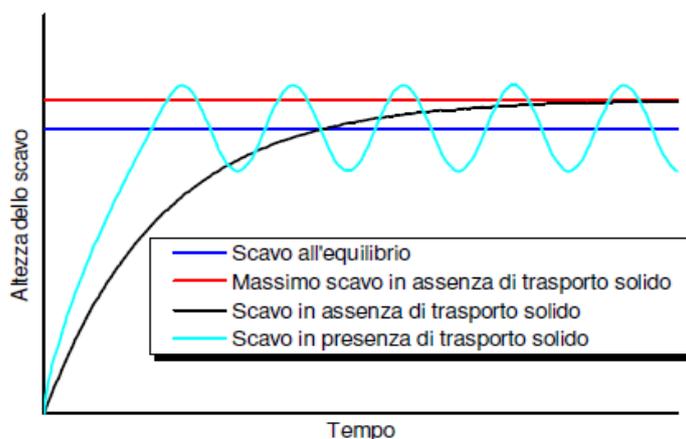


Figura 6.11: Evoluzione temporale dell'escavazione alla base delle pile dei ponti, in condizioni di presenza e assenza di trasporto solido

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

I principali fattori che influenzano il processo di erosione alla base delle pile sono la velocità e la profondità della corrente, la larghezza della pila e la sua forma, la lunghezza della pila e l'angolo d'attacco della corrente, la natura del materiale d'alveo e l'eventuale presenza di detriti trasportati dalla corrente. Questi ultimi possono in particolare creare effetti indesiderati, ampliando la zona di influenza dei vortici precedentemente descritti, contribuendo così ad amplificare lo scavo ed aumentare la superficie dell'alveo esposta allo scavo stesso. Vanno inoltre considerati con attenzione i fenomeni di evoluzione morfologica del letto del fiume; ad esempio le migrazioni laterale di un alveo meandriforme possono indurre variazioni dell'angolo d'attacco della corrente nei confronti dei manufatti in alveo, con conseguente cambiamento dell'entità dei fenomeni di escavazione.

La scalzamento al piede delle spalle è normalmente causato dalla turbolenza e dai vortici che si generano per effetto del convogliamento del deflusso golenale all'interno delle campate del ponte, in relazione all'azione di indirizzamento della corrente esercitata dai rilevati di approccio che si collegano alle spalle. Il massimo valore dello scalzamento di solito si verifica sul lato di monte della spalla ed è funzione del grado di contrazione, della profondità di corrente e della quota della portata complessiva che defluisce sul piano golenale.

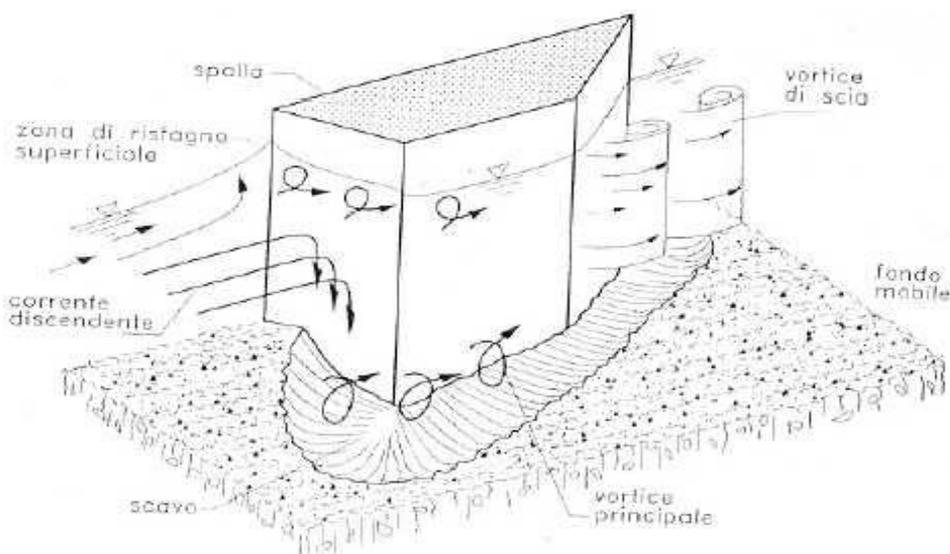


Figura 6.12: rappresentazione schematica del campo di moto e del processo di escavazione localizzata in corrispondenza della spalla di un ponte

La maggiore esposizione allo scalzamento riguarda le spalle posizionate in prossimità delle sponde incise dell'alveo; in molti casi, particolarmente con piani golenali molto ampi che sono sede deflussi consistenti, sono state osservate profondità di scalzamento dell'ordine di grandezza di 3 – 4 volte la profondità di corrente sul piano golenale. L'ostruzione al deflusso provocata dalla spalla e dai rilevati dà origine a un vortice orizzontale, che parte del lato di monte e corre lungo la fondazione, e a un vortice verticale sul lato di valle della spalla.

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

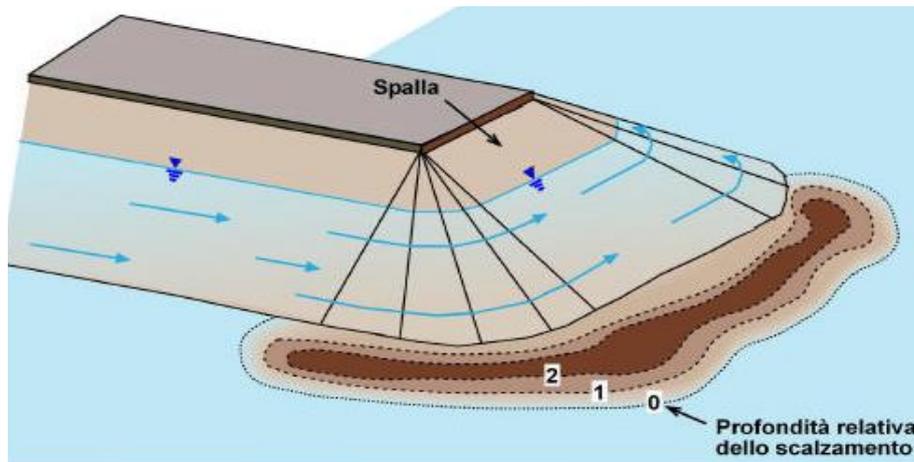


Figura 6.13: rappresentazione schematica del campo di moto e del processo di escavazione localizzata in corrispondenza della spalla di un ponte

**6.2.3.1 Calcolo dello scavo in corrispondenza delle pile di un ponte**

Vista la complessità che caratterizza lo studio analitico del problema della determinazione dell'entità dello scavo in corrispondenza delle pile di un ponte, si ricorre all'utilizzo di formule di tipo empirico. Assumendo come riferimento una pila di forma generica, la profondità dello scavo  $d_s$  può essere descritta dalle seguenti variabili, che sintetizzano i parametri significativi per lo studio del problema già elencati nell'introduzione del capitolo:

$$\frac{d_s}{s} = f\left(\frac{V_0}{V_c}, \frac{h_0}{s}, \text{forma}, \alpha\right)$$

dove:

- $d_s$  è la profondità di scavo misurata a partire dal fondo indisturbato;
- $V_0$  è la velocità media della corrente indisturbata;
- $V_c$  è la velocità critica di trascinamento, intesa come velocità media della corrente alla quale inizia il movimento del materiale di fondo ;
- $s$  è la larghezza della pila caratterizzata da un lunghezza  $l$ ;
- $h_0$  profondità della corrente indisturbata;
- $\alpha$  angolo che la corrente indisturbata forma con l'asse della pila (angolo di attacco);

Nei casi di studio del presente progetto si fa riferimento, per la stima della profondità di scavo  $d_s$ , alla direttiva dell'Autorità di bacino dl fiume Po dal titolo "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" che propone la seguente formula di F.Breusers, Nicollet, Shen (1977):

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

$$\frac{d_s}{s} = f_1 \left( \frac{V_0}{V_c} \right) \cdot \left( 2 \cdot \tanh \left( \frac{h_0}{s} \right) \right) \cdot f_2(\text{forma}) \cdot f_3 \left( \alpha, \frac{l}{s} \right)$$

dove:

- $f_1 f_2 f_3$  rappresentano le funzioni che legano  $d_s/s$  rispettivamente alle variabili  $(V_0/V_c)$ , alla forma delle pile e alla coppia  $(\frac{h_0}{s} \text{ l/s})$ .
- $V_c$  è la velocità critica di trascinamento, intesa come velocità media della corrente alla quale inizia il movimento del materiale di fondo di assegnato diametro  $d$  e pari a

$$V_c = 0.85 \cdot \sqrt{\left[ 2gd \left( \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \right]}$$

Per i miscugli si adotta normalmente, come riferimento granulometrico,  $d=d_{50}$ .

La funzione  $f_1$  viene determinata come:

- $f_1 = 0$  per  $\frac{V_0}{V_c} \leq 0.5$ ;
- $f_1 = 2 \cdot \frac{V_0}{V_c} - 1$  per  $0.5 < \frac{V_0}{V_c} \leq 1$ ;
- $f_1 = 1$  per  $\frac{V_0}{V_c} \geq 1$

La funzione  $f_2$  dipende dalla forma delle pile e vale:

- $f_2 = 1$  per pile circolari o con fronti arrotondate;
- $f_2 = 0.75$  per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente;
- $f_2 = 1.30$  per pile rettangolari.

Infine la funzione  $f_3$  è ricavabile tramite l'utilizzo del grafico di Figura 6.14.

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

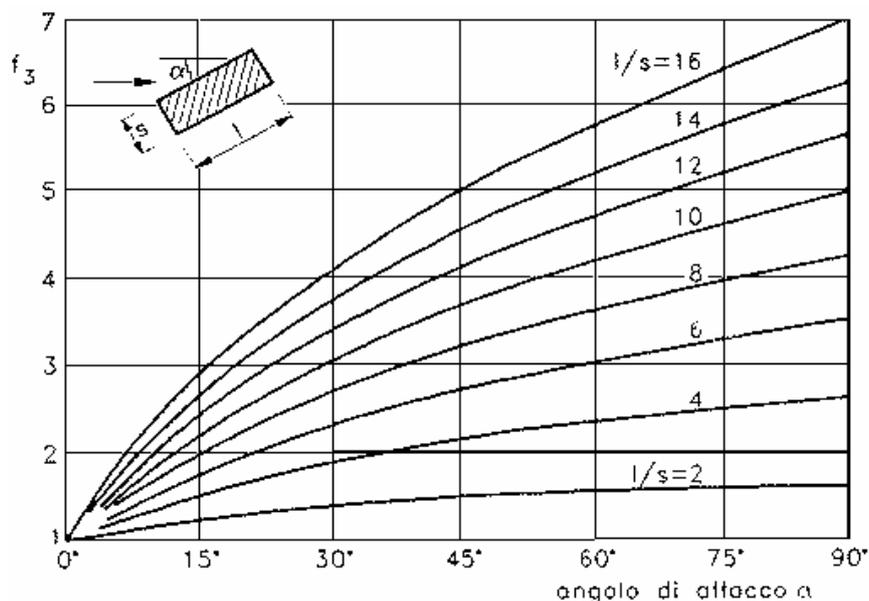


Figura 6.14: valori della funzione  $f_3$  al variare dell'angolo di attacco  $\alpha$  e del rapporto  $l/s$

$f_3$  è influenzato in misura maggiore dal rapporto lunghezza-larghezza  $l/s$  della pila. Il valore dell'angolo d'attacco  $\alpha$  della corrente è invece meno rilevante ai fini del calcolo dello scavo, come si deduce anche dall'inclinazione poco marcata delle curve anche per valori molto elevati di  $\alpha$ .

In questo calcolo si suppone inizialmente che al di sotto della linea di thalweg la fondazione delle pile prosegua con le stesse dimensioni delle pile mentre in realtà esiste un plinto che collega le pile con le teste dei pali di fondazione. Nel caso in cui si verifichi che lo scavo vada ad interessare anche il plinto, si esegue il calcolo ipotizzando che le pile abbiano una sezione pari a quella del plinto di collegamento ottenendo un risultato che tiene conto della forma reale della zona investita dalla corrente.

### 6.3 TENDENZA EVOLUTIVA DI UN CORSO D'ACQUA

Lo stato di equilibrio a cui un alveo naturale dinamicamente tende è un compromesso a cui contribuiscono tutte le variabili idrologiche, idrauliche e sedimentologiche a cui il tratto d'alveo è soggetto. La morfologia di un tratto di un corso d'acqua (pendenza, forma delle sezioni, planimetria, etc.) è sostanzialmente il risultato di questo processo. L'alterazione di una delle variabili in gioco può determinare una perturbazione delle condizioni di equilibrio: il corso d'acqua in tal caso risponde a tale perturbazione muovendosi verso una nuova condizione di equilibrio. Durante l'intervallo di tempo necessario affinché si riassetti intorno a questa nuova condizione, esso attraverserà una fase di instabilità, sarà cioè soggetto a variazioni significative della sua forma. Le risposte dell'alveo (o aggiustamenti morfologici) possono avvenire nell'arco di brevi intervalli di tempo e limitate estensioni spaziali, o durante intervalli di tempo più lunghi (da decine a migliaia di anni) e coinvolgere un intero sistema fluviale, in funzione della intensità, estensione e tipo di disturbo. Coerentemente con lo schema precedente, l'instabilità di un tratto di un fiume può anche essere considerata come il risultato di una alterazione dell'equilibrio dinamico tra potenza della corrente ( $\Omega = \gamma \cdot Q \cdot S$ ) disponibile per trasportare sedimenti e quantità e dimensioni dei sedimenti che provengono da monte e alimentano il tratto dell'alveo fluviale.

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

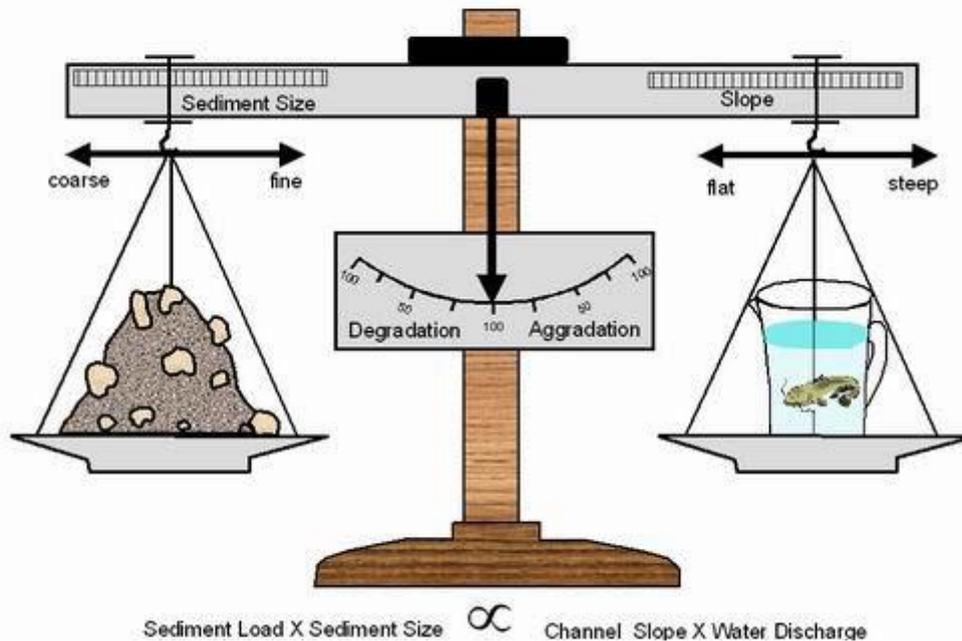


Figura 6.15: modello concettuale delle risposte di un alveo fluviale ad alterazioni dell'equilibrio dinamico (da LANE, 1955).

Tale concetto è ben espresso dalla relazione di LANE (1955):

$$Q \cdot S = Q_s \cdot D_{50}$$

dove Q rappresenta la portata liquida, S la pendenza del fondo,  $Q_s$  la portata solida e  $D_{50}$  il diametro medio dei sedimenti del fondo.

Numerosi sono i fattori che possono intervenire e modificare questo equilibrio. Tra di essi, si può innanzitutto fare una distinzione tra fattori naturali (quali variazioni climatiche ed idrologiche, movimenti tettonici, fenomeni vulcanici, variazioni del livello del mare, ecc.) e fattori antropici. Questi ultimi si possono a loro volta distinguere in due gruppi:

- interventi a scala di bacino (rimboschimenti, disboscamenti, sistemazioni idraulico-forestali, urbanizzazione);
- interventi diretti in alveo (tagli di meandro, canalizzazioni, dighe, escavazione di inerti).

Per quanto riguarda gli interventi a scala di bacino, essi agiscono principalmente sulle variabili guida, andando cioè potenzialmente a perturbare il regime delle portate liquide o, più frequentemente, di quelle solide. Gli interventi diretti in alveo possono modificare direttamente la forma (ad esempio un taglio di meandri), creando così una forma instabile, o perturbare il regime delle portate liquide e solide (ad es. nel caso di una diga) per il tratto immediatamente a valle dell'intervento stesso.

Un'importante differenza tra fattori naturali ed antropici è la scala temporale su cui essi manifestano i loro effetti. I fattori naturali agiscono generalmente in maniera lenta, causando il più delle volte variazioni pressoché impercettibili alla scala della vita umana. Viceversa, i fattori antropici agiscono generalmente in una più breve scala temporale, causando modifiche dirette o inducendo variazioni ben percettibili alla scala della vita umana. Un alveo fluviale reso instabile da uno o più tipi di disturbi, naturali o antropici,

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

può rispondere e modificarsi attraverso variazioni di tipo morfologico (altimetriche, di larghezza e di configurazione morfologica).

**6.3.1 Condizione di incipiente movimento**

L'inizio del moto delle particelle costitutive dell'alveo di un corso d'acqua può essere definito studiando l'equilibrio tra le forze che favoriscono la mobilitazione delle particelle e quelle che tendono ad opporsi a questo movimento. La relazione di equilibrio può essere scritta nella forma seguente:

$$\tau = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$$

dove  $\tau_0$  è lo sforzo tangenziale alla parete,  $\gamma$  e  $\gamma_s$  sono rispettivamente il peso specifico del materiale solido e dell'acqua,  $d$  è il diametro caratteristico del materiale costituente il fondo alveo. Sostituendo nella relazione precedente l'espressione  $\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$ , si ottiene:

$$\tau = \frac{i \cdot R}{\Delta \cdot d}$$

Dove  $\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$  rappresenta il peso specifico in acqua dei granuli,  $R$  è il valore assoluto del raggio

idraulico,  $i$  è la pendenza dell'alveo. Indicando con  $\tau_{cr}$  il valore che  $\tau$  assume all'inizio del movimento della particella, Shields dimostrò sperimentalmente che tale grandezza è univocamente legata al numero di Reynolds relativo alla velocità d'attrito alla parete  $u^*$ , individuando una curva sperimentale che definisce tale legame;

$$R_e = \frac{u^* \cdot d}{\nu}$$

Il diagramma di Shields riporta in ascisse tale parametro  $Re^*$  ed in ordinate la variabile  $\Theta = \tau$ , definita come *parametro di mobilità di Shields*.

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

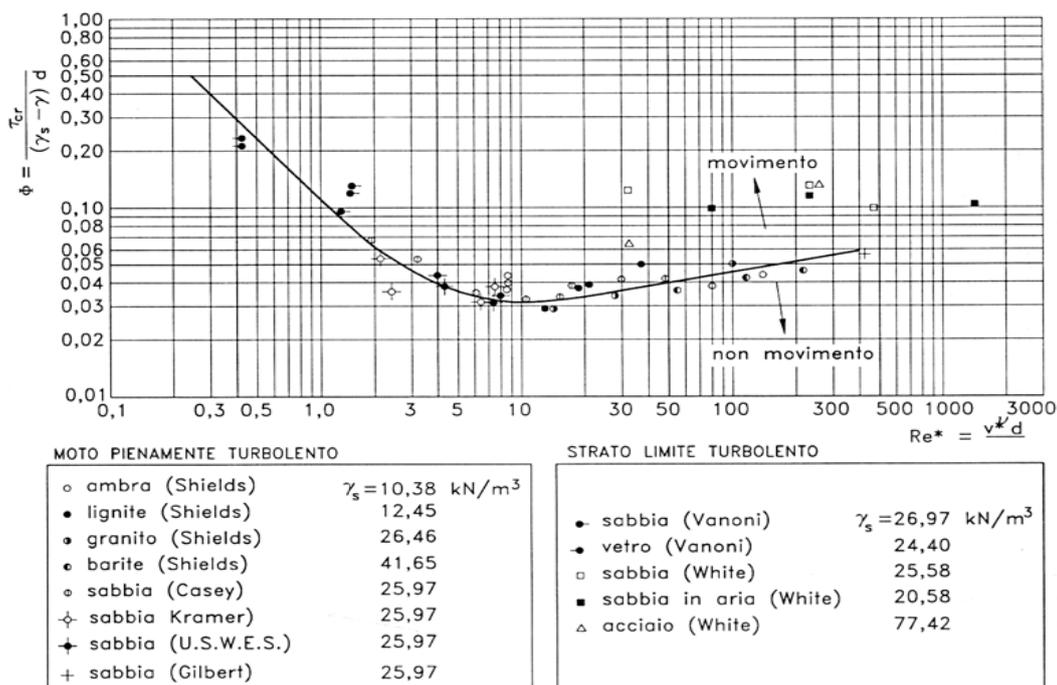


Figura 6.16: abaco di Shields

I punti che occupano la zona del diagramma al disopra della curva ( $\tau > \tau_{cr}$ ), rappresentano situazioni con trasporto del materiale, i punti al di sotto della curva situazioni di deposito del materiale. In particolare, nel campo di moto caratterizzato da  $Re^* \geq 200$ ,  $\tau_{cr}$  assume valore praticamente costante e pari, secondo Shields, a 0.056. La condizione di incipiente movimento è quindi definita dalla relazione:

$$\frac{i \cdot R}{\Delta \cdot d} \geq 0.056$$

E' necessario inoltre tenere presente che la distribuzione degli sforzi sul fondo e sulle sponde, anche in condizioni di moto uniforme, non è costante, e che in generale lo sforzo tangenziale massimo è superiore al valore medio calcolato con la condizione di moto uniforme  $\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$ . Il rapporto tra lo sforzo massimo e lo sforzo medio dipende sostanzialmente dalla forma della sezione e dal numero di Reynolds, anche se per valori di questo parametro sufficientemente grandi ( $Re > 10^4 - 10^5$ ) la dipendenza dal numero di Reynolds diventa trascurabile.

### 6.3.2 Trasporto solido

Secondo Chang (1992) nel materiale in arrivo ed in transito nel corso d'acqua si può distinguere:

- una componente che contribuisce alla "costruzione" dell'alveo (bed material);
- una componente che viene trasportata dal corso d'acqua ma che non partecipa ai processi di erosione e deposito (wash-load). Questa rappresenta la porzione più fine del materiale trasportato in alveo (diametro inferiore a 0.0064 mm) e che ha origine sui versanti durante un

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

periodo piovoso e si muove direttamente fino al recapito finale (foce, lago, aree palustri, aree di esondazione ecc) senza intervenire nella dinamica d'alveo.

Di seguito invece si distinguono le varie modalità di trasporto solido.

Trasporto solido al fondo (bed-load): è costituito dai sedimenti che sono responsabili del modellamento dell'alveo, questi si muovono restando mediamente a contatto con il fondo per saltazione, rotolamento o trascinamento come elementi singoli o come movimento generalizzato di tutti i granuli di ogni dimensione.

Trasporto solido in sospensione (suspended-load): è costituito a sua volta da altri due tipi di trasporto solido, il trasporto in sospensione del materiale costituente il letto che viene portato in sospensione per particolari condizioni della corrente (sospensione da bed-material) e il wash load. Quest'ultimo non influisce sul bilancio sedimentologico.

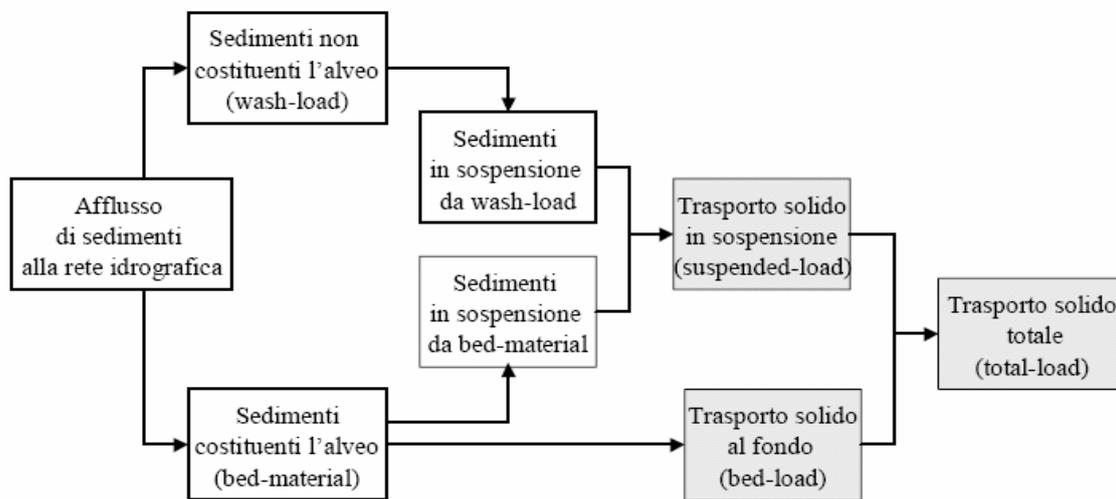


Figura 6.17: schema del trasporto solido (da Paris, 1977)

La somma del trasporto al fondo e del trasporto in sospensione costituisce il trasporto totale (total-load).

I criteri di stima si limitano alla valutazione dell'entità del trasporto del materiale d'alveo (bed material) come trasporto di fondo, in sospensione o totale; non esistono invece indicazioni utilizzabili per la quantificazione del trasporto per dilavamento (wash load) non collegabile alle caratteristiche idrauliche della corrente. La più accurata stima dell'entità del trasporto di sedimenti in un alveo è fornita dai risultati delle stazioni di monitoraggio, ben tarate e funzionanti per un periodo abbastanza lungo di tempo. Tuttavia, difficilmente si hanno a disposizione queste stazioni e, quindi, si è costretti a calcolare questa entità. I criteri di stima utilizzati, di qualunque tipo essi siano (empirici, semiempirici, probabilistici, energetici), andrebbero calibrati su dati sperimentali. L'approccio generalmente utilizzato è quello idraulico. Il calcolo del trasporto solido basato su formule idrauliche si basa sulla premessa che esiste una specifica relazione fra variabili idrauliche, parametri sedimentologici e portata solida. La validità di ogni criterio è comunque limitata al campo dei valori dei parametri idraulici e delle caratteristiche del materiale utilizzato per la sua definizione; ogni estensione del criterio risulta arbitraria. I criteri di stima del trasporto solido forniscono, in linea di principio, una sovrastima del materiale movimentato; essi valutano infatti la

capacità di trasporto della corrente relativa a una condizione di equilibrio tra materiale eroso e depositato. Il valore del trasporto solido coincide poi con quello della capacità di trasporto solo quando tutto il materiale movimentato dalla corrente risulta, effettivamente, disponibile in alveo.

### 6.3.3 Capacità di trasporto solido

La capacità di trasporto solido è definita come la massima quantità di sedimenti che la corrente è in grado di trasportare. Può essere calcolata con la formula di Meyer-Peter e Müller, ricavata in base ad un elevato numero di prove sperimentali eseguite presso il laboratorio di Idraulica del Politecnico di Zurigo (Eidgenössische Technische Hochschule) e testata su miscugli a granulometria assortita. Tale formula può essere espressa nelle variabili dimensionali di Einstein:

$$\Phi = 8 \cdot (\Theta - \Theta_{cr})^{1.5}$$

dove:

- $\Phi = \frac{q_b}{d \cdot \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d}}$  è il cosiddetto *parametro di trasporto* (adimensionale) e  $q_b$  (m<sup>2</sup>/s) è la portata solida per unità di larghezza d'alveo ;

- $\Theta = \frac{u_*^2}{(g \cdot \Delta \cdot d)}$  è il parametro di mobilità, calcolato con riferimento alla sola resistenza di grano

senza includervi cioè l'eventuale contributo alla resistenza dovute alle forme di fondo. Nella letteratura e in molte applicazioni si preferisce fare riferimento alla resistenza globale. La formula può allora essere corretta introducendovi il rapporto tra i relativi coefficienti di scabrezza:

$$\Theta = \left( \frac{k'_s}{k_s} \right) \frac{u_*^2}{(g \cdot \Delta \cdot d)} \quad \text{dove } k'_s = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

di grano e  $k_s$  quello globale;

- $\Theta_{cr}$  il parametro di mobilità critico, (si ha trasporto di materiale solido per  $\Theta > \Theta_{cr}$ ).

Riportando la formula nelle variabili dimensionali che caratterizzano il materiale, l'alveo e le condizioni di moto, si può scrivere:

$$q_b = \sqrt{g \cdot \Delta} \cdot \left( \frac{R \cdot i}{\Delta} - d \cdot \Theta_{cr} \right)$$

Tale valore rappresenta la massima portata solida specifica trasportabile dalla corrente, coincidente con l'effettiva portata solida solo nel caso sia disponibile in alveo una sufficiente quantità di materiale. In caso contrario la corrente trasporta solo il materiale disponibile: in queste condizioni la portata solida effettiva non coincide con la capacità di trasporto che va individuata attraverso un bilancio di tipo sedimentologico.

In presenza di canali con forte pendenza ( $3\% < i < 20\%$ ) si utilizza un'estensione della formula di Meyer-Peter, la formula di Smart-Jaggi.

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

$$q_b = d \cdot \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d} \cdot 4 \cdot \left( \frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} \cdot i_f^{0.6} \cdot g^{0.5} \cdot (g - g_{cr}) \cdot \frac{u}{u_*}$$

dove:

- $d_{90}$  è il diametro dei sedimenti al 90% di passante;
- $d_{30}$  è il diametro dei sedimenti al 30% di passante.

$\left( \frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2}$  è un parametro che tiene conto della non uniformità del materiale. Si consiglia di utilizzare un  $g_{cr} = 0.05$ .

6.3.4 Portata formativa

Una proprietà che caratterizza la morfologia e la dinamica di un alveo fluviale a fondo mobile è quella di variare continuamente la propria forma nello spazio e nel tempo adattandosi al regime delle portate liquide e del trasporto solido. Nel momento in cui, a causa di fattori naturali o antropici, si verifica una variazione delle variabili guida o delle condizioni al contorno o della forma stessa dell'alveo, quest'ultima non è più espressione di una condizione di equilibrio dinamico tra le variabili in gioco.

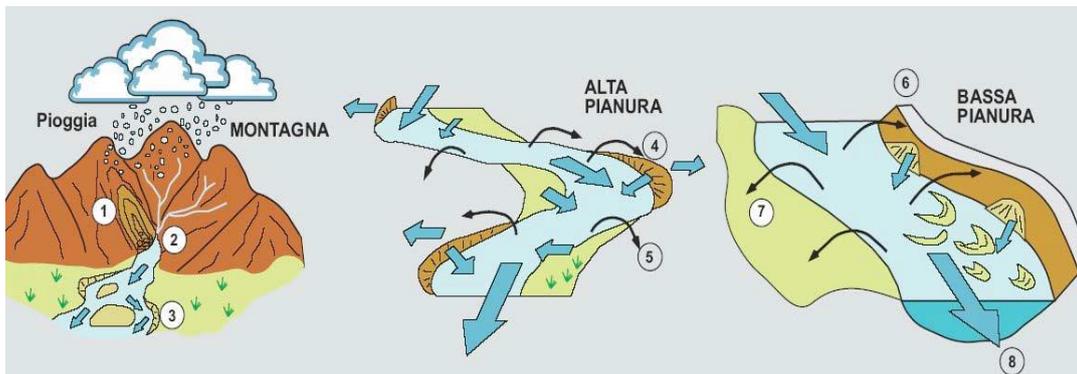


Figura 6.18: principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico (da AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008).

L'alveo risponderà a tali alterazioni modificando la sua morfologia, le sue caratteristiche idrauliche o il trasporto solido, attraverso una serie di complesse retroazioni fino al raggiungimento di una nuova condizione di equilibrio dinamico.

Per lo studio dell'equilibrio morfodinamico del corso d'acqua assume particolare importanza la definizione della portata liquida cui fare riferimento. A causa dell'estrema variabilità dei livelli idrometrici e delle corrispondenti portate in una singola sezione di un corso d'acqua naturale, è nata l'esigenza di definire un livello (e/o una corrispondente portata) che fosse il valore più rappresentativo della forma e delle dimensioni dell'alveo. Nasce il concetto di livello ad alveo pieno (*bankfull stage*) (alcuni autori italiani utilizzano anche i termini "piene rive" o "ripe piene") e corrispondente portata ad alveo pieno (*bankfull*

RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

discharge). Secondo la definizione originaria proposta da LEOPOLD et al. (1964), la portata ad alveo pieno rappresenta la "massima portata che può essere contenuta all'interno dell'alveo senza che superi le sponde" ed il livello ad alveo pieno rappresenta il corrispondente livello idrometrico. Tenendo presente che le prime definizioni di portata ad alveo pieno (così come degli altri concetti di geometria idraulica) sono riferite quasi sempre ad alvei naturali stabili (in equilibrio dinamico), ne deriva che la superficie che cominciava ad essere inondata qualora la portata non contenuta all'interno dell'alveo superava le sponde coincideva proprio con la cosiddetta pianura inondabile (*floodplain*). Pertanto il livello ad alveo pieno si veniva ad identificare con la quota della pianura inondabile 'attiva' o 'moderna' (active or modern floodplain), cioè della superficie pianeggiante formata dal corso d'acqua nelle presenti condizioni di regime (a differenza del terrazzo che corrisponde ad una pianura inondabile 'inattiva'). E' comunemente accettato in letteratura che la portata ad alveo pieno si verifica normalmente con moderata frequenza, essendo questa compresa tra 1 e 3 anni ( $Q_{1.5}$ ,  $Q_2$ ,  $Q_{2.33}$ ). Esistono alcune implicazioni fisiche legate al livello ad alveo pieno, in quanto esso rappresenta un'importante discontinuità nell'efficacia dei processi fluviali, in particolare:

- segna il passaggio da processi prevalenti di trasporto solido in alveo a processi di tracimazione;
- durante le esondazioni, una parte della corrente si muove sulla pianura inondabile e non influenza direttamente le dimensioni dell'alveo.

Associato al concetto di portata ad alveo pieno è quello di portata formativa (*channel-forming discharge*) o portata dominante (*dominant discharge*). La definizione di tali portate risale alle prime applicazioni della teoria del regime ad alvei naturali, quando si è posta la questione di definire un singolo valore di portata liquida che, se fosse idealmente sostituito all'intero regime delle portate per uno stesso periodo di tempo, produrrebbe la stessa forma e le stesse caratteristiche geometriche dell'alveo (Ingliš, 1949). Una definizione più robusta e fisicamente basata è quella fornita da Wolman & Miller (1960), i quali impostarono il problema in termini di prodotto tra magnitudo e frequenza delle portate liquide.

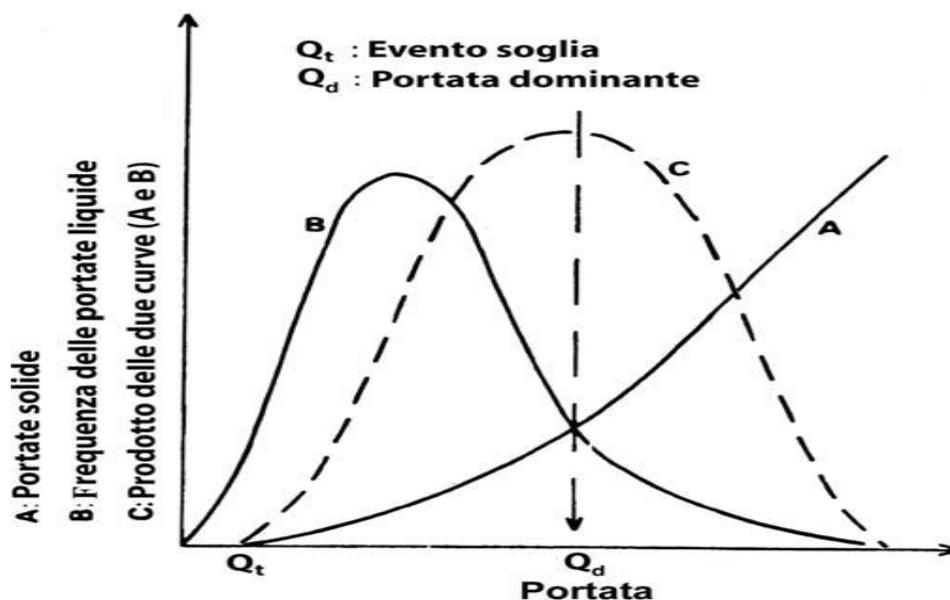


Figura 6.19: Concetto di portata dominante o efficace secondo Wolman & Miller

## RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

Secondo tale schema, le portate più efficaci nel modellare l'alveo non sono né quelle relativamente basse (le quali, anche se molto frequenti, sono in grado di trasportare solo modeste quantità di sedimenti), né quelle estreme (le quali, seppure associate ad elevato trasporto solido, sono troppo infrequenti), bensì una portata associata a condizioni intermedie, alla quale corrisponde il massimo valore del prodotto tra la curva di frequenza delle portate liquide e le corrispondenti portate solide. Andrews (1980) ha fornito una conferma sperimentale a quanto originariamente proposto da Wolman & Miller (1960). È stato così introdotto anche il termine di portata efficace (*effective discharge*) per indicare appunto la portata che trasporta più sedimenti in un certo intervallo temporale. Dato che la frequenza associata alla portata efficace (tempi di ritorno tra 1 e 3 anni) è la stessa di quella che caratterizza la portata ad alveo pieno, le due portate spesso possono essere identificate, almeno in alvei in equilibrio dinamico.

In conclusione, la portata formativa (*channel forming discharge*) e la portata dominante (*dominant discharge*) possono essere considerati equivalenti, e sono da intendere come quel valore teorico di portata che ha maggiori effetti sulla forma e sulle dimensioni dell'alveo, mentre esistono tre possibili approcci per determinare tale portata "teorica" (Biedenharn et al., 2001):

- Portata ad alveo pieno (*bankfull discharge*);
- Portata con tempo di ritorno compreso tra 1 e 3 anni (il valore della portata biennale Q<sub>2</sub> è quello più comunemente usato);
- Portata efficace (*effective discharge*), intesa come portata che trasporta più sedimenti in un intervallo temporale sufficientemente ampio.

### 6.3.5 Bilancio sedimentologico

Il carattere di un fiume è profondamente influenzato dalla quantità e dalle modalità attraverso cui viene rifornito di acqua e sedimenti: cambiamenti nelle portate solide e liquide generano cambiamenti nella morfologia del corso d'acqua. Per una valutazione della tendenza evolutiva occorre stimare la sua capacità di trasporto solido e confrontarla con gli apporti effettivi, si deve cioè procedere ad un bilancio di sedimenti (o sedimentologico). Fare un bilancio di sedimenti significa quindi investigare le caratteristiche dell'ingresso, del trasporto, dello stoccaggio e dell'uscita di sedimenti all'interno di un tratto o dell'intero sistema fluviale. Gli obiettivi che spingono a realizzare un bilancio di sedimenti sono molteplici, ad esempio conoscere la quantità di sedimenti caratteristica di un tratto, descrivere il tipo e l'intensità dei processi; in generale forniscono sia informazioni qualitative (ad es. sulle interazioni fra processi) che quantitative (ad es. sull'intensità dei processi).

Per valutare le tendenze evolutive dell'alveo di un corso d'acqua si devono considerare la portata solida (che rappresenta il trasporto solido che realmente transita attraverso un determinato tratto di alveo) e la capacità di trasporto della corrente (che corrisponde alla portata solida che l'alveo è potenzialmente in grado di trasportare in un determinato tratto).

Il trasferimento dei sedimenti attraverso un tratto di alveo è sintetizzato nel bilancio sedimentologico che con riferimento ad un tronco elementare di un corso d'acqua di lunghezza dx (vedi Figura 6.18), può essere espresso con un'equazione di continuità del tipo:  $Q_s = Q_T - \Delta Q$

dove:

- Q<sub>s</sub> è la portata solida complessiva in volume in uscita;

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

- $Q_t$  quella in ingresso nel tratto e  $\Delta Q$  è il termine di immagazzinamento;
- $q_s$  la portata solida volumetrica per unità di larghezza scambiata lateralmente, positiva se entrante e indipendente dal tempo;

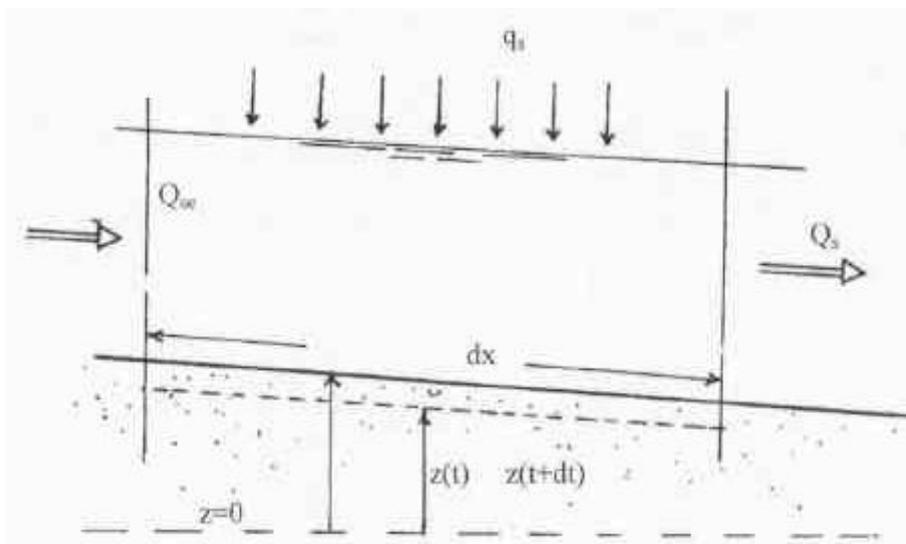


Figura 6.20: schema per l'applicazione dell'equazione di bilancio sedimentologico

Il principio di funzionamento è quindi molto semplice: scelto un tratto ed un intervallo temporale, la quantità di sedimenti in ingresso è pari a quella in uscita, più le variazioni all'interno del tratto. Quando in un tratto di alveo la portata solida entrante è pari alla capacità di trasporto, la portata uscente sarà pari a quella entrante, la quota del fondo rimarrà invariata e allora il tratto risulterà in equilibrio.

Se invece la capacità di trasporto è maggiore della portata solida in ingresso, la quantità di sedimenti mancanti per soddisfare l'eccesso di capacità di trasporto, viene preso dal fondo dell'alveo, provocando una degradazione del fondo (erosione). Nel caso in cui la portata solida in ingresso è superiore alla capacità di trasporto in questo caso il fiume non è in grado di smaltire l'apporto solido in arrivo da monte, questo allora si accumulerà progressivamente provocando un fenomeno di sedimentazione (Mengoni, 2000).

#### 6.4 ANALISI DELL'INTERAZIONE DELLE OPERE VIARIE CON I CORSI D'ACQUA DI INTERESSE

Come visto nei paragrafi precedenti, negli alvei cosiddetti "a fondo mobile", ossia potenzialmente interessati dal movimento del materiale incoerente costituente il fondo, è di grande importanza lo studio delle interazioni tra il manufatto di attraversamento e l'alveo, al fine di individuare preventivamente l'instaurarsi di eventuali fenomeni erosivi, generali o localizzati, che possano pregiudicare la stabilità dell'opera.

Nell'ambito del presente progetto, in ottemperanza alla Prescrizione n. 34 della Delibera CIPE n.3/2010 di Approvazione del Progetto Preliminare, per i corsi d'acqua in attraversamento che risultano soggetti a fenomeni attivi di erosione concentrata di fondo alveo e/o di sponda, al fine di poter verificare la

## RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

compatibilità e l'idoneità delle scelte progettuali adottate, con la naturale tendenza evolutiva degli alvei, sono stati rispettivamente valutati e definiti:

- lo stato di erosione dell'alveo nelle condizioni attuali (Ante operam);
- lo stato di erosione dell'alveo in condizione di progetto (Post operam) e l'eventuale incremento;
- l'entità dell'erosione localizzata al piede degli appoggi (scalzamento), per tutti quei viadotti che presentano pile o spalle interessate dal deflusso della piena duecentennale.

### 6.4.1 Valutazione dello stato di erosione dell'alveo dei corsi d'acqua in attraversamento e stima della tendenza evolutiva

Un corso d'acqua ed in particolare un suo tratto si definisce stabile, quando i parametri rappresentativi delle sue caratteristiche geometriche, idrauliche e della composizione del materiale d'alveo, risultano in reciproco equilibrio e conseguentemente invariati nel tempo. I parametri generalmente coinvolti nei processi di equilibrio della morfologia fluviale sono: la portata liquida nel tronco ed il suo andamento temporale, la portata solida entrante nel tronco e quella che esso è in grado di trasportare, le caratteristiche del materiale costituente l'alveo e le sponde.

Attraverso l'ausilio dei risultati della campagna di indagini (sopraluoghi, rilievi fotografici) svolta sul territorio interessato dalla infrastruttura in progetto e dell'analisi delle relative carte geomorfologiche, sono stati individuati dapprima tutti i corsi d'acqua in attraversamento potenzialmente interessati da fenomeni di erosione concentrata di fondo alveo e/o di sponda.

Successivamente si è proceduto ad una valutazione qualitativa del fenomeno erosivo (Condizione Attuale – Condizione Stato di Progetto), attraverso un bilancio di tipo sedimentologico, tra la portata solida in arrivo da monte e la capacità di trasporto solido totale di ogni singolo tratto di asta in esame.

Al fine di poter determinare quest'ultima grandezza, per ognuno di tali tratti si è resa necessaria una caratterizzazione granulometrica attraverso una campagna di indagine con prelievi di materiale solido in alveo e sulle sponde e successiva analisi granulometrica.

Nel caso di interesse la capacità di trasporto solido è stata poi valutata utilizzando la formula di Meyer-Peter Muller (1948) descritta nel paragrafo 6.3.3, ricavata e testata su miscugli a granulometria assortita.

Una volta applicato il metodo sopra citato, sulla base anche dei risultati del modello monodimensionale a moto permanente implementato per ciascuna asta oggetto del presente studio, è stato possibile eseguire il bilancio sedimentologico e successivamente un'analisi qualitativa della potenziale evoluzione altimetrica del fondo.

Queste le ipotesi di base utilizzate:

- si assume per la portata liquida formativa (di modellamento) il valore più comunemente usata ossia la  $Q_{f2}$  corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 2 anni;
- il deflusso avviene in condizioni stazionarie (moto permanente);
- la sezione (i-1) a monte della sezione i-esima di calcolo, è in grado di saturare la sua capacità di trasporto solido, ovvero la portata solida uscente è pari alla capacità di trasporto calcolata con la formulazione scelta;

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

- alla sezione i-esima giunge una portata solida pari alla capacità di trasporto della sezione (i-1).

Dal bilancio degli apporti solidi in ogni sezione si deduce la tendenza evolutiva dell'alveo, in quanto nei tratti in cui la portata solida aumenta nella direzione del moto si tenderà ad avere erosione, mentre nei tratti in cui diminuisce la portata solida si avrà verosimilmente deposito.

I risultati ottenuti riguardanti la capacità di trasporto solido, vengono descritti e presentati sotto forma tabellare nei paragrafi seguenti .

**6.4.1.1 Torrente Fiumicello – Viadotto "Piano delle Rose"**

Corso d'acqua	Torrente Fiumicello						
Struttura	Viadotto Piano delle Rose						
Condizione	Attuale			Condizione	Progetto		
Sezioni	Qsolida Ingresso	Qsolida Uscita	Tendenza	Sezioni	Qsolida Ingresso	Qsolida Uscita	Tendenza
	(t/giorno)	(t/giorno)			(t/giorno)	(t/giorno)	
550	1.371		*****	550	1.371		*****
499 Br.Upst.	1.37	0.66	<b>Deposito</b>	499 Br.Upst.	1.37	0.66	<b>Deposito</b>
499 Br.Down.	0.66	0.96	<b>Erosione</b>	499 Br.Down.	0.66	0.96	<b>Erosione</b>
470	0.96	0.54	<b>Deposito</b>	470 Br.Upst.	0.96	0.54	<b>Deposito</b>
440	0.41	0.44	<b>Erosione</b>	440Br.Down	0.41	0.44	<b>Erosione</b>
380	0.44	0.59	<b>Erosione</b>	380	0.44	0.59	<b>Erosione</b>

Si sottolinea come il tratto fra la sezione 470 e la sezione 440 che allo stato attuale è potenzialmente interessato da deposito/erosione si mantenga tale anche in seguito all'intervento in progetto, sezioni rispettivamente 470 Br. Up. e 440 Br. Down., con variazioni nulle della portata solida totale.

Al fine di evitare possibili divagazioni dell'alveo con conseguente possibile scalzamento alla fondazione della pila 4 della carreggiata destra è prevista una protezione spondale in materassi tipo Reno.

**6.4.2 Analisi dello scalzamento al piede delle pile**

Lo scalzamento delle pile dei ponti è un complesso fenomeno idraulico legato al trasporto solido e all'erosione del materiale di fondo. Causa dell'erosione del fondo è il "vortice a ferro di cavallo" che si forma attorno alla pila per l'effetto localizzato della presenza di un ostacolo nella corrente idrica. La dimensione del vortice e la massima profondità dell'erosione sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della corrente, dalla forma geometrica dell'ostacolo e dalle caratteristiche del materiale di fondo alveo. Il fenomeno di scalzamento è progressivo nel tempo ed è soggetto ad un'alternanza di condizioni di erosione e di deposito di materiale nella buca al piede della pila,

## RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI

determinata dal regime idrologico cui è soggetto il corso d'acqua e quindi dal manifestarsi di eventi caratterizzati da portate di entità differente.

La profondità massima che viene calcolata attraverso le formule rappresenta una condizione ultima di equilibrio cui tende il fenomeno: per tale motivo risulta sufficientemente cautelativo fare riferimento a condizioni idrodinamiche della corrente che abbiano probabilità di manifestarsi pari a quelle dell'evento di piena di progetto.

Sulla base di un'approfondita indagine di letteratura sulle formule empiriche ed i metodi di calcolo più diffusamente adottati per il calcolo della massima profondità di erosione prevedibile al piede delle pile dei ponti, è stata scelta ed utilizzata la formula di Breusers descritta in dettaglio nei precedenti paragrafi:

$$\frac{d_s}{s} = f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) \cdot \left(2 \cdot \tanh\left(\frac{h_0}{s}\right)\right) \cdot f_2(forma) \cdot f_3\left(\alpha, \frac{l}{s}\right)$$

Rispetto ad una copiosa parte di formulazioni riportate in letteratura che spesso legano il massimo scalzamento solamente alle dimensioni trasversali dell'ostacolo in alveo, la formula adottata tiene conto sia delle caratteristiche idrodinamiche di deflusso della corrente di piena di riferimento, che della granulometria del materiale di fondo, che dello sviluppo longitudinale delle opere di fondazione.

L'erosione localizzata al piede delle pile degli attraversamenti in studio è stata valutata in riferimento ad un tirante idrico in alveo corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 200 anni. I dati relativi alla granulometria del materiale di fondo ed al suo peso specifico sono stati desunti da specifiche analisi granulometriche eseguite nell'ambito del presente progetto.

Le modellazioni idrauliche in moto permanente hanno evidenziato che per il Viadotto Piano delle Rose, l'onda di piena duecentennale non va ad interessare le pile di fondazione.

### 6.4.3 Interventi di sistemazione idraulica

Come già accennato nei precedenti paragrafi, al fine di evitare fenomeni erosivi che possano pregiudicare la stabilità ed il corretto funzionamento delle opere in progetto, sono previsti interventi di sistemazione idraulica mediante gabbioni metallici.

La resistenza dei rivestimenti in gabbioni metallici, oltre che dalla robustezza della rete metallica, dipende anche da altri due parametri: lo spessore della struttura e la pezzatura del pietrame di riempimento.

La verifica di stabilità viene eseguita in termini di velocità, assumendo come rappresentativa delle sollecitazioni a cui il rivestimento è sottoposto, la velocità media della corrente nella sezione ed essendo  $V_{All}$  la velocità di flusso della corrente in corrispondenza della quale le pietre iniziano a muoversi.

$$V \leq V_{All}$$

Si è fatto riferimento ai risultati dei test su modello condotti dall'Hydraulics Laboratory Engineering Research Center Colorado State University- Fort Collins-USA, i quali esprimono le velocità critiche e le velocità limite in funzione delle caratteristiche dei rivestimenti (spessore rete di contenimento, pezzatura del materiale di riempimento).

Nella Tabella 6.1 per *velocità critica* si intende quella sopportabile dal rivestimento con sicurezza senza avere movimento del pietrame all'interno del gabbione e per *velocità limite* quella ancora accettabile ammettendo modeste deformazioni del gabbione stesso per insaccamento del materiale.

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Tipo	Spessore m	Pietrame di riempimento		Velocità critica m/s	Velocità limite m/s
		Pezzatura mm	d <sub>50</sub> m		
Materassi Reno	0,15 - 0,17	70 - 100	0,085	3,5	4,2
		70 - 150	0,110	4,2	4,5
	0,23 - 0,25	70 - 100	0,085	3,6	5,5
		70 - 150	0,120	4,5	6,1
	0,30	70 - 120	0,100	4,2	5,5
100 - 150		0,125	5,0	6,4	
Gabbioni	0,50	100 - 200	0,150	5,8	7,6
		120 - 250	0,190	6,4	8,0

Tabella 6.1: Hydraulics Laboratory Engineering Research Center Colorado State University- Fort Collins-USA - velocità critiche e velocità limite in funzione delle caratteristiche dei rivestimenti

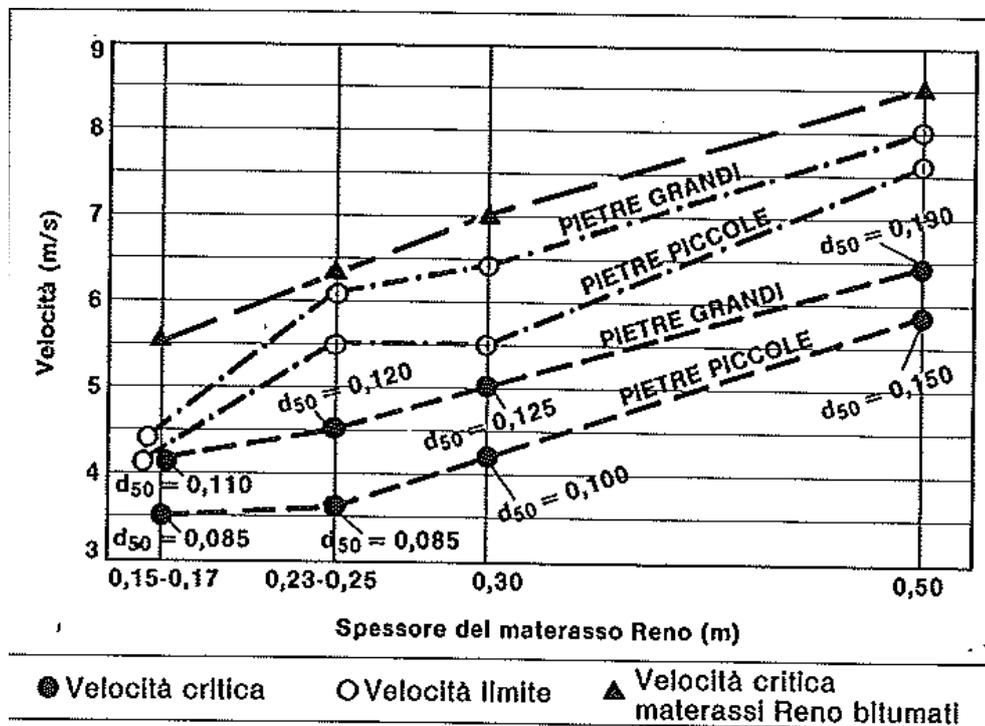


Figura 6.21: Diagramma per il dimensionamento dei rivestimenti in materassi Reno e gabbioni in funzione della velocità della corrente

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità degli interventi di sistemazione idraulica in progetto, realizzati mediante l'utilizzo di strutture a gabbioni di spessore minimo pari a 50 cm con pietrame di riempimento caratterizzato da un d<sub>50</sub> pari a 19 cm.

I valori delle velocità della corrente sono stati desunti dalle modellazioni idrauliche.

Le verifiche sono state condotte considerando la piena corrispondente ad un tempo di ritorno duecentennale; le velocità della corrente risultano tutte inferiori alla velocità critica per cui il materiale all'interno della rete metallica risulta in equilibrio.

**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI PRINCIPALI E SECONDARI**

Tabella 6.2 - Verifica degli interventi di sistemazione idraulica.

Corso d'acqua	Progr. (km)	Tipologia attraversamento	V (m/s)	Verifica	
				VC (m/s)	V <sub>LIM</sub> (m/s)
Torrente Fiumicello	1+150	Protezione spondale in destra idraulica e fondo alveo	2,97	6,4	8,0
Rete fossi guardia	1+733.06	Protezione sponde e fondo a valle tombino	5,98		Stabile
Rete fossi guardia	2+569.39	Protezione sponde e fondo a valle tombino	3,58		Stabile
Fosso Buseara	4+683.65	Protezione sponde e fondo a monte e a valle tombino	5,32		Stabile
Affluente Fosso Buseara	5+460.16	Protezione sponde e fondo fosso + protezione piede rilevato	1,45		Stabile
Rete fossi guardia	7+488.63	Protezione sponde e fondo a valle tombino	2,87		Stabile
Fosso S.N.	9+986.97	Protezione sponde e fondo a valle tombino	5,75		Stabile
Rete fossi guardia	15+108.87	Protezione sponde e fondo a valle tombino	4,10		Stabile
Affluente Torrente Canale	16+357.48	Protezione sponde e fondo a monte e a valle tombino	3,45		Stabile

## **7 ALLEGATI SIMULAZIONI IDRAULICHE HEC-RAS**

### **Torrente Fiumicello** **Stato attuale**

HEC-RAS Plan: stato\_attuale River: Fiumicello Reach: Reach 1

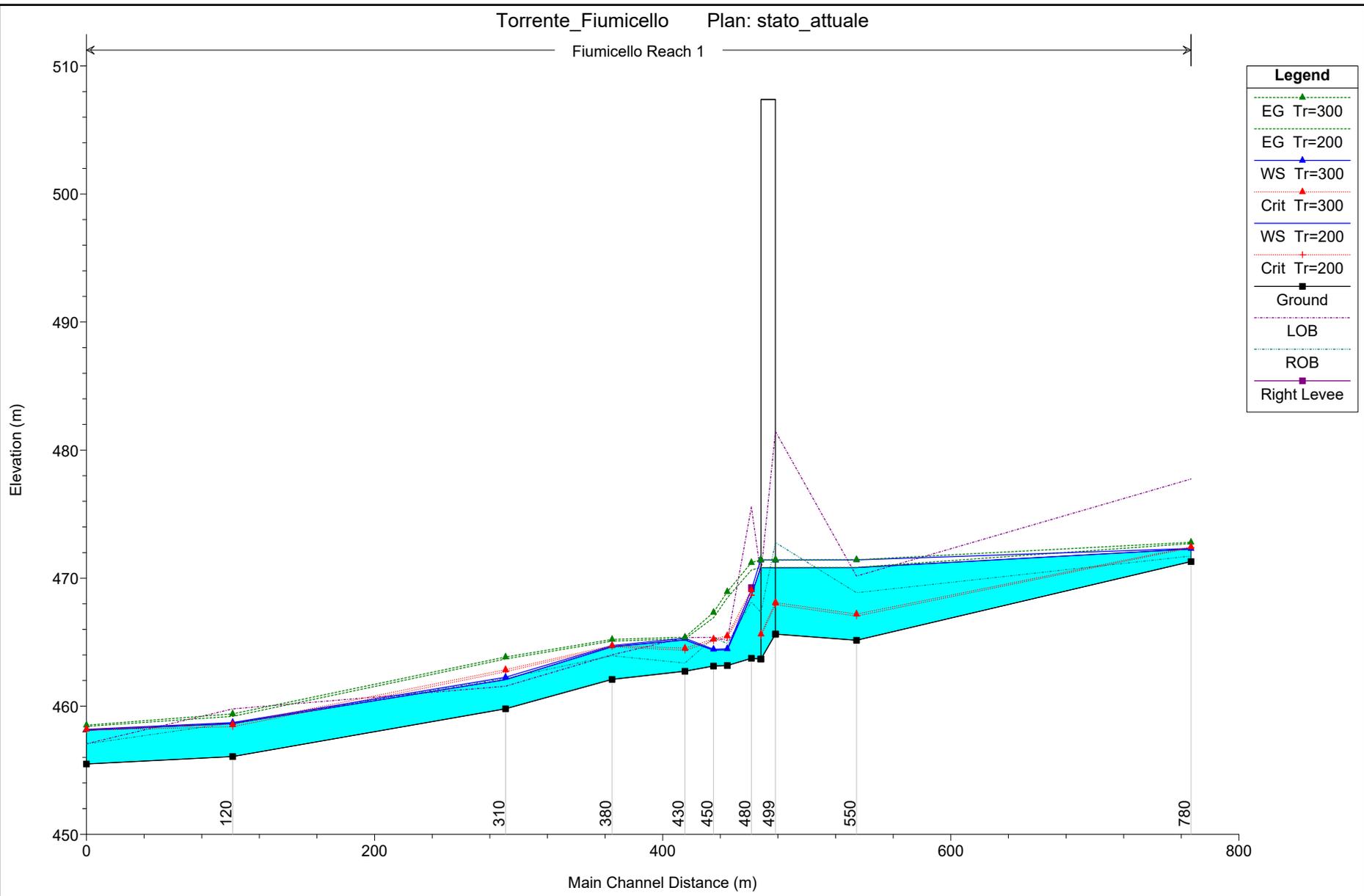
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	780	Tr=200	39.88	471.30	472.27	472.37	472.71	0.026008	3.13	14.13	28.54	1.33
Reach 1	780	Tr=300	45.96	471.30	472.32	472.44	472.80	0.026010	3.28	15.50	28.90	1.34
Reach 1	550	Tr=200	39.88	465.15	470.83	467.04	470.84	0.000077	0.53	85.19	34.63	0.09
Reach 1	550	Tr=300	45.96	465.15	471.42	467.20	471.43	0.000056	0.50	107.33	38.26	0.08
Reach 1	500	Tr=200	39.88	465.63	470.82	467.93	470.83	0.000164	0.59	67.51	29.56	0.12
Reach 1	500	Tr=300	45.96	465.63	471.42	468.09	471.43	0.000113	0.53	86.53	33.89	0.11
Reach 1	499		Bridge									
Reach 1	490	Tr=200	39.88	463.68	470.83		470.83	0.000007	0.19	227.91	64.02	0.03
Reach 1	490	Tr=300	45.96	463.68	471.42		471.43	0.000006	0.19	266.83	66.33	0.03
Reach 1	480	Tr=200	39.88	463.74	468.67	468.67	470.63	0.091632	6.21	6.42	1.63	1.00
Reach 1	480	Tr=300	45.96	463.74	469.09	469.09	471.21	0.095720	6.46	7.12	1.67	1.00
Reach 1	460	Tr=200	39.88	463.17	464.40	465.35	468.46	0.155605	8.92	4.47	5.60	3.19
Reach 1	460	Tr=300	45.96	463.17	464.48	465.50	468.94	0.160134	9.35	4.92	5.84	3.26
Reach 1	450	Tr=200	39.88	463.14	464.38	465.09	466.91	0.088963	7.05	5.66	6.84	2.48
Reach 1	450	Tr=300	45.96	463.14	464.44	465.24	467.32	0.095344	7.51	6.12	7.08	2.58
Reach 1	430	Tr=200	39.88	462.73	465.18	464.37	465.26	0.001311	1.44	35.41	32.08	0.35
Reach 1	430	Tr=300	45.96	462.73	465.30	464.53	465.39	0.001296	1.48	39.60	32.98	0.35
Reach 1	380	Tr=200	39.88	462.10	464.64	464.64	465.08	0.009732	3.36	15.46	16.09	0.76
Reach 1	380	Tr=300	45.96	462.10	464.73	464.73	465.21	0.010150	3.54	16.91	16.17	0.78
Reach 1	310	Tr=200	39.88	459.80	462.07	462.69	463.69	0.038075	5.74	7.52	7.06	1.36
Reach 1	310	Tr=300	45.96	459.80	462.26	462.85	463.84	0.034381	5.76	8.97	8.56	1.30
Reach 1	120	Tr=200	39.88	456.07	458.65	458.40	459.21	0.009671	3.31	12.05	7.35	0.82
Reach 1	120	Tr=300	45.96	456.07	458.72	458.58	459.40	0.011390	3.65	12.59	7.63	0.90

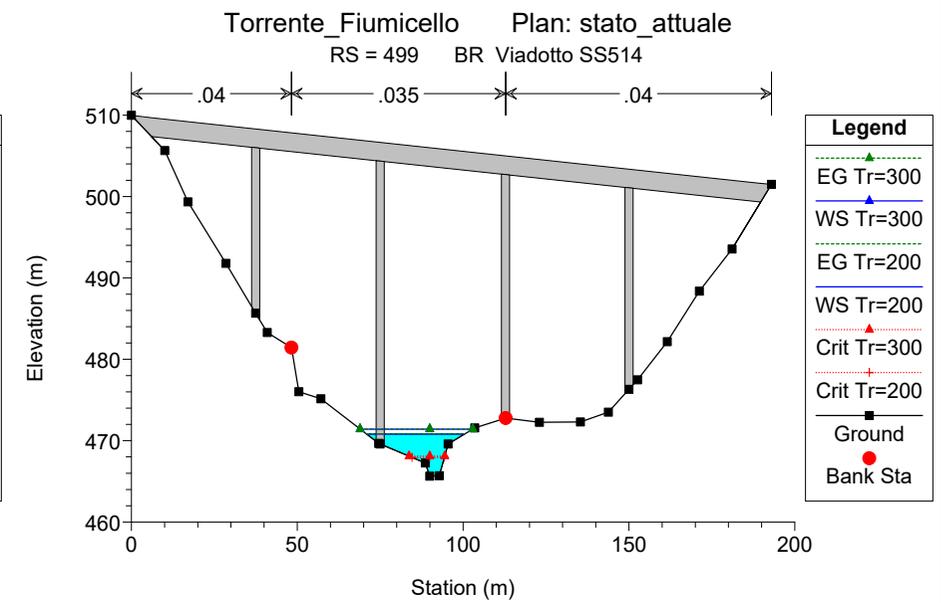
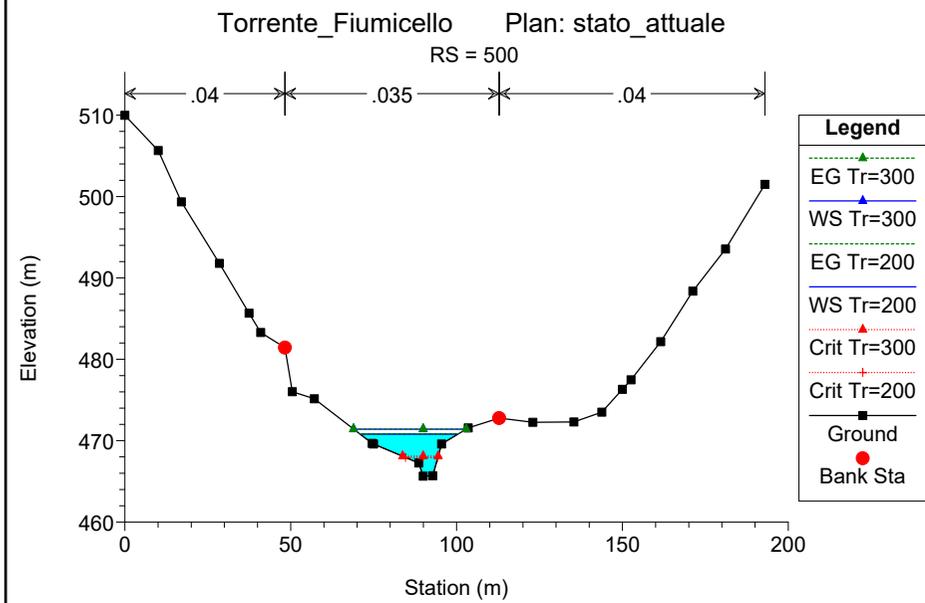
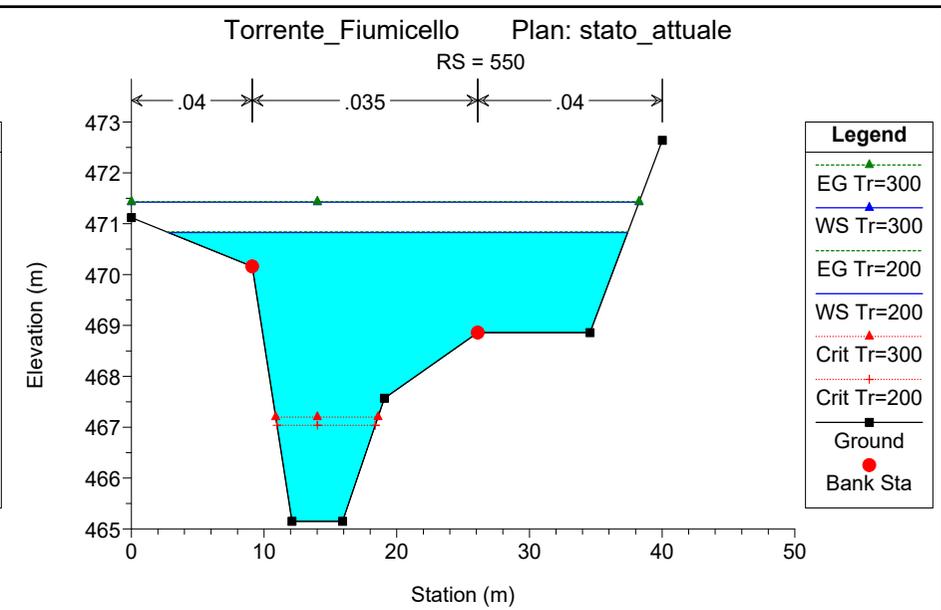
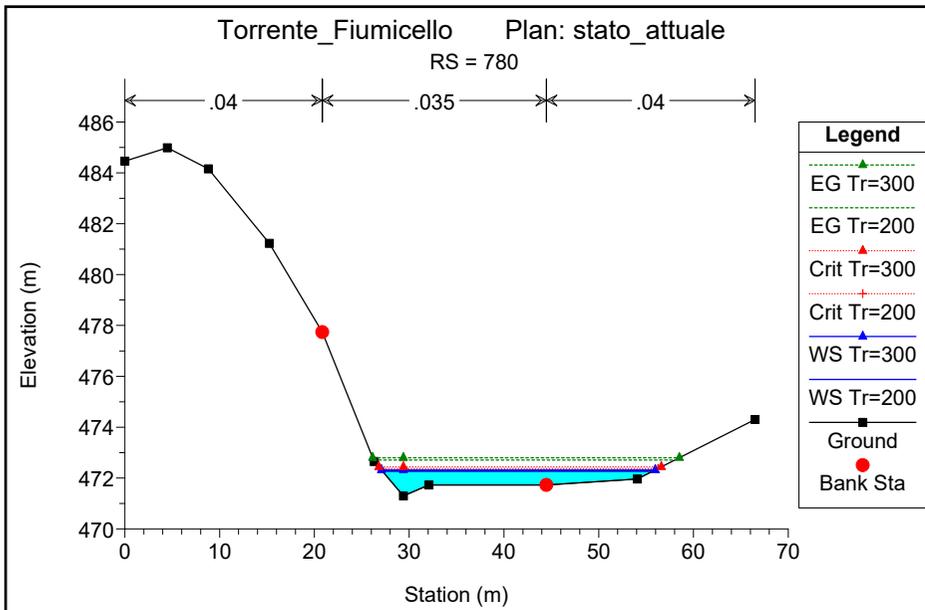
HEC-RAS Plan: stato\_attuale River: Fiumicello Reach: Reach 1 (Continued)

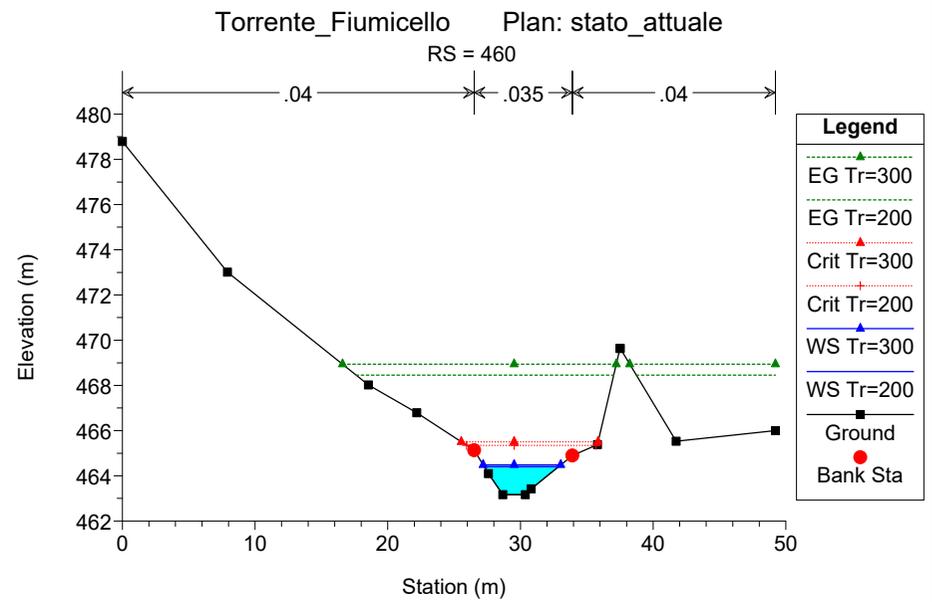
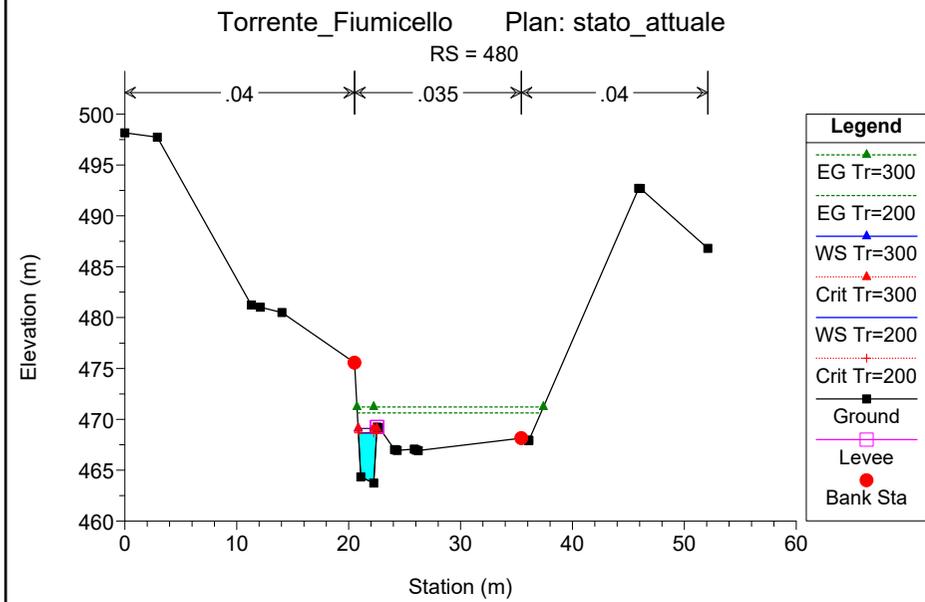
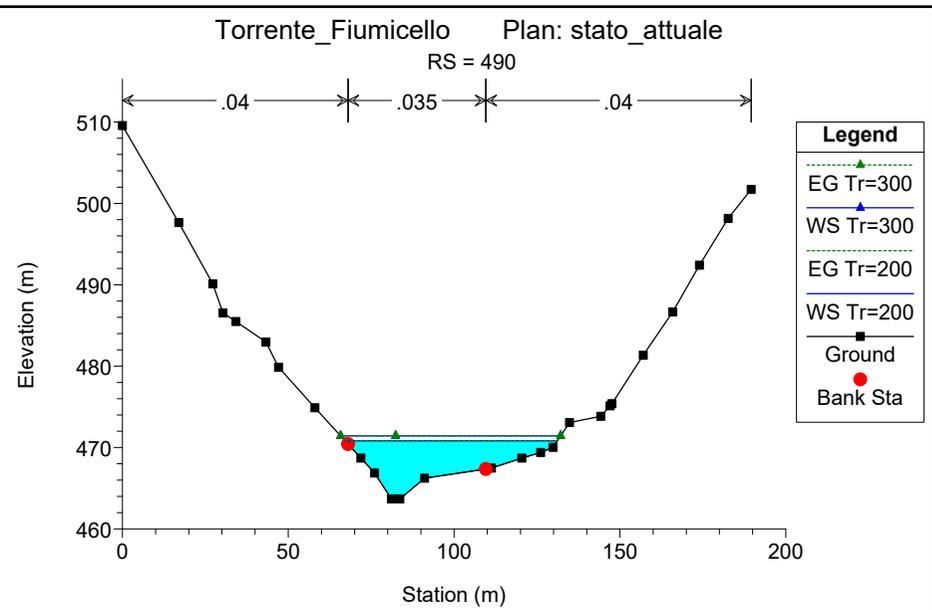
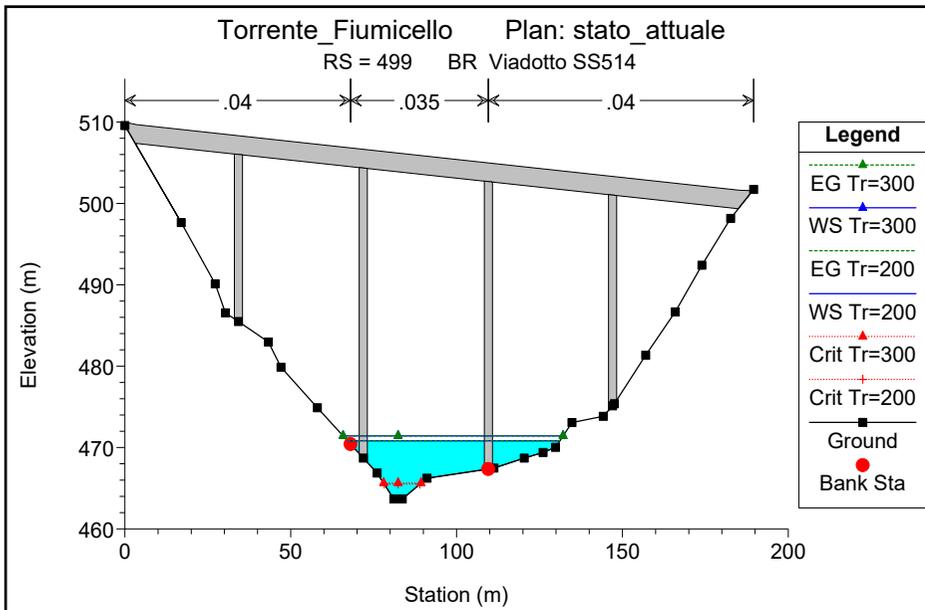
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Reach 1	20	Tr=200	39.88	455.49	458.12	458.12	458.43	0.005246	2.86	21.01	29.99	0.63
Reach 1	20	Tr=300	45.96	455.49	458.19	458.19	458.52	0.005510	3.00	23.19	29.99	0.65

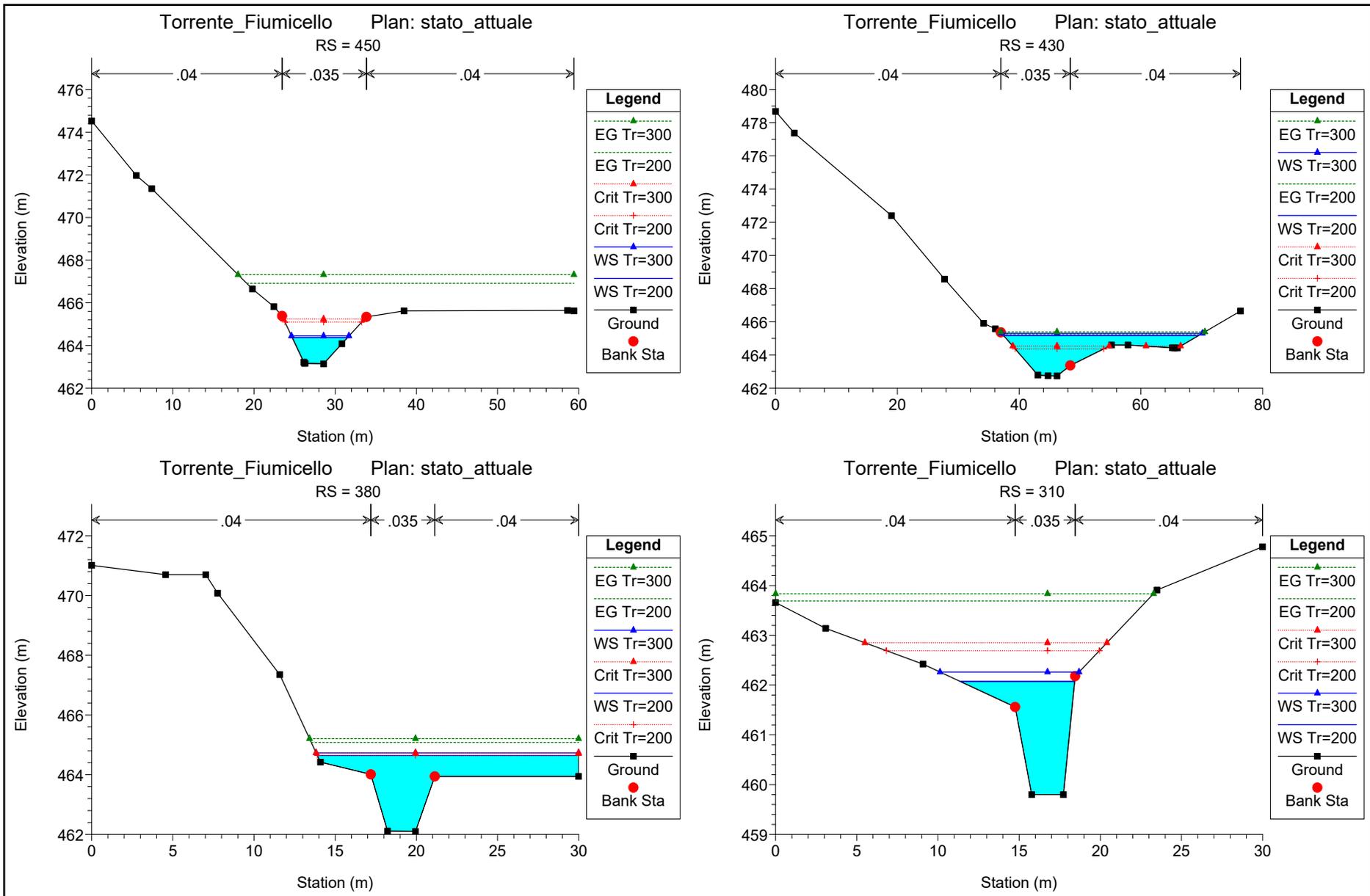
Torrente\_Fiumicello Plan: stato\_attuale

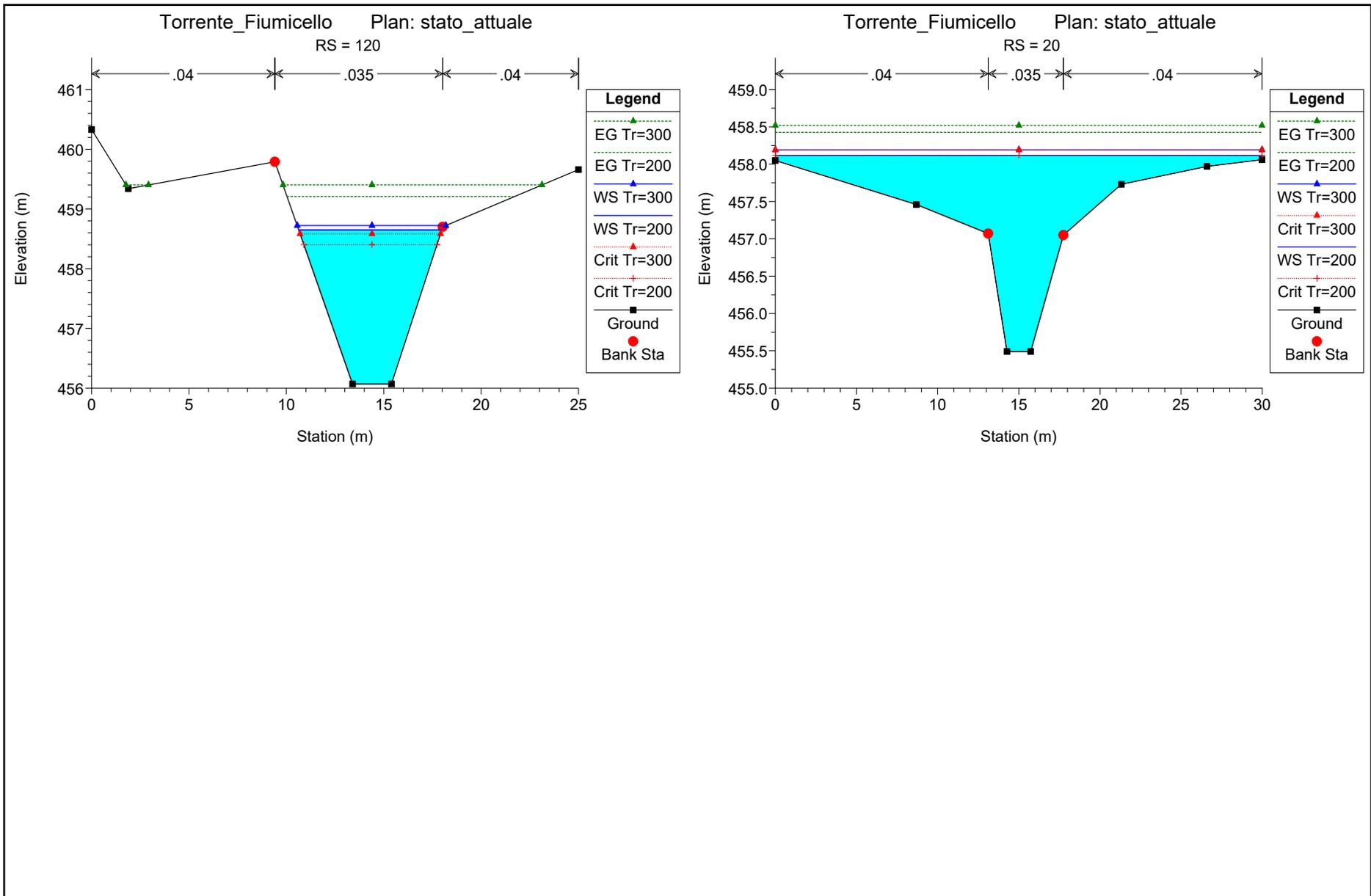
Fiumicello Reach 1











## Torrente Fiumicello

### Stato progetto

HEC-RAS Plan: stato\_progetto River: Fiumicello Reach: Reach 1

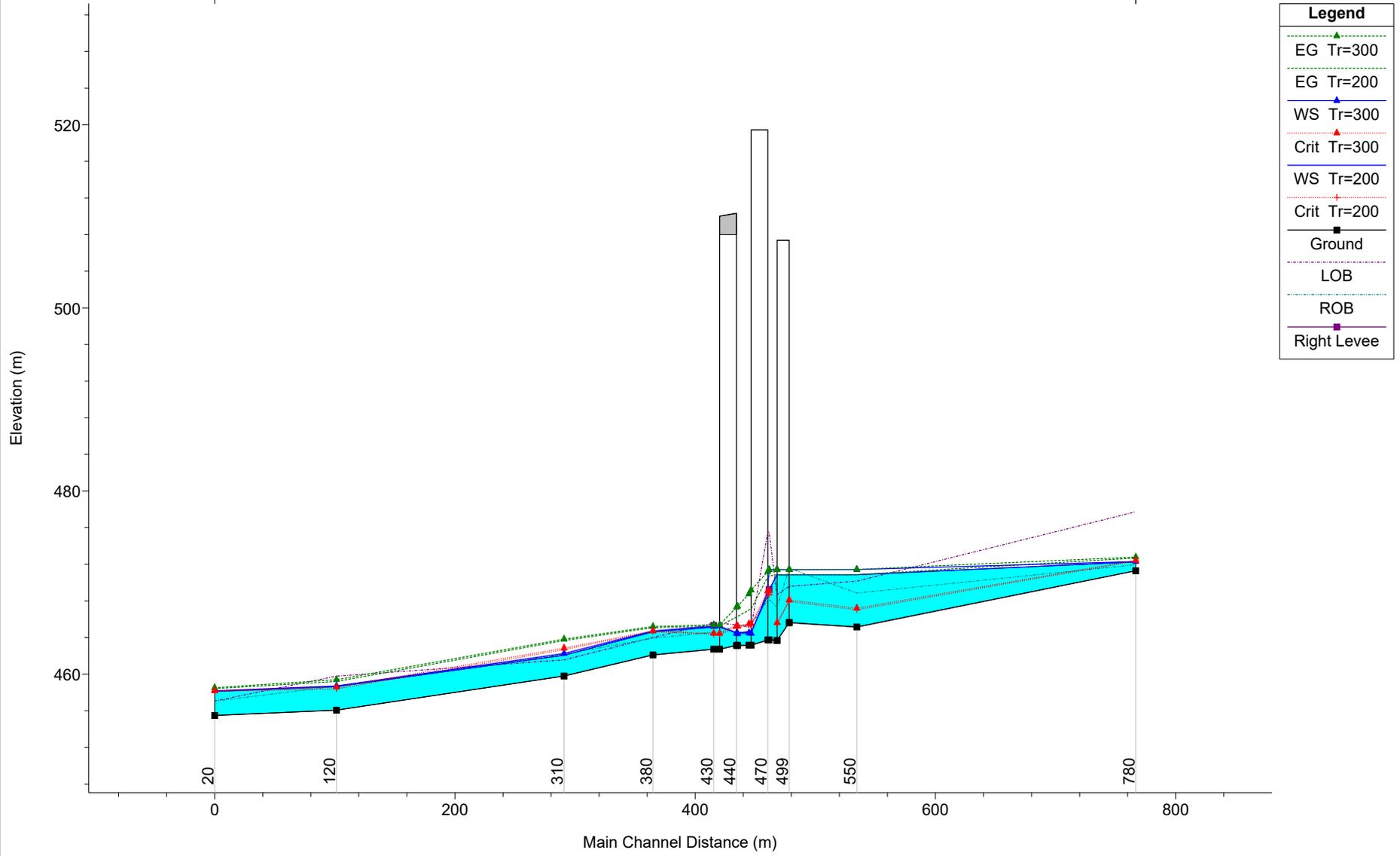
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	780	Tr=200	39.88	471.30	472.26	472.36	472.69	0.026007	2.91	13.85	28.46	1.31
Reach 1	780	Tr=300	45.96	471.30	472.31	472.42	472.78	0.026008	3.07	15.14	28.80	1.32
Reach 1	550	Tr=200	39.88	465.15	470.86	467.04	470.88	0.000075	0.52	86.41	35.01	0.09
Reach 1	550	Tr=300	45.96	465.15	471.42	467.20	471.44	0.000056	0.50	107.36	38.26	0.08
Reach 1	500	Tr=200	39.88	465.63	470.85	467.93	470.87	0.000145	0.60	68.55	29.82	0.12
Reach 1	500	Tr=300	45.96	465.63	471.42	468.09	471.43	0.000104	0.55	86.53	33.89	0.10
Reach 1	499		Bridge									
Reach 1	490	Tr=200	39.88	463.68	470.86		470.86	0.000006	0.19	230.17	64.15	0.03
Reach 1	490	Tr=300	45.96	463.68	471.42		471.43	0.000005	0.20	266.88	66.33	0.03
Reach 1	480	Tr=200	39.88	463.74	469.17	468.67	470.71	0.068969	5.50	7.25	1.68	0.85
Reach 1	480	Tr=300	45.96	463.74	471.40	469.09	471.42	0.000229	0.72	65.67	16.74	0.11
Reach 1	470		Bridge									
Reach 1	460	Tr=200	39.88	463.17	464.64	465.37	467.00	0.075274	6.81	5.86	6.33	2.26
Reach 1	460	Tr=300	45.96	463.17	464.50	465.50	468.76	0.150778	9.14	5.03	5.90	3.16
Reach 1	450	Tr=200	39.88	463.14	464.53	465.10	466.32	0.040618	5.92	6.74	7.39	1.98
Reach 1	450	Tr=300	45.96	463.14	464.43	465.24	467.42	0.073779	7.65	6.00	7.02	2.64
Reach 1	440		Bridge									
Reach 1	430	Tr=200	39.88	462.73	465.13	464.34	465.25	0.001259	1.51	26.74	18.36	0.39
Reach 1	430	Tr=300	45.96	462.73	465.26	464.45	465.39	0.001316	1.60	28.97	18.64	0.41
Reach 1	380	Tr=200	39.88	462.10	464.64	464.64	465.08	0.009809	3.37	15.42	16.09	0.76
Reach 1	380	Tr=300	45.96	462.10	464.72	464.73	465.21	0.010293	3.56	16.82	16.16	0.78
Reach 1	310	Tr=200	39.88	459.80	462.08	462.69	463.69	0.037903	5.73	7.54	7.07	1.36
Reach 1	310	Tr=300	45.96	459.80	462.27	462.85	463.83	0.034097	5.74	9.00	8.59	1.30

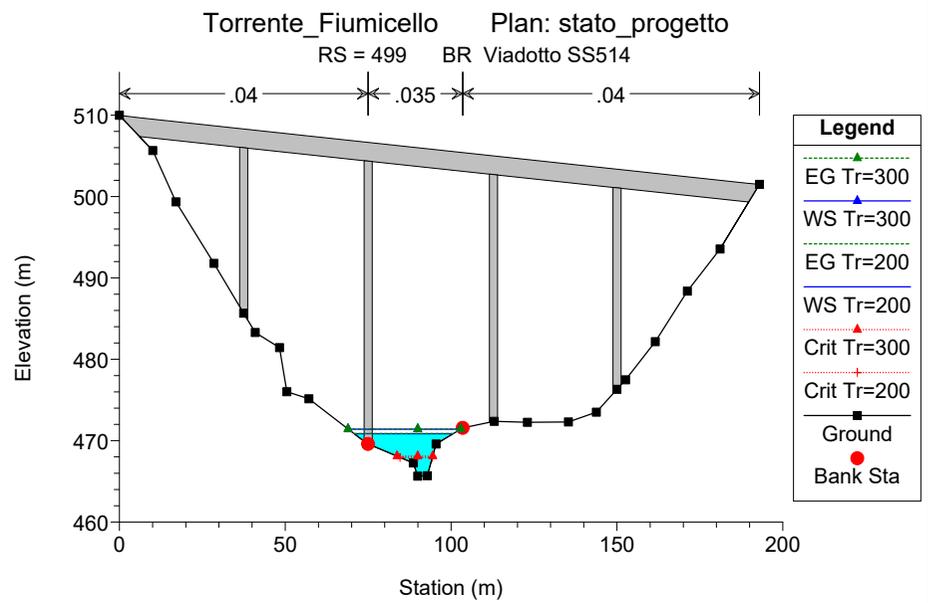
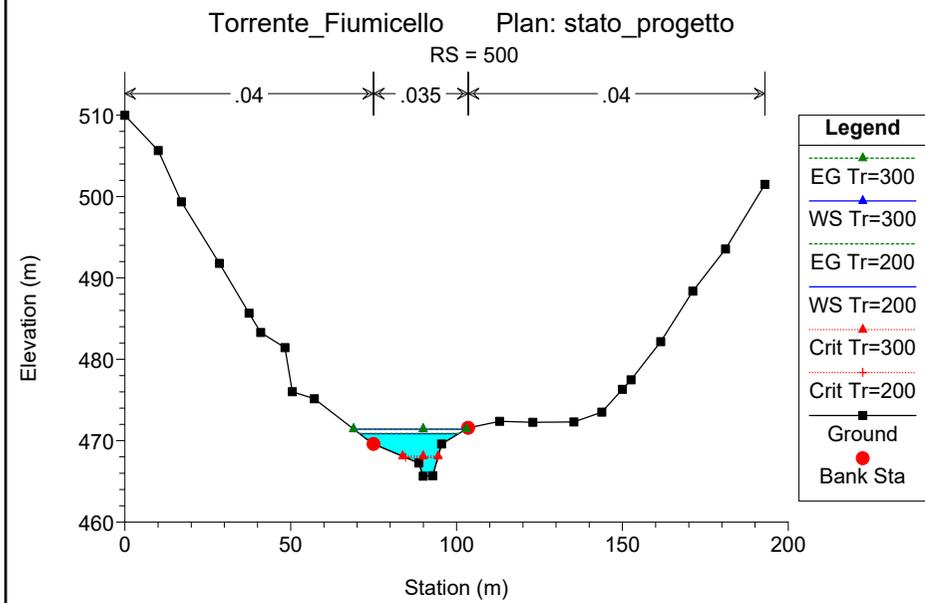
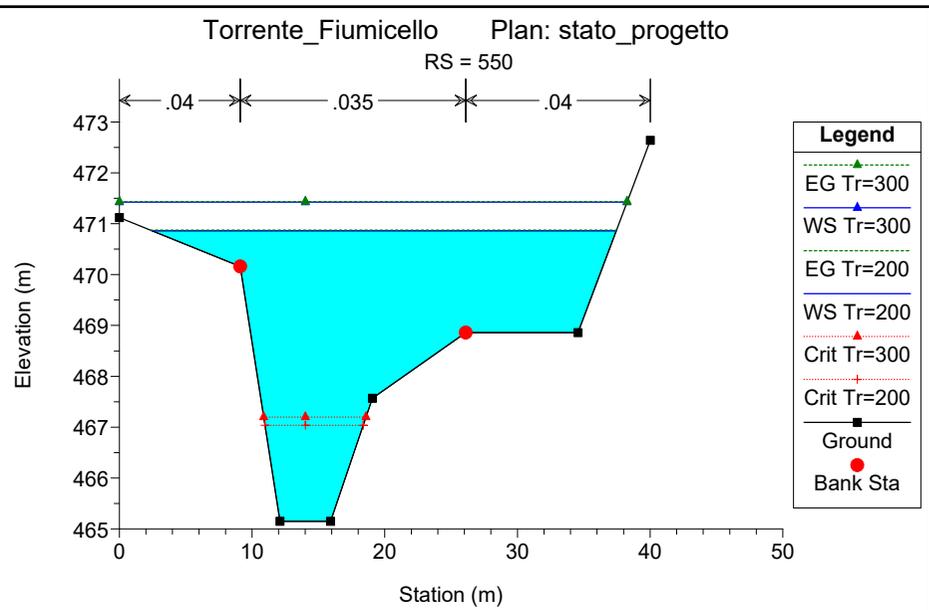
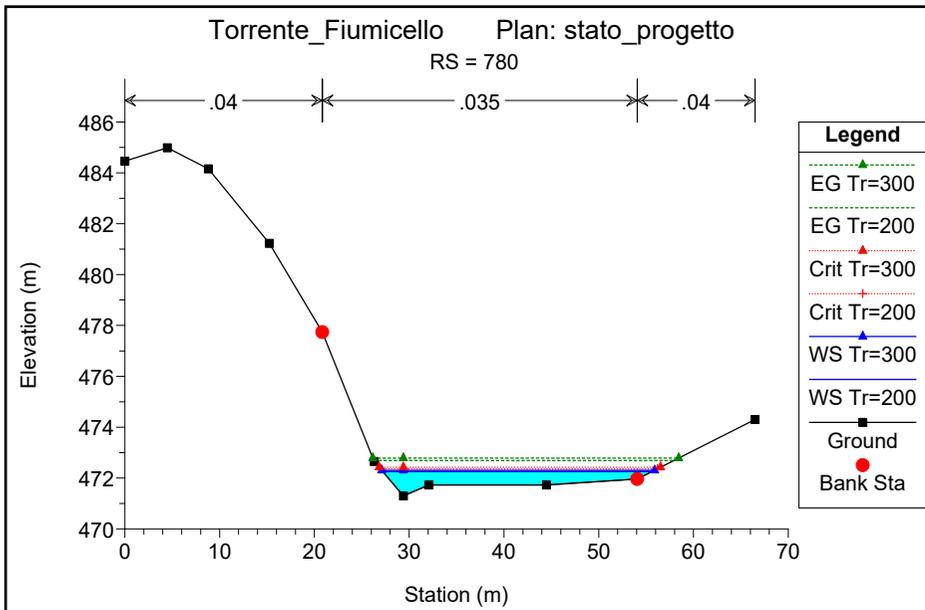
HEC-RAS Plan: stato\_progetto River: Fiumicello Reach: Reach 1 (Continued)

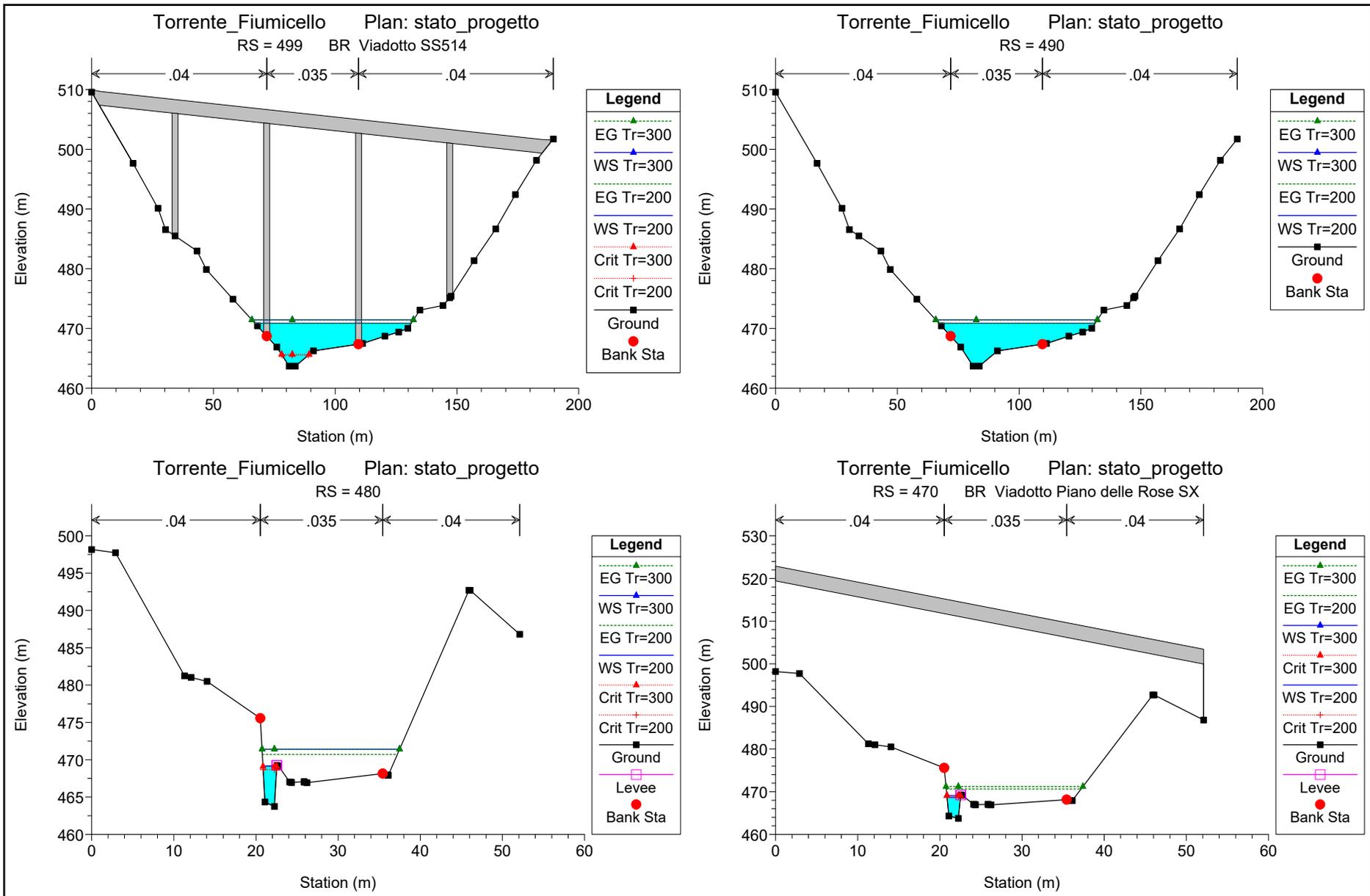
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Reach 1	120	Tr=200	39.88	456.07	458.65	458.40	459.21	0.009671	3.31	12.05	7.35	0.82
Reach 1	120	Tr=300	45.96	456.07	458.72	458.58	459.40	0.011390	3.65	12.59	7.63	0.90
Reach 1	20	Tr=200	39.88	455.49	458.12	458.12	458.43	0.005246	2.86	21.01	29.99	0.63
Reach 1	20	Tr=300	45.96	455.49	458.19	458.19	458.52	0.005510	3.00	23.19	29.99	0.65

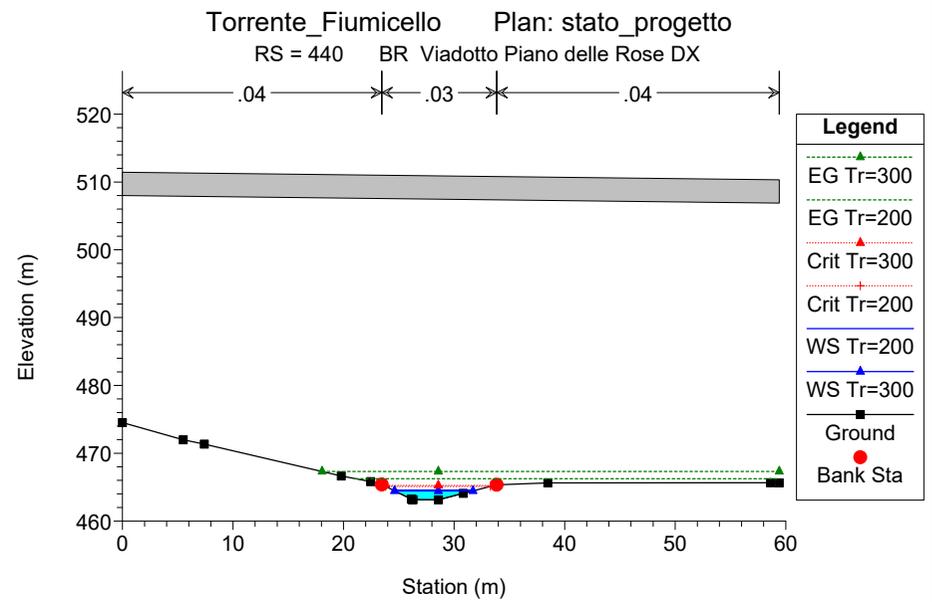
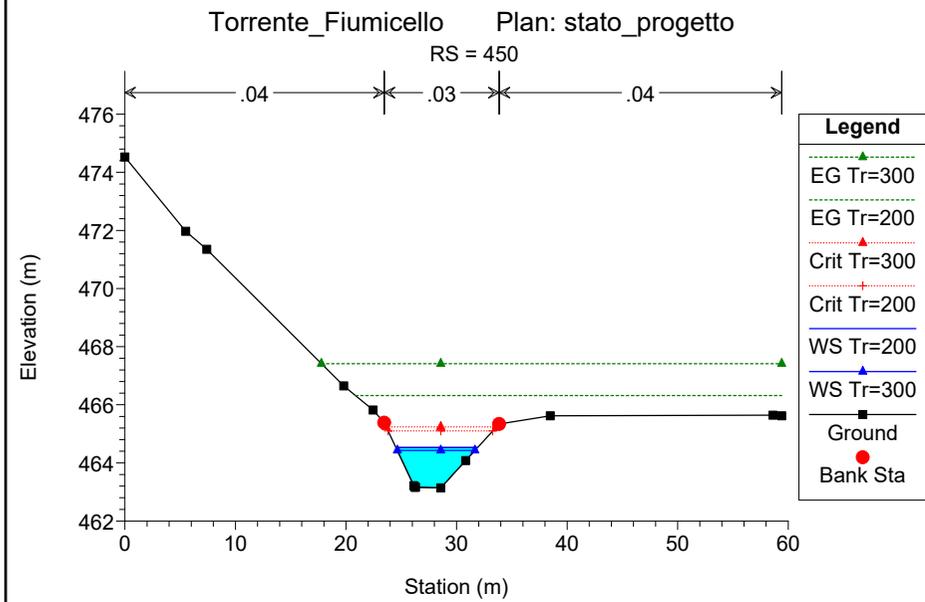
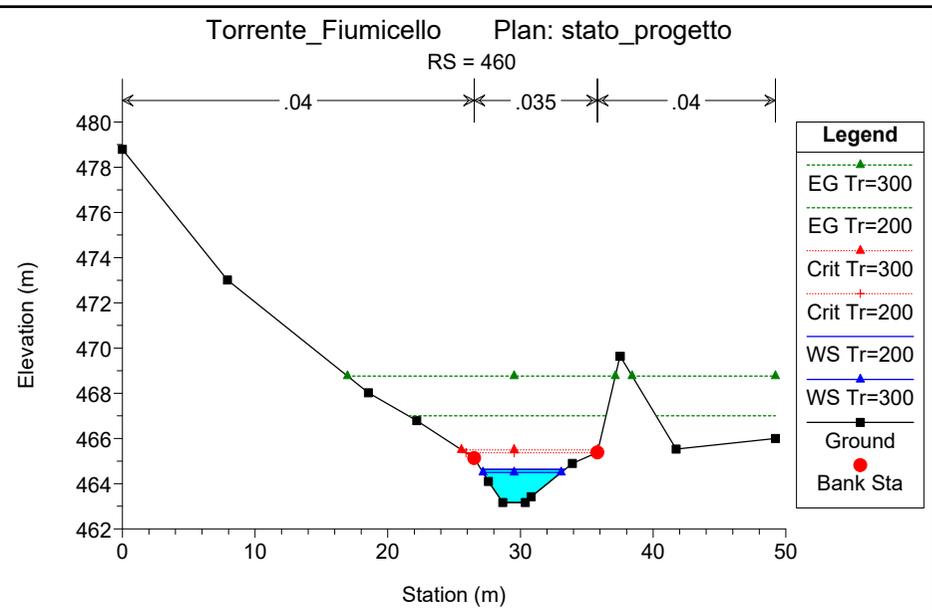
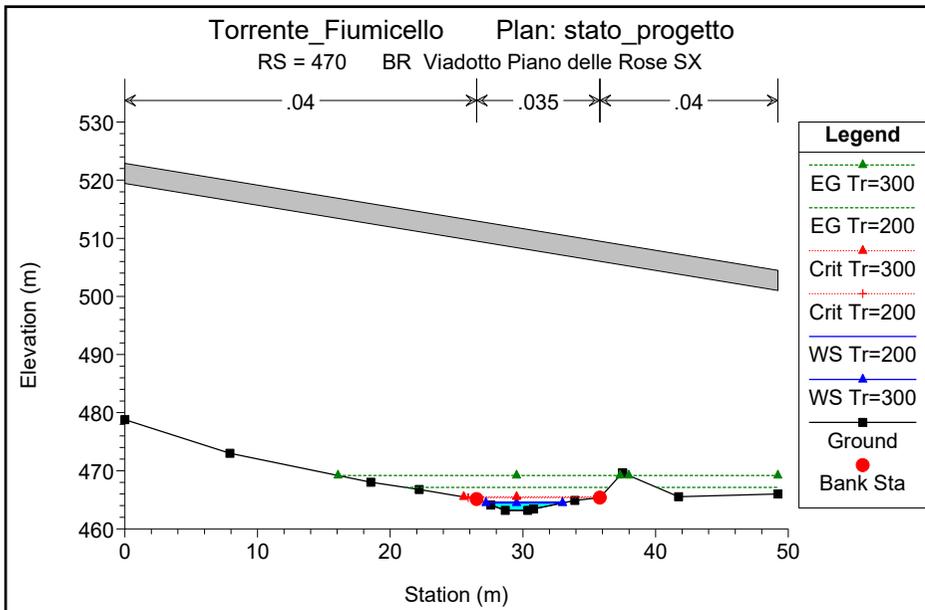
Torrente\_Fiumicello Plan: stato\_progetto

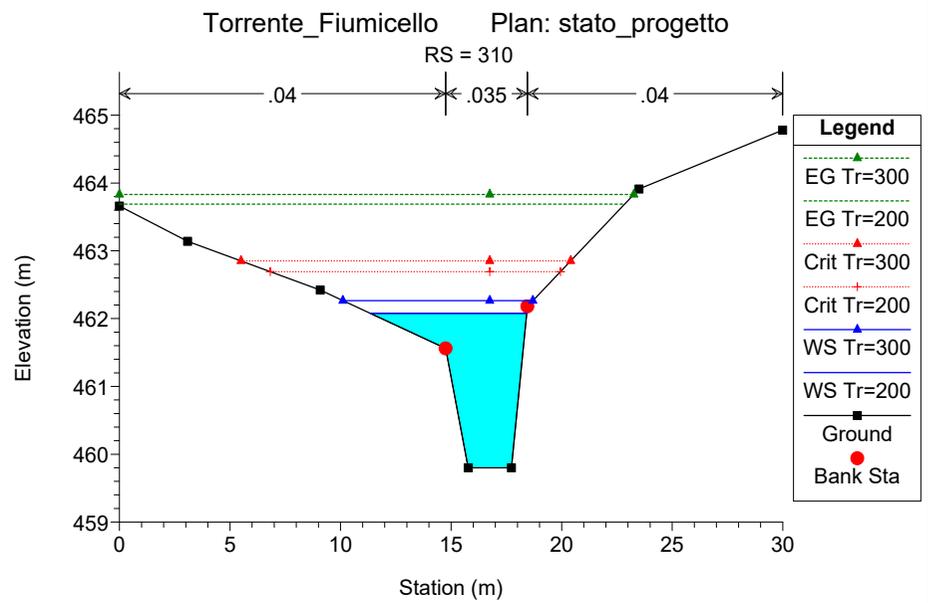
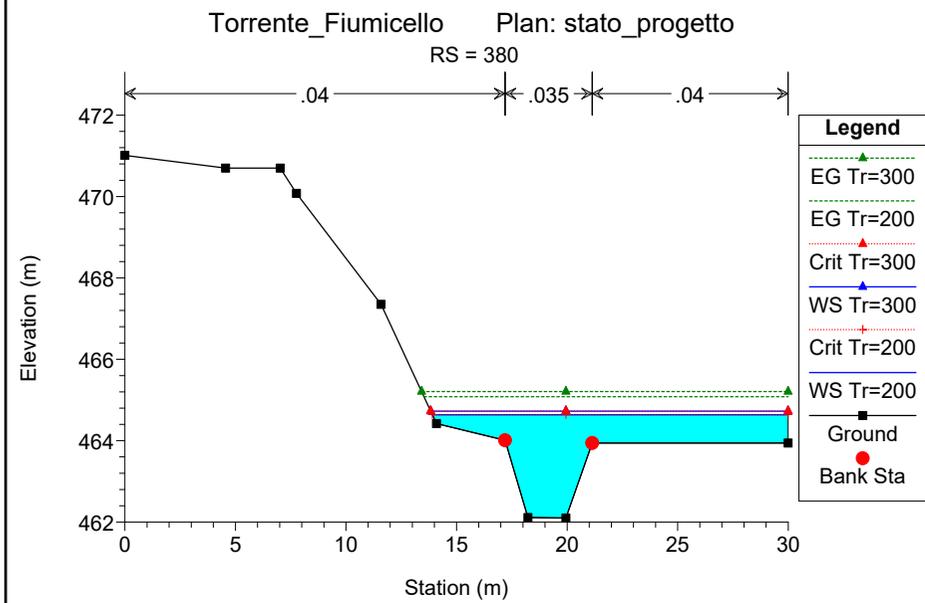
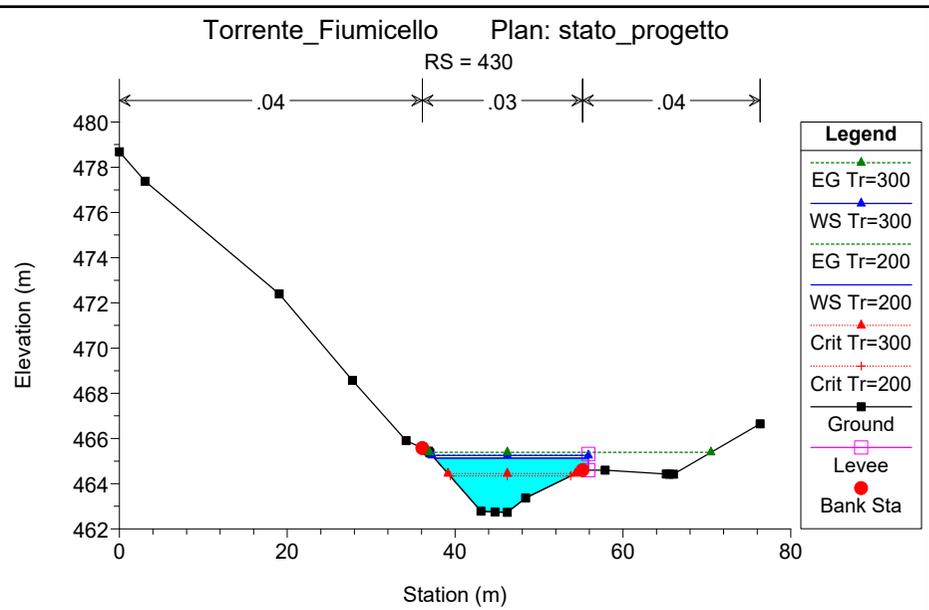
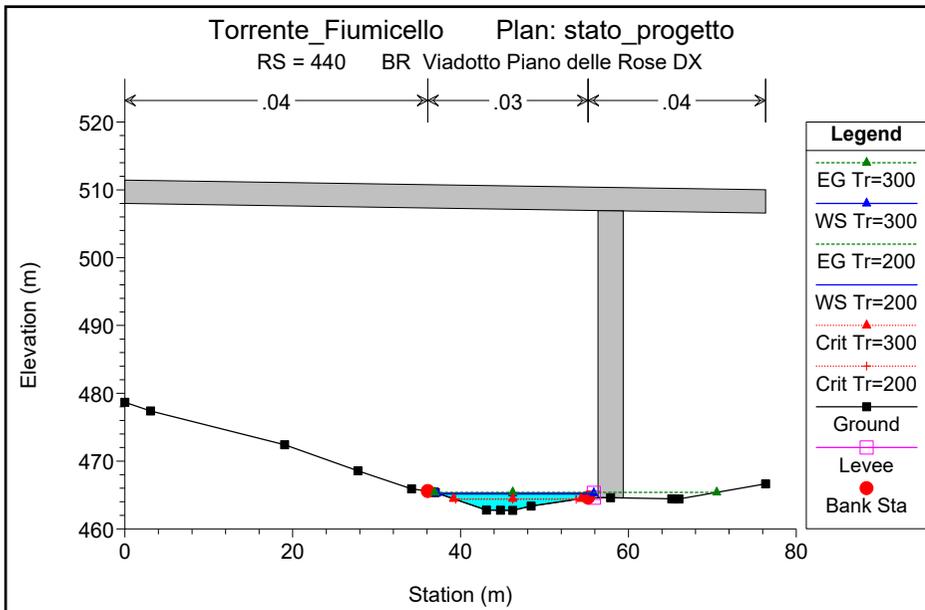
Fiumicello Reach 1

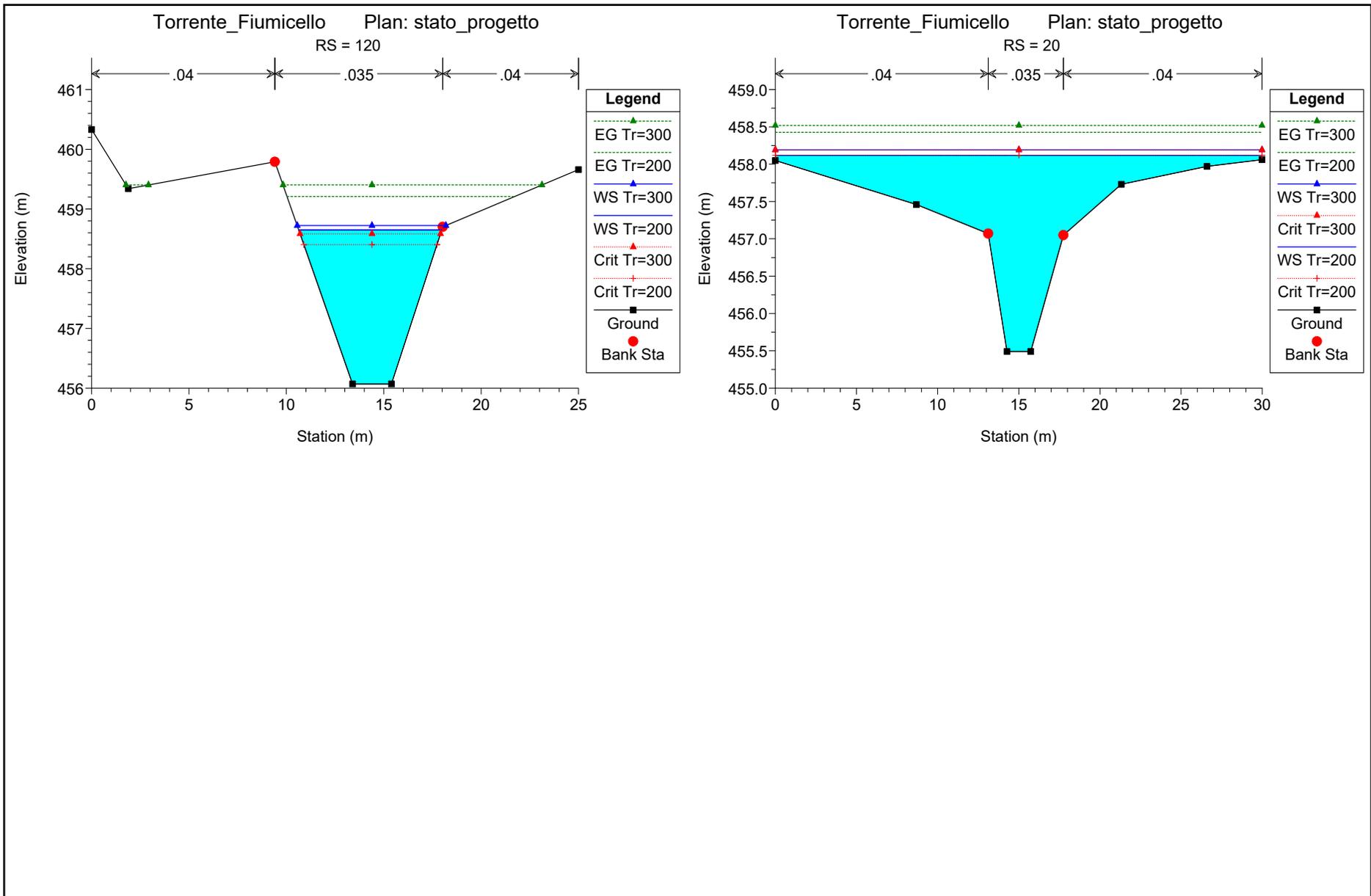












**Fosso Buseara**

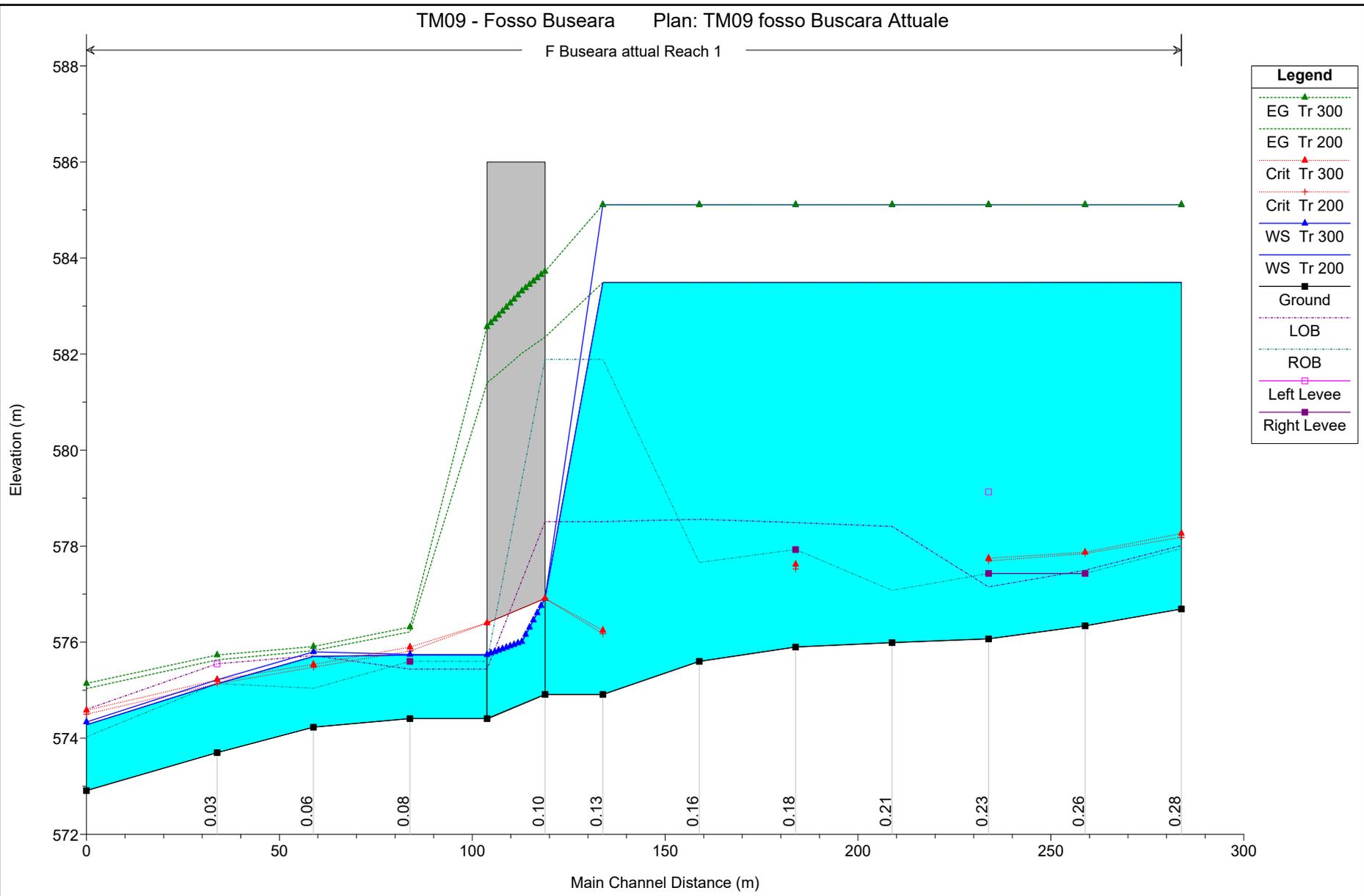
**Stato attuale**

HEC-RAS Plan: attuale River: F Buseara actual Reach: Reach 1

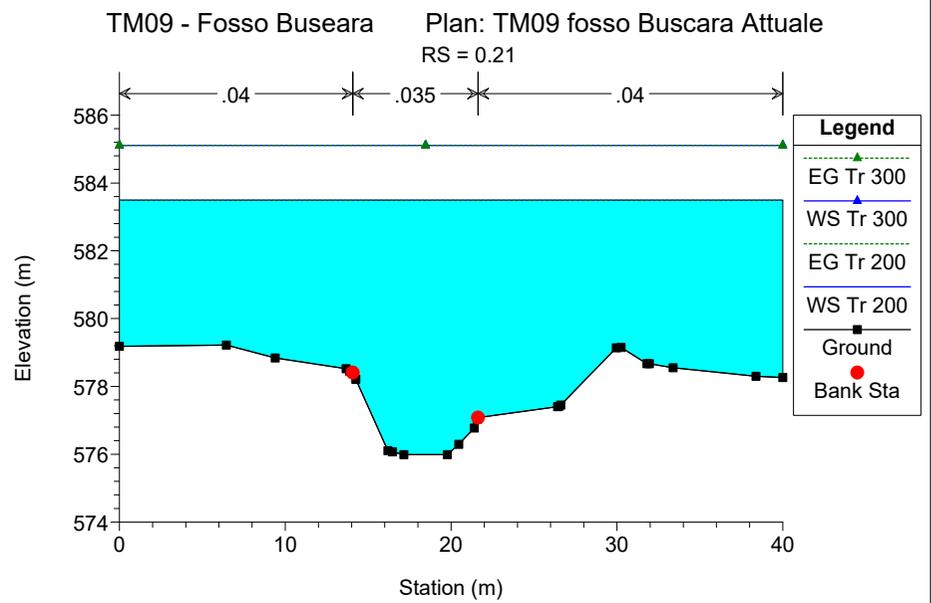
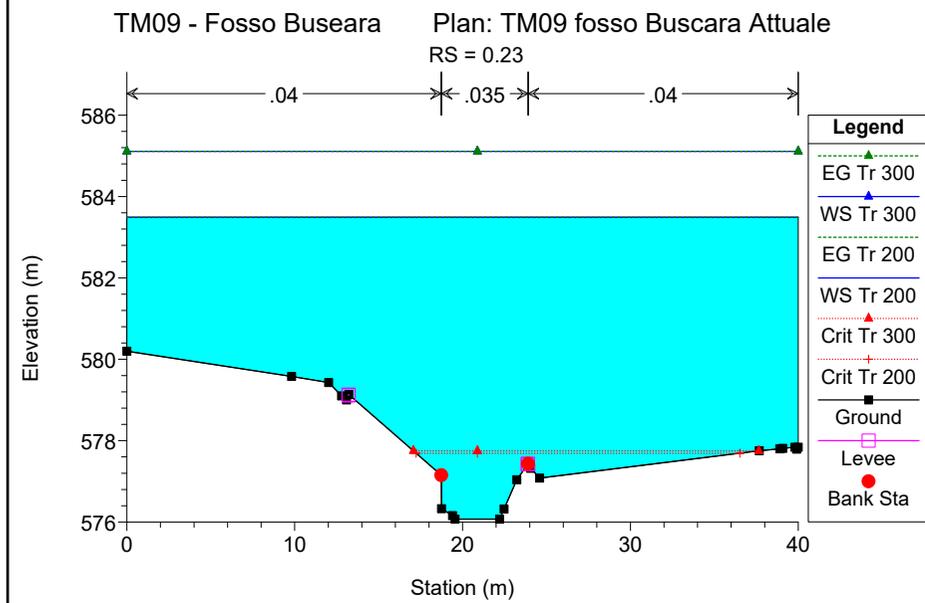
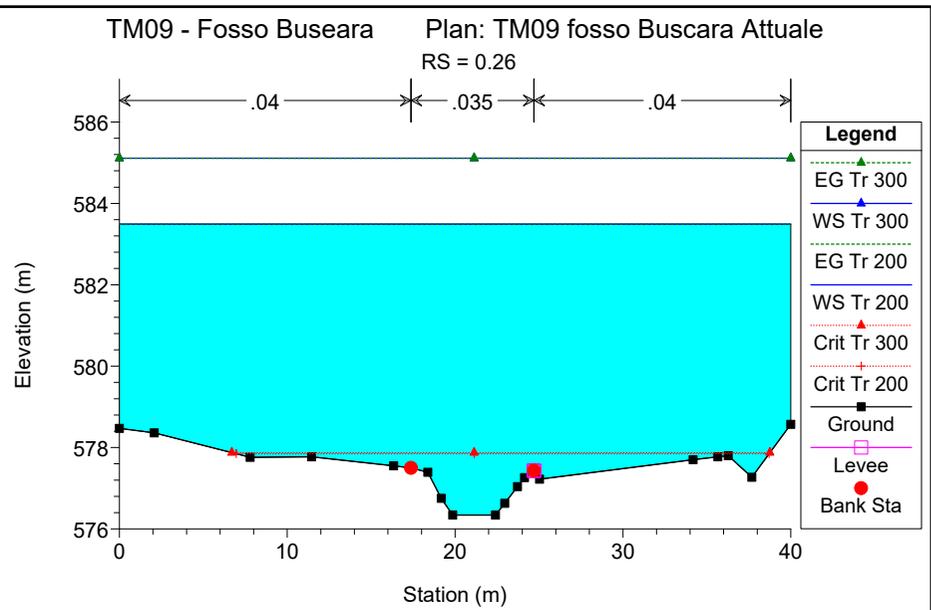
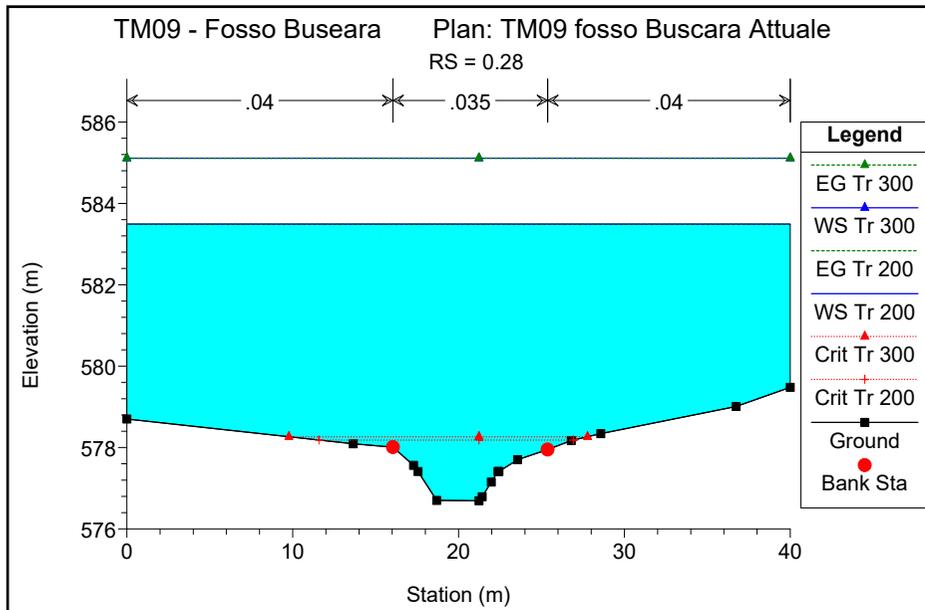
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	0.28	Tr 200	23.45	576.69	583.49	578.18	583.49	0.000003	0.15	210.71	40.00	0.02
Reach 1	0.28	Tr 300	25.93	576.69	585.11	578.26	585.11	0.000001	0.13	275.50	40.00	0.01
Reach 1	0.26	Tr 200	23.45	576.34	583.49	577.85	583.49	0.000002	0.13	236.91	40.00	0.02
Reach 1	0.26	Tr 300	25.93	576.34	585.11	577.87	585.11	0.000001	0.12	301.70	40.00	0.01
Reach 1	0.23	Tr 200	23.45	576.07	583.49	577.69	583.49	0.000003	0.15	212.72	40.00	0.02
Reach 1	0.23	Tr 300	25.93	576.07	585.11	577.75	585.11	0.000001	0.13	277.51	40.00	0.01
Reach 1	0.21	Tr 200	23.45	575.99	583.49		583.49	0.000002	0.15	214.80	40.00	0.02
Reach 1	0.21	Tr 300	25.93	575.99	585.11		585.11	0.000001	0.13	279.60	40.00	0.01
Reach 1	0.18	Tr 200	23.45	575.90	583.49	577.53	583.49	0.000002	0.13	225.02	40.00	0.02
Reach 1	0.18	Tr 300	25.93	575.90	585.11	577.62	585.11	0.000001	0.12	289.82	40.00	0.01
Reach 1	0.16	Tr 200	23.45	575.60	583.49		583.49	0.000003	0.16	192.65	40.00	0.02
Reach 1	0.16	Tr 300	25.93	575.60	585.11		585.11	0.000002	0.14	257.45	40.00	0.01
Reach 1	0.13	Tr 200	23.45	574.91	583.49	576.18	583.49	0.000003	0.15	174.80	31.57	0.02
Reach 1	0.13	Tr 300	25.93	574.91	585.11	576.25	585.11	0.000002	0.13	228.53	34.66	0.01
Reach 1	0.10		Culvert									
Reach 1	0.08	Tr 200	23.45	574.41	575.73	575.81	576.21	0.012355	3.11	8.22	13.19	0.96
Reach 1	0.08	Tr 300	25.93	574.41	575.74	575.90	576.31	0.014508	3.39	8.37	13.41	1.04
Reach 1	0.06	Tr 200	23.45	574.23	575.70	575.48	575.82	0.003495	1.74	17.02	23.41	0.53
Reach 1	0.06	Tr 300	25.93	574.23	575.80	575.54	575.91	0.002954	1.68	19.35	25.17	0.49
Reach 1	0.03	Tr 200	23.45	573.70	575.14	575.14	575.63	0.013640	3.12	7.52	7.54	1.00
Reach 1	0.03	Tr 300	25.93	573.70	575.21	575.21	575.73	0.013189	3.19	8.16	8.45	0.99
Reach 1	0.00	Tr 200	23.45	572.91	574.28	574.50	575.03	0.021257	3.88	6.31	8.51	1.22
Reach 1	0.00	Tr 300	25.93	572.91	574.34	574.58	575.14	0.021450	4.01	6.84	9.01	1.23

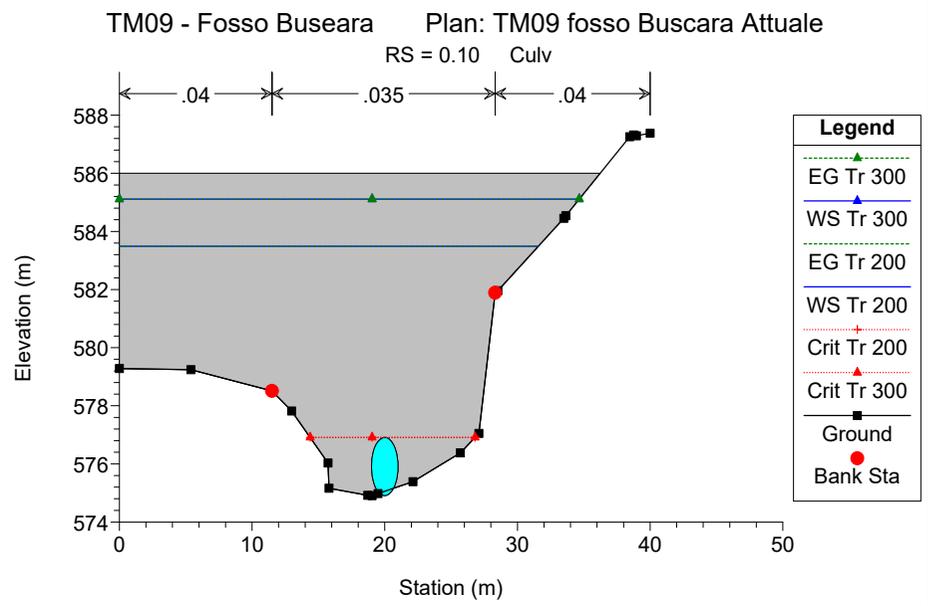
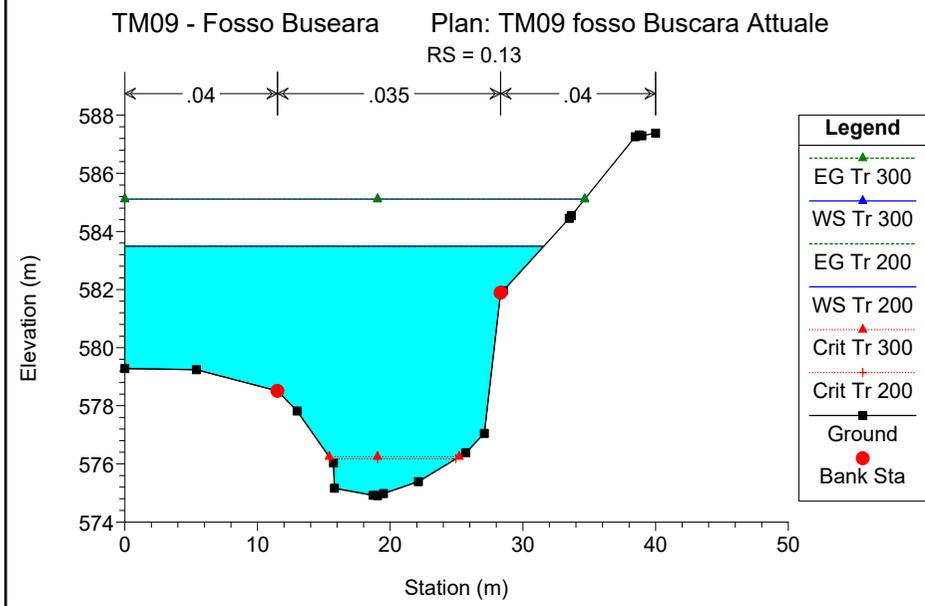
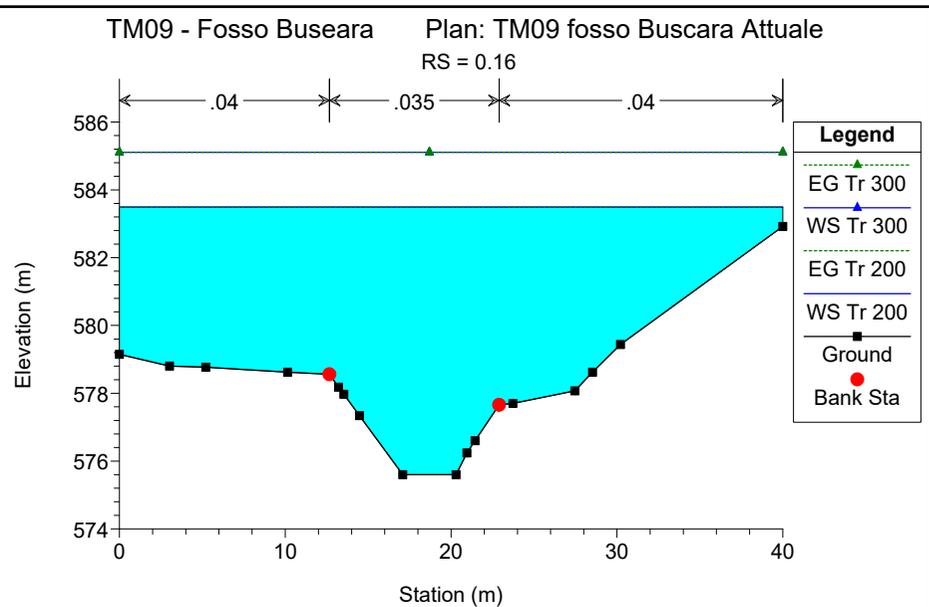
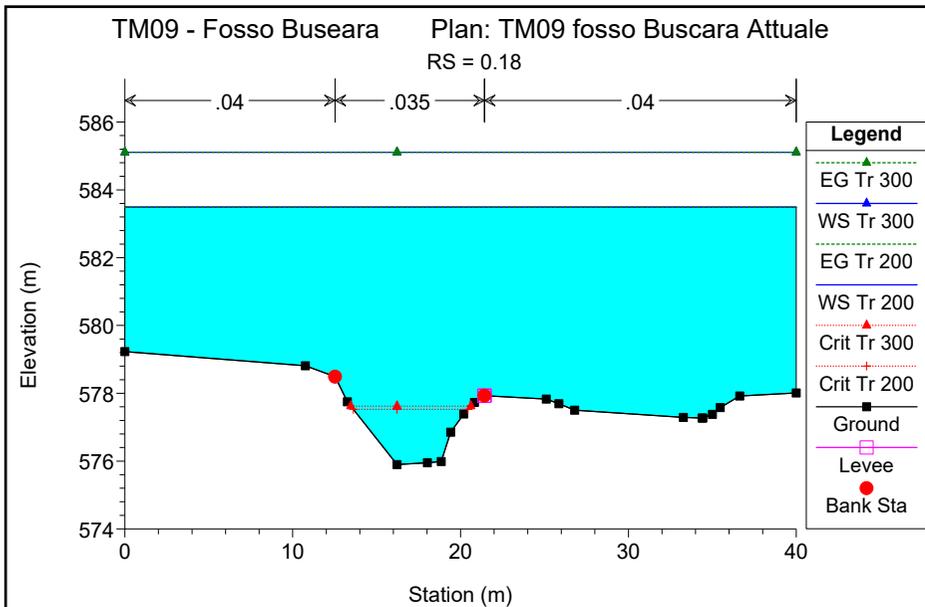
TM09 - Fosso Buseara Plan: TM09 fosso Buscara Attuale

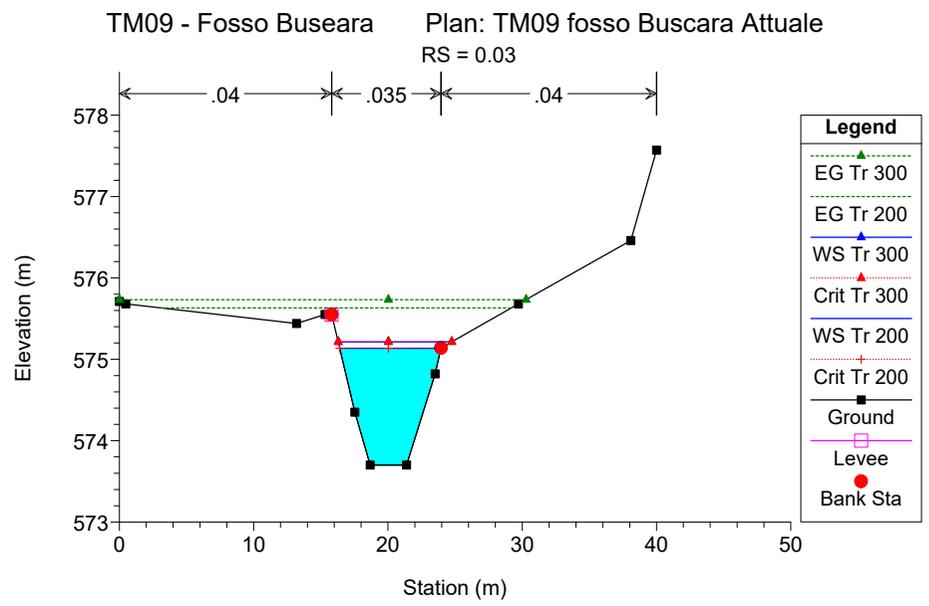
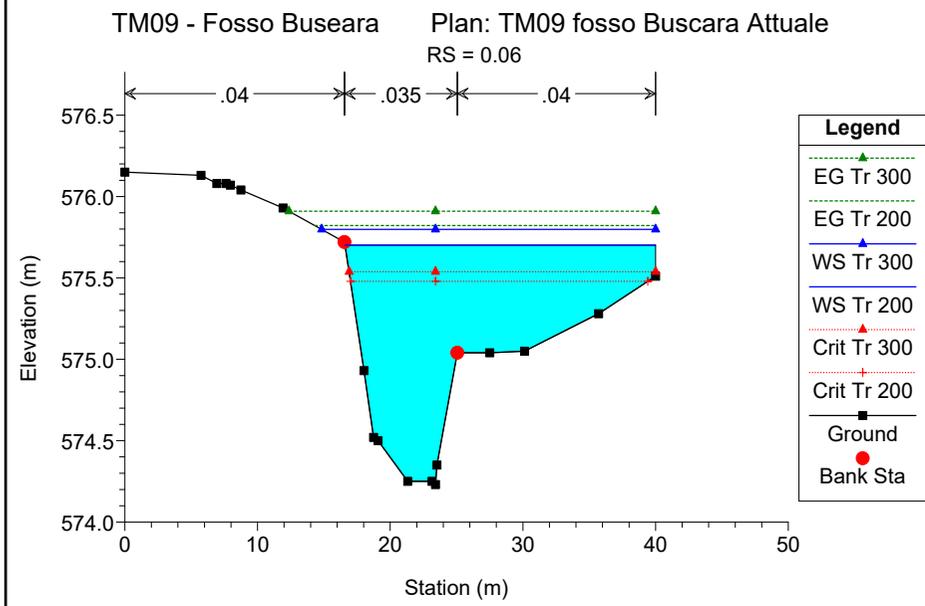
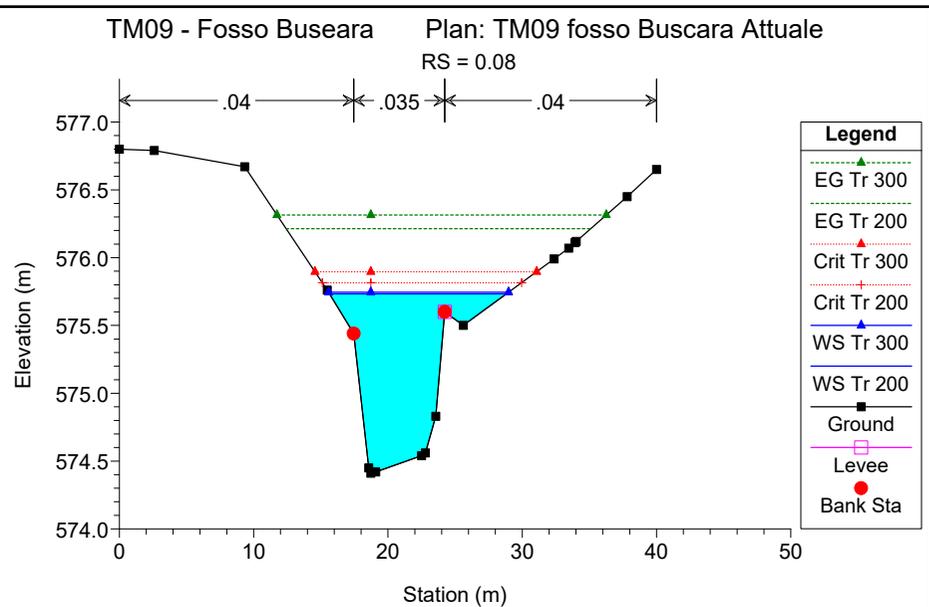
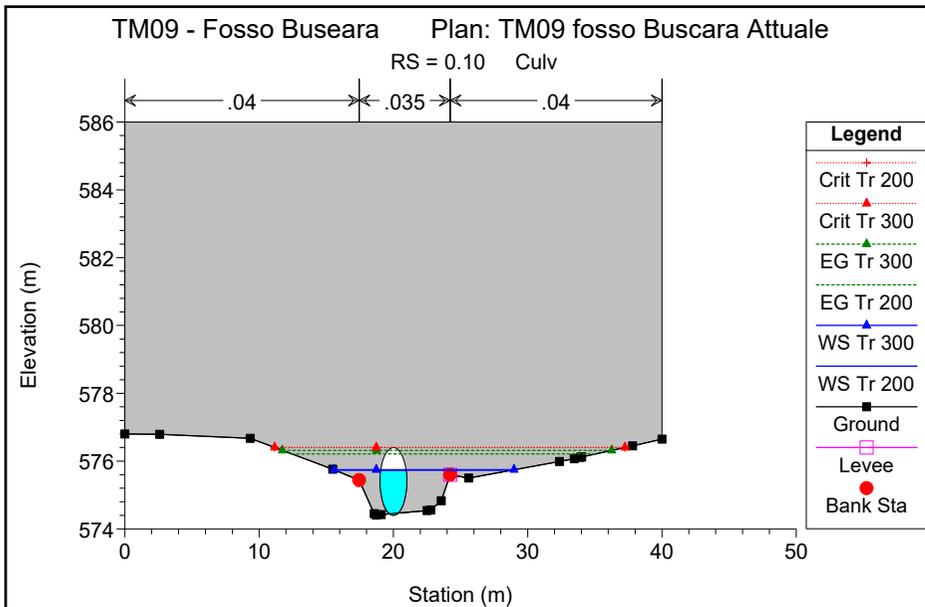
F Buseara actual Reach 1



- Legend**
- EG Tr 300
  - EG Tr 200
  - Crit Tr 300
  - Crit Tr 200
  - WS Tr 300
  - WS Tr 200
  - Ground
  - LOB
  - ROB
  - Left Levee
  - Right Levee

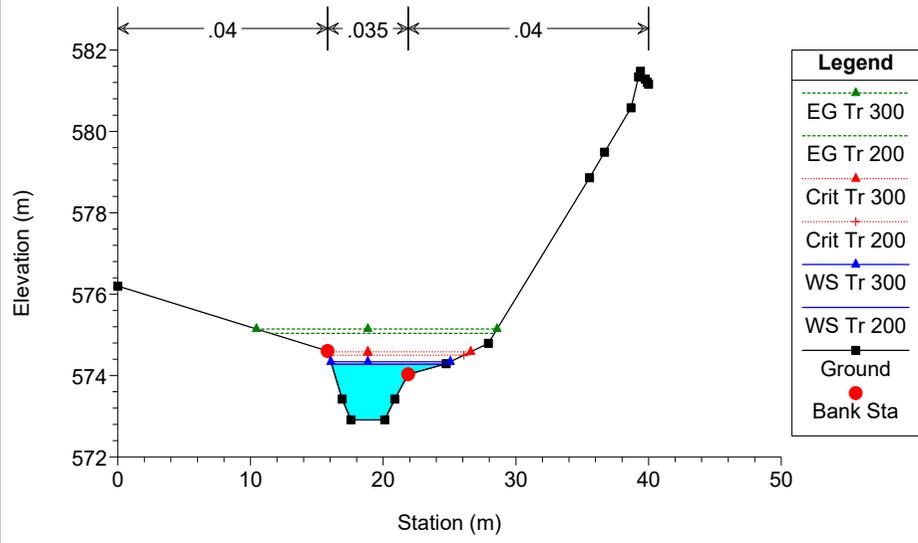






TM09 - Fosso Buseara Plan: TM09 fosso Buscara Attuale

RS = 0.00



**Fosso Buseara**

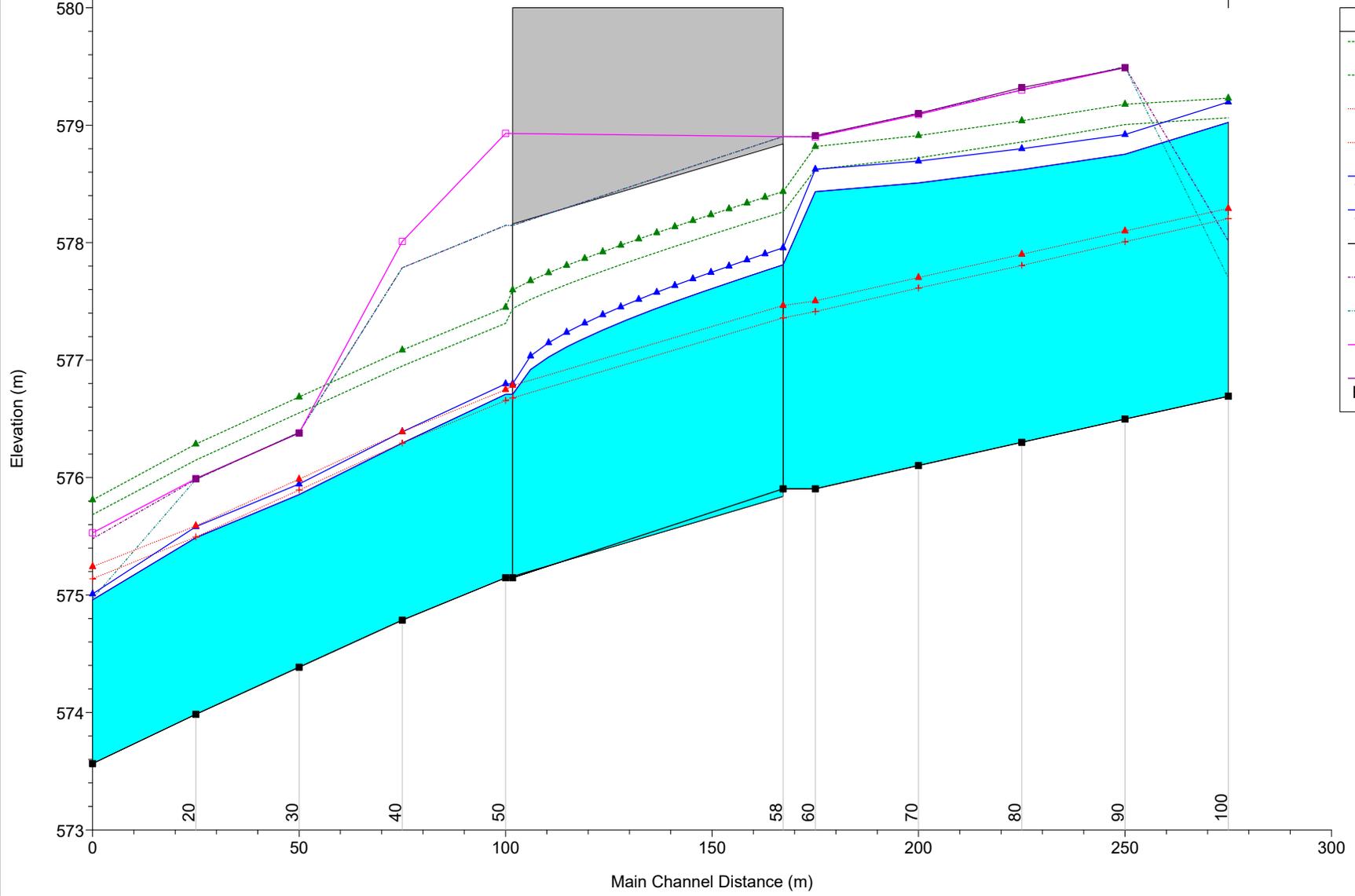
**Stato progetto**

HEC-RAS Plan: progetto River: Fosso Buseara Reach: Reach 1

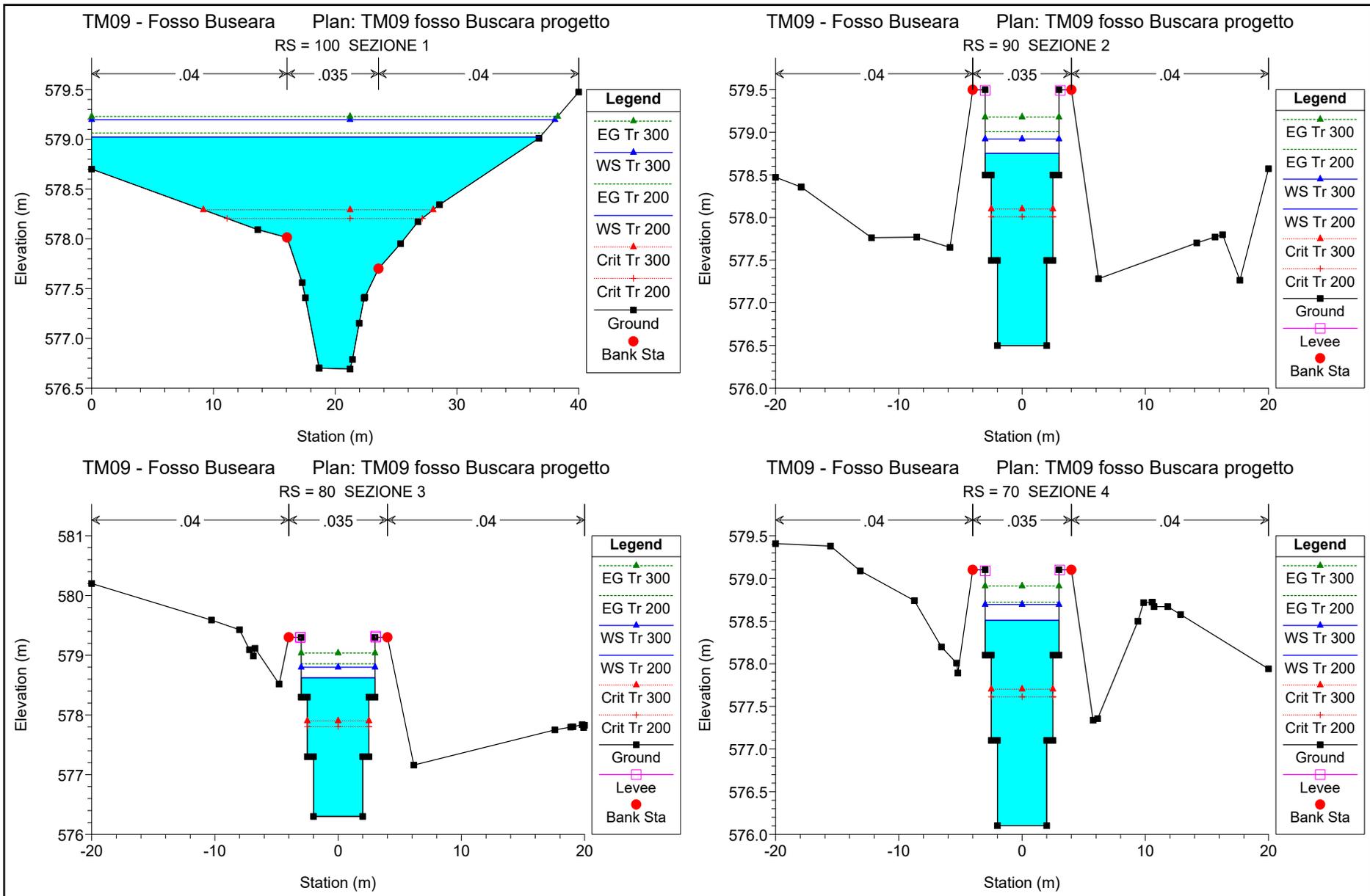
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	100	Tr 200	23.45	576.69	579.02	578.20	579.06	0.000640	1.05	32.75	36.83	0.24
Reach 1	100	Tr 300	25.93	576.69	579.20	578.29	579.23	0.000484	0.97	39.26	38.05	0.22
Reach 1	90	Tr 200	23.45	576.50	578.75	578.01	579.01	0.006066	2.23	10.53	6.00	0.54
Reach 1	90	Tr 300	25.93	576.50	578.92	578.10	579.18	0.005702	2.25	11.53	6.00	0.52
Reach 1	80	Tr 200	23.45	576.30	578.62	577.81	578.86	0.005444	2.15	10.93	6.00	0.51
Reach 1	80	Tr 300	25.93	576.30	578.80	577.90	579.04	0.005099	2.16	12.00	6.00	0.49
Reach 1	70	Tr 200	23.45	576.10	578.51	577.61	578.72	0.004776	2.05	11.44	6.00	0.47
Reach 1	70	Tr 300	25.93	576.10	578.69	577.70	578.91	0.004480	2.07	12.55	6.00	0.46
Reach 1	60	Tr 200	23.45	575.90	578.43	577.41	578.62	0.002934	1.93	12.18	6.00	0.43
Reach 1	60	Tr 300	25.93	575.90	578.62	577.50	578.82	0.002784	1.95	13.32	6.00	0.42
Reach 1	58		Culvert									
Reach 1	50	Tr 200	23.45	575.15	576.71	576.66	577.31	0.013493	3.44	6.81	5.00	0.94
Reach 1	50	Tr 300	25.93	575.15	576.80	576.75	577.45	0.013741	3.57	7.26	5.00	0.95
Reach 1	40	Tr 200	23.45	574.79	576.29	576.29	576.95	0.015202	3.59	6.54	5.00	1.00
Reach 1	40	Tr 300	25.93	574.79	576.39	576.39	577.09	0.015135	3.69	7.02	5.00	1.00
Reach 1	30	Tr 200	23.45	574.38	575.85	575.89	576.55	0.016538	3.69	6.35	5.00	1.05
Reach 1	30	Tr 300	25.93	574.38	575.95	575.99	576.69	0.016570	3.81	6.80	5.00	1.04
Reach 1	20	Tr 200	23.45	573.98	575.49	575.49	576.15	0.015332	3.60	6.51	4.99	1.01
Reach 1	20	Tr 300	25.93	573.98	575.58	575.59	576.29	0.015361	3.72	6.98	4.99	1.00
Reach 1	10	Tr 200	23.45	573.57	574.96	575.14	575.69	0.022045	3.77	6.21	6.55	1.24
Reach 1	10	Tr 300	25.93	573.57	575.01	575.24	575.81	0.023140	3.96	6.55	7.04	1.27

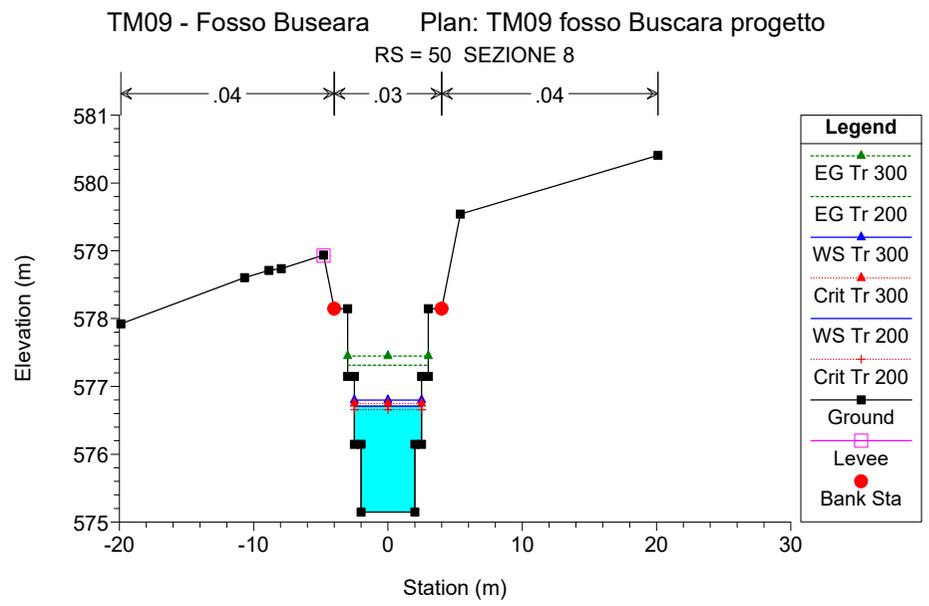
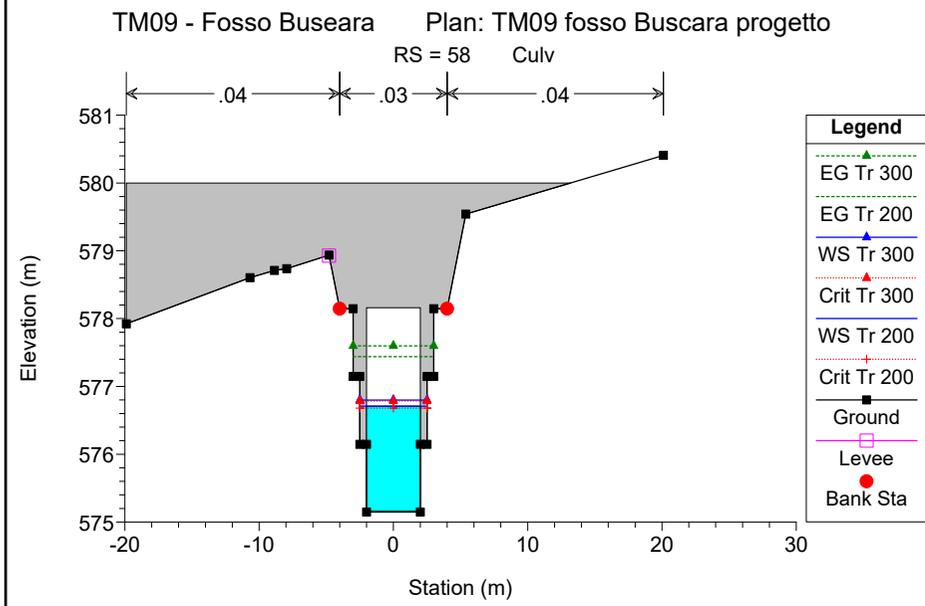
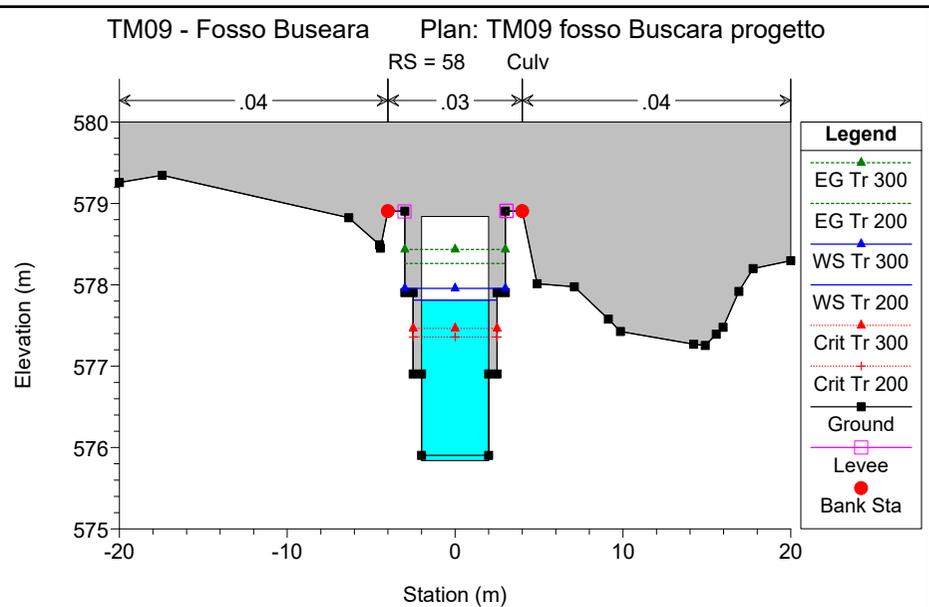
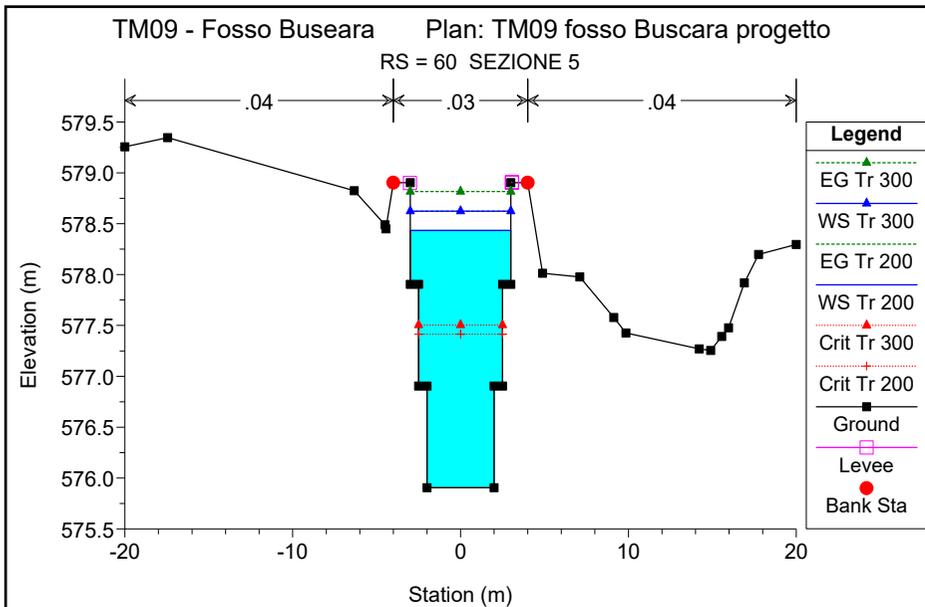
TM09 - Fosso Buseara Plan: TM09 fosso Buscara progetto

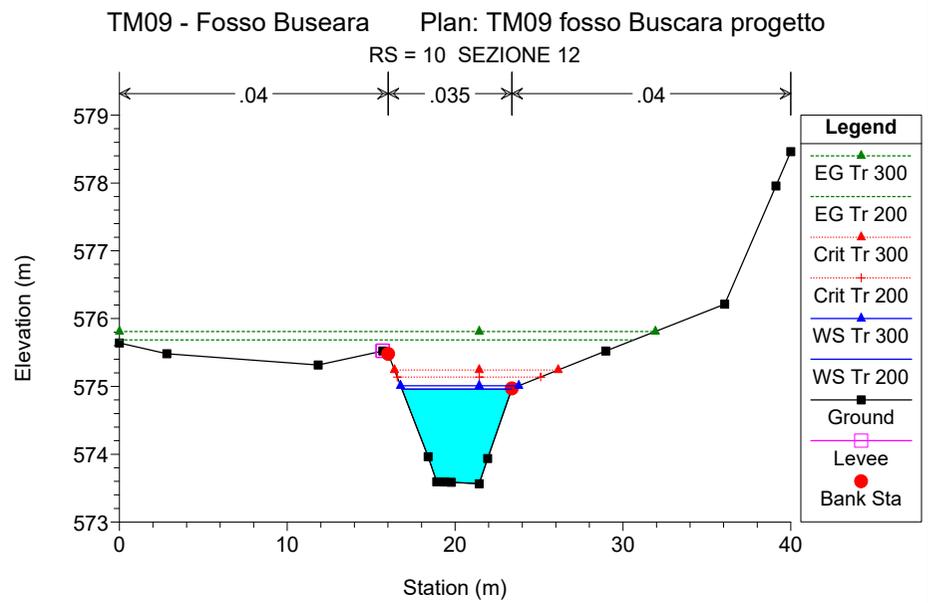
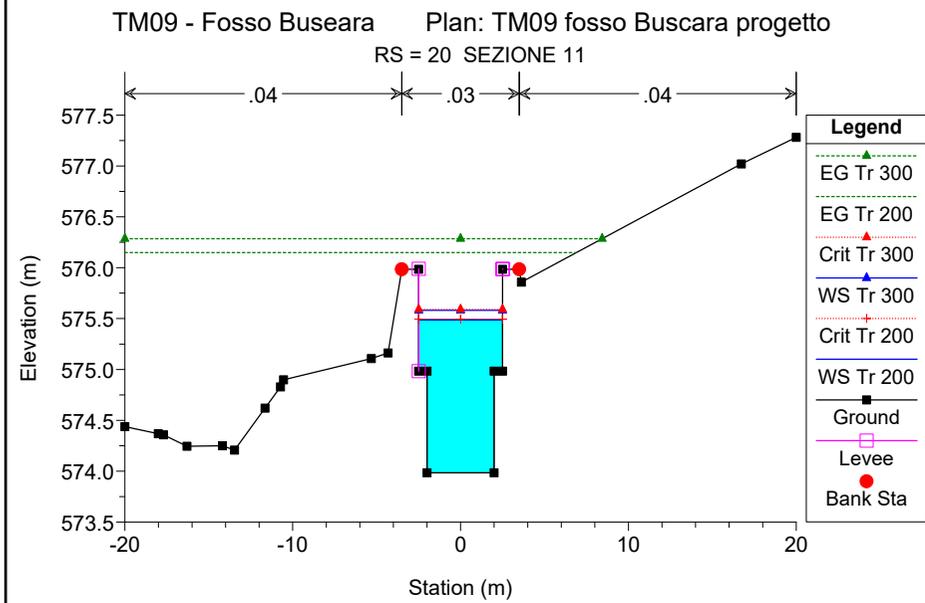
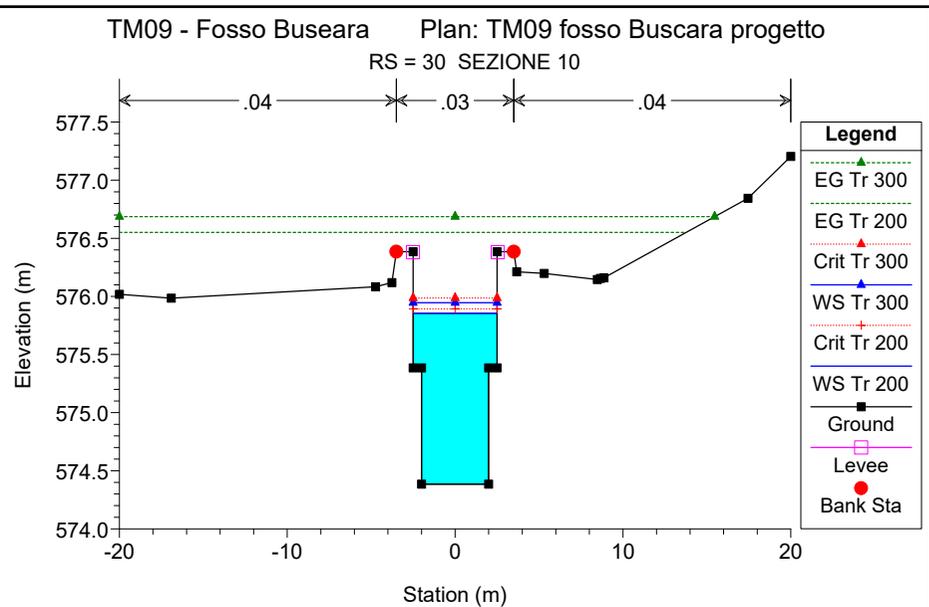
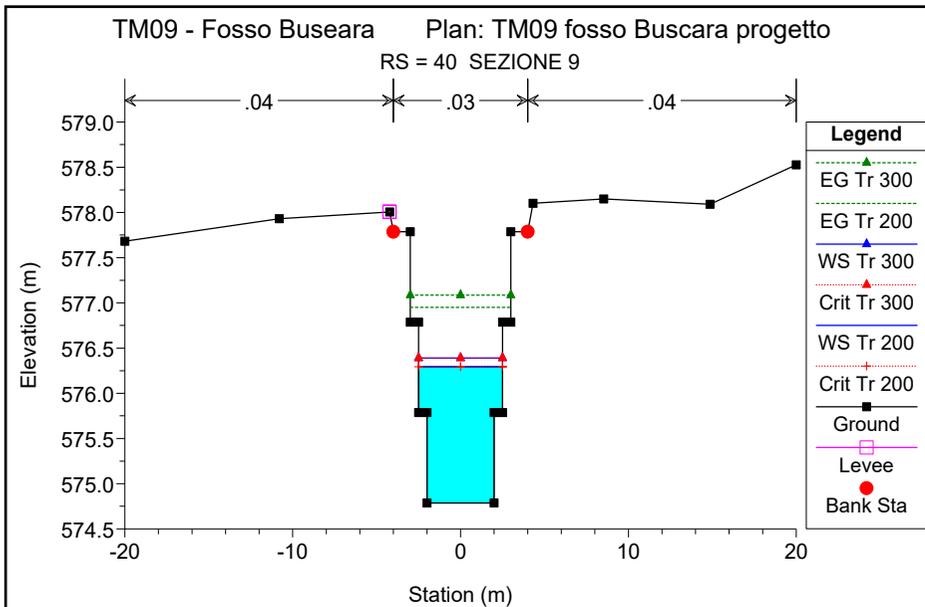
Fosso Buseara Reach 1



Legend	
EG Tr 300	(Green dashed line with triangle markers)
EG Tr 200	(Green dotted line with triangle markers)
Crit Tr 300	(Red dotted line with triangle markers)
Crit Tr 200	(Red dotted line with triangle markers)
WS Tr 300	(Blue solid line with triangle markers)
WS Tr 200	(Blue dotted line with triangle markers)
Ground	(Black solid line with square markers)
LOB	(Purple dotted line with square markers)
ROB	(Purple dotted line with square markers)
Left Levee	(Magenta solid line with square markers)
Right Levee	(Magenta dotted line with square markers)







## 8 ALLEGATI SIMULAZIONI IDRAULICHE HY8

# HY-8 Culvert Analysis Report

## Crossing Discharge Data

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 182.577 cfs

Maximum Flow: 182.577 cfs

**Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM01**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM01 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
510.80	0.00	0.00	0.00	1
511.12	0.52	0.52	0.00	1
511.31	1.03	1.03	0.00	1
511.46	1.55	1.55	0.00	1
511.60	2.07	2.07	0.00	1
511.73	2.59	2.59	0.00	1
511.85	3.10	3.10	0.00	1
511.96	3.62	3.62	0.00	1
512.07	4.14	4.14	0.00	1
512.17	4.65	4.65	0.00	1
512.27	5.17	5.17	0.00	1
525.88	38.83	38.83	0.00	Overtopping

**Table 2 - Culvert Summary Table: L3\_TM01**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	510.80	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.52	0.52	511.12	0.318	0.0*	1-S2n	0.100	0.190	0.100	0.121	2.583	2.137
1.03	1.03	511.31	0.506	0.0*	1-S2n	0.155	0.301	0.155	0.188	3.331	2.755
1.55	1.55	511.46	0.662	0.0*	1-S2n	0.201	0.394	0.201	0.244	3.857	3.182
2.07	2.07	511.60	0.803	0.0*	1-S2n	0.242	0.478	0.251	0.294	4.116	3.513
2.59	2.59	511.73	0.931	0.0*	1-S2n	0.280	0.554	0.280	0.341	4.612	3.787
3.10	3.10	511.85	1.051	0.0*	1-S2n	0.317	0.626	0.335	0.386	4.627	4.020
3.62	3.62	511.96	1.163	0.0*	1-S2n	0.351	0.694	0.373	0.428	4.855	4.224
4.14	4.14	512.07	1.269	0.0*	1-S2n	0.384	0.758	0.410	0.469	5.043	4.406
4.65	4.65	512.17	1.372	0.0*	1-S2n	0.416	0.820	0.448	0.509	5.191	4.569
5.17	5.17	512.27	1.470	0.0*	1-S2n	0.447	0.880	0.483	0.548	5.349	4.718

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 510.80 m, Outlet Elevation (invert): 509.10 m  
Culvert Length: 80.02 m, Culvert Slope: 0.0212  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM01**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 510.80 m  
Outlet Station: 80.00 m  
Outlet Elevation: 509.10 m  
Number of Barrels: 1

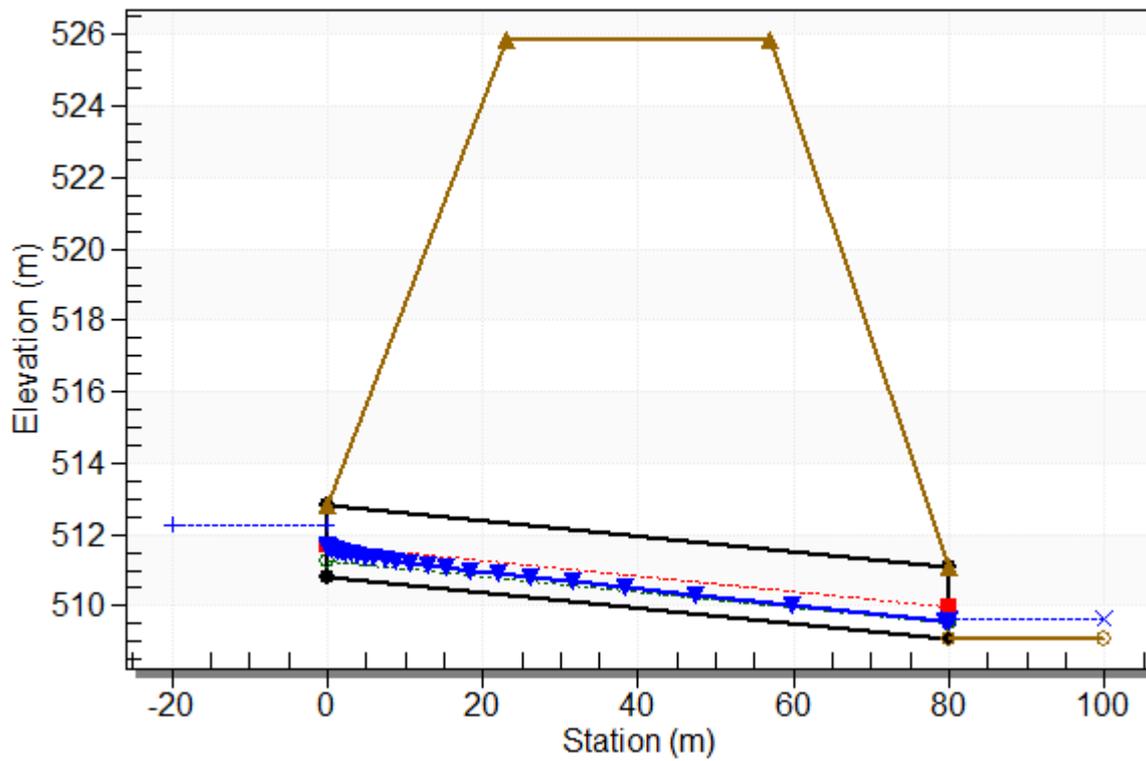
**Culvert Data Summary - L3\_TM01**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM01

Crossing - L3\_TM01, Design Discharge - 5.17 cms

Culvert - L3\_TM01, Culvert Discharge - 5.17 cms



**Table 3 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM01)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	509.10	0.00	0.00	0.00	0.00
0.52	509.22	0.12	2.14	23.72	1.96
1.03	509.29	0.19	2.76	36.79	2.03
1.55	509.34	0.24	3.18	47.79	2.06
2.07	509.39	0.29	3.51	57.71	2.07
2.59	509.44	0.34	3.79	66.92	2.07
3.10	509.49	0.39	4.02	75.64	2.07
3.62	509.53	0.43	4.22	83.98	2.06
4.14	509.57	0.47	4.41	92.02	2.05
4.65	509.61	0.51	4.57	99.82	2.04
5.17	509.65	0.55	4.72	107.42	2.03

**Tailwater Channel Data - L3\_TM01**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0150

Channel Invert Elevation: 509.10 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM01**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 525.88 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 34.00 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 229.192 cfs

Maximum Flow: 229.192 cfs

**Table 4 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM02**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM02 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
551.00	0.00	0.00	0.00	1
551.37	0.65	0.65	0.00	1
551.59	1.30	1.30	0.00	1
551.77	1.95	1.95	0.00	1
551.94	2.60	2.60	0.00	1
552.08	3.24	3.24	0.00	1
552.22	3.89	3.89	0.00	1
552.35	4.54	4.54	0.00	1
552.48	5.19	5.19	0.00	1
552.60	5.84	5.84	0.00	1
552.71	6.49	6.49	0.00	1
556.86	22.78	22.78	0.00	Overtopping

**Table 5 - Culvert Summary Table: L3\_TM02**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	551.00	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.65	0.65	551.37	0.371	0.0*	1-S2n	0.117	0.221	0.124	0.151	2.625	2.148
1.30	1.30	551.59	0.589	0.0*	1-S2n	0.183	0.350	0.197	0.236	3.293	2.755
1.95	1.95	551.77	0.772	0.0*	1-S2n	0.238	0.459	0.256	0.307	3.807	3.169
2.60	2.60	551.94	0.935	0.0*	1-S2n	0.288	0.556	0.311	0.372	4.170	3.486
3.24	3.24	552.08	1.084	0.0*	1-S2n	0.334	0.645	0.367	0.433	4.417	3.747
3.89	3.89	552.22	1.222	0.0*	1-S2n	0.378	0.728	0.421	0.491	4.630	3.967
4.54	4.54	552.35	1.352	0.0*	1-S2n	0.420	0.807	0.472	0.546	4.814	4.158
5.19	5.19	552.48	1.476	0.042	1-S2n	0.460	0.882	0.523	0.600	4.960	4.326
5.84	5.84	552.60	1.596	0.156	1-S2n	0.499	0.954	0.573	0.652	5.101	4.477
6.49	6.49	552.71	1.712	0.273	1-S2n	0.537	1.024	0.622	0.703	5.220	4.613

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 551.00 m, Outlet Elevation (invert): 550.00 m  
Culvert Length: 50.71 m, Culvert Slope: 0.0197  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM02**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 551.00 m  
Outlet Station: 50.70 m  
Outlet Elevation: 550.00 m  
Number of Barrels: 1

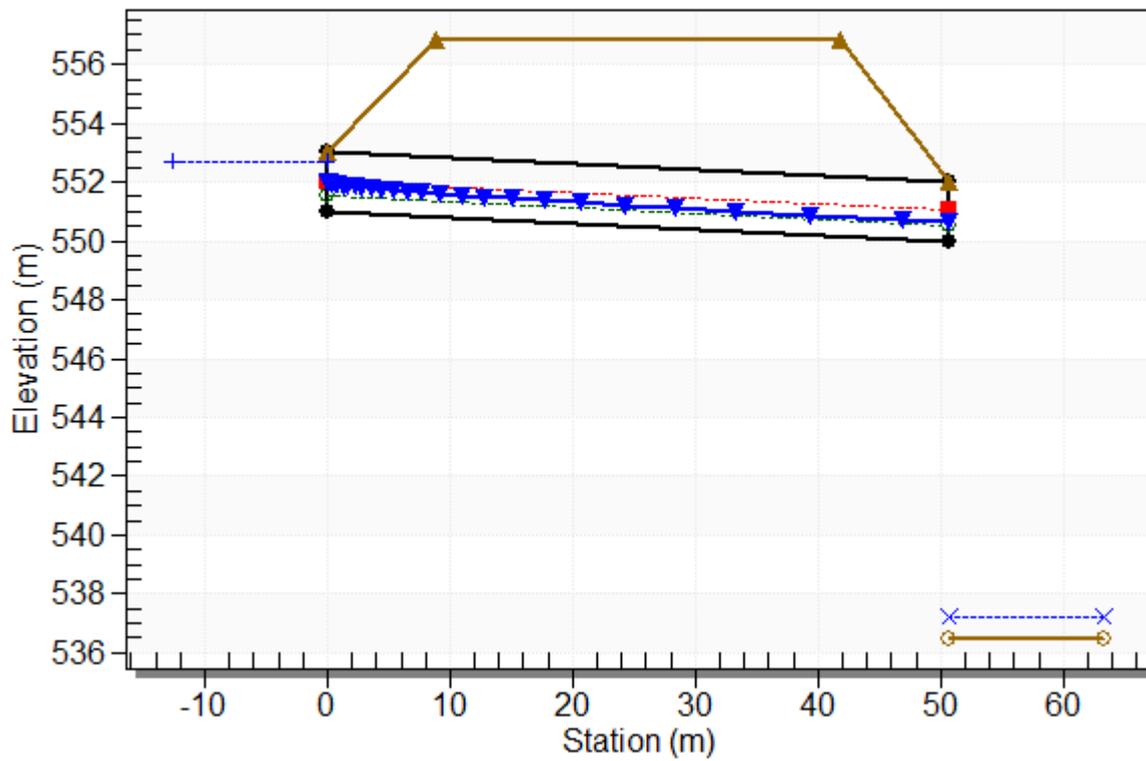
**Culvert Data Summary - L3\_TM02**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM02

Crossing - L3\_TM02, Design Discharge - 6.49 cms

Culvert - L3\_TM02, Culvert Discharge - 6.49 cms



**Table 6 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM02)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	536.50	0.00	0.00	0.00	0.00
0.65	536.65	0.15	2.15	29.61	1.76
1.30	536.74	0.24	2.76	46.18	1.81
1.95	536.81	0.31	3.17	60.23	1.82
2.60	536.87	0.37	3.49	72.99	1.82
3.24	536.93	0.43	3.75	84.90	1.82
3.89	536.99	0.49	3.97	96.23	1.81
4.54	537.05	0.55	4.16	107.11	1.80
5.19	537.10	0.60	4.33	117.64	1.78
5.84	537.15	0.65	4.48	127.88	1.77
6.49	537.20	0.70	4.61	137.90	1.76

**Tailwater Channel Data - L3\_TM02**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 536.50 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM02**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 556.86 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 32.83 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 290.64 cfs

Maximum Flow: 290.64 cfs

**Table 7 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM03**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM03 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
557.50	0.00	0.00	0.00	1
557.93	0.82	0.82	0.00	1
558.19	1.65	1.65	0.00	1
558.40	2.47	2.47	0.00	1
558.59	3.29	3.29	0.00	1
558.77	4.11	4.11	0.00	1
558.93	4.94	4.94	0.00	1
559.08	5.76	5.76	0.00	1
559.23	6.58	6.58	0.00	1
559.37	7.41	7.41	0.00	1
559.52	8.23	8.23	0.00	1
563.67	23.53	23.53	0.00	Overtopping

**Table 8 - Culvert Summary Table: L3\_TM03**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	557.50	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.82	0.82	557.93	0.434	0.0*	1-S2n	0.134	0.258	0.142	0.176	2.891	2.343
1.65	1.65	558.19	0.690	0.0*	1-S2n	0.211	0.410	0.226	0.275	3.644	2.993
2.47	2.47	558.40	0.904	0.0*	1-S2n	0.274	0.537	0.297	0.360	4.151	3.430
3.29	3.29	558.59	1.093	0.0*	1-S2n	0.332	0.651	0.368	0.437	4.477	3.763
4.11	4.11	558.77	1.266	0.0*	1-S2n	0.386	0.756	0.434	0.510	4.739	4.035
4.94	4.94	558.93	1.427	0.0*	1-S2n	0.437	0.853	0.499	0.579	4.945	4.263
5.76	5.76	559.08	1.580	0.140	1-S2n	0.486	0.946	0.562	0.646	5.124	4.459
6.58	6.58	559.23	1.728	0.288	1-S2n	0.534	1.034	0.624	0.711	5.280	4.632
7.41	7.41	559.37	1.873	0.440	1-S2n	0.580	1.118	0.684	0.774	5.415	4.786
8.23	8.23	559.52	2.017	0.597	5-S2n	0.625	1.199	0.742	0.836	5.543	4.924

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 557.50 m, Outlet Elevation (invert): 556.50 m  
Culvert Length: 48.41 m, Culvert Slope: 0.0207  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM03**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 557.50 m  
Outlet Station: 48.40 m  
Outlet Elevation: 556.50 m  
Number of Barrels: 1

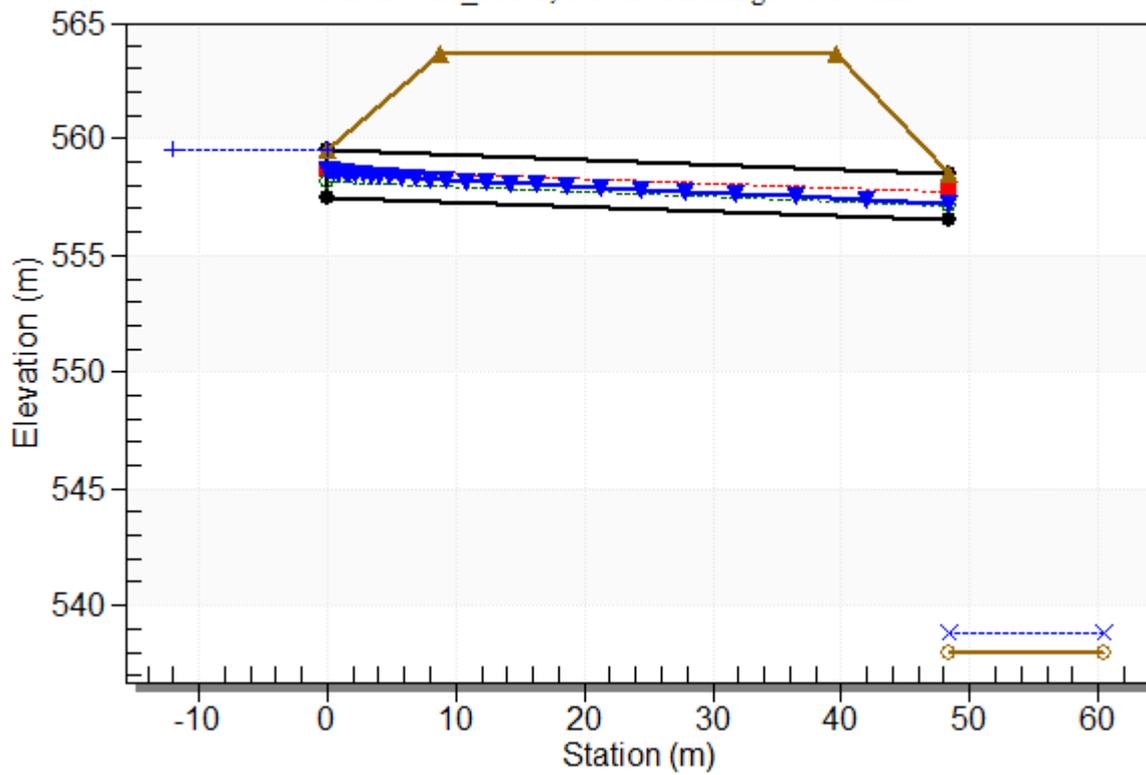
**Culvert Data Summary - L3\_TM03**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM03

Crossing - L3\_TM03, Design Discharge - 8.23 cms

Culvert - L3\_TM03, Culvert Discharge - 8.23 cms



**Table 9 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM03)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	538.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.82	538.18	0.18	2.34	34.44	1.78
1.65	538.28	0.28	2.99	53.92	1.82
2.47	538.36	0.36	3.43	70.56	1.82
3.29	538.44	0.44	3.76	85.74	1.82
4.11	538.51	0.51	4.03	99.98	1.80
4.94	538.58	0.58	4.26	113.55	1.79
5.76	538.65	0.65	4.46	126.63	1.77
6.58	538.71	0.71	4.63	139.33	1.75
7.41	538.77	0.77	4.79	151.72	1.74
8.23	538.84	0.84	4.92	163.85	1.72

**Tailwater Channel Data - L3\_TM03**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 538.00 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM03**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 563.67 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 30.83 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 208.003 cfs

Maximum Flow: 208.003 cfs

**Table 10 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM04**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM04 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
567.50	0.00	0.00	0.00	1
567.98	0.59	0.59	0.00	1
568.18	1.18	1.18	0.00	1
568.35	1.77	1.77	0.00	1
568.49	2.36	2.36	0.00	1
568.64	2.95	2.95	0.00	1
568.77	3.53	3.53	0.00	1
568.90	4.12	4.12	0.00	1
569.02	4.71	4.71	0.00	1
569.14	5.30	5.30	0.00	1
569.25	5.89	5.89	0.00	1
571.59	14.54	14.54	0.00	Overtopping

**Table 11 - Culvert Summary Table: L3\_TM04**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	567.50	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.59	0.59	567.98	0.476	0.0*	1-S2n	0.206	0.354	0.206	0.142	3.324	2.073
1.18	1.18	568.18	0.682	0.0*	1-S2n	0.286	0.507	0.307	0.221	3.707	2.663
1.77	1.77	568.35	0.845	0.0*	1-S2n	0.349	0.624	0.381	0.288	4.076	3.066
2.36	2.36	568.49	0.986	0.0*	1-S2n	0.403	0.724	0.447	0.349	4.323	3.377
2.95	2.95	568.64	1.136	0.0*	1-S2n	0.450	0.813	0.507	0.405	4.529	3.632
3.53	3.53	568.77	1.275	0.032	1-S2n	0.493	0.896	0.563	0.459	4.695	3.849
4.12	4.12	568.90	1.403	0.149	1-S2n	0.534	0.971	0.616	0.511	4.837	4.037
4.71	4.71	569.02	1.524	0.267	1-S2n	0.572	1.040	0.666	0.560	4.964	4.204
5.30	5.30	569.14	1.641	0.387	1-S2n	0.608	1.106	0.714	0.609	5.081	4.353
5.89	5.89	569.25	1.755	0.512	1-S2n	0.642	1.169	0.760	0.656	5.189	4.488

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 567.50 m, Outlet Elevation (invert): 566.52 m  
Culvert Length: 42.46 m, Culvert Slope: 0.0231  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM04**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 567.50 m  
Outlet Station: 42.45 m  
Outlet Elevation: 566.52 m  
Number of Barrels: 1

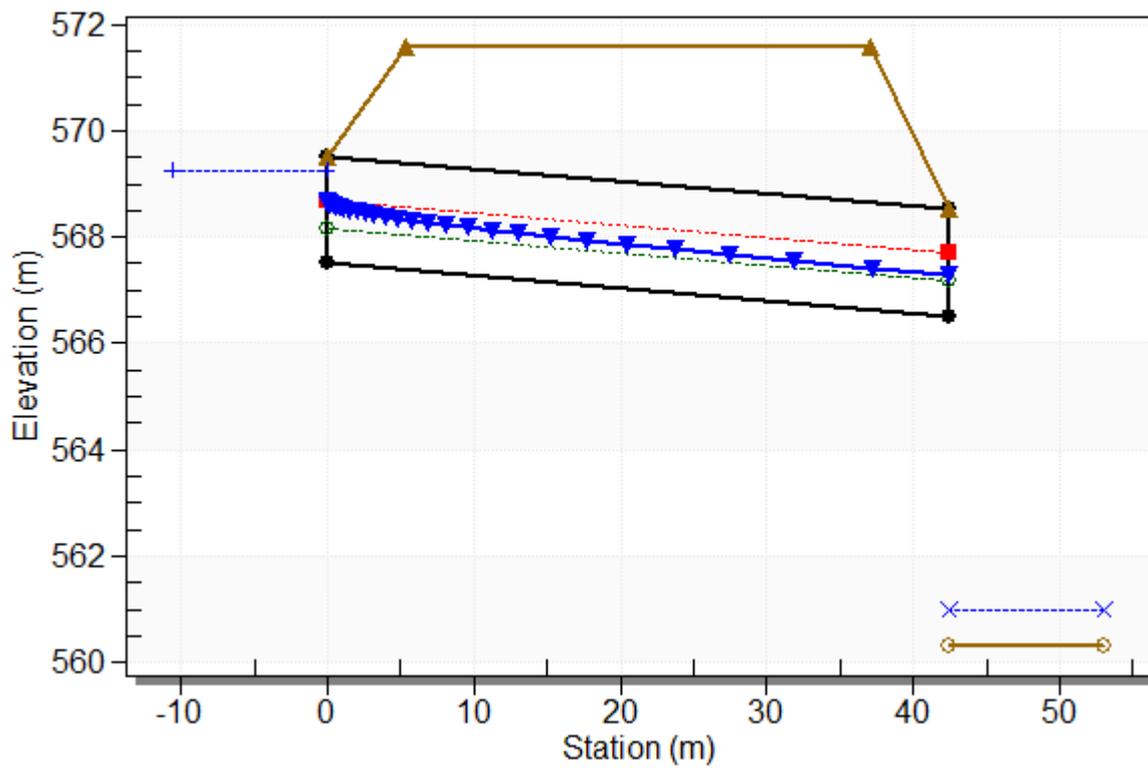
**Culvert Data Summary - L3\_TM04**

Barrel Shape: Circular  
Barrel Diameter: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge with Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM04

Crossing - L3\_TM04, Design Discharge - 5.89 cms

Culvert - L3\_TM04, Culvert Discharge - 5.89 cms



**Table 12 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM04)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	560.33	0.00	0.00	0.00	0.00
0.59	560.47	0.14	2.07	27.84	1.76
1.18	560.55	0.22	2.66	43.36	1.81
1.77	560.62	0.29	3.07	56.49	1.82
2.36	560.68	0.35	3.38	68.39	1.83
2.95	560.74	0.41	3.63	79.48	1.82
3.53	560.79	0.46	3.85	90.01	1.81
4.12	560.84	0.51	4.04	100.11	1.80
4.71	560.89	0.56	4.20	109.88	1.79
5.30	560.94	0.61	4.35	119.37	1.78
5.89	560.99	0.66	4.49	128.65	1.77

**Tailwater Channel Data - L3\_TM04**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 560.33 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM04**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 571.59 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 31.59 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 212.594 cfs

Maximum Flow: 212.594 cfs

**Table 13 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM05**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM05 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
577.25	0.00	0.00	0.00	1
577.73	0.60	0.60	0.00	1
577.94	1.20	1.20	0.00	1
578.10	1.81	1.81	0.00	1
578.25	2.41	2.41	0.00	1
578.40	3.01	3.01	0.00	1
578.54	3.61	3.61	0.00	1
578.67	4.21	4.21	0.00	1
578.79	4.82	4.82	0.00	1
578.91	5.42	5.42	0.00	1
579.03	6.02	6.02	0.00	1
585.45	22.60	22.60	0.00	Overtopping

**Table 14 - Culvert Summary Table: L3\_TM05**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	577.25	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.60	0.60	577.73	0.481	0.0*	1-S2n	0.206	0.358	0.220	0.144	3.102	2.089
1.20	1.20	577.94	0.690	0.0*	1-S2n	0.287	0.512	0.306	0.224	3.814	2.684
1.81	1.81	578.10	0.854	0.0*	1-S2n	0.351	0.631	0.378	0.292	4.209	3.089
2.41	2.41	578.25	0.997	0.0*	1-S2n	0.404	0.732	0.442	0.354	4.499	3.402
3.01	3.01	578.40	1.151	0.0*	1-S2n	0.452	0.823	0.501	0.411	4.713	3.658
3.61	3.61	578.54	1.292	0.0*	1-S2n	0.495	0.906	0.555	0.466	4.896	3.875
4.21	4.21	578.67	1.422	0.0*	1-S2n	0.535	0.982	0.607	0.518	5.043	4.064
4.82	4.82	578.79	1.544	0.074	1-S2n	0.574	1.052	0.656	0.569	5.184	4.231
5.42	5.42	578.91	1.663	0.200	1-S2n	0.610	1.119	0.703	0.618	5.301	4.381
6.02	6.02	579.03	1.779	0.330	1-S2n	0.644	1.183	0.749	0.667	5.412	4.516

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 577.25 m, Outlet Elevation (invert): 576.05 m  
Culvert Length: 50.42 m, Culvert Slope: 0.0238  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM05**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 577.25 m  
Outlet Station: 50.41 m  
Outlet Elevation: 576.05 m  
Number of Barrels: 1

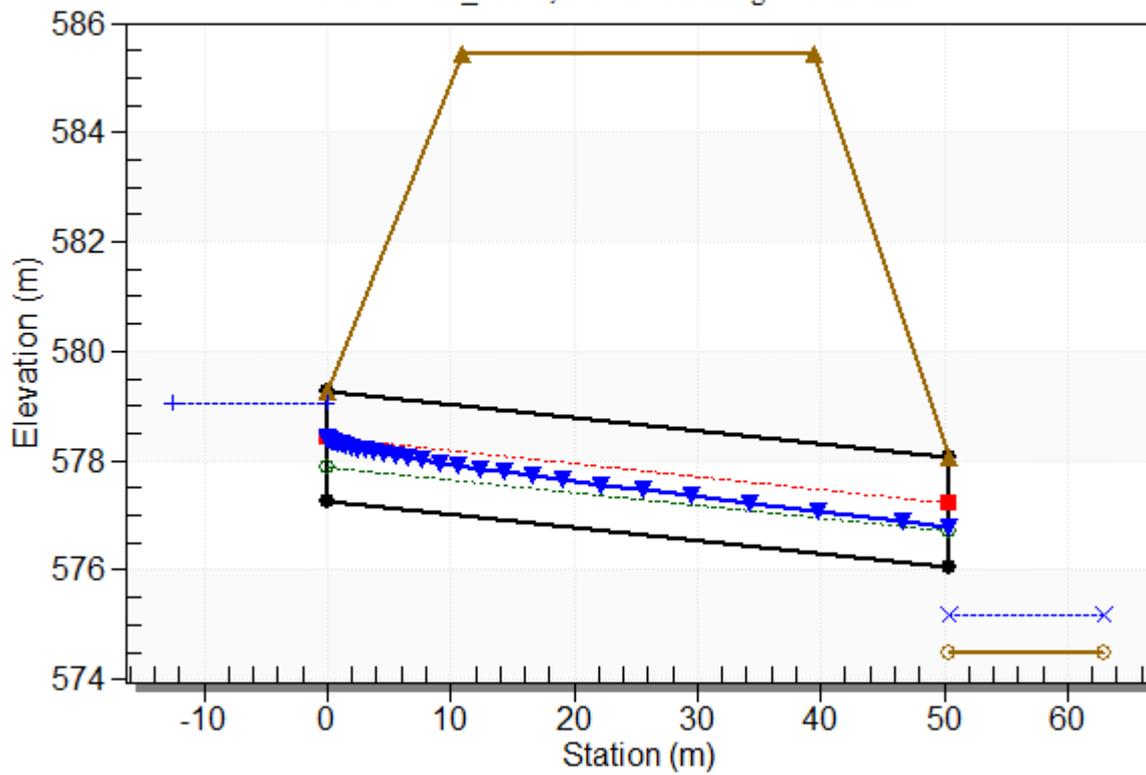
**Culvert Data Summary - L3\_TM05**

Barrel Shape: Circular  
Barrel Diameter: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge with Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM05

Crossing - L3\_TM05, Design Discharge - 6.02 cms

Culvert - L3\_TM05, Culvert Discharge - 6.02 cms



**Table 15 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM05)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	574.50	0.00	0.00	0.00	0.00
0.60	574.64	0.14	2.09	28.24	1.76
1.20	574.72	0.22	2.68	43.98	1.81
1.81	574.79	0.29	3.09	57.31	1.82
2.41	574.85	0.35	3.40	69.39	1.83
3.01	574.91	0.41	3.66	80.66	1.82
3.61	574.97	0.47	3.88	91.36	1.81
4.21	575.02	0.52	4.06	101.64	1.80
4.82	575.07	0.57	4.23	111.58	1.79
5.42	575.12	0.62	4.38	121.23	1.78
6.02	575.17	0.67	4.52	130.66	1.77

**Tailwater Channel Data - L3\_TM05**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 574.50 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM05**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 585.45 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 28.53 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 315.713 cfs

Maximum Flow: 315.713 cfs

**Table 16 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM06**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM06 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
515.63	0.00	0.00	0.00	1
516.10	0.89	0.89	0.00	1
516.37	1.79	1.79	0.00	1
516.60	2.68	2.68	0.00	1
516.80	3.58	3.58	0.00	1
516.98	4.47	4.47	0.00	1
517.15	5.36	5.36	0.00	1
517.31	6.26	6.26	0.00	1
517.47	7.15	7.15	0.00	1
517.63	8.05	8.05	0.00	1
517.79	8.94	8.94	0.00	1
520.50	20.01	20.01	0.00	Overtopping

**Table 17 - Culvert Summary Table: L3\_TM06**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	515.63	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.89	0.89	516.10	0.466	0.078	1-S2n	0.217	0.273	0.224	0.290	1.998	1.539
1.79	1.79	516.37	0.740	0.251	1-S2n	0.342	0.433	0.357	0.463	2.504	1.932
2.68	2.68	516.60	0.970	0.408	1-S2n	0.451	0.568	0.473	0.614	2.834	2.184
3.58	3.58	516.80	1.169	0.559	1-S2n	0.551	0.688	0.581	0.754	3.080	2.370
4.47	4.47	516.98	1.352	0.710	1-S2n	0.645	0.798	0.682	0.888	3.280	2.516
5.36	5.36	517.15	1.522	0.862	1-S2n	0.736	0.902	0.778	1.018	3.447	2.636
6.26	6.26	517.31	1.685	1.018	1-S2n	0.823	0.999	0.871	1.144	3.591	2.736
7.15	7.15	517.47	1.843	1.178	1-S2n	0.909	1.092	0.961	1.267	3.722	2.822
8.05	8.05	517.63	2.000	1.343	1-S2n	0.992	1.181	1.048	1.389	3.840	2.897
8.94	8.94	517.79	2.158	1.514	5-S2n	1.074	1.267	1.132	1.508	3.947	2.963

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 515.63 m, Outlet Elevation (invert): 515.43 m  
Culvert Length: 35.90 m, Culvert Slope: 0.0056  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM06**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 515.63 m  
Outlet Station: 35.90 m  
Outlet Elevation: 515.43 m  
Number of Barrels: 1

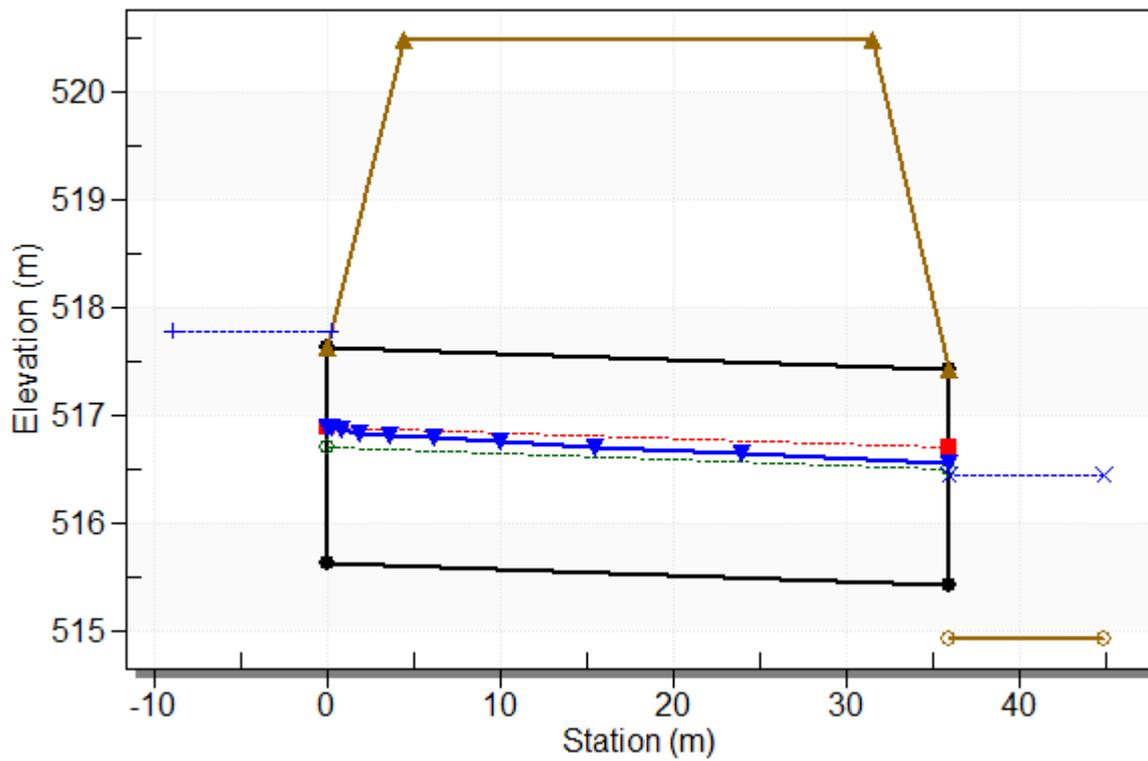
**Culvert Data Summary - L3\_TM06**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM06

Crossing - L3\_TM06, Design Discharge - 8.94 cms

Culvert - L3\_TM06, Culvert Discharge - 8.94 cms



**Table 18 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM06)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	514.93	0.00	0.00	0.00	0.00
0.89	515.22	0.29	1.54	14.23	0.91
1.79	515.39	0.46	1.93	22.68	0.91
2.68	515.54	0.61	2.18	30.09	0.89
3.58	515.68	0.75	2.37	36.98	0.87
4.47	515.82	0.89	2.52	43.54	0.85
5.36	515.95	1.02	2.64	49.87	0.83
6.26	516.07	1.14	2.74	56.05	0.82
7.15	516.20	1.27	2.82	62.10	0.80
8.05	516.32	1.39	2.90	68.05	0.78
8.94	516.44	1.51	2.96	73.93	0.77

**Tailwater Channel Data - L3\_TM06**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0050

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 514.93 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM06**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 520.50 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 27.00 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 321.717 cfs

Maximum Flow: 321.717 cfs

**Table 19 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM07**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM07 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
578.30	0.00	0.00	0.00	1
578.77	0.91	0.91	0.00	1
579.04	1.82	1.82	0.00	1
579.27	2.73	2.73	0.00	1
579.47	3.64	3.64	0.00	1
579.65	4.56	4.56	0.00	1
579.83	5.47	5.47	0.00	1
579.99	6.38	6.38	0.00	1
580.15	7.29	7.29	0.00	1
580.31	8.20	8.20	0.00	1
580.47	9.11	9.11	0.00	1
582.75	18.76	18.76	0.00	Overtopping

**Table 20 - Culvert Summary Table: L3\_TM07**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	578.30	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.91	0.91	578.77	0.465	0.0*	1-S2n	0.147	0.277	0.147	0.187	3.108	2.430
1.82	1.82	579.04	0.739	0.0*	1-S2n	0.229	0.439	0.251	0.294	3.628	3.098
2.73	2.73	579.27	0.968	0.0*	1-S2n	0.299	0.575	0.337	0.385	4.055	3.546
3.64	3.64	579.47	1.170	0.071	1-S2n	0.363	0.697	0.419	0.469	4.352	3.886
4.56	4.56	579.65	1.354	0.224	1-S2n	0.422	0.809	0.497	0.547	4.585	4.161
5.47	5.47	579.83	1.527	0.380	1-S2n	0.478	0.913	0.572	0.622	4.780	4.392
6.38	6.38	579.99	1.692	0.539	1-S2n	0.532	1.012	0.644	0.695	4.949	4.590
7.29	7.29	580.15	1.853	0.703	1-S2n	0.585	1.106	0.715	0.765	5.095	4.764
8.20	8.20	580.31	2.013	0.872	5-S2n	0.635	1.196	0.784	0.833	5.230	4.919
9.11	9.11	580.47	2.174	1.047	5-S2n	0.685	1.283	0.851	0.901	5.350	5.057

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 578.30 m, Outlet Elevation (invert): 577.60 m  
Culvert Length: 35.81 m, Culvert Slope: 0.0196  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM07**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 578.30 m  
Outlet Station: 35.80 m  
Outlet Elevation: 577.60 m  
Number of Barrels: 1

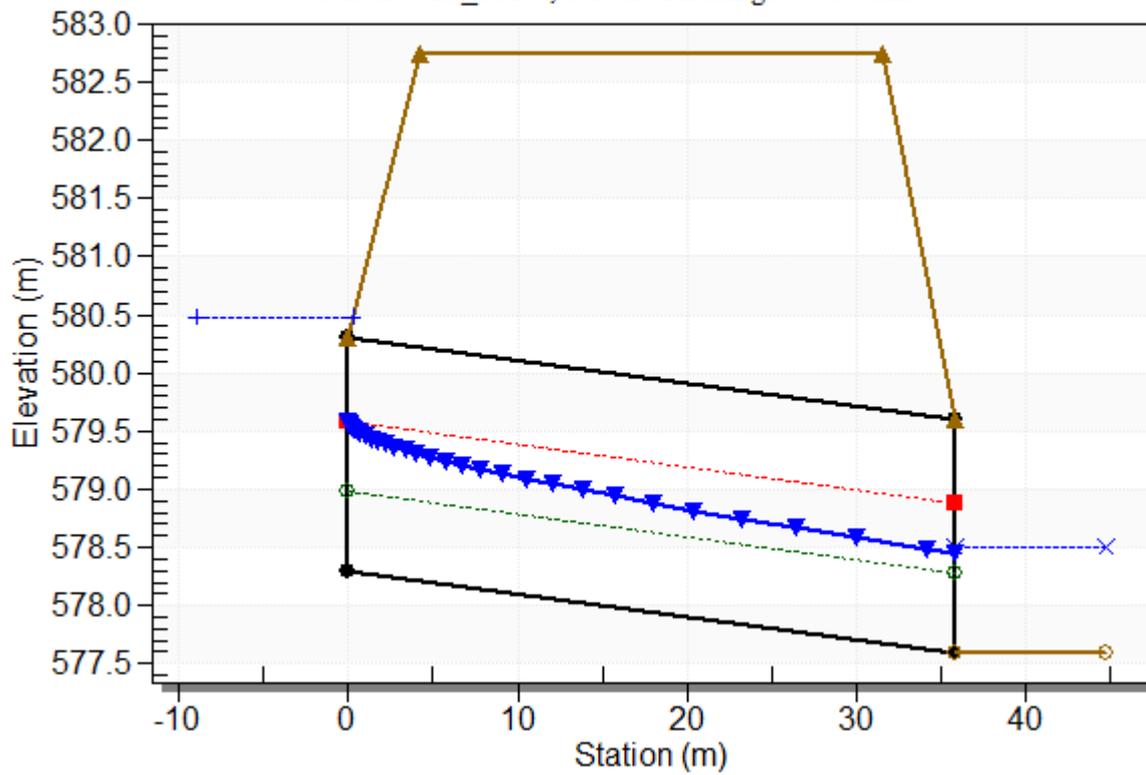
**Culvert Data Summary - L3\_TM07**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM07

Crossing - L3\_TM07, Design Discharge - 9.11 cms

Culvert - L3\_TM07, Culvert Discharge - 9.11 cms



**Table 21 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM07)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	577.60	0.00	0.00	0.00	0.00
0.91	577.79	0.19	2.43	36.75	1.79
1.82	577.89	0.29	3.10	57.65	1.82
2.73	577.99	0.39	3.55	75.56	1.82
3.64	578.07	0.47	3.89	91.92	1.81
4.56	578.15	0.55	4.16	107.30	1.80
5.47	578.22	0.62	4.39	121.99	1.78
6.38	578.29	0.69	4.59	136.17	1.76
7.29	578.36	0.76	4.76	149.94	1.74
8.20	578.43	0.83	4.92	163.40	1.72
9.11	578.50	0.90	5.06	176.59	1.70

**Tailwater Channel Data - L3\_TM07**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 577.60 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM07**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 582.75 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 27.33 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 291.346 cfs

Maximum Flow: 291.346 cfs

**Table 22 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM08**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM08 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
578.00	0.00	0.00	0.00	1
578.43	0.82	0.82	0.00	1
578.69	1.65	1.65	0.00	1
578.90	2.47	2.47	0.00	1
579.09	3.30	3.30	0.00	1
579.27	4.12	4.12	0.00	1
579.43	4.95	4.95	0.00	1
579.58	5.77	5.77	0.00	1
579.73	6.60	6.60	0.00	1
579.88	7.42	7.42	0.00	1
580.02	8.25	8.25	0.00	1
586.14	27.65	27.65	0.00	Overtopping

**Table 23 - Culvert Summary Table: L3\_TM08**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	578.00	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.82	0.82	578.43	0.435	0.0*	1-S2n	0.134	0.259	0.141	0.288	2.924	2.760
1.65	1.65	578.69	0.691	0.0*	1-S2n	0.210	0.411	0.225	0.422	3.666	3.339
2.47	2.47	578.90	0.905	0.0*	1-S2n	0.273	0.538	0.296	0.523	4.180	3.717
3.30	3.30	579.09	1.095	0.0*	1-S2n	0.331	0.652	0.367	0.607	4.501	4.005
4.12	4.12	579.27	1.267	0.0*	1-S2n	0.384	0.757	0.434	0.680	4.755	4.240
4.95	4.95	579.43	1.429	0.0*	1-S2n	0.435	0.855	0.499	0.745	4.963	4.441
5.77	5.77	579.58	1.582	0.142	1-S2n	0.484	0.947	0.562	0.805	5.141	4.617
6.60	6.60	579.73	1.730	0.290	1-S2n	0.531	1.035	0.623	0.859	5.298	4.774
7.42	7.42	579.88	1.876	0.442	1-S2n	0.577	1.120	0.683	0.910	5.434	4.917
8.25	8.25	580.02	2.020	0.599	5-S2n	0.622	1.201	0.742	0.957	5.560	5.048

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 578.00 m, Outlet Elevation (invert): 577.00 m  
Culvert Length: 47.51 m, Culvert Slope: 0.0211  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM08**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 578.00 m  
Outlet Station: 47.50 m  
Outlet Elevation: 577.00 m  
Number of Barrels: 1

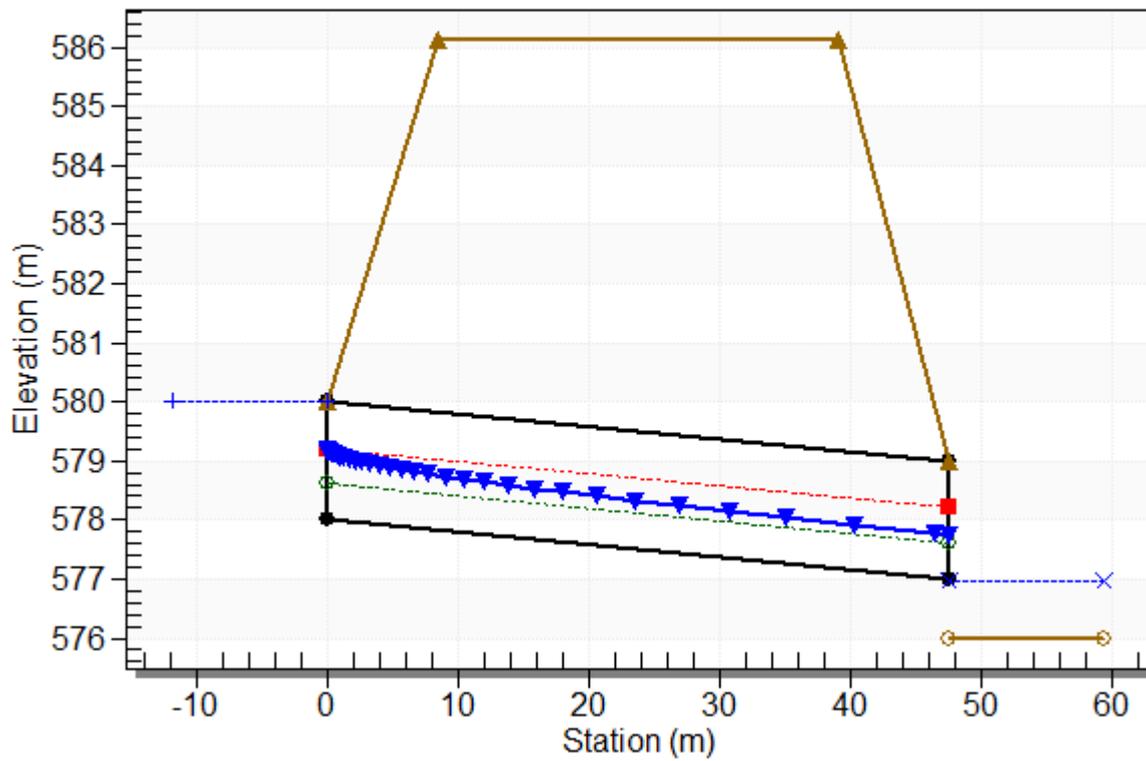
**Culvert Data Summary - L3\_TM08**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

# Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM08

## Crossing - L3\_TM08, Design Discharge - 8.25 cms

Culvert - L3\_TM08, Culvert Discharge - 8.25 cms



**Table 24 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM08)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	576.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.82	576.29	0.29	2.76	56.46	1.86
1.65	576.42	0.42	3.34	82.67	1.91
2.47	576.52	0.52	3.72	102.53	1.95
3.30	576.61	0.61	4.00	119.03	1.97
4.12	576.68	0.68	4.24	133.36	1.99
4.95	576.75	0.75	4.44	146.13	2.01
5.77	576.80	0.80	4.62	157.74	2.02
6.60	576.86	0.86	4.77	168.42	2.04
7.42	576.91	0.91	4.92	178.36	2.05
8.25	576.96	0.96	5.05	187.66	2.06

### **Tailwater Channel Data - L3\_TM08**

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 0.75 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 576.00 m

### **Roadway Data for Crossing: L3\_TM08**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 0.75 m

Crest Elevation: 586.14 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 30.65 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 274.395 cfs

Maximum Flow: 274.395 cfs

**Table 25 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM10**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM10 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
589.35	0.00	0.00	0.00	1
589.76	0.78	0.78	0.00	1
589.99	1.55	1.55	0.00	1
590.19	2.33	2.33	0.00	1
590.37	3.11	3.11	0.00	1
590.54	3.88	3.88	0.00	1
590.69	4.66	4.66	0.00	1
590.84	5.44	5.44	0.00	1
590.98	6.22	6.22	0.00	1
591.12	6.99	6.99	0.00	1
591.26	7.77	7.77	0.00	1
592.29	13.18	13.18	0.00	Overtopping

**Table 26 - Culvert Summary Table: L3\_TM10**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	589.35	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.78	0.78	589.76	0.405	0.148	1-S2n	0.000	0.249	0.109	0.169	3.559	2.294
1.55	1.55	589.99	0.643	0.158	1-S2n	0.000	0.395	0.170	0.265	4.576	2.934
2.33	2.33	590.19	0.843	0.174	1-S2n	0.000	0.517	0.218	0.346	5.337	3.365
3.11	3.11	590.37	1.022	0.196	1-S2n	0.000	0.517	0.264	0.421	5.895	3.695
3.88	3.88	590.54	1.188	0.224	1-S2n	0.000	0.517	0.307	0.490	6.325	3.964
4.66	4.66	590.69	1.343	0.259	1-S2n	0.000	0.517	0.348	0.556	6.692	4.190
5.44	5.44	590.84	1.490	0.301	1-S2n	0.000	0.517	0.386	0.620	7.038	4.386
6.22	6.22	590.98	1.631	0.348	1-S2n	0.000	0.517	0.433	0.682	7.185	4.557
6.99	6.99	591.12	1.769	0.402	1-S2n	0.000	0.517	2.025	0.742	1.748	4.710
7.77	7.77	591.26	1.905	0.462	1-S2n	0.000	0.517	2.071	0.801	1.942	4.848

\*\*\*\*\*  
Double Broken-back Culvert  
Inlet Elevation (invert): 589.35 m  
Upper Break Elevation (invert): 588.90 m  
Lower Break Elevation (invert): 587.55 m  
Culvert Length: 64.89 m  
Upper Culvert Section Slope: 0.0211  
Steep Culvert Section Slope: 2.7000  
Runout Culvert Section Slope: 0.0360  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM10**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 589.35 m  
Upper Break Station: 21.30 m  
Upper Break Elevation: 588.90 m  
Lower Break Station: 21.80 m  
Lower Break Elevation: 587.55 m  
Outlet Station: 64.80 m  
Outlet Elevation: 586.00 m  
Number of Barrels: 1

## **Culvert Data Summary - L3\_TM10**

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 2000.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Upper & Middle Section Material: Concrete

Lower Section Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Upper & Middle Section Manning's n: 0.0120

Lower Section Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Double Broken-back

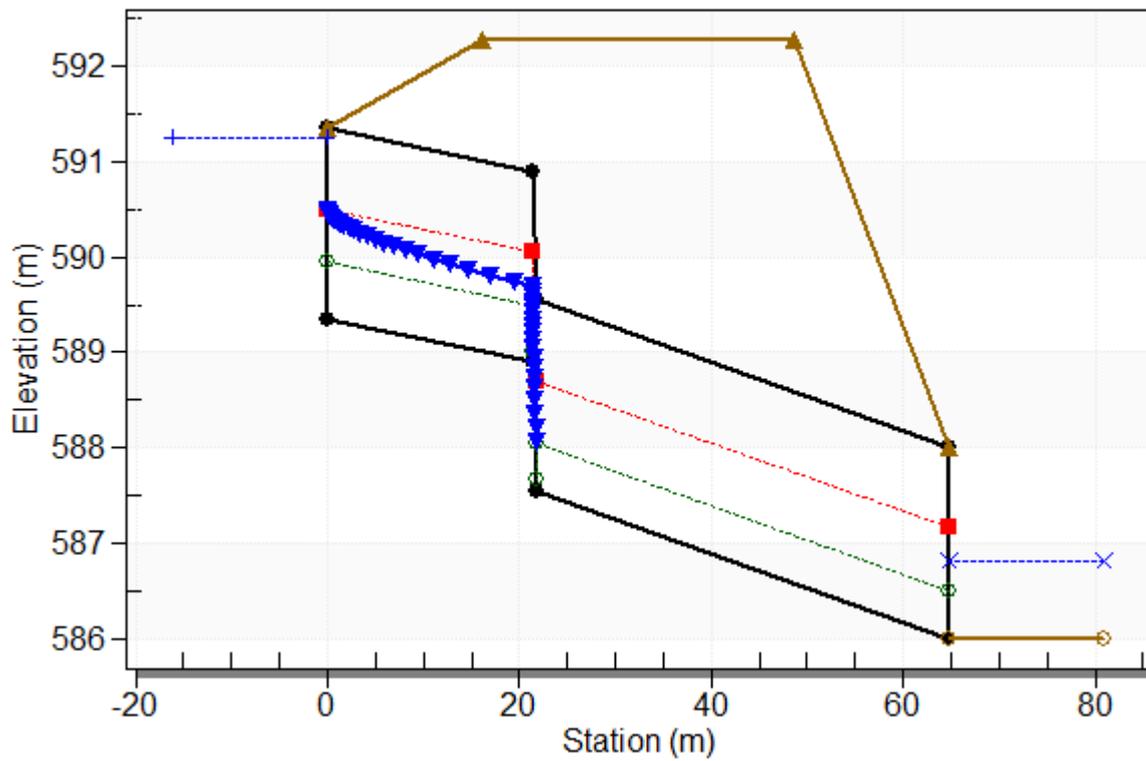
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

# Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM10

## Crossing - L3\_TM10, Design Discharge - 7.77 cms

Culvert - L3\_TM10, Culvert Discharge - 7.77 cms



**Table 27 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM10)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	586.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.78	586.17	0.17	2.29	33.20	1.78
1.55	586.26	0.26	2.93	51.92	1.82
2.33	586.35	0.35	3.37	67.90	1.83
3.11	586.42	0.42	3.70	82.44	1.82
3.88	586.49	0.49	3.96	96.07	1.81
4.66	586.56	0.56	4.19	109.06	1.79
5.44	586.62	0.62	4.39	121.56	1.78
6.22	586.68	0.68	4.56	133.69	1.76
6.99	586.74	0.74	4.71	145.52	1.75
7.77	586.80	0.80	4.85	157.10	1.73

**Tailwater Channel Data - L3\_TM10**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 586.00 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM10**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 592.29 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 32.41 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 55.7972 cfs

Maximum Flow: 55.7972 cfs

**Table 28 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM11**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM11 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
590.00	0.00	0.00	0.00	1
590.14	0.16	0.16	0.00	1
590.23	0.32	0.32	0.00	1
590.30	0.47	0.47	0.00	1
590.36	0.63	0.63	0.00	1
590.42	0.79	0.79	0.00	1
590.47	0.95	0.95	0.00	1
590.52	1.11	1.11	0.00	1
590.57	1.26	1.26	0.00	1
590.62	1.42	1.42	0.00	1
590.66	1.58	1.58	0.00	1
595.61	20.76	20.76	0.00	Overtopping

**Table 29 - Culvert Summary Table: L3\_TM11**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	590.00	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.16	0.16	590.14	0.143	0.0*	1-S2n	0.048	0.086	0.048	0.110	1.653	0.715
0.32	0.32	590.23	0.227	0.0*	1-S2n	0.073	0.137	0.073	0.171	2.175	0.924
0.47	0.47	590.30	0.298	0.0*	1-S2n	0.096	0.179	0.101	0.222	2.350	1.069
0.63	0.63	590.36	0.361	0.0*	1-S2n	0.115	0.217	0.121	0.267	2.613	1.181
0.79	0.79	590.42	0.418	0.0*	1-S2n	0.132	0.251	0.140	0.310	2.828	1.275
0.95	0.95	590.47	0.472	0.0*	1-S2n	0.149	0.284	0.162	0.350	2.928	1.355
1.11	1.11	590.52	0.524	0.0*	1-S2n	0.164	0.315	0.164	0.388	3.369	1.425
1.26	1.26	590.57	0.572	0.0*	1-S2n	0.178	0.344	0.178	0.425	3.541	1.488
1.42	1.42	590.62	0.619	0.0*	1-S2n	0.193	0.372	0.193	0.460	3.687	1.544
1.58	1.58	590.66	0.664	0.0*	1-S2n	0.207	0.399	0.222	0.495	3.551	1.596

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 590.00 m, Outlet Elevation (invert): 589.20 m  
Culvert Length: 39.61 m, Culvert Slope: 0.0202  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM11**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 590.00 m  
Outlet Station: 39.60 m  
Outlet Elevation: 589.20 m  
Number of Barrels: 1

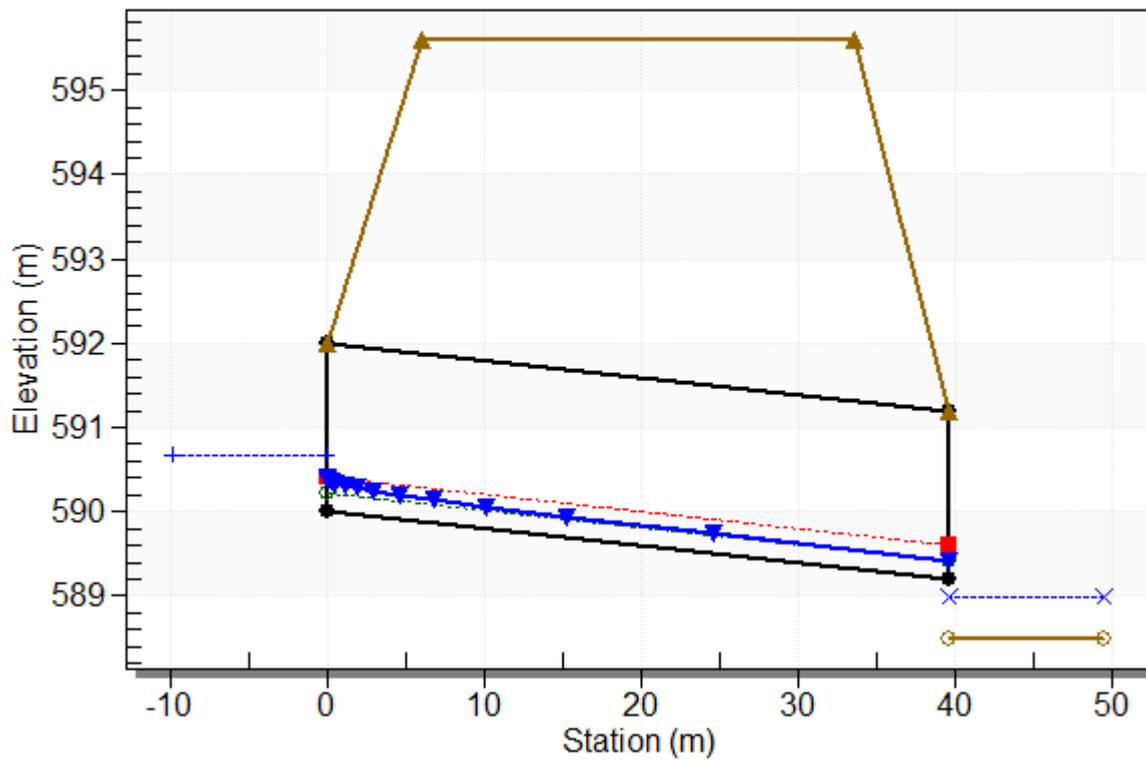
**Culvert Data Summary - L3\_TM11**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (0° flare) Wingwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM11

Crossing - L3\_TM11, Design Discharge - 1.58 cms

Culvert - L3\_TM11, Culvert Discharge - 1.58 cms



**Table 30 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM11)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	588.50	0.00	0.00	0.00	0.00
0.16	588.61	0.11	0.72	10.83	0.69
0.32	588.67	0.17	0.92	16.76	0.71
0.47	588.72	0.22	1.07	21.74	0.72
0.63	588.77	0.27	1.18	26.22	0.73
0.79	588.81	0.31	1.27	30.37	0.73
0.95	588.85	0.35	1.35	34.29	0.73
1.11	588.89	0.39	1.43	38.03	0.73
1.26	588.92	0.42	1.49	41.64	0.73
1.42	588.96	0.46	1.54	45.13	0.73
1.58	589.00	0.50	1.60	48.53	0.72

**Tailwater Channel Data - L3\_TM11**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0100

Channel Manning's n: 0.0300

Channel Invert Elevation: 588.50 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM11**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 595.61 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 27.62 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 114.773 cfs

Maximum Flow: 114.773 cfs

**Table 31 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM12**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM12 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
591.00	0.00	0.00	0.00	1
591.23	0.33	0.33	0.00	1
591.37	0.65	0.65	0.00	1
591.49	0.98	0.98	0.00	1
591.59	1.30	1.30	0.00	1
591.69	1.63	1.63	0.00	1
591.77	1.95	1.95	0.00	1
591.86	2.28	2.28	0.00	1
591.94	2.60	2.60	0.00	1
592.01	2.93	2.93	0.00	1
592.08	3.25	3.25	0.00	1
597.21	20.59	20.59	0.00	Overtopping

**Table 32 - Culvert Summary Table: L3\_TM12**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	591.00	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.33	0.33	591.23	0.235	0.0*	1-S2n	0.104	0.139	0.107	0.194	1.522	0.745
0.65	0.65	591.37	0.372	0.0*	1-S2n	0.161	0.221	0.161	0.303	2.018	0.953
0.98	0.98	591.49	0.488	0.0*	1-S2n	0.209	0.289	0.217	0.397	2.245	1.092
1.30	1.30	591.59	0.591	0.061	1-S2n	0.252	0.350	0.263	0.482	2.474	1.199
1.63	1.63	591.69	0.686	0.123	1-S2n	0.292	0.407	0.306	0.562	2.658	1.286
1.95	1.95	591.77	0.775	0.183	1-S2n	0.330	0.459	0.347	0.638	2.811	1.359
2.28	2.28	591.86	0.859	0.244	1-S2n	0.366	0.509	0.387	0.711	2.941	1.422
2.60	2.60	591.94	0.938	0.325	1-S2n	0.400	0.556	0.426	0.782	3.049	1.477
2.93	2.93	592.01	1.014	0.406	1-S2n	0.434	0.602	0.463	0.851	3.159	1.527
3.25	3.25	592.08	1.083	0.486	1-S2n	0.467	0.646	0.500	0.919	3.253	1.571

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 591.00 m, Outlet Elevation (invert): 590.70 m  
Culvert Length: 40.40 m, Culvert Slope: 0.0074  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM12**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 591.00 m  
Outlet Station: 40.40 m  
Outlet Elevation: 590.70 m  
Number of Barrels: 1

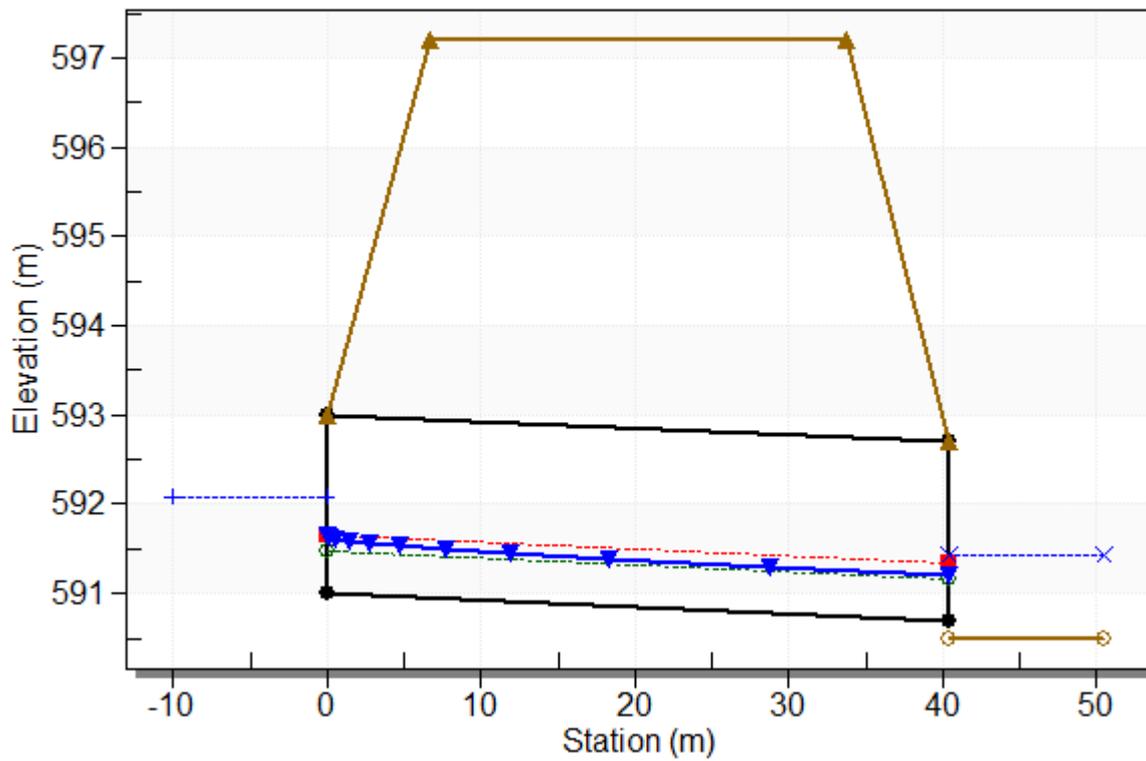
**Culvert Data Summary - L3\_TM12**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (0° flare) Wingwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM12

Crossing - L3\_TM12, Design Discharge - 3.25 cms

Culvert - L3\_TM12, Culvert Discharge - 3.25 cms



**Table 33 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM12)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	590.50	0.00	0.00	0.00	0.00
0.33	590.69	0.19	0.75	14.25	0.54
0.65	590.80	0.30	0.95	22.30	0.55
0.98	590.90	0.40	1.09	29.16	0.55
1.30	590.98	0.48	1.20	35.42	0.55
1.63	591.06	0.56	1.29	41.29	0.55
1.95	591.14	0.64	1.36	46.88	0.54
2.28	591.21	0.71	1.42	52.27	0.54
2.60	591.28	0.78	1.48	57.50	0.53
2.93	591.35	0.85	1.53	62.60	0.53
3.25	591.42	0.92	1.57	67.59	0.52

**Tailwater Channel Data - L3\_TM12**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.25 m

Channel Slope: 0.0075

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 590.50 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM12**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.25 m

Crest Elevation: 597.21 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 26.95 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 235.902 cfs

Maximum Flow: 235.902 cfs

**Table 34 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM13**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM13 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
603.30	0.00	0.00	0.00	1
603.68	0.67	0.67	0.00	1
603.91	1.34	1.34	0.00	1
604.09	2.00	2.00	0.00	1
604.26	2.67	2.67	0.00	1
604.41	3.34	3.34	0.00	1
604.55	4.01	4.01	0.00	1
604.69	4.68	4.68	0.00	1
604.81	5.34	5.34	0.00	1
604.94	6.01	6.01	0.00	1
605.06	6.68	6.68	0.00	1
607.55	18.08	18.08	0.00	Overtopping

**Table 35 - Culvert Summary Table: L3\_TM13**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	603.30	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.67	0.67	603.68	0.382	0.0*	1-S2n	0.147	0.225	0.147	0.154	2.274	2.171
1.34	1.34	603.91	0.606	0.0*	1-S2n	0.229	0.357	0.239	0.240	2.792	2.784
2.00	2.00	604.09	0.795	0.0*	1-S2n	0.300	0.468	0.300	0.313	3.343	3.199
2.67	2.67	604.26	0.963	0.010	1-S2n	0.363	0.567	0.384	0.380	3.482	3.520
3.34	3.34	604.41	1.114	0.125	1-S2n	0.423	0.657	0.452	0.442	3.694	3.781
4.01	4.01	604.55	1.254	0.240	1-S2n	0.479	0.742	0.515	0.501	3.892	4.002
4.68	4.68	604.69	1.387	0.355	1-S2n	0.533	0.823	0.577	0.557	4.050	4.194
5.34	5.34	604.81	1.514	0.473	1-S2n	0.586	0.899	0.638	0.612	4.191	4.363
6.01	6.01	604.94	1.636	0.592	1-S2n	0.637	0.973	0.696	0.666	4.318	4.514
6.68	6.68	605.06	1.755	0.714	1-S2n	0.687	1.044	0.753	0.718	4.434	4.651

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 603.30 m, Outlet Elevation (invert): 602.70 m  
Culvert Length: 57.40 m, Culvert Slope: 0.0105  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM13**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 603.30 m  
Outlet Station: 57.40 m  
Outlet Elevation: 602.70 m  
Number of Barrels: 1

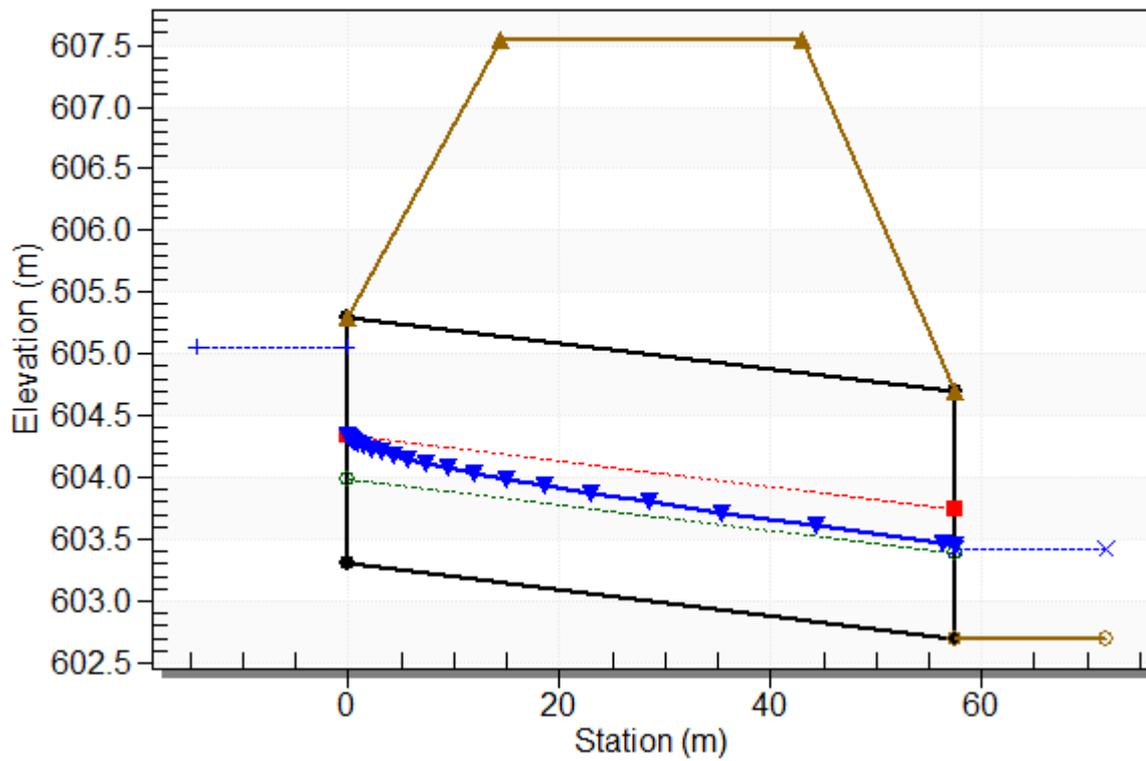
**Culvert Data Summary - L3\_TM13**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM13

Crossing - L3\_TM13, Design Discharge - 6.68 cms

Culvert - L3\_TM13, Culvert Discharge - 6.68 cms



**Table 36 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM13)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	602.70	0.00	0.00	0.00	0.00
0.67	602.85	0.15	2.17	30.16	1.77
1.34	602.94	0.24	2.78	47.04	1.81
2.00	603.01	0.31	3.20	61.40	1.82
2.67	603.08	0.38	3.52	74.42	1.82
3.34	603.14	0.44	3.78	86.59	1.82
4.01	603.20	0.50	4.00	98.16	1.81
4.68	603.26	0.56	4.19	109.29	1.79
5.34	603.31	0.61	4.36	120.06	1.78
6.01	603.37	0.67	4.51	130.54	1.77
6.68	603.42	0.72	4.65	140.79	1.75

**Tailwater Channel Data - L3\_TM13**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 602.70 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM13**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 607.55 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 28.62 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 263.094 cfs

Maximum Flow: 263.094 cfs

**Table 37 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM14**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM14 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
641.80	0.00	0.00	0.00	1
642.21	0.74	0.74	0.00	1
642.46	1.49	1.49	0.00	1
642.66	2.23	2.23	0.00	1
642.84	2.98	2.98	0.00	1
643.00	3.72	3.72	0.00	1
643.15	4.47	4.47	0.00	1
643.29	5.21	5.21	0.00	1
643.43	5.96	5.96	0.00	1
643.56	6.70	6.70	0.00	1
643.70	7.45	7.45	0.00	1
646.04	18.03	18.03	0.00	Overtopping

**Table 38 - Culvert Summary Table: L3\_TM14**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	641.80	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.74	0.74	642.21	0.413	0.045	1-S2n	0.189	0.242	0.189	0.165	1.970	2.259
1.49	1.49	642.46	0.655	0.196	1-S2n	0.298	0.384	0.311	0.258	2.399	2.891
2.23	2.23	642.66	0.859	0.331	1-S2n	0.391	0.503	0.411	0.337	2.720	3.318
2.98	2.98	642.84	1.039	0.459	1-S2n	0.476	0.609	0.503	0.409	2.960	3.646
3.72	3.72	643.00	1.200	0.584	1-S2n	0.556	0.707	0.590	0.476	3.155	3.913
4.47	4.47	643.15	1.351	0.709	1-S2n	0.633	0.798	0.674	0.540	3.316	4.137
5.21	5.21	643.29	1.494	0.836	1-S2n	0.707	0.885	0.754	0.602	3.459	4.332
5.96	5.96	643.43	1.631	0.964	1-S2n	0.779	0.967	0.830	0.662	3.591	4.503
6.70	6.70	643.56	1.764	1.095	1-S2n	0.849	1.046	0.906	0.720	3.702	4.656
7.45	7.45	643.70	1.895	1.230	1-S2n	0.918	1.122	0.979	0.777	3.806	4.793

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 641.80 m, Outlet Elevation (invert): 641.60 m  
Culvert Length: 34.00 m, Culvert Slope: 0.0059  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM14**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 641.80 m  
Outlet Station: 34.00 m  
Outlet Elevation: 641.60 m  
Number of Barrels: 1

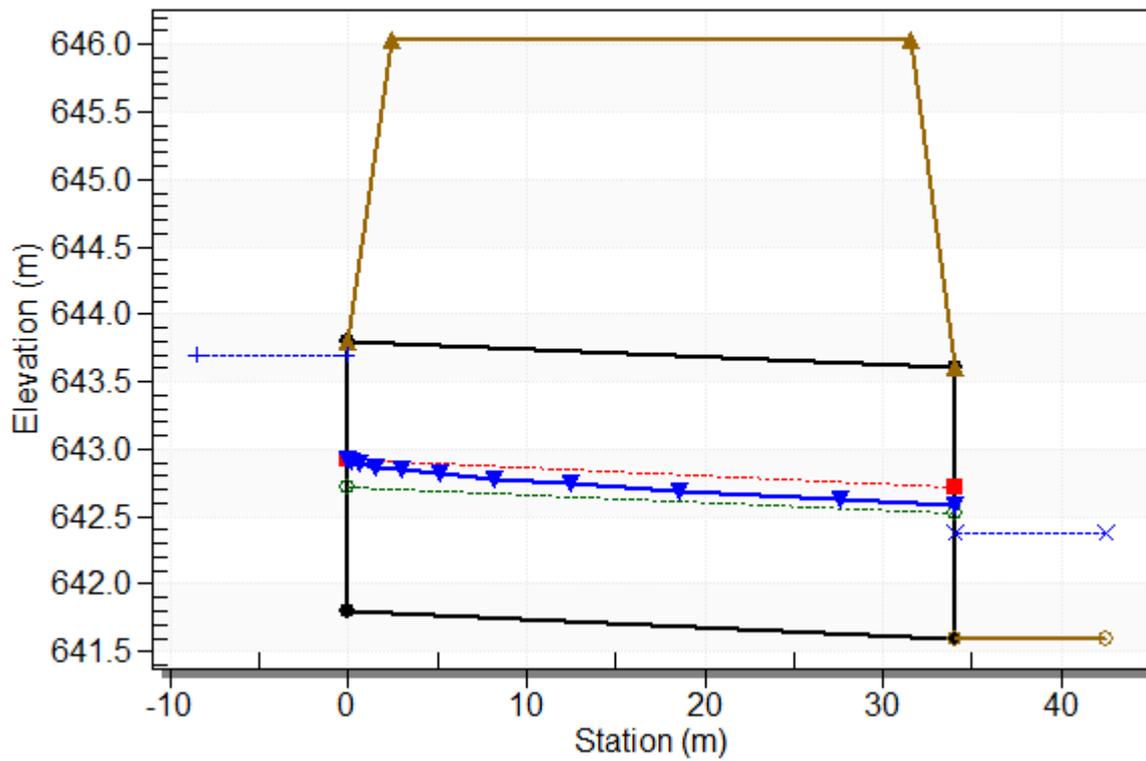
**Culvert Data Summary - L3\_TM14**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM14

Crossing - L3\_TM14, Design Discharge - 7.45 cms

Culvert - L3\_TM14, Culvert Discharge - 7.45 cms



**Table 39 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM14)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	641.60	0.00	0.00	0.00	0.00
0.74	641.76	0.16	2.26	32.32	1.78
1.49	641.86	0.26	2.89	50.52	1.82
2.23	641.94	0.34	3.32	66.02	1.83
2.98	642.01	0.41	3.65	80.11	1.82
3.72	642.08	0.48	3.91	93.32	1.81
4.47	642.14	0.54	4.14	105.90	1.80
5.21	642.20	0.60	4.33	118.00	1.78
5.96	642.26	0.66	4.50	129.73	1.77
6.70	642.32	0.72	4.66	141.17	1.75
7.45	642.38	0.78	4.79	152.36	1.74

**Tailwater Channel Data - L3\_TM14**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 641.60 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM14**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 646.04 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 29.11 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 284.636 cfs

Maximum Flow: 284.636 cfs

**Table 40 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM15**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM15 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
646.41	0.00	0.00	0.00	1
646.81	0.81	0.81	0.00	1
647.04	1.61	1.61	0.00	1
647.24	2.42	2.42	0.00	1
647.41	3.22	3.22	0.00	1
647.58	4.03	4.03	0.00	1
647.74	4.84	4.84	0.00	1
647.89	5.64	5.64	0.00	1
648.04	6.45	6.45	0.00	1
648.18	7.25	7.25	0.00	1
648.32	8.06	8.06	0.00	1
656.30	31.11	31.11	0.00	Overtopping

**Table 41 - Culvert Summary Table: L3\_TM15**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	646.41	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.81	0.81	646.81	0.397	0.0*	1-S2n	0.000	0.255	0.095	0.173	4.244	2.325
1.61	1.61	647.04	0.631	0.0*	1-S2n	0.000	0.405	0.127	0.271	6.332	2.971
2.42	2.42	647.24	0.826	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.158	0.355	7.646	3.406
3.22	3.22	647.41	1.001	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.190	0.431	8.478	3.739
4.03	4.03	647.58	1.171	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.222	0.503	9.084	4.009
4.84	4.84	647.74	1.330	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.253	0.571	9.539	4.236
5.64	5.64	647.89	1.481	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.285	0.636	9.900	4.433
6.45	6.45	648.04	1.627	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.316	0.700	10.194	4.605
7.25	7.25	648.18	1.769	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.348	0.762	10.431	4.758
8.06	8.06	648.32	1.910	0.0*	1-S2n	0.000	0.530	0.379	0.823	10.635	4.896

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Double Broken-back Culvert  
Inlet Elevation (invert): 646.41 m  
Upper Break Elevation (invert): 645.37 m  
Lower Break Elevation (invert): 639.97 m  
Culvert Length: 69.53 m  
Upper Culvert Section Slope: 0.0204  
Steep Culvert Section Slope: 2.2500  
Runout Culvert Section Slope: 0.0203  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM15**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 646.41 m  
Upper Break Station: 51.00 m  
Upper Break Elevation: 645.37 m  
Lower Break Station: 53.40 m  
Lower Break Elevation: 639.97 m  
Outlet Station: 69.20 m  
Outlet Elevation: 639.65 m  
Number of Barrels: 1

### **Culvert Data Summary - L3\_TM15**

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 2000.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Upper & Middle Section Material: Concrete

Lower Section Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Upper & Middle Section Manning's n: 0.0120

Lower Section Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Double Broken-back

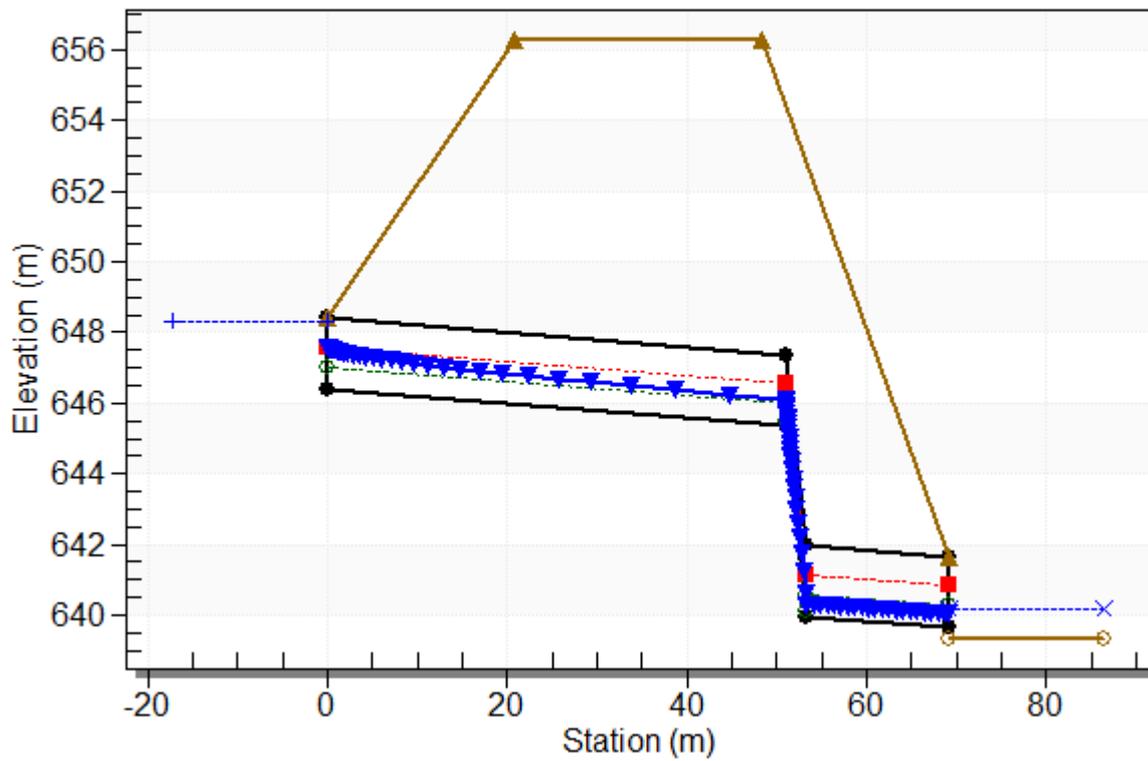
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM15

Crossing - L3\_TM15, Design Discharge - 8.06 cms

Culvert - L3\_TM15, Culvert Discharge - 8.06 cms



**Table 42 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM15)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	639.35	0.00	0.00	0.00	0.00
0.81	639.52	0.17	2.33	33.98	1.78
1.61	639.62	0.27	2.97	53.19	1.82
2.42	639.70	0.35	3.41	69.58	1.82
3.22	639.78	0.43	3.74	84.52	1.82
4.03	639.85	0.50	4.01	98.54	1.80
4.84	639.92	0.57	4.24	111.90	1.79
5.64	639.99	0.64	4.43	124.76	1.77
6.45	640.05	0.70	4.60	137.26	1.76
7.25	640.11	0.76	4.76	149.44	1.74
8.06	640.17	0.82	4.90	161.37	1.72

**Tailwater Channel Data - L3\_TM15**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 639.35 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM15**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 656.30 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 27.66 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 277.926 cfs

Maximum Flow: 277.926 cfs

**Table 43 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM16**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM16 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
643.40	0.00	0.00	0.00	1
643.79	0.79	0.79	0.00	1
644.02	1.57	1.57	0.00	1
644.21	2.36	2.36	0.00	1
644.38	3.15	3.15	0.00	1
644.55	3.93	3.93	0.00	1
644.71	4.72	4.72	0.00	1
644.85	5.51	5.51	0.00	1
645.00	6.30	6.30	0.00	1
645.14	7.08	7.08	0.00	1
645.27	7.87	7.87	0.00	1
650.58	25.95	25.95	0.00	Overtopping

**Table 44 - Culvert Summary Table: L3\_TM16**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	643.40	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.79	0.79	643.79	0.390	0.092	1-S2n	0.000	0.251	0.118	0.171	3.342	2.305
1.57	1.57	644.02	0.619	0.103	1-S2n	0.000	0.398	0.158	0.267	4.978	2.946
2.36	2.36	644.21	0.811	0.121	1-S2n	0.000	0.522	0.184	0.349	6.416	3.380
3.15	3.15	644.38	0.982	0.147	1-S2n	0.000	0.632	0.213	0.424	7.399	3.710
3.93	3.93	644.55	1.149	0.179	1-S2n	0.000	0.632	0.240	0.494	8.214	3.980
4.72	4.72	644.71	1.305	0.219	1-S2n	0.000	0.632	0.267	0.561	8.855	4.206
5.51	5.51	644.85	1.454	0.266	1-S2n	0.000	0.632	0.294	0.626	9.372	4.402
6.30	6.30	645.00	1.597	0.320	1-S2n	0.000	0.632	0.321	0.688	9.808	4.574
7.08	7.08	645.14	1.736	0.382	1-S2n	0.000	0.632	0.348	0.749	10.182	4.727
7.87	7.87	645.27	1.874	0.451	1-S2n	0.000	0.632	0.375	0.809	10.486	4.865

\*\*\*\*\*  
Double Broken-back Culvert  
Inlet Elevation (invert): 643.40 m  
Upper Break Elevation (invert): 642.90 m  
Lower Break Elevation (invert): 634.90 m  
Culvert Length: 90.25 m  
Upper Culvert Section Slope: 0.0105  
Steep Culvert Section Slope: 0.5016  
Runout Culvert Section Slope: 0.0208  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM16**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 643.40 m  
Upper Break Station: 47.40 m  
Upper Break Elevation: 642.90 m  
Lower Break Station: 63.35 m  
Lower Break Elevation: 634.90 m  
Outlet Station: 89.80 m  
Outlet Elevation: 634.35 m  
Number of Barrels: 1

## **Culvert Data Summary - L3\_TM16**

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 2000.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Upper & Middle Section Material: Concrete

Lower Section Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Upper & Middle Section Manning's n: 0.0120

Lower Section Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Double Broken-back

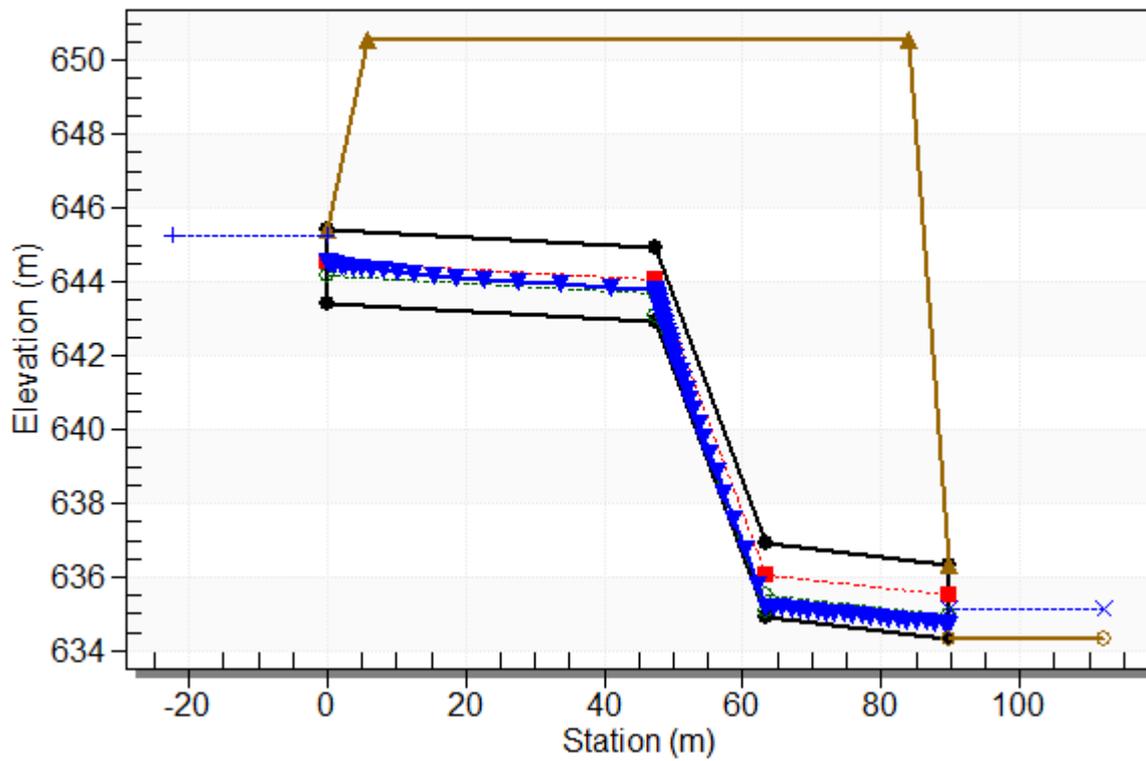
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM16

Crossing - L3\_TM16, Design Discharge - 7.87 cms

Culvert - L3\_TM16, Culvert Discharge - 7.87 cms



**Table 45 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM16)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	634.35	0.00	0.00	0.00	0.00
0.79	634.52	0.17	2.31	33.47	1.78
1.57	634.62	0.27	2.95	52.37	1.82
2.36	634.70	0.35	3.38	68.48	1.83
3.15	634.77	0.42	3.71	83.17	1.82
3.93	634.84	0.49	3.98	96.92	1.81
4.72	634.91	0.56	4.21	110.04	1.79
5.51	634.98	0.63	4.40	122.68	1.78
6.30	635.04	0.69	4.57	134.93	1.76
7.08	635.10	0.75	4.73	146.88	1.74
7.87	635.16	0.81	4.86	158.57	1.73

**Tailwater Channel Data - L3\_TM16**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 634.35 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM16**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 650.58 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 77.97 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 311.829 cfs

Maximum Flow: 311.829 cfs

**Table 46 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM17**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM17 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
638.30	0.00	0.00	0.00	1
638.75	0.88	0.88	0.00	1
639.02	1.77	1.77	0.00	1
639.24	2.65	2.65	0.00	1
639.44	3.53	3.53	0.00	1
639.62	4.41	4.41	0.00	1
639.79	5.30	5.30	0.00	1
639.95	6.18	6.18	0.00	1
640.11	7.06	7.06	0.00	1
640.26	7.95	7.95	0.00	1
640.42	8.83	8.83	0.00	1
642.90	19.25	19.25	0.00	Overtopping

**Table 47 - Culvert Summary Table: L3\_TM17**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	638.30	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.88	0.88	638.75	0.452	0.0*	1-S2n	0.129	0.271	0.135	0.230	3.262	1.922
1.77	1.77	639.02	0.718	0.0*	1-S2n	0.202	0.430	0.221	0.363	3.990	2.434
2.65	2.65	639.24	0.941	0.0*	1-S2n	0.263	0.563	0.299	0.478	4.436	2.772
3.53	3.53	639.44	1.138	0.0*	1-S2n	0.318	0.682	0.372	0.584	4.752	3.024
4.41	4.41	639.62	1.319	0.0*	1-S2n	0.370	0.792	0.441	0.684	5.003	3.227
5.30	5.30	639.79	1.488	0.100	1-S2n	0.419	0.894	0.510	0.780	5.199	3.394
6.18	6.18	639.95	1.650	0.254	1-S2n	0.465	0.991	0.576	0.874	5.370	3.537
7.06	7.06	640.11	1.806	0.411	1-S2n	0.510	1.083	0.640	0.965	5.522	3.661
7.95	7.95	640.26	1.961	0.573	1-S2n	0.554	1.172	0.702	1.054	5.656	3.770
8.83	8.83	640.42	2.117	0.741	5-S2n	0.597	1.257	0.764	1.142	5.779	3.867

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 638.30 m, Outlet Elevation (invert): 637.35 m  
Culvert Length: 35.11 m, Culvert Slope: 0.0271  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM17**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 638.30 m  
Outlet Station: 35.10 m  
Outlet Elevation: 637.35 m  
Number of Barrels: 1

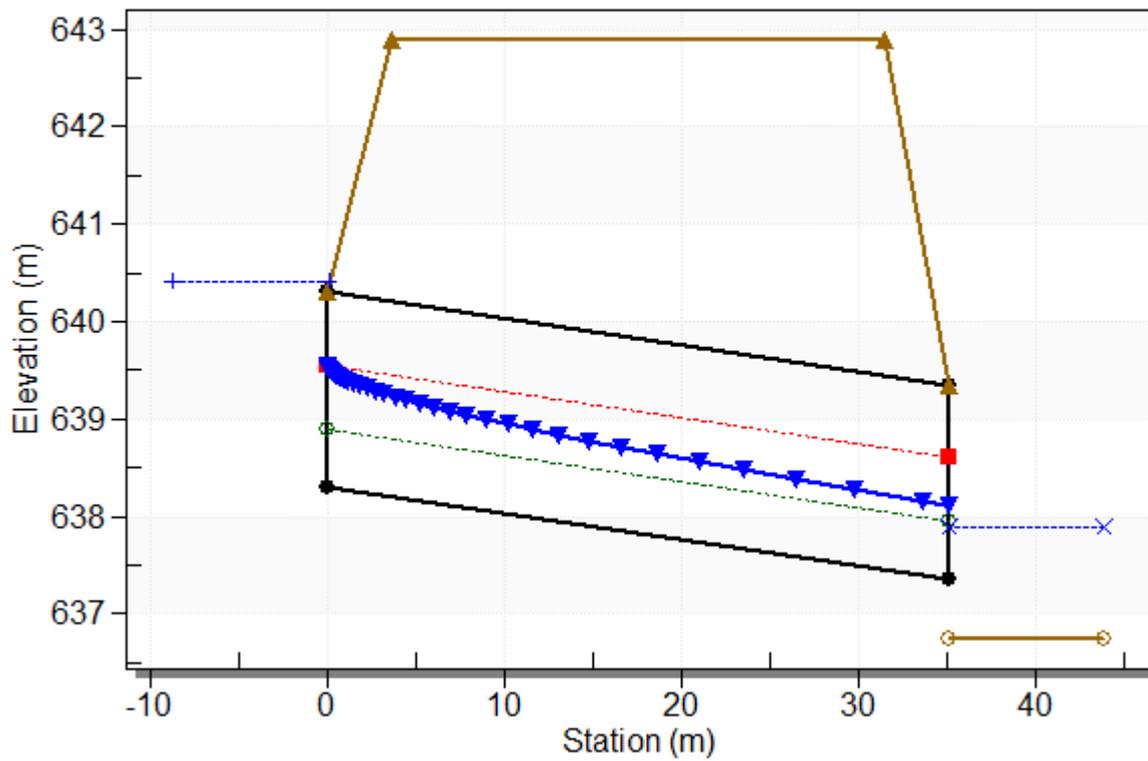
**Culvert Data Summary - L3\_TM17**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

# Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM17

## Crossing - L3\_TM17, Design Discharge - 8.83 cms

Culvert - L3\_TM17, Culvert Discharge - 8.83 cms



**Table 48 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM17)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	636.75	0.00	0.00	0.00	0.00
0.88	636.98	0.23	1.92	22.51	1.28
1.77	637.11	0.36	2.43	35.56	1.29
2.65	637.23	0.48	2.77	46.84	1.28
3.53	637.33	0.58	3.02	57.24	1.26
4.41	637.43	0.68	3.23	67.06	1.25
5.30	637.53	0.78	3.39	76.50	1.23
6.18	637.62	0.87	3.54	85.64	1.21
7.06	637.71	0.96	3.66	94.56	1.19
7.95	637.80	1.05	3.77	103.30	1.17
8.83	637.89	1.14	3.87	111.90	1.16

**Tailwater Channel Data - L3\_TM17**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0100

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 636.75 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM17**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 642.90 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 27.81 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 211.182 cfs

Maximum Flow: 211.182 cfs

**Table 49 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM18**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM18 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
623.18	0.00	0.00	0.00	1
623.52	0.60	0.60	0.00	1
623.72	1.20	1.20	0.00	1
623.88	1.79	1.79	0.00	1
624.03	2.39	2.39	0.00	1
624.17	2.99	2.99	0.00	1
624.30	3.59	3.59	0.00	1
624.42	4.19	4.19	0.00	1
624.54	4.78	4.78	0.00	1
624.65	5.38	5.38	0.00	1
624.76	5.98	5.98	0.00	1
632.69	30.31	30.31	0.00	Overtopping

**Table 50 - Culvert Summary Table: L3\_TM18**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	623.18	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.60	0.60	623.52	0.339	0.0*	1-S2n	0.000	0.209	0.083	0.179	3.604	1.673
1.20	1.20	623.72	0.538	0.0*	1-S2n	0.000	0.332	0.115	0.280	5.197	2.136
1.79	1.79	623.88	0.704	0.0*	1-S2n	0.000	0.434	0.146	0.367	6.132	2.447
2.39	2.39	624.03	0.853	0.0*	1-S2n	0.000	0.526	0.179	0.446	6.671	2.684
2.99	2.99	624.17	0.990	0.0*	1-S2n	0.000	0.611	0.210	0.520	7.113	2.877
3.59	3.59	624.30	1.121	0.0*	1-S2n	0.000	0.611	0.241	0.590	7.449	3.039
4.19	4.19	624.42	1.244	0.0*	1-S2n	0.000	0.611	0.271	0.659	7.716	3.178
4.78	4.78	624.54	1.361	0.0*	1-S2n	0.000	0.611	0.301	0.725	7.937	3.300
5.38	5.38	624.65	1.474	0.0*	1-S2n	0.000	0.611	0.331	0.789	8.122	3.409
5.98	5.98	624.76	1.584	0.0*	1-S2n	0.000	0.611	0.361	0.853	8.283	3.507

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Double Broken-back Culvert  
Inlet Elevation (invert): 623.18 m  
Upper Break Elevation (invert): 622.10 m  
Lower Break Elevation (invert): 619.55 m  
Culvert Length: 68.01 m  
Upper Culvert Section Slope: 0.0201  
Steep Culvert Section Slope: 1.0200  
Runout Culvert Section Slope: 0.0195  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM18**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 623.18 m  
Upper Break Station: 53.60 m  
Upper Break Elevation: 622.10 m  
Lower Break Station: 56.10 m  
Lower Break Elevation: 619.55 m  
Outlet Station: 67.90 m  
Outlet Elevation: 619.32 m  
Number of Barrels: 1

### **Culvert Data Summary - L3\_TM18**

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 2000.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Upper & Middle Section Material: Concrete

Lower Section Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Upper & Middle Section Manning's n: 0.0120

Lower Section Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Double Broken-back

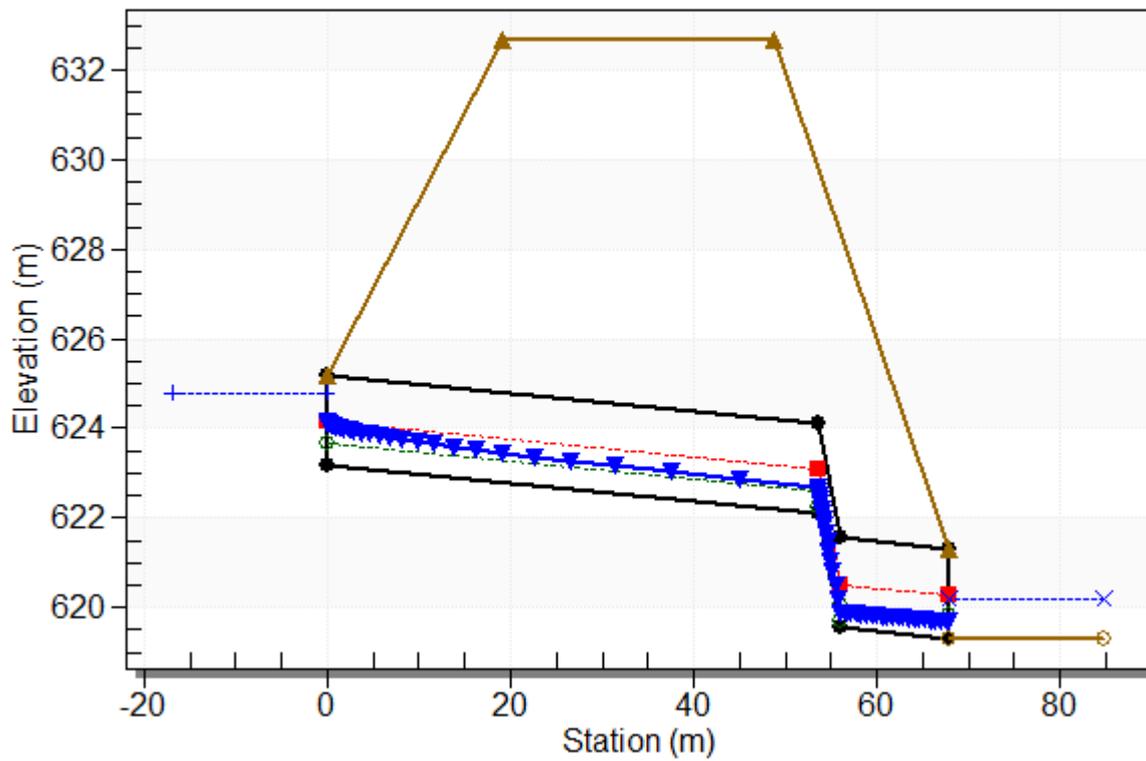
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM18

Crossing - L3\_TM18, Design Discharge - 5.98 cms

Culvert - L3\_TM18, Culvert Discharge - 5.98 cms



**Table 51 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM18)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	619.32	0.00	0.00	0.00	0.00
0.60	619.50	0.18	1.67	17.52	1.26
1.20	619.60	0.28	2.14	27.45	1.29
1.79	619.69	0.37	2.45	35.93	1.29
2.39	619.77	0.45	2.68	43.68	1.28
2.99	619.84	0.52	2.88	50.94	1.27
3.59	619.91	0.59	3.04	57.87	1.26
4.19	619.98	0.66	3.18	64.56	1.25
4.78	620.04	0.72	3.30	71.05	1.24
5.38	620.11	0.79	3.41	77.38	1.22
5.98	620.17	0.85	3.51	83.58	1.21

### **Tailwater Channel Data - L3\_TM18**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0100

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 619.32 m

### **Roadway Data for Crossing: L3\_TM18**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 632.69 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 29.62 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 213.301 cfs

Maximum Flow: 213.301 cfs

**Table 52 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM19**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM19 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
620.50	0.00	0.00	0.00	1
620.85	0.60	0.60	0.00	1
621.06	1.21	1.21	0.00	1
621.24	1.81	1.81	0.00	1
621.39	2.42	2.42	0.00	1
621.53	3.02	3.02	0.00	1
621.66	3.62	3.62	0.00	1
621.79	4.23	4.23	0.00	1
621.91	4.83	4.83	0.00	1
622.02	5.44	5.44	0.00	1
622.13	6.04	6.04	0.00	1
629.41	29.10	29.10	0.00	Overtopping

**Table 53 - Culvert Summary Table: L3\_TM19**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	620.50	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.60	0.60	620.85	0.354	0.0*	1-S2n	0.111	0.210	0.115	0.164	2.619	1.313
1.21	1.21	621.06	0.561	0.0*	1-S2n	0.173	0.334	0.173	0.255	3.493	1.694
1.81	1.81	621.24	0.736	0.0*	1-S2n	0.225	0.437	0.225	0.331	4.027	1.957
2.42	2.42	621.39	0.891	0.0*	1-S2n	0.272	0.530	0.289	0.399	4.176	2.162
3.02	3.02	621.53	1.034	0.0*	1-S2n	0.315	0.615	0.339	0.463	4.448	2.331
3.62	3.62	621.66	1.165	0.0*	1-S2n	0.356	0.694	0.388	0.523	4.670	2.476
4.23	4.23	621.79	1.289	0.0*	1-S2n	0.395	0.769	0.435	0.580	4.862	2.603
4.83	4.83	621.91	1.407	0.0*	1-S2n	0.433	0.841	0.482	0.636	5.015	2.715
5.44	5.44	622.02	1.521	0.0*	1-S2n	0.470	0.910	0.527	0.689	5.161	2.817
6.04	6.04	622.13	1.631	0.0*	1-S2n	0.505	0.976	0.571	0.742	5.287	2.909

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 620.50 m, Outlet Elevation (invert): 619.30 m  
Culvert Length: 58.91 m, Culvert Slope: 0.0204  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM19**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 620.50 m  
Outlet Station: 58.90 m  
Outlet Elevation: 619.30 m  
Number of Barrels: 1

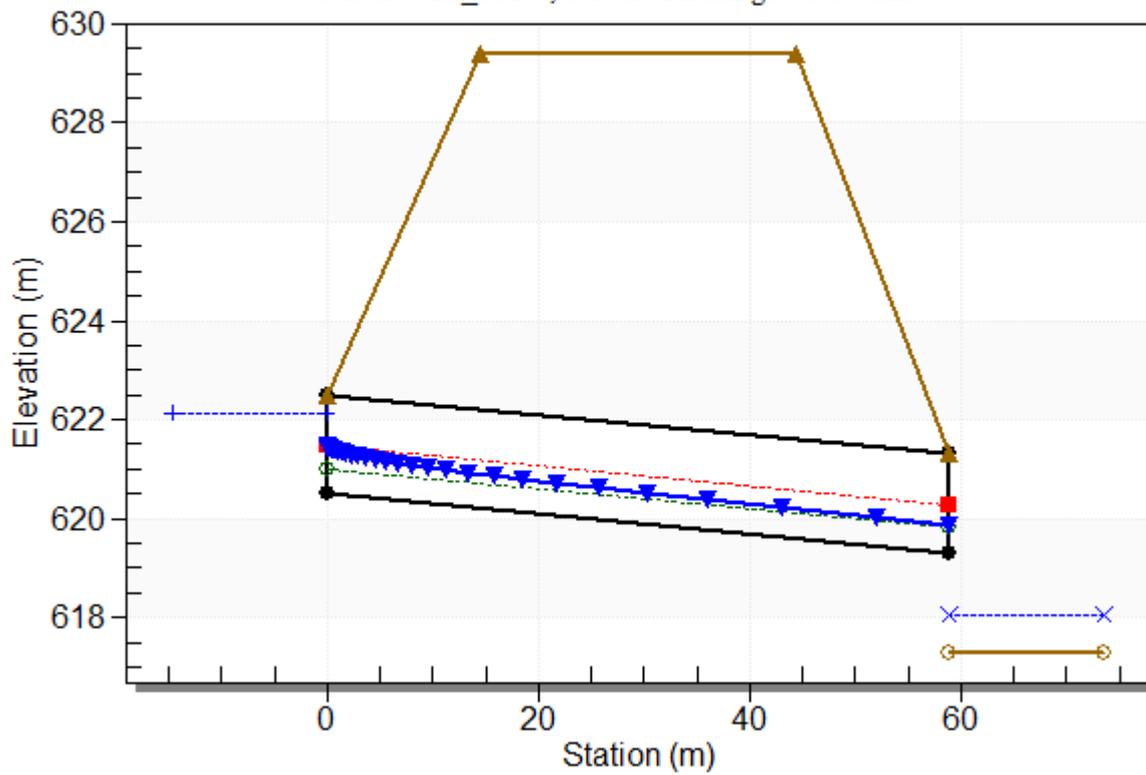
**Culvert Data Summary - L3\_TM19**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM19

Crossing - L3\_TM19, Design Discharge - 6.04 cms

Culvert - L3\_TM19, Culvert Discharge - 6.04 cms



**Table 54 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM19)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	617.30	0.00	0.00	0.00	0.00
0.60	617.46	0.16	1.31	32.20	1.03
1.21	617.55	0.25	1.69	49.92	1.07
1.81	617.63	0.33	1.96	64.82	1.09
2.42	617.70	0.40	2.16	78.24	1.09
3.02	617.76	0.46	2.33	90.71	1.09
3.62	617.82	0.52	2.48	102.48	1.09
4.23	617.88	0.58	2.60	113.74	1.09
4.83	617.94	0.64	2.72	124.60	1.09
5.44	617.99	0.69	2.82	135.12	1.08
6.04	618.04	0.74	2.91	145.37	1.08

**Tailwater Channel Data - L3\_TM19**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.80 m

Channel Slope: 0.0200

Channel Manning's n: 0.0300

Channel Invert Elevation: 617.30 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM19**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.80 m

Crest Elevation: 629.41 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 30.01 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 327.014 cfs

Maximum Flow: 327.014 cfs

**Table 55 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM20**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM20 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
601.74	0.00	0.00	0.00	1
602.16	0.93	0.93	0.00	1
602.34	1.85	1.57	0.28	7
602.40	2.78	1.83	0.95	5
602.45	3.70	2.04	1.66	5
602.50	4.63	2.24	2.39	4
602.54	5.56	2.42	3.13	4
602.58	6.48	2.60	3.88	4
602.62	7.41	2.77	4.64	4
602.65	8.33	2.93	5.40	3
602.68	9.26	3.09	6.16	3
602.29	1.38	1.38	0.00	Overtopping

**Table 56 - Culvert Summary Table: L3\_TM20**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	601.74	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.93	0.93	602.16	0.422	0.277	1-S2n	0.000	0.280	0.113	0.094	4.088	4.911
1.85	1.57	602.34	0.601	0.286	1-S2n	0.000	0.398	0.144	0.146	5.458	6.362
2.78	1.83	602.40	0.664	0.291	1-S2n	0.000	0.440	0.156	0.188	5.854	7.372
3.70	2.04	602.45	0.715	0.296	1-S2n	0.000	0.473	0.166	0.227	6.146	8.167
4.63	2.24	602.50	0.759	0.301	1-S2n	0.000	0.503	0.176	0.262	6.368	8.828
5.56	2.42	602.54	0.800	0.306	1-S2n	0.000	0.530	0.184	0.296	6.571	9.398
6.48	2.60	602.58	0.839	0.311	1-S2n	0.000	0.556	0.192	0.327	6.768	9.898
7.41	2.77	602.62	0.875	0.316	1-S2n	0.000	0.580	0.200	0.358	6.909	10.347
8.33	2.93	602.65	0.909	0.321	1-S2n	0.000	0.602	0.208	0.387	7.056	10.754
9.26	3.09	602.68	0.942	0.327	1-S2n	0.000	0.624	0.215	0.416	7.184	11.124

\*\*\*\*\*  
Double Broken-back Culvert  
Inlet Elevation (invert): 601.74 m  
Upper Break Elevation (invert): 601.41 m  
Lower Break Elevation (invert): 597.69 m  
Culvert Length: 37.91 m  
Upper Culvert Section Slope: 0.0215  
Steep Culvert Section Slope: 1.1273  
Runout Culvert Section Slope: 0.0205  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM20**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 601.74 m  
Upper Break Station: 15.35 m  
Upper Break Elevation: 601.41 m  
Lower Break Station: 18.65 m  
Lower Break Elevation: 597.69 m  
Outlet Station: 37.65 m  
Outlet Elevation: 597.30 m  
Number of Barrels: 1

## **Culvert Data Summary - L3\_TM20**

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 2000.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Upper & Middle Section Material: Concrete

Lower Section Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Upper & Middle Section Manning's n: 0.0120

Lower Section Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Double Broken-back

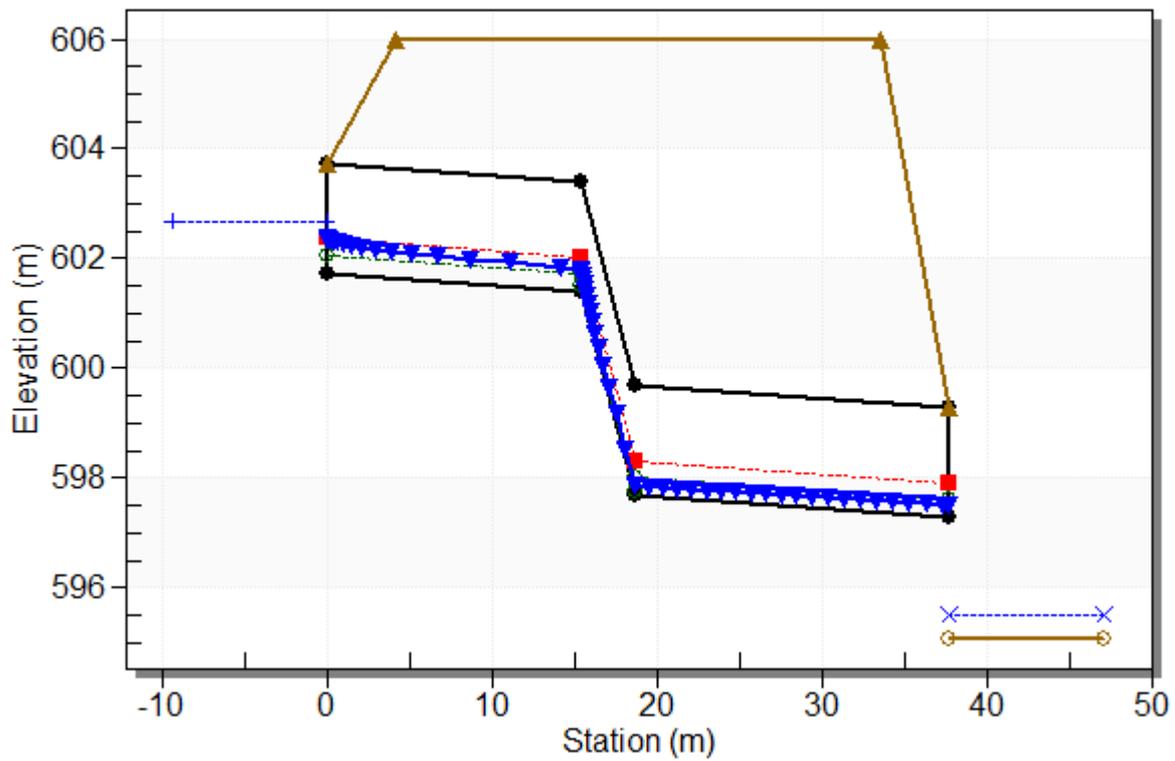
Inlet Configuration: Square Edge (0° flare) Wingwall

Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM20

Crossing - L3\_TM20, Design Discharge - 9.26 cms

Culvert - L3\_TM20, Culvert Discharge - 3.09 cms



**Table 57 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM20)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	595.09	0.00	0.00	0.00	0.00
0.93	595.18	0.09	4.91	526.76	5.11
1.85	595.24	0.15	6.36	813.23	5.32
2.78	595.28	0.19	7.37	1052.73	5.42
3.70	595.32	0.23	8.17	1267.04	5.47
4.63	595.35	0.26	8.83	1465.15	5.50
5.56	595.39	0.30	9.40	1651.57	5.52
6.48	595.42	0.33	9.90	1829.55	5.52
7.41	595.45	0.36	10.35	2000.05	5.52
8.33	595.48	0.39	10.75	2165.04	5.51
9.26	595.51	0.42	11.12	2325.48	5.50

**Tailwater Channel Data - L3\_TM20**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.5700

Channel Manning's n: 0.0300

Channel Invert Elevation: 595.09 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM20**

Roadway Profile Shape: Irregular Roadway Shape (coordinates)

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 29.35 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 222.129 cfs

Maximum Flow: 222.129 cfs

**Table 58 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM22**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM22 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
553.57	0.00	0.00	0.00	1
553.94	0.63	0.63	0.00	1
554.15	1.26	1.26	0.00	1
554.33	1.89	1.89	0.00	1
554.49	2.52	2.52	0.00	1
554.64	3.15	3.15	0.00	1
554.77	3.77	3.77	0.00	1
554.90	4.40	4.40	0.00	1
555.02	5.03	5.03	0.00	1
555.14	5.66	5.66	0.00	1
555.25	6.29	6.29	0.00	1
557.29	16.23	16.23	0.00	Overtopping

**Table 59 - Culvert Summary Table: L3\_TM22**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	553.57	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.63	0.63	553.94	0.365	0.0*	1-S2n	0.125	0.216	0.125	0.185	2.514	1.704
1.26	1.26	554.15	0.580	0.0*	1-S2n	0.196	0.343	0.207	0.289	3.034	2.173
1.89	1.89	554.33	0.760	0.0*	1-S2n	0.256	0.449	0.278	0.379	3.395	2.487
2.52	2.52	554.49	0.920	0.020	1-S2n	0.309	0.544	0.342	0.461	3.682	2.727
3.15	3.15	554.64	1.067	0.127	1-S2n	0.359	0.632	0.402	0.538	3.911	2.921
3.77	3.77	554.77	1.201	0.233	1-S2n	0.406	0.713	0.462	0.612	4.089	3.084
4.40	4.40	554.90	1.329	0.339	1-S2n	0.451	0.790	0.518	0.683	4.249	3.224
5.03	5.03	555.02	1.450	0.446	1-S2n	0.494	0.864	0.573	0.752	4.388	3.347
5.66	5.66	555.14	1.567	0.555	1-S2n	0.537	0.935	0.628	0.819	4.510	3.456
6.29	6.29	555.25	1.681	0.665	1-S2n	0.578	1.003	0.680	0.885	4.623	3.554

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 553.57 m, Outlet Elevation (invert): 553.01 m  
Culvert Length: 37.20 m, Culvert Slope: 0.0151  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM22**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 553.57 m  
Outlet Station: 37.20 m  
Outlet Elevation: 553.01 m  
Number of Barrels: 1

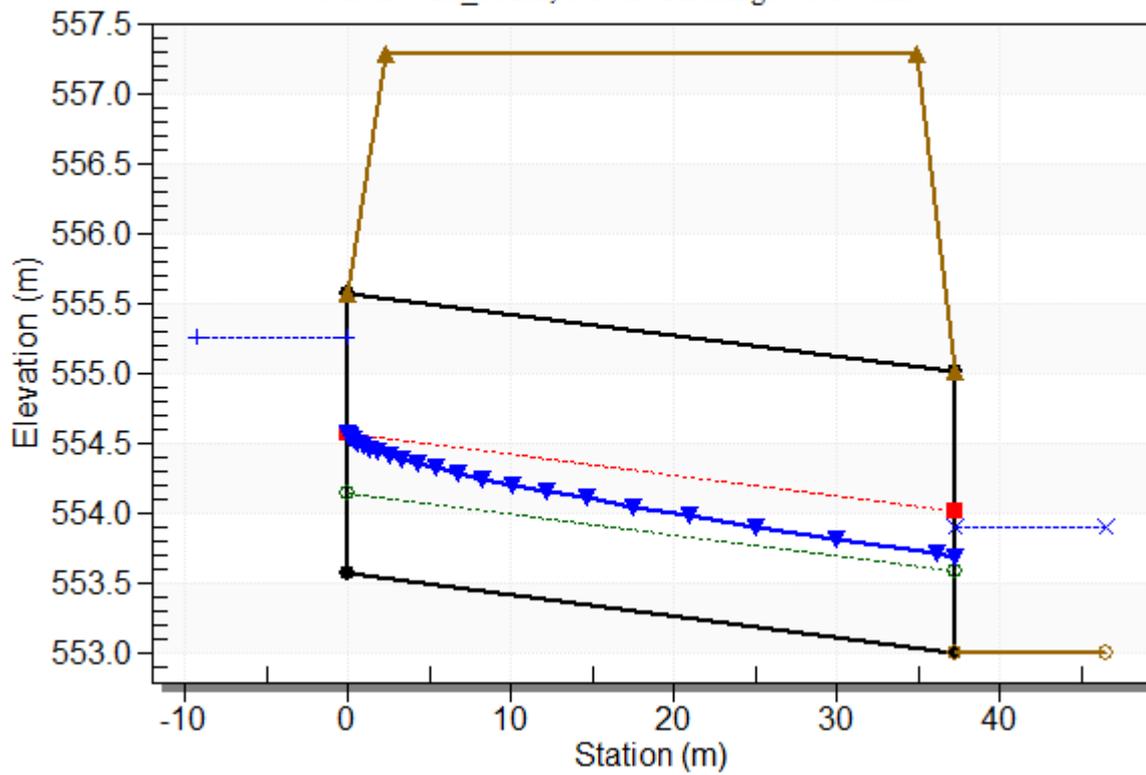
**Culvert Data Summary - L3\_TM22**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM22

Crossing - L3\_TM22, Design Discharge - 6.29 cms

Culvert - L3\_TM22, Culvert Discharge - 6.29 cms



**Table 60 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM22)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	553.01	0.00	0.00	0.00	0.00
0.63	553.19	0.18	1.70	18.09	1.27
1.26	553.30	0.29	2.17	28.38	1.29
1.89	553.39	0.38	2.49	37.18	1.29
2.52	553.47	0.46	2.73	45.21	1.28
3.15	553.55	0.54	2.92	52.76	1.27
3.77	553.62	0.61	3.08	59.98	1.26
4.40	553.69	0.68	3.22	66.93	1.25
5.03	553.76	0.75	3.35	73.69	1.23
5.66	553.83	0.82	3.46	80.28	1.22
6.29	553.90	0.89	3.55	86.75	1.21

**Tailwater Channel Data - L3\_TM22**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0100

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 553.01 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM22**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 557.29 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 32.61 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 300.528 cfs

Maximum Flow: 300.528 cfs

**Table 61 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM23**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM23 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
536.90	0.00	0.00	0.00	1
537.34	0.85	0.85	0.00	1
537.61	1.70	1.70	0.00	1
537.82	2.55	2.55	0.00	1
538.02	3.40	3.40	0.00	1
538.19	4.26	4.26	0.00	1
538.36	5.11	5.11	0.00	1
538.52	5.96	5.96	0.00	1
538.67	6.81	6.81	0.00	1
538.82	7.66	7.66	0.00	1
538.97	8.51	8.51	0.00	1
540.92	17.33	17.33	0.00	Overtopping

**Table 62 - Culvert Summary Table: L3\_TM23**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	536.90	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.85	0.85	537.34	0.445	0.0*	1-S2n	0.139	0.264	0.146	0.224	2.906	1.897
1.70	1.70	537.61	0.706	0.0*	1-S2n	0.218	0.419	0.236	0.354	3.609	2.405
2.55	2.55	537.82	0.925	0.0*	1-S2n	0.284	0.550	0.317	0.466	4.029	2.740
3.40	3.40	538.02	1.118	0.0*	1-S2n	0.344	0.666	0.392	0.569	4.342	2.991
4.26	4.26	538.19	1.295	0.124	1-S2n	0.400	0.773	0.465	0.666	4.572	3.193
5.11	5.11	538.36	1.460	0.269	1-S2n	0.453	0.872	0.535	0.760	4.768	3.360
5.96	5.96	538.52	1.616	0.416	1-S2n	0.504	0.967	0.604	0.850	4.935	3.503
6.81	6.81	538.67	1.768	0.568	1-S2n	0.553	1.057	0.670	0.939	5.081	3.627
7.66	7.66	538.82	1.918	0.723	1-S2n	0.601	1.143	0.734	1.025	5.215	3.736
8.51	8.51	538.97	2.067	0.884	5-S2n	0.648	1.226	0.797	1.110	5.336	3.833

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 536.90 m, Outlet Elevation (invert): 536.15 m  
Culvert Length: 37.61 m, Culvert Slope: 0.0199  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM23**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 536.90 m  
Outlet Station: 37.60 m  
Outlet Elevation: 536.15 m  
Number of Barrels: 1

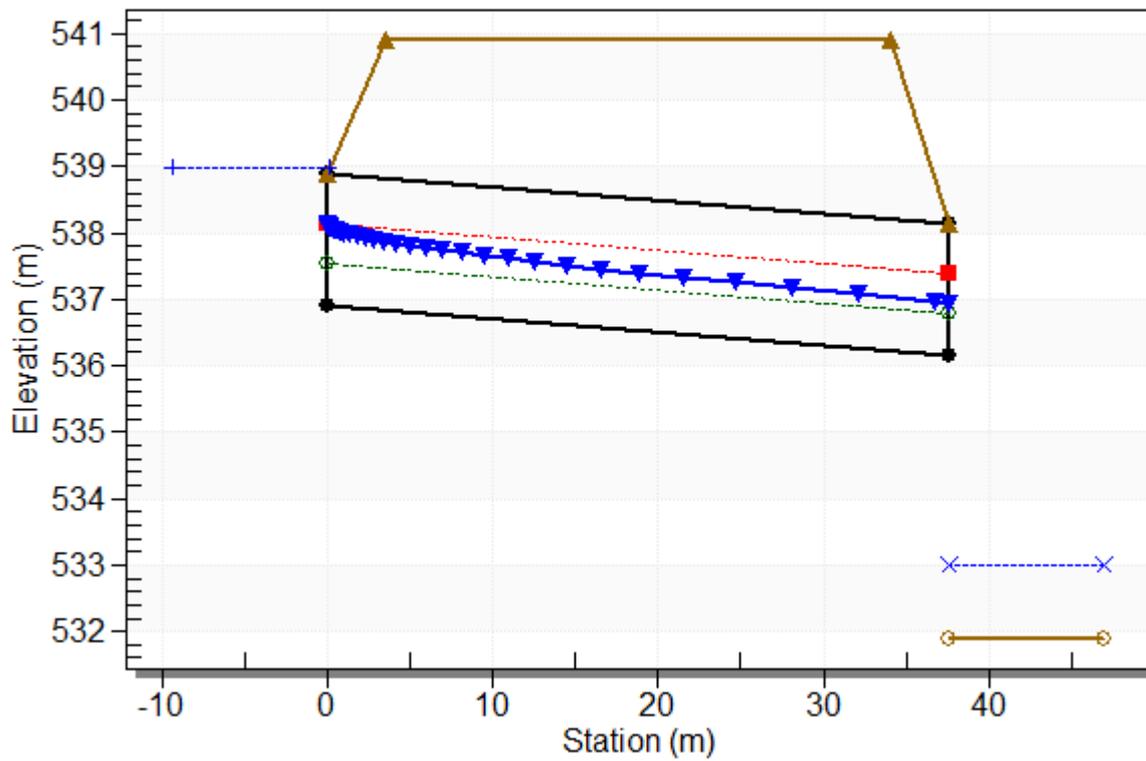
**Culvert Data Summary - L3\_TM23**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM23

Crossing - L3\_TM23, Design Discharge - 8.51 cms

Culvert - L3\_TM23, Culvert Discharge - 8.51 cms



**Table 63 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM23)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	531.90	0.00	0.00	0.00	0.00
0.85	532.12	0.22	1.90	21.98	1.28
1.70	532.25	0.35	2.40	34.69	1.29
2.55	532.37	0.47	2.74	45.67	1.28
3.40	532.47	0.57	2.99	55.77	1.27
4.26	532.57	0.67	3.19	65.32	1.25
5.11	532.66	0.76	3.36	74.47	1.23
5.96	532.75	0.85	3.50	83.34	1.21
6.81	532.84	0.94	3.63	91.99	1.20
7.66	532.92	1.02	3.74	100.47	1.18
8.51	533.01	1.11	3.83	108.80	1.16

**Tailwater Channel Data - L3\_TM23**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0100

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 531.90 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM23**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 540.92 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 30.55 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 278.633 cfs

Maximum Flow: 278.633 cfs

**Table 64 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM24**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM24 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
495.09	0.00	0.00	0.00	1
495.51	0.79	0.79	0.00	1
495.76	1.58	1.58	0.00	1
495.97	2.37	2.37	0.00	1
496.15	3.16	3.16	0.00	1
496.32	3.94	3.94	0.00	1
496.48	4.73	4.73	0.00	1
496.63	5.52	5.52	0.00	1
496.77	6.31	6.31	0.00	1
496.91	7.10	7.10	0.00	1
497.05	7.89	7.89	0.00	1
505.36	31.50	31.50	0.00	Overtopping

**Table 65 - Culvert Summary Table: L3\_TM24**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	495.09	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.79	0.79	495.51	0.423	0.0*	1-S2n	0.133	0.251	0.137	0.214	2.878	1.847
1.58	1.58	495.76	0.671	0.0*	1-S2n	0.209	0.399	0.209	0.336	3.776	2.345
2.37	2.37	495.97	0.880	0.0*	1-S2n	0.272	0.523	0.272	0.442	4.352	2.675
3.16	3.16	496.15	1.065	0.0*	1-S2n	0.329	0.633	0.329	0.540	4.794	2.924
3.94	3.94	496.32	1.232	0.0*	1-S2n	0.383	0.735	0.383	0.631	5.156	3.124
4.73	4.73	496.48	1.389	0.0*	1-S2n	0.433	0.830	0.456	0.719	5.185	3.291
5.52	5.52	496.63	1.538	0.0*	1-S2n	0.482	0.919	0.508	0.804	5.434	3.433
6.31	6.31	496.77	1.681	0.0*	1-S2n	0.529	1.005	0.562	0.887	5.618	3.557
7.10	7.10	496.91	1.820	0.0*	1-S2n	0.574	1.087	0.613	0.968	5.789	3.666
7.89	7.89	497.05	1.959	0.0*	1-S2n	0.619	1.166	0.664	1.048	5.945	3.764

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 495.09 m, Outlet Elevation (invert): 492.91 m  
Culvert Length: 111.65 m, Culvert Slope: 0.0195  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM24**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 495.09 m  
Outlet Station: 111.63 m  
Outlet Elevation: 492.91 m  
Number of Barrels: 1

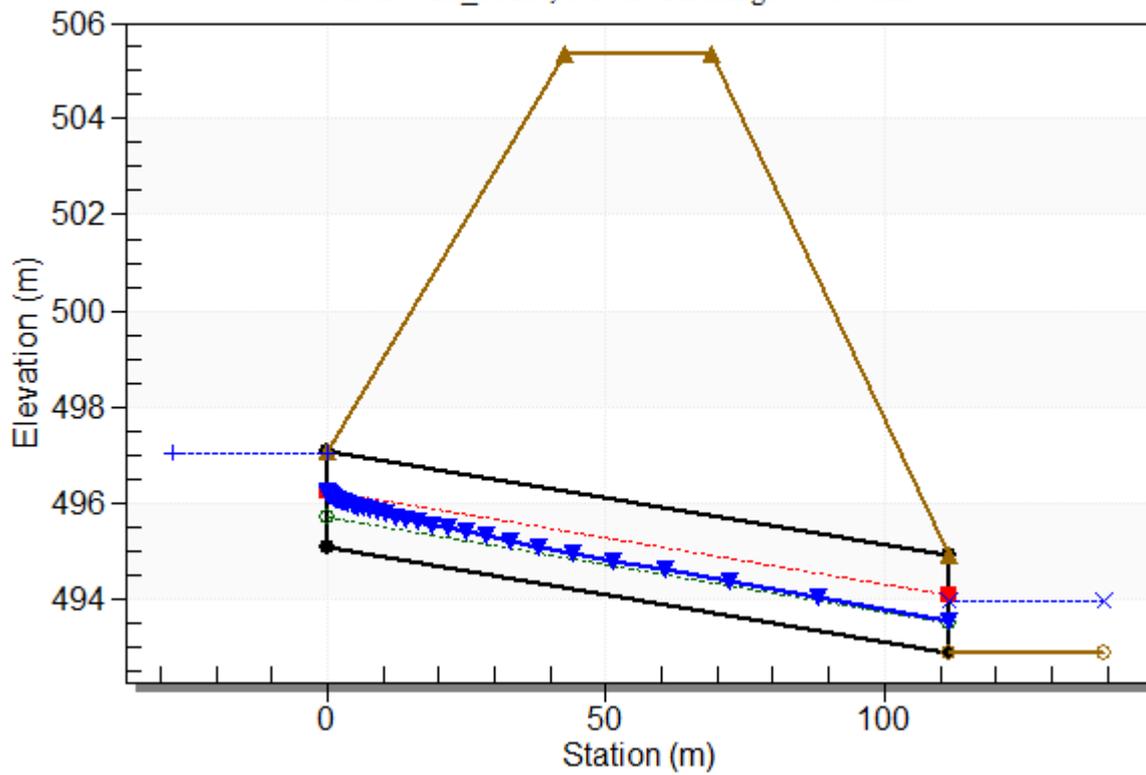
**Culvert Data Summary - L3\_TM24**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM24

Crossing - L3\_TM24, Design Discharge - 7.89 cms

Culvert - L3\_TM24, Culvert Discharge - 7.89 cms



**Table 66 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM24)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	492.91	0.00	0.00	0.00	0.00
0.79	493.12	0.21	1.85	20.94	1.28
1.58	493.25	0.34	2.35	32.97	1.29
2.37	493.35	0.44	2.68	43.36	1.28
3.16	493.45	0.54	2.92	52.89	1.27
3.94	493.54	0.63	3.12	61.89	1.25
4.73	493.63	0.72	3.29	70.51	1.24
5.52	493.71	0.80	3.43	78.85	1.22
6.31	493.80	0.89	3.56	86.98	1.21
7.10	493.88	0.97	3.67	94.93	1.19
7.89	493.96	1.05	3.76	102.74	1.17

### **Tailwater Channel Data - L3\_TM24**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0100

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 492.91 m

### **Roadway Data for Crossing: L3\_TM24**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 505.36 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 26.37 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 246.496 cfs

Maximum Flow: 246.496 cfs

**Table 67 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM25**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM25 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
455.48	0.00	0.00	0.00	1
455.88	0.70	0.70	0.00	1
456.11	1.40	1.40	0.00	1
456.30	2.09	2.09	0.00	1
456.48	2.79	2.79	0.00	1
456.63	3.49	3.49	0.00	1
456.78	4.19	4.19	0.00	1
456.91	4.89	4.89	0.00	1
457.04	5.58	5.58	0.00	1
457.17	6.28	6.28	0.00	1
457.29	6.98	6.98	0.00	1
461.21	21.86	21.86	0.00	Overtopping

**Table 68 - Culvert Summary Table: L3\_TM25**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	455.48	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.70	0.70	455.88	0.396	0.0*	1-S2n	0.190	0.232	0.197	0.247	1.774	1.413
1.40	1.40	456.11	0.628	0.143	1-S2n	0.299	0.368	0.308	0.391	2.263	1.785
2.09	2.09	456.30	0.823	0.282	1-S2n	0.393	0.482	0.406	0.516	2.576	2.028
2.79	2.79	456.48	0.997	0.418	1-S2n	0.478	0.583	0.496	0.632	2.817	2.210
3.49	3.49	456.63	1.151	0.553	1-S2n	0.559	0.677	0.580	0.741	3.009	2.354
4.19	4.19	456.78	1.296	0.691	1-S2n	0.636	0.764	0.661	0.847	3.170	2.473
4.89	4.89	456.91	1.433	0.830	1-S2n	0.710	0.847	0.738	0.949	3.310	2.574
5.58	5.58	457.04	1.563	0.974	1-S2n	0.782	0.926	0.813	1.049	3.433	2.662
6.28	6.28	457.17	1.690	1.121	1-JS1t	0.853	1.002	1.147	1.147	2.739	2.739
6.98	6.98	457.29	1.813	1.272	1-JS1t	0.922	1.075	1.243	1.243	2.807	2.807

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 455.48 m, Outlet Elevation (invert): 455.22 m  
Culvert Length: 51.02 m, Culvert Slope: 0.0051  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM25**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 455.48 m  
Outlet Station: 51.02 m  
Outlet Elevation: 455.22 m  
Number of Barrels: 1

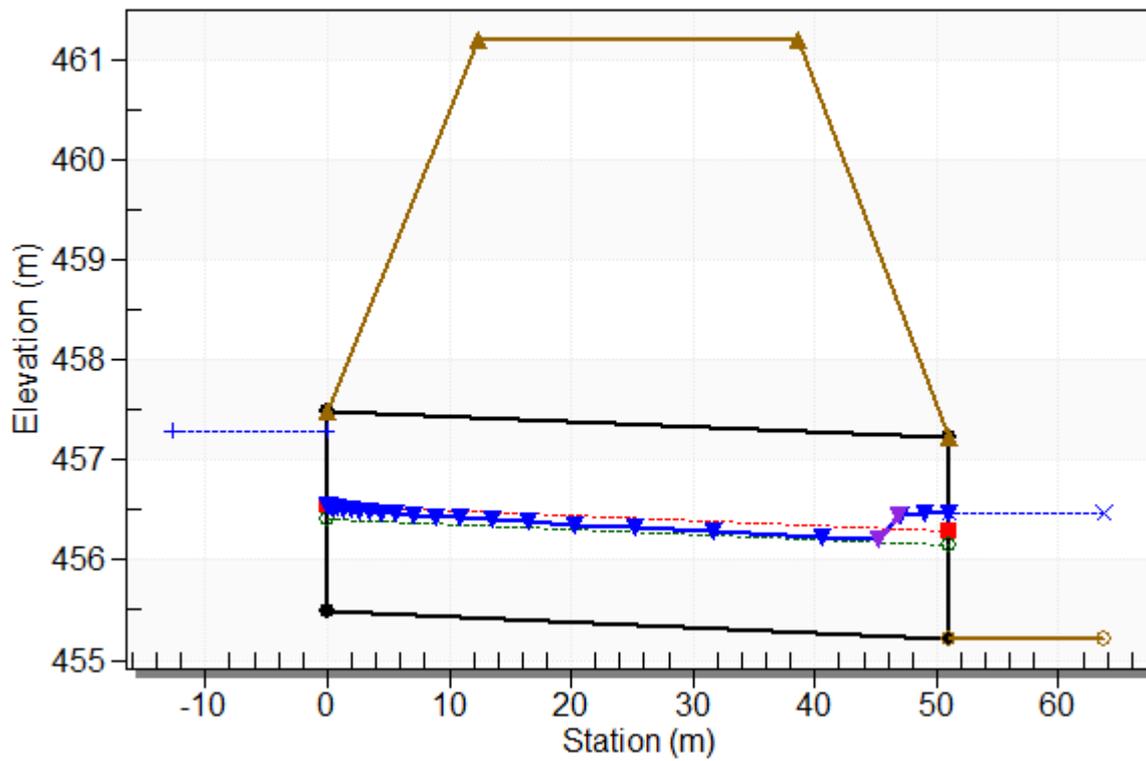
**Culvert Data Summary - L3\_TM25**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM25

Crossing - L3\_TM25, Design Discharge - 6.98 cms

Culvert - L3\_TM25, Culvert Discharge - 6.98 cms



**Table 69 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM25)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	455.22	0.00	0.00	0.00	0.00
0.70	455.47	0.25	1.41	12.10	0.91
1.40	455.61	0.39	1.78	19.17	0.91
2.09	455.74	0.52	2.03	25.30	0.90
2.79	455.85	0.63	2.21	30.96	0.89
3.49	455.96	0.74	2.35	36.33	0.87
4.19	456.07	0.85	2.47	41.49	0.86
4.89	456.17	0.95	2.57	46.51	0.84
5.58	456.27	1.05	2.66	51.41	0.83
6.28	456.37	1.15	2.74	56.21	0.82
6.98	456.46	1.24	2.81	60.94	0.80

### **Tailwater Channel Data - L3\_TM25**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.0050

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 455.22 m

### **Roadway Data for Crossing: L3\_TM25**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 461.21 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 26.40 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 330.898 cfs

Maximum Flow: 330.898 cfs

**Table 70 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM26**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM26 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
434.52	0.00	0.00	0.00	1
435.00	0.94	0.94	0.00	1
435.28	1.87	1.87	0.00	1
435.52	2.81	2.81	0.00	1
435.73	3.75	3.75	0.00	1
435.91	4.68	4.68	0.00	1
436.09	5.62	5.62	0.00	1
436.26	6.56	6.56	0.00	1
436.42	7.50	7.50	0.00	1
436.59	8.43	8.43	0.00	1
436.76	9.37	9.37	0.00	1
439.22	19.49	19.49	0.00	Overtopping

**Table 71 - Culvert Summary Table: L3\_TM26**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	434.52	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.94	0.94	435.00	0.481	0.057	1-S2n	0.229	0.282	0.237	0.087	1.980	5.366
1.87	1.87	435.28	0.764	0.238	1-S2n	0.363	0.447	0.376	0.135	2.495	6.959
2.81	2.81	435.52	1.002	0.402	1-S2n	0.479	0.586	0.498	0.174	2.825	8.073
3.75	3.75	435.73	1.206	0.561	1-S2n	0.585	0.710	0.610	0.209	3.074	8.952
4.68	4.68	435.91	1.394	0.721	1-S2n	0.686	0.824	0.716	0.242	3.272	9.684
5.62	5.62	436.09	1.570	0.883	1-S2n	0.783	0.930	0.817	0.273	3.440	10.315
6.56	6.56	436.26	1.739	1.050	1-S2n	0.877	1.031	0.915	0.302	3.585	10.872
7.50	7.50	436.42	1.904	1.222	1-S2n	0.969	1.127	1.010	0.330	3.712	11.371
8.43	8.43	436.59	2.068	1.400	5-S2n	1.059	1.219	1.102	0.357	3.826	11.825
9.37	9.37	436.76	2.235	1.585	5-S2n	1.147	1.308	1.192	0.383	3.929	12.241

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 434.52 m, Outlet Elevation (invert): 434.29 m  
Culvert Length: 44.65 m, Culvert Slope: 0.0052  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM26**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 434.52 m  
Outlet Station: 44.65 m  
Outlet Elevation: 434.29 m  
Number of Barrels: 1

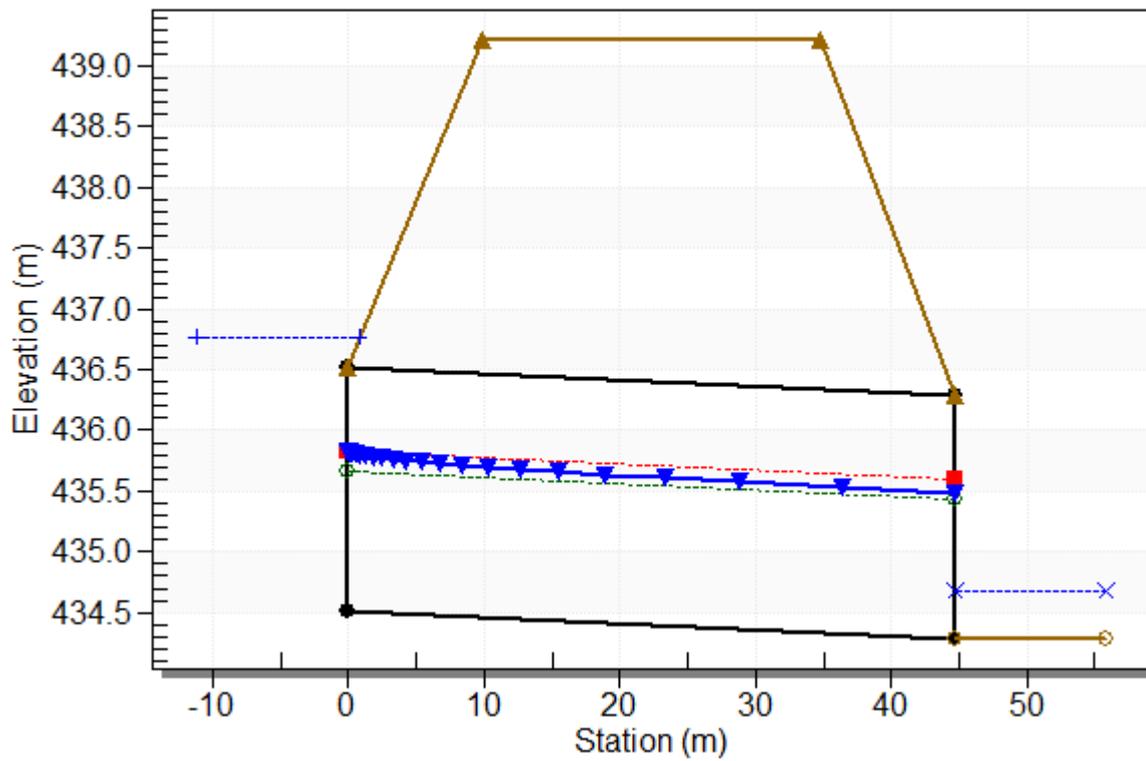
**Culvert Data Summary - L3\_TM26**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM26

Crossing - L3\_TM26, Design Discharge - 9.37 cms

Culvert - L3\_TM26, Culvert Discharge - 9.37 cms



**Table 72 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM26)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	434.29	0.00	0.00	0.00	0.00
0.94	434.38	0.09	5.37	205.38	5.80
1.87	434.42	0.13	6.96	316.75	6.05
2.81	434.46	0.17	8.07	409.59	6.18
3.75	434.50	0.21	8.95	492.47	6.25
4.68	434.53	0.24	9.68	569.05	6.29
5.62	434.56	0.27	10.31	641.11	6.31
6.56	434.59	0.30	10.87	709.62	6.32
7.50	434.62	0.33	11.37	775.40	6.32
8.43	434.65	0.36	11.83	838.85	6.32
9.37	434.67	0.38	12.24	900.38	6.32

**Tailwater Channel Data - L3\_TM26**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.2400

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 434.29 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM26**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 439.22 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 24.76 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 217.891 cfs

Maximum Flow: 217.891 cfs

**Table 73 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM27**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM27 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
417.53	0.00	0.00	0.00	1
417.89	0.62	0.62	0.00	1
418.10	1.23	1.23	0.00	1
418.28	1.85	1.85	0.00	1
418.43	2.47	2.47	0.00	1
418.58	3.09	3.09	0.00	1
418.71	3.70	3.70	0.00	1
418.84	4.32	4.32	0.00	1
418.96	4.94	4.94	0.00	1
419.07	5.55	5.55	0.00	1
419.18	6.17	6.17	0.00	1
422.13	19.23	19.23	0.00	Overtopping

**Table 74 - Culvert Summary Table: L3\_TM27**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	417.53	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.62	0.62	417.89	0.359	0.0*	1-S2n	0.113	0.213	0.119	0.078	2.593	3.955
1.23	1.23	418.10	0.569	0.0*	1-S2n	0.175	0.339	0.186	0.120	3.309	5.140
1.85	1.85	418.28	0.746	0.0*	1-S2n	0.228	0.444	0.251	0.155	3.686	5.972
2.47	2.47	418.43	0.904	0.0*	1-S2n	0.275	0.537	0.309	0.186	3.995	6.629
3.09	3.09	418.58	1.048	0.0*	1-S2n	0.320	0.624	0.366	0.215	4.217	7.179
3.70	3.70	418.71	1.181	0.080	1-S2n	0.361	0.704	0.421	0.242	4.398	7.654
4.32	4.32	418.84	1.307	0.184	1-S2n	0.401	0.780	0.473	0.267	4.561	8.076
4.94	4.94	418.96	1.427	0.288	1-S2n	0.439	0.853	0.525	0.292	4.699	8.452
5.55	5.55	419.07	1.542	0.394	1-S2n	0.476	0.923	0.575	0.316	4.826	8.796
6.17	6.17	419.18	1.654	0.501	1-S2n	0.513	0.990	0.624	0.339	4.942	9.112

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 417.53 m, Outlet Elevation (invert): 416.83 m  
Culvert Length: 34.31 m, Culvert Slope: 0.0204  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM27**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 417.53 m  
Outlet Station: 34.30 m  
Outlet Elevation: 416.83 m  
Number of Barrels: 1

**Culvert Data Summary - L3\_TM27**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None



**Table 75 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM27)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	416.83	0.00	0.00	0.00	0.00
0.62	416.91	0.08	3.95	114.69	4.52
1.23	416.95	0.12	5.14	176.49	4.74
1.85	416.98	0.15	5.97	227.86	4.84
2.47	417.02	0.19	6.63	273.70	4.90
3.09	417.04	0.21	7.18	315.91	4.94
3.70	417.07	0.24	7.65	355.57	4.97
4.32	417.10	0.27	8.08	393.17	4.98
4.94	417.12	0.29	8.45	429.33	4.99
5.55	417.15	0.32	8.80	464.11	5.00
6.17	417.17	0.34	9.11	497.78	5.00

**Tailwater Channel Data - L3\_TM27**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.1500

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 416.83 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM27**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 422.13 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 26.40 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 244.024 cfs

Maximum Flow: 244.024 cfs

**Table 76 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM28**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM28 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
351.62	0.00	0.00	0.00	1
352.00	0.69	0.69	0.00	1
352.23	1.38	1.38	0.00	1
352.42	2.07	2.07	0.00	1
352.59	2.76	2.76	0.00	1
352.74	3.45	3.45	0.00	1
352.88	4.15	4.15	0.00	1
353.01	4.84	4.84	0.00	1
353.14	5.53	5.53	0.00	1
353.27	6.22	6.22	0.00	1
353.40	6.91	6.91	0.00	1
360.85	27.83	27.83	0.00	Overtopping

**Table 77 - Culvert Summary Table: L3\_TM28**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	351.62	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.69	0.69	352.00	0.383	0.0*	1-S2n	0.124	0.230	0.124	0.117	2.781	2.355
1.38	1.38	352.23	0.609	0.0*	1-S2n	0.195	0.365	0.203	0.181	3.397	3.052
2.07	2.07	352.42	0.797	0.0*	1-S2n	0.254	0.478	0.254	0.234	4.086	3.538
2.76	2.76	352.59	0.966	0.0*	1-S2n	0.307	0.579	0.326	0.282	4.244	3.919
3.45	3.45	352.74	1.115	0.0*	1-S2n	0.356	0.672	0.382	0.326	4.525	4.237
4.15	4.15	352.88	1.255	0.0*	1-S2n	0.403	0.759	0.437	0.368	4.748	4.510
4.84	4.84	353.01	1.390	0.0*	1-S2n	0.447	0.842	0.489	0.407	4.942	4.751
5.53	5.53	353.14	1.522	0.0*	1-S2n	0.490	0.920	0.541	0.445	5.107	4.966
6.22	6.22	353.27	1.652	0.023	1-S2n	0.532	0.995	0.593	0.482	5.248	5.162
6.91	6.91	353.40	1.781	0.158	1-S2n	0.573	1.067	0.642	0.518	5.382	5.340

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 351.62 m, Outlet Elevation (invert): 350.38 m  
Culvert Length: 66.71 m, Culvert Slope: 0.0186  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM28**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 351.62 m  
Outlet Station: 66.70 m  
Outlet Elevation: 350.38 m  
Number of Barrels: 1

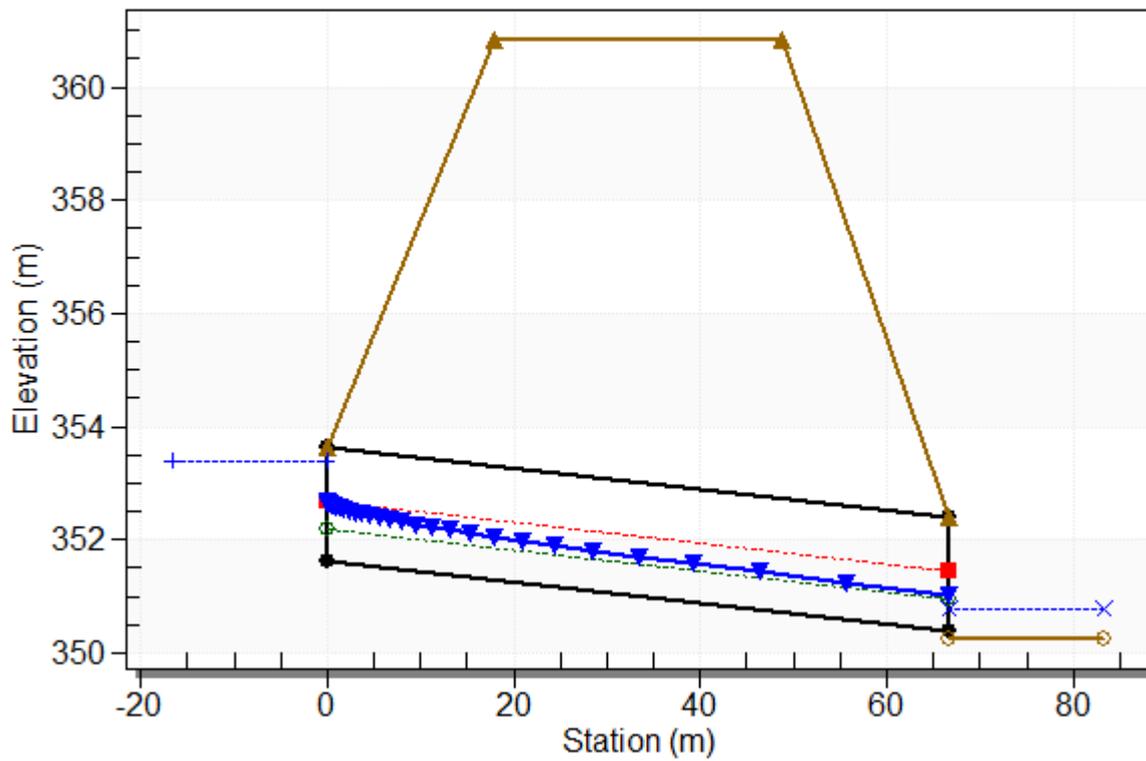
**Culvert Data Summary - L3\_TM28**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (0° flare) Wingwall  
Inlet Depression: None

### Water Surface Profile Plot for Culvert: L3\_TM28

Crossing - L3\_TM28, Design Discharge - 6.91 cms

Culvert - L3\_TM28, Culvert Discharge - 6.91 cms



**Table 78 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM28)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	350.26	0.00	0.00	0.00	0.00
0.69	350.38	0.12	2.36	112.72	2.19
1.38	350.44	0.18	3.05	173.97	2.29
2.07	350.49	0.23	3.54	225.15	2.33
2.76	350.54	0.28	3.92	270.99	2.36
3.45	350.59	0.33	4.24	313.36	2.37
4.15	350.63	0.37	4.51	353.21	2.37
4.84	350.67	0.41	4.75	391.22	2.38
5.53	350.71	0.45	4.97	427.72	2.38
6.22	350.74	0.48	5.16	462.97	2.37
6.91	350.78	0.52	5.34	497.24	2.37

**Tailwater Channel Data - L3\_TM28**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.50 m

Channel Slope: 0.0980

Channel Manning's n: 0.0300

Channel Invert Elevation: 350.26 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM28**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.50 m

Crest Elevation: 360.85 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 30.85 m

## **Crossing Discharge Data**

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 311.122 cfs

Maximum Flow: 311.122 cfs

**Table 79 - Summary of Culvert Flows at Crossing: L3\_TM29**

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	L3_TM29 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
319.98	0.00	0.00	0.00	1
320.44	0.88	0.88	0.00	1
320.71	1.76	1.76	0.00	1
320.94	2.64	2.64	0.00	1
321.13	3.52	3.52	0.00	1
321.31	4.41	4.41	0.00	1
321.48	5.29	5.29	0.00	1
321.64	6.17	6.17	0.00	1
321.80	7.05	7.05	0.00	1
321.95	7.93	7.93	0.00	1
322.11	8.81	8.81	0.00	1
324.35	18.47	18.47	0.00	Overtopping

**Table 80 - Culvert Summary Table: L3\_TM29**

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	319.98	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.88	0.88	320.44	0.460	0.0*	1-S2n	0.177	0.270	0.177	0.073	2.488	6.040
1.76	1.76	320.71	0.730	0.0*	1-S2n	0.278	0.429	0.278	0.112	3.164	7.855
2.64	2.64	320.94	0.956	0.0*	1-S2n	0.365	0.562	0.365	0.145	3.618	9.132
3.52	3.52	321.13	1.154	0.0*	1-S2n	0.444	0.681	0.463	0.174	3.802	10.144
4.41	4.41	321.31	1.334	0.0*	1-S2n	0.518	0.791	0.541	0.200	4.071	10.995
5.29	5.29	321.48	1.503	0.0*	1-S2n	0.589	0.893	0.616	0.225	4.289	11.727
6.17	6.17	321.64	1.664	0.092	1-S2n	0.657	0.989	0.688	0.249	4.484	12.379
7.05	7.05	321.80	1.820	0.270	1-S2n	0.724	1.082	0.760	0.272	4.639	12.964
7.93	7.93	321.95	1.975	0.456	1-S2n	0.788	1.170	0.830	0.294	4.778	13.497
8.81	8.81	322.11	2.130	0.651	5-S2n	0.852	1.255	0.898	0.315	4.905	13.986

\* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

\*\*\*\*\*  
Straight Culvert  
Inlet Elevation (invert): 319.98 m, Outlet Elevation (invert): 318.80 m  
Culvert Length: 117.25 m, Culvert Slope: 0.0101  
\*\*\*\*\*

**Site Data - L3\_TM29**

Site Data Option: Culvert Invert Data  
Inlet Station: 0.00 m  
Inlet Elevation: 319.98 m  
Outlet Station: 117.24 m  
Outlet Elevation: 318.80 m  
Number of Barrels: 1

**Culvert Data Summary - L3\_TM29**

Barrel Shape: Concrete Box  
Barrel Span: 2000.00 mm  
Barrel Rise: 2000.00 mm  
Barrel Material: Concrete  
Embedment: 0.00 mm  
Barrel Manning's n: 0.0120  
Culvert Type: Straight  
Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall  
Inlet Depression: None



**Table 81 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: L3\_TM29)**

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	318.80	0.00	0.00	0.00	0.00
0.88	318.87	0.07	6.04	271.67	7.14
1.76	318.91	0.11	7.85	417.80	7.49
2.64	318.94	0.14	9.13	539.04	7.66
3.52	318.97	0.17	10.14	646.97	7.77
4.41	319.00	0.20	10.99	746.18	7.84
5.29	319.03	0.23	11.73	839.50	7.88
6.17	319.05	0.25	12.38	927.84	7.92
7.05	319.07	0.27	12.96	1012.49	7.94
7.93	319.09	0.29	13.50	1094.12	7.95
8.81	319.11	0.31	13.99	1173.15	7.96

**Tailwater Channel Data - L3\_TM29**

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 2.00 m

Channel Slope: 0.3800

Channel Manning's n: 0.0170

Channel Invert Elevation: 318.80 m

**Roadway Data for Crossing: L3\_TM29**

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 2.00 m

Crest Elevation: 324.35 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 104.50 m