

PNC - PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4, "Investimenti sulla rete stradale statale"

S.S. 685 "delle Tre Valli Umbre": rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 dal km 41+500 al km 51+500. Stralcio di completamento: dal km 41+500 al Km 45+700

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - SIPAL - TECNIC - GDG - ICARIA - AMBIENTE

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Vladimiro Rotisciani
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A376

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglino
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 Prov. di Perugia n° A1373

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Gianluca De Paolis
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1344

IL DEC

Dott. Arch. Lara Eusanio
Ordine degli Architetti P.P.C. della Prov. di L'Aquila n° 859

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott.Ing. N.Granieri
Dott.Ing. V.Truffini
Dott.Ing. T.Berti Nulli
Dott.Arch. A.Bracchini
Dott.Ing. L.Nani
Dott.Ing. E.Bartolucci
Dott.Ing. L.Casavecchia
Dott.Geol. G.Cerquiglino
Dott.Ing. F.Durastanti
Dott.Ing. M.Abram
Dott.Arch. C.Presciutti
Dott. Agr. F.Berti Nulli
Geom. L.Pacioselli

MANDANTI:



Dott. Ing. A. Dipierro
Dott. Ing. S.Terreno
Dott. Ing. A.Comparato



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



Consulting Engineers
Prof. Ing. S.Canale
Dott. Ing. C.Sanna
Dott. Ing. C.Nardi
Dott. Ing. F.Volonnino
Dott. Ing. M.Schinco



società di ingegneria
Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. F.Macchioni
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. V.Piunno



consulenza & ingegneria
esperienza per l'ambiente
Dott. Ing. F.Tamburini
Dott.Arch. J.Zaccagna
Dott.Agr. M.T. Colacresi



03.STUDIO IDROLOGICO IDRA 03.01 IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica e idraulica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00-ID01-IDR-RE01-A			
PG376	F 23	CODICE ELAB.	T00ID01IDRRE01	A	1:10.000
A	Emissione		Ott-23	F.Macchioni	V.Rotisciani N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Relazione idrologica e idraulica

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3.1	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	5
3.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	5
3.3	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO	7
3.3.1	Pericolosità e rischio idraulico	8
4	INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO	10
4.1	IDENTIFICAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI	10
5	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	13
5.1	PREMESSA	13
5.2	ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE INTENSE	13
5.2.1	Metodologia di calcolo.....	13
5.2.2	Calcolo delle curve di possibilità pluviometrica	19
5.2.3	Stima delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all’ora.....	22
5.3	TEMPO DI CORRIVAZIONE E PORTATE DI PROGETTO.....	23
5.4	CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA.....	25
5.5	CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO	30
6	OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO.....	33
6.1	OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO MINORI	33
6.1.1	Il programma HY-8 (Culvert Hydraulic Analysis Program).....	34
6.1.2	Risultati della simulazione.....	37
6.2	OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO MAGGIORI.....	38
6.2.1	Descrizione del modello idraulico	38
6.2.2	Risultati del modello idraulico	42
7	SMALTIMENTO DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA.....	44
7.1	STIMA DELLA PORTATA MASSIMA DI PIOGGIA E DELLE PIOGGE DI PROGETTO	44
7.2	OPERE DI DRENAGGIO DEL CORPO STRADALE.....	45
7.2.1	Sezioni in rilevato.....	45
7.2.2	Sezioni in trincea.....	46
7.2.3	Sezioni in corrispondenza dei muri di sostegno.....	46

Relazione idrologica e idraulica

7.2.4	Sezioni in galleria	47
7.3	VERIFICHE IDRAULICHE DELLE OPERE DI DRENAGGIO	47
7.3.1	Verifica della capacità di deflusso delle caditoie.....	48
8	ALLEGATI MODELLI DI CALCOLO	49

Relazione idrologica e idraulica

1 PREMESSA

Il presente studio idrologico-idraulico si colloca nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica denominato ""S.S. 685 "Delle Tre Valli Umbre" – Rettifica del tracciato e adeguamento alla sezione C2 del Km 41+500 al Km 51+500", costituente il 3° stralcio funzionale che va dal Km 41+500 al Km 45+650.

Il presente elaborato ha per oggetto l'analisi idrologica per la determinazione delle portate di progetto utili allo studio di compatibilità idraulica degli attraversamenti stradali e al dimensionamento del sistema di drenaggio delle acque di piattaforma.

Per la determinazione degli eventi pluviometrici estremi ci si è basato sui dati messi a disposizione dalla regione Umbria. I deflussi conseguenti sono stimati attraverso il metodo razionale.

Nei paragrafi successivi vengono descritti in dettaglio i principali risultati idrologici e le soluzioni tecniche seguite nel progettare le opere di attraversamento, le opere di scolo della sede stradale e le canalizzazioni disposte per intercettare, convogliare ed avviare ai recapiti finali le relative portate originatesi dal complesso delle superfici drenanti.

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. 7 “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”

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

3.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

L'intervento progettuale ricalca quasi sostanzialmente l'attuale tracciato della SS685, sviluppandosi per circa 4.150 m a partire dai pressi di Borgo Cerreto al Km 41+500, proseguendo verso Sud fino al Km 45+650 affiancando per la totalità del tracciato il fiume Nera.

3.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'intervento progettuale si colloca nella Valnerina, una stretta valle che nasce presso i Monti Sibillini nelle Marche e si estende tra le province di Perugia, Terni, Macerata e Rieti ed è attraversata dal fiume Nera, affluente in sinistra idraulica del fiume Tevere.

Il bacino del fiume Nera presenta una superficie totale di 4.311 km². Il bacino è prevalentemente montuoso e presenta la quota media più alta tra i vari bacini umbri (909 m s.l.m.). La quota massima viene raggiunta dal M. Vettore (2.476 m), ma anche le quote degli altri rilievi superano spesso i 1.500 m. È caratterizzato dalla prevalenza di terreni calcarei ad elevata permeabilità e solo su ridotte estensioni (meno del 15% del totale) sono presenti terreni poco permeabili.

Il fiume Nera ha origine nei Monti Sibillini ad una quota di circa 1.800 m s.l.m. e scorre per circa 125 chilometri fino alla sua confluenza con il fiume Tevere nella porzione più meridionale della regione. Nel suo tratto montano riceve i contributi dei suoi affluenti principali: in sinistra idrografica, il fiume Velino e il fiume Corno (lunghezza complessiva 56 Km), che a sua volta riceve le acque del fiume Sordo, in destra idrografica, il torrente Vigi. A valle della confluenza con il fiume Velino, tra gli abitati di Terni e Narni, il fiume Nera scorre in un'ampia conca valliva denominata Conca Ternana, sede di un importante acquifero alluvionale. Più a valle, all'altezza di Narni, solca trasversalmente la struttura carbonatica dei monti di Narni e d'Amelia, incidendo profonde gole (Gole del Nera), per poi confluire nel Tevere dopo aver attraversato un'area valliva di modesta ampiezza. La pendenza media dell'alveo fino alla confluenza con il fiume Velino è di circa l'1%; a valle della confluenza la pendenza media scende a 0,3%. La densità di drenaggio è 1,12 km/km².

Nella parte sud-orientale della porzione umbra del bacino si trova il Lago di Piediluco, che rappresenta il secondo lago della regione per estensione. Lo specchio lacustre, caratterizzato da una forma allungata, occupa una superficie pari a 1.7 km² e ha un perimetro di circa 15 km. La profondità media è di circa 10 metri e massima di 20 metri. In condizioni di massimo invaso, a quota 369 m s.l.m., il lago presenta una capacità di poco superiore a 17 Mm³, che scende a meno di 15 Mm³ alla quota di minimo invaso, 367,5 m s.l.m. Un canale artificiale di circa 400 metri collega il lago con il fiume Velino, che a sua volta confluisce nel fiume Nera dopo un salto di circa 200 metri, la Cascata delle Marmore. Una diga realizzata a monte della cascata, regola il deflusso delle acque del lago verso le centrali idroelettriche. Il lago di Piediluco funziona, pertanto, da bacino di ritenuta, mentre il fiume Velino agisce alternativamente da immissario o da emissario in funzione delle esigenze delle centrali.

Il fiume Nera è interessato lungo il suo corso da alcune importanti derivazioni che ne modificano il deflusso naturale. Le principali sono, nel tratto montano, il Canale del Medio Nera e il Canale Recentino. Il Canale del Medio Nera ha origine a Triponzo nell'Alta Valnerina e dopo un percorso di 42 chilometri sfocia nel Lago di Piediluco, con funzione di derivare verso il Lago, per scopi idroelettrici, parte delle acque del fiume Nera e dei suoi affluenti Corno e Vigi. Con l'apertura del Canale del Medio Nera, nel 1932, il bacino imbrifero naturale del lago è stato ampliato dagli originari 74 km² a 2.097 km². Il Canale Recentino, di lunghezza complessiva pari a circa 8 km, devia parte delle acque del fiume Nera nel tratto di attraversamento della Conca Ternana per andare ad alimentare il lago dell'Aia.

Relazione idrologica e idraulica

Il lago dell’Aia, conosciuto anche come Lago di Narni o Lago di Recentino, è un piccolo invaso artificiale ottenuto dallo sbarramento del torrente omonimo. Posto a quota 110 m s.l.m., presenta un volume di invaso massimo di 2 Mm³.

Nel tratto finale del fiume Nera è stato inoltre realizzato un invaso artificiale a scopi idroelettrici, il Lago di San Liberato, che presenta un volume di massimo invaso pari a circa 6 Mm³.

Per quanto riguarda le acque sotterranee infine, oltre all’acquifero alluvionale della Conca Ternana, il bacino comprende alcuni corpi idrici carbonatici tra i più importanti della regione. Il tratto montano della porzione umbra del bacino è costituito dalla struttura dei Monti della Valnerina sede di risorse idriche sotterranee di grande interesse. La porzione centrale del bacino comprende parte della struttura dei Monti Martani e nella sua parte sud occidentale quella dei Monti di Narni e d’Amelia.

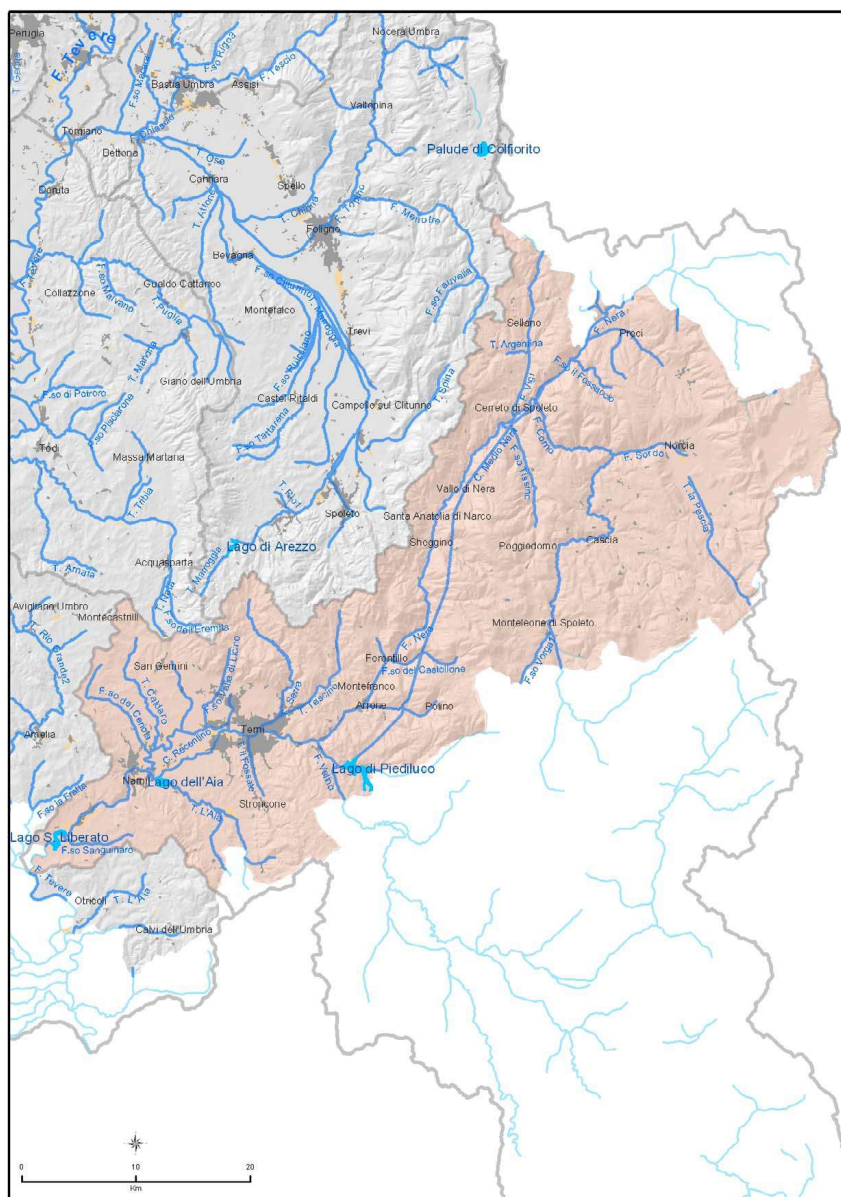


Figura 2-1 – Corografia bacino fiume Nera

Relazione idrologica e idraulica

I corsi d’acqua, seppure non numerosi, presentano una portata scarsamente variabile nel tempo in virtù della forte permeabilità del bacino. Le precipitazioni, spesso sotto forma di neve che normalmente permane per lungo tempo sulle dorsali più alte del bacino, vengono restituite con continuità senza risentire annate particolarmente siccitose. Da quanto detto si può immaginare che i vari corsi d’acqua che compongono il reticolo idrografico del bacino del Nera non subiscono, per quanto riguarda la portata, variazioni di rilievo nelle diverse stagioni. Infatti, il reticolo idrografico del bacino è caratterizzato da corsi d’acqua a regime costante che apportano al fiume Nera il loro contributo di acque fresche e ben ossigenate.

3.3 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

L’area interessata dall’intervento progettuale ricade nell’ambito territoriale di competenza dell’Autorità Distrettuale dell’Appennino Centrale, ex Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT).

L’ABT ha approvato negli scorsi anni diversi piani riguardanti l’assetto idrogeologico della zona in esame. A tal proposito si citano:

- La Prima elaborazione del Progetto del Piano di Bacino del Fiume Tevere, adottato dal Comitato Istituzionale dell’ABT con delibera n. 80 del 28 settembre 1999;
- Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico, adottato con delibera n. 101 dal Comitato Istituzionale dell’ABT nella seduta del 1 agosto 2002 ed approvato con DPCM del 10 Novembre 2006, pubblicato nella G.U. n. 33 del 9 Febbraio 2007 e successivamente sostituito dal 6° stralcio funzionale – P.S. 6 – per l’assetto idrogeologico – PAI – primo aggiornamento, adottato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di bacino del fiume Tevere con deliberazione n. 125 del 18 luglio 2012 ed approvato con DPCM del 10 aprile 2013, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 12 agosto 2013;
- Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico dell’Appennino Centrale, redatto ai sensi della Direttiva Europea 2007/60/CE e del Decreto Legislativo n. 49 del 23 febbraio 2010, adottato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Tevere, costituito ai sensi dell’art. 12, comma 3, della legge n. 182/1989 e integrato dai componenti designati dalle Regioni il cui territorio ricade nel Distretto Idrografico non già rappresentato nel medesimo Comitato, nella seduta del 17 dicembre 2015 ed approvato con DPCM 27 ottobre 2016, pubblicato sulla GU n. 28 del 3 febbraio 2017.

Il PAI si configura come lo strumento di pianificazione territoriale attraverso il quale l’Autorità di Bacino si propone di determinare un assetto territoriale che assicuri condizioni di equilibrio e compatibilità tra le dinamiche idrogeologiche e la crescente antropizzazione del territorio e di ottenere la messa in sicurezza degli insediamenti ed infrastrutture esistenti e lo sviluppo compatibile delle attività future.

Il PAI persegue il miglioramento dell’assetto idrogeologico del bacino attraverso interventi strutturali (a carattere preventivo e per la riduzione del rischio) e disposizioni normative per la corretta gestione del territorio, la prevenzione di nuove situazioni di rischio, l’applicazione di misure di salvaguardia in casi di rischio accertato. Ciò secondo tre linee di attività:

1. il Rischio idraulico (aree inondabili delle piane alluvionali),
2. il Rischio geologico (dissesti di versante e movimenti gravitativi),
3. l’efficienza dei bacini montani in termini di difesa idrogeologica.

Il Piano è stato infatti sviluppato sulle seguenti linee di attività:

- l’individuazione della pericolosità da frana e la perimetrazione delle situazioni di maggior rischio;

Relazione idrologica e idraulica

- l'individuazione della pericolosità e del rischio idraulico con riferimento al reticolo principale, secondario e minore, attraverso la perimetrazione delle aree inondabili per diversi tempi di ritorno e la valutazione del rischio degli elementi esposti;
- la valutazione dell'efficienza idrogeologica dei versanti del bacino, con riferimento a 181 sottobacini considerati come unità territoriali di riferimento;
- l'analisi dei trend delle dinamiche idrogeologiche e dell'antropizzazione del territorio onde individuare le maggiori criticità e delineare le priorità di intervento;
- la definizione di un complesso di interventi a carattere strutturale e normativo.

3.3.1 Pericolosità e rischio idraulico

Il processo di redazione delle mappe di pericolosità e rischio idraulico, secondo quanto descritto nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, viene sintetizzato come segue.

A partire dal reticolo idrografico, su cui era disponibile la definizione delle caratteristiche idrauliche dei fenomeni alluvionali pericolosi, è stata operata una “trasformata omogenea” delle caratteristiche idrauliche. Tale operazione ha condotto a relazionare le porzioni di territorio già definite come fasce di assetto idraulico A, B e C del PAI, comunque interessate da fenomeni di esondazione e riconducibili ai tre scenari definiti dalla Direttiva Alluvioni (evento raro, medio e frequente), a tre livelli di pericolosità omogenei:

- P1 evento riconducibile a tempo di ritorno minore uguale di 50 anni;
- P2 evento riconducibile a tempo di ritorno minore uguale di 200 anni;
- P3 evento riconducibile a tempo di ritorno maggiore di 200 anni.

Per la caratterizzazione degli elementi esposti ai fenomeni che potessero generare Rischio (inteso come prodotto della relazione tra pericolosità e danno potenziale sull'elemento sottoposto agli effetti del fenomeno alluvionale) si è operata una omogeneizzazione delle categorie di “Uso del Suolo”, come derivate dalle carte regionali più aggiornate disponibili.

Tale attività ha dato luogo alle Carte definibili del Danno Potenziale (Da o Db) in cui sono rappresentate, sulla base di una articolata e complessa legenda, le macrocategorie di beni (ambientali o antropici). Il concetto di riferimento è abbastanza chiaro in quanto trattasi di categorie sulle quali si può stimare un effetto omogeneo da parte del fenomeno alluvionale e per le quali, senza operare l'analisi di vulnerabilità del singolo elemento strutturale o ambientale, se ne può derivare la classe di rischio di appartenenza.

L'incrocio matriciale tra Classe di Danno (variabile da 1 a 4 secondo il potenziale effetto direttamente derivato dal tipo di bene classificato) e Classe di Pericolosità determina, secondo la matrice definita dalle linee di indirizzo Ministeriale, la relativa Classe di Rischio compresa tra R1 e R4.

Si riportano le aree di rischio e pericolosità nella zona d'interesse.

Relazione idrologica e idraulica

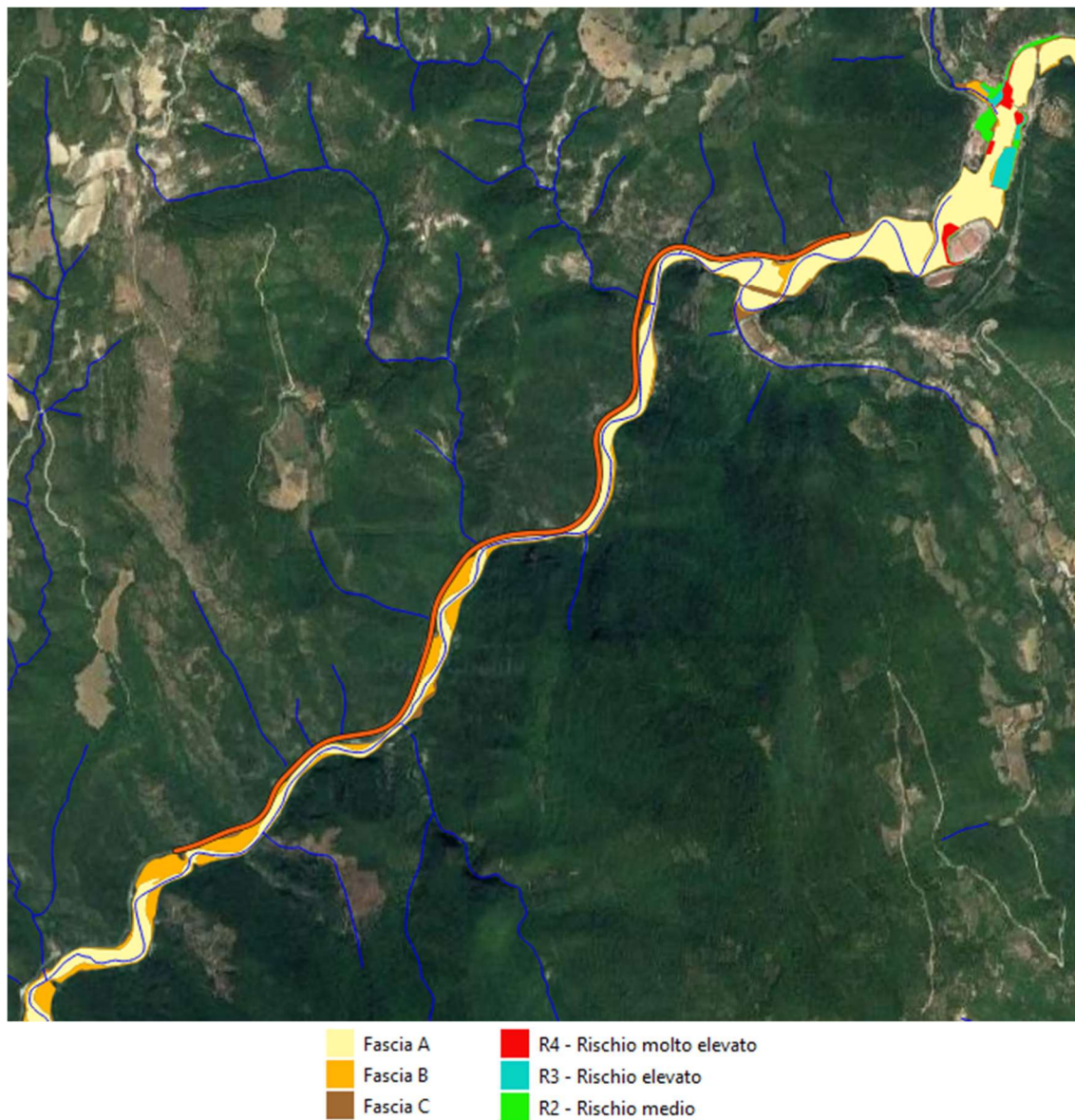


Figura 2-2 – Rischio e pericolosità idraulica

4 INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO

Il tracciato in oggetto della SS685 si sviluppa seguendo il corso del fiume Nera per l'intero tratto di intervento. Inoltre, il tracciato interferisce con alcuni fossi e corsi d'acqua, nella totalità a regime torrentizio, affluenti al fiume Nera stesso. Per risolvere tali interferenze idrauliche sono state previste opere di attraversamento minori, costituite da n° 17 tombini di forma e dimensioni variabili, e opere di attraversamento maggiori costituite da n° 2 ponticelli in corrispondenza dei due corsi d'acqua che presentano portate maggiori.

Per quanto riguarda le interferenze dell'infrastruttura con il fiume Nera, sono state analizzate le cartografie del PAI redatte dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

L'analisi ha permesso di individuare un'interferenza con l'infrastruttura tra le progressive di progetto 4+025 e 4+225, prevalentemente con la fascia C, alla quale corrisponde la piena cinquecentennale (pericolosità P1 – bassa probabilità di accadimento). Il resto dell'infrastruttura viene lambito dalle fasce di esondazione senza mai interferire.

4.1 IDENTIFICAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

Il presente paragrafo si focalizza sulla definizione idrologica dei corsi d'acqua naturali e dei relativi bacini interferenti con il sedime stradale di progetto. Tale indagine risulta finalizzata alla determinazione degli idrogrammi di portata di piena per assegnata sezione di chiusura e periodo di ritorno.

Ai fini della trattazione sviluppata in seguito, si riportano i dati morfometrici dei bacini interferiti dal tracciato in progetto.

Lo studio idrologico è articolato nelle seguenti fasi:

- Analisi dei bacini idrografici interferenti con il tracciato di progetto finalizzata alla determinazione delle relative caratteristiche geomorfologiche (area del bacino, curva ipsografica, lunghezza e pendenza media dell'asta principale, quota massima, minima e media) e dei conseguenti tempi di corrivazione;
- Determinazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica;
- Determinazione delle altezze di pioggia lorde per i bacini di interesse;
- Determinazione delle portate di progetto per tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni.

I bacini idrografici sono individuati utilizzando la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Per la stima dei deflussi lungo i corsi d'acqua oggetto dello studio si è proceduto alla delimitazione dei bacini imbriferi contribuenti ed al calcolo dei parametri fisici fondamentali:

A = superficie del bacino (km²)

L = lunghezza del percorso idraulico più lungo (km)

H_{max} = quota massima (m s.l.m.)

H_{min} = quota minima (m s.l.m.)

H_{med} = quota media (m s.l.m.)

$H_{maxasta}$ = quota massima dell'asta fluviale (m s.l.m.)

i_{med} = pendenza media dell'asta fluviale (%)

Dallo studio è stata riscontrata l'interferenza con 9 corpi idrici, sono quindi stati individuati 9 bacini idrografici principali (indicati con la lettera B) e 10 bacini idrografici secondari (indicati con la lettera S) che tengono conto della canalizzazione delle acque di versante verso le opere di attraversamento idraulico.

Relazione idrologica e idraulica

Sez. di chiusura	Bacini	L asta (m)	Area bacino (kmq)	I media asta (m/m)	H0 (m slm)	Hmax (m slm)	Hmedia (m slm)	Hmax asta (m slm)
1	S1	-	0.20	-	-	-	-	-
2	B1	835.0	0.28	0.56	350.0	900.0	625.0	815.0
3	B2	214.0	0.10	0.82	340.0	805.0	572.5	515.0
4	B3	300.0	0.07	0.67	340.0	730.0	535.0	540.0
5	S2	-	0.11	-	-	-	-	-
6	B4	643.0	0.66	0.51	345.0	935.0	640.0	670.0
7	S3	-	0.05	-	-	-	-	-
8	B5	2948.0	2.07	0.18	340.0	1010.0	675.0	870.0
9	S4	-	0.06	-	-	-	-	-
10	S5	-	0.04	-	-	-	-	-
11	S6	-	0.18	-	-	-	-	-
12	S7	-	0.08	-	-	-	-	-
13	B6	3022.0	1.86	0.16	360.0	1040.0	700.0	845.0
14	S8	-	0.08	-	-	-	-	-
15	B7	484.0	0.20	0.57	355.0	715.0	535.0	630.0
16	S9	-	0.06	-	-	-	-	-
17	S10	-	0.01	-	-	-	-	-
18	B8	490.0	0.12	0.52	365.0	712.0	538.5	620.0
19	B9	280.0	0.09	0.64	360.0	712.0	536.0	540.0

Relazione idrologica e idraulica

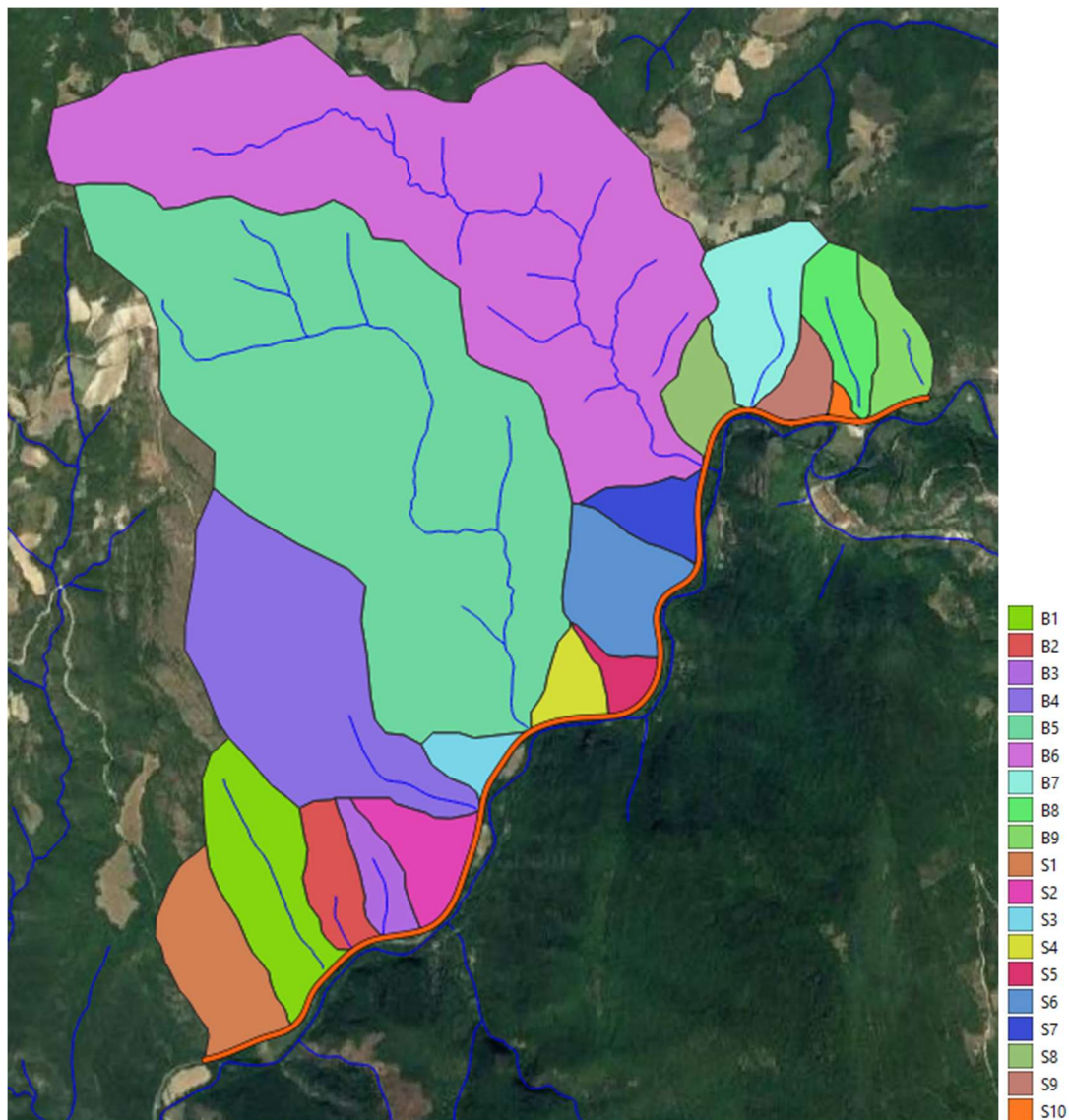


Figura 4-1 – Bacini interferenti con il tracciato di progetto

5 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

5.1 PREMESSA

La definizione delle curve di possibilità pluviometrica relative al territorio di interesse per l’infrastruttura in progetto è eseguita attraverso la procedura regionalizzazione delle piogge intense elaborata per la Regione Umbria.

Nei successivi paragrafi sono riportati gli elementi utili alla definizione delle curve di possibilità climatica secondo ciascuno il metodo adottato, utilizzando una relazione monomia a due parametri del tipo:

$$h = a d^n$$

con h = altezza di precipitazione;
 d = durata;
 a, n = parametri caratteristici della curva.

Tale relazione presenta l’inconveniente di fornire valori di intensità di pioggia tendenti all’infinito per le basse durate. A questa incongruenza si è ovviato considerando per a e n valori diversi per i vari campi di applicazione: un valore per l’intervallo 1-24 ore e un altro per durate inferiori all’ora.

5.2 ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE INTENSE

5.2.1 Metodologia di calcolo

Per la stima delle precipitazioni di progetto si è presa a riferimento lo studio “Revisione della regionalizzazione delle piogge intense mediante analisi della variabilità spazio - temporale delle precipitazioni intense” redatto nel 2019 che aggiorna e implementa lo studio “Analisi delle Precipitazioni Intense in Umbria – Regione Umbria, IRPI, Università degli Studi Perugia e Ordine degli Ingegneri di Perugia” redatto nel 2016.

Il punto di partenza dello studio è costituito dalle curve di probabilità pluviometrica ottenute attraverso l’analisi statistica delle altezze di pioggia massime annuali delle stazioni pluviometriche disponibili al 31 dicembre 2015, laddove la numerosità di questi ultimi lo ha reso possibile (Morbidelli et al., 2016). Le stazioni per le quali è stato effettuato questo tipo di analisi sono 46 e sono ben distribuite sul territorio regionale. Lo studio di regionalizzazione delle precipitazioni analizza in forma congiunta i dati di pioggia delle stazioni pluviometriche valutandone il grado di omogeneità a partire dagli esiti dello studio a scala locale di Morbidelli et al. (2016).

Nello studio sono stati ottenuti i valori di pioggia regionalizzati per i tempi di ritorno (TR) pari a 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anni e durata (D) pari a 1, 3, 6, 12, 24, 48 ore, pubblicati nel sito: <https://servizioidrografico.regione.umbria.it/regionalizzazione>.

Metodo probabilistico utilizzato

La scelta del modello probabilistico regionale per l’area di studio è basata sull’analisi statistica locale sviluppata da Morbidelli et al. (2016) per la regione Umbria, che ha utilizzato la distribuzione della Generalized Extreme Value (GEV) per individuare la legge di possibilità pluviometrica per ciascuna stazione.

Per la scelta della legge di distribuzione GEV, la probabilità di non superamento, $P(x)$, è definita dalla forma:

$$P(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(x-u)}{\sigma} \right]^{(1/k)} \right\}$$

Relazione idrologica e idraulica

con x variabile casuale, k , σ e u parametri della distribuzione che possono essere stimati con diverse tecniche. Il parametro k è un fattore di forma e governa il comportamento della coda della distribuzione, il parametro σ è un fattore di scala e assume valori positivi, mentre il parametro u è un fattore di posizione e assume valori reali. L'analisi regionale consiste nel definire, in riferimento ad una regione omogenea, la variabile casuale $x' = X/m$ ottenuta adimensionalizzando i valori della variabile originaria X costituita da tutte le osservazioni di precipitazione nella regione rispetto ad una grandezza indice m ; il valore della grandezza indice si può inferire dalla media della distribuzione riferita al campione costituito dai valori h_D dei massimi annuali dell'altezza di pioggia di prefissata durata osservati in ciascuna stazione della regione. La tecnica di analisi regionale adottata è basata sull'approccio di Hosking et al. (1985) per la stima regionale dei parametri della distribuzione GEV con un modello di tipo non gerarchico. La procedura non gerarchica si basa sull'individuazione di regioni omogenee dove il coefficiente di variazione e di asimmetria sono pressoché costanti e nelle quali risulta identicamente distribuita la variabile $x' = h_D/m$, di assegnato tempo di ritorno $T = 1/[1-P(x')]$, dove si ribadisce che $P(x')$ è la probabilità di non superamento di x' espresso dalla GEV, h_D rappresenta il massimo annuale dell'altezza di pioggia di prefissata durata riferito ad una stazione pluviometrica interna alla zona omogenea e m la grandezza indice della stazione. In altri termini, il campione regionale x' è ottenuto dall'insieme dei valori x'_i di ciascuna stazione i appartenente alla regione. Possono dunque essere stimati per la $P(x')$, i tre parametri regionali della distribuzione GEV per il campione riferito ad una prefissata durata ottenendo così la possibilità di descrivere la curva di crescita, ovvero il fattore adimensionale, $K_D(T)$, che esprime la variazione dell'altezza di precipitazione di durata D in funzione del tempo di ritorno T .

Una volta definita la curva di crescita $K_D(T)$ ed una relazione che permetta il calcolo della grandezza indice m , la stima della variabile di assegnato tempo di ritorno, $h_D K_D(T)$, per il sito j , risulta esprimibile mediante il prodotto:

$$h_j(D, T) = m_{j,D} K_D(T)$$

in cui $m_{j,D}$, è la grandezza indice relativa al sito di interesse e per la durata D considerata, e $K_D(T)$ è la curva di crescita della regione omogenea a cui il sito appartiene. La grandezza indice $m_{j,D}$, viene stimata sulla base di una analisi spaziale della media dei valori massimi annuali dell'altezza di precipitazione di durata D registrati in ciascuna stazione dell'area omogenea e che coincide con la media della distribuzione.

Da un punto di vista operativo, per ogni durata D di precipitazione la regionalizzazione GEV di tipo non gerarchico prevede i seguenti passi:

- identificazione di zone omogenee mediante l'analisi del coefficiente di variazione e di asimmetria;
- calcolo della grandezza indice come media campionaria dei dati relativi a ciascuna stazione pluviometrica;
- normalizzazione del campione di ogni stazione, i cui valori sono divisi per la corrispondente media;
- regolarizzazione del campione composto dai dati normalizzati di tutte le stazioni comprese nella medesima zona omogenea, mediante una opportuna distribuzione di probabilità, e individuazione della corrispondente curva di crescita;
- verifica a posteriori dell'omogeneità delle zone precedentemente identificate mediante test

Analisi regionalizzata con modello GEV non gerarchico

Per la regionalizzazione delle piogge intense sono stati utilizzati i dati di pioggia osservati, registrati per la maggior parte delle stazioni con intervallo temporale di 1 minuto dal 1992 al 2015. I dati sono stati aggregati su diversi intervalli temporali al fine di estrarre i valori massimi annuali di pioggia relativamente alle durate (D) di 1, 3, 6, 12, 24, 36 e 48 ore.

Relazione idrologica e idraulica

La distribuzione spaziale delle stazioni e il relativo valore medio delle altezze di pioggia massime annuali di durata pari a 24 ore ad una risoluzione di 1 km sono rappresentate nella figura seguente.

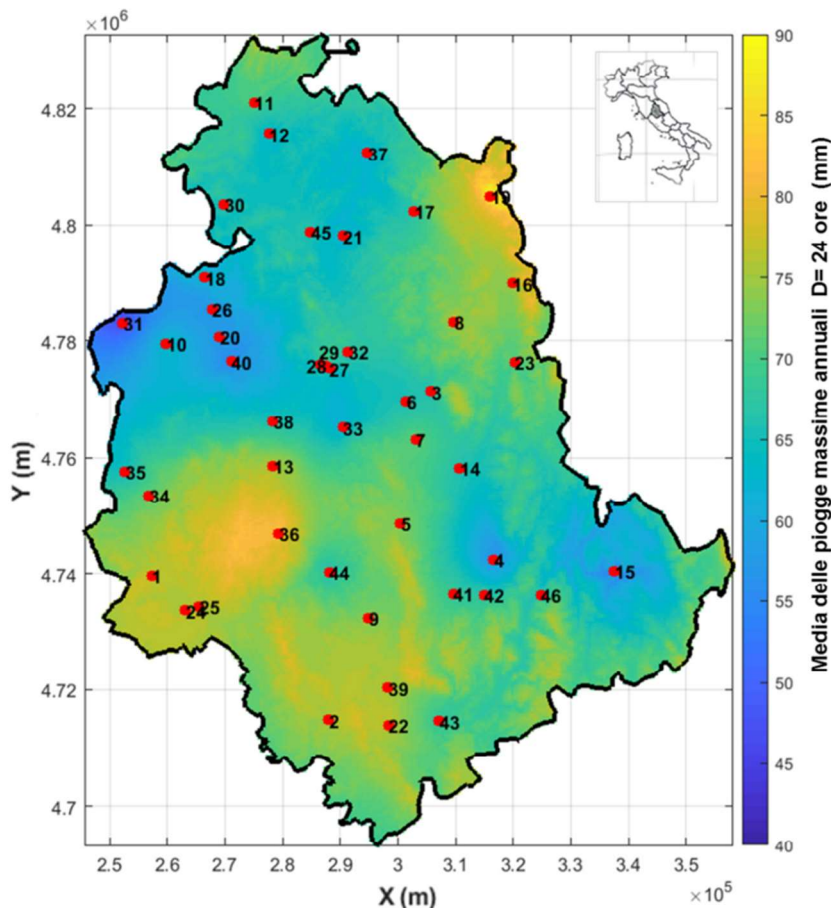


Figura 5-1 - Media delle piogge massime annuali di durata pari a 24 ore nella Regione Umbria. I punti rossi indicano la posizione delle stazioni indicizzate

Individuazione zone omogenee e determinazione fattori di crescita

L'ipotesi di regionalizzazione è basata sull'individuazione delle zone omogenee dove risulta costante il coefficiente di variazione e di asimmetria e identicamente distribuita la variabile $x'=h/m$ che comporta la costanza sia del coefficiente di variazione che del coefficiente di asimmetria, per le piogge di diversa durata. Le analisi condotte hanno suggerito che l'intera regione Umbria non potesse essere classificata come regione omogenea e che fosse opportuno delimitare aree differenti dove il coefficiente di variazione e di asimmetria fossero analoghi. Ai fini quindi della regionalizzazione sono state individuate due regioni omogenee, indicate di seguito come Zona 1 e Zona 2, in cui i valori dei coefficienti risultano abbastanza omogenei.

Relazione idrologica e idraulica

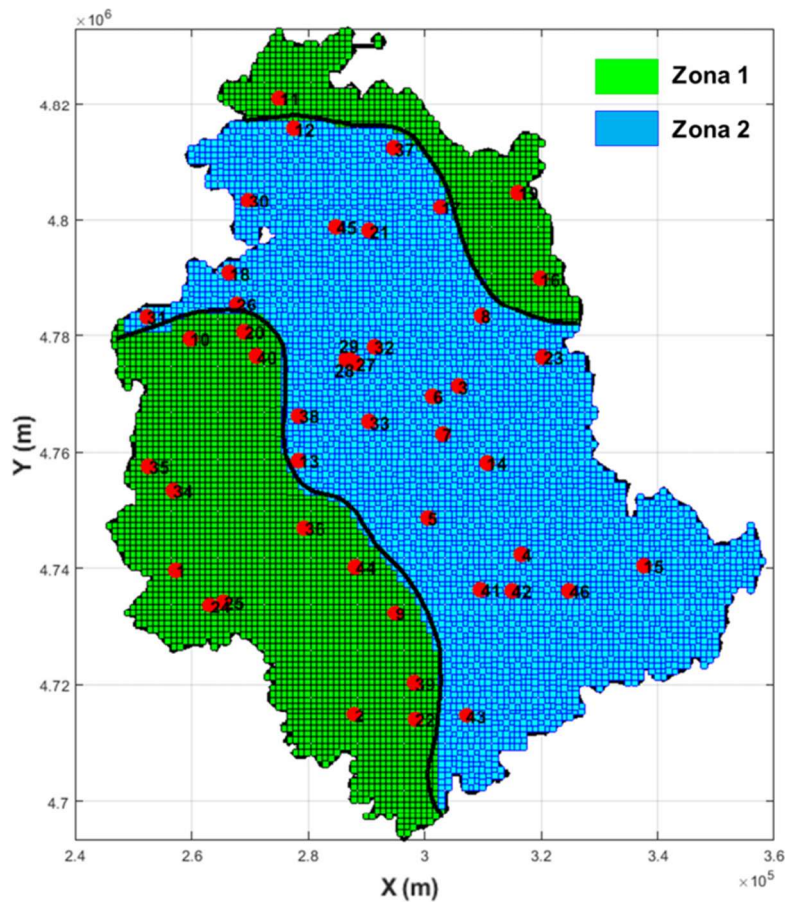


Figura 5-2 - Suddivisione della Regione Umbria in zone omogenee. I punti rossi indicano la posizione delle stazioni indicate

La regolarizzazione del campione composto dai dati normalizzati di tutte le stazioni comprese nella medesima zona omogenea ha evidenziato che solo per la Zona 2 è possibile supporre l'invarianza del fattore di crescita atteso in funzione della durata D , $K_D(T) = K_T$, per ciascun tempo di ritorno T , come mostrato nella tabella seguente. Per la Zona 1, invece, l'invarianza del fattore di crescita può essere assunto per le durate superiori alle 3 ore e per quelle di 1 ora e 3 ore. Nella tabella seguente vengono anche mostrate le relazioni che approssimano la dipendenza lineare del fattore di crescita K_T in funzione del $\ln(T)$.

Relazione idrologica e idraulica

Tabella 5-1 - Fattori di crescita (K_T) attesi per le piogge relative alle due zone omogenee per diversi tempi di ritorno (T). Vengono mostrate le relazioni lineari che approssimano la dipendenza di K_T in funzione del $\ln(T)$.

ZONA 1 (durate 1-3 ore) $K_T=0,631+0,3809 \ln(T)$		ZONA 1 (durate 6-48 ore) $K_T=0,4898+0,4671 \ln(T)$		ZONA 2 (durate 1-48 ore) $K_T= 0,7483+0,2972 \ln(T)$	
T (anni)	K_T	T (anni)	K_T	T (anni)	K_T
2	0,92	2	0,90	2	0,94
5	1,25	5	1,25	5	1,24
10	1,50	10	1,52	10	1,44
25	1,83	25	1,92	25	1,71
50	2,10	50	2,26	50	1,91
100	2,38	100	2,64	100	2,11
200	2,69	200	3,07	200	2,32

Analisi regionale della grandezza indice

È stata assunta come pioggia indice la media della distribuzione GEV, $\mu(D)$, che nei siti osservati è rappresentata dalla media campionaria. Considerando la pioggia di durata 24 ore, $D=24$, per ciascuna stazione, i , è stata determinata una relazione che consente di ottenere il valore medio riferito alla durata D , $m_i(D)$, a partire da $m_i(24)$:

$$m_i(D) = m_i(24) \left(\frac{D}{24}\right)^\alpha$$

con $\alpha=0,27$ per la Zona 1 e $\alpha=0,26$ per la Zona 2. Il coefficiente di determinazione, R^2 , per tutti i siti è risultato superiore a 0,99, mostrando l'affidabilità della relazione.

Il valore quindi dell'altezza di pioggia $h(D, T)$ di fissata durata e tempo di ritorno, per ciascuna stazione i , può essere ricavato grazie al fattore di crescita K_T , come riportato nell'equazione seguente:

$$h_i(D, T) = m_i(D)K_T = m_i(24) \left(\frac{D}{24}\right)^\alpha K_T$$

Al fine di regionalizzare la pioggia indice, trasferendo di fatto il modello probabilistico a siti privi di osservazioni, in letteratura la procedura prevede l'individuazione di relazioni che legano la grandezza indice a variabili geomorfologiche e/o climatiche (Brath et al. 1998; Rossi e Villani, 1994). In tale contesto, si è deciso di utilizzare il modello del Kriging universale dove le informazioni del modello digitale del terreno con risoluzione di 1 km sono state utilizzate come deriva esterna (Webster e Oliver, 2007). È stata quindi realizzata una mappa regionale della pioggia $m(24)$ su un grigliato a maglie di 1 km, da cui è possibile individuare i valori medi delle piogge massime annuali di durata inferiore alle 24 ore.

Considerando che l'utilizzo del Kriging non è un approccio speditivo, sono state realizzate 42 mappe di risoluzione 1 km, ciascuna corrispondente ad una determinata durata (1, 3, 6, 12, 24, 36 e 48) e ad un fissato tempo di ritorno (2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 anni).

Le mappe hanno caratteristiche tali da essere implementate sulla piattaforma web-gis del Servizio Idrografico Regionale.

Relazione idrologica e idraulica

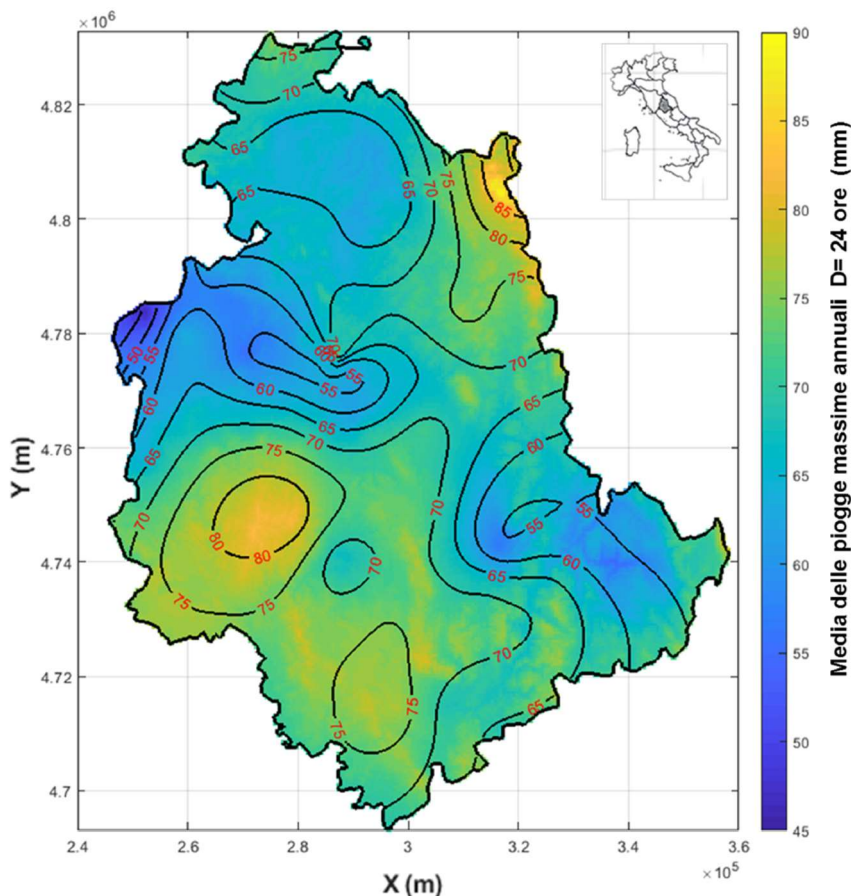


Figura 5-3 - Mappa delle isoiete per la pioggia di durata D=24 ore

Confronto tra LSPP puntuali e GEV regionale

I risultati della procedura di regionalizzazione ottenuti confrontando le LSPP puntuali e quelle ricavate dalla GEV regionale per tutte le stazioni pluviometriche utilizzate per la procedura di regionalizzazione si evidenzia che la procedura di regionalizzazione conduce ad una sovrastima dello spessore di pioggia locale per bassi tempi di ritorno mentre sottostima le piogge massime di durata 24 ore per alti tempi di ritorno (>50 anni).

In particolare, si passa da una differenza assoluta percentuale media sulle 46 stazioni pari a 4,3% per un tempo di ritorno di 5 anni ad una differenza assoluta percentuale pari a circa 11% per un tempo di ritorno di 200 anni. Analizzando il comportamento nelle zone di regionalizzazione si nota che per tutti i tempi di ritorno analizzati per la Zona 2 le differenze sono più elevate. Soprattutto per bassi tempi di ritorno la differenza relativa nella Zona 2 è circa il doppio di quella della Zona 1, mentre tale diversità di comportamento per le due zone diminuisce all'aumentare del tempo di ritorno.

Relazione idrologica e idraulica

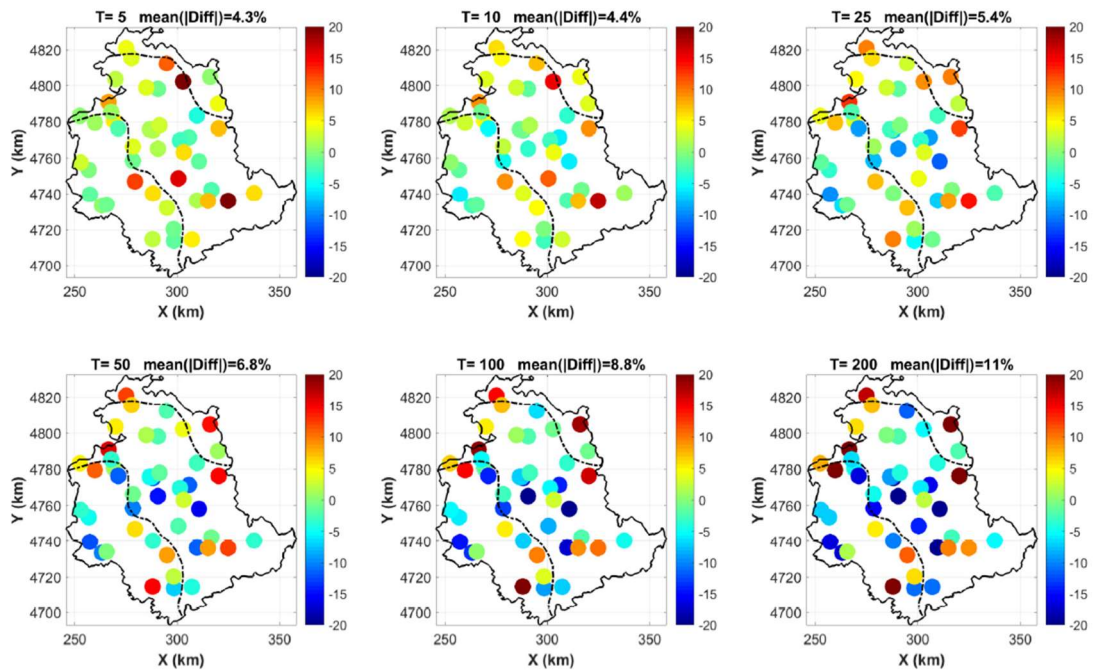


Figura 5-4 - Differenza relativa percentuale tra le altezze di pioggia ottenute dalla regionalizzazione proposta e quelle ricavate dalle LSPP dei singoli pluviometri, per D=24 ore e per diversi tempi di ritorno.

5.2.2 Calcolo delle curve di possibilità pluviometrica

Il valore dell'altezza di pioggia è espresso dalla relazione:

$$h_i(D, T) = m_i(D)K_T = m_i(24) \left(\frac{D}{24}\right)^\alpha K_T$$

dove $m_i(24)$ è l'altezza di pioggia media per durata 24 ore relativa al punto i-esimo, D è la durata della pioggia (in ore), α è un coefficiente variabile in funzione della zona e K_{TR} è il fattore di crescita che varia a seconda della Zona, del tempo di ritorno TR (anni) e della durata della pioggia D .

α e K_{TR} possono essere stimati come in tabella seguente:

Tabella 5-2 - Valori del coefficiente α e Fattori di crescita (K_{TR}) attesi per le piogge relative alle due zone omogenee per diversi tempi di ritorno (TR).

Coefficiente	ZONA 1		ZONA 2
α	0.27		0.26
K_{TR}	(durate 1-3 ore)	(durate 6-48 ore)	(durate 1-48 ore)
	$K_{TR}=0.631+0.3809 \ln(TR)$	$K_{TR}=0.4898+0.4671 \ln(TR)$	$K_{TR}=0.7483+0.2972 \ln(TR)$

Relazione idrologica e idraulica

Il valore $m_i(24)$ è ricavabile dalla piattaforma web-gis del Servizio Idrografico Regionale selezionando il punto i sulla mappa grigliata 1kmx1km attivando il layer "Coefficienti". Nel caso in esame è stato preso il valore più alto tra quelli presenti lungo il tracciato in oggetto.



Figura 5-5 - Valore di $m_i(24)$ e la relativa zona di appartenenza per un punto all'interno della griglia di regionalizzazione.

Si determinano, una volta determinati i parametri $m_i(24)$, α e K_{TR} , i corrispondenti quantili h . Per ciascun tempo di ritorno, le altezze massime di pioggia di fissata durata vengono interpolate con la legge caratteristica delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica:

$$h = a d^n$$

con a ed n parametri di forma caratteristici delle suddette curve.

Relazione idrologica e idraulica

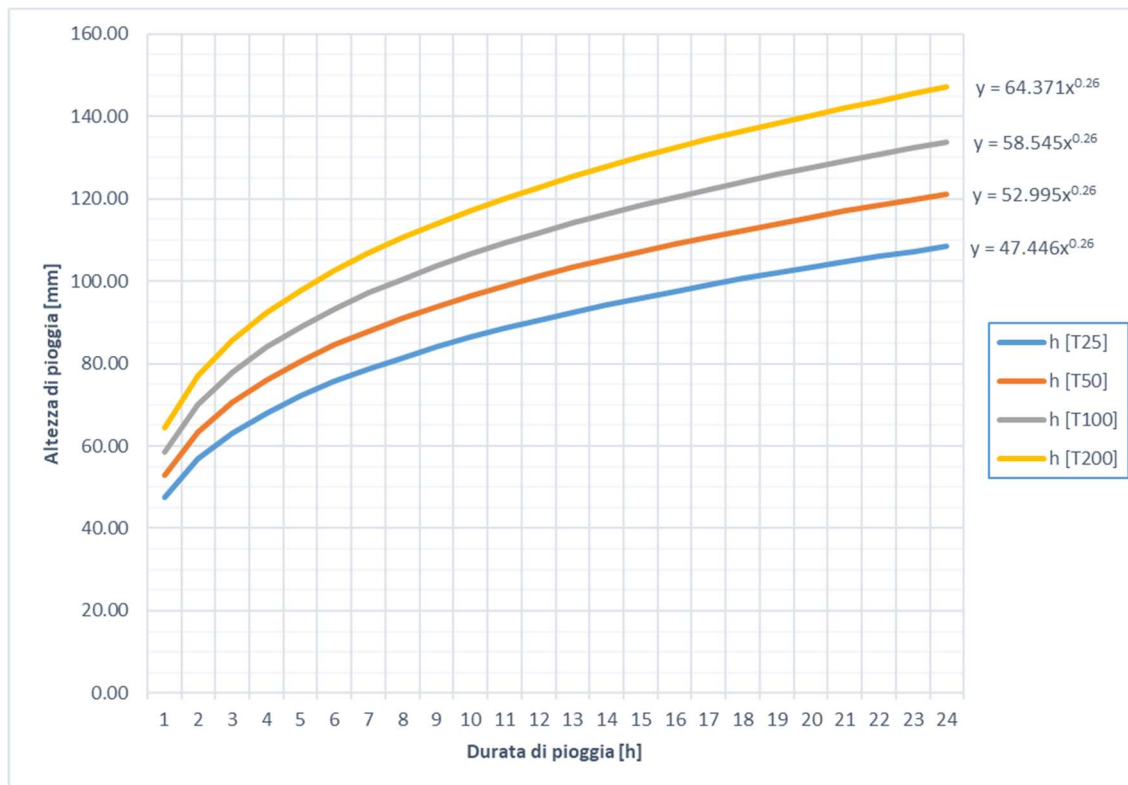


Figura 5-6 – Curve di possibilità pluviometrica

Tabella 5-3 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica

Tempi di ritorno (anni)	$h = a \cdot t^n$	
	$a(T)$	n
25	47.45	0.26
50	53.00	0.26
100	58.55	0.26
200	64.37	0.26

5.2.3 Stima delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora

Per il calcolo delle portate dei bacini minori e per il dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque di piattaforma e di versante, in ragione dei modesti tempi di corrivazione (sempre inferiori ad 1 ora) risultano di interesse le curve di possibilità pluviometrica relative a brevi durate ($d < 1$ ora).

È stato però dimostrato (Bell, 1969) che il rapporto tra l'altezza di pioggia h , con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia h di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno T , è dipendente solo dalla durata t espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con f un simbolo funzionale. Per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora, viene raccomandata una relazione empirica sviluppata nell'ambito di studi idrologici condotti in America:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0,54t^{0,25} - 0,5$$

A partire dalla massima pioggia di durata oraria, si ricavano le corrispondenti altezze di pioggia di durata pari a frazioni di ora.

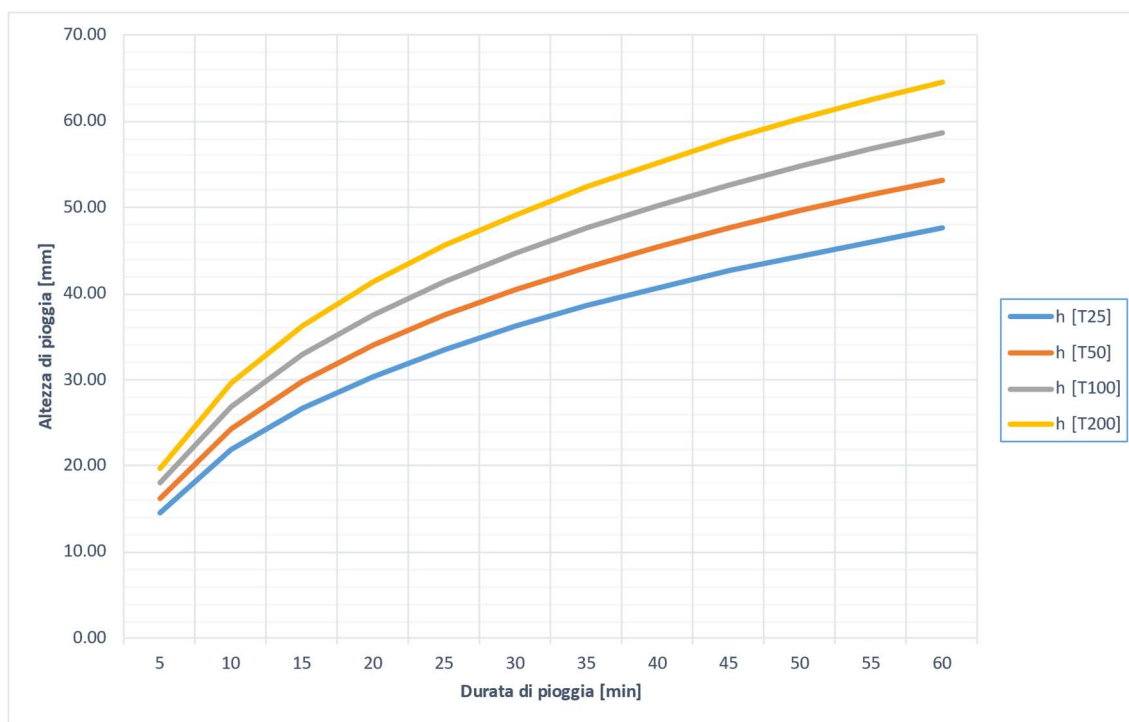


Figura 5-7 - Curve di possibilità pluviometrica per $D < 1$ ora

5.3 TEMPO DI CORRIVAZIONE E PORTATE DI PROGETTO

Il calcolo del tempo di corrivazione (t_c) individua la durata dell'evento di precipitazione critico per il bacino. La sua stima può essere effettuata utilizzando una delle diverse formulazioni empiriche o semi-empiriche che ne correlano il valore a caratteri morfologici del bacino idrografico o dell'asta fluviale.

La scelta della formula per il calcolo del tempo di corrivazione è uno dei momenti critici della procedura qui descritta. Infatti, questo parametro è di tipo soggettivo e quindi la sua definizione è legata all'esperienza del progettista, che potrà avvalersi anche di quanto presente in letteratura o raccomandato dall'Autorità di Bacino, tenendo presente che una sottostima del tempo di corrivazione tenderà a fornire delle portate di maggior valore e viceversa.

Nell'ambito del presente studio, si è fatto riferimento a quattro diverse formulazioni, ciascuna riconosciuta affidabile per la stima del tempo di corrivazione di bacini idrografici di determinate estensioni.

Sono state utilizzate le formulazioni di Pezzoli, Ventura e Pasini; per i bacini di estensione inferiore a 1 km si è utilizzata anche la formula di Kirpich. Tutte le formulazioni risultano ampiamente documentate in letteratura e di consolidato uso nella pratica progettuale.

Formula di Pezzoli:

$$t_c = 0.055 * \left(\frac{L}{I^{0.5}} \right)$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta fluviale [km];
- I è la pendenza media del reticolo idrografico [m/m].

Formula di Kirpich:

$$t_c = 0.066 * \left(\frac{L^{0.77}}{I^{0.385}} \right)$$

dove:

- t_c è il tempo di corrivazione [h];
- L è la lunghezza dell'asta fluviale [km];
- I è la pendenza media del reticolo idrografico [m/m].

Formula di Ventura:

$$t_c = 0.1272 * (A/I)^{0.50}$$

dove:

- t_c è il tempo di corrivazione [h];
- A è l'area del bacino [kmq];
- I è la pendenza media dell'asta fluviale [m/m].

Formula di Pasini:

Relazione idrologica e idraulica

$$t_c = \frac{0.108 * (A * L)^{1/3}}{I^{1/2}}$$

dove:

- t_c è il tempo di corrivazione [h];
- A è l'area del bacino [kmq];
- L è la lunghezza dell'asta fluviale [km];
- I è la pendenza media dell'asta fluviale [m/m].

I calcoli idrologici del tempo di corrivazione e delle portate al colmo vengono chiaramente riferiti alla sezione di chiusura, la cui ubicazione, così come la perimetrazione dei relativi bacini idrografici sono riportate nelle corografie dei bacini idrografici.

Di seguito sono riportati i principali parametri morfologici e fisiografici dei bacini, necessari alla stima dei tempi di corrivazione.

Tabella 5-4 - Caratteristiche morfologiche e fisiografiche dei bacini idrografici.

Sez. di chiusura	Bacini	L asta (m)	Area bacino (kmq)	I media asta (m/m)	H0 (m slm)	Hmax (m slm)	Hmedia (m slm)	Hmax asta (m slm)
1	S1	-	0.20	-	-	-	-	-
2	B1	835.0	0.28	0.56	350.0	900.0	625.0	815.0
3	B2	214.0	0.10	0.82	340.0	805.0	572.5	515.0
4	B3	300.0	0.07	0.67	340.0	730.0	535.0	540.0
5	S2	-	0.11	-	-	-	-	-
6	B4	643.0	0.66	0.51	345.0	935.0	640.0	670.0
7	S3	-	0.05	-	-	-	-	-
8	B5	2948.0	2.07	0.18	340.0	1010.0	675.0	870.0
9	S4	-	0.06	-	-	-	-	-
10	S5	-	0.04	-	-	-	-	-
11	S6	-	0.18	-	-	-	-	-
12	S7	-	0.08	-	-	-	-	-
13	B6	3022.0	1.86	0.16	360.0	1040.0	700.0	845.0
14	S8	-	0.08	-	-	-	-	-
15	B7	484.0	0.20	0.57	355.0	715.0	535.0	630.0
16	S9	-	0.06	-	-	-	-	-
17	S10	-	0.01	-	-	-	-	-
18	B8	490.0	0.12	0.52	365.0	712.0	538.5	620.0
19	B9	280.0	0.09	0.64	360.0	712.0	536.0	540.0

Attraverso la stima di tali parametri si è quindi proceduto alla stima dei tempi di corrivazione nelle diverse sezioni di chiusura attraverso le relazioni precedentemente descritte. I tempi di corrivazione calcolati adottati sono in via cautelativa pari al valore minimo tra quelli ottenuti. Nel caso tale valore risulti inferiore a 15 minuti (i.e. 0.25 ore), quest'ultimo sarà adottato come tempo di corrivazione di progetto.

Tale scelta discende dalla definizione più generale di tempo di corrivazione, inteso come somma dei tempi di accesso alla rete idrografica (o di ruscellamento) e di percorrenza lungo il reticolo idraulico.

Per il primo (i.e. tempo di accesso alla rete idrografica) si assumono comunemente valori compresi tra 5 e 10 minuti, per tenere conto dell'effetto di invaso che si ha all'inizio della precipitazione. In presenza di bacini

Relazione idrologica e idraulica

di ridotta dimensione non si possono adottare valori inferiori, anche perché in alcuni casi non fisicamente realistici, soprattutto in termini di intensità di pioggia.

Tuttavia, adottando dei valori inferiori ai 15 minuti sono in seguito state ottenute delle portate di entità inferiore rispetto a quelle ottenute adottando tempi di corrivazione di 15 minuti, per cui tale valore risulta il più idoneo ai fini della progettazione e della verifica di compatibilità idraulica.

Tabella 5-5 – Tempi di corrivazione adottati

Sez. di chiusura	Bacini	Ventura (h)	Pasini (h)	Kirpich (h)	Pezzoli (h)	Adottato (h)
1	S1	-	-	-	-	0.25
2	B1	0.09	0.09	0.07	0.06	0.25
3	B2	0.04	0.03	0.02	0.01	0.25
4	B3	0.04	0.04	0.03	0.02	0.25
5	S2	-	-	-	-	0.25
6	B4	0.15	0.11	0.06	0.05	0.25
7	S3	-	-	-	-	0.25
8	B5	0.43	0.47		0.38	0.38
9	S4	-	-	-	-	0.25
10	S5	-	-	-	-	0.25
11	S6	-	-	-	-	0.25
12	S7	-	-	-	-	0.25
13	B6	0.43	0.48		0.41	0.41
14	S8	-	-	-	-	0.25
15	B7	0.07	0.07	0.05	0.04	0.25
16	S9	-	-	-	-	0.25
17	S10	-	-	-	-	0.25
18	B8	0.06	0.06	0.05	0.04	0.25
19	B9	0.05	0.04	0.03	0.02	0.25

Per i bacini secondari (indicati con la lettera S), è stato adottato un tempo di corrivazione pari a 0.25 h senza effettuare dei calcoli specifici, data la modesta dimensione delle superfici in relazione ai bacini contigui di dimensioni maggiori..

5.4 CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA

Il calcolo della pioggia netta, ovvero del volume della piena, viene effettuato in base al metodo del Curve Number, formulato dal Soil Conservation Service nel 1972, già sopra brevemente descritto.

Come esposto, tale metodo mette in relazione l'altezza H di pioggia affluita con l'altezza di pioggia netta h_n defluita in rete, attraverso la seguente formula:

$$h_{netta}(t) = \frac{[H(t) - I]^2}{H(t) - I + S}$$

dove:

- S rappresenta la massima ritenzione potenziale del bacino ed è funzione del tipo di terreno, del suo grado di saturazione e dell'uso del suolo, e viene espresso sotto la forma:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Relazione idrologica e idraulica

- in cui, CN o “Runoff Number” è il coefficiente sperimentale che dipende dal tipo di suolo e dal loro uso, come riportato nelle successive figure.
- I è lo spessore totale di pioggia ritenuto fra $t=0$ e l’istante di raggiungimento del ponding; viene espresso come:

$$I = 0.20 * S$$

Il Soil Conservation Service (SCS) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- Gruppo A - Scarsa potenzialità di deflusso: comprende forti spessori di sabbia con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili.
- Gruppo B – Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Gruppo C – Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Gruppo D - Potenzialità di deflusso molto elevata: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Figura 5-8 Classi di tipo di suolo secondo il metodo SCS – CN.

Relazione idrologica e idraulica

Tipo di copertura (uso del suolo)	TIPO SUOLO			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
Senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	90
PRATERIE				
Buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSI O FORESTATI				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI (imper. 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media %				
65	77	85	90	92
38	61	75	83	87
30	57	72	81	86
25	54	70	80	85
	51	68	79	84
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Figura 5-9 Valori del Curve Number al variare della classe di tipo di suolo e dell'uso del suolo.

I valori del CN riportati si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

La classe di tipo di suolo da adottare per i bacini idrografici è stata valutata utilizzando le evidenze della carta idrogeologica della Regione Umbria per la valutazione della classe di permeabilità del suolo. La tipologia dei complessi idrogeologici costituenti i bacini idrografici di calcolo, costituiti prevalentemente da calcari, calcari marnosi ed in minor misura depositi alluvionali ha condotto a caratterizzare il suolo, secondo le classi proposte dal metodo del Curve Number, nel tipo C.

Il tipo di suolo è stato dedotto dall'uso del suolo riportato nel Corine Land Cover (CLC) dell'area d'interesse.

Relazione idrologica e idraulica

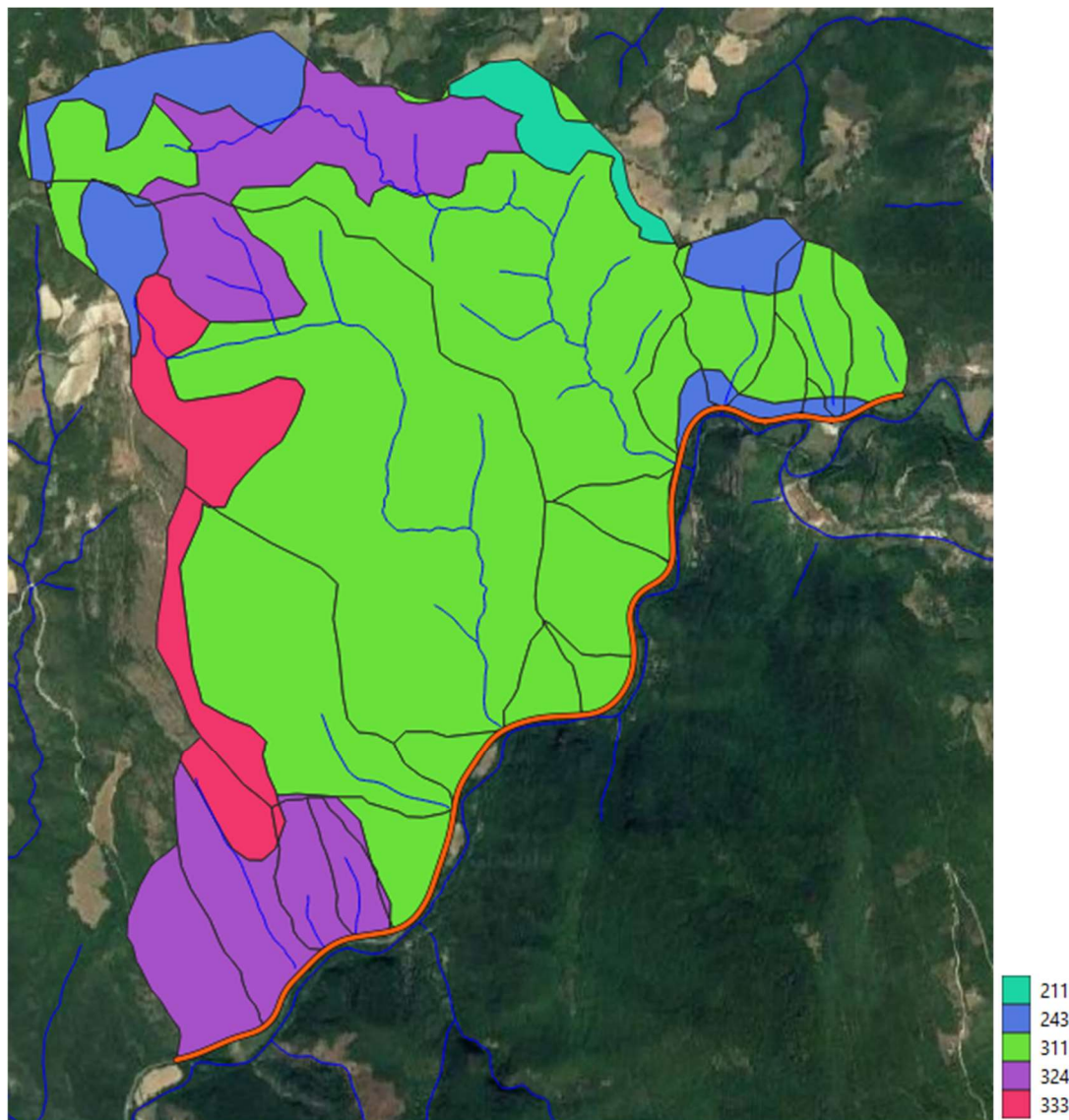


Figura 5-10 – Uso del suolo dei bacini idrografici

La tipologia di copertura e i relativi coefficienti del Curve Number utilizzati sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 5-6 - Destinazioni d'uso del suolo e valori del CN presenti nei bacini idrografici

CODE_18	Uso del suolo	CN II
211	Seminativi in aree non irrigue	86
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie	80
311	Boschi di latifoglie	73
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	73
333	Aree con vegetazione rada	79

Relazione idrologica e idraulica

Ad ogni bacino è stato assegnato un valore del CN, ottenuto come media pesata sulla base della superficie ricoperta da ogni tipologia di copertura. Di seguito si riportano le tabelle con l'uso del suolo e i valori del Curve Number relativi ai bacini idrografici.

Una volta desunto il parametro CN per ogni sottobacino, si è proceduto nella stima dello stesso in funzione della classe AMC, utilizzando la seguente tabella:

Tabella 5-7 - Attribuzione della classe AMC

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

I valori nella tabella si riferiscono a tre diverse condizioni (AMC-I, AMC-II e AMC-III, da potenziale di infiltrazione massimo a minimo), definite in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti l'evento. Nel caso in esame viene attribuito al suolo la classe AMC III. Il valore del CN-III è stato dunque calcolato con la seguente:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Di seguito si riportano i valori delle aree dei bacini, il calcolo di CN, di S e di I.

Sez. di chiusura	Bacini	Area bacino (mq)	CN II	CN III	S (mm)	la (mm)	tc (ore)
1	S1	201000	73	86	40.85	8.17	0.25
2	B1	278300	75	87	36.81	7.36	0.25
3	B2	98153	73	86	40.85	8.17	0.25
4	B3	71381	73	86	40.85	8.17	0.25
5	S2	113600	73	86	40.85	8.17	0.25
6	B4	660200	74	87	38.80	7.76	0.25
7	S3	52576	73	86	40.85	8.17	0.25
8	B5	2071000	74	87	38.80	7.76	0.38
9	S4	63355	73	86	40.85	8.17	0.25
10	S5	42723	73	86	40.85	8.17	0.25
11	S6	176300	73	86	40.85	8.17	0.25
12	S7	83154	73	86	40.85	8.17	0.25
13	B6	1859000	75	87	36.81	7.36	0.41
14	S8	80573	75	87	36.81	7.36	0.25
15	B7	196600	76	88	34.87	6.97	0.25
16	S9	61553	75	87	36.81	7.36	0.25
17	S10	10457	78	89	31.15	6.23	0.25
18	B8	118900	74	87	38.80	7.76	0.25
19	B9	87932	73	86	40.85	8.17	0.25

Figura 5-11 Tabella con i valori del Curve Number

5.5 CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO

Il calcolo della portata al colmo deve essere determinato sulla base di una forma predefinita di idrogramma e quindi uguagliando l'apporto meteorico efficace al volume di deflusso.

Nel caso in esame i bacini studiati, che contribuiscono all'apporto della portata di progetto nei vari corpi idrici, hanno dimensioni notevolmente differenti ma caratteristiche morfologiche simili poiché si tratta di corsi d'acqua a regime torrentizio.

Si considera un idrogramma triangolare isoscele, comunemente utilizzato nel metodo razionale:

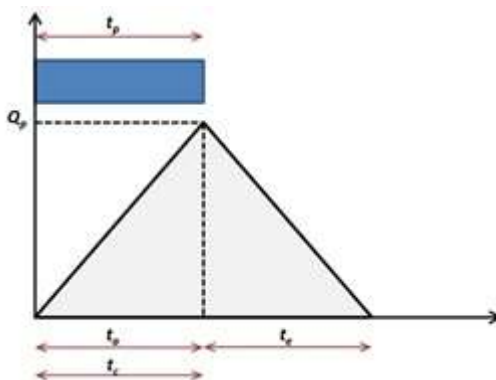


Figura 5-12 – Idrogramma triangolare isoscele.

Dove la portata di progetto è data da:

$$Q_c = \frac{r * h_n * A}{3.6 * t_c}$$

dove:

- Q_c è la portata al colmo [mc/s];
- R è il fattore di ragguglio della precipitazione all'area del bacino [adim.];
- h_n è la pioggia netta [mm];
- A è la superficie del bacino [kmq];
- t_c è il tempo di corrivazione [h].

Il metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

1. La formazione della piena si basa unicamente su un fenomeno di trasferimento di massa liquida;
2. Ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta;
3. La velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse è indipendente dalle altre;
4. La portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura;
5. La precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento.

Dalle ipotesi (1) e (2), sopra formulate, il tempo impiegato da ciascuna goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, definito come tempo di corrivazione puntuale, risulta essere necessariamente univoco per ogni punto del bacino stesso; il tempo di corrivazione massimo viene a coincidere con il tempo di corrivazione del bacino.

Relazione idrologica e idraulica

Nella tabella seguente si riportano le portate di progetto per i 19 bacini analizzati per tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni.

Sez. di chiusura	Bacini	Area bacino (mq)	Tr = 25 anni			
			Rtot (mm)	Re (mm)	Cd	Qp (mc/s)
1	S1	201000	26.70	5.78	0.22	1.29
2	B1	278300	26.70	6.66	0.25	2.06
3	B2	98153	26.70	5.78	0.22	0.63
4	B3	71381	26.70	5.78	0.22	0.46
5	S2	113600	26.70	5.78	0.22	0.73
6	B4	660200	26.70	6.21	0.23	4.55
7	S3	52576	26.70	5.78	0.22	0.34
8	B5	2071000	32.35	9.54	0.29	14.30
9	S4	63355	26.70	5.78	0.22	0.41
10	S5	42723	26.70	5.78	0.22	0.27
11	S6	176300	26.70	5.78	0.22	1.13
12	S7	83154	26.70	5.78	0.22	0.53
13	B6	1859000	33.51	10.86	0.32	13.47
14	S8	80573	26.70	6.66	0.25	0.60
15	B7	196600	26.70	7.13	0.27	1.56
16	S9	61553	26.70	6.66	0.25	0.46
17	S10	10457	26.70	8.12	0.30	0.09
18	B8	118900	26.70	6.21	0.23	0.82
19	B9	87932	26.70	5.78	0.22	0.56

Figura 5-13– Portate di progetto per Tr = 25 anni

Sez. di chiusura	Bacini	Area bacino (mq)	Tr = 50 anni			
			Rtot (mm)	Re (mm)	Cd	Qp (mc/s)
1	S1	201000	29.82	7.50	0.25	1.67
2	B1	278300	29.82	8.51	0.29	2.63
3	B2	98153	29.82	7.50	0.25	0.82
4	B3	71381	29.82	7.50	0.25	0.59
5	S2	113600	29.82	7.50	0.25	0.95
6	B4	660200	29.82	8.00	0.27	5.86
7	S3	52576	29.82	7.50	0.25	0.44
8	B5	2071000	36.13	11.98	0.33	17.96
9	S4	63355	29.82	7.50	0.25	0.53
10	S5	42723	29.82	7.50	0.25	0.36
11	S6	176300	29.82	7.50	0.25	1.47
12	S7	83154	29.82	7.50	0.25	0.69
13	B6	1859000	37.42	13.51	0.36	16.76
14	S8	80573	29.82	8.51	0.29	0.76
15	B7	196600	29.82	9.04	0.30	1.97
16	S9	61553	29.82	8.51	0.29	0.58
17	S10	10457	29.82	10.17	0.34	0.12
18	B8	118900	29.82	8.00	0.27	1.06
19	B9	87932	29.82	7.50	0.25	0.73

Figura 5-14 Portate di progetto per Tr = 50 anni

Relazione idrologica e idraulica

			Tr = 100 anni			
Sez. di chiusura	Bacini	Area bacino (mq)	Rtot (mm)	Re (mm)	Cd	Qp (mc/s)
1	S1	201000	32.94	10.34	0.31	2.31
2	B1	278300	32.94	11.66	0.35	3.60
3	B2	98153	32.94	10.34	0.31	1.13
4	B3	71381	32.94	10.34	0.31	0.82
5	S2	113600	32.94	10.34	0.31	1.30
6	B4	660200	32.94	10.98	0.33	8.05
7	S3	52576	32.94	10.34	0.31	0.60
8	B5	2071000	39.92	16.31	0.41	24.45
9	S4	63355	32.94	10.34	0.31	0.73
10	S5	42723	32.94	10.34	0.31	0.49
11	S6	176300	32.94	10.34	0.31	2.02
12	S7	83154	32.94	10.34	0.31	0.95
13	B6	1859000	41.34	18.34	0.44	22.75
14	S8	80573	32.94	11.66	0.35	1.04
15	B7	196600	32.94	12.35	0.37	2.70
16	S9	61553	32.94	11.66	0.35	0.80
17	S10	10457	32.94	13.83	0.42	0.16
18	B8	118900	32.94	10.98	0.33	1.45
19	B9	87932	32.94	10.34	0.31	1.01

Figura 5-15 Portate di progetto per Tr = 100 anni

			Tr = 200 anni			
Sez. di chiusura	Bacini	Area bacino (mq)	Rtot (mm)	Re (mm)	Cd	Qp (mc/s)
1	S1	201000	36.22	11.42	0.32	2.55
2	B1	278300	36.22	12.68	0.35	3.92
3	B2	98153	36.22	11.42	0.32	1.25
4	B3	71381	36.22	11.42	0.32	0.91
5	S2	113600	36.22	11.42	0.32	1.44
6	B4	660200	36.22	12.04	0.33	8.82
7	S3	52576	36.22	11.42	0.32	0.67
8	B5	2071000	43.89	17.42	0.40	26.11
9	S4	63355	36.22	11.42	0.32	0.80
10	S5	42723	36.22	11.42	0.32	0.54
11	S6	176300	36.22	11.42	0.32	2.24
12	S7	83154	36.22	11.42	0.32	1.06
13	B6	1859000	45.46	19.37	0.43	24.03
14	S8	80573	36.22	12.68	0.35	1.14
15	B7	196600	36.22	13.34	0.37	2.91
16	S9	61553	36.22	12.68	0.35	0.87
17	S10	10457	36.22	14.71	0.41	0.17
18	B8	118900	36.22	12.04	0.33	1.59
19	B9	87932	36.22	11.42	0.32	1.12

Figura 5-16 Portate di progetto per Tr = 200 anni

6 OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO

Il tracciato in progetto interferisce con il reticolo idrografico superficiale, costituito da una rete di fossi e corsi d'acqua di diversa natura e dimensione che confluiscono nel fiume Nera.

Per risolvere le interferenze con il reticolo idrografico sono state inserite in progetto, delle opere di attraversamento idraulico, suddivise in opere maggiori e opere minori.

Le opere di attraversamento minori sono costituite da tombini scatolari e circolari, mentre le opere di attraversamento maggiori sono costituite da ponti.

Le verifiche di compatibilità idraulica sono condotte nel rispetto delle NTC 2018, valutando il franco idraulico tra l'intradosso delle opere di attraversamento e il livello del tirante idrico per la portata con $Tr = 200$ anni.

Tabella 6-1 – Opere di attraversamento in progetto

Tr = 200 anni					
Sez. di chiusura	Bacini	Area bacino (mq)	Qp (mc/s)	Opera di attraversamento	ID
1	S1	201000	2.55	Circolare DN1500	TO01
2	B1	278300	3.92	Scatolare 3x3	TO02
3	B2	98153	1.25	Scatolare 2x2	TO03
4	B3	71381	0.91	Scatolare 2x2	TO04
5	S2	113600	1.44	Circolare DN1500	TO05
6	B4	660200	8.82	Scatolare 3x3	TO06
7	S3	52576	0.67	Circolare DN1500	TO07
8	B5	2071000	26.11	Ponticello	PO01
9	S4	63355	0.80	Circolare DN1500	TO08
10	S5	42723	0.54	Circolare DN1500	TO09
11	S6	176300	2.24	Circolare DN1500	TO10
12	S7	83154	1.06	Circolare DN1500	TO11
13	B6	1859000	24.03	Ponticello	PO02
14	S8	80573	1.14	Circolare DN1500	TO12
15	B7	196600	2.91	Scatolare 2x2	TO13
16	S9	61553	0.87	Circolare DN1500	TO14
17	S10	10457	0.17	Circolare DN1500	TO15
18	B8	118900	1.59	Scatolare 2x2	TO16
19	B9	87932	1.12	Scatolare 2x2	TO17

6.1 OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO MINORI

In progetto si prevedono tre tipologie di opere di attraversamento idraulico minori:

- Tombini scatolari 2.00 m x 2.00 m realizzati in c.a. gettato in opera. Le opere di imbocco e sbocco sono realizzate con muri d'ala in modo da favorire il transito della portata.
- Tombini scatolari 3.00 m x 3.00 m realizzati in c.a. gettato in opera. Le opere di imbocco e sbocco sono realizzate con muri d'ala in modo da favorire il transito della portata.
- Tombini circolari DN1500 mm realizzati in c.a. gettato in opera.

I tombini sono dimensionati idraulicamente nel rispetto del §5.1.2 delle NTC2018 e quindi viene garantito il franco idraulico minimo di 1/3 dell'altezza interna per la portata corrispondente ad un tempo di ritorno $TR = 200$ anni.

Relazione idrologica e idraulica

Nella redazione del progetto è stato utilizzato un programma di calcolo automatico per il dimensionamento e la verifica idraulica, con la portata di progetto TR = 200 anni, dei manufatti di attraversamento dei piccoli corsi d'acqua intersecati. Nel seguito vengono esposti i caratteri principali del codice impiegato.

6.1.1 Il programma HY-8 (Culvert Hydraulic Analysis Program)

Il programma HY-8 è un software implementato dalla Federal Highway Administration (FHWA) ed 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 basate sui 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".

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.

Il calcolo idraulico

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perché può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero che in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante.

Come già accennato, per affrontare il calcolo idraulico il programma segue le indicazioni del manuale di progettazione Hydraulic Design Series No. 5, Hydraulic Design of Highway Culverts (1985) redatto dall'agenzia americana U.S. Federal Highway Administration.

L'approccio utilizzato affronta il problema individuando due possibili sezioni di controllo per il moto: l'ingresso (Inlet control) e l'uscita (Outlet control).

Calcolo idraulico per i tombini con sezione di controllo all'ingresso

Sezione di controllo all'ingresso. Essa 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.

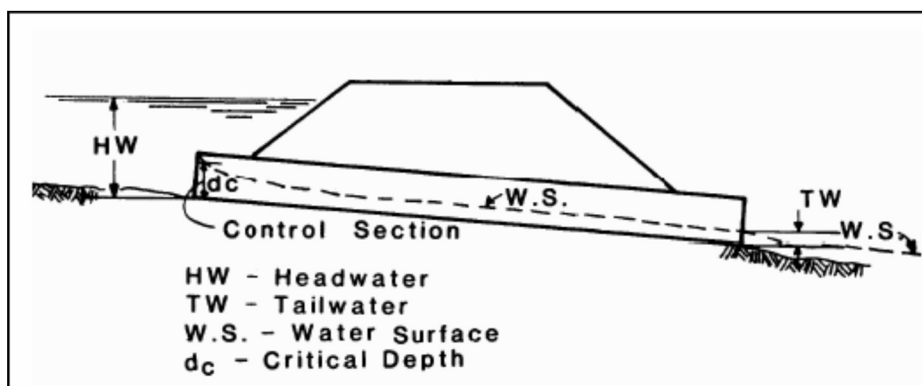


Figura 6-1 – Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso

Relazione idrologica e idraulica

Le equazioni del deflusso dipendono dal fatto che l'imbocco del tombino sia sommerso o meno. Il manuale HDS-5, già citato fornisce le equazioni sulla base del parametro (non adimensionale):

$$Q / AD^{0,5} \text{ (ft}^{0,5} / \text{s)}$$

dove $Q(\text{ft}^3/\text{s})$ è la portata, $A(\text{ft}^2)$ è la sezione del tombino e $D(\text{ft})$ l'altezza interna.

Dato che $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$ possiamo calcolare il fattore di conversione $1 \text{ (m}^{0,5}/\text{s)} = 1,81 \text{ (ft}^{0,5}/\text{s)}$ per le unità del SI. Riferendoci a questo sistema di misura le equazioni hanno le seguenti forme:

Se $Q / AD^{0,5} < 1,932$ -Imbocco non sommerso

$$HW_i = Hc / D + K [1,81 * Q / AD^{0,5}] - 0,5 * S$$

Se $Q / AD^{0,5} > 2,208$ -Imbocco sommerso

$$HW_i = c [1,81 * Q / AD^{0,5}]^2 + Y - 0,5 * S$$

Se $1,932 < Q / AD^{0,5} < 2,208$ -Zona di transizione

Si interpola linearmente tra le due equazioni precedenti. Dove HW_i è l'altezza idrica prima dell'imbocco, nel caso di velocità di arrivo nulla; Hc è l'energia critica; S è la pendenza della condotta; K , M , Y e c sono dei coefficienti dipendenti dalla forma dell'imbocco, dai materiali e dall'equazione usata.

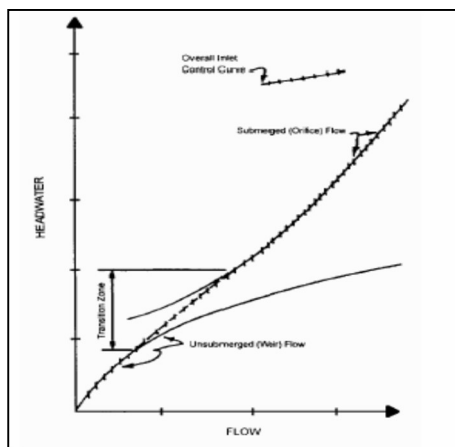


Figura 6-2 - Andamento tipico della scala di portata per moto controllato da monte

Calcolo idraulico per i tombini con sezione di controllo a valle

Sezione di controllo all'uscita. Si realizza quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l'ingresso. La sezione di controllo si localizza all'uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.

Relazione idrologica e idraulica

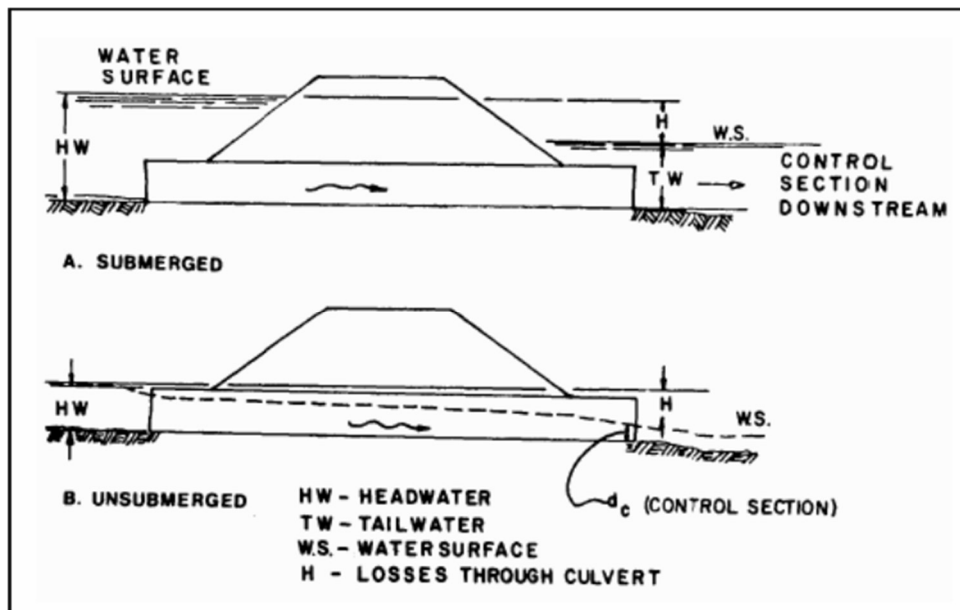


Figura 6-3 – Esempi di moto controllato da sezioni a valle del tombino

Il calcolo viene eseguito sulla base dell'equazione di conservazione dell'energia:

$$Hw_o + v_u^2 / 2g = TW + v_d^2 / 2g + H_L$$

dove i simboli hanno il significato indicato in figura.

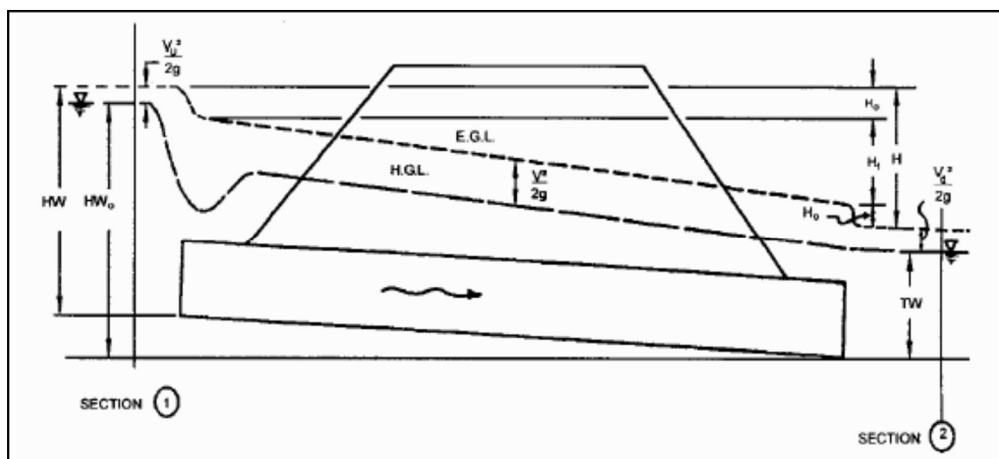


Figura 6-4 – Significato delle variabili usate per il calcolo dei tombini con sezioni di controllo a valle

Il pelo libero di moto permanente viene integrato utilizzando gli usuali metodi numerici e tenendo conto della pendenza dello stato rapido o lento della corrente e degli eventuali risalti idraulici.

Tailwater – La condizione al contorno di valle

Nell'analisi delle strutture esistenti e nel 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

Relazione idrologica e idraulica

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 possibile definire la sezione del canale e la sua scabrezza sia per canali con sezione geometrica (rettangolare, trapezia, ecc.) sia per alvei naturali.

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

$$v = 1/n * R^{2/3} * S^{1/2}$$

dove

- v (m/s) è la velocità media della corrente;
- R (m) è il raggio idraulico;
- S è la pendenza della linea dell'energia ed
- n è il coefficiente di scabrezza dipendente dalle caratteristiche dell'alveo: nel caso di canali rivestiti in materassi pari a 0.025, nel caso di canali rivestiti in cls pari a 0.013

6.1.2 Risultati della simulazione

Tabella 6-2 – Riepilogo delle verifiche del franco idraulico nei tombini

Tr = 200 anni								
Sez. di chiusura	Bacini	Qp (mc/s)	Opera di attraversamento	ID	h max (TR = 200 anni)	Franco minimo	Franco	Esito verifica
1	S1	2.55	Circolare DN1500	TO01	0.83	0.50	0.68	Verificato
2	B1	3.92	Scatolare 3x3	TO02	0.56	1.00	2.44	Verificato
3	B2	1.25	Scatolare 2x2	TO03	0.34	0.67	1.66	Verificato
4	B3	0.91	Scatolare 2x2	TO04	0.28	0.67	1.72	Verificato
5	S2	1.44	Circolare DN1500	TO05	0.61	0.50	0.89	Verificato
6	B4	8.82	Scatolare 3x3	TO06	0.96	1.00	2.04	Verificato
7	S3	0.67	Circolare DN1500	TO07	0.41	0.50	1.09	Verificato
9	S4	0.80	Circolare DN1500	TO08	0.45	0.50	1.05	Verificato
10	S5	0.54	Circolare DN1500	TO09	0.37	0.50	1.13	Verificato
11	S6	2.24	Circolare DN1500	TO10	0.77	0.50	0.73	Verificato
12	S7	1.06	Circolare DN1500	TO11	0.52	0.50	0.98	Verificato
14	S8	1.14	Circolare DN1500	TO12	0.54	0.50	0.96	Verificato
15	B7	2.91	Scatolare 2x2	TO13	0.60	0.67	1.40	Verificato
16	S9	0.87	Circolare DN1500	TO14	0.47	0.50	1.03	Verificato
17	S10	0.17	Circolare DN1500	TO15	0.21	0.50	1.30	Verificato
18	B8	1.59	Scatolare 2x2	TO16	0.40	0.67	1.60	Verificato
19	B9	1.12	Scatolare 2x2	TO17	0.32	0.67	1.68	Verificato

In appendice si riporta una tabella di sintesi dei calcoli eseguiti e delle altezze idriche all'imbocco e sbocco determinate.

Si riportano inoltre i tabulati di input e output, nonché i profili della corrente dei singoli manufatti.

Relazione idrologica e idraulica

6.2 OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO MAGGIORI

Le opere di attraversamento maggiori sono costituite dai due ponticelli posizionati in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini denominati nella presente relazione come B5 e B6.

Queste opere sono dimensionate nel rispetto del §5.1.2 delle NTC2018, garantendo sempre un franco minimo di 1.50 m tra l'intradosso dell'impalcato e la quota del pelo libero della corrente determinato per una portata con TR = 200 anni.

Le spalle dei ponti sono collocate all'esterno delle aree di esondazione e non sono presenti pile in alveo.

6.2.1 Descrizione del modello idraulico

Le verifiche di compatibilità idraulica delle due opere sono state condotte con un modello numerico monodimensionale per il calcolo dei profili di corrente in moto permanente sviluppato tra il 1996 ed il 2001 dal Centro di Ingegneria Idraulica del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti USACE-HEC (United States Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center) ed implementato nel programma per elaboratore elettronico HEC-RAS River Analysis System di ampia diffusione e consolidata pratica d'uso. Di tale modello è disponibile un'ampia documentazione nella letteratura scientifica.

Le verifiche sono state condotte al fine di determinare le caratteristiche idrauliche del deflusso in condizioni di piena in modo da avere quante più informazioni possibili circa le interazioni con le opere di attraversamento in progetto.

Le geometrie degli alvei sono state ricostruite dal modello DEM appositamente sviluppato per questo progetto dal rilievo topografico.

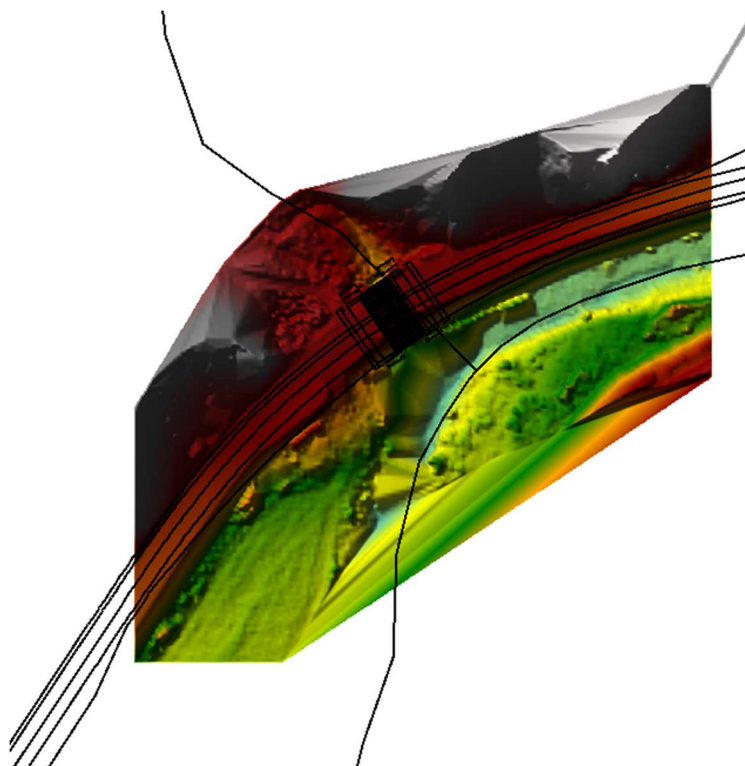


Figura 6-5 – Modello DEM utilizzato per la ricostruzione della geometria dell'alveo in corrispondenza dell'opera PO01

Relazione idrologica e idraulica

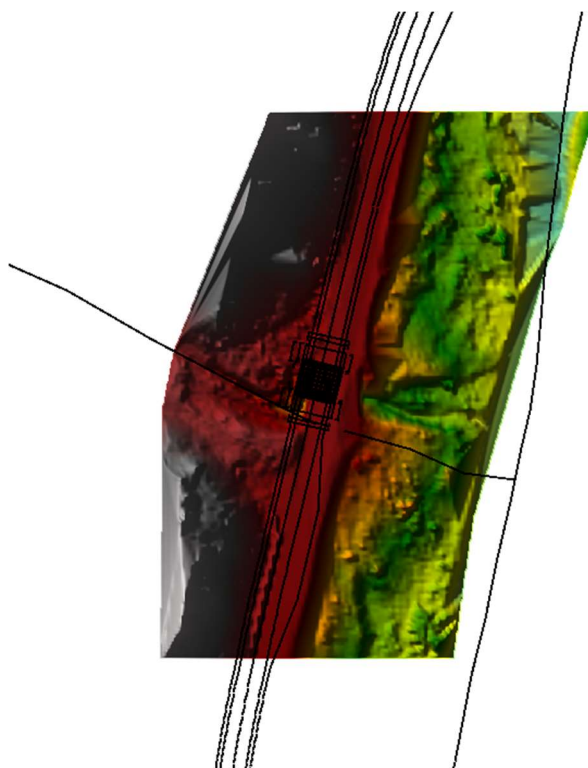


Figura 6-6 - Modello DEM utilizzato per la ricostruzione della geometria dell'alveo in corrispondenza dell'opera PO02

Le sezioni idrauliche oggetto di studio, ricostruite dal modello DTM, si ritengono attinenti alla realtà perché i corpi idrici sono nella quasi totalità a regime torrentizio con una presenza di portata che si manifesta solo nei periodi piovosi dell'anno. Il rilievo è stato eseguito in un periodo di assenza di precipitazioni e quindi la sezione del terreno coincide con la sezione batimetrica.

Sono stati definitivi i due corsi d'acqua in corrispondenza delle due opere di attraversamento maggiori e sono state inserite delle sezioni di calcolo con passo di circa 5 metri.

Il valore della scabrezza è stato definito confrontando le caratteristiche specifiche dell'alveo con valori definiti in letteratura.

Si riportano inoltre alcuni valori tipici del coefficiente di Manning da letteratura.

Relazione idrologica e idraulica

Tabella 6-3 – Valori tipici di n da letteratura

CORSI D'ACQUA MINORI (LARGHEZZA A PIENE RIVE < 30 m)

tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
ALVEI DI PIANURA			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)			
sul fondo: ghiaia, ciottoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciottoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
GOLENE E PIANE INONDABILI			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

Considerando che i corsi d'acqua interferenti sono a regime torrentizio e vista la geologia dei luoghi, si possono assimilare a alvei di montagna con fondo in ghiaia e/o ciottoli.

Nel modello idraulico monodimensionale è stata assegnata la seguente scabrezza:

Tipologia	Scabrezza di Manning [$s/m^{1/3}$]
alveo	0.03
golena	0.035

Relazione idrologica e idraulica

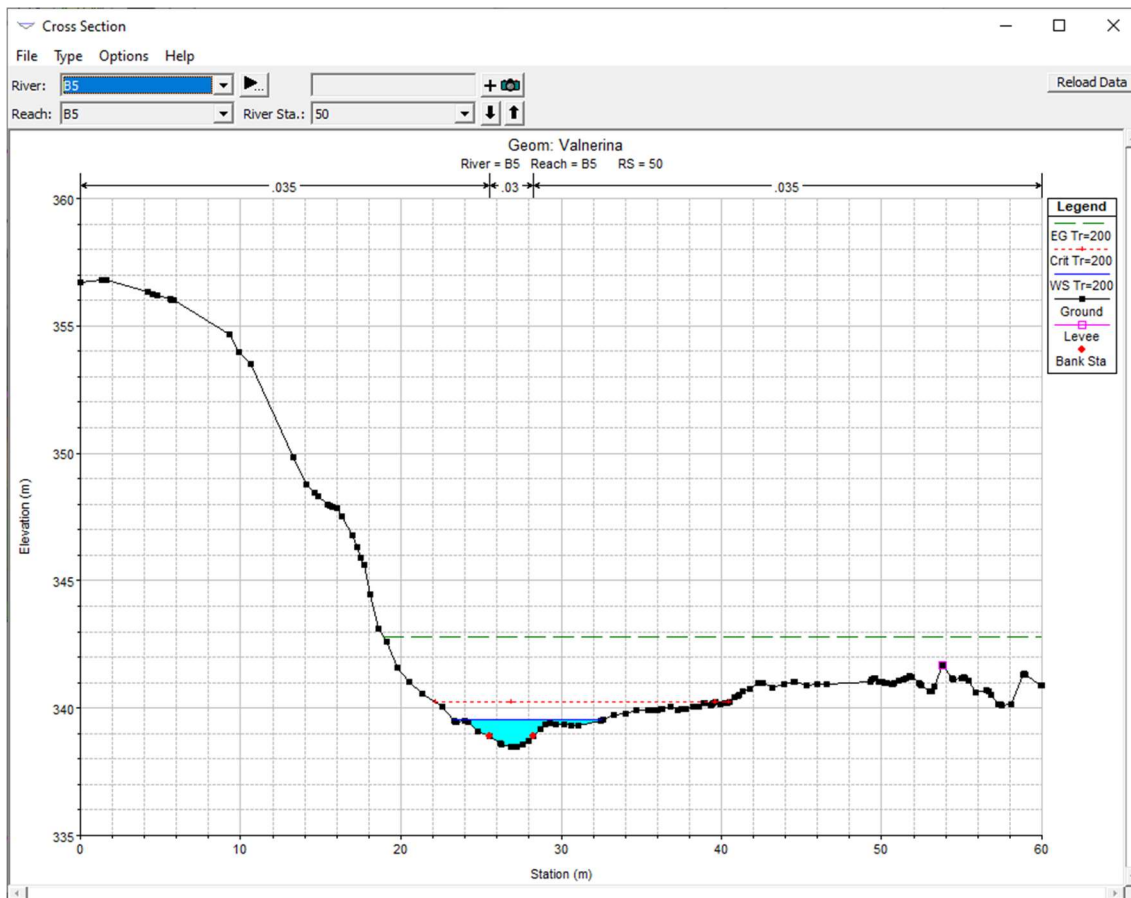


Figura 6-7 – Applicazione del coefficiente di Manning

Le condizioni al contorno imposte nelle sezioni a monte dei due rami studiati sono quelle di pendenza normale dell'alveo, prese come pendenza media del tratto di monte.

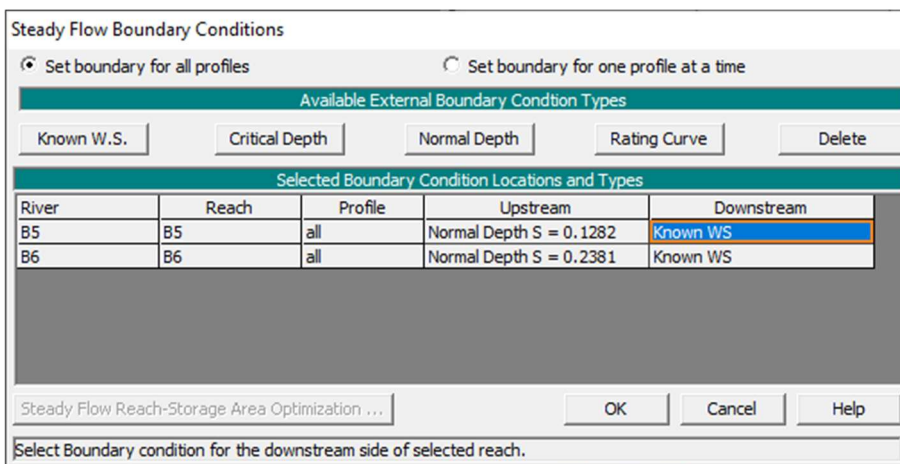


Figura 6-8 – Condizioni al contorno imposte nel modello

Relazione idrologica e idraulica

Le condizioni al contorno imposte nelle sezioni a valle, che corrispondono con lo sbocco nel fiume Nera, sono quelle di quota nota del livello idrico superficiale, ricavato dalla cartografia delle fasce idrauliche del PAI per la piena cinquantennale.

Quota valle B5 [m slm]	Quota valle B6 [m slm]
337.63	345.37

6.2.2 Risultati del modello idraulico

Di seguito si riportano le sezioni dei modelli idraulici delle varie opere per dimostrare il rispetto del franco idraulico minimo previsto dalla normativa vigente.

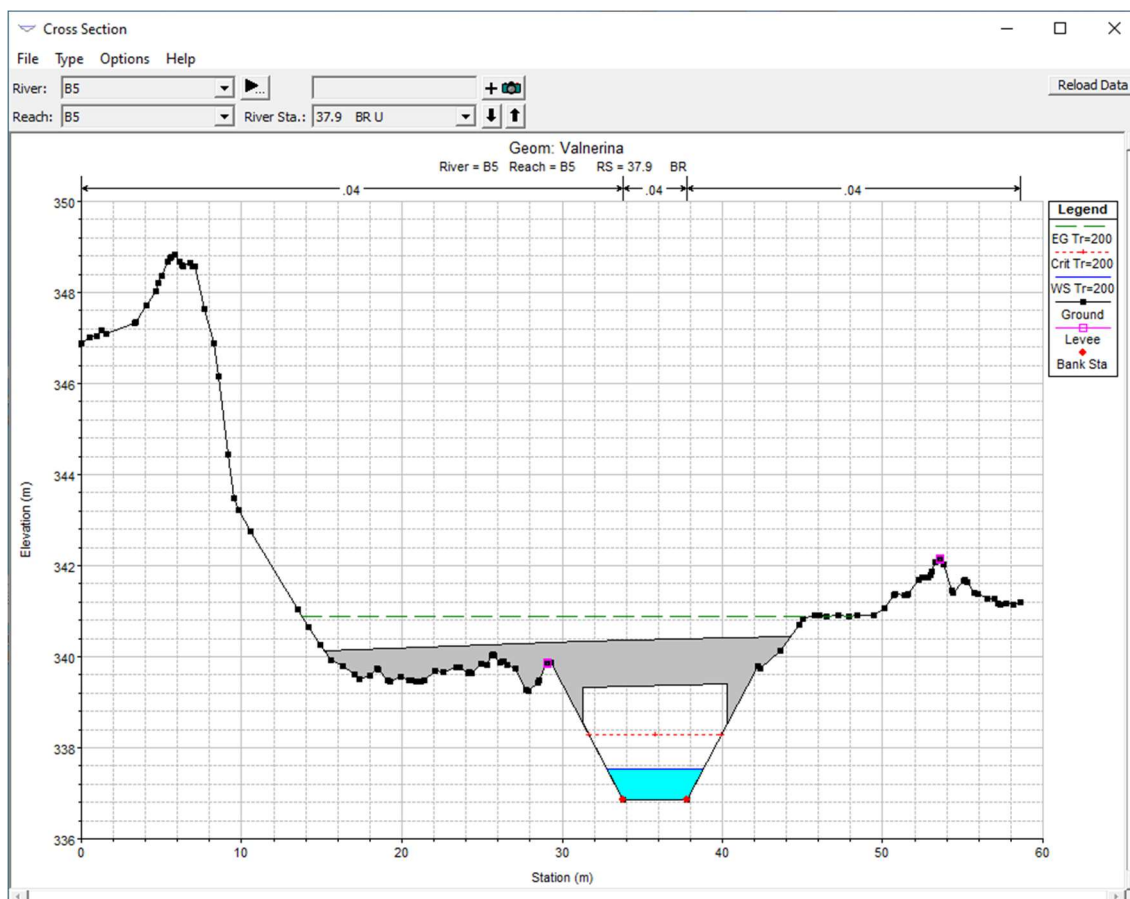


Figura 6-9 – Sezione del ponticello P001

Relazione idrologica e idraulica

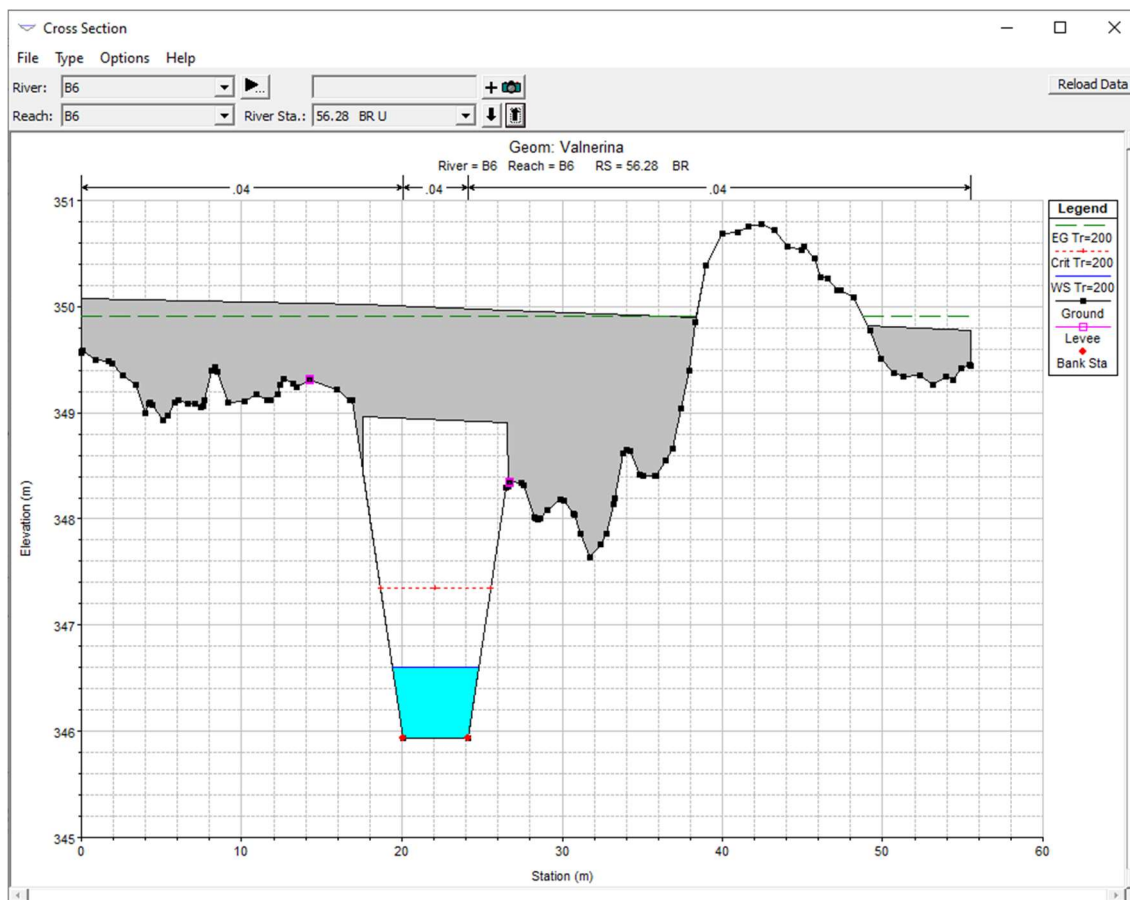


Figura 6-10 – Sezione del ponticello P002

Nella tabella seguente si riporta la sintesi delle verifiche del franco idraulico per le due opere:

Tabella 6-4 – Riepilogo delle verifiche del franco idraulico nei ponticelli

Sez. di chiusura	Bacini	Qp (mc/s)	Opera di attraversamento	ID	h max (TR = 200 anni)	Franco minimo	Franco	Esito verifica
8	B5	26.11	Ponticello	PO01	0.67	1.50	1.81	Verificato
13	B6	24.03	Ponticello	PO02	0.67	1.50	2.33	Verificato

7 SMALTIMENTO DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA

Il presente paragrafo tratta del drenaggio di piattaforma, affrontando i problemi idraulici legati alle opere di raccolta, convogliamento e recapito delle acque meteoriche che insistono direttamente sulla piattaforma stradale e delle acque esterne non canalizzate che possono interessare il corpo stradale.

Gli schemi della rete di drenaggio e di smaltimento sono stati studiati in modo da consentire lo scarico a gravità delle acque verso i recapiti finali, costituiti prevalentemente dai fossi scolanti e dal corso d'acqua naturale limitrofo al tracciato.

È prevista la realizzazione di un sistema di smaltimento di tipo aperto, dedicato allo smaltimento sia delle acque di versante che delle acque di piattaforma, che andrà a convogliare i deflussi idrici direttamente presso il recapito finale.

In merito al dimensionamento, una volta tenuto conto dell'importanza delle opere da realizzare e della necessità di garantire un facile allontanamento delle acque dalle pavimentazioni, è opportuno assumere dati di progetto che assicurino le migliori condizioni di esercizio.

Nel calcolo del drenaggio delle acque di piattaforma, la sollecitazione meteorica da assumere alla base del progetto dovrà essere quella corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 25 anni; per essa si dovrà verificare che tutti gli elementi idraulici di drenaggio raggiungano un grado di riempimento massimo compatibile con la funzione svolta.

I criteri progettuali adottati sono stati i seguenti:

- mantenimento della sicurezza sul piano viario anche in caso di apporti meteorici eccezionali;
- protezione dall'erosione di trincee, rilevati e opere d'arte che possono essere interessate dal deflusso di acque canalizzate;
- protezione dall'erosione e mantenimento della sicurezza a valle dei recapiti della rete di drenaggio.

7.1 STIMA DELLA PORTATA MASSIMA DI PIOGGIA E DELLE PIOGGE DI PROGETTO

Per la valutazione delle massime portate affluenti nelle canalizzazioni e nelle eventuali tubazioni dei diversi tronchi del sistema di drenaggio è stata utilizzata la formula derivata dal metodo razionale, considerando tempi di ritorno T=25 anni.

$$Q_p = \frac{\Phi_c \times b_c + \Phi_s \times b_s + \Phi_e \times b_e}{3600} \times L \times i_c \quad [l/s]$$

- Q_p è la portata massima di pioggia [l/s];
- $\phi_c = 0.9$, è il coefficiente di deflusso della piattaforma stradale [adim.];
- $\phi_s = 0.45$, è il coefficiente di deflusso delle scarpate [adim.];
- $\phi_e = 0.45$, è il coefficiente di deflusso delle aree esterne [adim.];
- b_c è la larghezza della piattaforma stradale [mq];
- b_s è la larghezza della scarpata stradale [mq];
- b_e è la larghezza della fascia esterna [mq];
- L è la lunghezza del tratto [m];
- i_c è l'intensità della pioggia critica [mm/h] (T=25 anni, $t_c=5$ minuti per le cunette, canalette e collettori e T=50 anni, $t_c=10$ minuti per i fossi di guardia).

Relazione idrologica e idraulica

L'intensità di precipitazione i per un dato Tempo di Ritorno, che determina la massima portata di piena (intensità critica), è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia, in funzione della durata della precipitazione t ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T .

L'equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata diventa, in tal modo, per ciascun tempo di ritorno T :

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

- t = durata della pioggia critica;0
- a = coefficiente della curva di possibilità climatica;
- n = esponente della curva di possibilità climatica;

da cui può ricavarsi l'intensità di precipitazione:

$$i = a \cdot t^{n-1}$$

Per la stima delle acque meteoriche ricadenti sulla piattaforma stradale si è fatto riferimento alle Curve di Possibilità Pluviometrica valutate con le modalità descritte nei capitoli precedenti per le piogge di durata inferiore ad un'ora.

Le intensità di pioggia di progetto relative alla verifica degli elementi responsabili dello smaltimento delle acque di piattaforma e delle acque di versante sono di seguito riportate:

T (anni)	t (min)	i (mm/h)
25	5	175.07

T (anni)	t (min)	i (mm/h)
50	10	146.35

7.2 OPERE DI DRENAGGIO DEL CORPO STRADALE

Nel seguito vengono delineate le principali tipologie di opere di drenaggio in relazione alle specifiche applicazioni.

7.2.1 Sezioni in rilevato

La soluzione adottata consiste nell'allontanamento delle acque di piattaforma mediante collettore in PEAD interrato al margine della carreggiata. La raccolta delle acque sarà realizzata mediante pozzetti con caditoia grigliata disposti ad interasse di 15 m.

Relazione idrologica e idraulica

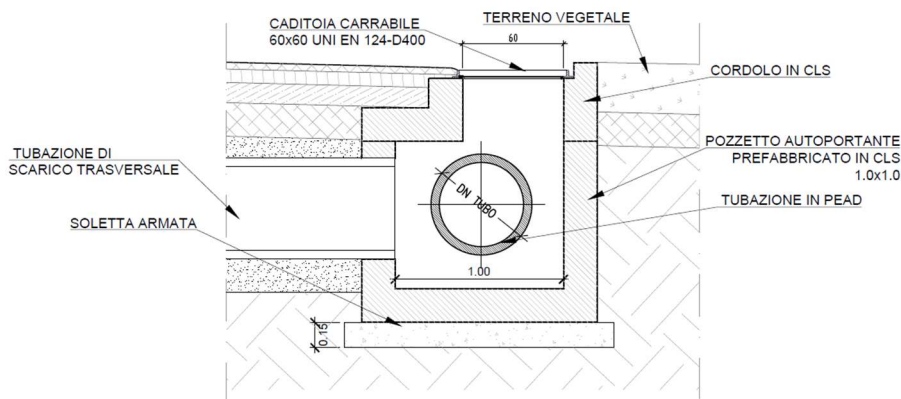


Figura 7-1 – Schema drenaggio in rilevato

7.2.2 Sezioni in trincea

Nei tratti al piede delle trincee è prevista l'esecuzione, in fregio alla pavimentazione stradale, di cunette alla francese in cls di larghezza 1.0 m, con eventuale sottostante tubazione di collettamento in PEAD. Le acque raccolte dalla cunetta, saranno trasferite per mezzo di caditoie poste ad interasse pari a 20 m, protette da griglie carrabili sagomate come la stessa cunetta, alla sottostante tubazione di allontanamento. Per i particolari costruttivi dei pozzetti di raccolta si rimanda ai relativi allegati grafici. Nel caso in cui sia previsto un muro di controripa, verrà realizzata una canaletta a tergo del muro per la raccolta delle acque scolanti lungo la scarpata stessa.

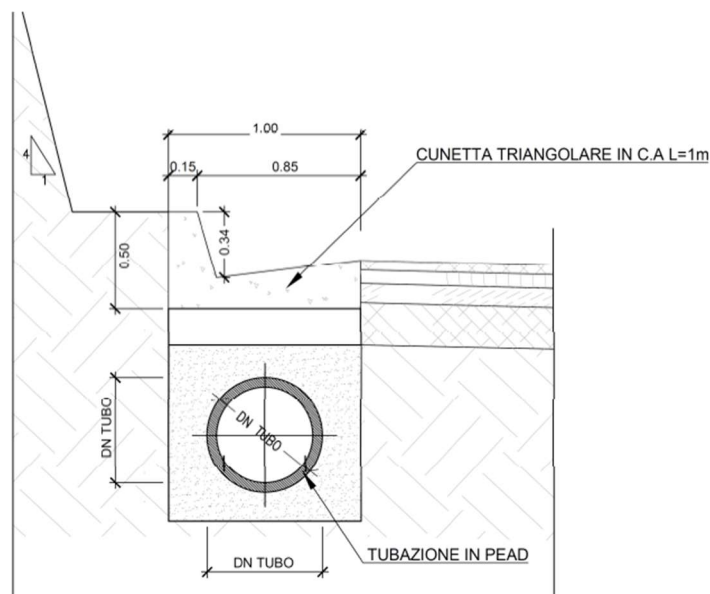


Figura 7-2 – Schema di drenaggio in trincea

7.2.3 Sezioni in corrispondenza dei muri di sostegno

In corrispondenza dei muri la raccolta delle acque di piattaforma sarà effettuata mediante collettore in PEAD interrato al margine della carreggiata. Il collettore riceverà le acque meteoriche mediante pozzetti con caditoia

Relazione idrologica e idraulica

grigliata disposti ad interasse di 15m. Questo consente di recapitare in posizione opportuna senza in generale interferire con l'opera di sostegno di progetto.

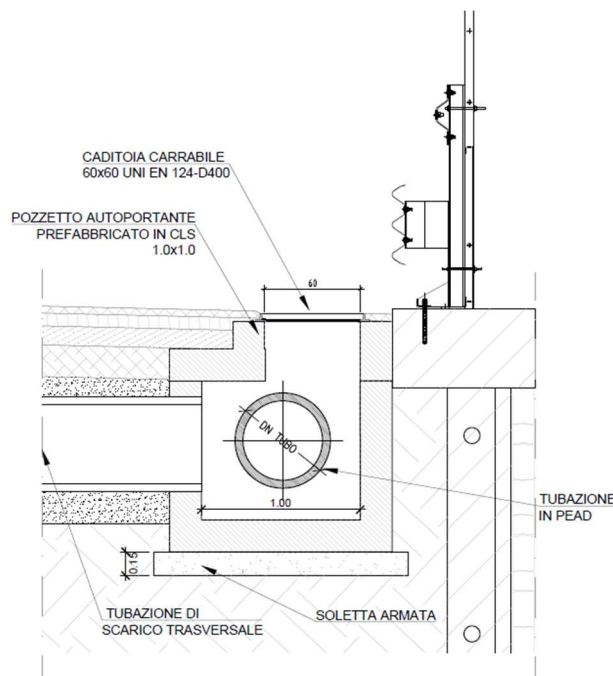


Figura 7-3 – Schema di drenaggio in corrispondenza dei muri di sostegno

7.2.4 Sezioni in galleria

La sezione tipo in galleria, pur non essendo soggetta ad afflusso diretto di acque meteoriche, prevede, comunque, l'esecuzione di cunette alla francese in cls di larghezza 1.0 m per collettare possibili sversamenti accidentali e la frazione di precipitazione che i veicoli provenienti dal tratto all'aperto trascinano con sé.

7.3 VERIFICHE IDRAULICHE DELLE OPERE DI DRENAGGIO

Le condotte a pelo libero sono state dimensionate nell'ipotesi di moto uniforme, con la relazione di Gauckler - Strickler:

$$Q = A_0 K_0 \sqrt{R_0 i}$$

$$K_0 = c R_0^{1/6}$$

Dove:

- i = pendenza del tronco di condotta;
- R_0 = raggio idraulico della sezione;
- A_0 = area bagnata;
- c = coefficiente di Gauckler - Strickler;
- Q = portata.

Relazione idrologica e idraulica

Per ogni pozzetto o caditoia è stato determinato il contributo di portata. La portata di progetto, ovvero la portata che defluisce nei collettori, è data dalla somma dei singoli contributi.

Per quanto riguarda i valori dei coefficienti di scabrezza è stato assunto:

- $K=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le canalizzazioni aperte in C.A.;
- $K=83 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le tubazioni in PEAD;
- $K=110 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le tubazioni in acciaio.

La portata smaltita dai collettori è stata determinata in funzione dell'area drenata, data dall'interasse tra i pozzetti per la larghezza della corsia.

7.3.1 Verifica della capacità di deflusso delle caditoie

Il drenaggio superficiale per lo smaltimento delle acque ricadenti sulla superficie stradale è realizzato, in generale, da canalette collocate al ciglio della carreggiata recapitanti in caditoie collegate tramite collettori al sistema di trattamento delle acque di piattaforma. Le verifiche sono eseguite per un tempo di ritorno pari a 25 anni.

Si procede alla verifica della caditoia considerando un tirante idrico massimo sulla caditoia pari ad $h = 0,01$ m. Utilizzando la relazione sviluppata da McGhee, la capacità di smaltimento della caditoia è calcolabile tramite la seguente:

$$Q = k A h^{1/2} \eta$$

in cui:

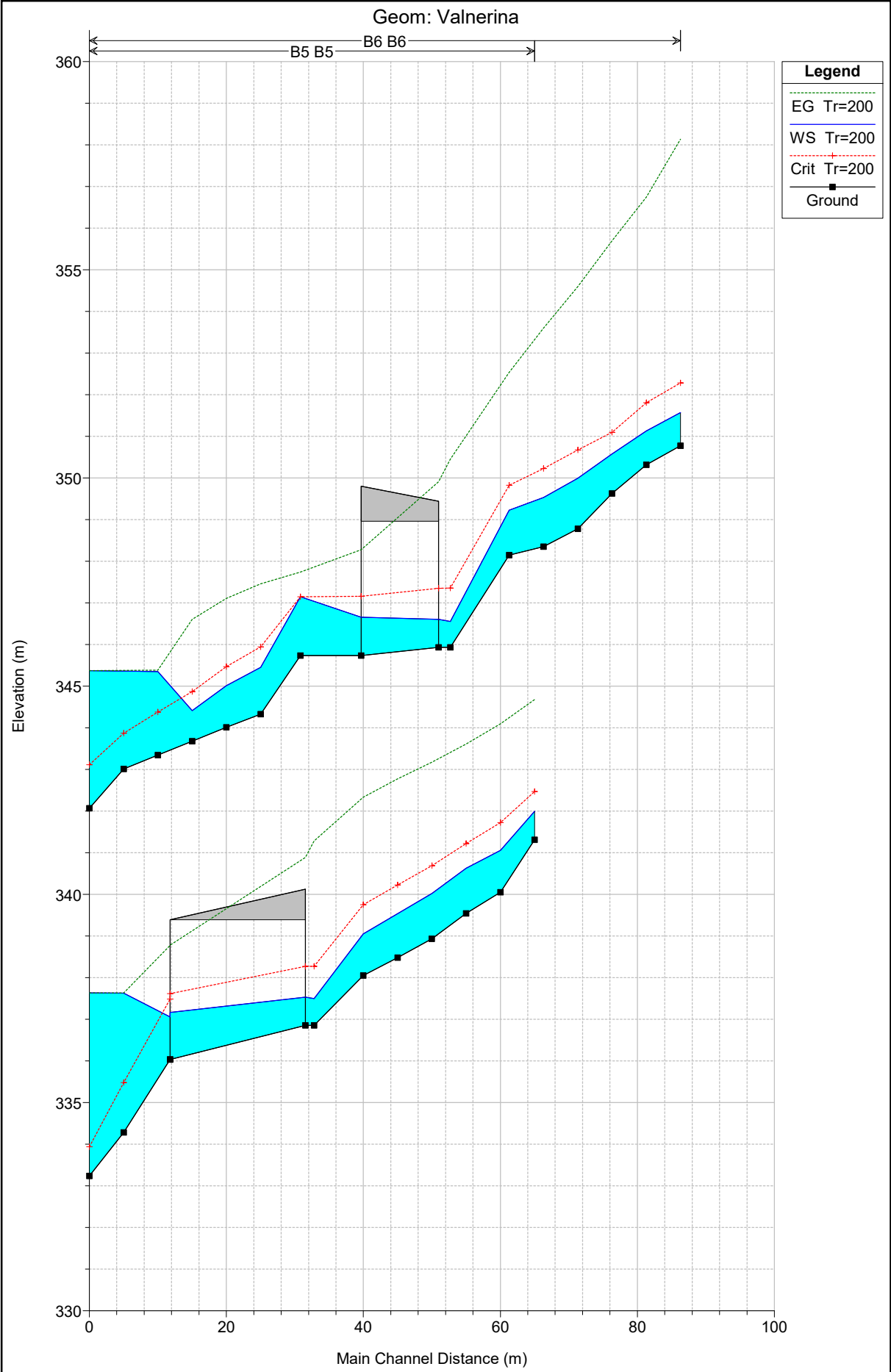
A è l'area libera della luce;

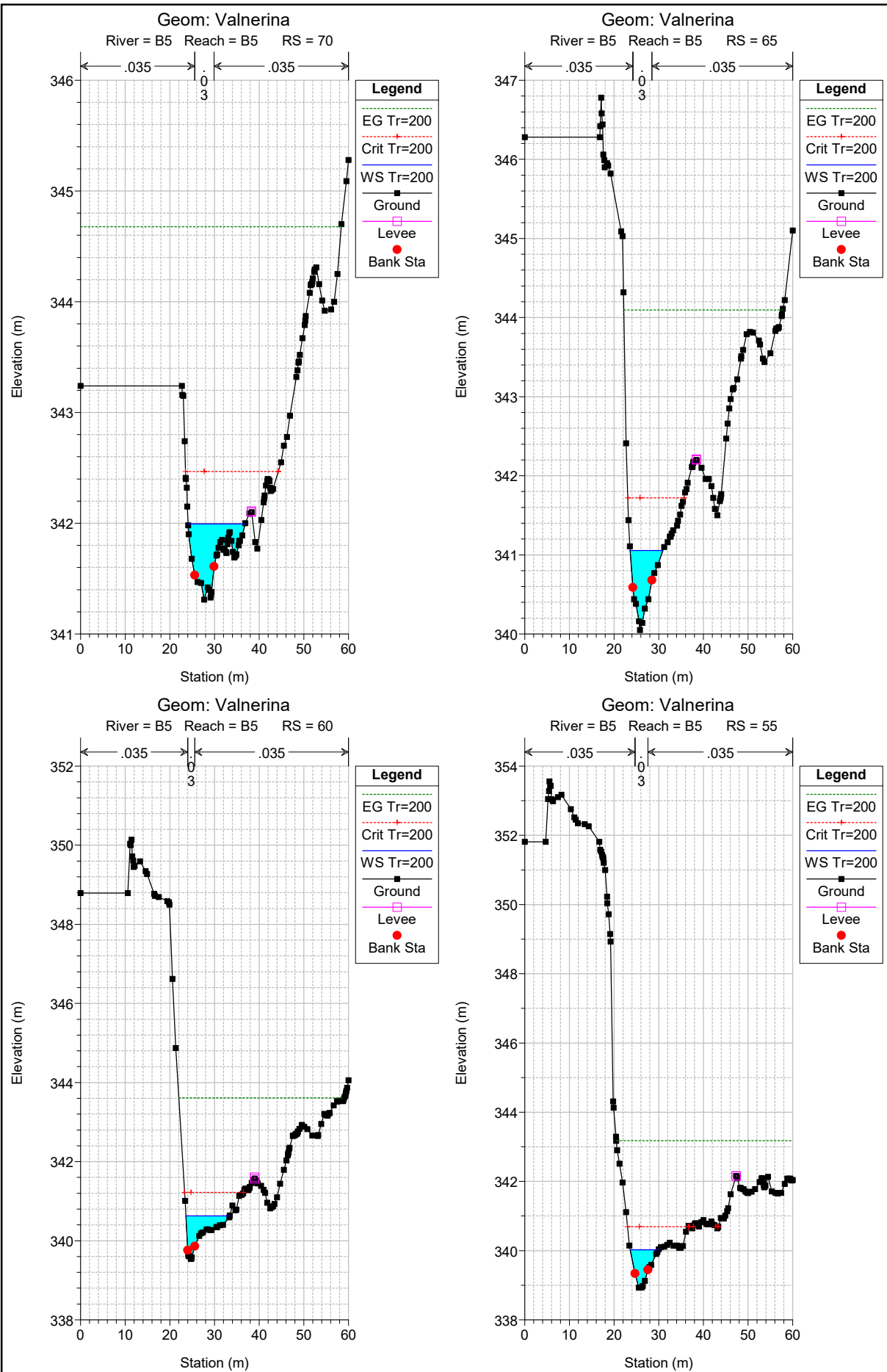
K è una costante pari a 2,96 nel S.I.;

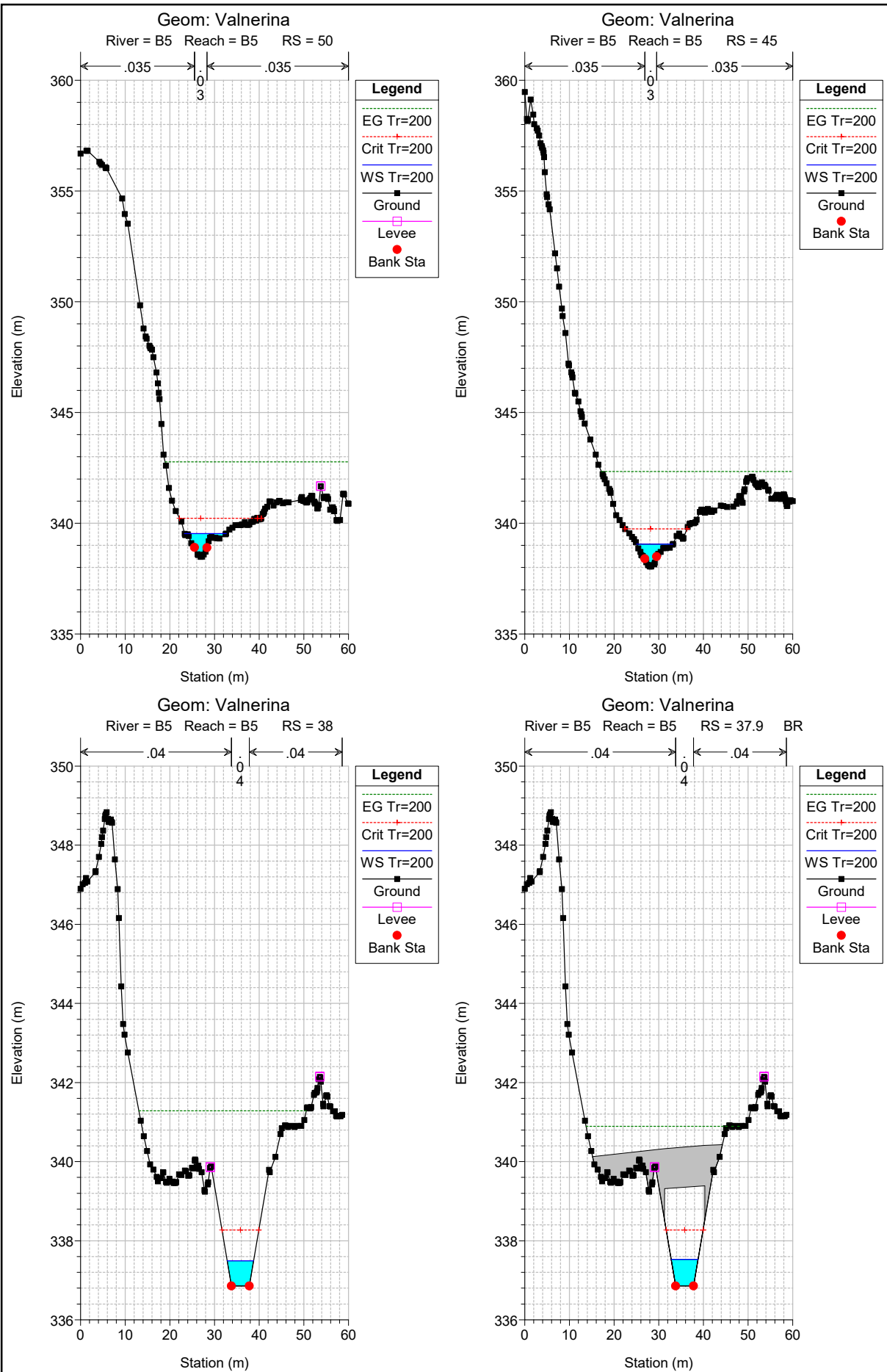
η è un coefficiente riduttivo per mettere in conto il possibile intasamento della griglia.

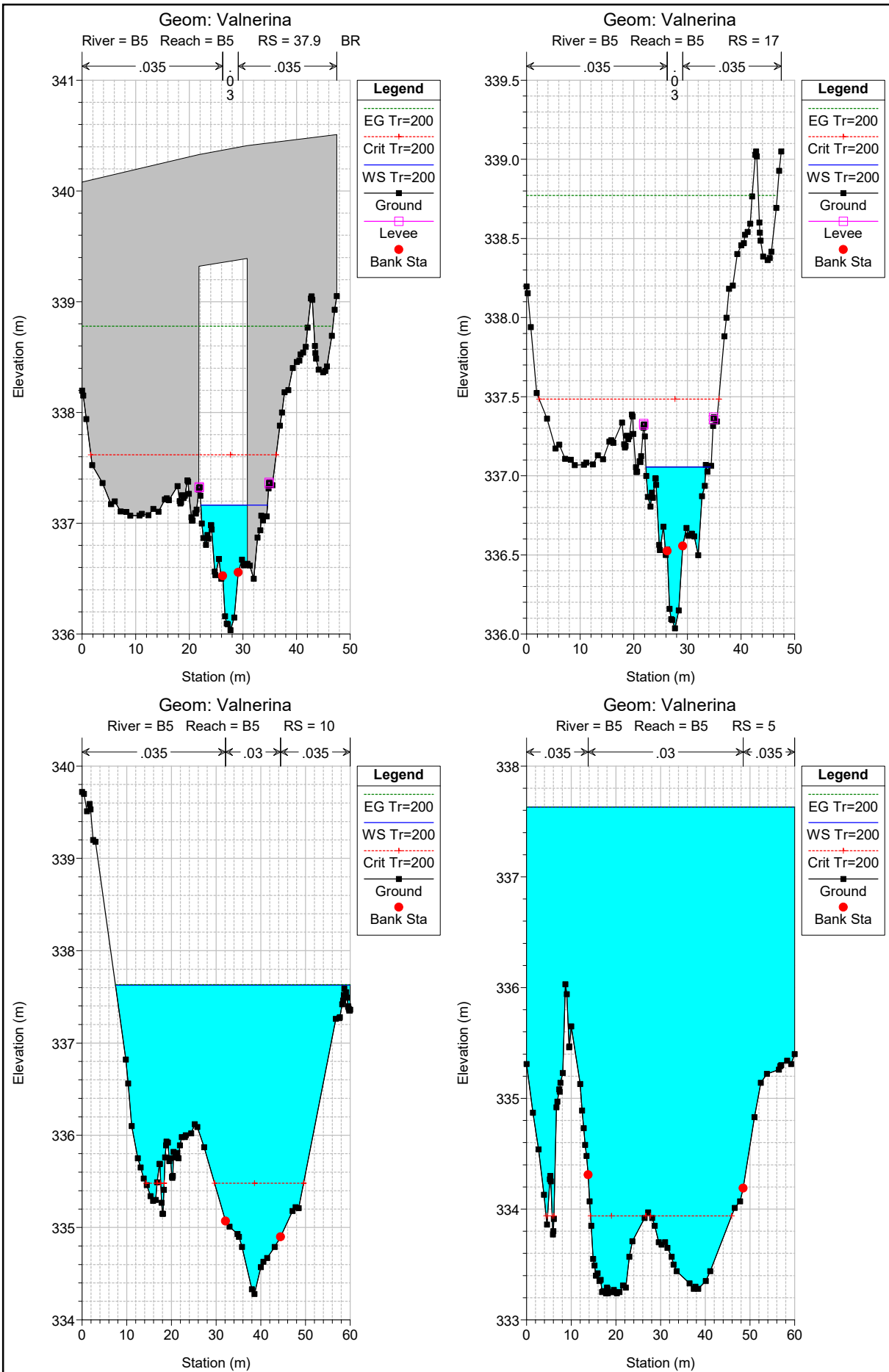
Quando l'apporto di acqua piovana di un determinato tratto di strada raggiunge la capacità di smaltimento della caditoia la canaletta non sarà più in grado di smaltire le portate affluenti, per cui si dovrà prevedere una caditoia, che consenta di deviare le acque defluenti nel tubo collettore posto al di sotto della cunetta. Con questo procedimento si ricava l'interasse tra i pozzetti di raccolta.

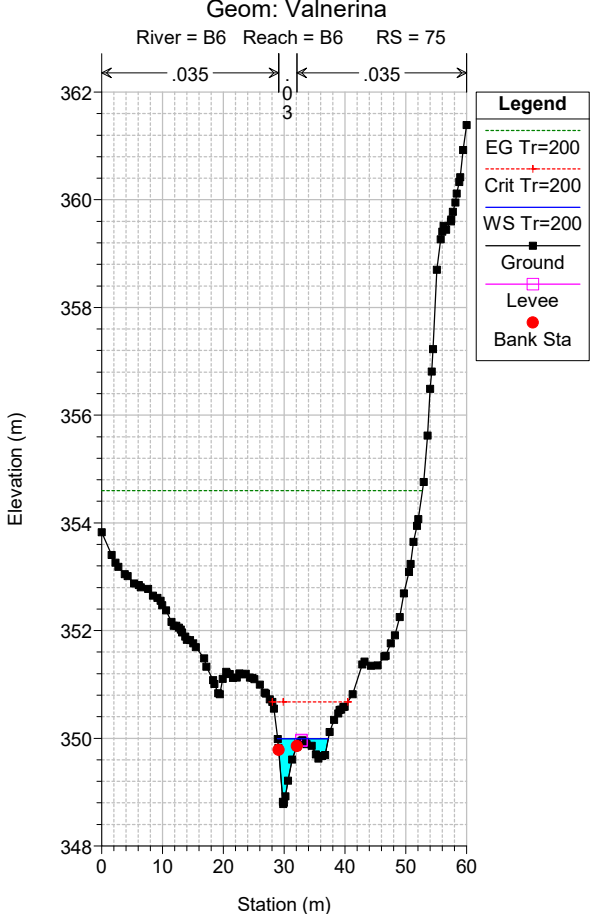
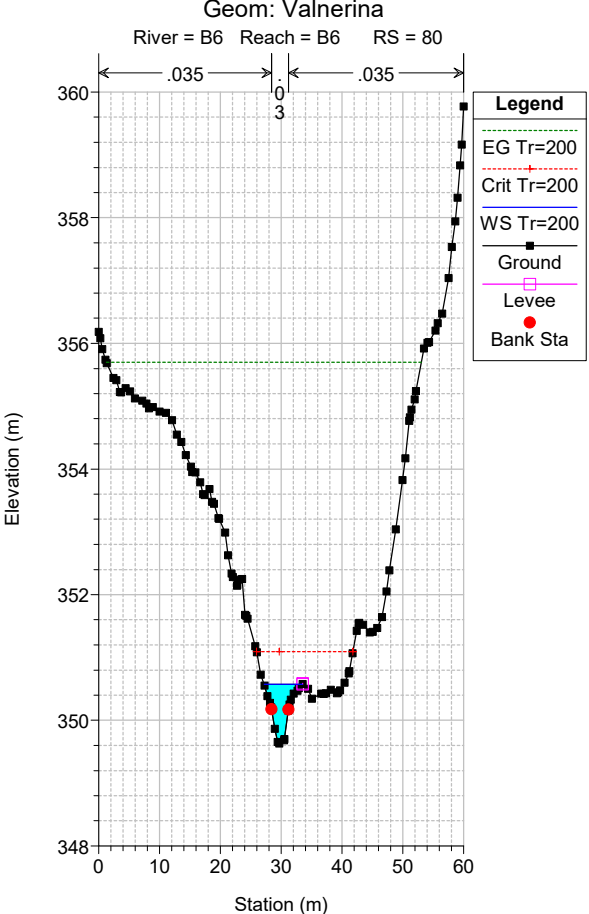
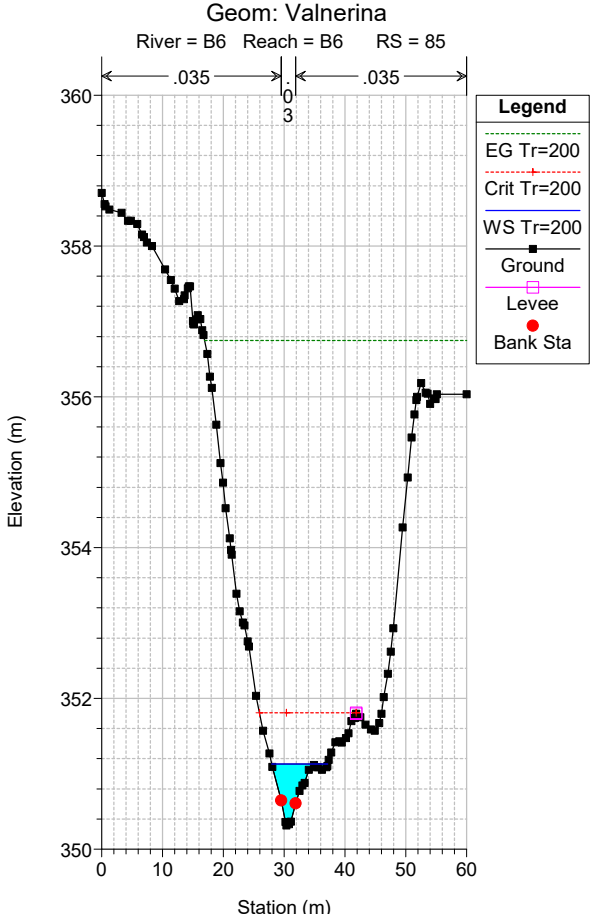
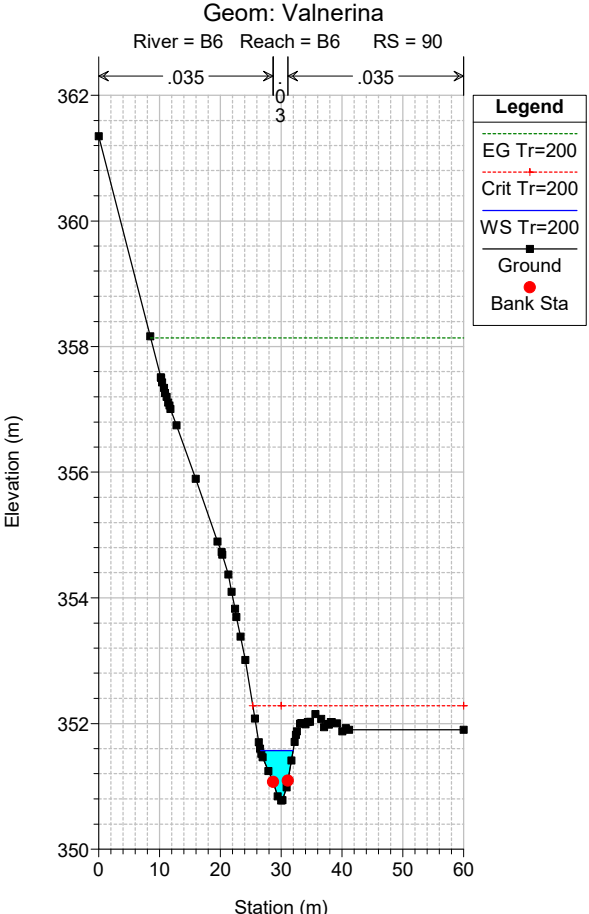
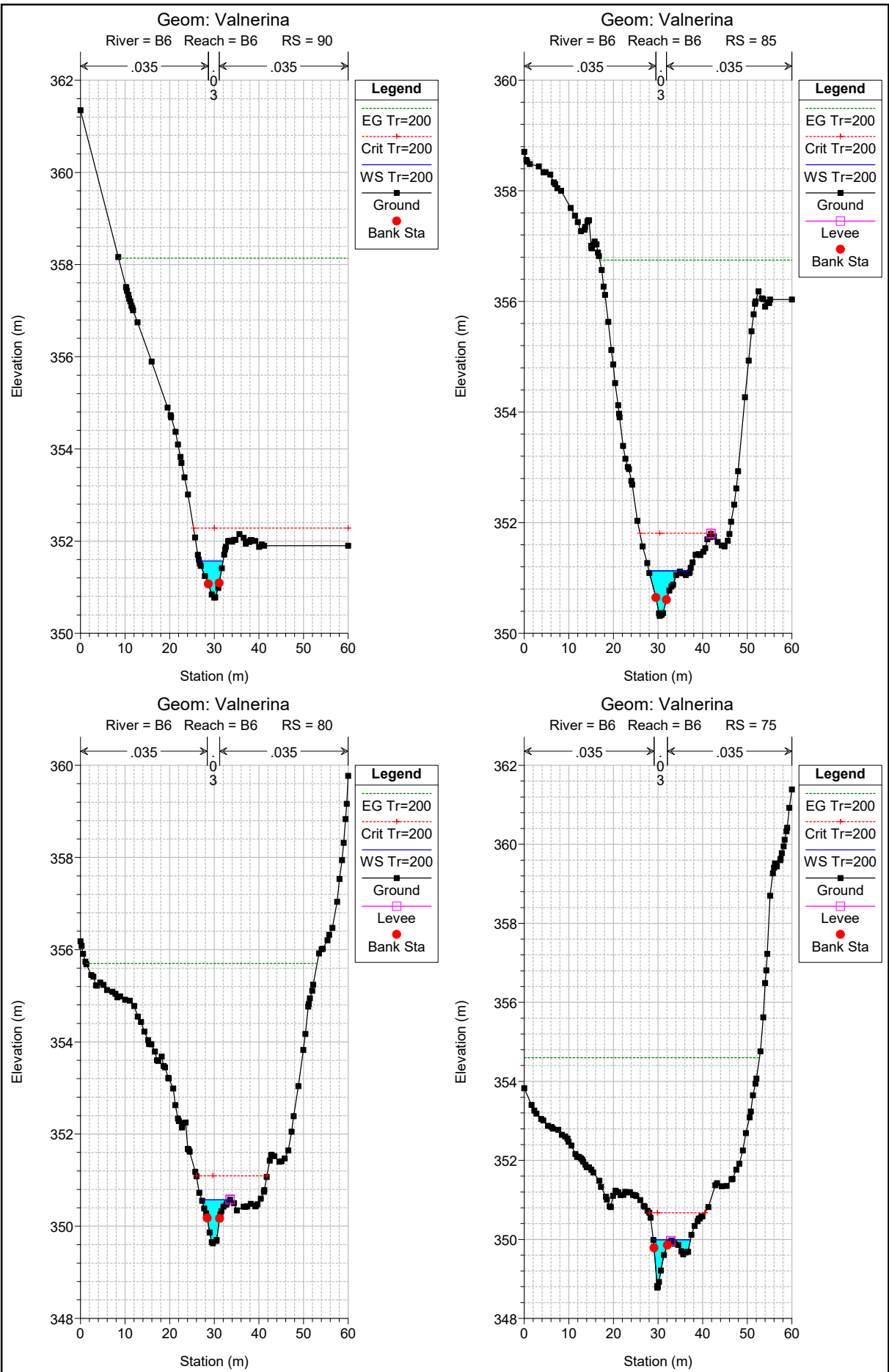
8 ALLEGATI MODELLI DI CALCOLO

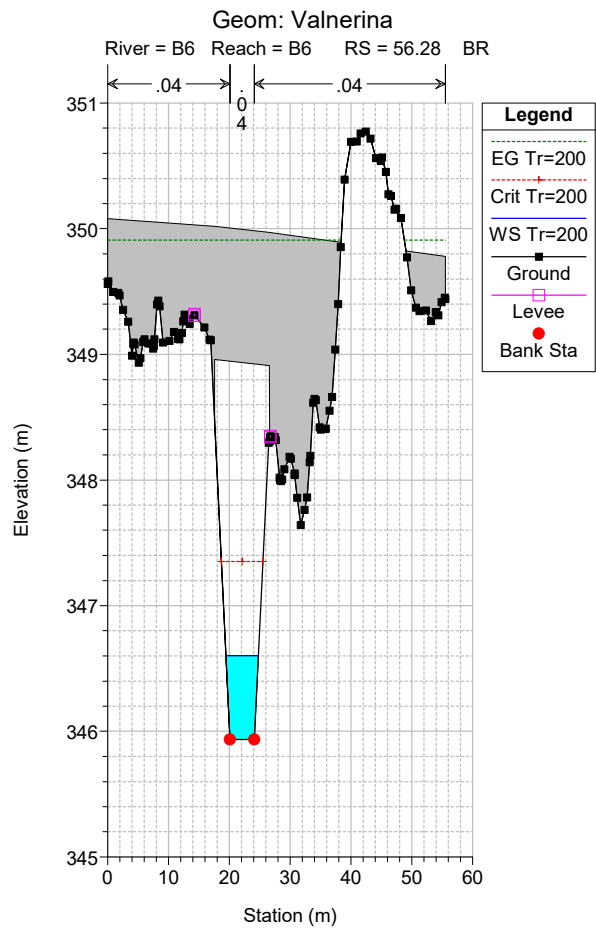
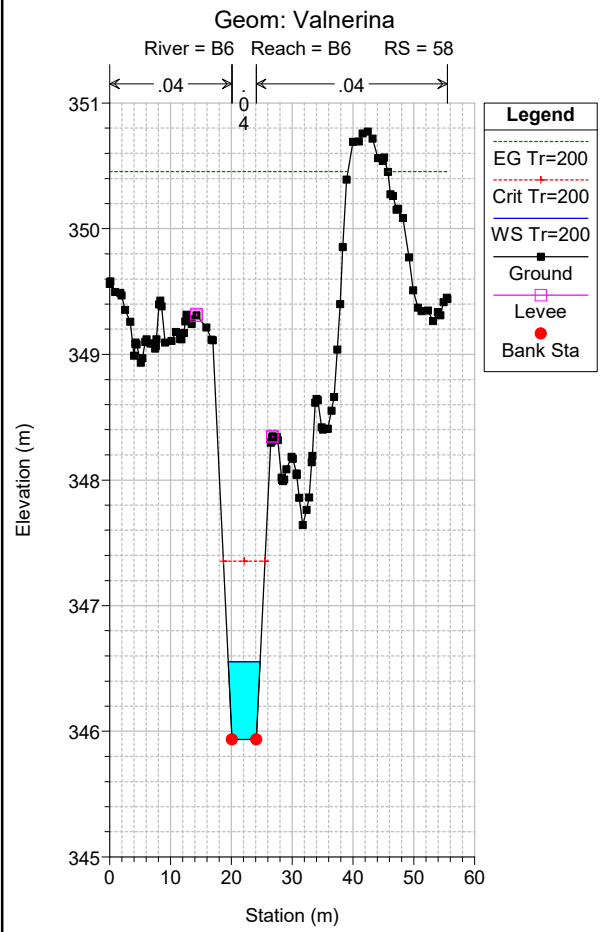
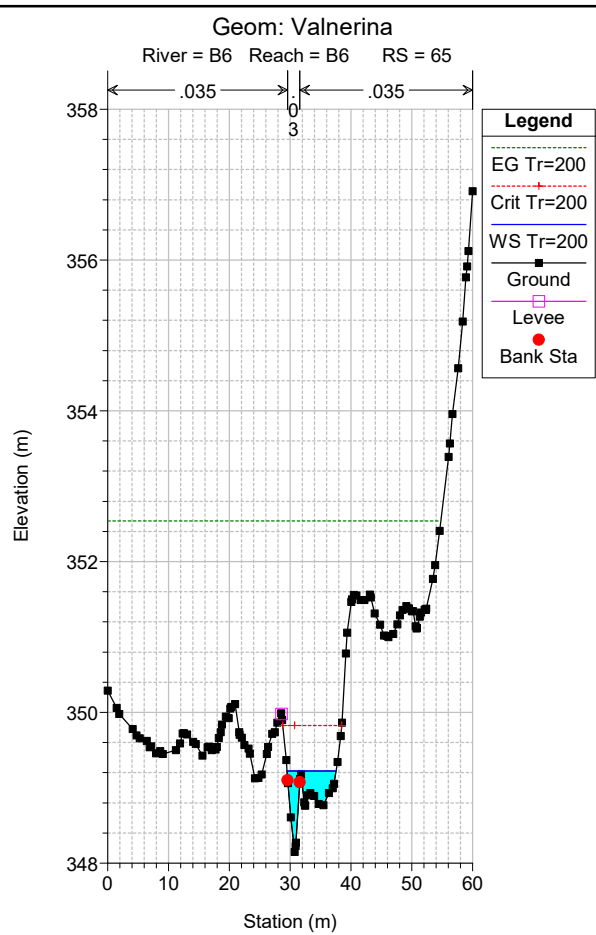
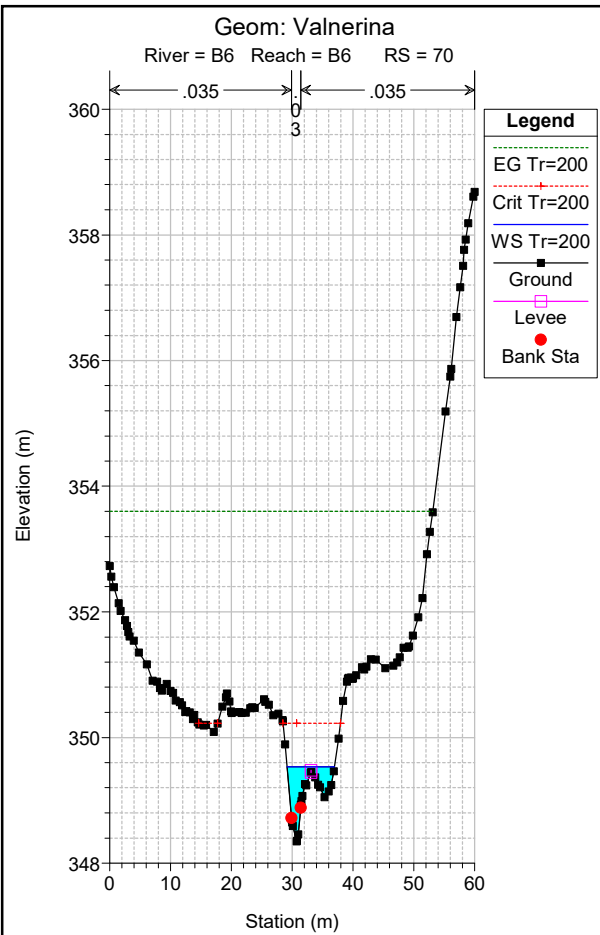


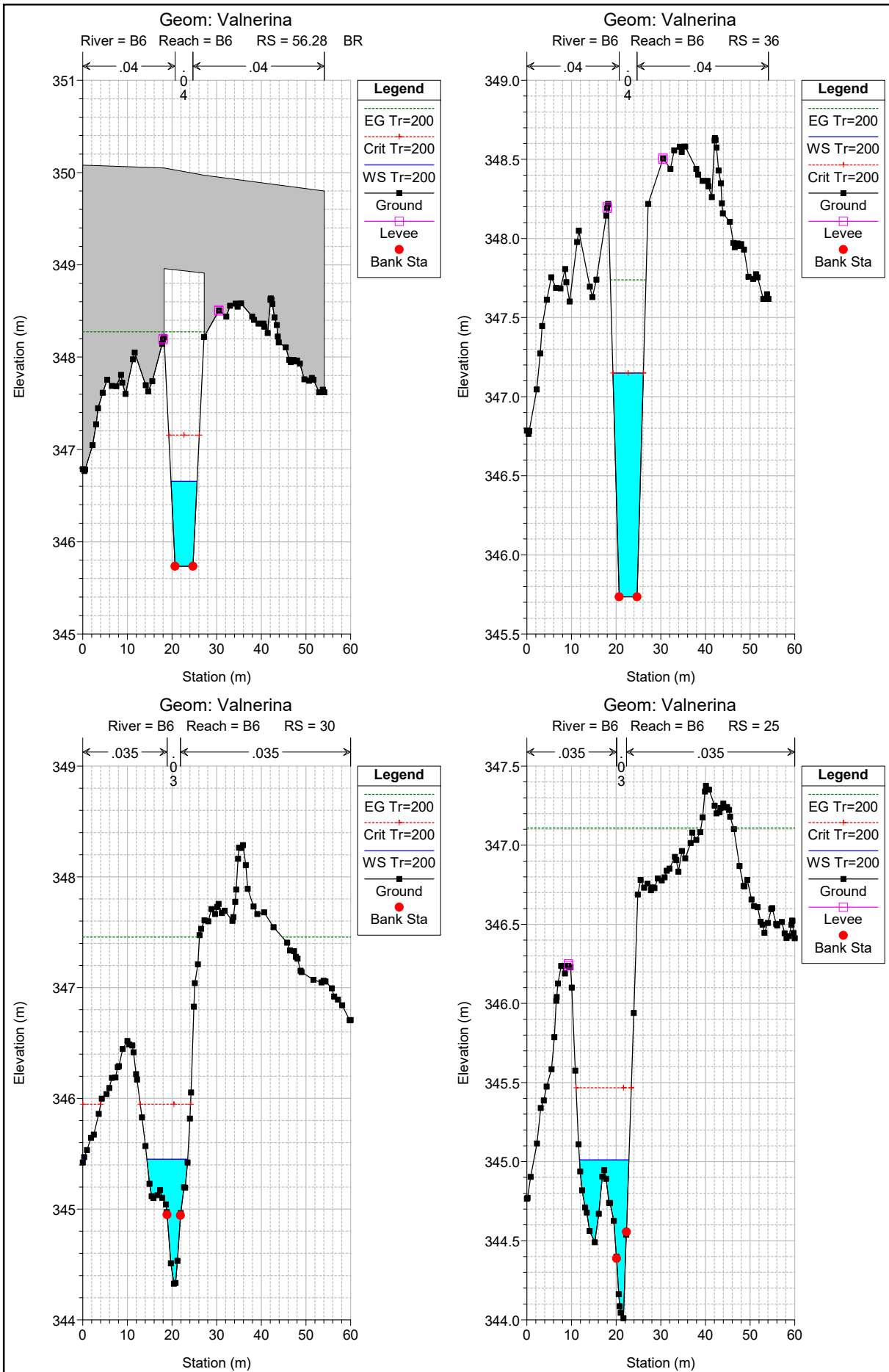


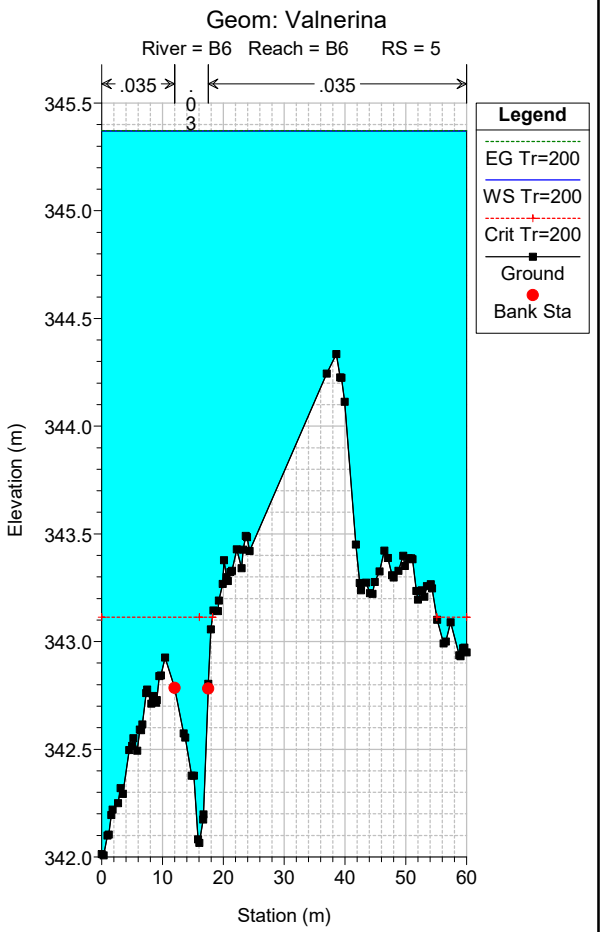
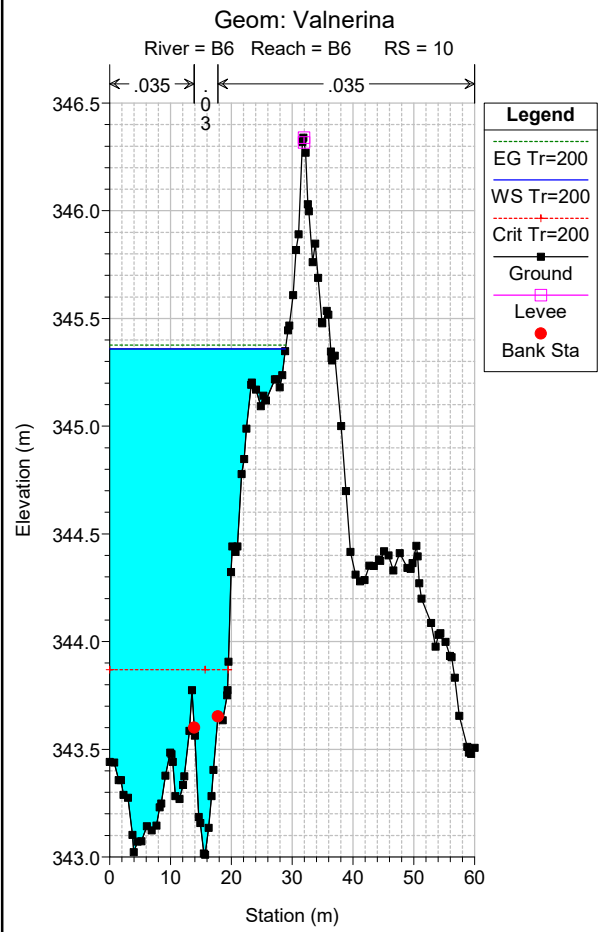
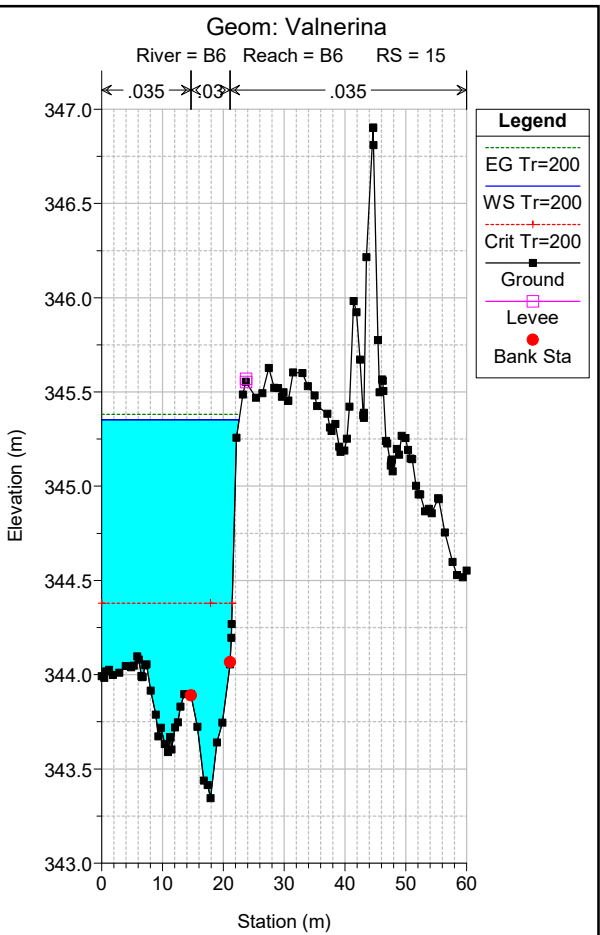
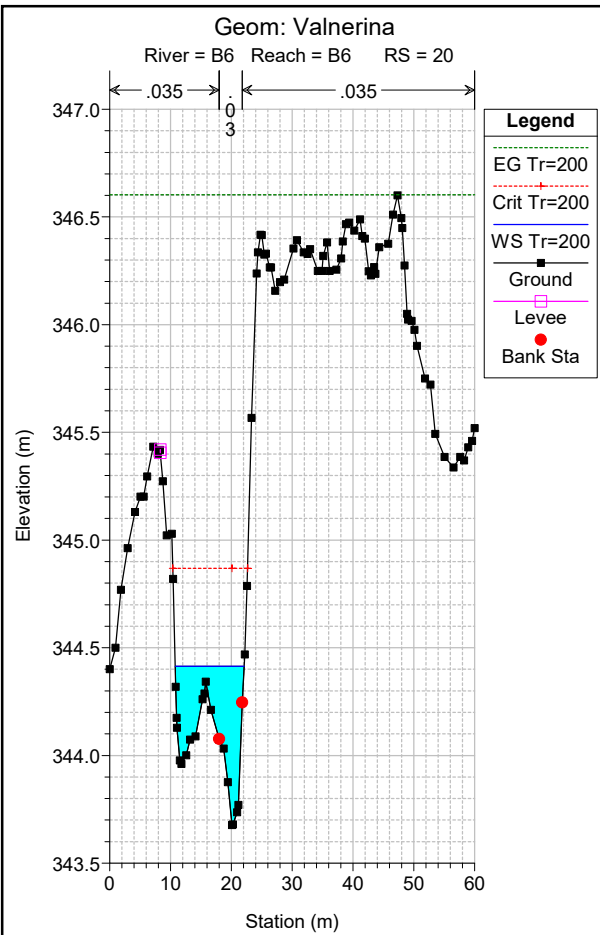












HEC-RAS Plan: V_SP Profile: Tr=200

River	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
B6	B6	90	Tr=200	24.03	350.77	351.57	352.28	358.14	0.238434	12.23	2.39	5.35	4.75
B6	B6	85	Tr=200	24.03	350.31	351.13	351.81	356.75	0.205476	11.54	2.85	9.24	4.42
B6	B6	80	Tr=200	24.03	349.63	350.57	351.10	355.70	0.159410	10.40	2.69	6.29	3.81
B6	B6	75	Tr=200	24.03	348.78	349.99	350.68	354.60	0.227263	10.24	2.91	8.37	4.05
B6	B6	70	Tr=200	24.03	348.35	349.53	350.23	353.60	0.128001	10.57	3.41	7.80	3.38
B6	B6	65	Tr=200	24.03	348.15	349.22	349.82	352.54	0.226927	9.52	3.19	8.06	3.80
B6	B6	58	Tr=200	24.03	345.93	346.56	347.36	350.45	0.244572	8.99	2.87	5.24	3.65
B6	B6	56.28	Bridge										
B6	B6	36	Tr=200	24.03	345.74	347.15	347.15	347.74	0.013120	3.61	7.66	6.83	0.97
B6	B6	30	Tr=200	24.03	344.33	345.45	345.95	347.46	0.058186	6.96	4.49	9.34	2.36
B6	B6	25	Tr=200	24.03	344.01	345.01	345.47	347.11	0.079218	7.75	4.55	11.03	2.70
B6	B6	20	Tr=200	24.03	343.68	344.41	344.87	346.60	0.128619	7.55	4.07	11.34	3.31
B6	B6	15	Tr=200	24.03	343.34	345.35	344.38	345.38	0.000369	0.90	32.96	22.60	0.22
B6	B6	10	Tr=200	24.03	343.01	345.36	343.87	345.38	0.000185	0.71	43.41	28.91	0.16
B6	B6	5	Tr=200	24.03	342.06	345.37	343.11	345.37	0.000016	0.26	129.20	60.00	0.05
B5	B5	70	Tr=200	26.11	341.31	341.99	342.47	344.68	0.128349	8.09	4.22	12.77	3.43
B5	B5	65	Tr=200	26.11	340.05	341.05	341.72	344.10	0.094395	7.95	3.67	7.35	3.01
B5	B5	60	Tr=200	26.11	339.54	340.63	341.22	343.61	0.092725	9.50	4.33	9.79	3.07
B5	B5	55	Tr=200	26.11	338.93	340.02	340.69	343.17	0.076200	8.37	3.75	6.34	2.78
B5	B5	50	Tr=200	26.11	338.48	339.54	340.23	342.77	0.082278	8.62	3.99	9.34	2.89
B5	B5	45	Tr=200	26.11	338.05	339.05	339.75	342.33	0.091399	8.86	3.85	8.10	3.01
B5	B5	38	Tr=200	26.11	336.85	337.49	338.27	341.29	0.234757	9.00	3.17	5.92	3.59
B5	B5	37.9	Bridge										
B5	B5	17	Tr=200	26.11	336.04	337.06	337.48	338.77	0.056857	6.80	5.33	11.94	2.34
B5	B5	10	Tr=200	26.11	334.28	337.63	335.48	337.63	0.000028	0.36	101.76	52.53	0.07
B5	B5	5	Tr=200	26.11	333.24	337.63	333.94	337.63	0.000003	0.15	208.20	60.00	0.02

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

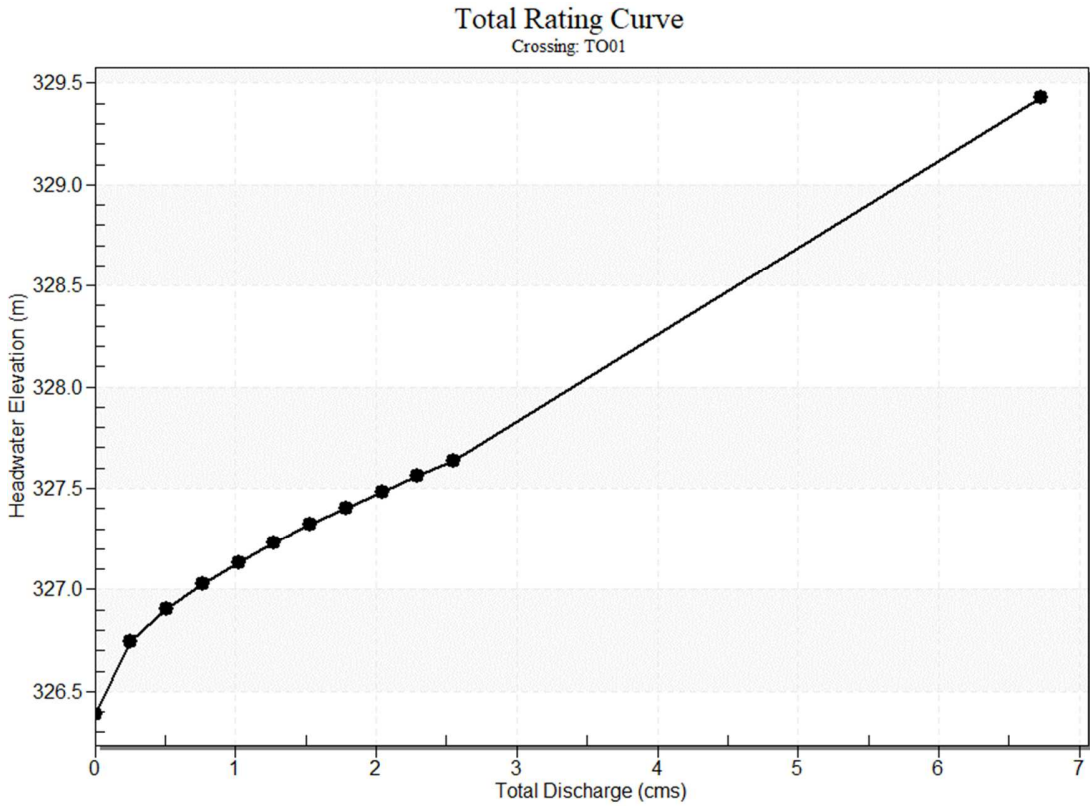
Design Flow: 2.55 cms

Maximum Flow: 2.55 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T001

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T001 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
326.39	0.00	0.00	0.00	1
326.75	0.25	0.25	0.00	1
326.90	0.51	0.51	0.00	1
327.02	0.76	0.76	0.00	1
327.13	1.02	1.02	0.00	1
327.23	1.27	1.27	0.00	1
327.32	1.53	1.53	0.00	1
327.40	1.78	1.78	0.00	1
327.48	2.04	2.04	0.00	1
327.56	2.29	2.29	0.00	1
327.64	2.55	2.55	0.00	1
329.34	6.17	6.17	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO01



Culvert Data: TO01

Table 1 - Culvert Summary Table: TO01

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 cms	0.00 cms	326.39	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00
0.25 cms	0.25 cms	326.75	0.36	0.16	1-S2n	0.19	0.25	0.20	0.05	1.79	2.76
0.51 cms	0.51 cms	326.90	0.51	0.27	1-S2n	0.27	0.36	0.29	0.07	2.11	3.59
0.76 cms	0.76 cms	327.02	0.63	0.36	1-S2n	0.33	0.44	0.36	0.09	2.32	4.18
1.02 cms	1.02 cms	327.13	0.74	0.45	1-S2n	0.38	0.51	0.40	0.10	2.48	4.65

cms	cms			2	S2			2				
					n							
1.27	1.27	327.23	0.84	0.53	1-	0.43	0.57	0.4	0.12	2.62	5.05	
cms	cms			2	S2			8				
					n							
1.53	1.53	327.32	0.93	0.61	1-	0.47	0.63	0.5	0.13	2.73	5.40	
cms	cms			1	S2			3				
					n							
1.78	1.78	327.40	1.01	0.68	1-	0.51	0.68	0.5	0.15	2.84	5.71	
cms	cms			9	S2			8				
					n							
2.04	2.04	327.48	1.09	0.76	1-	0.55	0.73	0.6	0.16	2.93	5.99	
cms	cms			7	S2			2				
					n							
2.29	2.29	327.56	1.17	0.84	1-	0.59	0.78	0.6	0.17	3.02	6.24	
cms	cms			6	S2			7				
					n							
2.55	2.55	327.64	1.25	0.92	1-	0.62	0.83	0.7	0.18	3.11	6.48	
cms	cms			7	S2			1				
					n							

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

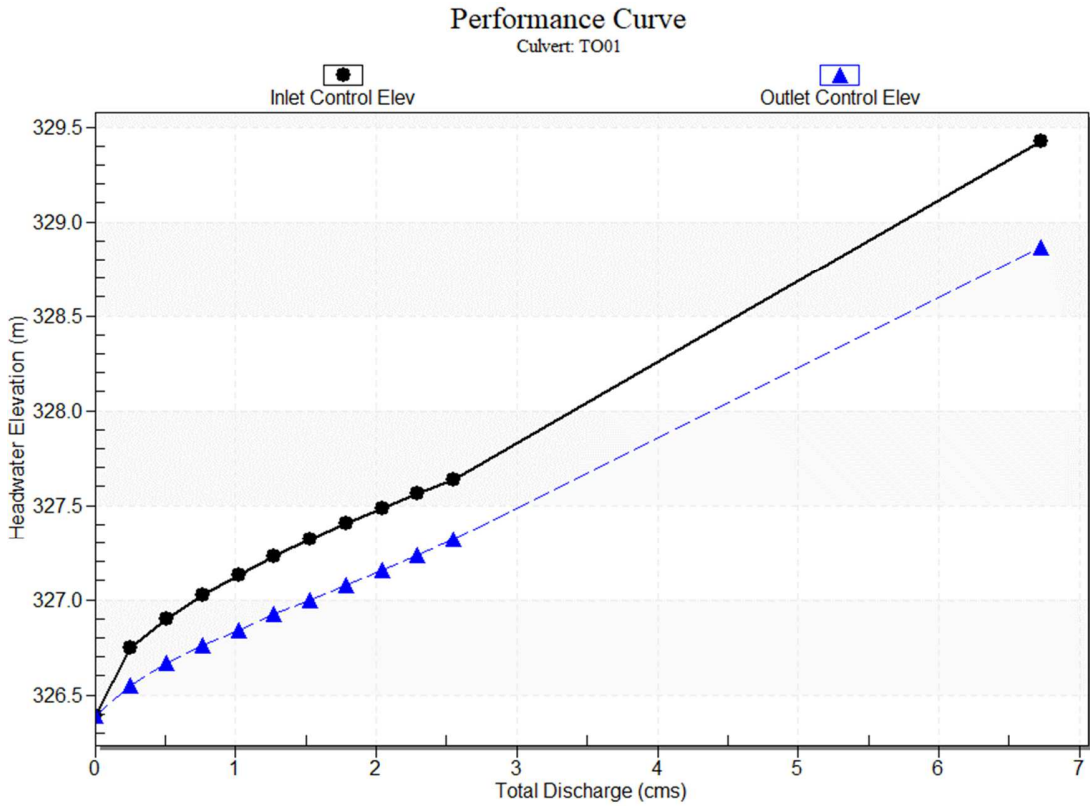
Inlet Elevation (invert): 326.39 m,

Outlet Elevation (invert): 326.30 m

Culvert Length: 10.50 m,

Culvert Slope: 0.0086

Culvert Performance Curve Plot: TO01



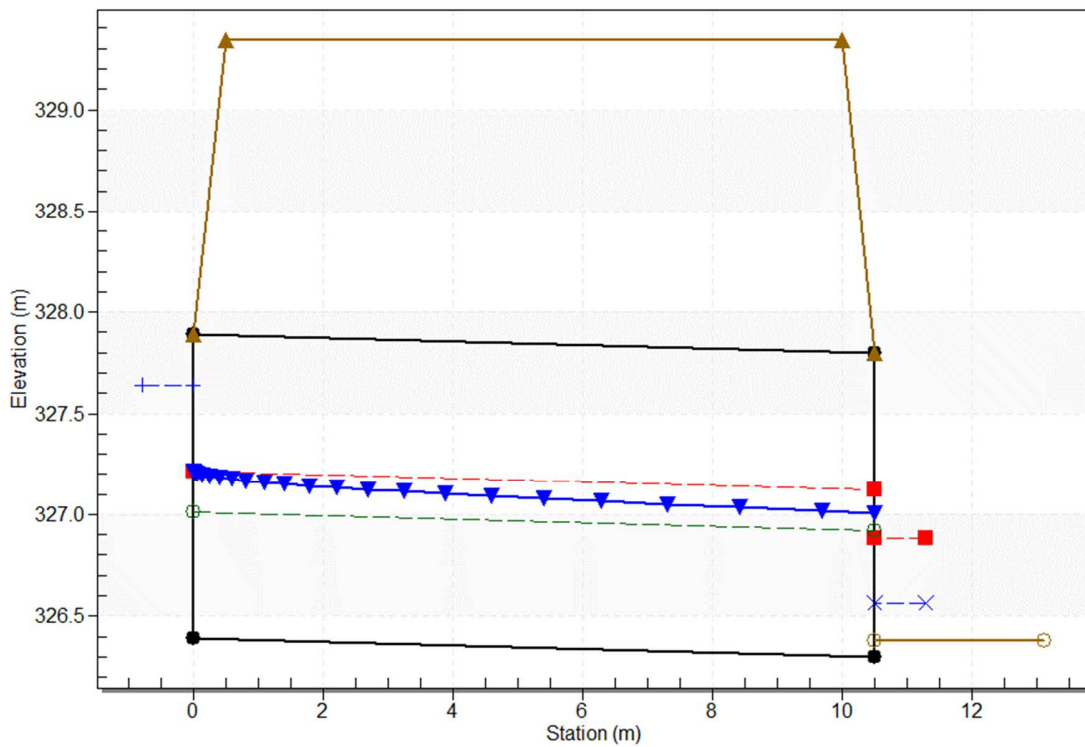
Water Surface Profile Data for Culvert: TO01

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.825	0.996	2.560	0.397	0.012	0.0032
0.015	0.820	0.988	2.582	0.396	0.012	0.0033
0.061	0.814	0.979	2.604	0.394	0.012	0.0034
0.138	0.808	0.971	2.627	0.393	0.012	0.0035
0.249	0.802	0.962	2.650	0.391	0.012	0.0035
0.396	0.797	0.954	2.674	0.389	0.012	0.0036
0.582	0.791	0.945	2.698	0.388	0.012	0.0037
0.810	0.785	0.937	2.723	0.386	0.012	0.0038
1.083	0.780	0.928	2.748	0.384	0.012	0.0039
1.404	0.774	0.919	2.773	0.382	0.012	0.0040
1.777	0.768	0.911	2.799	0.381	0.012	0.0041
2.207	0.763	0.902	2.826	0.379	0.012	0.0042
2.698	0.757	0.894	2.853	0.377	0.012	0.0043
3.256	0.751	0.885	2.880	0.375	0.012	0.0044
3.887	0.745	0.877	2.908	0.374	0.012	0.0045
4.598	0.740	0.868	2.937	0.372	0.012	0.0046

5.398	0.734	0.860	2.966	0.370	0.012	0.0048
6.296	0.728	0.851	2.996	0.368	0.012	0.0049
7.302	0.723	0.843	3.026	0.366	0.012	0.0050
8.431	0.717	0.834	3.057	0.364	0.012	0.0052
9.697	0.711	0.826	3.089	0.362	0.012	0.0053
10.500	0.708	0.821	3.107	0.361	0.012	0.0054

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO01

Crossing - TO01, Design Discharge - 2.55 cms
Culvert - TO01, Culvert Discharge - 2.55 cms



Site Data - TO01

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 326.39 m

Outlet Station: 10.50 m

Outlet Elevation: 326.30 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO01

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Mitered to Conform to Slope

Inlet Depression: None

Tailwater Data for Crossing: TO01

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO01)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	326.38	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	326.43	0.05	2.76	269.62	4.18
0.51	326.45	0.07	3.59	409.06	4.45
0.76	326.47	0.09	4.18	521.90	4.61
1.02	326.48	0.10	4.65	620.54	4.72
1.27	326.50	0.12	5.05	709.57	4.80
1.53	326.51	0.13	5.40	791.85	4.87
1.78	326.53	0.15	5.71	868.53	4.93
2.04	326.54	0.16	5.99	940.93	4.98
2.29	326.55	0.17	6.24	1009.86	5.03
2.55	326.56	0.18	6.48	1075.60	5.06

Tailwater Channel Data - TO01

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.6079

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 326.38 m

Roadway Data for Crossing: TO01

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 329.34 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.50 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

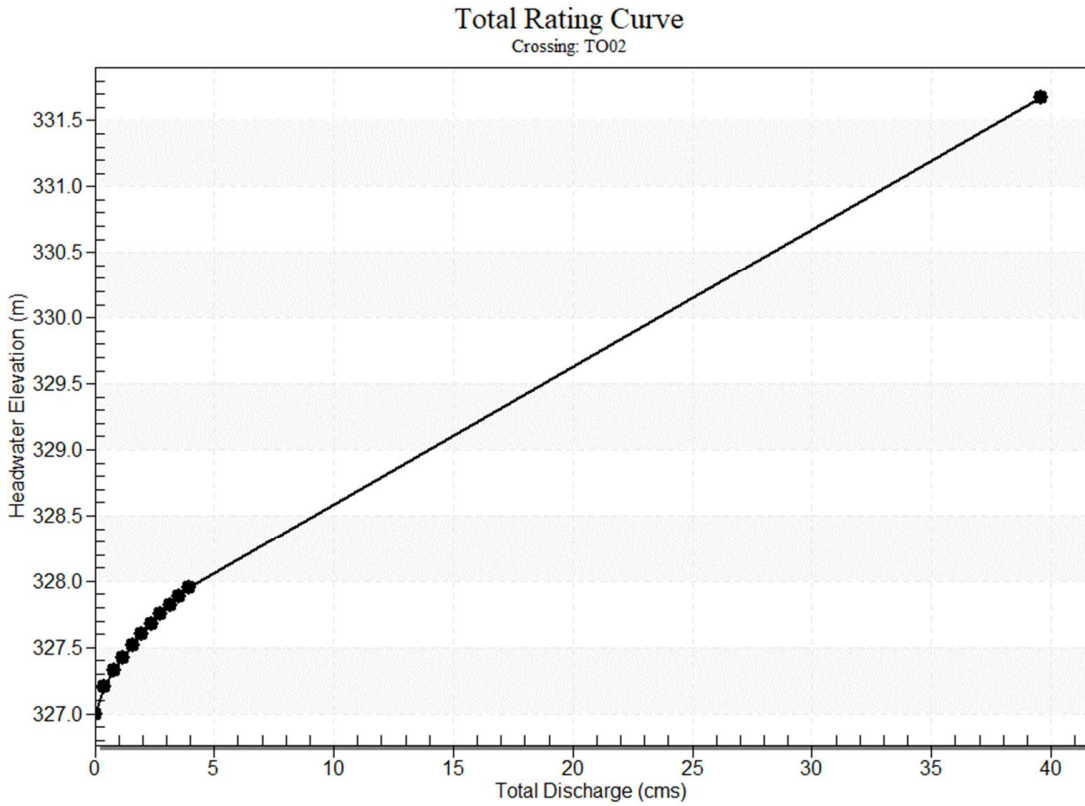
Design Flow: 3.92 cms

Maximum Flow: 3.92 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T002

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T002 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
327.00	0.00	0.00	0.00	1
327.20	0.39	0.39	0.00	1
327.32	0.78	0.78	0.00	1
327.43	1.18	1.18	0.00	1
327.52	1.57	1.57	0.00	1
327.60	1.96	1.96	0.00	1
327.68	2.35	2.35	0.00	1
327.75	2.74	2.74	0.00	1
327.82	3.14	3.14	0.00	1
327.89	3.53	3.53	0.00	1
327.95	3.92	3.92	0.00	1
331.46	36.20	36.20	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO02



Culvert Data: TO02

Table 1 - Culvert Summary Table: TO02

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 cms	0.00 cms	327.00	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39 cms	0.39 cms	327.20	0.20	0.02	1-S2n	0.09	0.12	0.09	0.06	1.48	3.40
0.78 cms	0.78 cms	327.32	0.32	0.09	1-S2n	0.13	0.19	0.14	0.08	1.86	4.43
1.18 cms	1.18 cms	327.43	0.43	0.15	1-S2n	0.17	0.25	0.19	0.11	2.11	5.14
1.57 cms	1.57 cms	327.52	0.52	0.20	1-S2n	0.20	0.30	0.24	0.13	2.30	5.71

1.96	1.96	327.60	0.60	0.25	1-	0.24	0.35	0.2	0.15	2.45	6.19
cms	cms			5	S2			3			
					n						
2.35	2.35	327.68	0.68	0.30	1-	0.26	0.40	0.3	0.16	2.58	6.61
cms	cms			2	S2			0			
					n						
2.74	2.74	327.75	0.75	0.34	1-	0.29	0.44	0.3	0.18	2.69	6.98
cms	cms			7	S2			4			
					n						
3.14	3.14	327.82	0.82	0.39	1-	0.32	0.48	0.3	0.20	2.79	7.31
cms	cms			1	S2			7			
					n						
3.53	3.53	327.89	0.89	0.43	1-	0.34	0.52	0.4	0.21	2.88	7.62
cms	cms			2	S2			1			
					n						
3.92	3.92	327.95	0.95	0.47	1-	0.37	0.56	0.4	0.22	2.97	7.90
cms	cms			3	S2			4			
					n						

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

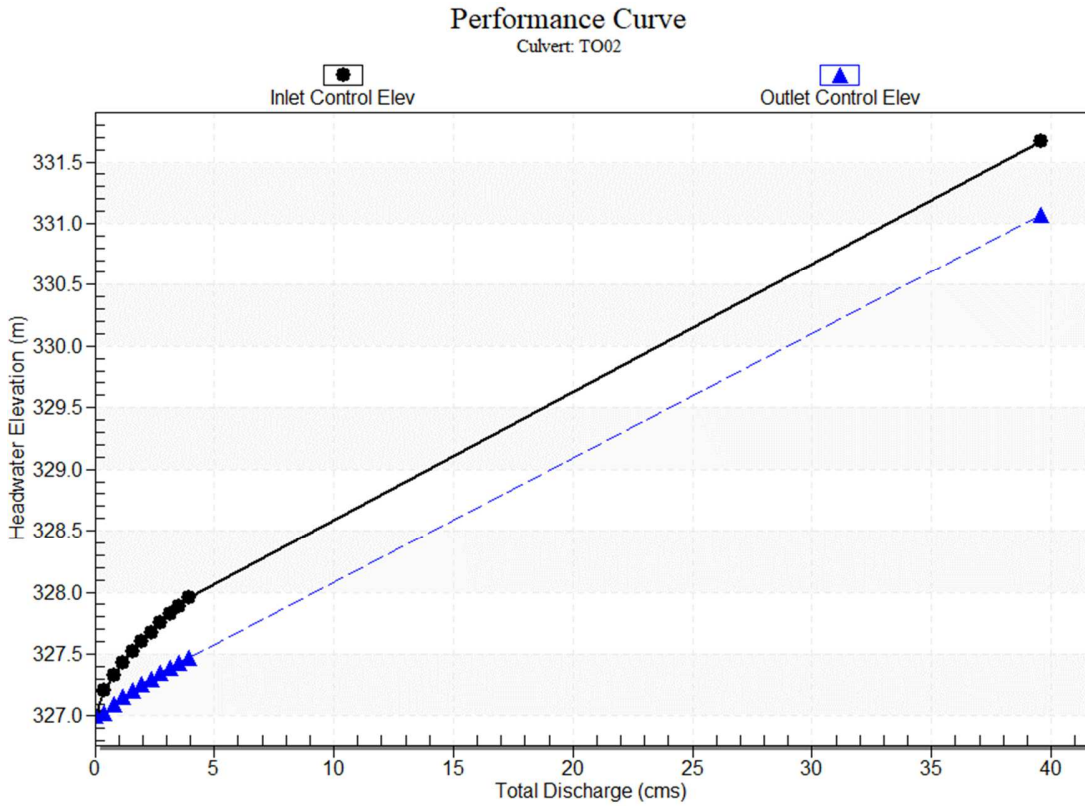
Inlet Elevation (invert): 327.00 m,

Outlet Elevation (invert): 326.90 m

Culvert Length: 11.06 m,

Culvert Slope: 0.0090

Culvert Performance Curve Plot: TO02



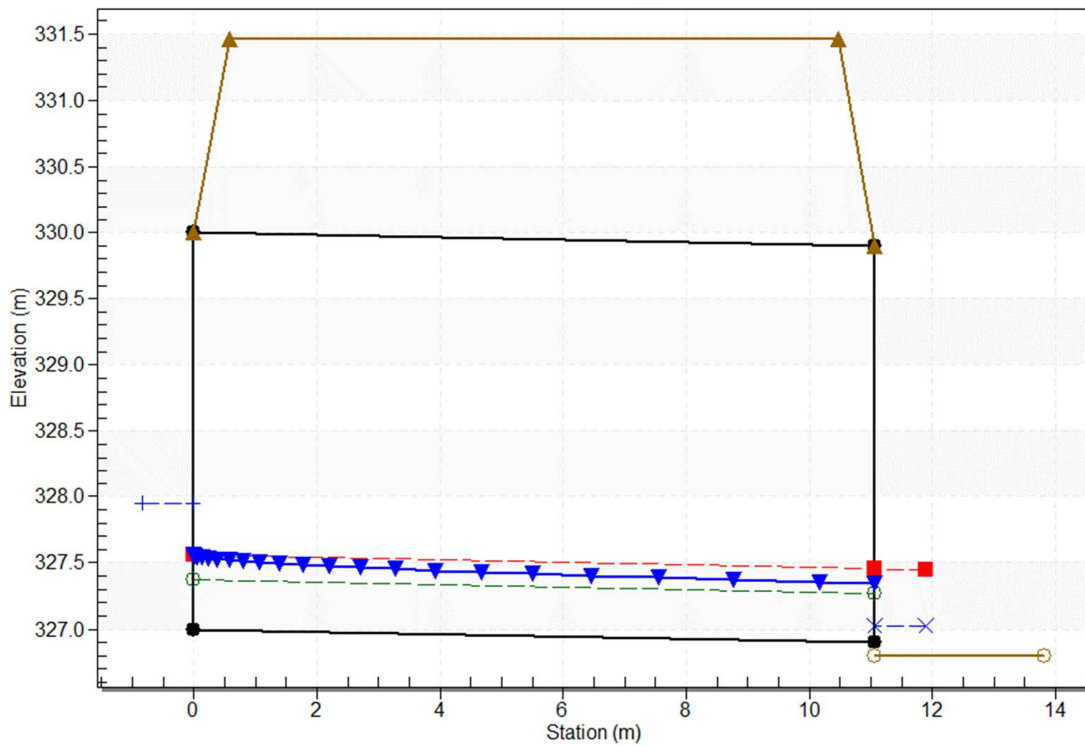
Water Surface Profile Data for Culvert: TO02

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.558	1.675	2.341	0.407	0.012	0.0026
0.015	0.553	1.658	2.365	0.404	0.012	0.0027
0.059	0.547	1.640	2.390	0.401	0.012	0.0028
0.134	0.541	1.623	2.415	0.398	0.012	0.0029
0.244	0.535	1.606	2.441	0.395	0.012	0.0030
0.389	0.530	1.589	2.467	0.391	0.012	0.0031
0.574	0.524	1.572	2.494	0.388	0.012	0.0032
0.801	0.518	1.555	2.522	0.385	0.012	0.0033
1.073	0.512	1.537	2.550	0.382	0.012	0.0034
1.396	0.507	1.520	2.579	0.379	0.012	0.0035
1.773	0.501	1.503	2.608	0.376	0.012	0.0036
2.209	0.495	1.486	2.638	0.372	0.012	0.0037
2.710	0.490	1.469	2.669	0.369	0.012	0.0039
3.283	0.484	1.451	2.701	0.366	0.012	0.0040
3.936	0.478	1.434	2.733	0.363	0.012	0.0042
4.677	0.472	1.417	2.766	0.359	0.012	0.0043

5.518	0.467	1.400	2.800	0.356	0.012	0.0045
6.470	0.461	1.383	2.835	0.353	0.012	0.0046
7.549	0.455	1.366	2.871	0.349	0.012	0.0048
8.772	0.449	1.348	2.907	0.346	0.012	0.0050
10.163	0.444	1.331	2.945	0.342	0.012	0.0052
11.060	0.441	1.322	2.966	0.341	0.012	0.0053

Water Surface Profile Plot for Culvert: T002

Crossing - T002, Design Discharge - 3.92 cms
Culvert - T002, Culvert Discharge - 3.92 cms



Site Data - T002

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 327.00 m

Outlet Station: 11.06 m

Outlet Elevation: 326.90 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - T002

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 3000.00 mm

Barrel Rise: 3000.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO02

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO02)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	326.80	0.00	0.00	0.00	0.00
0.39	326.86	0.06	3.40	387.99	4.65
0.78	326.88	0.08	4.43	588.54	4.94
1.18	326.91	0.11	5.14	751.05	5.11
1.57	326.93	0.13	5.71	892.86	5.23
1.96	326.95	0.15	6.19	1020.80	5.32
2.35	326.96	0.16	6.61	1138.97	5.40
2.74	326.98	0.18	6.98	1249.06	5.46
3.14	327.00	0.20	7.31	1353.09	5.51
3.53	327.01	0.21	7.62	1451.74	5.56
3.92	327.02	0.22	7.90	1546.34	5.60

Tailwater Channel Data - TO02

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.7067

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 326.80 m

Roadway Data for Crossing: TO02

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 331.46 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.90 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

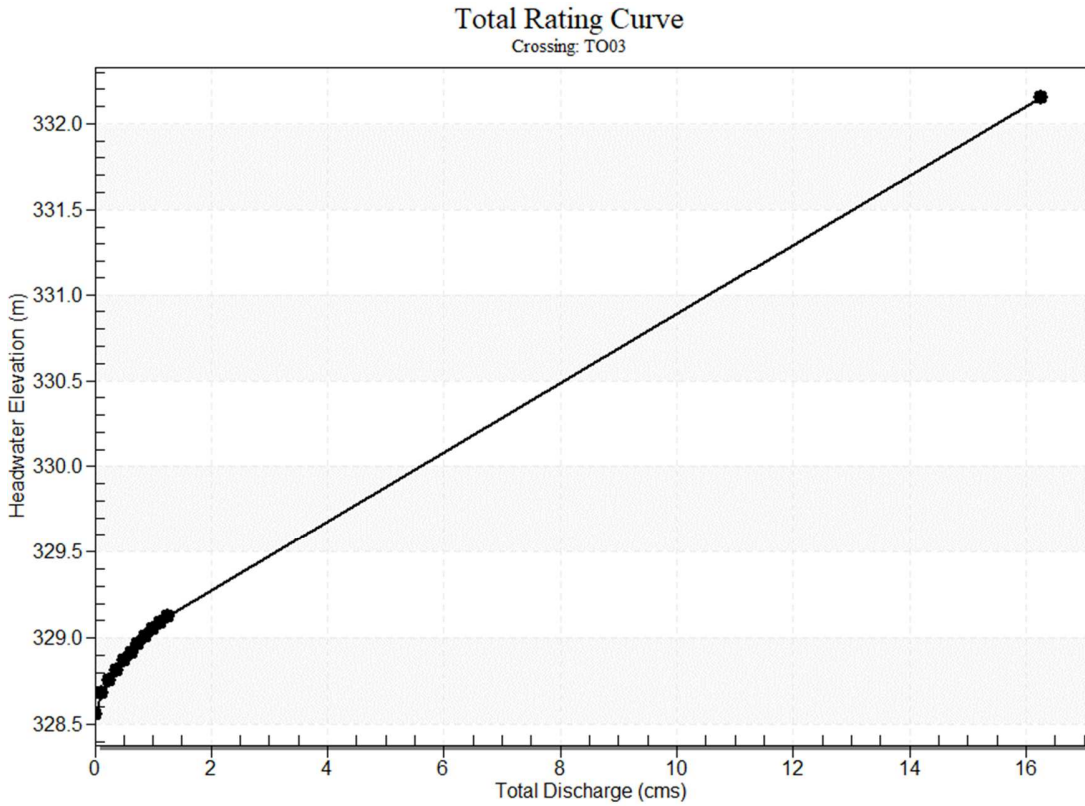
Design Flow: 1.25 cms

Maximum Flow: 1.25 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T003

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T003 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
328.56	0.00	0.00	0.00	1
328.68	0.12	0.12	0.00	1
328.75	0.25	0.25	0.00	1
328.81	0.37	0.37	0.00	1
328.87	0.50	0.50	0.00	1
328.92	0.62	0.62	0.00	1
328.96	0.75	0.75	0.00	1
329.01	0.87	0.87	0.00	1
329.05	1.00	1.00	0.00	1
329.09	1.12	1.12	0.00	1
329.13	1.25	1.25	0.00	1
332.06	15.46	15.46	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO03



Culvert Data: TO03

Table 1 - Culvert Summary Table: TO03

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 cms	0.00 cms	328.56	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12 cms	0.12 cms	328.68	0.12	0.0*	1-S2	0.03	0.07	0.03	0.03	2.00	2.31
0.25 cms	0.25 cms	328.75	0.19	0.0*	1-S2	0.06	0.12	0.06	0.04	2.10	3.02
0.37 cms	0.37 cms	328.81	0.25	0.0*	1-S2	0.07	0.15	0.08	0.05	2.40	3.53
0.50 cms	0.50 cms	328.87	0.31	0.0*	1-S2	0.09	0.19	0.10	0.06	2.61	3.95

0.62 cms	0.62 cms	328.92	0.36	0.0*	S2 n 1-	0.10	0.22	0.1	0.07	2.78	4.29
0.75 cms	0.75 cms	328.96	0.40	0.0*	S2 n 1-	0.11	0.24	0.1	0.08	2.91	4.60
0.87 cms	0.87 cms	329.01	0.45	0.0*	S2 n 1-	0.12	0.27	0.1	0.09	3.00	4.87
1.00 cms	1.00 cms	329.05	0.49	0.0*	S2 n 1-	0.14	0.29	0.1	0.09	3.11	5.12
1.12 cms	1.12 cms	329.09	0.53	0.0*	S2 n 1-	0.15	0.32	0.1	0.10	3.19	5.35
1.25 cms	1.25 cms	329.13	0.57	0.0*	S2 n 1-	0.16	0.34	0.1	0.11	3.28	5.56

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

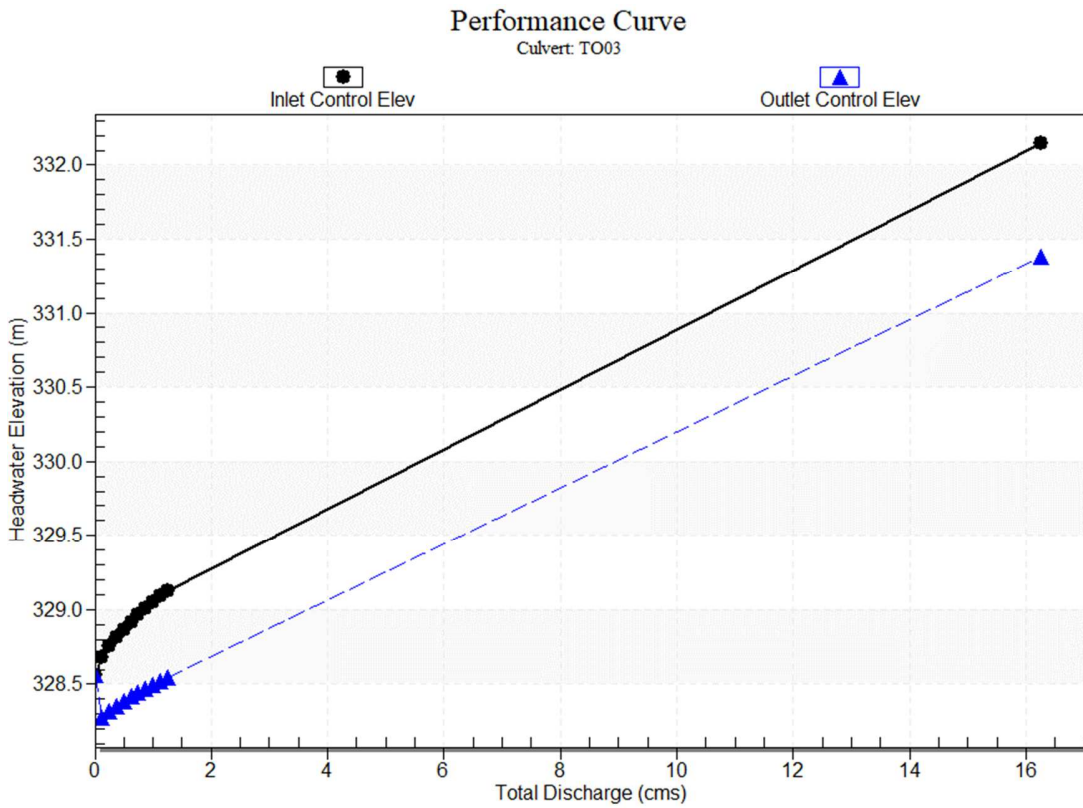
Inlet Elevation (invert): 328.56 m,

Outlet Elevation (invert): 328.20 m

Culvert Length: 11.17 m,

Culvert Slope: 0.0323

Culvert Performance Curve Plot: TO03



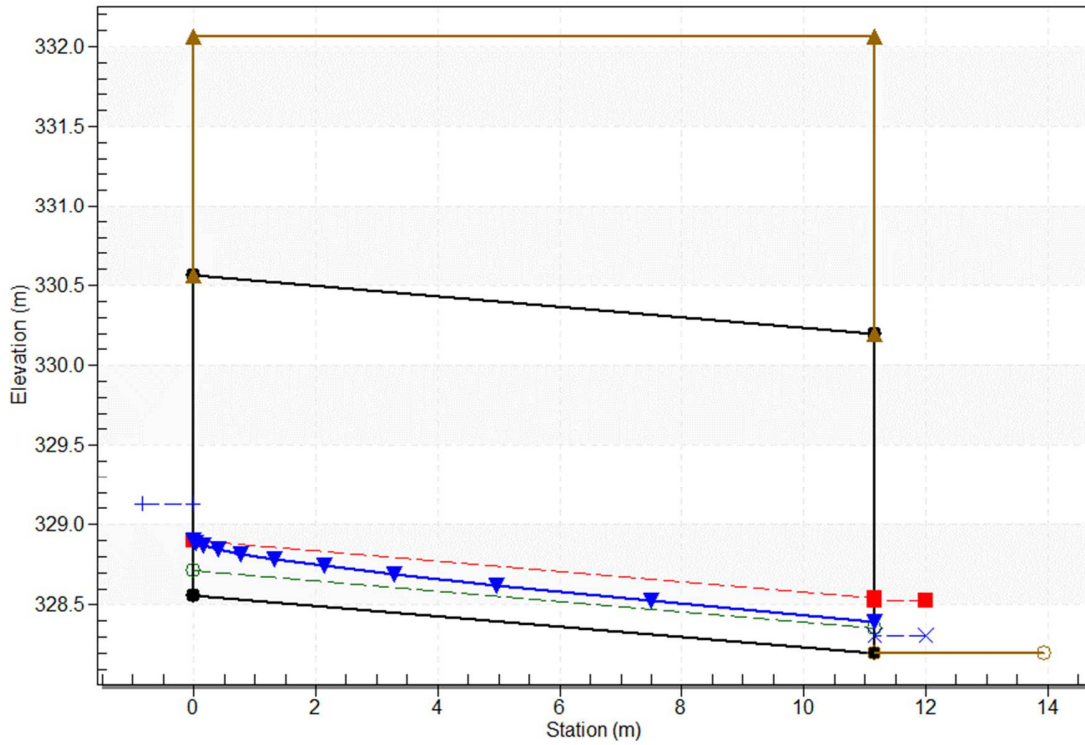
Water Surface Profile Data for Culvert: TO03

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.341	0.683	1.831	0.255	0.012	0.0030
0.038	0.326	0.652	1.916	0.246	0.012	0.0034
0.162	0.311	0.622	2.010	0.237	0.012	0.0040
0.396	0.296	0.591	2.114	0.228	0.012	0.0046
0.770	0.280	0.561	2.228	0.219	0.012	0.0054
1.328	0.265	0.530	2.356	0.210	0.012	0.0064
2.135	0.250	0.500	2.500	0.200	0.012	0.0077
3.292	0.235	0.469	2.662	0.190	0.012	0.0093
4.972	0.220	0.439	2.847	0.180	0.012	0.0115
7.492	0.204	0.409	3.060	0.170	0.012	0.0144
11.160	0.191	0.381	3.280	0.160	0.012	0.0178

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO03

Crossing - TO03, Design Discharge - 1.25 cms

Culvert - TO03, Culvert Discharge - 1.25 cms



Site Data - TO03

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 328.56 m

Outlet Station: 11.16 m

Outlet Elevation: 328.20 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO03

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 (Ke=0.5)

Inlet Depression: None

Tailwater Data for Crossing: TO03

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO03)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	328.20	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	328.23	0.03	2.31	220.90	4.54
0.25	328.24	0.04	3.02	335.28	4.84
0.37	328.25	0.05	3.53	427.74	5.02
0.50	328.26	0.06	3.95	508.41	5.16
0.62	328.27	0.07	4.29	581.56	5.26
0.75	328.28	0.08	4.60	648.69	5.34
0.87	328.29	0.09	4.87	711.82	5.41
1.00	328.29	0.09	5.12	771.27	5.47
1.12	328.30	0.10	5.35	828.05	5.53
1.25	328.31	0.11	5.56	882.16	5.57

Tailwater Channel Data - TO03

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.8439

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 328.20 m

Roadway Data for Crossing: TO03

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 332.06 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 11.16 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

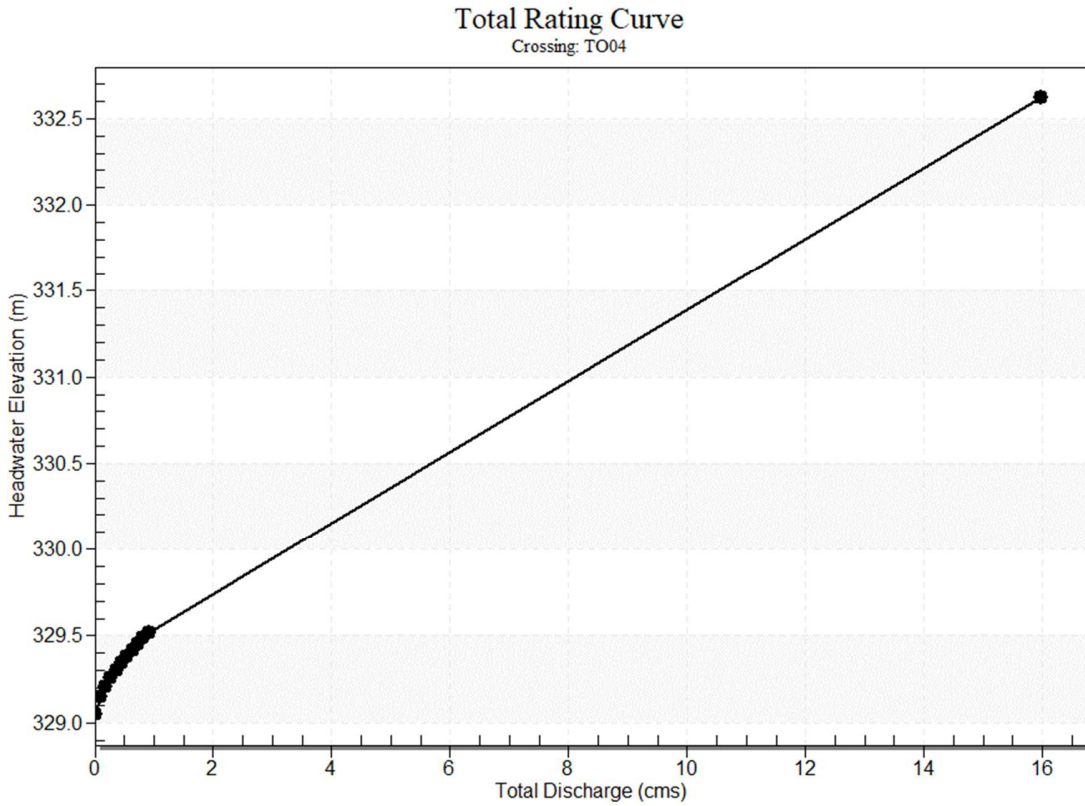
Design Flow: 0.91 cms

Maximum Flow: 0.91 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T004

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T004 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
329.05	0.00	0.00	0.00	1
329.15	0.09	0.09	0.00	1
329.21	0.18	0.18	0.00	1
329.26	0.27	0.27	0.00	1
329.30	0.36	0.36	0.00	1
329.34	0.46	0.46	0.00	1
329.38	0.55	0.55	0.00	1
329.42	0.64	0.64	0.00	1
329.45	0.73	0.73	0.00	1
329.49	0.82	0.82	0.00	1
329.52	0.91	0.91	0.00	1
332.55	15.38	15.38	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO04



Culvert Data: TO04

Table 1 - Culvert Summary Table: TO04

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 cms	0.00 cms	329.05	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.09 cms	0.09 cms	329.15	0.10	0.0*	1-S2n	0.04	0.06	0.04	0.03	1.28	1.33
0.18 cms	0.18 cms	329.21	0.16	0.0*	1-S2n	0.06	0.09	0.06	0.05	1.50	1.74
0.27 cms	0.27 cms	329.26	0.21	0.0*	1-S2n	0.08	0.12	0.08	0.07	1.75	2.03
0.36 cms	0.36 cms	329.30	0.25	0.0*	1-S2n	0.10	0.15	0.10	0.08	1.91	2.27

0.46 cms	0.46 cms	329.34	0.29	0.0*	1- S2 n	0.11	0.17	0.1	0.09	2.07	2.46
0.55 cms	0.55 cms	329.38	0.33	0.0*	1- S2 n	0.12	0.20	0.1	0.10	2.17	2.64
0.64 cms	0.64 cms	329.42	0.37	0.0*	1- S2 n	0.14	0.22	0.1	0.11	2.29	2.79
0.73 cms	0.73 cms	329.45	0.40	0.0*	1- S2 n	0.15	0.24	0.1	0.12	2.39	2.93
0.82 cms	0.82 cms	329.49	0.44	0.0*	1- S2 n	0.16	0.26	0.1	0.13	2.49	3.06
0.91 cms	0.91 cms	329.52	0.47	0.0*	1- S2 n	0.17	0.28	0.1	0.13	2.57	3.18

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

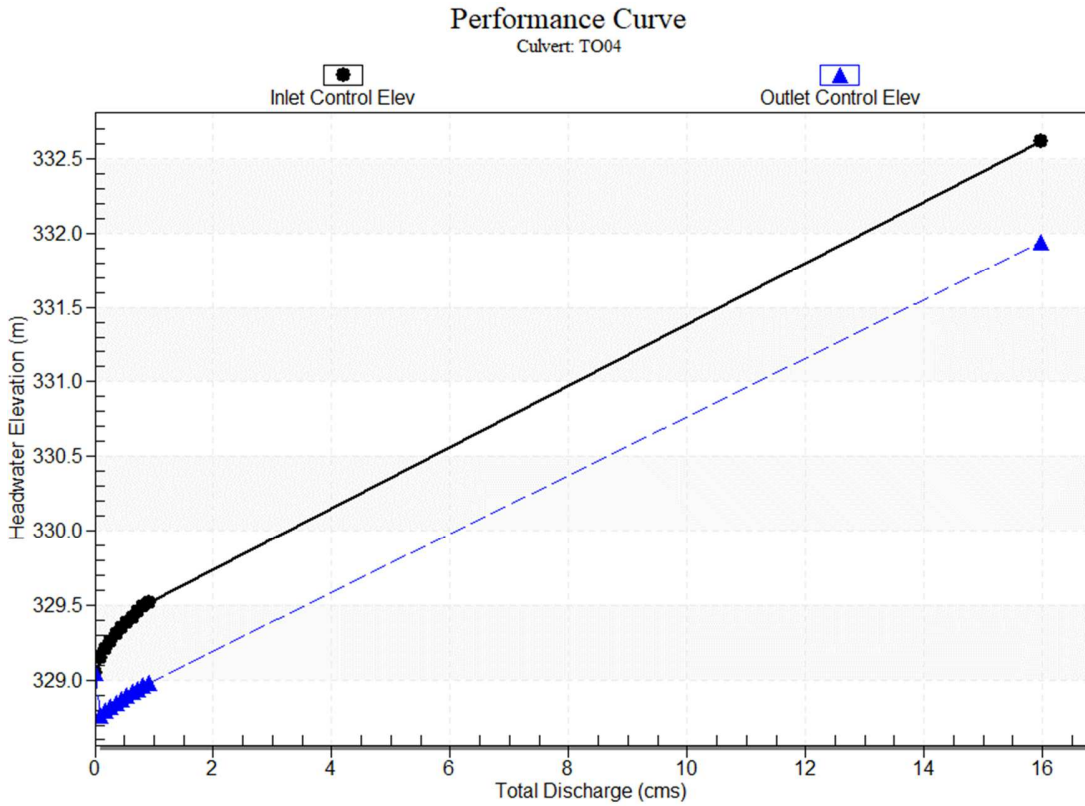
Inlet Elevation (invert): 329.05 m,

Outlet Elevation (invert): 328.70 m

Culvert Length: 26.55 m,

Culvert Slope: 0.0132

Culvert Performance Curve Plot: TO04



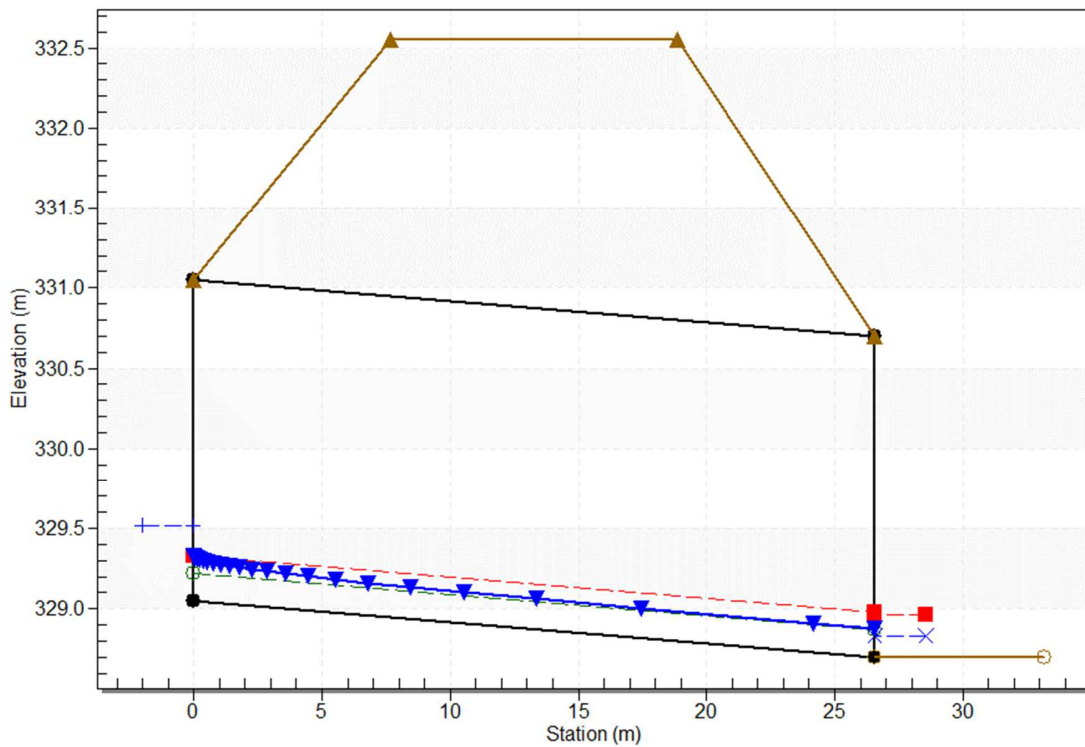
Water Surface Profile Data for Culvert: TO04

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.276	0.553	1.647	0.216	0.012	0.0030
0.013	0.272	0.543	1.675	0.214	0.012	0.0032
0.051	0.267	0.534	1.705	0.211	0.012	0.0033
0.119	0.262	0.524	1.735	0.208	0.012	0.0035
0.219	0.257	0.515	1.767	0.205	0.012	0.0037
0.356	0.253	0.506	1.800	0.202	0.012	0.0039
0.534	0.248	0.496	1.834	0.199	0.012	0.0042
0.758	0.243	0.487	1.870	0.196	0.012	0.0044
1.036	0.239	0.477	1.907	0.193	0.012	0.0047
1.375	0.234	0.468	1.945	0.190	0.012	0.0050
1.786	0.229	0.458	1.985	0.186	0.012	0.0053
2.280	0.225	0.449	2.026	0.183	0.012	0.0057
2.876	0.220	0.440	2.070	0.180	0.012	0.0061
3.593	0.215	0.430	2.115	0.177	0.012	0.0065
4.459	0.210	0.421	2.162	0.174	0.012	0.0069
5.515	0.206	0.411	2.212	0.171	0.012	0.0074

6.818	0.201	0.402	2.264	0.167	0.012	0.0080
8.452	0.196	0.393	2.318	0.164	0.012	0.0086
10.558	0.192	0.383	2.375	0.161	0.012	0.0093
13.388	0.187	0.374	2.435	0.157	0.012	0.0100
17.460	0.182	0.364	2.498	0.154	0.012	0.0109
24.162	0.177	0.355	2.564	0.151	0.012	0.0118
26.550	0.177	0.354	2.574	0.150	0.012	0.0119

Water Surface Profile Plot for Culvert: T004

Crossing - T004, Design Discharge - 0.91 cms
Culvert - T004, Culvert Discharge - 0.91 cms



Site Data - T004

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 329.05 m

Outlet Station: 26.55 m

Outlet Elevation: 328.70 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - T004

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

Tailwater Data for Crossing: TO04

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO04)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	328.70	0.00	0.00	0.00	0.00
0.09	328.73	0.03	1.33	68.74	2.34
0.18	328.75	0.05	1.74	104.25	2.49
0.27	328.77	0.07	2.03	133.06	2.59
0.36	328.78	0.08	2.27	158.19	2.65
0.46	328.79	0.09	2.46	180.91	2.70
0.55	328.80	0.10	2.64	201.82	2.74
0.64	328.81	0.11	2.79	221.49	2.78
0.73	328.82	0.12	2.93	239.92	2.81
0.82	328.83	0.13	3.06	257.52	2.84
0.91	328.83	0.13	3.18	274.38	2.86

Tailwater Channel Data - TO04

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.2088

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 328.70 m

Roadway Data for Crossing: TO04

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 332.55 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 11.22 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

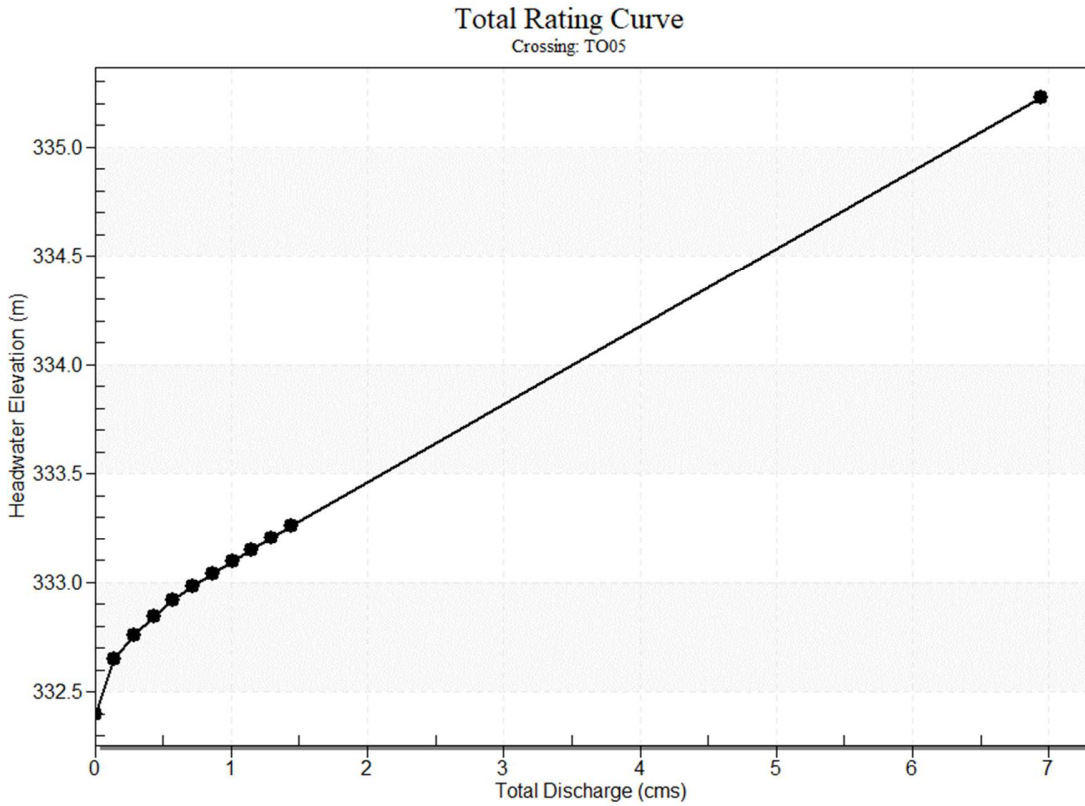
Design Flow: 1.44 cms

Maximum Flow: 1.44 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T005

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T005 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
332.40	0.00	0.00	0.00	1
332.65	0.14	0.14	0.00	1
332.76	0.29	0.29	0.00	1
332.84	0.43	0.43	0.00	1
332.92	0.58	0.58	0.00	1
332.98	0.72	0.72	0.00	1
333.04	0.86	0.86	0.00	1
333.09	1.01	1.01	0.00	1
333.15	1.15	1.15	0.00	1
333.20	1.30	1.30	0.00	1
333.26	1.44	1.44	0.00	1
335.16	6.53	6.53	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO05



Culvert Data: TO05

Table 1 - Culvert Summary Table: TO05

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 cms	0.00 cms	332.40	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.14 cms	0.14 cms	332.65	0.25	0.0*	1-S2n	0.13	0.19	0.13	0.04	1.88	1.92
0.29 cms	0.29 cms	332.76	0.36	0.03	1-S2n	0.18	0.27	0.19	0.06	2.25	2.51
0.43 cms	0.43 cms	332.84	0.44	0.09	1-S2n	0.22	0.33	0.23	0.07	2.48	2.92
0.58 cms	0.58 cms	332.92	0.52	0.15	1-S2n	0.25	0.38	0.2	0.08	2.64	3.26

cms	cms			0	S2			7				
					n							
0.72	0.72	332.98	0.58	0.20	1-	0.28	0.43	0.3	0.10	2.76	3.54	
cms	cms			2	S2			1				
					n							
0.86	0.86	333.04	0.64	0.25	1-	0.31	0.47	0.3	0.11	2.86	3.79	
cms	cms			0	S2			4				
					n							
1.01	1.01	333.09	0.69	0.29	1-	0.33	0.51	0.3	0.12	2.97	4.01	
cms	cms			6	S2			7				
					n							
1.15	1.15	333.15	0.75	0.34	1-	0.35	0.55	0.4	0.13	3.04	4.21	
cms	cms			1	S2			0				
					n							
1.30	1.30	333.20	0.80	0.38	1-	0.38	0.58	0.4	0.14	3.13	4.39	
cms	cms			5	S2			3				
					n							
1.44	1.44	333.26	0.86	0.42	1-	0.40	0.61	0.4	0.15	3.19	4.56	
cms	cms			8	S2			5				
					n							

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

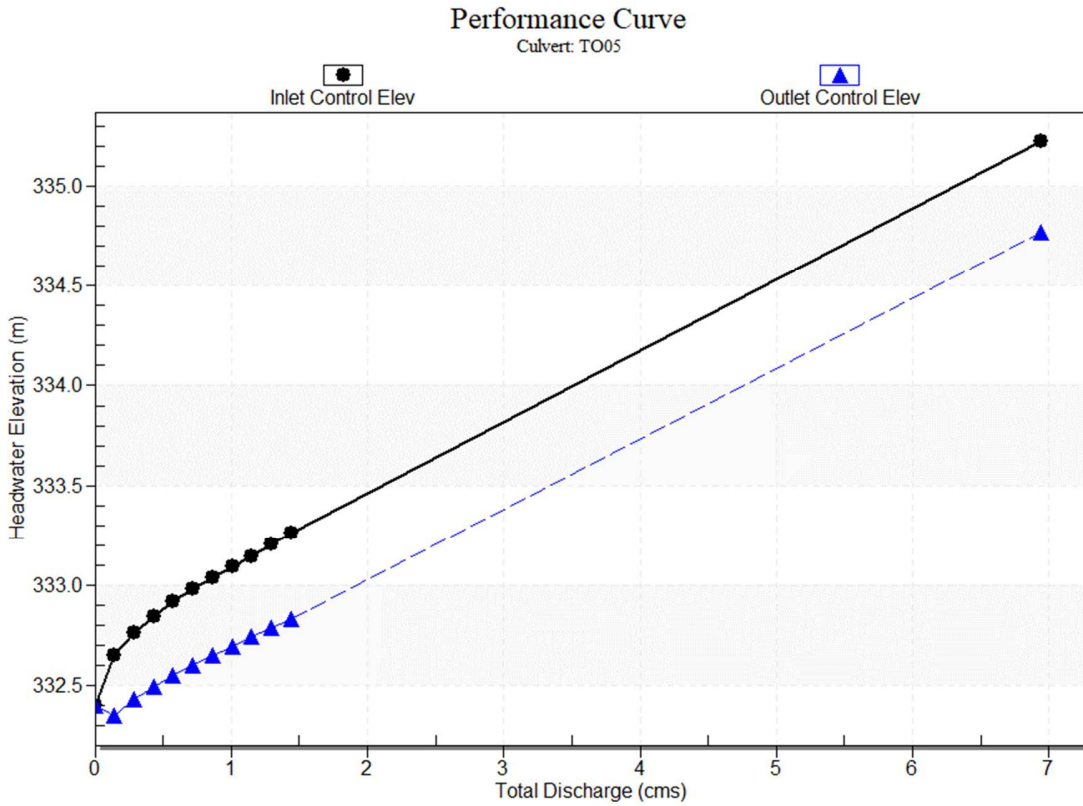
Inlet Elevation (invert): 332.40 m,

Outlet Elevation (invert): 332.16 m

Culvert Length: 15.92 m,

Culvert Slope: 0.0151

Culvert Performance Curve Plot: TO05



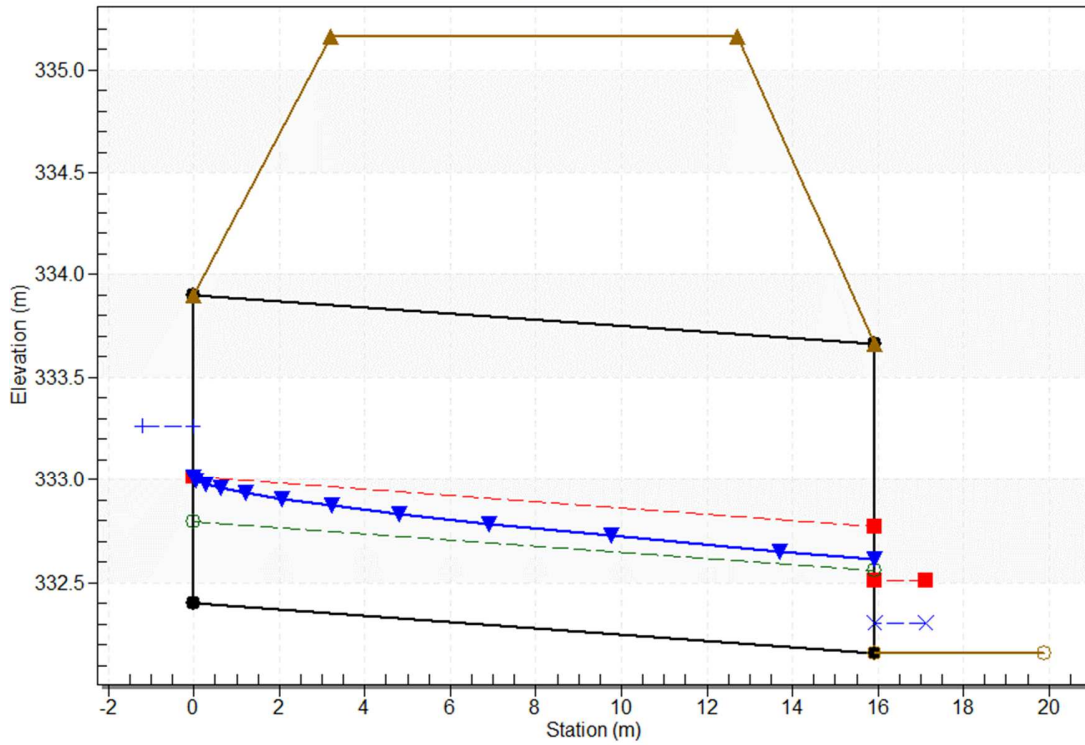
Water Surface Profile Data for Culvert: TO05

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.612	0.678	2.124	0.326	0.012	0.0029
0.064	0.597	0.655	2.197	0.320	0.012	0.0032
0.271	0.582	0.633	2.274	0.314	0.012	0.0035
0.647	0.566	0.611	2.357	0.308	0.012	0.0039
1.231	0.551	0.589	2.446	0.301	0.012	0.0043
2.069	0.536	0.567	2.541	0.295	0.012	0.0047
3.227	0.521	0.545	2.642	0.288	0.012	0.0053
4.796	0.505	0.523	2.752	0.282	0.012	0.0059
6.909	0.490	0.502	2.870	0.275	0.012	0.0066
9.770	0.475	0.480	2.997	0.268	0.012	0.0075
13.718	0.460	0.459	3.136	0.261	0.012	0.0085
15.920	0.454	0.451	3.193	0.258	0.012	0.0089

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO05

Crossing - TO05, Design Discharge - 1.44 cms

Culvert - TO05, Culvert Discharge - 1.44 cms



Site Data - TO05

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 332.40 m

Outlet Station: 15.92 m

Outlet Elevation: 332.16 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO05

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO05

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO05)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	332.16	0.00	0.00	0.00	0.00
0.14	332.20	0.04	1.92	138.79	3.22
0.29	332.22	0.06	2.51	210.70	3.43
0.43	332.23	0.07	2.92	268.84	3.56
0.58	332.24	0.08	3.26	319.53	3.65
0.72	332.26	0.10	3.54	365.35	3.72
0.86	332.27	0.11	3.79	407.82	3.77
1.01	332.28	0.12	4.01	447.40	3.82
1.15	332.29	0.13	4.21	484.69	3.86
1.30	332.30	0.14	4.39	520.18	3.90
1.44	332.31	0.15	4.56	554.26	3.93

Tailwater Channel Data - TO05

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.3846

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 332.16 m

Roadway Data for Crossing: TO05

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 335.16 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.50 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

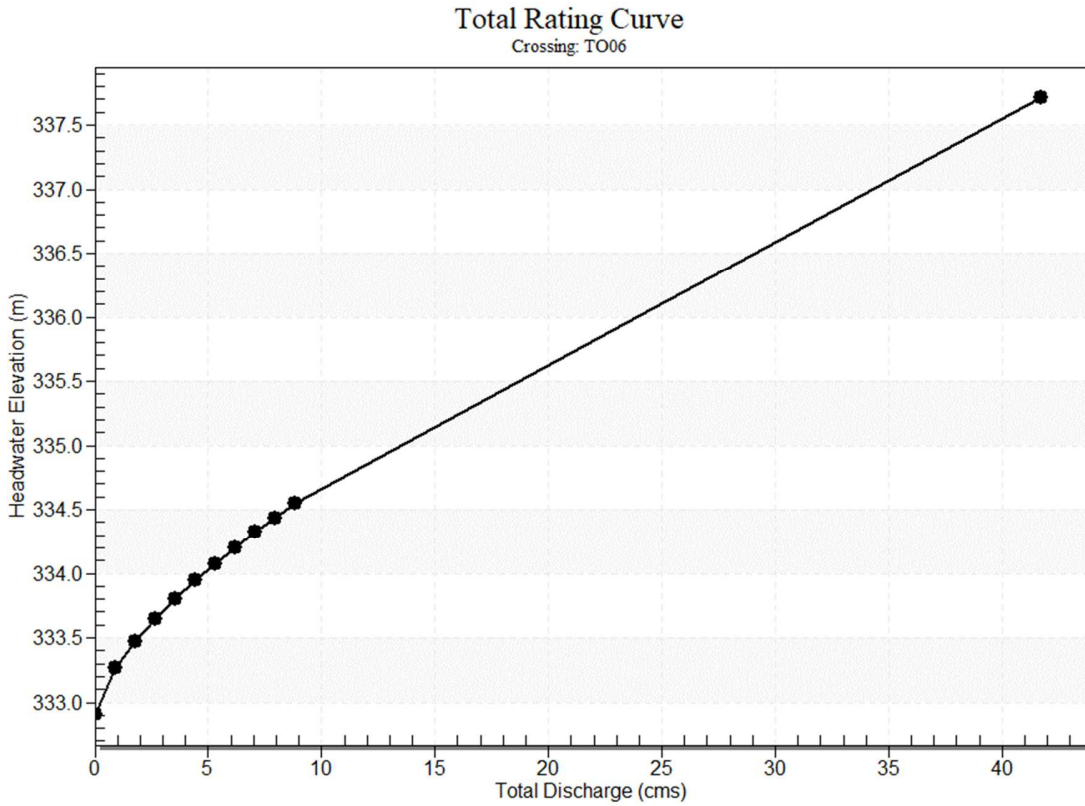
Design Flow: 8.82 cms

Maximum Flow: 8.82 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T006

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T006 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
332.91	0.00	0.00	0.00	1
333.26	0.88	0.88	0.00	1
333.47	1.76	1.76	0.00	1
333.64	2.65	2.65	0.00	1
333.80	3.53	3.53	0.00	1
333.94	4.41	4.41	0.00	1
334.08	5.29	5.29	0.00	1
334.20	6.17	6.17	0.00	1
334.32	7.06	7.06	0.00	1
334.44	7.94	7.94	0.00	1
334.54	8.82	8.82	0.00	1
337.41	36.48	36.48	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO06



Culvert Data: TO06

Table 1 - Culvert Summary Table: TO06

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 cms	0.00 cms	332.91	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.88 cms	0.88 cms	333.26	0.35	0.157	1-S2n	0.17	0.21	0.18	0.17	1.64	2.41
1.76 cms	1.76 cms	333.47	0.56	0.281	1-S2n	0.27	0.33	0.28	0.25	2.06	3.07
2.65 cms	2.65 cms	333.64	0.73	0.386	1-S2n	0.35	0.43	0.38	0.32	2.35	3.51
3.53 cms	3.53 cms	333.80	0.89	0.48	1-S2n	0.43	0.52	0.4	0.38	2.56	3.85

cms	cms			2	S2			6			
					n						
4.41	4.41	333.94	1.03	0.57	1-	0.50	0.60	0.5	0.44	2.74	4.13
cms	cms			3	S2			4			
					n						
5.29	5.29	334.08	1.17	0.65	1-	0.56	0.68	0.6	0.49	2.90	4.37
cms	cms			9	S2			1			
					n						
6.17	6.17	334.20	1.29	0.74	1-	0.62	0.76	0.6	0.53	3.04	4.57
cms	cms			3	S2			8			
					n						
7.06	7.06	334.32	1.41	0.82	1-	0.68	0.83	0.7	0.58	3.16	4.76
cms	cms			4	S2			4			
					n						
7.94	7.94	334.44	1.53	0.90	1-	0.74	0.89	0.8	0.62	3.27	4.93
cms	cms			5	S2			1			
					n						
8.82	8.82	334.54	1.63	0.98	1-	0.80	0.96	0.8	0.65	3.38	5.08
cms	cms			4	S2			7			
					n						

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

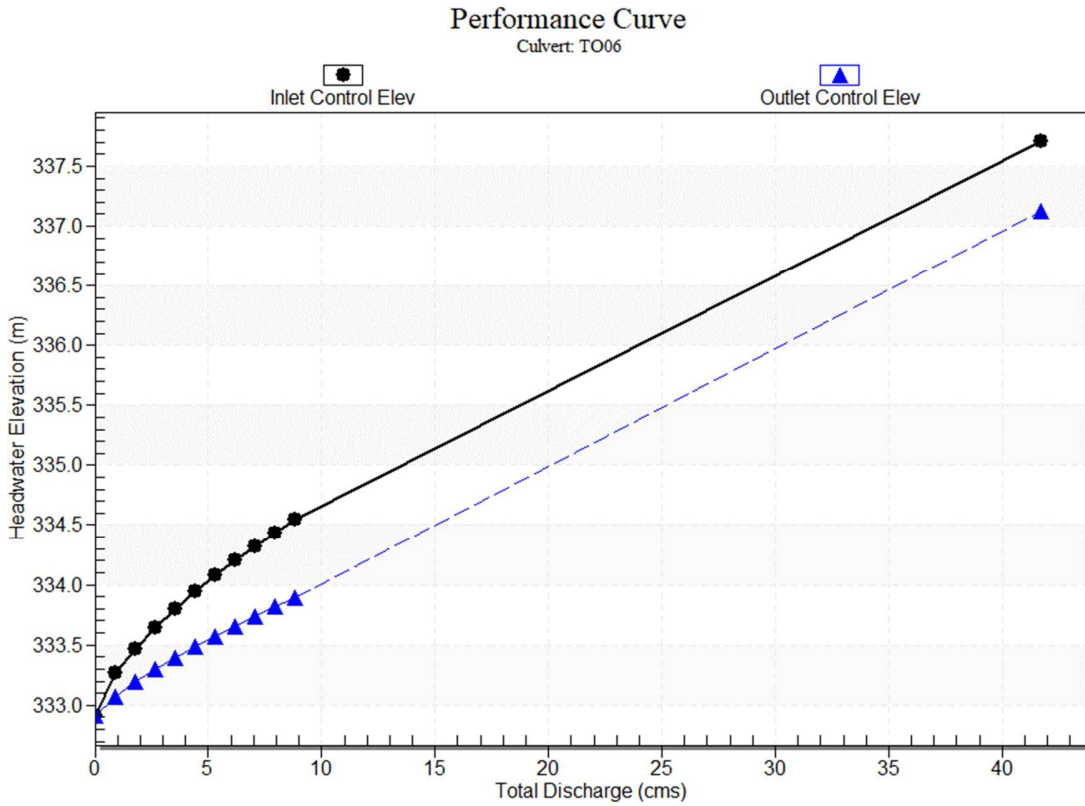
Inlet Elevation (invert): 332.91 m,

Outlet Elevation (invert): 332.86 m

Culvert Length: 10.74 m,

Culvert Slope: 0.0047

Culvert Performance Curve Plot: TO06



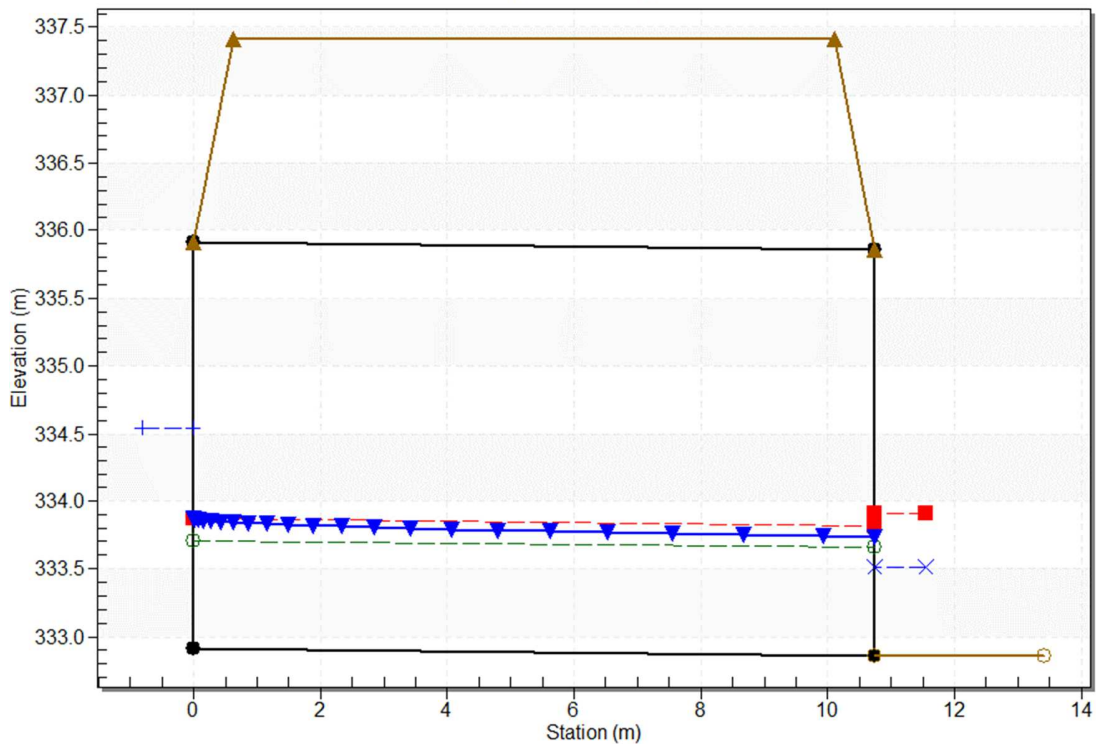
Water Surface Profile Data for Culvert: TO06

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.959	2.876	3.067	0.585	0.012	0.0028
0.017	0.954	2.863	3.081	0.583	0.012	0.0028
0.067	0.950	2.850	3.095	0.582	0.012	0.0028
0.150	0.946	2.837	3.109	0.580	0.012	0.0029
0.270	0.941	2.824	3.123	0.578	0.012	0.0029
0.428	0.937	2.811	3.137	0.577	0.012	0.0030
0.627	0.933	2.799	3.152	0.575	0.012	0.0030
0.869	0.929	2.786	3.166	0.574	0.012	0.0030
1.158	0.924	2.773	3.181	0.572	0.012	0.0031
1.496	0.920	2.760	3.196	0.570	0.012	0.0031
1.888	0.916	2.747	3.210	0.569	0.012	0.0032
2.337	0.911	2.734	3.226	0.567	0.012	0.0032
2.848	0.907	2.722	3.241	0.565	0.012	0.0032
3.426	0.903	2.709	3.256	0.564	0.012	0.0033
4.076	0.899	2.696	3.272	0.562	0.012	0.0033
4.805	0.894	2.683	3.287	0.560	0.012	0.0034

5.621	0.890	2.670	3.303	0.559	0.012	0.0034
6.531	0.886	2.657	3.319	0.557	0.012	0.0035
7.545	0.882	2.645	3.335	0.555	0.012	0.0035
8.674	0.877	2.632	3.351	0.554	0.012	0.0036
9.931	0.873	2.619	3.368	0.552	0.012	0.0036
10.740	0.871	2.612	3.377	0.551	0.012	0.0036

Water Surface Profile Plot for Culvert: T006

Crossing - T006, Design Discharge - 8.82 cms
Culvert - T006, Culvert Discharge - 8.82 cms



Site Data - T006

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 332.91 m

Outlet Station: 10.74 m

Outlet Elevation: 332.86 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - T006

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 3000.00 mm

Barrel Rise: 3000.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO06

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO06)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	332.86	0.00	0.00	0.00	0.00
0.88	333.03	0.17	2.41	151.25	1.95
1.76	333.11	0.25	3.07	228.93	2.05
2.65	333.18	0.32	3.51	291.29	2.10
3.53	333.24	0.38	3.85	345.19	2.14
4.41	333.30	0.44	4.13	393.43	2.16
5.29	333.35	0.49	4.37	437.53	2.18
6.17	333.39	0.53	4.57	478.41	2.20
7.06	333.44	0.58	4.76	516.65	2.22
7.94	333.48	0.62	4.93	552.77	2.23
8.82	333.51	0.65	5.08	586.99	2.24

Tailwater Channel Data - TO06

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.0916

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 332.86 m

Roadway Data for Crossing: TO06

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 337.41 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.50 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

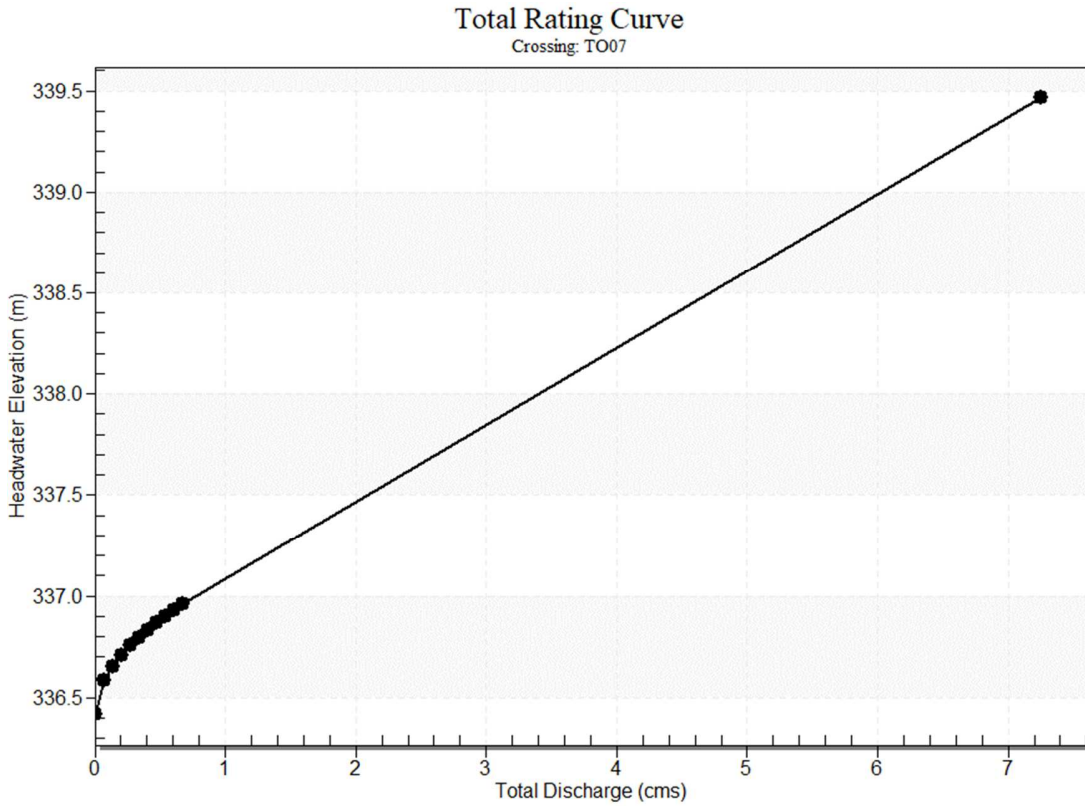
Design Flow: 0.67 cms

Maximum Flow: 0.67 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T007

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T007 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
336.42	0.00	0.00	0.00	1
336.58	0.07	0.07	0.00	1
336.65	0.13	0.13	0.00	1
336.71	0.20	0.20	0.00	1
336.75	0.27	0.27	0.00	1
336.80	0.34	0.34	0.00	1
336.83	0.40	0.40	0.00	1
336.87	0.47	0.47	0.00	1
336.90	0.54	0.54	0.00	1
336.93	0.60	0.60	0.00	1
336.96	0.67	0.67	0.00	1
339.42	7.01	7.01	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO07



Culvert Data: TO07

Table 1 - Culvert Summary Table: TO07

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 cms	0.00 cms	336.42	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.07 cms	0.07 cms	336.58	0.16	0.0*	1-S2n	0.06	0.13	0.06	0.03	2.60	1.19
0.13 cms	0.13 cms	336.65	0.23	0.0*	1-S2n	0.09	0.18	0.09	0.04	2.98	1.56
0.20 cms	0.20 cms	336.71	0.29	0.0*	1-S2n	0.11	0.22	0.11	0.05	3.34	1.82
0.27 cms	0.27 cms	336.75	0.33	0.0*	1-S2n	0.12	0.26	0.12	0.06	3.40	2.03

0.34	0.34	336.80	0.38	0.0*	1-	0.14	0.29	0.1	0.07	3.65	2.21
cms	cms				S2			3			
					n						
0.40	0.40	336.83	0.41	0.0*	1-	0.15	0.32	0.1	0.08	3.84	2.37
cms	cms				S2			5			
					n						
0.47	0.47	336.87	0.45	0.0*	1-	0.16	0.34	0.1	0.09	4.04	2.50
cms	cms				S2			6			
					n						
0.54	0.54	336.90	0.48	0.0*	1-	0.17	0.37	0.1	0.10	4.10	2.63
cms	cms				S2			8			
					n						
0.60	0.60	336.93	0.51	0.0*	1-	0.18	0.39	0.2	0.10	4.18	2.75
cms	cms				S2			9			
					n						
0.67	0.67	336.96	0.54	0.0*	1-	0.19	0.41	0.2	0.11	4.30	2.86
cms	cms				S2			10			
					n						
					n			1			

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

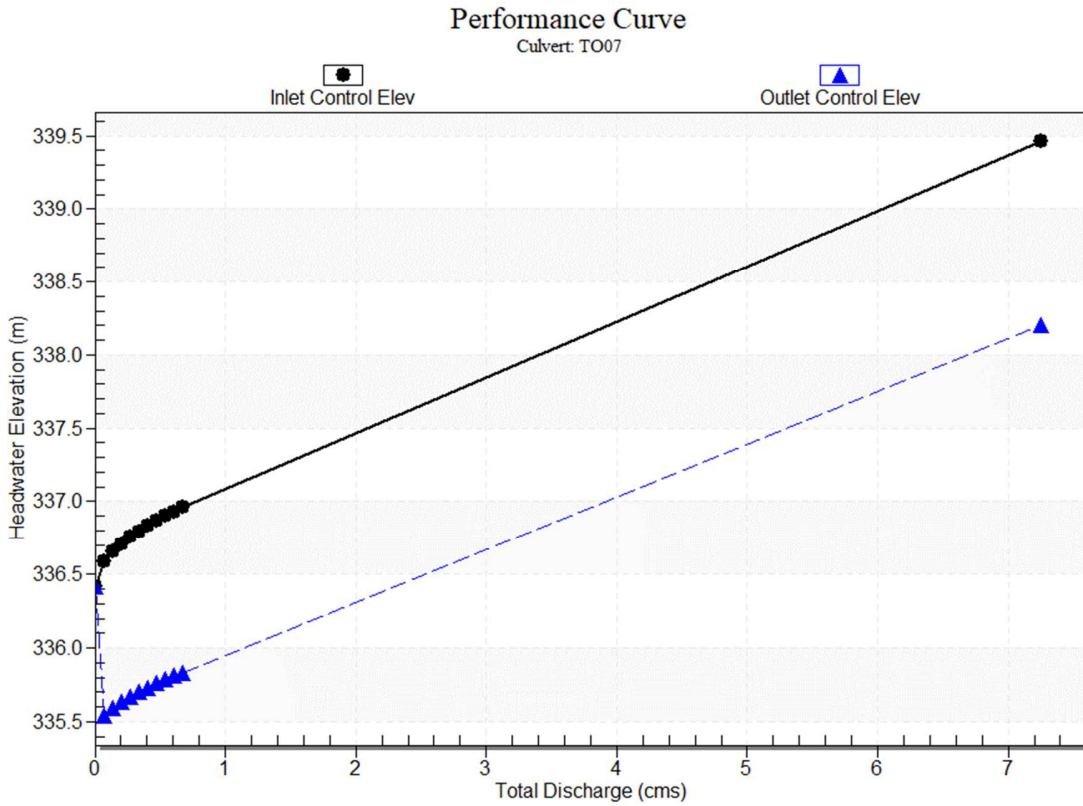
Inlet Elevation (invert): 336.42 m,

Outlet Elevation (invert): 335.41 m

Culvert Length: 16.78 m,

Culvert Slope: 0.0603

Culvert Performance Curve Plot: TO07



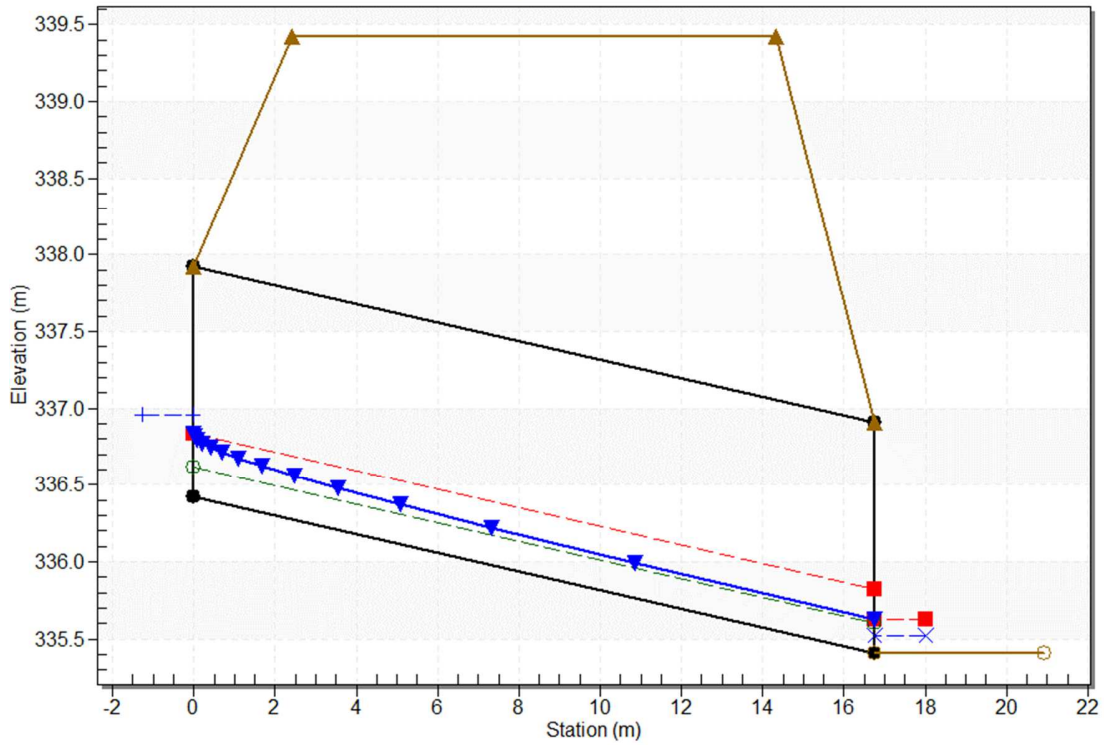
Water Surface Profile Data for Culvert: TO07

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.412	0.394	1.700	0.238	0.012	0.0028
0.021	0.397	0.374	1.792	0.231	0.012	0.0033
0.088	0.381	0.354	1.894	0.223	0.012	0.0038
0.214	0.366	0.334	2.006	0.215	0.012	0.0045
0.412	0.351	0.315	2.130	0.208	0.012	0.0053
0.702	0.336	0.295	2.268	0.200	0.012	0.0063
1.112	0.320	0.276	2.424	0.192	0.012	0.0076
1.681	0.305	0.258	2.598	0.184	0.012	0.0093
2.464	0.290	0.240	2.796	0.175	0.012	0.0115
3.551	0.275	0.222	3.021	0.167	0.012	0.0143
5.088	0.259	0.204	3.280	0.159	0.012	0.0180
7.339	0.244	0.187	3.579	0.150	0.012	0.0231
10.860	0.229	0.171	3.929	0.142	0.012	0.0301
16.750	0.215	0.155	4.313	0.133	0.012	0.0393

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO07

Crossing - TO07, Design Discharge - 0.67 cms

Culvert - TO07, Culvert Discharge - 0.67 cms



Site Data - TO07

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 336.42 m

Outlet Station: 16.75 m

Outlet Elevation: 335.41 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO07

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO07

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO07)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	335.41	0.00	0.00	0.00	0.00
0.07	335.44	0.03	1.19	57.78	2.29
0.13	335.45	0.04	1.56	87.65	2.44
0.20	335.46	0.05	1.82	111.89	2.53
0.27	335.47	0.06	2.03	133.01	2.60
0.34	335.48	0.07	2.21	152.05	2.65
0.40	335.49	0.08	2.37	169.67	2.69
0.47	335.50	0.09	2.50	186.20	2.73
0.54	335.51	0.10	2.63	201.73	2.76
0.60	335.51	0.10	2.75	216.58	2.79
0.67	335.52	0.11	2.86	230.76	2.81

Tailwater Channel Data - TO07

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.2120

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 335.41 m

Roadway Data for Crossing: TO07

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 339.42 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 11.92 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

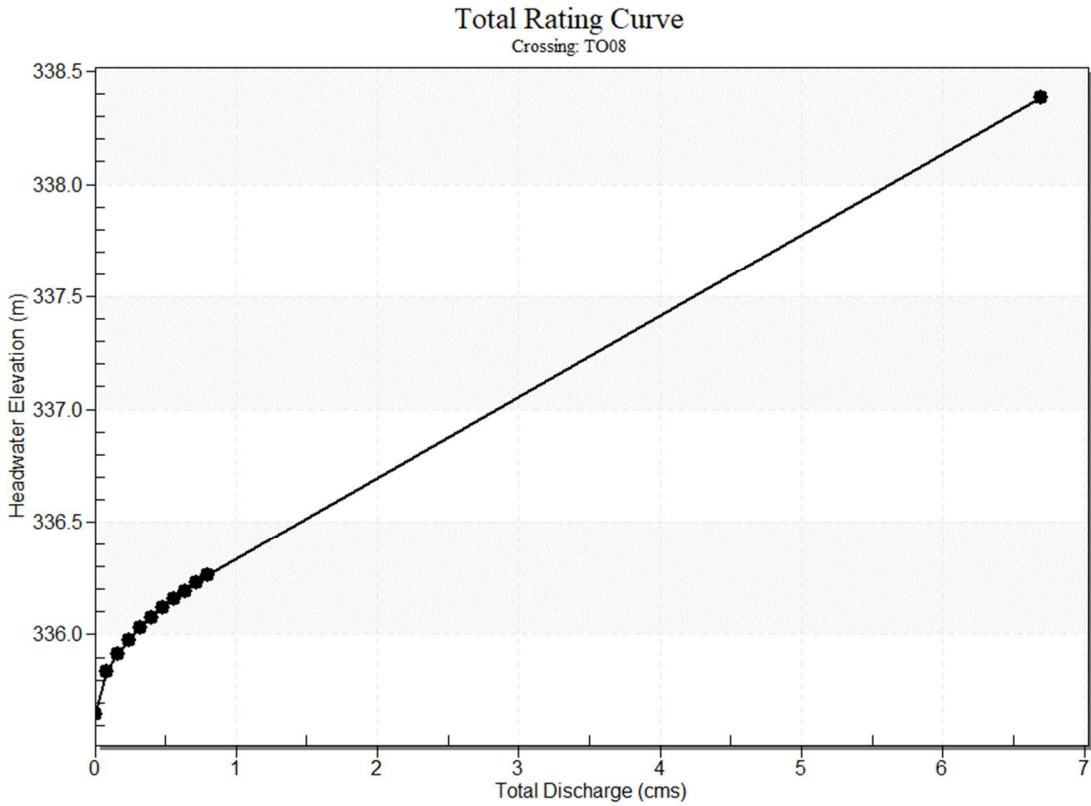
Design Flow: 0.80 cms

Maximum Flow: 0.80 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T008

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T008 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
335.65	0.00	0.00	0.00	1
335.84	0.08	0.08	0.00	1
335.91	0.16	0.16	0.00	1
335.98	0.24	0.24	0.00	1
336.03	0.32	0.32	0.00	1
336.07	0.40	0.40	0.00	1
336.12	0.48	0.48	0.00	1
336.16	0.56	0.56	0.00	1
336.19	0.64	0.64	0.00	1
336.23	0.72	0.72	0.00	1
336.26	0.80	0.80	0.00	1
338.33	6.39	6.39	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO08



Culvert Data: TO08

Table 1 - Culvert Summary Table: TO08

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 cms	0.00 cms	335.65	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08 cms	0.08 cms	335.84	0.19	0.0*	1-S2n	0.09	0.14	0.09	0.03	1.78	1.41
0.16 cms	0.16 cms	335.91	0.26	0.0*	1-S2n	0.12	0.20	0.13	0.04	2.18	1.84
0.24 cms	0.24 cms	335.98	0.33	0.0*	1-S2n	0.15	0.24	0.16	0.05	2.41	2.16
0.32 cms	0.32 cms	336.03	0.38	0.0*	1-S2n	0.17	0.28	0.16	0.06	2.57	2.41

0.40 cms	0.40 cms	336.07	0.42	0.00	1- S2 n	0.19	0.32	0.2	0.07	2.69	2.62
0.48 cms	0.48 cms	336.12	0.47	0.03	1- S2 n	0.21	0.35	0.2	0.08	2.80	2.81
0.56 cms	0.56 cms	336.16	0.51	0.06	1- S2 n	0.23	0.38	0.2	0.09	2.87	2.97
0.64 cms	0.64 cms	336.19	0.54	0.09	1- S2 n	0.24	0.40	0.2	0.10	2.96	3.12
0.72 cms	0.72 cms	336.23	0.58	0.12	1- S2 n	0.26	0.43	0.2	0.10	3.03	3.26
0.80 cms	0.80 cms	336.26	0.61	0.14	1- S2 n	0.27	0.45	0.3	0.11	3.09	3.39

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

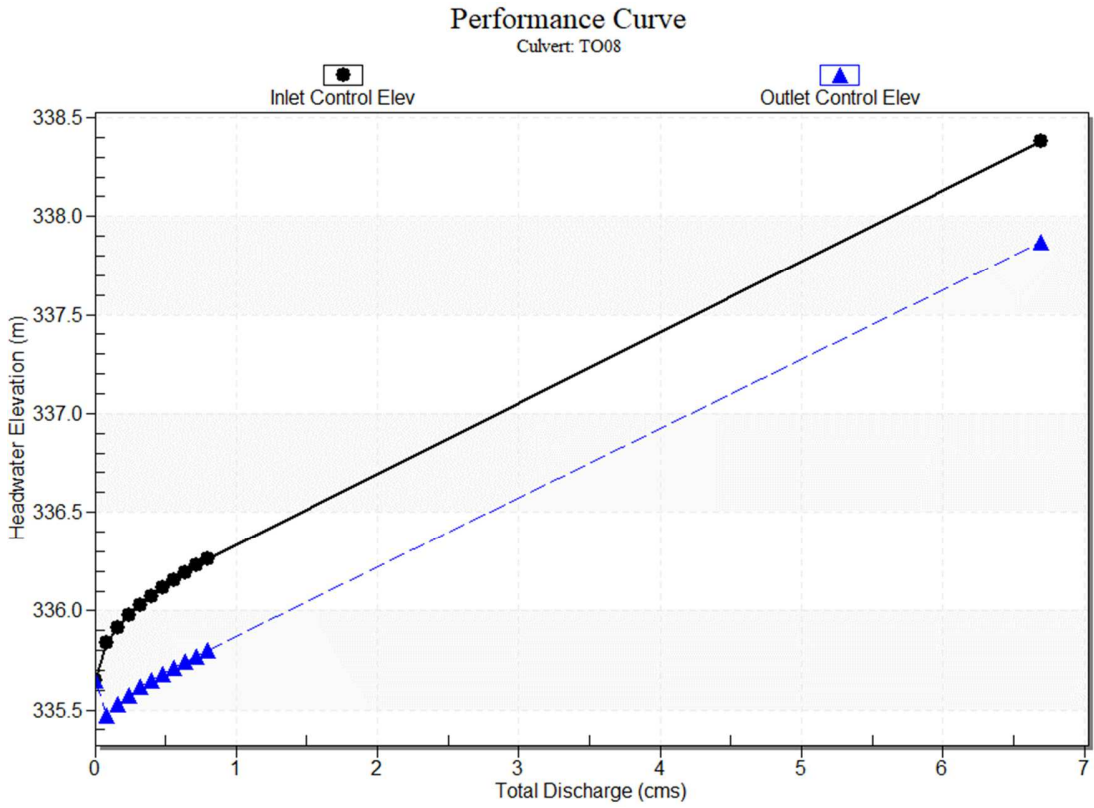
Inlet Elevation (invert): 335.65 m,

Outlet Elevation (invert): 335.33 m

Culvert Length: 14.74 m,

Culvert Slope: 0.0217

Culvert Performance Curve Plot: TO08

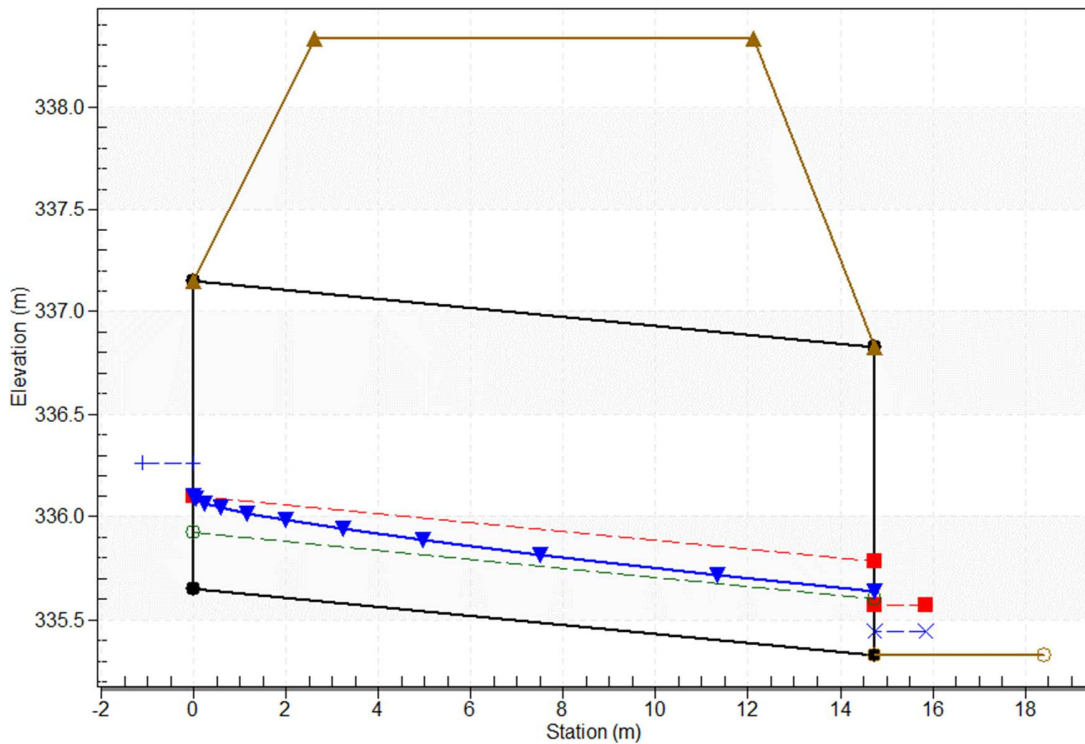


Water Surface Profile Data for Culvert: TO08

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.451	0.448	1.787	0.257	0.012	0.0028
0.057	0.436	0.427	1.874	0.250	0.012	0.0032
0.246	0.421	0.406	1.970	0.243	0.012	0.0037
0.599	0.406	0.386	2.074	0.235	0.012	0.0043
1.164	0.390	0.366	2.189	0.228	0.012	0.0050
2.005	0.375	0.346	2.315	0.220	0.012	0.0058
3.222	0.360	0.326	2.454	0.212	0.012	0.0069
4.969	0.345	0.307	2.610	0.204	0.012	0.0081
7.507	0.329	0.287	2.783	0.196	0.012	0.0098
11.337	0.314	0.269	2.977	0.188	0.012	0.0118
14.740	0.306	0.259	3.093	0.184	0.012	0.0132

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO08

Crossing - TO08, Design Discharge - 0.80 cms
Culvert - TO08, Culvert Discharge - 0.80 cms



Site Data - TO08

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 335.65 m

Outlet Station: 14.74 m

Outlet Elevation: 335.33 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO08

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO08

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO08)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	335.33	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	335.36	0.03	1.41	81.20	2.71
0.16	335.37	0.04	1.84	123.18	2.89
0.24	335.38	0.05	2.16	157.10	3.00
0.32	335.39	0.06	2.41	186.81	3.07
0.40	335.40	0.07	2.62	213.63	3.13
0.48	335.41	0.08	2.81	238.34	3.18
0.56	335.42	0.09	2.97	261.53	3.23
0.64	335.43	0.10	3.12	283.43	3.26
0.72	335.43	0.10	3.26	304.16	3.29
0.80	335.44	0.11	3.39	324.07	3.32

Tailwater Channel Data - TO08

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.2959

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 335.33 m

Roadway Data for Crossing: TO08

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 338.33 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.50 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

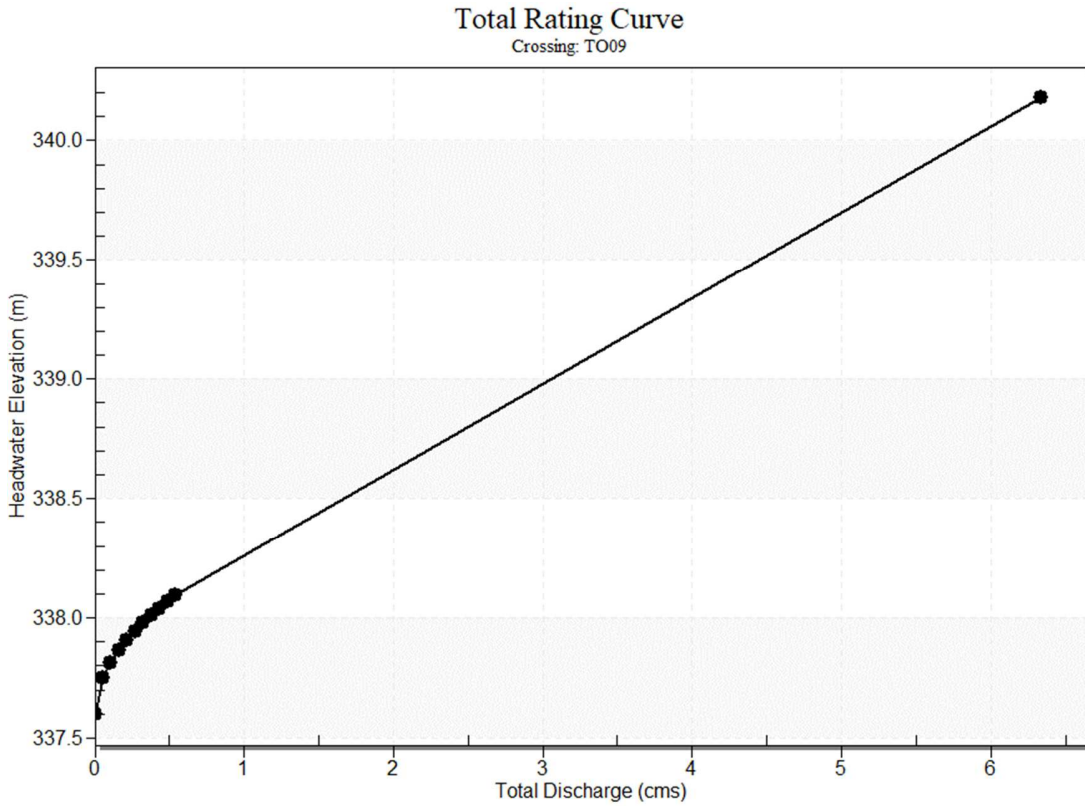
Design Flow: 0.54 cms

Maximum Flow: 0.54 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: T009

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T009 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
337.60	0.00	0.00	0.00	1
337.75	0.05	0.05	0.00	1
337.82	0.11	0.11	0.00	1
337.86	0.16	0.16	0.00	1
337.91	0.22	0.22	0.00	1
337.94	0.27	0.27	0.00	1
337.98	0.32	0.32	0.00	1
338.01	0.38	0.38	0.00	1
338.04	0.43	0.43	0.00	1
338.07	0.49	0.49	0.00	1
338.09	0.54	0.54	0.00	1
340.14	6.13	6.13	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO09



Culvert Data: TO09

Table 1 - Culvert Summary Table: TO09

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 cms	0.00 cms	337.60	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05 cms	0.05 cms	337.75	0.15	0.0*	1-S2	0.07	0.11	0.07	0.02	1.89	1.28
0.11 cms	0.11 cms	337.82	0.22	0.0*	1-S2	0.09	0.16	0.10	0.03	2.17	1.67
0.16 cms	0.16 cms	337.86	0.26	0.0*	1-S2	0.12	0.20	0.12	0.04	2.45	1.96
0.22 cms	0.22 cms	337.91	0.31	0.0*	1-S2	0.13	0.23	0.13	0.05	2.62	2.19

0.27 cms	0.27 cms	337.94	0.34	0.0*	1- S2 n	0.15	0.26	0.1	0.06	2.78	2.39
0.32 cms	0.32 cms	337.98	0.38	0.0*	1- S2 n	0.16	0.28	0.1	0.06	2.88	2.56
0.38 cms	0.38 cms	338.01	0.41	0.0*	1- S2 n	0.17	0.31	0.1	0.07	2.98	2.71
0.43 cms	0.43 cms	338.04	0.44	0.0*	1- S2 n	0.18	0.33	0.2	0.07	3.02	2.85
0.49 cms	0.49 cms	338.07	0.47	0.0*	1- S2 n	0.20	0.35	0.2	0.08	3.12	2.98
0.54 cms	0.54 cms	338.09	0.49	0.0*	1- S2 n	0.21	0.37	0.2	0.08	3.18	3.10

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

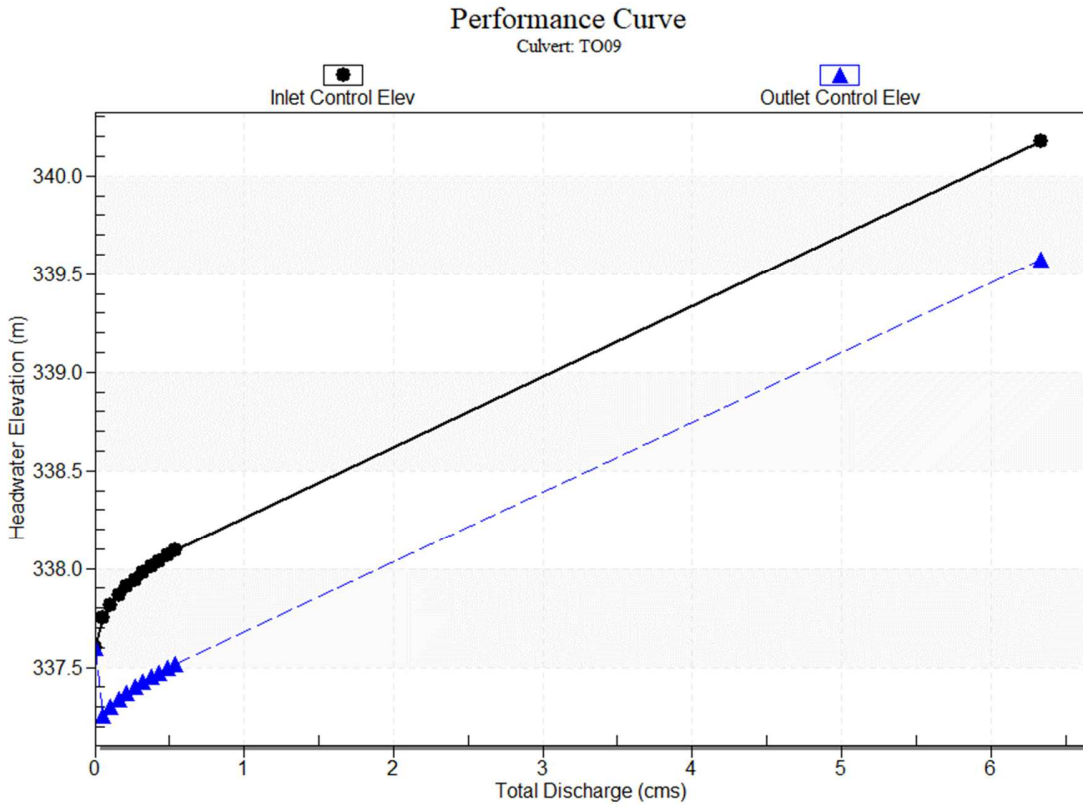
Inlet Elevation (invert): 337.60 m,

Outlet Elevation (invert): 337.14 m

Culvert Length: 15.35 m,

Culvert Slope: 0.0300

Culvert Performance Curve Plot: TO09



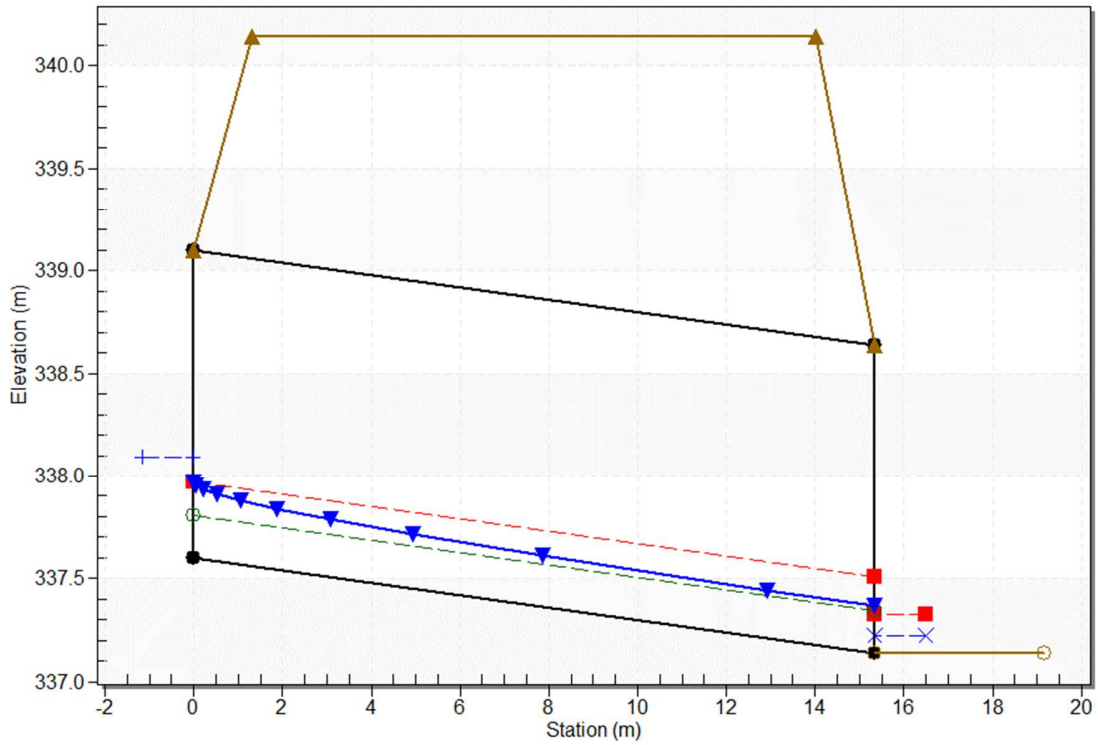
Water Surface Profile Data for Culvert: TO09

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.369	0.337	1.601	0.217	0.012	0.0028
0.050	0.353	0.318	1.699	0.209	0.012	0.0034
0.216	0.338	0.298	1.809	0.201	0.012	0.0040
0.534	0.323	0.280	1.932	0.193	0.012	0.0048
1.057	0.308	0.261	2.070	0.185	0.012	0.0058
1.864	0.292	0.243	2.226	0.177	0.012	0.0072
3.081	0.277	0.225	2.403	0.169	0.012	0.0089
4.930	0.262	0.207	2.607	0.160	0.012	0.0113
7.852	0.247	0.190	2.842	0.152	0.012	0.0144
12.925	0.232	0.173	3.117	0.143	0.012	0.0187
15.340	0.228	0.170	3.182	0.141	0.012	0.0198

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO09

Crossing - TO09, Design Discharge - 0.54 cms

Culvert - TO09, Culvert Discharge - 0.54 cms



Site Data - TO09

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 337.60 m

Outlet Station: 15.34 m

Outlet Elevation: 337.14 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO09

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO09

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO09)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	337.14	0.00	0.00	0.00	0.00
0.05	337.16	0.02	1.28	72.64	2.83
0.11	337.17	0.03	1.67	110.26	3.02
0.16	337.18	0.04	1.96	140.64	3.14
0.22	337.19	0.05	2.19	167.21	3.22
0.27	337.20	0.06	2.39	191.13	3.29
0.32	337.20	0.06	2.56	213.41	3.34
0.38	337.21	0.07	2.71	234.00	3.39
0.43	337.21	0.07	2.85	253.62	3.43
0.49	337.22	0.08	2.98	272.25	3.46
0.54	337.22	0.08	3.10	290.05	3.49

Tailwater Channel Data - TO09

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.3540

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 337.14 m

Roadway Data for Crossing: TO09

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 340.14 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 12.71 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

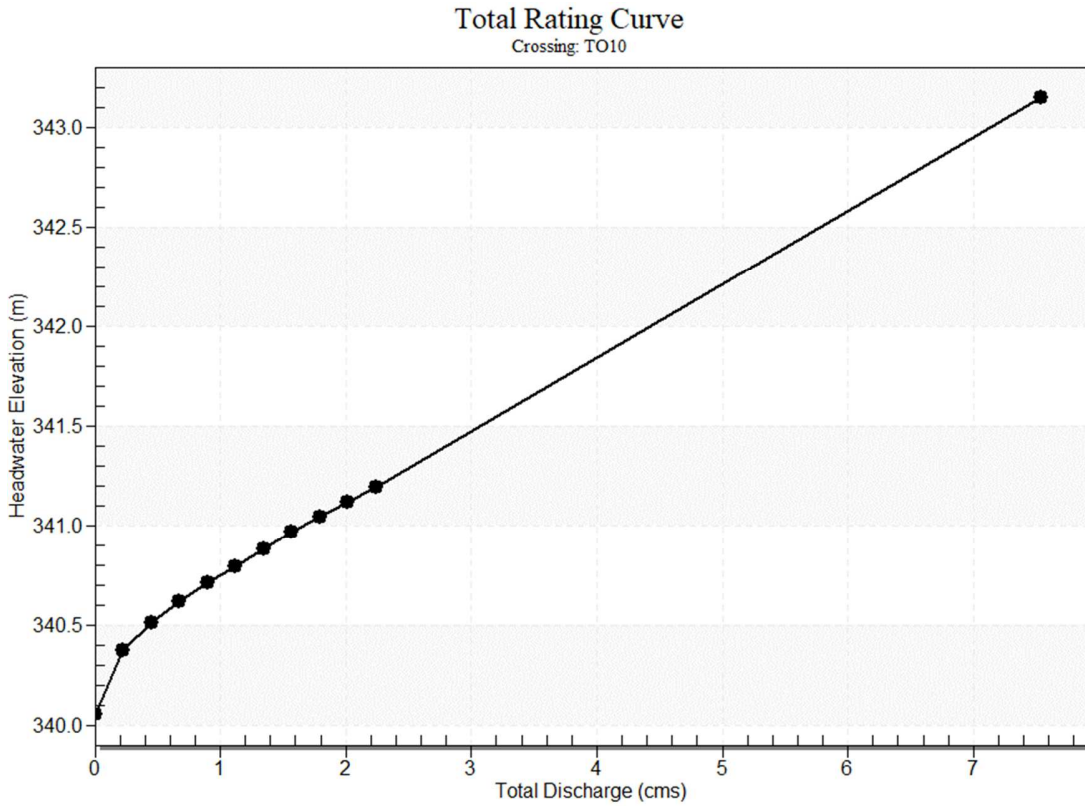
Design Flow: 2.24 cms

Maximum Flow: 2.24 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO10

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	TO10 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
340.06	0.00	0.00	0.00	1
340.38	0.22	0.22	0.00	1
340.51	0.45	0.45	0.00	1
340.62	0.67	0.67	0.00	1
340.71	0.90	0.90	0.00	1
340.80	1.12	1.12	0.00	1
340.88	1.34	1.34	0.00	1
340.97	1.57	1.57	0.00	1
341.05	1.79	1.79	0.00	1
341.12	2.02	2.02	0.00	1
341.19	2.24	2.24	0.00	1
343.06	6.95	6.95	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO10



Culvert Data: TO10

Table 1 - Culvert Summary Table: TO10

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 cms	0.00 cms	340.06	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.22 cms	0.22 cms	340.38	0.32	0.07	1-S2	0.17	0.24	0.17	0.04	1.96	2.83
0.45 cms	0.45 cms	340.51	0.45	0.18	1-S2	0.23	0.34	0.25	0.06	2.31	3.70
0.67 cms	0.67 cms	340.62	0.56	0.26	1-S2	0.28	0.41	0.31	0.08	2.52	4.31
0.90 cms	0.90 cms	340.71	0.65	0.34	1-S2	0.33	0.48	0.31	0.09	2.68	4.80

cms	cms			0	S2			7			
					n						
1.12	1.12	340.80	0.74	0.41	1-	0.36	0.54	0.4	0.10	2.82	5.22
cms	cms			0	S2			1			
					n						
1.34	1.34	340.88	0.82	0.47	1-	0.40	0.59	0.4	0.11	2.93	5.58
cms	cms			9	S2			6			
					n						
1.57	1.57	340.97	0.91	0.54	1-	0.43	0.64	0.5	0.13	3.03	5.90
cms	cms			5	S2			0			
					n						
1.79	1.79	341.05	0.99	0.61	1-	0.46	0.69	0.5	0.14	3.12	6.19
cms	cms			2	S2			4			
					n						
2.02	2.02	341.12	1.06	0.67	1-	0.49	0.73	0.5	0.15	3.21	6.46
cms	cms			8	S2			8			
					n						
2.24	2.24	341.19	1.13	0.74	1-	0.52	0.77	0.6	0.15	3.29	6.71
cms	cms			5	S2			1			
					n						

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

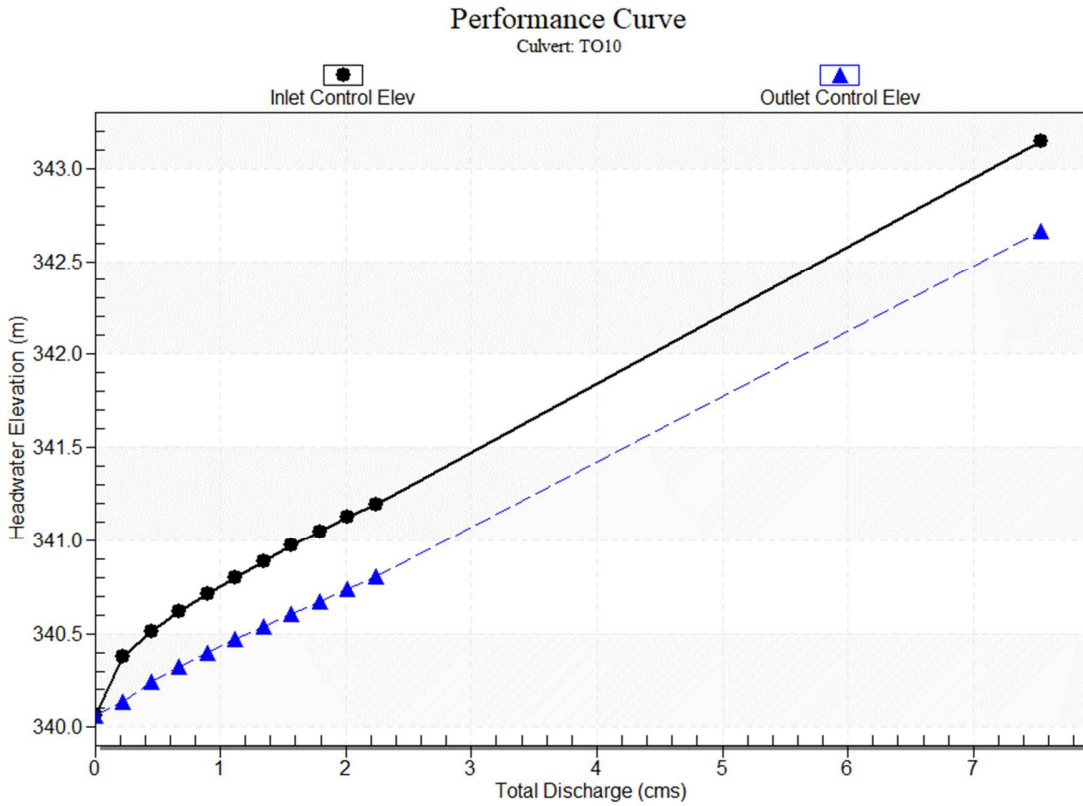
Inlet Elevation (invert): 340.06 m,

Outlet Elevation (invert): 339.90 m

Culvert Length: 12.65 m,

Culvert Slope: 0.0126

Culvert Performance Curve Plot: TO10



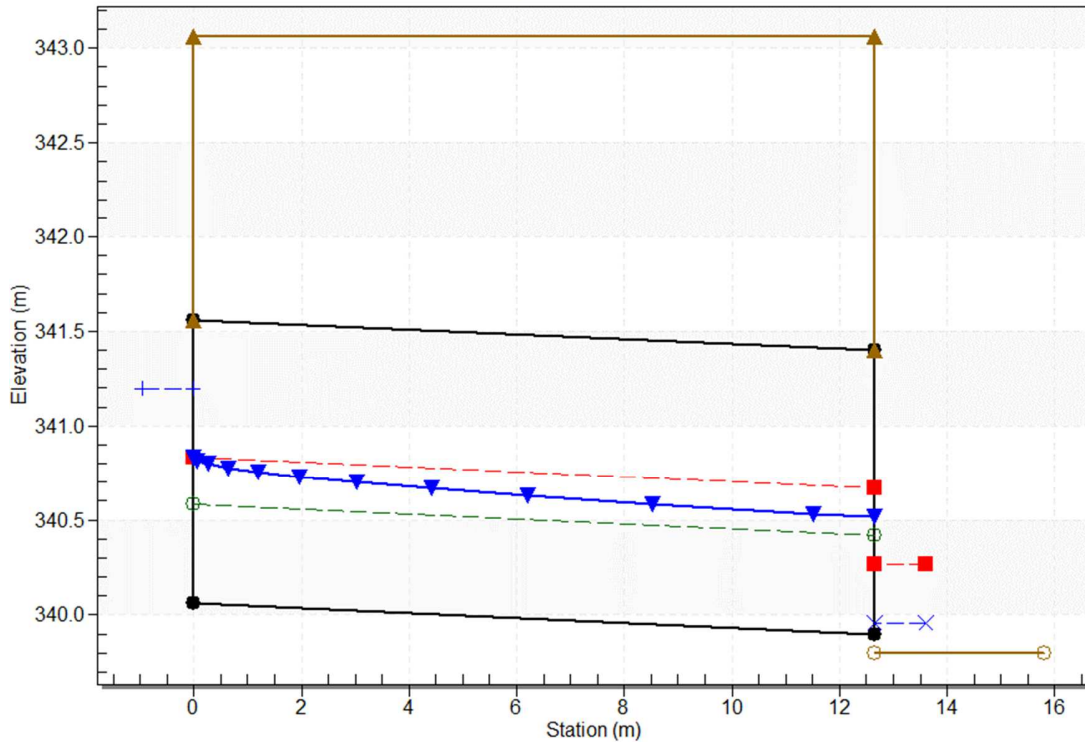
Water Surface Profile Data for Culvert: TO10

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.771	0.915	2.448	0.382	0.012	0.0031
0.064	0.756	0.892	2.510	0.377	0.012	0.0033
0.269	0.741	0.869	2.576	0.372	0.012	0.0036
0.635	0.725	0.847	2.646	0.367	0.012	0.0038
1.192	0.710	0.824	2.719	0.362	0.012	0.0041
1.974	0.695	0.801	2.797	0.357	0.012	0.0045
3.028	0.680	0.778	2.878	0.351	0.012	0.0048
4.413	0.664	0.755	2.965	0.346	0.012	0.0052
6.208	0.649	0.733	3.057	0.340	0.012	0.0057
8.525	0.634	0.710	3.154	0.334	0.012	0.0062
11.523	0.619	0.688	3.258	0.329	0.012	0.0067
12.650	0.614	0.681	3.289	0.327	0.012	0.0069

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO10

Crossing - TO10, Design Discharge - 2.24 cms

Culvert - TO10, Culvert Discharge - 2.24 cms



Site Data - TO10

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 340.06 m

Outlet Station: 12.65 m

Outlet Elevation: 339.90 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO10

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO10

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO10)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	339.80	0.00	0.00	0.00	0.00
0.22	339.84	0.04	2.83	297.29	4.63
0.45	339.86	0.06	3.70	450.91	4.93
0.67	339.88	0.08	4.31	575.52	5.11
0.90	339.89	0.09	4.80	684.06	5.24
1.12	339.90	0.10	5.22	782.40	5.33
1.34	339.91	0.11	5.58	873.00	5.41
1.57	339.93	0.13	5.90	957.73	5.48
1.79	339.94	0.14	6.19	1037.82	5.54
2.02	339.95	0.15	6.46	1113.67	5.59
2.24	339.95	0.15	6.71	1186.62	5.63

Tailwater Channel Data - TO10

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.7813

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 339.80 m

Roadway Data for Crossing: TO10

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 343.06 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 12.65 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

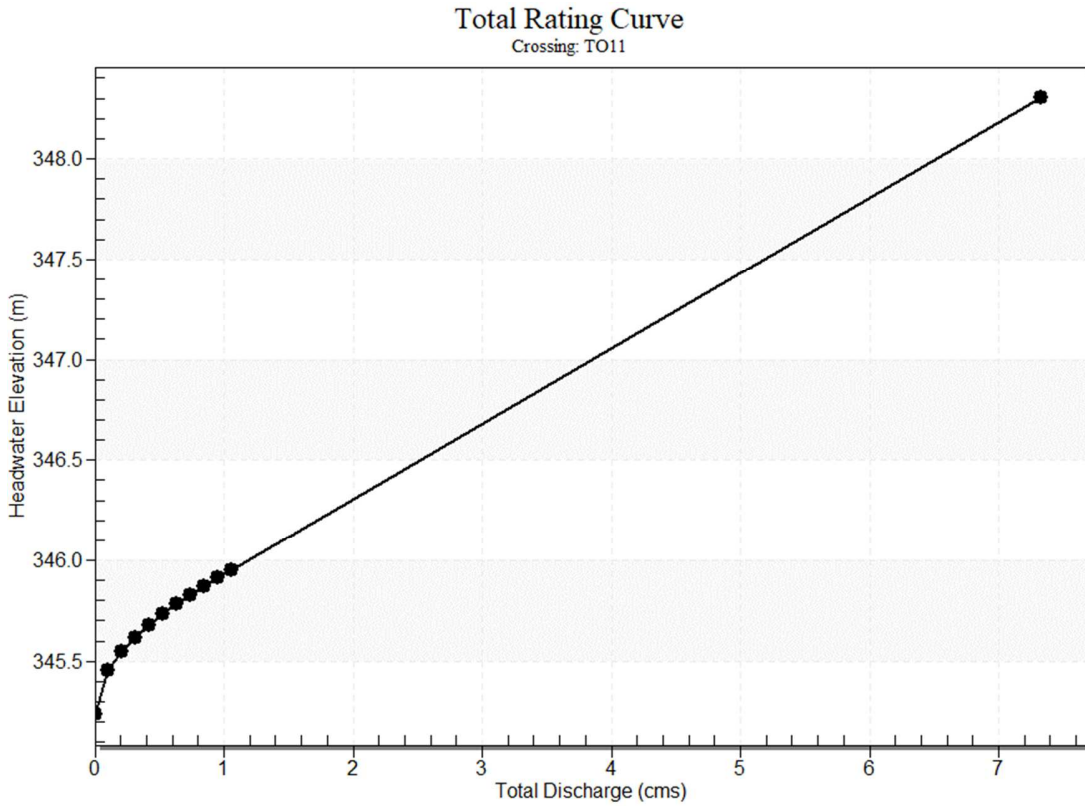
Design Flow: 1.06 cms

Maximum Flow: 1.06 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO11

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T011 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
345.24	0.00	0.00	0.00	1
345.45	0.11	0.11	0.00	1
345.55	0.21	0.21	0.00	1
345.62	0.32	0.32	0.00	1
345.68	0.42	0.42	0.00	1
345.73	0.53	0.53	0.00	1
345.78	0.64	0.64	0.00	1
345.83	0.74	0.74	0.00	1
345.87	0.85	0.85	0.00	1
345.91	0.95	0.95	0.00	1
345.95	1.06	1.06	0.00	1
348.24	6.96	6.96	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO11



Culvert Data: TO11

Table 1 - Culvert Summary Table: TO11

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	345.24	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.11	0.11	345.45	0.21	0.0*	1-S2	0.10	0.16	0.1	0.03	1.85	2.04
0.21	0.21	345.55	0.31	0.0*	1-S2	0.15	0.23	0.1	0.04	2.21	2.67
0.32	0.32	345.62	0.38	0.04	1-S2	0.18	0.28	0.1	0.05	2.42	3.12
0.42	0.42	345.68	0.44	0.09	1-S2	0.20	0.33	0.2	0.06	2.57	3.48

cms	cms			1	S2			2			
0.53	0.53	345.73	0.49	0.13	1-	0.23	0.37	0.2	0.07	2.69	3.79
cms	cms			3	S2			5			
0.64	0.64	345.78	0.54	0.17	1-	0.25	0.40	0.2	0.08	2.79	4.06
cms	cms			2	S2			8			
0.74	0.74	345.83	0.59	0.20	1-	0.27	0.43	0.3	0.08	2.87	4.30
cms	cms			9	S2			1			
0.85	0.85	345.87	0.63	0.24	1-	0.29	0.47	0.3	0.09	2.95	4.52
cms	cms			4	S2			3			
0.95	0.95	345.91	0.67	0.27	1-	0.30	0.49	0.3	0.10	3.02	4.73
cms	cms			8	S2			5			
1.06	1.06	345.95	0.71	0.31	1-	0.32	0.52	0.3	0.10	3.08	4.91
cms	cms			2	S2			7			

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

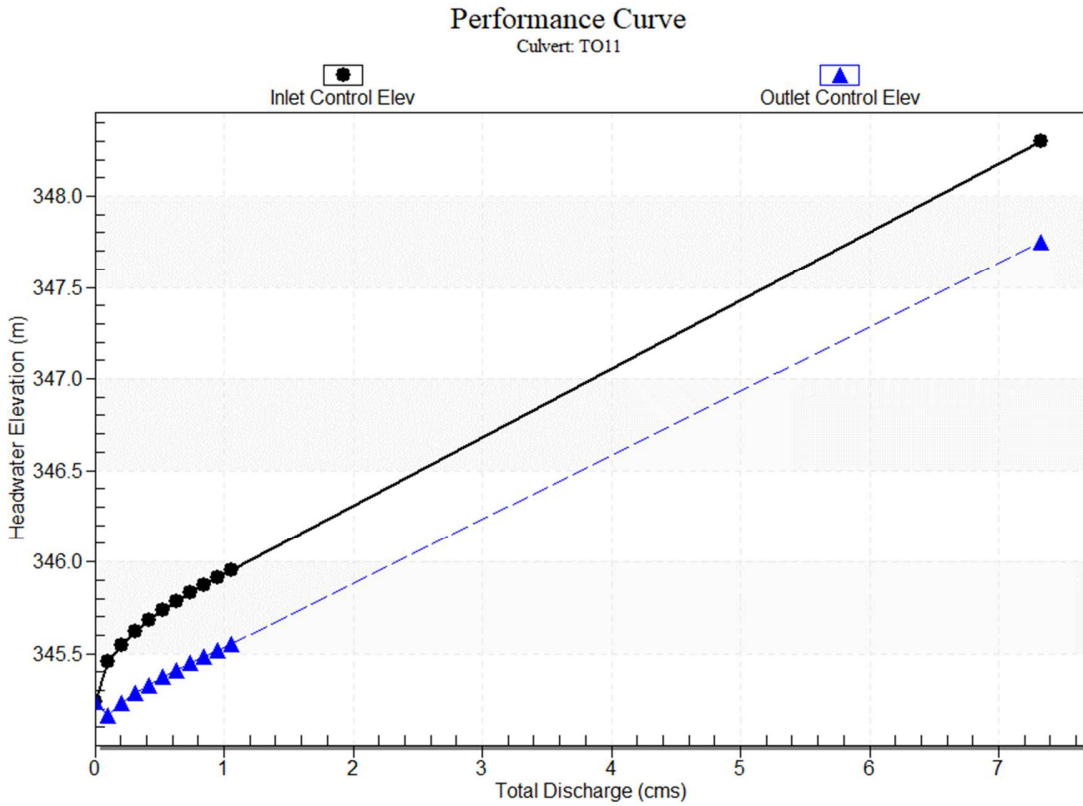
Inlet Elevation (invert): 345.24 m,

Outlet Elevation (invert): 345.00 m

Culvert Length: 12.49 m,

Culvert Slope: 0.0192

Culvert Performance Curve Plot: TO11



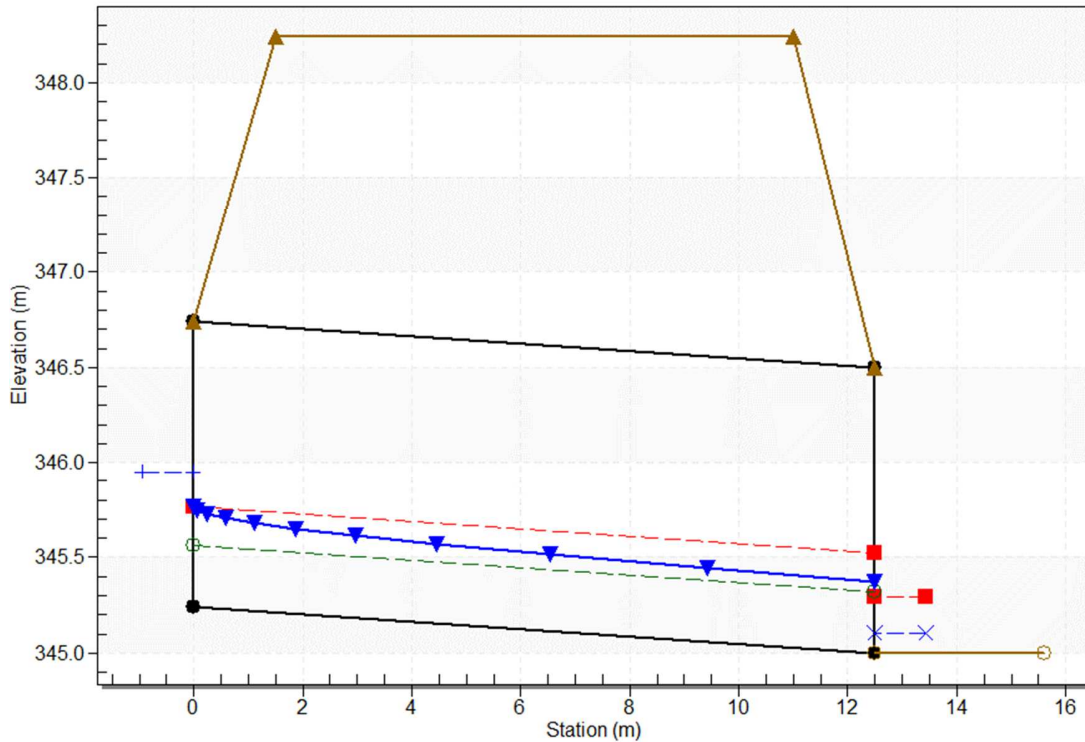
Water Surface Profile Data for Culvert: TO11

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.522	0.547	1.938	0.289	0.012	0.0028
0.056	0.507	0.525	2.018	0.282	0.012	0.0032
0.240	0.492	0.504	2.105	0.275	0.012	0.0036
0.578	0.476	0.482	2.198	0.269	0.012	0.0040
1.108	0.461	0.461	2.299	0.262	0.012	0.0045
1.880	0.446	0.440	2.408	0.254	0.012	0.0052
2.965	0.431	0.419	2.528	0.247	0.012	0.0059
4.464	0.415	0.399	2.658	0.240	0.012	0.0068
6.534	0.400	0.378	2.801	0.232	0.012	0.0079
9.434	0.385	0.358	2.958	0.225	0.012	0.0092
12.490	0.374	0.344	3.083	0.219	0.012	0.0103

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO11

Crossing - TO11, Design Discharge - 1.06 cms

Culvert - TO11, Culvert Discharge - 1.06 cms



Site Data - TO11

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 345.24 m

Outlet Station: 12.49 m

Outlet Elevation: 345.00 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO11

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO11

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO11)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	345.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11	345.03	0.03	2.04	173.76	4.08
0.21	345.04	0.04	2.67	263.53	4.35
0.32	345.05	0.05	3.12	336.26	4.52
0.42	345.06	0.06	3.48	399.95	4.63
0.53	345.07	0.07	3.79	457.28	4.73
0.64	345.08	0.08	4.06	510.23	4.80
0.74	345.08	0.08	4.30	559.91	4.86
0.85	345.09	0.09	4.52	606.59	4.92
0.95	345.10	0.10	4.73	651.09	4.97
1.06	345.10	0.10	4.91	693.67	5.01

Tailwater Channel Data - TO11

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.6897

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 345.00 m

Roadway Data for Crossing: TO11

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 348.24 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.50 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

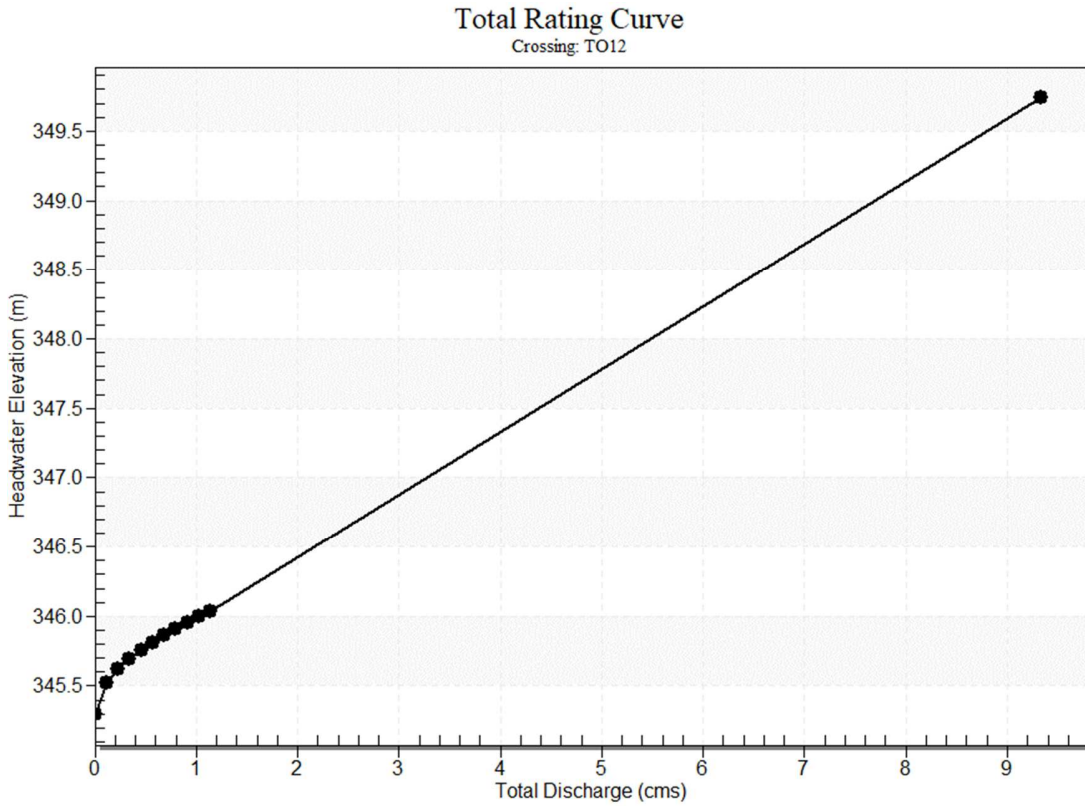
Design Flow: 1.14 cms

Maximum Flow: 1.14 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO12

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T012 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
345.30	0.00	0.00	0.00	1
345.52	0.11	0.11	0.00	1
345.62	0.23	0.23	0.00	1
345.69	0.34	0.34	0.00	1
345.75	0.46	0.46	0.00	1
345.81	0.57	0.57	0.00	1
345.86	0.68	0.68	0.00	1
345.91	0.80	0.80	0.00	1
345.95	0.91	0.91	0.00	1
346.00	1.03	1.03	0.00	1
346.04	1.14	1.14	0.00	1
349.68	9.01	9.01	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO12



Culvert Data: TO12

Table 1 - Culvert Summary Table: TO12

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	345.30	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11	0.11	345.52	0.22	0.0*	1-S2	0.11	0.17	0.11	0.03	1.97	1.91
0.23	0.23	345.62	0.32	0.0*	1-S2	0.15	0.24	0.16	0.04	2.34	2.49
0.34	0.34	345.69	0.39	0.0*	1-S2	0.18	0.29	0.19	0.06	2.57	2.91
0.46	0.46	345.75	0.45	0.04	1-S2	0.21	0.34	0.20	0.07	2.73	3.25

0.57	0.57	345.81	0.51	0.08	1-	0.23	0.38	0.2	0.08	2.85	3.53
cms	cms			8	S2			6			
					n						
0.68	0.68	345.86	0.56	0.12	1-	0.25	0.42	0.2	0.09	2.95	3.78
cms	cms			9	S2			8			
					n						
0.80	0.80	345.91	0.61	0.16	1-	0.27	0.45	0.3	0.10	3.04	4.01
cms	cms			8	S2			1			
					n						
0.91	0.91	345.95	0.65	0.20	1-	0.29	0.48	0.3	0.10	3.13	4.21
cms	cms			5	S2			3			
					n						
1.03	1.03	346.00	0.70	0.24	1-	0.31	0.51	0.3	0.11	3.20	4.40
cms	cms			2	S2			6			
					n						
1.14	1.14	346.04	0.74	0.27	1-	0.32	0.54	0.3	0.12	3.27	4.57
cms	cms			7	S2			8			
					n						

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

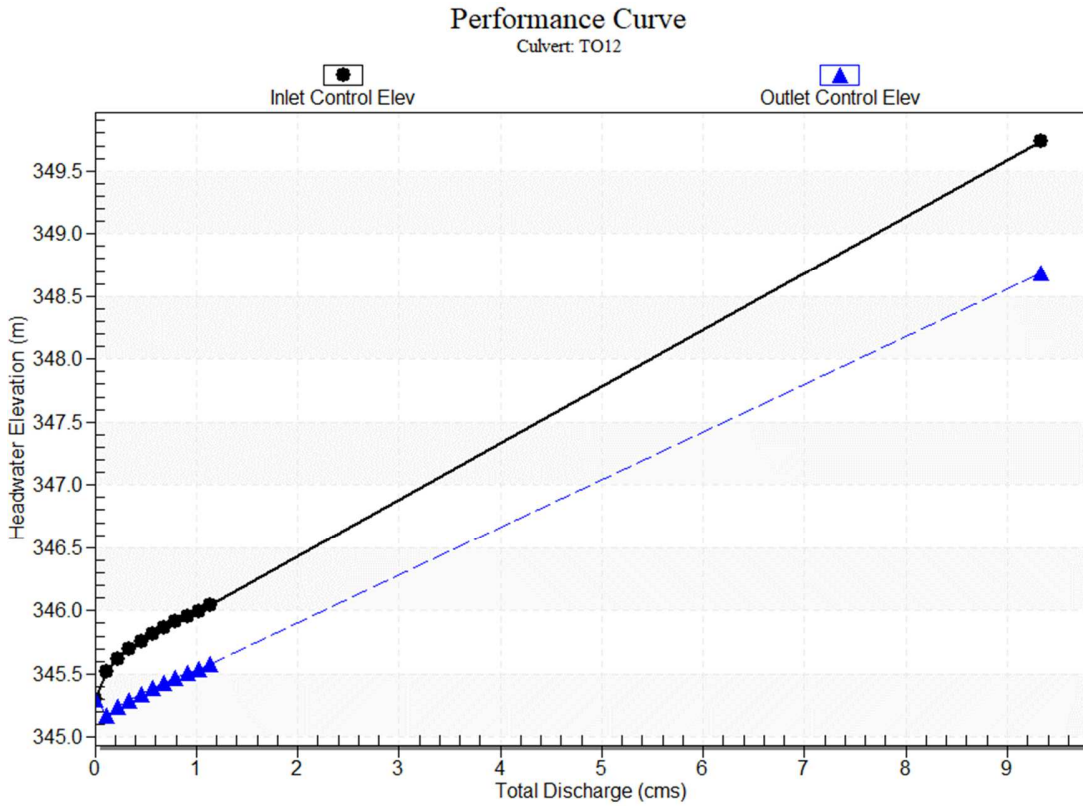
Inlet Elevation (invert): 345.30 m,

Outlet Elevation (invert): 345.00 m

Culvert Length: 14.37 m,

Culvert Slope: 0.0209

Culvert Performance Curve Plot: TO12



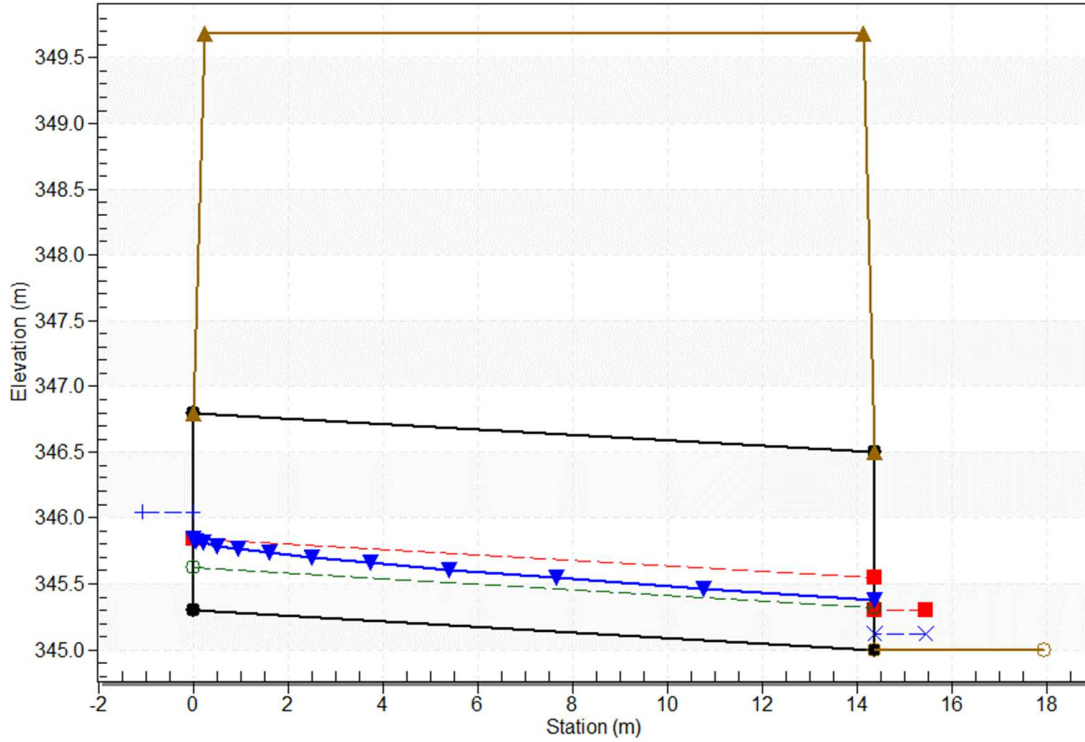
Water Surface Profile Data for Culvert: TO12

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.542	0.576	1.980	0.298	0.012	0.0028
0.049	0.527	0.554	2.058	0.291	0.012	0.0032
0.208	0.512	0.532	2.143	0.284	0.012	0.0035
0.499	0.496	0.510	2.233	0.278	0.012	0.0040
0.951	0.481	0.489	2.331	0.271	0.012	0.0045
1.602	0.466	0.468	2.437	0.264	0.012	0.0051
2.506	0.451	0.447	2.552	0.257	0.012	0.0057
3.734	0.435	0.426	2.677	0.250	0.012	0.0066
5.393	0.420	0.405	2.813	0.242	0.012	0.0075
7.646	0.405	0.385	2.962	0.235	0.012	0.0087
10.760	0.390	0.365	3.126	0.227	0.012	0.0101
14.370	0.377	0.349	3.271	0.221	0.012	0.0115

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO12

Crossing - TO12, Design Discharge - 1.14 cms

Culvert - TO12, Culvert Discharge - 1.14 cms



Site Data - TO12

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 345.30 m

Outlet Station: 14.37 m

Outlet Elevation: 345.00 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO12

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO12

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO12)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	345.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11	345.03	0.03	1.91	145.94	3.57
0.23	345.04	0.04	2.49	221.42	3.80
0.34	345.06	0.06	2.91	282.65	3.94
0.46	345.07	0.07	3.25	336.02	4.04
0.57	345.08	0.08	3.53	384.19	4.13
0.68	345.09	0.09	3.78	428.76	4.19
0.80	345.10	0.10	4.01	470.33	4.24
0.91	345.10	0.10	4.21	509.71	4.29
1.03	345.11	0.11	4.40	547.08	4.33
1.14	345.12	0.12	4.57	582.86	4.37

Tailwater Channel Data - TO12

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.5050

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 345.00 m

Roadway Data for Crossing: TO12

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 349.68 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 13.92 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

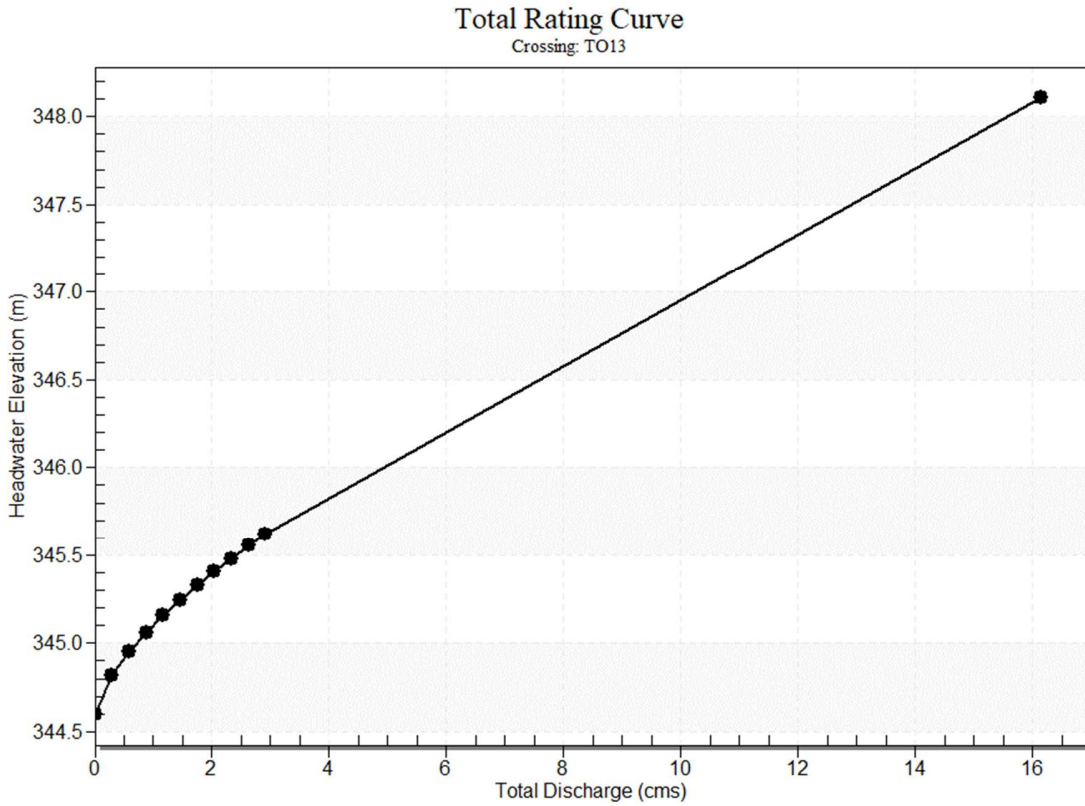
Design Flow: 2.91 cms

Maximum Flow: 2.91 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO13

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T013 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
344.60	0.00	0.00	0.00	1
344.82	0.29	0.29	0.00	1
344.95	0.58	0.58	0.00	1
345.06	0.87	0.87	0.00	1
345.16	1.16	1.16	0.00	1
345.24	1.45	1.45	0.00	1
345.33	1.75	1.75	0.00	1
345.41	2.04	2.04	0.00	1
345.48	2.33	2.33	0.00	1
345.55	2.62	2.62	0.00	1
345.62	2.91	2.91	0.00	1
347.98	14.88	14.88	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO13



Culvert Data: TO13

Table 1 - Culvert Summary Table: TO13

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 cms	0.00 cms	344.60	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.29 cms	0.29 cms	344.82	0.22	0.01	1-S2n	0.10	0.13	0.10	0.06	1.44	2.37
0.58 cms	0.58 cms	344.95	0.35	0.08	1-S2n	0.16	0.21	0.16	0.09	1.83	3.08
0.87 cms	0.87 cms	345.06	0.46	0.15	1-S2n	0.20	0.27	0.21	0.12	2.08	3.58
1.16 cms	1.16 cms	345.16	0.56	0.21	1-S2n	0.24	0.33	0.24	0.14	2.28	3.97

1.45	1.45	345.24	0.64	0.26	1-	0.28	0.38	0.3	0.16	2.43	4.31
cms	cms			9	S2			0			
					n						
1.75	1.75	345.33	0.73	0.32	1-	0.32	0.43	0.3	0.17	2.57	4.59
cms	cms			2	S2			4			
					n						
2.04	2.04	345.41	0.81	0.37	1-	0.35	0.47	0.3	0.19	2.68	4.85
cms	cms			4	S2			8			
					n						
2.33	2.33	345.48	0.88	0.42	1-	0.39	0.52	0.4	0.21	2.79	5.08
cms	cms			5	S2			2			
					n						
2.62	2.62	345.55	0.95	0.47	1-	0.42	0.56	0.4	0.22	2.88	5.29
cms	cms			4	S2			5			
					n						
2.91	2.91	345.62	1.02	0.52	1-	0.45	0.60	0.4	0.24	2.97	5.48
cms	cms			3	S2			9			
					n						

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

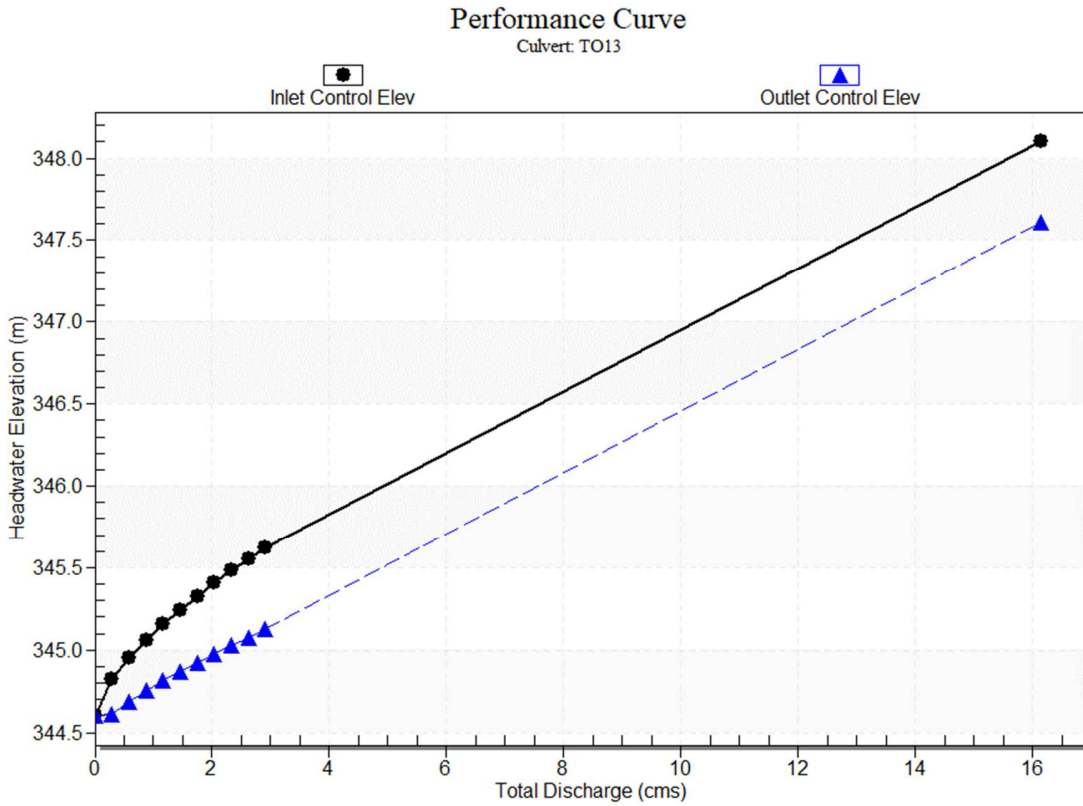
Inlet Elevation (invert): 344.60 m,

Outlet Elevation (invert): 344.48 m

Culvert Length: 16.72 m,

Culvert Slope: 0.0072

Culvert Performance Curve Plot: TO13



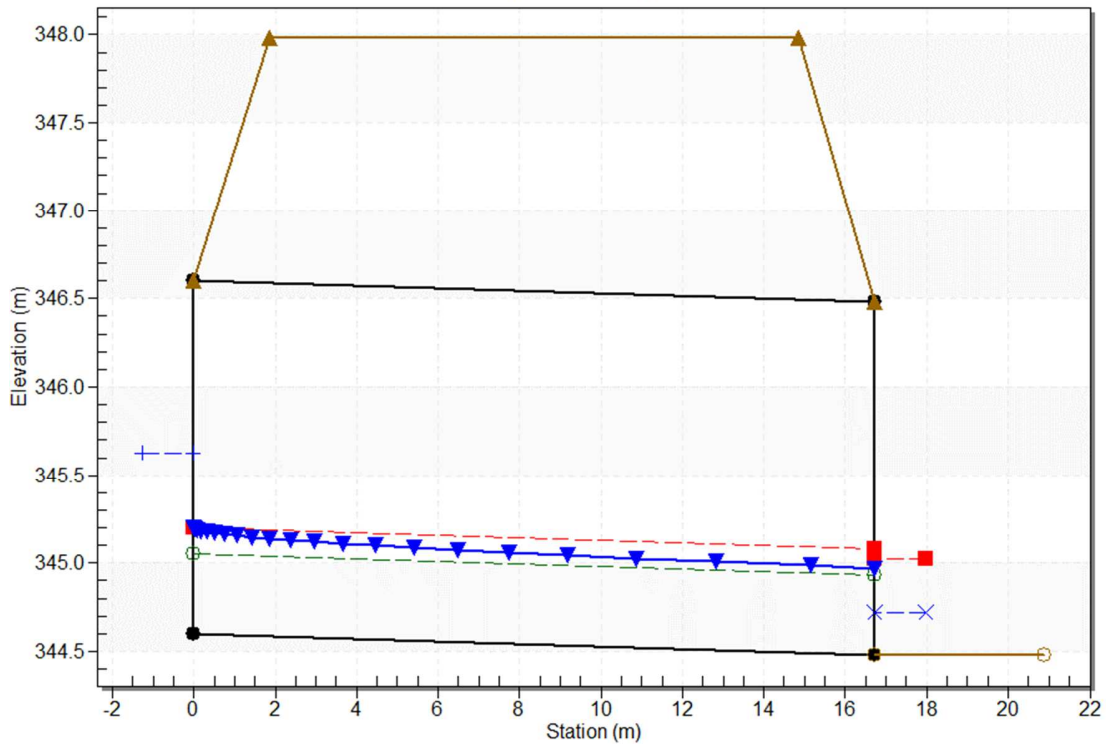
Water Surface Profile Data for Culvert: TO13

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.600	1.199	2.426	0.375	0.012	0.0031
0.019	0.594	1.189	2.448	0.373	0.012	0.0032
0.076	0.589	1.178	2.470	0.371	0.012	0.0033
0.174	0.584	1.167	2.493	0.369	0.012	0.0034
0.316	0.578	1.157	2.515	0.366	0.012	0.0035
0.507	0.573	1.146	2.539	0.364	0.012	0.0036
0.751	0.568	1.136	2.563	0.362	0.012	0.0037
1.053	0.562	1.125	2.587	0.360	0.012	0.0038
1.418	0.557	1.114	2.612	0.358	0.012	0.0039
1.854	0.552	1.104	2.637	0.356	0.012	0.0040
2.368	0.546	1.093	2.663	0.353	0.012	0.0041
2.969	0.541	1.082	2.689	0.351	0.012	0.0042
3.668	0.536	1.072	2.715	0.349	0.012	0.0043
4.478	0.530	1.061	2.743	0.347	0.012	0.0044
5.414	0.525	1.050	2.771	0.344	0.012	0.0046
6.495	0.520	1.040	2.799	0.342	0.012	0.0047

7.744	0.515	1.029	2.828	0.340	0.012	0.0049
9.190	0.509	1.018	2.857	0.337	0.012	0.0050
10.870	0.504	1.008	2.888	0.335	0.012	0.0052
12.835	0.499	0.997	2.918	0.333	0.012	0.0053
15.149	0.493	0.986	2.950	0.330	0.012	0.0055
16.720	0.490	0.980	2.968	0.329	0.012	0.0056

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO13

Crossing - TO13, Design Discharge - 2.91 cms
Culvert - TO13, Culvert Discharge - 2.91 cms



Site Data - TO13

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 344.60 m

Outlet Station: 16.72 m

Outlet Elevation: 344.48 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO13

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

Tailwater Data for Crossing: TO13

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO13)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	344.48	0.00	0.00	0.00	0.00
0.29	344.54	0.06	2.37	185.37	3.15
0.58	344.57	0.09	3.08	281.25	3.34
0.87	344.60	0.12	3.58	358.79	3.46
1.16	344.62	0.14	3.97	426.52	3.54
1.45	344.64	0.16	4.31	487.66	3.60
1.75	344.65	0.17	4.59	543.92	3.65
2.04	344.67	0.19	4.85	596.56	3.69
2.33	344.69	0.21	5.08	646.17	3.72
2.62	344.70	0.22	5.29	693.36	3.75
2.91	344.72	0.24	5.48	738.29	3.78

Tailwater Channel Data - TO13

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.3175

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 344.48 m

Roadway Data for Crossing: TO13

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 347.98 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 12.98 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

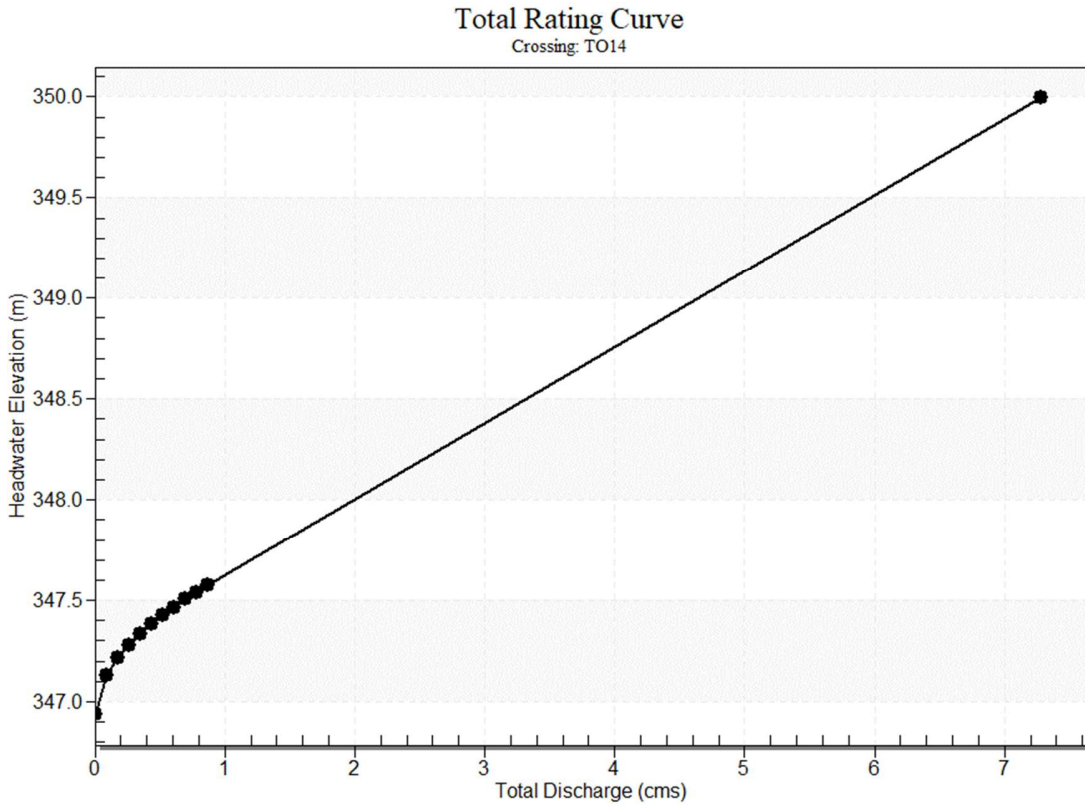
Design Flow: 0.87 cms

Maximum Flow: 0.87 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO14

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T014 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
346.94	0.00	0.00	0.00	1
347.13	0.09	0.09	0.00	1
347.21	0.17	0.17	0.00	1
347.28	0.26	0.26	0.00	1
347.33	0.35	0.35	0.00	1
347.38	0.43	0.43	0.00	1
347.43	0.52	0.52	0.00	1
347.47	0.61	0.61	0.00	1
347.50	0.70	0.70	0.00	1
347.54	0.78	0.78	0.00	1
347.58	0.87	0.87	0.00	1
349.94	6.97	6.97	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO14



Culvert Data: TO14

Table 1 - Culvert Summary Table: TO14

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 cms	0.00 cms	346.94	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.09 cms	0.09 cms	347.13	0.19	0.0*	1-S2n	0.09	0.15	0.09	0.02	1.98	1.96
0.17 cms	0.17 cms	347.21	0.27	0.0*	1-S2n	0.12	0.21	0.13	0.03	2.38	2.58
0.26 cms	0.26 cms	347.28	0.34	0.0*	1-S2n	0.15	0.25	0.16	0.04	2.61	3.02
0.35 cms	0.35 cms	347.33	0.39	0.0*	1-S2n	0.17	0.29	0.16	0.05	2.76	3.37

0.43	0.43	347.38	0.44	0.0*	1-	0.19	0.33	0.2	0.06	2.88	3.67
cms	cms				S2			9			
					n						
0.52	0.52	347.43	0.49	0.03	1-	0.21	0.36	0.2	0.06	2.97	3.94
cms	cms			0	S2			3			
					n						
0.61	0.61	347.47	0.53	0.06	1-	0.22	0.39	0.2	0.07	3.07	4.17
cms	cms			2	S2			5			
					n						
0.70	0.70	347.50	0.56	0.09	1-	0.24	0.42	0.2	0.08	3.14	4.39
cms	cms			3	S2			7			
					n						
0.78	0.78	347.54	0.60	0.12	1-	0.25	0.45	0.2	0.08	3.22	4.59
cms	cms			3	S2			9			
					n						
0.87	0.87	347.58	0.64	0.15	1-	0.26	0.47	0.3	0.09	3.27	4.77
cms	cms			1	S2			1			
					n						

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

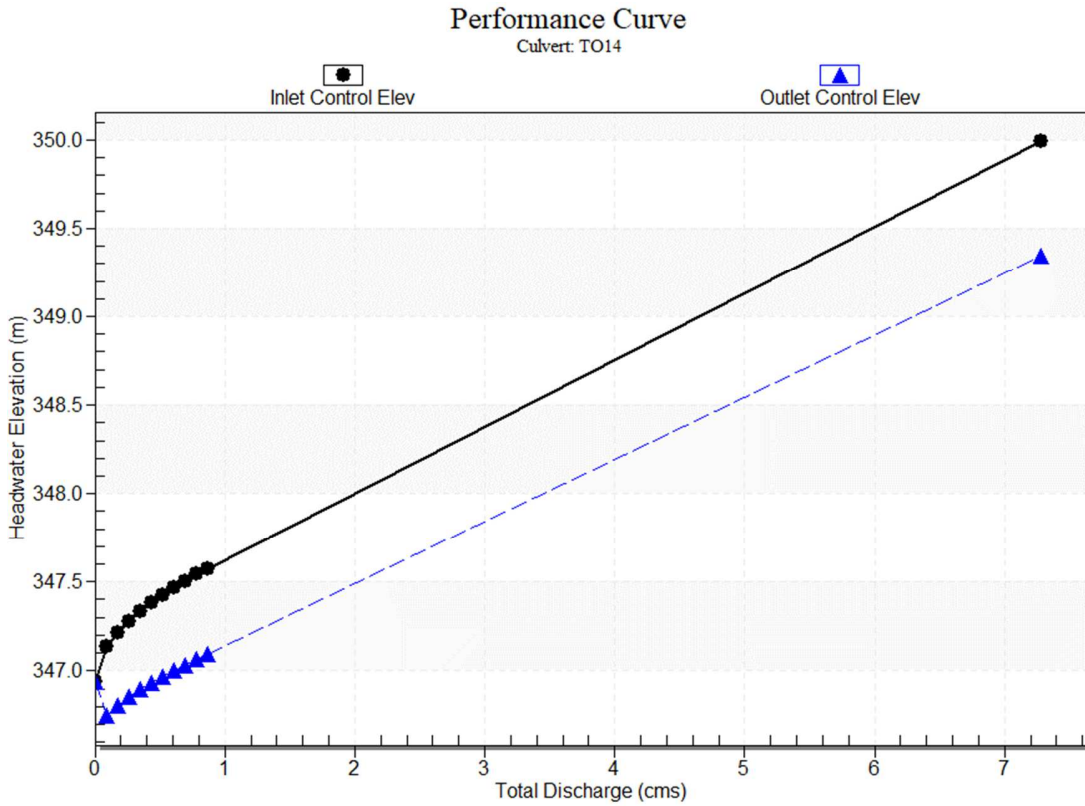
Inlet Elevation (invert): 346.94 m,

Outlet Elevation (invert): 346.60 m

Culvert Length: 12.19 m,

Culvert Slope: 0.0279

Culvert Performance Curve Plot: TO14



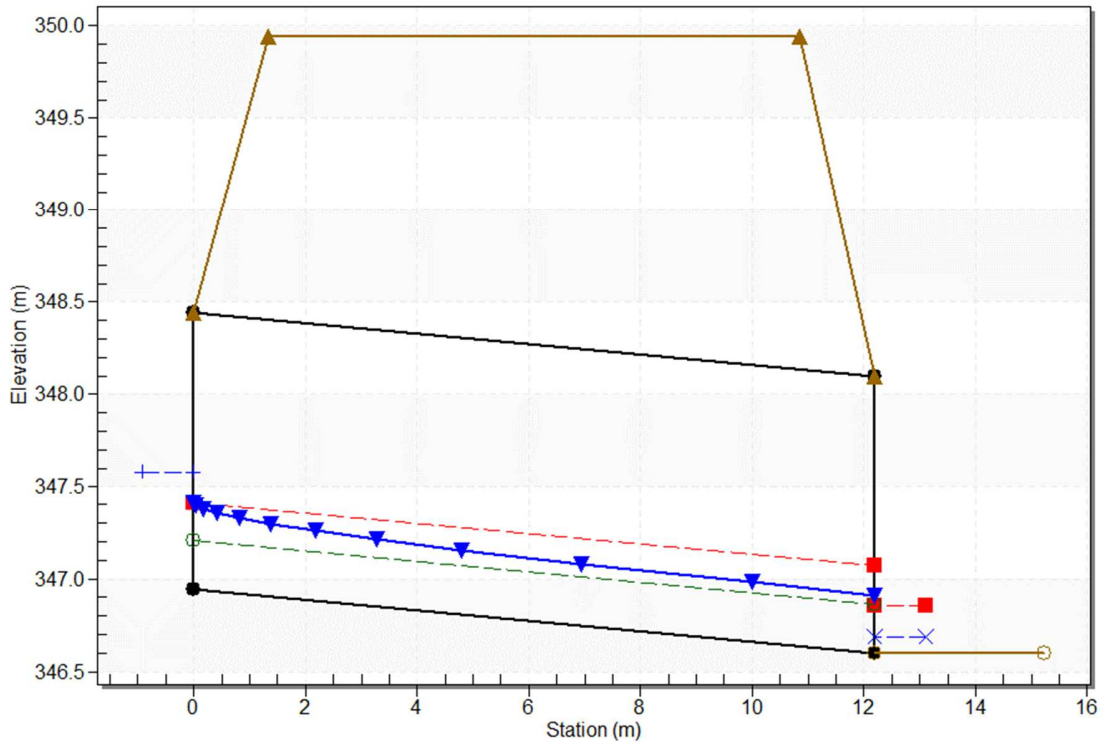
Water Surface Profile Data for Culvert: TO14

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.471	0.475	1.830	0.266	0.012	0.0028
0.041	0.456	0.454	1.916	0.259	0.012	0.0032
0.175	0.441	0.433	2.008	0.252	0.012	0.0036
0.422	0.426	0.413	2.109	0.245	0.012	0.0042
0.811	0.410	0.392	2.219	0.237	0.012	0.0048
1.378	0.395	0.372	2.340	0.230	0.012	0.0056
2.177	0.380	0.352	2.473	0.222	0.012	0.0065
3.282	0.365	0.332	2.620	0.215	0.012	0.0077
4.807	0.349	0.313	2.784	0.207	0.012	0.0091
6.937	0.334	0.293	2.965	0.199	0.012	0.0109
9.995	0.319	0.275	3.169	0.191	0.012	0.0132
12.190	0.312	0.266	3.275	0.187	0.012	0.0144

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO14

Crossing - TO14, Design Discharge - 0.87 cms

Culvert - TO14, Culvert Discharge - 0.87 cms



Site Data - TO14

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 346.94 m

Outlet Station: 12.19 m

Outlet Elevation: 346.60 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO14

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO14

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO14)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	346.60	0.00	0.00	0.00	0.00
0.09	346.62	0.02	1.96	170.48	4.26
0.17	346.63	0.03	2.58	258.28	4.55
0.26	346.64	0.04	3.02	329.41	4.73
0.35	346.65	0.05	3.37	391.74	4.85
0.43	346.66	0.06	3.67	448.01	4.95
0.52	346.66	0.06	3.94	499.84	5.03
0.61	346.67	0.07	4.17	548.53	5.10
0.70	346.68	0.08	4.39	594.40	5.16
0.78	346.68	0.08	4.59	638.06	5.21
0.87	346.69	0.09	4.77	679.53	5.26

Tailwater Channel Data - TO14

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.7937

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 346.60 m

Roadway Data for Crossing: TO14

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 349.94 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.50 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

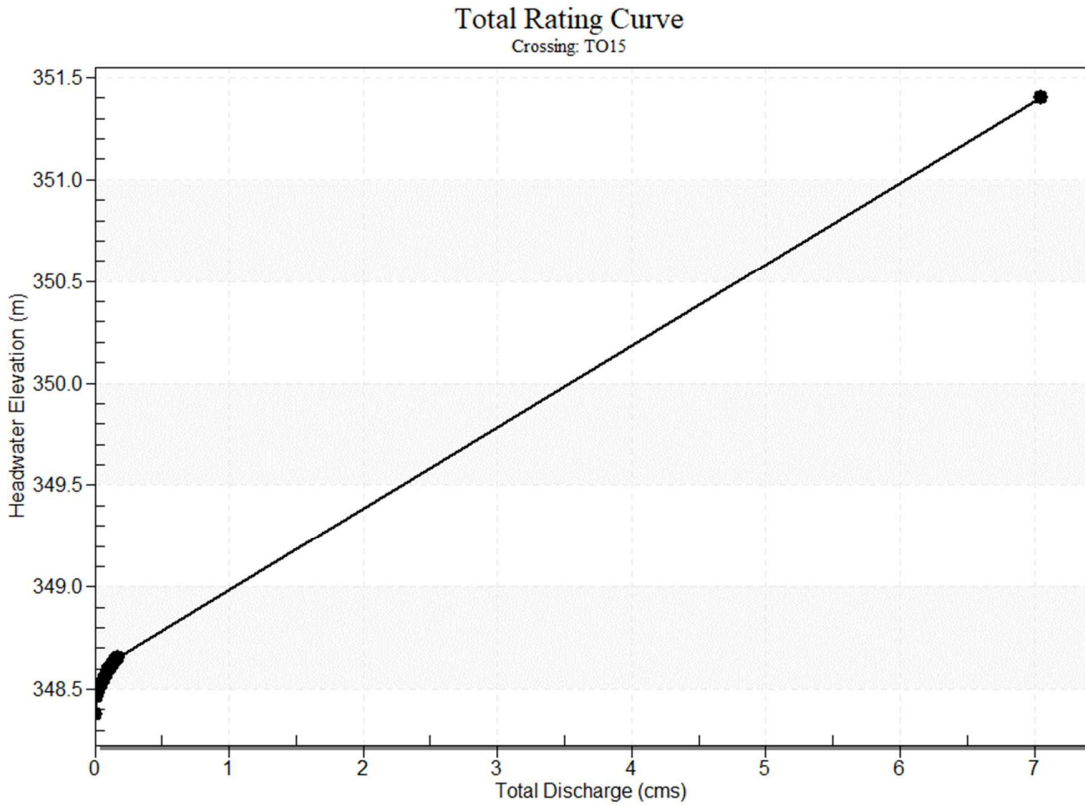
Design Flow: 0.17 cms

Maximum Flow: 0.17 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO15

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T015 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
348.38	0.00	0.00	0.00	1
348.46	0.02	0.02	0.00	1
348.50	0.03	0.03	0.00	1
348.53	0.05	0.05	0.00	1
348.55	0.07	0.07	0.00	1
348.57	0.08	0.08	0.00	1
348.59	0.10	0.10	0.00	1
348.61	0.12	0.12	0.00	1
348.62	0.14	0.14	0.00	1
348.64	0.15	0.15	0.00	1
348.65	0.17	0.17	0.00	1
351.38	6.97	6.97	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO15



Culvert Data: TO15

Table 1 - Culvert Summary Table: TO15

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	348.38	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.02	0.02	348.46	0.08	0.0*	1-S2	0.04	0.06	0.0	0.01	1.21	1.00
0.03	0.03	348.50	0.12	0.0*	1-S2	0.06	0.09	0.0	0.01	1.52	1.32
0.05	0.05	348.53	0.15	0.0*	1-S2	0.07	0.11	0.0	0.02	1.59	1.55
0.07	0.07	348.55	0.17	0.0*	1-S2	0.08	0.13	0.0	0.02	1.73	1.73

cms	cms				S2			8			
					n						
0.08	0.08	348.57	0.19	0.0*	1-	0.09	0.14	0.0	0.02	1.83	1.89
cms	cms				S2			9			
					n						
0.10	0.10	348.59	0.21	0.0*	1-	0.10	0.16	0.1	0.02	1.93	2.03
cms	cms				S2			0			
					n						
0.12	0.12	348.61	0.23	0.0*	1-	0.11	0.17	0.1	0.03	2.02	2.16
cms	cms				S2			1			
					n						
0.14	0.14	348.62	0.24	0.0*	1-	0.11	0.18	0.1	0.03	2.09	2.28
cms	cms				S2			2			
					n						
0.15	0.15	348.64	0.26	0.0*	1-	0.12	0.19	0.1	0.03	2.15	2.38
cms	cms				S2			3			
					n						
0.17	0.17	348.65	0.27	0.0*	1-	0.13	0.20	0.1	0.03	2.20	2.48
cms	cms				S2			3			
					n						

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

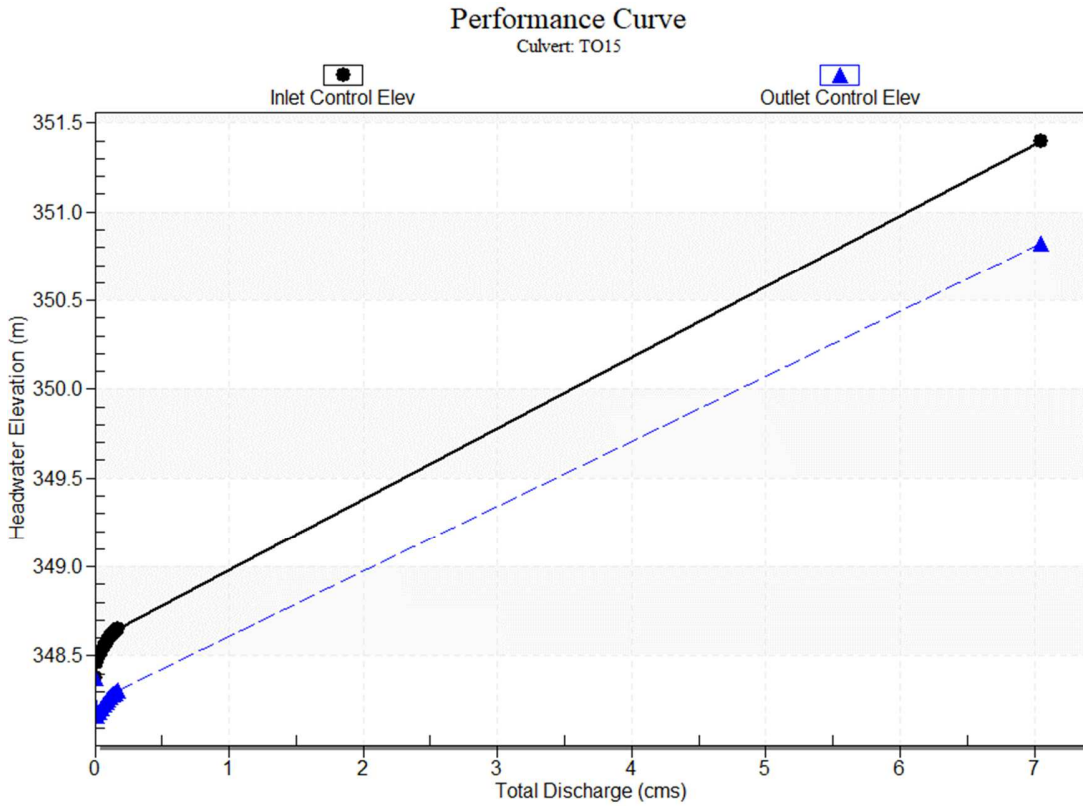
Inlet Elevation (invert): 348.38 m,

Outlet Elevation (invert): 348.10 m

Culvert Length: 12.40 m,

Culvert Slope: 0.0226

Culvert Performance Curve Plot: TO15



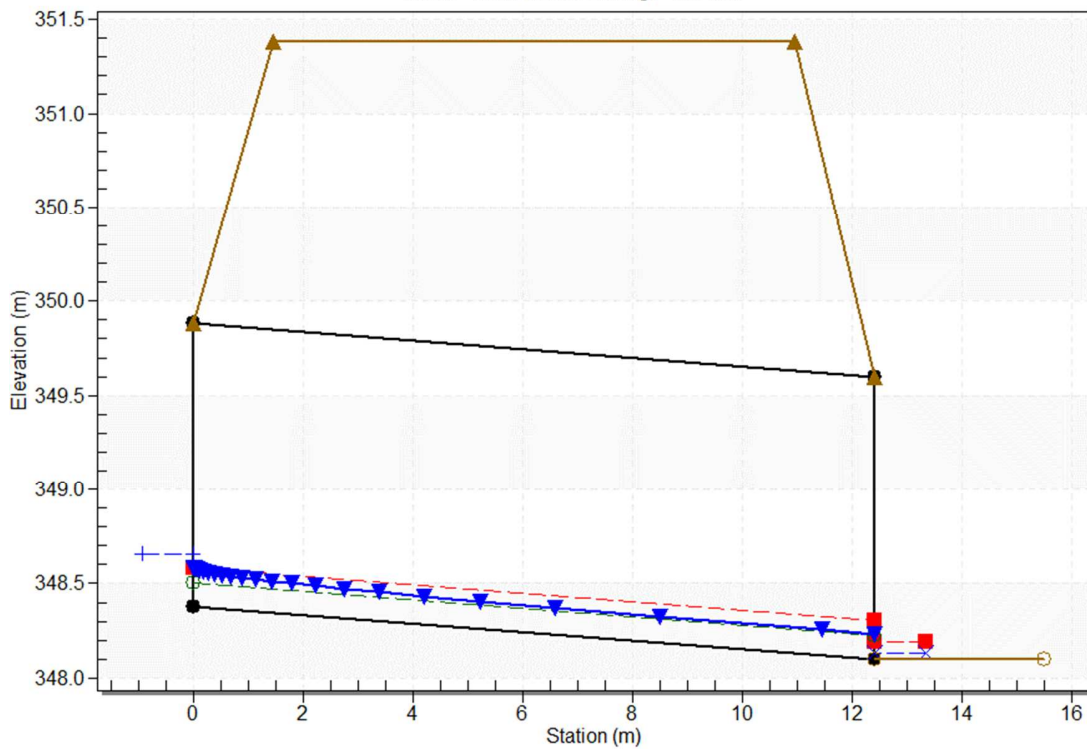
Water Surface Profile Data for Culvert: TO15

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.205	0.145	1.175	0.128	0.012	0.0031
0.006	0.201	0.141	1.204	0.126	0.012	0.0033
0.025	0.198	0.138	1.234	0.124	0.012	0.0036
0.058	0.194	0.134	1.266	0.122	0.012	0.0038
0.107	0.191	0.131	1.299	0.120	0.012	0.0041
0.174	0.188	0.128	1.333	0.118	0.012	0.0044
0.261	0.184	0.124	1.369	0.116	0.012	0.0048
0.372	0.181	0.121	1.407	0.114	0.012	0.0052
0.509	0.177	0.118	1.446	0.112	0.012	0.0056
0.677	0.174	0.114	1.488	0.110	0.012	0.0061
0.881	0.171	0.111	1.532	0.108	0.012	0.0066
1.127	0.167	0.108	1.577	0.106	0.012	0.0072
1.424	0.164	0.105	1.626	0.104	0.012	0.0078
1.781	0.160	0.101	1.676	0.101	0.012	0.0085
2.213	0.157	0.098	1.730	0.099	0.012	0.0094
2.739	0.154	0.095	1.786	0.097	0.012	0.0103

3.387	0.150	0.092	1.846	0.095	0.012	0.0113
4.195	0.147	0.089	1.909	0.093	0.012	0.0124
5.228	0.143	0.086	1.976	0.091	0.012	0.0137
6.593	0.140	0.083	2.047	0.089	0.012	0.0151
8.503	0.137	0.080	2.122	0.087	0.012	0.0168
11.452	0.133	0.077	2.203	0.085	0.012	0.0187
12.400	0.133	0.077	2.216	0.085	0.012	0.0190

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO15

Crossing - TO15, Design Discharge - 0.17 cms
Culvert - TO15, Culvert Discharge - 0.17 cms



Site Data - TO15

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 348.38 m

Outlet Station: 12.40 m

Outlet Elevation: 348.10 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO15

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 1500.00 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

Tailwater Data for Crossing: TO15

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO15)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	348.10	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	348.11	0.01	1.00	59.81	3.48
0.03	348.11	0.01	1.32	90.60	3.73
0.05	348.12	0.02	1.55	115.73	3.88
0.07	348.12	0.02	1.73	137.59	3.98
0.08	348.12	0.02	1.89	157.21	4.07
0.10	348.12	0.02	2.03	175.27	4.15
0.12	348.13	0.03	2.16	192.42	4.21
0.14	348.13	0.03	2.28	208.42	4.26
0.15	348.13	0.03	2.38	223.74	4.31
0.17	348.13	0.03	2.48	238.38	4.35

Tailwater Channel Data - TO15

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.7220

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 348.10 m

Roadway Data for Crossing: TO15

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 351.38 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 9.50 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

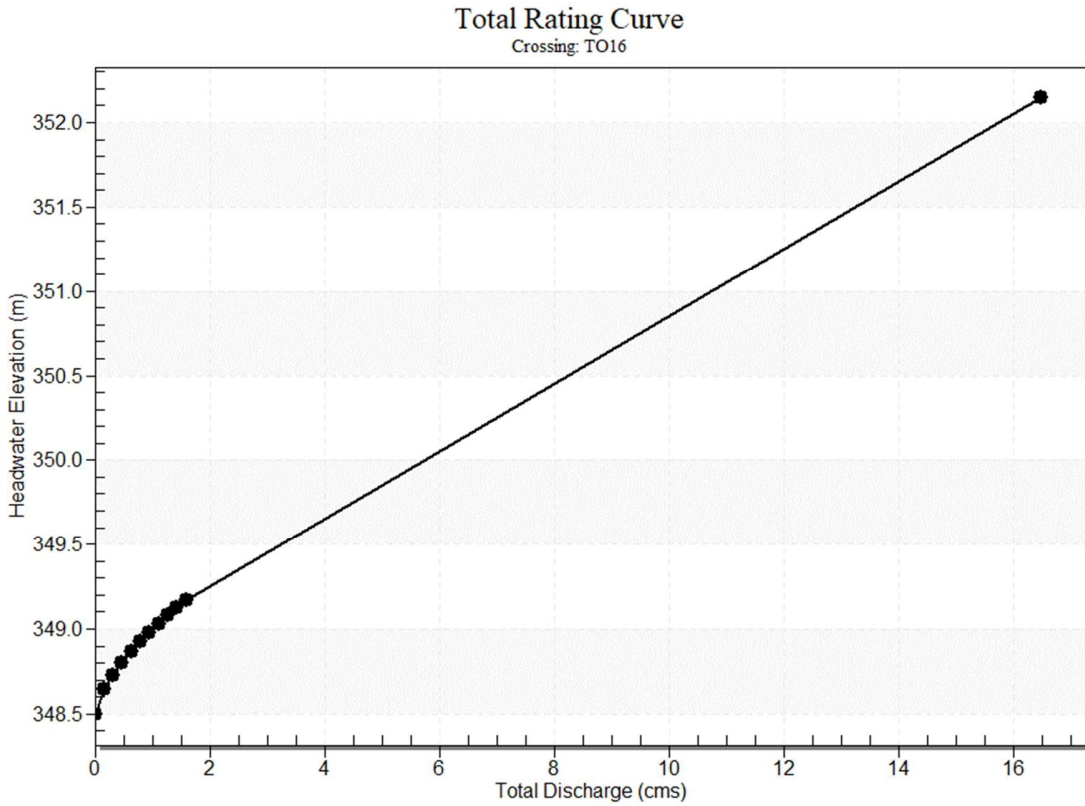
Design Flow: 1.59 cms

Maximum Flow: 1.59 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO16

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T016 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
348.50	0.00	0.00	0.00	1
348.64	0.16	0.16	0.00	1
348.73	0.32	0.32	0.00	1
348.80	0.48	0.48	0.00	1
348.87	0.64	0.64	0.00	1
348.92	0.79	0.79	0.00	1
348.98	0.95	0.95	0.00	1
349.03	1.11	1.11	0.00	1
349.08	1.27	1.27	0.00	1
349.13	1.43	1.43	0.00	1
349.17	1.59	1.59	0.00	1
352.05	15.62	15.62	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO16



Culvert Data: TO16

Table 1 - Culvert Summary Table: TO16

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 cms	0.00 cms	348.50	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.16 cms	0.16 cms	348.64	0.14	0.0*	1-S2n	0.05	0.09	0.05	0.04	1.61	1.96
0.32 cms	0.32 cms	348.73	0.23	0.0*	1-S2n	0.07	0.14	0.08	0.06	2.07	2.56
0.48 cms	0.48 cms	348.80	0.30	0.0*	1-S2n	0.09	0.18	0.10	0.08	2.36	2.99
0.64 cms	0.64 cms	348.87	0.37	0.0*	1-S2n	0.11	0.22	0.10	0.09	2.57	3.33

0.79	0.79	348.92	0.42	0.0*	1-	0.13	0.25	0.1	0.10	2.72	3.61
cms	cms				S2			2			
					n						
0.95	0.95	348.98	0.48	0.0*	1-	0.15	0.29	0.1	0.12	2.86	3.86
cms	cms				S2			5			
					n						
1.11	1.11	349.03	0.53	0.02	1-	0.16	0.32	0.1	0.13	2.95	4.09
cms	cms			2	S2			9			
					n						
1.27	1.27	349.08	0.58	0.05	1-	0.18	0.35	0.2	0.14	3.07	4.29
cms	cms			4	S2			1			
					n						
1.43	1.43	349.13	0.63	0.08	1-	0.19	0.37	0.2	0.15	3.15	4.47
cms	cms			4	S2			3			
					n						
1.59	1.59	349.17	0.67	0.11	1-	0.21	0.40	0.2	0.16	3.23	4.65
cms	cms			4	S2			5			
					n						

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

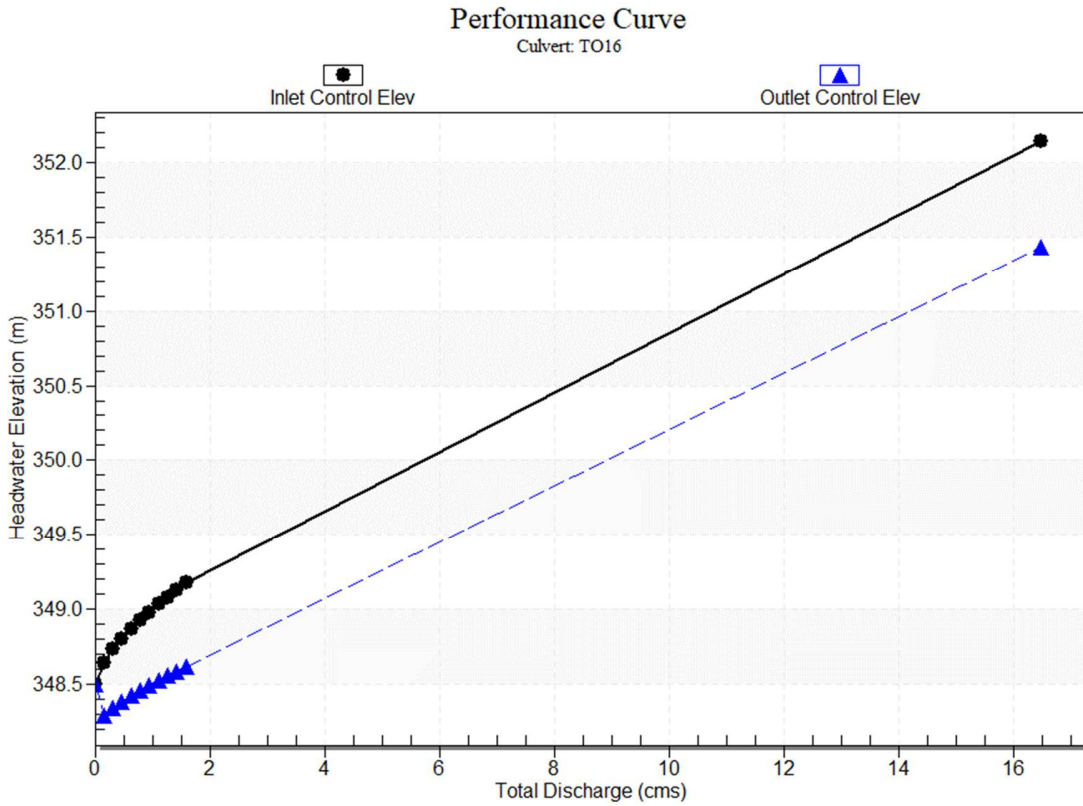
Inlet Elevation (invert): 348.50 m,

Outlet Elevation (invert): 348.20 m

Culvert Length: 13.17 m,

Culvert Slope: 0.0228

Culvert Performance Curve Plot: TO16



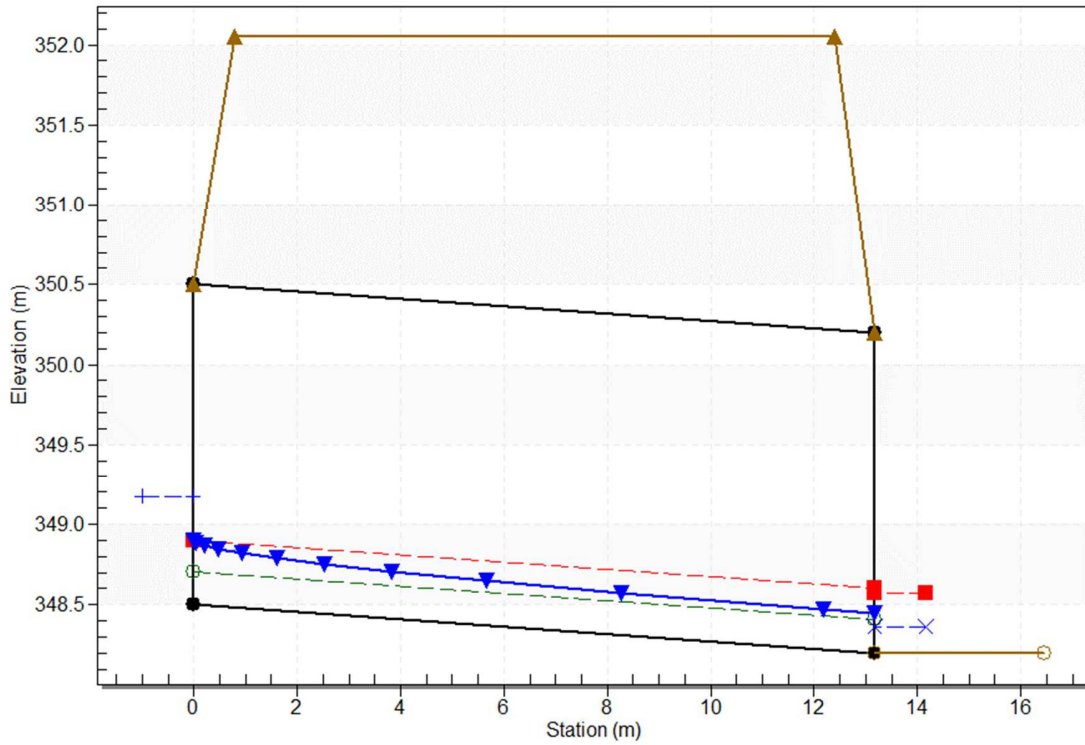
Water Surface Profile Data for Culvert: TO16

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.401	0.802	1.983	0.286	0.012	0.0030
0.047	0.386	0.771	2.062	0.278	0.012	0.0034
0.202	0.370	0.741	2.147	0.270	0.012	0.0038
0.488	0.355	0.710	2.239	0.262	0.012	0.0043
0.939	0.340	0.680	2.339	0.254	0.012	0.0049
1.599	0.325	0.649	2.449	0.245	0.012	0.0056
2.535	0.309	0.619	2.570	0.236	0.012	0.0065
3.841	0.294	0.588	2.703	0.227	0.012	0.0076
5.670	0.279	0.558	2.850	0.218	0.012	0.0089
8.281	0.264	0.527	3.015	0.209	0.012	0.0106
12.173	0.248	0.497	3.200	0.199	0.012	0.0127
13.170	0.246	0.492	3.231	0.197	0.012	0.0131

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO16

Crossing - TO16, Design Discharge - 1.59 cms

Culvert - TO16, Culvert Discharge - 1.59 cms



Site Data - TO16

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 348.50 m

Outlet Station: 13.17 m

Outlet Elevation: 348.20 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO16

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

Tailwater Data for Crossing: TO16

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO16)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	348.20	0.00	0.00	0.00	0.00
0.16	348.24	0.04	1.96	142.01	3.17
0.32	348.26	0.06	2.56	215.38	3.38
0.48	348.28	0.08	2.99	274.85	3.50
0.64	348.29	0.09	3.33	326.82	3.59
0.79	348.30	0.10	3.61	373.73	3.65
0.95	348.32	0.12	3.86	417.03	3.71
1.11	348.33	0.13	4.09	457.45	3.76
1.27	348.34	0.14	4.29	495.70	3.79
1.43	348.35	0.15	4.47	532.01	3.83
1.59	348.36	0.16	4.65	566.76	3.86

Tailwater Channel Data - TO16

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.3647

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 348.20 m

Roadway Data for Crossing: TO16

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 352.05 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 11.61 m

HY-8 Culvert Analysis Report

Crossing Discharge Data

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

Minimum Flow: 0.00 cms

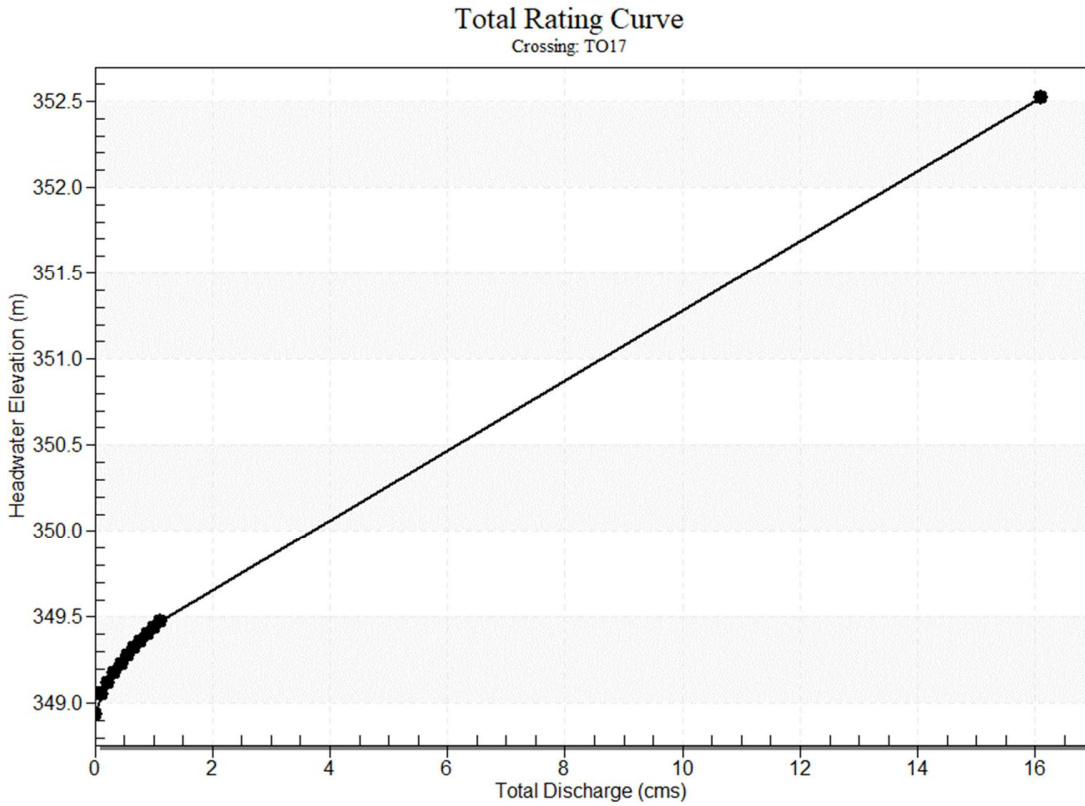
Design Flow: 1.12 cms

Maximum Flow: 1.12 cms

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: TO17

Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	T017 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
348.94	0.00	0.00	0.00	1
349.06	0.11	0.11	0.00	1
349.12	0.22	0.22	0.00	1
349.18	0.34	0.34	0.00	1
349.23	0.45	0.45	0.00	1
349.28	0.56	0.56	0.00	1
349.32	0.67	0.67	0.00	1
349.36	0.78	0.78	0.00	1
349.40	0.90	0.90	0.00	1
349.44	1.01	1.01	0.00	1
349.47	1.12	1.12	0.00	1
352.44	15.41	15.41	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: TO17



Culvert Data: TO17

Table 1 - Culvert Summary Table: TO17

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 cms	0.00 cms	348.94	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11 cms	0.11 cms	349.06	0.12	0.0*	1-S2n	0.04	0.07	0.04	0.04	1.54	1.41
0.22 cms	0.22 cms	349.12	0.18	0.0*	1-S2n	0.06	0.11	0.06	0.06	1.73	1.83
0.34 cms	0.34 cms	349.18	0.24	0.0*	1-S2n	0.08	0.14	0.08	0.08	2.00	2.14
0.45 cms	0.45 cms	349.23	0.29	0.0*	1-S2n	0.10	0.17	0.10	0.09	2.19	2.38

0.56	0.56	349.28	0.34	0.0*	1-	0.11	0.20	0.1	0.10	2.34	2.59
cms	cms				S2			0			
					n						
0.67	0.67	349.32	0.38	0.0*	1-	0.12	0.23	0.1	0.11	2.46	2.77
cms	cms				S2			2			
					n						
0.78	0.78	349.36	0.42	0.01	1-	0.14	0.25	0.1	0.13	2.57	2.93
cms	cms			3	S2			5			
					n						
0.90	0.90	349.40	0.46	0.03	1-	0.15	0.27	0.1	0.14	2.66	3.07
cms	cms			8	S2			7			
					n						
1.01	1.01	349.44	0.50	0.06	1-	0.16	0.30	0.1	0.15	2.74	3.21
cms	cms			1	S2			8			
					n						
1.12	1.12	349.47	0.53	0.08	1-	0.17	0.32	0.2	0.16	2.82	3.33
cms	cms			4	S2			0			
					n						

* Full Flow Headwater elevation is below inlet invert.

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

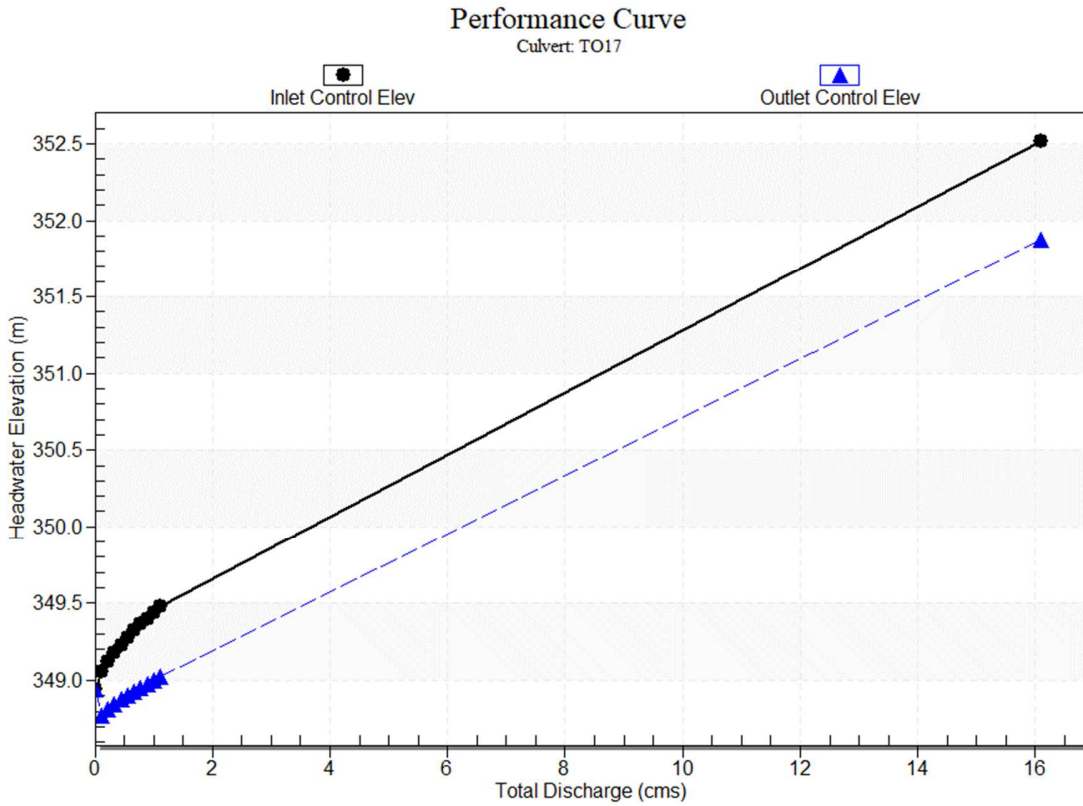
Inlet Elevation (invert): 348.94 m,

Outlet Elevation (invert): 348.70 m

Culvert Length: 12.52 m,

Culvert Slope: 0.0192

Culvert Performance Curve Plot: TO17



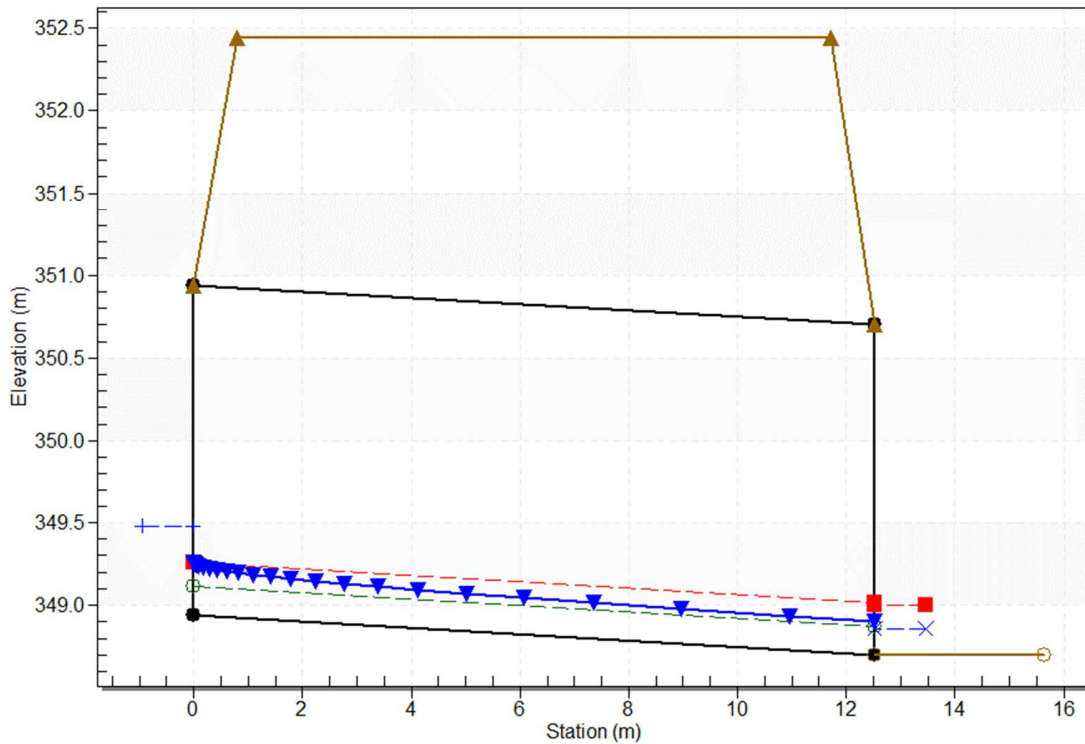
Water Surface Profile Data for Culvert: TO17

Distance from inlet (m)	Depth (m)	Area (m ²)	Velocity (m/s)	Hydraulic radius (m)	Manning's n	Energy Slope (m/m)
0.000	0.317	0.635	1.765	0.241	0.012	0.0030
0.010	0.312	0.623	1.797	0.238	0.012	0.0032
0.042	0.306	0.612	1.831	0.234	0.012	0.0033
0.097	0.300	0.600	1.866	0.231	0.012	0.0035
0.178	0.294	0.589	1.903	0.227	0.012	0.0038
0.287	0.289	0.577	1.941	0.224	0.012	0.0040
0.429	0.283	0.566	1.980	0.220	0.012	0.0042
0.607	0.277	0.554	2.021	0.217	0.012	0.0045
0.826	0.271	0.543	2.064	0.213	0.012	0.0048
1.090	0.266	0.531	2.109	0.210	0.012	0.0051
1.408	0.260	0.520	2.155	0.206	0.012	0.0055
1.785	0.254	0.508	2.204	0.203	0.012	0.0059
2.233	0.248	0.497	2.255	0.199	0.012	0.0063
2.762	0.243	0.485	2.309	0.195	0.012	0.0068
3.389	0.237	0.474	2.365	0.191	0.012	0.0073
4.132	0.231	0.462	2.423	0.188	0.012	0.0079

5.018	0.225	0.451	2.485	0.184	0.012	0.0085
6.081	0.220	0.439	2.550	0.180	0.012	0.0092
7.370	0.214	0.428	2.619	0.176	0.012	0.0100
8.956	0.208	0.416	2.691	0.172	0.012	0.0109
10.951	0.202	0.405	2.768	0.168	0.012	0.0119
12.520	0.199	0.398	2.816	0.166	0.012	0.0125

Water Surface Profile Plot for Culvert: TO17

Crossing - TO17, Design Discharge - 1.12 cms
Culvert - TO17, Culvert Discharge - 1.12 cms



Site Data - TO17

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 348.94 m

Outlet Station: 12.52 m

Outlet Elevation: 348.70 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TO17

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

Tailwater Data for Crossing: TO17

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: TO17)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	348.70	0.00	0.00	0.00	0.00
0.11	348.74	0.04	1.41	73.12	2.29
0.22	348.76	0.06	1.83	110.93	2.44
0.34	348.78	0.08	2.14	141.60	2.53
0.45	348.79	0.09	2.38	168.35	2.59
0.56	348.80	0.10	2.59	192.53	2.64
0.67	348.81	0.11	2.77	214.82	2.68
0.78	348.83	0.13	2.93	235.67	2.71
0.90	348.84	0.14	3.07	255.32	2.74
1.01	348.85	0.15	3.21	274.02	2.76
1.12	348.86	0.16	3.33	291.94	2.79

Tailwater Channel Data - TO17

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

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

Channel Slope: 0.1909

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 348.70 m

Roadway Data for Crossing: TO17

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 10.00 m

Crest Elevation: 352.44 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 10.91 m