



PROVINCIA DI AREZZO



COMUNE DI SANSEPOLCRO



Piano di Lottizzazione in Località San Lazzaro - Sansepolcro (AR) -

COMMITTENTI:

**Sigg. Brocchi Alessandro, Brocchi Lorenzo,
Gustinelli Vera e Zazzi Renata**

RELAZIONE SUL RISCHIO IDRAULICO

Dicembre 2010

Il tecnico incaricato:

Ing. Marco Benini

Via G.Puccini 150, 52100 AREZZO

Tel/fax 0575-323668



SOMMARIO

1.	Premessa	3
2.	Riferimenti Normativi	5
3.	Idrologia	7
3.1.	<i>Metodo del volume d'invaso</i>	7
3.2.	<i>ALTO (ALLuvioni in TOscana)</i>	9
3.3.	<i>Procedura calcolo piena - AdB Tevere</i>	10
3.4.	<i>Confronto portate</i>	10
4.	Generalità sulle simulazioni di Verifica Idraulica	11
5.	Verifiche idrauliche	17
6.	Interventi di mitigazione del Rischio Idraulico	19
7.	Conclusioni	26

1. Premessa

I sigg. Brocchi Alessandro, Brocchi Lorenzo, Gustinelli Vera e Zazzi Renata, in qualità di proprietari dei terreni siti nel Comune di Sansepolcro, loc. San Lazzaro, identificati al NCT del Comune di Sansepolcro, Foglio 71, con le particelle n. 935 – 190 – 1039 – 189 – 508, hanno incaricato lo scrivente professionista di redigere una relazione sul rischio idraulico dei suddetti terreni al fine di valutare la fattibilità, relativamente a tale rischio, di una nuova lottizzazione.



Estratto planimetria catastale con individuazione lottizzazione

Nella presente relazione si vuole, sulla base della valutazione di fattibilità emersa dallo studio di pericolosità idraulica allegato al Piano Strutturale del Comune di Sansepolcro (L.R.T. 01/05, art.53), proporre eventuali soluzioni progettuali per la realizzazione della nuova lottizzazione nel rispetto delle condizioni di sicurezza idraulica senza peraltro aumentare il livello di rischio in altre aree.

La Pericolosità Idraulica relativa a tale area di intervento è stata classificata come "nulla" dall'Autorità di Bacino del fiume Tevere (Piano di Assetto Idrogeologico – P.A.I.). Viceversa, nello studio idrologico idraulico esperito per la recente adozione del Piano Strutturale del Comune di Sansepolcro, in conformità alle disposizioni di cui all'All. A del

Decreto del Presidente della Giunta Regionale n. 26/R del 27.04.07, parte dell'area in parola è inserita nella classe di pericolosità idraulica elevata I.3 (rif. Planimetria riportata al § 6).

La classe di elevata pericolosità idraulica proviene dagli effetti delle piene del Torrente Fossatone, il quale, dopo aver percorso una vallicola con versanti nettamente pendenti verso il corso d'acqua, subisce un brusco restringimento in prossimità di Villa Silvestri, laddove interseca un canale artificiale di derivazione del Torrente Afra, la cui acqua veniva usata come forza motrice più a valle. Gli allagamenti ipotizzati con tempo di ritorno $T_r=200$ anni andrebbero ad interessare il terreno in argomento.

Quanto sopra si traduce normativamente nei Vincoli che derivano dal punto 3.2.2 del Decreto del Presidente della giunta Regionale: "Norme per il governo del territorio" del 27 Aprile 2007 n. 26/R.

In particolare, per l'intervento in oggetto deve essere prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno $T_r=200$ anni, senza aumentare il livello di rischio in altre aree, con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle che quindi andrebbero ad influire sul regime idraulico del Torrente Afra di cui il Fossatone è un affluente in riva destra.

La presente relazione si articola quindi come segue:

- studio idrologico del Torrente Fossatone e del suo bacino
- verifiche idrauliche del Torrente Fossatone, con particolare riguardo alla portata esitabile dal tratto tombato posto subito a monte della strada comunale de La Montagna
- modellazione dello spandimento dell'acqua esondata e stima del relativo battente idrico
- descrizione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico sull'area destinata a lottizzazione (realizzazione di muretto in c.a.) e conseguenti interventi di contenimento dell'acqua in esubero.

2. Riferimenti Normativi

- *Regio Decreto 25 Luglio 1904 n. 523 “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”*: è vietata qualsiasi attività edificatoria all’interno di una fascia di 10 metri a partire dal piede esterno dell’argine fluviale o, in assenza di argine, dal ciglio di sponda. Gli edifici di nuova realizzazione sono previsti ad una distanza ben maggiore di tale limite di 10 m.
- *Norme tecniche di Attuazione del Piano di bacino del fiume Tevere – stralcio per l’assetto idrologico PS6 _ la normativa di piano è entrata in vigore con il D.P.C.M. 10 novembre 2006 (GU n. 33 del 9/02/2007)*: l’area in oggetto è esterna alle classificazioni di pericolosità idraulica derivante dal fiume Tevere.



- *Decreto Legge 11 Giugno 1998 n. 180 “Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania”* e successive conversioni, modificazioni e applicazioni

- *Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 29 settembre 1998. Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180*
- *Legge Regionale Toscana 3 gennaio 2005, n. 1 - "Norme per il governo del territorio"*
- *Decreto del Presidente della giunta Regionale: "Norme per il governo del territorio" del 27 aprile 2007 n. 26/R, (BURT n. 11 del 7/05/2007)*

Punto 3.2.2, All.A Criteri generali di fattibilità in relazione agli aspetti idraulici.

Nelle situazioni caratterizzate da pericolosità idraulica molto elevata ed elevata è necessario rispettare i seguenti criteri generali :

- a) non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture per i quali non sia dimostrabile il rispetto di condizioni di sicurezza o non sia prevista la preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per eventi con tempo di ritorno di 200 anni;*
- b) nelle aree che risultino soggette a inondazioni con tempi di ritorno inferiori a 20 anni sono consentite solo nuove previsioni per infrastrutture a rete non diversamente localizzabili, per le quali sarà comunque necessario attuare tutte le dovute precauzioni per la riduzione del rischio a livello compatibile con le caratteristiche dell'infrastruttura;*
- c) gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi idrologici e idraulici, non devono aumentare il livello di rischio in altre aree con riferimento anche agli effetti dell'eventuale incremento dei picchi di piena a valle;*
- d) relativamente agli interventi di nuova edificazione previsti nel tessuto insediativo esistente, la messa in sicurezza rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni può essere conseguita anche tramite adeguati sistemi di autosicurezza, nel rispetto delle seguenti condizioni:*
 - dimostrazioni dell'assenza o dell'eliminazione di pericolo per le persone e i beni*
 - dimostrazione che gli interventi non determinano aumento delle pericolosità in altre aree;*
- e) possono essere previsti interventi per i quali venga dimostrato che la loro natura è tale da non determinare pericolo per persone e beni, da non aumentare la pericolosità in altre aree e purchè siano adottate, ove necessario, idonee misure atte a ridurre la vulnerabilità.*
- f) della sussistenza delle condizioni di cui sopra deve essere dato atto anche nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia;*
- g) fino alla certificazione dell'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere idrauliche accompagnata dalla delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, non può essere rilasciata dichiarazione di abitabilità e di agibilità;*
- h) deve essere garantita la gestione di quanto in essere tenendo conto della necessità di raggiungimento anche graduale di condizioni di sicurezza idraulica fino a Tr 200 per il patrimonio edilizio e infrastrutturale esistente e per tutte le funzioni connesse.*

3. Idrologia

Per la scelta della portata di progetto si ritiene utile confrontare i risultati delle diverse metodologie di calcolo della portata, per stabilire il valore di portata ragionevolmente più critico anche in virtù delle modificazioni che ha subito il corso d'acqua negli ultimi decenni e dei fenomeni di esondazione che si sono verificati.

3.1. Metodo del volume d'invaso

- *Acquisizione dati idrologici*

Per consentire la stima delle prevedibili portate di piena sono stati presi in considerazione i valori massimi annuali delle piogge di breve durata (1, 3, 6, 12, 24 ore) e forte intensità relative alla stazione di **Pieve Santo Stefano** pubblicati sulla parte I sez. B degli Annali Idrologici della Sezione di Roma del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale della Presidenza del Consiglio dei Ministri. I dati relativi sono riportati nelle tabelle seguenti e comprendono anche, per ogni durata il calcolo delle medie campionarie, delle deviazioni standard e del coefficiente di variazione.

Pluviografo di Pieve Santo Stefano: precipitazioni di massima intensità

anno	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1964	41.50	64.50	80.50	94.40	100.40
1965	31.20	45.60	57.00	71.80	77.80
1966	28.40	42.40	54.20	57.40	84.60
1967	29.40	37.20	38.00	39.50	55.60
1968	27.00	43.00	56.00	106.00	121.80
1969	26.00	38.40	49.80	58.60	64.50
1970	22.40	25.00	35.60	48.00	65.30
1971	33.00	50.00	55.00	57.80	99.00
1972	16.00	31.40	53.40	62.80	64.20
1973	23.60	32.20	40.60	43.20	47.60
1974	27.60	30.40	30.80	31.60	48.00
1975	11.00	23.50	27.00	41.80	59.60
1979	15.40	24.80	35.60	66.20	108.80
1980	12.20	31.80	64.40	78.60	102.40
1981	23.40	30.80	41.80	52.20	69.40
1982	28.40	39.40	68.00	73.60	80.40
1983	31.40	31.00	35.60	48.00	51.60
1984	37.30	37.30	44.40	47.80	47.80
1986	20.00	32.00	35.00	45.00	67.80

	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
media	25.54	36.35	47.51	59.17	74.56
dev.st.	8.11	9.90	14.06	19.12	22.63
a =	6.33	7.72	10.96	14.91	17.64
b =	21.89	31.90	41.18	50.57	64.38

- Determinazione delle portate

Il procedimento seguito per la determinazione delle portate di stima del Fiume Tevere alla sezione di interesse, può essere così schematizzato:

- elaborazione delle precipitazioni di breve intensità registrate dal pluviografo di Pieve Santo Stefano per determinare la curva di probabilità pluviometrica;
- determinazione, sulla base della curva di probabilità pluviometrica, delle portate di piena con tempo di ritorno duecentennale con il metodo del volume d'invaso, nella sezione di interesse.

- Curve di probabilità pluviometrica

Sulla base delle massime precipitazioni di breve durata registrate dal pluviografo di Pieve Santo Stefano, si perviene mediante la distribuzione bilogarithmica alla Gumbel ai valori che probabilisticamente vengono raggiunti una sola volta per un prefissato tempo di ritorno.

Quindi si procede a determinare la funzione che descrive questo tipo di eventi, per ciascuno dei tempi di ritorno, e il relativo coefficiente di correlazione.

Tempo ritorno [anni]	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
10	36.1	49.3	65.9	84.1	104.1
20	40.7	54.8	73.7	94.8	116.8
30	43.3	58.0	78.3	101.0	124.1
50	46.6	62.0	84.0	108.7	133.2
75	49.2	65.2	88.4	114.8	140.4
100	51.0	67.4	91.6	119.1	145.5
200	55.4	72.8	99.2	129.5	157.8
500	61.2	79.9	109.3	143.2	174.0
1000	65.6	85.2	116.9	153.5	186.2

Tempo di ritorno [anni]	n	a
5	0.34	30.94
20	0.34	39.67
50	0.34	45.21
100	0.34	49.35
200	0.34	53.48
500	0.34	58.93
1000	0.34	63.05

- Portate massime con il metodo del volume d'invaso

Nel metodo del volume d'invaso la portata di massima piena è funzione del coefficiente di deflusso, dell'area del bacino, dell'intensità di pioggia, e del tempo di corrivazione. Tale relazione è rappresentata da una equazione implicita che occorre risolvere per via iterativa.

Il tempo di corrivazione viene determinato con la formula di Giandotti [SUPINO, 1965].

Le caratteristiche dei bacini imbriferi di ciascun corso d'acqua sono riferite a quelle del bacino chiuso in una specifica sezione di chiusura e le grandezze idrologiche correlate, a cui fare riferimento, sono le seguenti:

Corso d'acqua	quota assoluta [m s.l.m.]	lunghezza asta principale [km]	superficie bacino [km ²]	altitudine media [m s.l.m.]
Rio Fossatone	327.00	1.41	0.96	500.00

I bacini drenati da questi corsi d'acqua relativamente alla sezione di interesse sono caratterizzati da una morfologia pianeggiante con destinazione (nella quasi totalità) a colture a seminativo semplice. Per cui è stato utilizzato il coefficiente di deflusso pari a 0.8.

Dalle verifiche si sono ottenuti i seguenti risultati:

Corso d'acqua	$Q_{\max} Tr = 20$ [m ³ /s]	$Q_{\max} Tr = 30$ [m ³ /s]	$Q_{\max} Tr = 200$ [m ³ /s]	$Q_{\max} Tr = 500$ [m ³ /s]
Rio Fossatone	9.70	10.30	13.10	14.40

3.2. ALTO (ALLuvioni in TOscana)

Per il calcolo della portata è stato utilizzato anche il metodo di *Regionalizzazione delle portate di piena in Toscana*, che è stato studiato per l'Autorità di Bacino dell'Arno e poi ha assunto caratteristiche regionali. Sulla base di tale metodo è stato creato un programma, ALTO (ALLuvioni in TOscana) in grado di calcolare la portata di piena e l'idrogramma per determinati bacini, una volta fissato il tempo di ritorno.

Corso d'acqua	$Q_{\max} Tr = 20$ [m ³ /s]	$Q_{\max} Tr = 30$ [m ³ /s]	$Q_{\max} Tr = 200$ [m ³ /s]	$Q_{\max} Tr = 500$ [m ³ /s]
Rio Fossatone**	20.91	23.08	35.57	43.51

** si ritiene che detti dati non siano corretti, avendo riscontrato errori di geometria del bacino, e pertanto non verranno presi in considerazione per le verifiche.

3.3. Procedura calcolo piena - AdB Tevere

Di seguito si riporta la procedura per il calcolo della portata al colmo della piena di riferimento, adottata nell'ambito degli studi propedeutici alla redazione del piano di bacino del 1998. Tale valore è fornito dalla formula razionale:

$$Q_T = \frac{h_{d,T} \times k_r \times k_d \times S}{3.6 \times t_c}$$

dove QT è espressa in m3/sec.

I valori dei parametri che ivi compaiono si deducono come riportato nell'allegato *Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio.*

Corso d'acqua	$Q_{\max} \text{ Tr} = 20$ [m ³ /s]	$Q_{\max} \text{ Tr} = 30$ [m ³ /s]	$Q_{\max} \text{ Tr} = 200$ [m ³ /s]	$Q_{\max} \text{ Tr} = 500$ [m ³ /s]
Rio Fossatone	7.33	8.23	13.47	16.65

3.4. Confronto portate

Corso d'acqua	Metodi	$Q_{\max} \text{ Tr} = 20$ [m ³ /s]	$Q_{\max} \text{ Tr} = 30$ [m ³ /s]	$Q_{\max} \text{ Tr} = 200$ [m ³ /s]	$Q_{\max} \text{ Tr} = 500$ [m ³ /s]
Rio Fossatone	Volume d'invaso	9.70	10.30	13.10	14.40
	ALTO	20.91	23.08	35.57	43.51
	AdB Tevere	7.33	8.23	13.47	16.65

4. Generalità sulle simulazioni di Verifica Idraulica.

Per la simulazione del corso d'acqua, limitatamente ai tratti ritenuti necessari o significativi, si è utilizzato il software applicativo del US Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center denominato **HEC-RAS** (*River Analysis System*) nella versione 4.1.0 del gennaio 2010. Detto software è finalizzato alla determinazione dei profili di pelo libero degli alvei a pendenza di fondo non superiore al 10%, per condizioni di moto stazionario, gradualmente variato, e flusso monodimensionale.

I profili di pelo libero sono calcolati tra due sezioni trasversali del corso d'acqua risolvendo la sottoriportata *equazione dell'Energia* con la procedura iterativa nota come *standard step method*:

$$(4.1) \quad Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2 / 2g = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / 2g + h_e;$$

ove:

Y_1, Y_2 = tirante del pelo libero (rispetto alla quota fondo alveo) alle estremità di tratto;
 Z_1, Z_2 = quote di fondo alveo alle estremità di tratto;
 V_1, V_2 = velocità medie nelle sezioni di estremità;
 α_1, α_2 = coefficienti di velocità;
 g = accelerazione di gravità;
 h_e = perdite di carico totali nel tratto considerato.

Le perdite di carico h_e sono esprimibili come somma di due termini, il primo dei quali riferito alle perdite distribuite per attrito ed il secondo alle perdite per espansione o contrazione, legate queste all'energia cinetica, e precisamente:

$$(4.2) \quad h_e = L J_f + C (\alpha_2 V_2^2 / 2g - \alpha_1 V_1^2 / 2g);$$

ove:

L = distanza tra le estremità del tratto pesata con la portata;
 J_f = pendenza rappresentativa delle perdite di carico per attrito.
 C = coefficienti delle perdite per espansione o contrazione.

Per la determinazione delle varie grandezze le sezioni trasversali sono partite in unità

nelle quali la velocità risulti uniformemente distribuita riconoscendo un tratto corrispondente all'alveo principale (main channel indicato con la sigla CH) e le aree golenali laterali poste idrograficamente alla sinistra e alla destra del canale (rispettivamente left overbank indicata con la sigla LOB e right overbank indicata come ROB), suddividendo ulteriormente le aree golenali qualora in esse vari l'imposto valore "n" della scabrezza.

Definita capacità di deflusso (conveyance) della singola porzione areale e indicata con K la portata divisa per la radice quadrata della pendenza (f (slope friction) pari quindi

$$(4.3) \quad K = Q / \sqrt{S_f} = AR^{2/3}/n; \text{ e pertanto } S_f = Q^2 / K^2;$$

ove:

- Q = portata [m³/s]
- A = area bagnata [m²]
- R = raggio idraulico [m]
- n = scabrezza di Manning [sm^{-1/3}]

La capacità di deflusso per l'intera sezione K é definita ed ottenuta come somma delle capacità delle varie porzioni e quindi, con il significato dei simboli già illustrato:

$$(4.4) \quad K = K_{lob} + K_{ch} + K_{rob};$$

$$(4.5) \quad L = (L_{lob}Q_{lob} + L_{ch}Q_{ch} + L_{rob}Q_{rob}) / (Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}) \quad (\text{vedi 4.2})$$

Il livello di pelo libero in una sezione trasversale del corso d'acqua é determinato, per ogni valore di assegnata portata Q, da una soluzione iterativa delle precedenti equazioni 4.1 e 4.2 secondo la seguente procedura:

1. Si assume, noto il livello idrico in una sezione, un livello idrico di primo tentativo nella sezione di monte (o in quella di valle se trattasi di corrente veloce, profilo supercritico);
2. Sulla base del valore assunto come precedentemente espresso, si calcolano per detta sezione i corrispondenti valori della capacità di deflusso totale e del carico cinetico;

3. Con i valori calcolati al precedente step 2 viene calcolato il valore di J_f e si ottiene il valore di h_e risolvendo l'equazione 4.2;
4. Con i valori ricavati ai precedenti step 2 e 3 si ottiene il livello nella sezione di calcolo risolvendo l'equazione 4.1;
5. Si confronta il livello idrico calcolato con quello assunto nello step iniziale e si ripete iterativamente la descritta procedura finché lo scarto tra i due valori non risulti inferiore alla tolleranza imposta (usualmente 3 mm).

Il software HEC RAS consente di computare profili in corrente lenta (a partire da assegnate condizioni di valle), in corrente veloce (con condizioni assegnate a monte) e per condizioni "miste" in cui siano presenti passaggi dall'uno all'altro tipo di correnti (*mixed flow regime*).

In questo caso il programma procede come segue:

1. Viene inizialmente calcolato un profilo in corrente lenta a partire da assegnate condizioni di valle, accantonando per ulteriori analisi tutte le sezioni nelle quali il pelo libero raggiunge il valore dell'altezza critica;
2. Viene successivamente calcolato un profilo in corrente veloce a partire da assegnate condizioni di monte; qualora le condizioni di corrente veloce si determinino sin dall'estremo di monte il programma procede al calcolo sin dalla sezione di monte; in caso contrario viene ricercata la prima sezione a valle ove si determinino le condizioni di corrente veloce e da questa sezione procede verso valle col calcolo del profilo;
3. Il programma procede verso valle nel calcolo in corrente veloce finché perviene alla prima sezione in cui possano sussistere entrambe le condizioni lenta e veloce che vengono comparate calcolando le rispettive forze specifiche; qualora prevalga la condizione veloce il programma continua il calcolo in tali condizioni, mentre qualora fosse la condizione lenta a denotare maggiore forza specifica, il programma assume la formazione di un risalto idraulico tra questa e la precedente sezione;
4. Il programma va quindi alla successiva sezione valliva accantonata in seguito al primo step e continua il procedimento sopra delineato.

Il programma consente di simulare importanti situazioni quali le confluenze tra diversi rami del corso d'acqua e la presenza di strettoie per la presenza di ponti o altri manufatti idraulicamente significativi.

Per quanto attiene le confluenze fluviali (*stream junctions*) la simulazione viene ancora generalmente basata sull'equazione 4.1, in quanto nella maggior parte dei casi la perdita di carico dovuta all'angolazione dei confluenti, non considerata nella predetta equazione 4.1, non assume significativa rilevanza; nei casi in cui questo aspetto non possa invece essere trascurato il programma utilizza l'equazione del momento, derivata direttamente dall'applicazione della seconda legge di Newton ad un corpo d'acqua delimitato da due sezioni trasversali 1,2 :

$$(4.6) \quad F_x = ma;$$

$$(4.7) \quad P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x;$$

ove:

P = spinta idrostatica alle sezioni 1 e 2;

W_x = componente forza peso del corpo d'acqua secondo la direzione del fondo;

F_f = forza dovuta alle perdite per attrito tra le sezioni 1 e 2;

Q = portata;

ρ = densità dell'acqua;

ΔV_x = variazione delle componenti lungo la direzione del fondo della velocità tra le sez. 1 e 2

Col programma é pertanto possibile, con opportuna scelta delle procedure di calcolo, simulare condizioni di confluenza o divergenza sia in condizioni di corrente lente, che in caso di correnti veloci o miste.

Per quanto attiene la presenza di ponti o altri manufatti di attraversamento (*bridges or culverts*) il programma calcola le perdite di energia causate da dette strutture in tre parti; la prima concerne le perdite (generalmente per espansione del flusso) nel tratto di alveo immediatamente a valle del manufatto, la seconda le perdite causate dall'attraversamento della struttura vera e propria e la terza le perdite di carico nel tratto immediatamente a monte del manufatto, ove generalmente il flusso si contrae per consentire il successivo attraversamento della struttura.

Il programma é strutturato per affrontare, con opportune metodologie di calcolo, le molteplici situazioni che possono presentarsi in presenza di questi manufatti e che vengono sommariamente sotto richiamate:

1. Deflusso a pelo libero in corrente lenta (*Class A low flow*)
2. Deflusso a pelo libero con risalito idraulico (*Class B low flow*)
3. Deflusso a pelo libero in corrente veloce (*Class C low flow*)
4. Deflusso a battente (*Pressure flow*)
5. Deflusso a stramazzo (*Weir flow*)
6. Deflusso combinato a pelo libero e a stramazzo (*Low and weir flow*)
7. Deflusso combinato a battente e stramazzo (*Pressure and weir flow*).

Le condizioni di deflusso a pelo libero (*Low flow*) sussistono quando la superficie idrica non raggiunge la massima generatrice dell'impalcato inferiore del ponte (intradosso); quelle di deflusso a battente (*Pressure flow*) si stabiliscono quando il tirante d'acqua viene a contatto, a monte, con l'impalcato e il ponte consequenzialmente si comporta come un orifizio mentre le condizioni di deflusso a stramazzo (*Weir flow*) si attuano allorché i tiranti idrici superano anche le generatrici superiori dell'impalcato (estradosso) e gli stessi piani stradali facenti capo alla struttura di attraversamento.

Nel caso di deflusso a pelo libero è possibile tener conto della presenza nell'alveo di pile di varia forma a mezzo di idonei coefficienti empirici (*Drag coefficients*) e di varia posizione.

I deflussi a battente (*pressure flow*) sono calcolati tenendo conto che si possa verificare il caso che solo la soletta di monte dell'impalcato del ponte sia a contatto con il flusso ovvero che si determinino le condizioni di orifizio completamente riempito per la intera lunghezza della struttura del ponte.

Nel primo caso viene utilizzata la seguente equazione determinata per efflussi sotto paratoie (*sluice gate*) (FHWA, 1978) :

$$(4.8) \quad Q = C_d A_{BU} [2g (Y_3 - Z/2 + \alpha_3 V_3^2/2g)]^{1/2};$$

ove:

- Q = portata totale scorrente sotto il ponte [m³/s];
C_d = coefficiente funzione dall'altezza d'acqua a monte, variabile in funzione di Y/Z, con valori compresi tra 0.27 e 0.50 (valore usualmente assunto);
A_{BU} = Area libera sotto il ponte alla sezione di monte (bridge upstream, BU);
Y = tirante d'acqua;
Z = distanza verticale tra l'intradosso del ponte e il fondo alveo alla sezione BU

NOTA: Gli indici 3 si riferiscono alla sezione fluviale a monte del ponte ove inizia la contrazione del flusso.

Nel secondo caso (orifizio del ponte in pressione da monte a valle) viene utilizzata la formula classica del deflusso a battente:

$$(4.9) \quad Q = CA (2gH)^{1/2};$$

ove:

- C = coefficiente assunto pari a 0.8;
H = differenza tra carico totale a monte e valle del ponte (zone contrazione ed espansione incluse)
A = Area netta dell'orifizio del ponte.

Il deflusso a stramazzo viene calcolato con la formula classica elaborata per tali tipi di deflusso:

$$(4.10) \quad Q = CLH^{3/2};$$

ove:

- Q = portata totale stramazzone;
C = coefficiente di stramazzone;
L = ampiezza della lama stramazzone;
H = altezza del carico totale idraulico sull'estradosso di monte.

In caso di combinazione di due tipi di deflusso (ad esempio deflusso a battente e a stramazzone) il programma attiva un procedimento iterativo di calcolo atto a determinare l'entità di ognuno dei due tipi di deflusso, imponendo che nella sezione di monte del ponte questi presentino la stessa energia.

5. Verifiche idrauliche

Per verificare la possibilità di eventuali esondazioni provenienti dal Torrente Fossatone e che potrebbero interessare le zone limitrofe, si è verificato il corso d'acqua per un tratto significativo di 0.55 km per un totale di 8 sezioni.

Per la verifica idraulica, eseguita in moto permanente come già precedentemente illustrato, sono state utilizzate le portate con tempo di ritorno ventennale, trentennale, duecentennale e cinquecentennale.

Per la caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua oggetto di verifica si è fatto riferimento ai seguenti dati:

- è stato utilizzato un rilievo topografico;
- individuazione dei coefficienti di resistenza di Manning – per l'asta principale è stato assunto lungo tutto il tratto e per le aree golenali del Fiume il valore di $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$, che risulta molto cautelativo in quanto considera il corso d'acqua in uno stato di scarsa manutenzione;
- condizioni al contorno per la simulazione – Non conoscendo a priori la natura della corrente, si è deciso di impostare la simulazione idraulica in condizioni di regime misto. Le condizioni al contorno imposte sono state le seguenti: altezza critica sia a monte che valle del tratto studiato.

Il Torrente Fossatone, dopo aver percorso una vallicola con versanti nettamente pendenti verso il corso d'acqua, subisce un brusco restringimento a valle di Villa Silvestri, laddove interseca un canale artificiale di derivazione dal torrente Afra, canale la cui acqua veniva un tempo usata come forza motrice più a valle.

Subito a valle della botte sopra descritta il Fossatone è stato tombato per un tratto di circa 100 m con un tubo in cls $D=1000$. Entrambi i manufatti sono inadeguati a contenere le piene del Fossatone le cui alluvioni si espandono verso valle raggiungendo e superando la strada comunale de La Montagna.

La portata esitabile dal tombamento in parola, in relazione alla portata con tempo di ritorno di 200 anni, è desumibile dalla tabella di output del “culvert” ed è pari a 2.28 mc/s:

Plan: Plan20 Fossatone Fossatone RS: 5.5 Culv Group: Culvert #1 Profile: q200

Q Culv Group (m3/s)	2.28	Culv Full Len (m)	135.00
# Barrels	1	Culv Vel US (m/s)	2.90
Q Barrel (m3/s)	2.28	Culv Vel DS (m/s)	2.90
E.G. US. (m)	355.49	Culv Inv El Up (m)	351.30
W.S. US. (m)	355.45	Culv Inv El Dn (m)	345.13
E.G. DS (m)	348.71	Culv Frctn Ls (m)	6.48
W.S. DS (m)	347.54	Culv Exit Loss (m)	0.00
Delta EG (m)	6.78	Culv Entr Loss (m)	0.30
Delta WS (m)	7.91	Q Weir (m3/s)	11.20
E.G. IC (m)	355.31	Weir Sta Lft (m)	0.00
E.G. OC (m)	355.49	Weir Sta Rgt (m)	3.25
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	0.00
Culv WS Inlet (m)	352.30	Weir Max Depth (m)	1.79
Culv WS Outlet (m)	346.13	Weir Avg Depth (m)	1.79
Culv Nml Depth (m)		Weir Flow Area (m2)	5.81
Culv Crt Depth (m)	0.86	Min El Weir Flow (m)	353.70

In allegato alla relazione sono forniti i grafici del profilo del pelo libero e delle sezioni con annesso e i dati di output del programma di simulazione idraulica.

6. Interventi di mitigazione del Rischio Idraulico

Il sito di nostro interesse risulta ubicato in prossimità dell'immissione del Torrente Fossatone nel Torrente Afra in Loc. San Lazzaro, ai margini dell'area urbana.

Attraverso la presente relazione, si intende verificare la fattibilità dell'intervento dimostrando che, in seguito alla realizzazione del progetto, la pericolosità idraulica delle zone limitrofe al sito riguardante la lottizzazione non aumenta.

Una limitata porzione dell'area in oggetto è stata classificata in pericolosità idraulica elevata (I3) (vedi Fig. 1) in sede di adozione del Piano Strutturale, ai sensi del DPGR 27 aprile 2007, n. 26/R, in quanto raggiunta dalle esondazioni del Torrente Fossatone caratterizzate da tempi di ritorno compresi tra 30 e 200 anni, e in questo punto specifico, da battenti d'acqua modesti come descritto più avanti.

Tra gli interventi di mitigazione del rischio idraulico è prevista la realizzazione di un muretto perimetrale, lato monte, di 0.50 m fuori terra che delimiti il terreno di lottizzazione per una lunghezza pari a circa 130 m al fine di difendere l'area di lottizzazione dalle inondazioni conseguenti alla portata duecentennale.

Questo intervento di difesa costringerà l'acqua di esondazione ad arrestarsi lungo la perimetrazione delineata dal muretto, provocando un - se pur modestissimo - aumento del battente idrico.

Poiché occorre evitare l'aumento di rischio, per quanto minimo, nelle aree circostanti è necessario realizzare un volume di compenso in cui contenere l'acqua esondata cui viene impedito l'espandersi nell'area lottizzata.

Tale volume di compenso può essere convenientemente realizzato in due modalità alternative:

1. realizzazione di un fosso di adeguate dimensioni a monte del muretto in c.a. sopra descritto
2. realizzazione di uno scotico superficiale dell'area a monte della lottizzazione, individuata nella p.lla 189 e nella p.lla 508, con caratteristiche di cassa di espansione anche se con spessori di scavo estremamente modesti.

Si definisce a questo punto il volume di acqua che, una volta completata la lottizzazione, viene sottratto alla naturale espansione dell'esonazione, in modo da compensarlo con un pari volume disponibile per invasare le acque esondate, con lo scopo di non incrementare la pericolosità idraulica nel contesto territoriale.

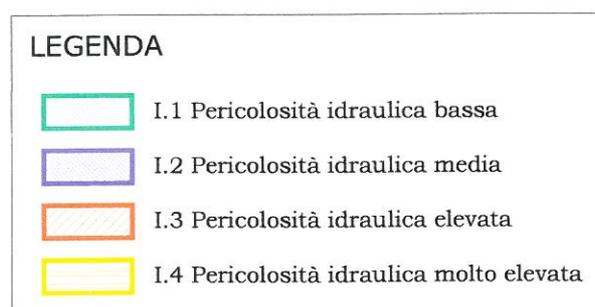
Per definire tale volume occorre preliminarmente determinare il battente delle acque esondate nel luogo di interesse, e, a questo scopo, si fa riferimento allo studio effettuato dal sottoscritto relativamente al Piano Strutturale del Comune di Sansepolcro per la zona in questione.

L'altezza del muretto viene imposta ad una quota superiore rispetto al livello idrico dell'esonazione e il battente viene assunto a favore di sicurezza come il massimo valore rispetto alla morfologia moderatamente degradante del terreno.

Di seguito si riporta un estratto della carta della Pericolosità Idraulica allegata al Piano Strutturale con il posizionamento dell'intervento edificatorio



Fig. 1: Planimetria delle zone di pericolosità idraulica inerenti all'area di nostro interesse



Si calcola la superficie allagata dall'evento duecentennale (pericolosità idraulica elevata I.3) che interessa l'intervento di lottizzazione, ottenendo un'area complessiva pari a circa 1046 mq.

La portata esitabile dal tombamento del Torrente Fossatone, per un tratto sito a valle dell'intersezione con il canale artificiale di derivazione dal Torrente Afra, in parola, è desumibile dalla tabella di output del "culvert" (v. tabella riportata al paragrafo precedente) ed è pari a 2.28 mc/s.

Pertanto le portate extra-alveo per ciascun tempo di ritorno derivano dalla portata di riferimento al netto della sottrazione della Q_{alveo} pari a 2.28 mc/s.

Si ipotizza quindi una lama di acqua che si propaga seguendo la morfologia del terreno e che viene modellata in condizioni di moto permanente (con portata costante in ogni sezione, in alveo prismatico declive nel senso del moto e a pendenza costante, con pelo libero parallelo al fondo), ottenendo l'ordine di grandezza che può raggiungere il battente medio per ciascuna portata.

La tabella da cui sono desumibili i dati delle considerazioni sopra riportate risulta essere la seguente:

Moto uniforme (Chezy)	Q200 (I3)
larghezza del fondo (m), $L=$	62.77
battente medio esondazione (m), $H=$	0.18
area sezione fluida (m ²) =	11.30
contorno bagnato (m) =	63.13
coeff. di scabr. BAZIN (m ^{1/2}), $\gamma=$	2.30
pendenza motrice, $i=$	0.03
raggio idraulico (m), $R_H=$	0.18
$X=$	13.52
velocità dell'acqua (m/sec), $v=$	0.99
Portata (mc/s), $Q=$	11.19

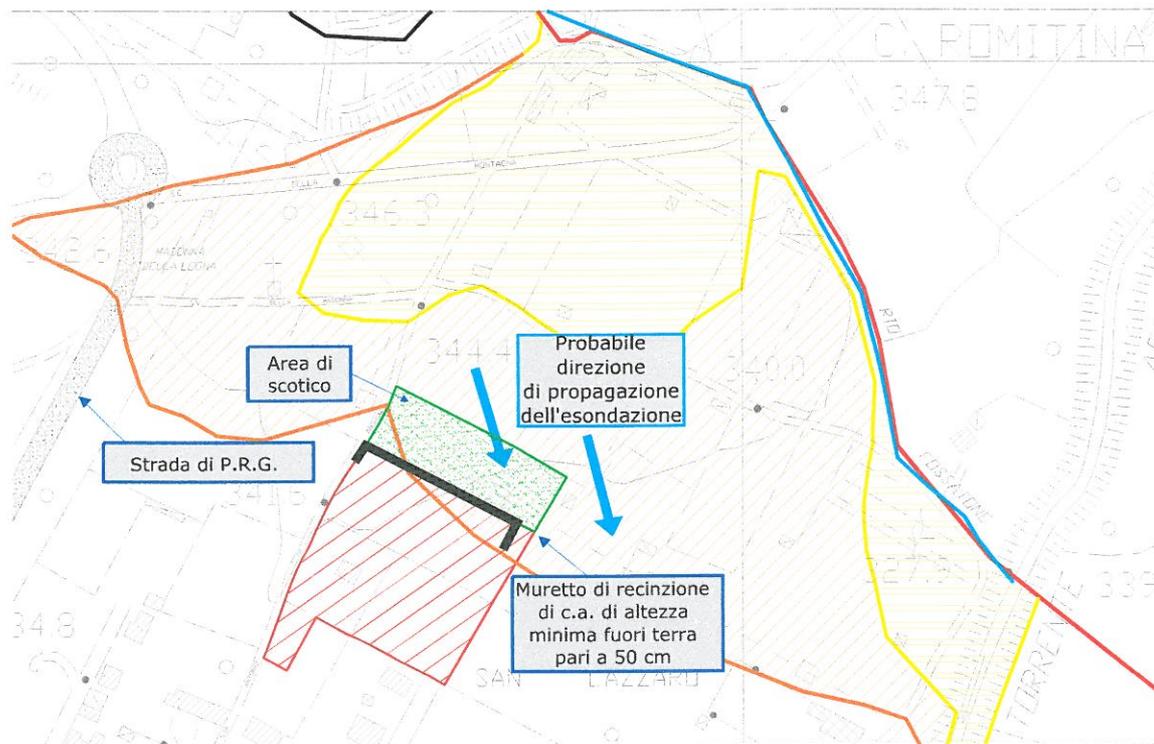
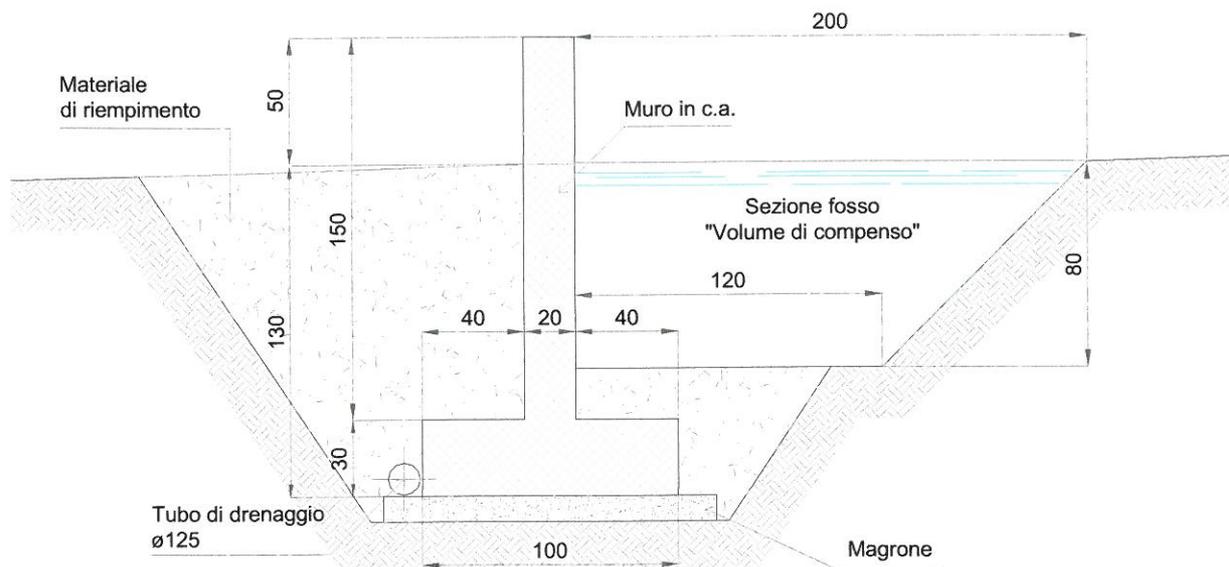


Fig. 2: Planimetria degli interventi di mitigazione ipotizzati nell'area di nostro interesse

Nella figura che segue è riportato un particolare del muretto in c.a. di contenimento ipotizzato tra gli interventi di mitigazione del rischio idraulico; alle spalle del manufatto è indicato il fosso atto a realizzare il *volume di compenso*.



Il battente medio relativo alla esondazione complessiva della portata duecentennale, ipotizzato mediante evidenti proporzioni, calcolato in corrispondenza dell'area interessata dalla lottizzazione è pari a 12 cm; la porzione dell'area di lottizzazione interessata dall'esondazione è il lembo più estremo della lama d'acqua, ovvero dove il battente tende a 0; pertanto assumere un battente medio pari a 12 cm è cautelativo.

Il volume di acqua esondata cui viene impedito lo spandimento a causa dell'intervento edificatorio è quindi inferiore a:

$$\begin{aligned}\text{Volume esondato} &= \text{Battente medio} * \text{Superficie allagata} = \\ &= 0.12 \text{ m} * 1046 \text{ mq} = 125.52 \text{ mc}\end{aligned}$$

Il valore precedentemente calcolato deve essere quindi compensato con un pari volume disponibile per invasare le acque esondate, con lo scopo di non incrementare la pericolosità idraulica nel contesto territoriale.

1. Realizzazione di un fosso di adeguate dimensioni a monte del muretto in c.a.

Nel caso in esame, la realizzazione di un fosso di limitate dimensioni a monte del muretto di progetto, ad eccezione del tratto verso la strada, va a costituire il corpo ricettore dell'eventuale acqua esondata.

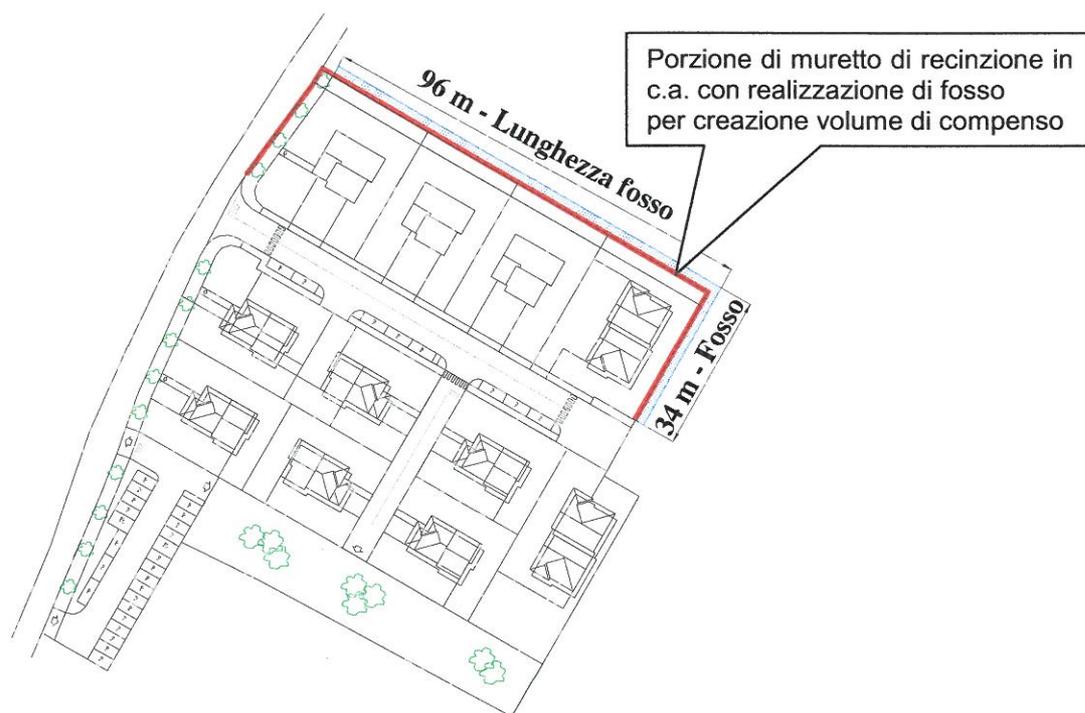


Fig. 3: Schema planimetrico lottizzazione con individuazione muretto in c.a.

Il volume ad esso correlato, stimato sulla lunghezza del muretto pari a circa 130 m, è desumibile dalla seguente equazione:

$$\text{Volume fosso} = L * S$$

ove

L = 130 m, lunghezza totale del fosso alle spalle del muretto

S = Superficie sezione trasversale fosso

S = (a+b)*h/2 essendo:

a = 1,20 m base inferiore sezione

b = 2,00 m base superiore sezione

h = 0,70 m altezza sezione (con 10 cm di franco rispetto al p.d.c.)

ed è pari a circa 145 mc.

Ciò significa che tale corpo ha una capienza volumetrica tale da recepire il quantitativo d'acqua potenzialmente esondabile pari a circa 126 mc precedentemente valutato.

7. Conclusioni

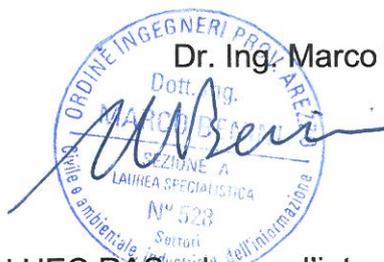
Al fine di ottemperare alla richiesta di verifica di fattibilità in termini di pericolosità idraulica in conformità alle disposizioni di cui all'All. A del Decreto del Presidente della Giunta Regionale n. 26/R del 27.04.07 in materia di rischio idraulico, nella presente relazione si è proceduto ad evidenziare e prescrivere quanto segue.

In caso di evento alluvionale del Torrente Fossatone e con riferimento agli studi esperiti in sede di redazione del Piano Strutturale del Comune di Sansepolcro, il battente idrico in corrispondenza dell'area di intervento è dell'ordine di circa 12 cm; in relazione all'area sottratta alla libera espansione dell'esondazione, il volume di compenso necessario risulta pertanto dell'ordine di circa 126 mc.

Tale volume di compenso può essere realizzato secondo due diverse modalità d'intervento:

1. Mediante la realizzazione di un fossetto a monte del muretto in c.a. delimitante a Nord-Est la lottizzazione e capace di contenere con ampi margini di sicurezza, con i suoi 145 mc di volume disponibile, la quantità d'acqua esondabile;
2. Mediante la realizzazione di una modesta depressione del terreno, distribuita su una superficie di circa 3940 mq, caratterizzata da una profondità di soli 5 cm. Tale depressione, individuabile a monte della lottizzazione ed all'interno delle particelle 189 e 508, reca un volume sufficiente a contenere il quantitativo d'acqua connesso con il fenomeno esondivo considerato. In alternativa, la stessa può essere estesa ad una superficie di circa 1970 mq, qualora l'entità dello scavo raggiunga i 10 cm di spessore.

Arezzo, Dicembre 2010

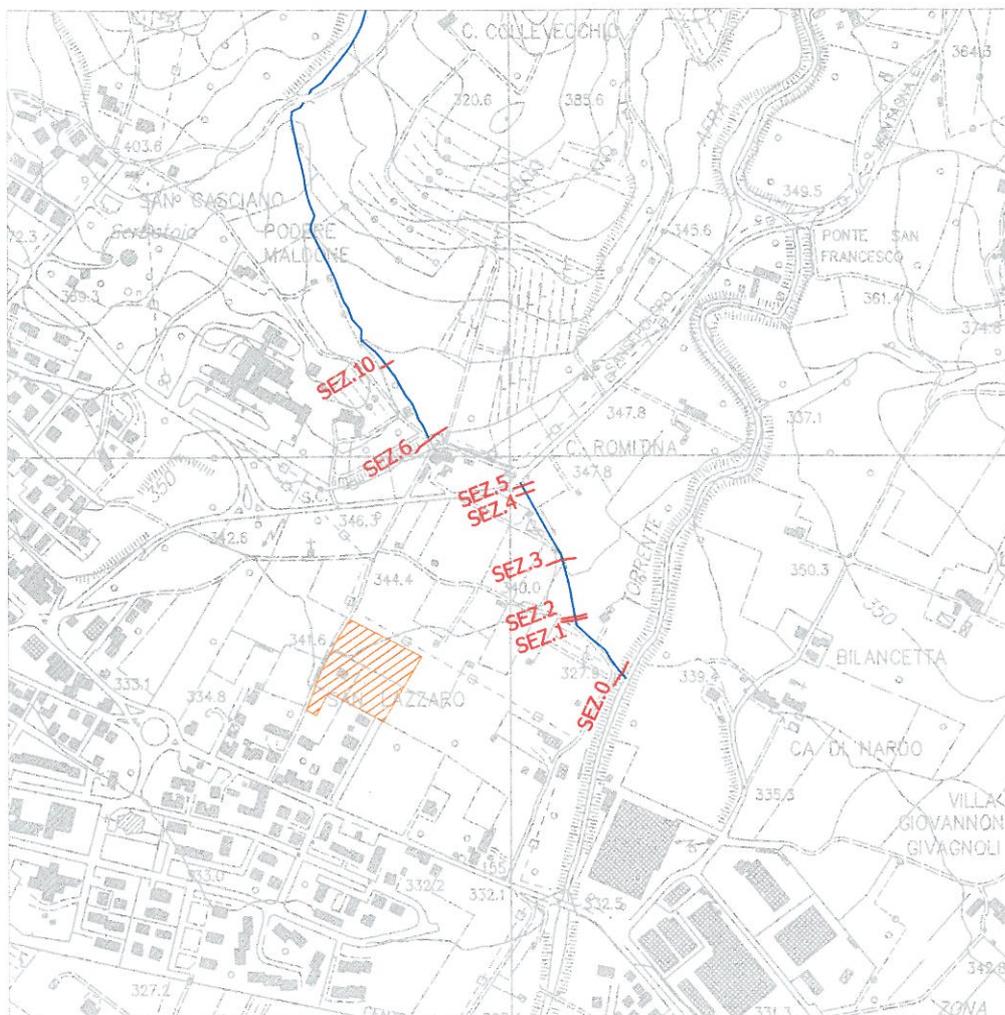


Dr. Ing. Marco Benini

Allegati:

- Estratto C.T.R. con individuazione sezioni HEC RAS ed area d'intervento
- Elaborati di output di HEC RAS

NOTA: I risultati del presente studio si basano sulla situazione attuale in termini di morfologia del terreno, opere infrastrutturali esistenti, uso del suolo anche in relazione alla parte edificata, condizioni di manutenzione dei corsi d'acqua, ecc. pertanto eventuali future modifiche, potenzialmente negative per il sito in esame, potrebbero determinare cambiamenti in termini di livelli di pericolosità, rischio e quant'altro qui determinato, tali da rendere necessarie nuove verifiche. Per tali motivi lo scrivente professionista declina ogni responsabilità di tipo civile o penale per eventuali danni a persone o a cose derivanti da modifiche peggiorative intervenute dopo il 2010.



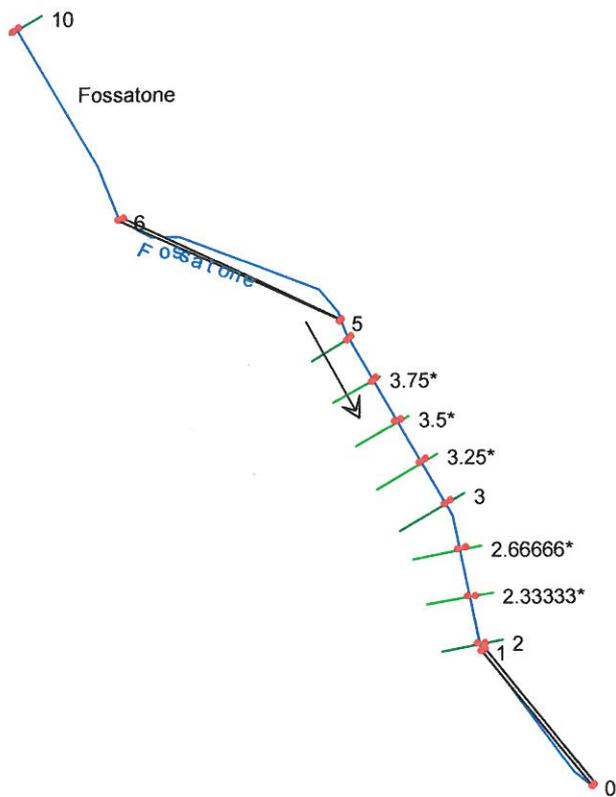
ESTRATTO C.T.R.
CON INDIVIDUAZIONE SEZIONI TORRENTE FOSSATONE
(scala 1:10.000)

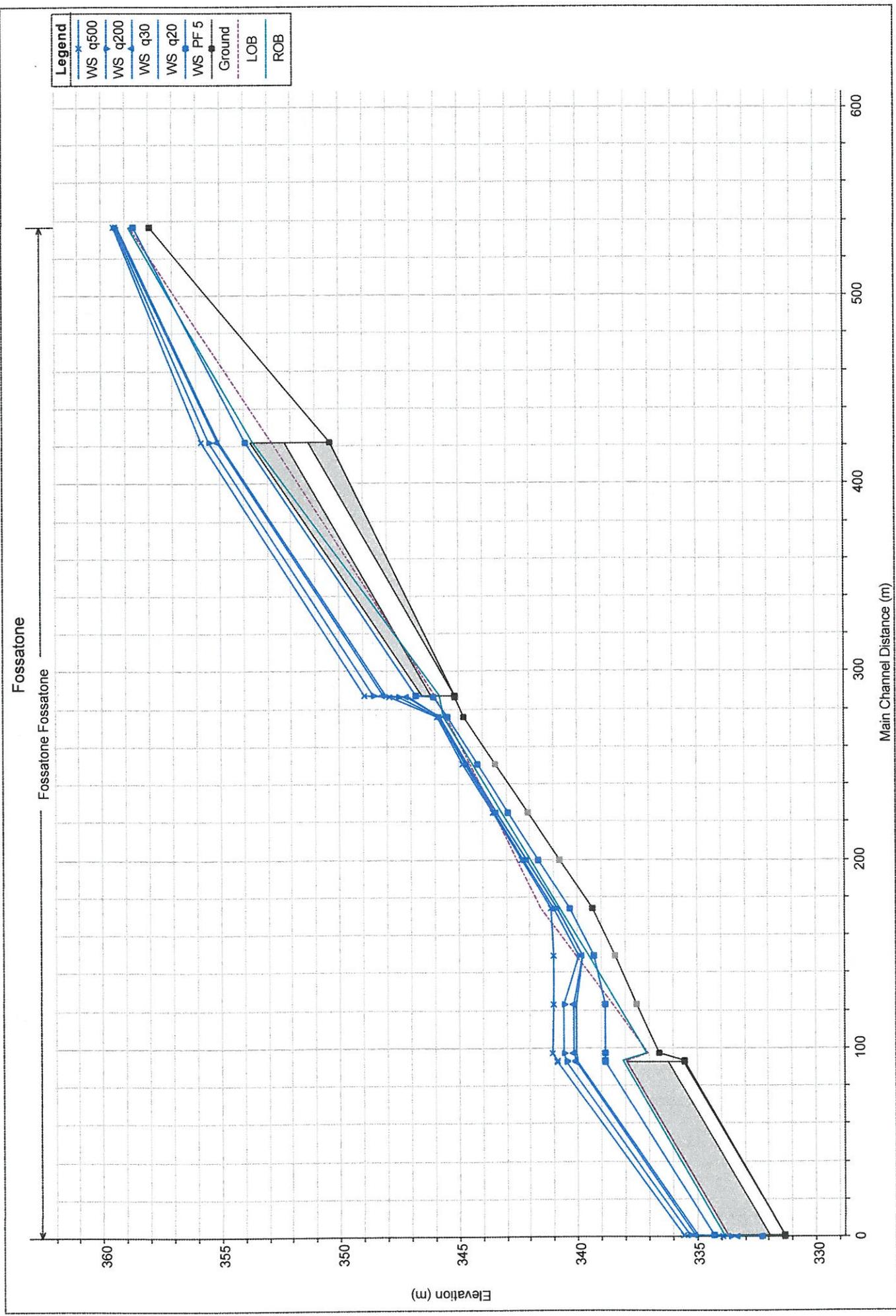


Allegato: File di output HEC-RAS

RIO FOSSATONE

Verifica in moto permanente





1 cm Horiz. = 25 m 1 cm Vert. = 2 m

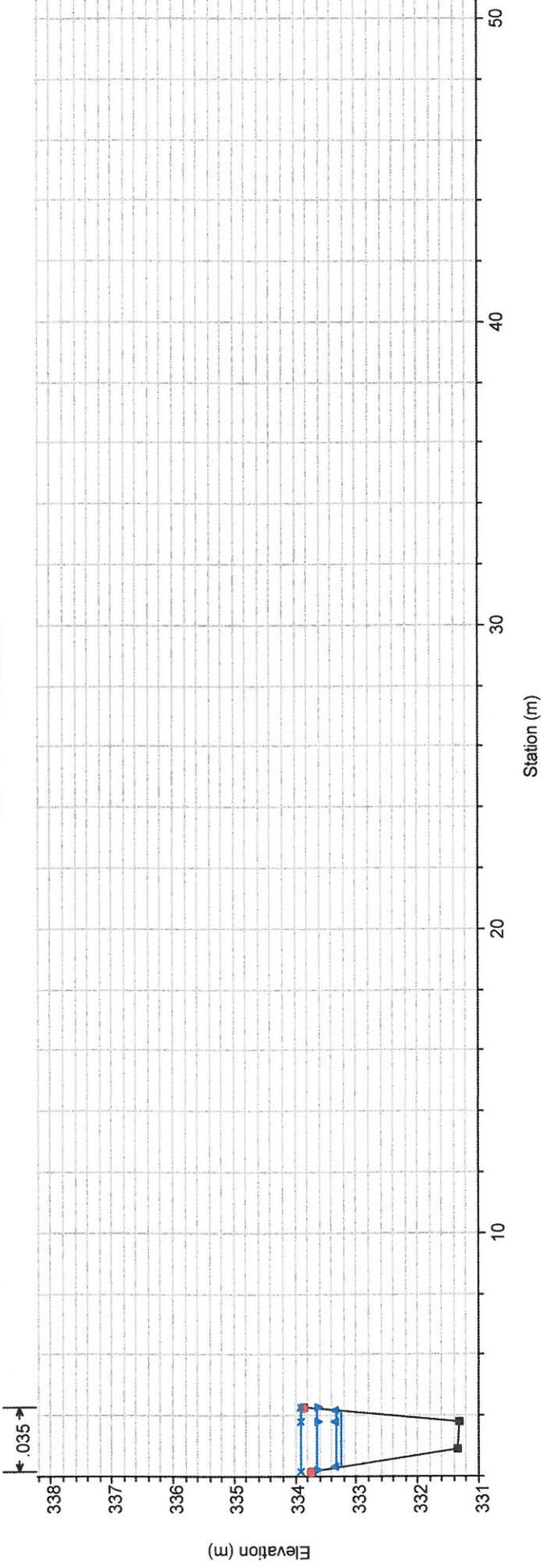
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S (m)	E.G Elev (m)	E.G Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Fossatone	10	q20	9.70	357.93	359.35	359.35	359.52	0.005722	2.05	6.82	19.39	0.62
Fossatone	10	q30	10.30	357.93	359.37	359.37	359.54	0.005712	2.08	7.21	19.57	0.62
Fossatone	10	q200	13.47	357.93	359.45	359.45	359.64	0.006168	2.25	8.72	19.63	0.65
Fossatone	10	q500	16.65	357.93	359.51	359.51	359.72	0.006731	2.43	9.92	19.63	0.69
Fossatone	10	PF 5	3.00	357.93	358.66	358.66	358.91	0.019409	2.19	1.37	2.83	1.01
Fossatone	6	q20	9.70	350.37	355.04	351.63	355.06	0.000505	0.71	13.57	3.25	0.11
Fossatone	6	q30	10.30	350.37	355.10	351.68	355.13	0.000550	0.75	13.77	3.25	0.12
Fossatone	6	q200	13.47	350.37	355.44	351.91	355.49	0.000782	0.90	14.89	3.25	0.13
Fossatone	6	q500	16.65	350.37	355.76	352.12	355.81	0.001024	1.05	15.91	3.25	0.15
Fossatone	6	PF 5	3.00	350.37	353.95	350.99	353.96	0.000100	0.30	10.04	3.25	0.05
Fossatone	5.5		Culvert									
Fossatone	5	q20	9.70	345.13	347.08	347.08	348.02	0.063247	4.29	2.26	1.20	1.00
Fossatone	5	q30	10.30	345.13	347.15	347.15	348.13	0.065194	4.38	2.35	1.20	1.00
Fossatone	5	q200	13.47	345.13	347.54	347.54	348.71	0.074105	4.79	2.81	1.20	1.00
Fossatone	5	q500	16.65	345.13	347.90	347.90	349.24	0.082275	5.13	3.24	1.20	1.00
Fossatone	5	PF 5	3.00	345.13	346.06	346.06	346.48	0.040012	2.90	1.03	1.20	1.00
Fossatone	4	q20	9.70	344.77	345.77	346.13	347.18	0.088944	5.36	2.01	6.46	2.14
Fossatone	4	q30	10.30	344.77	345.79	346.15	347.27	0.092199	5.52	2.10	6.77	2.18
Fossatone	4	q200	13.47	344.77	345.84	346.24	347.69	0.109638	6.30	2.53	8.10	2.38
Fossatone	4	q500	16.65	344.77	345.89	346.32	348.09	0.126686	7.00	2.91	9.12	2.56
Fossatone	4	PF 5	3.00	344.77	345.47	345.62	345.99	0.053396	3.19	0.94	2.35	1.61
Fossatone	3.75*	q20	9.70	343.43	344.64	344.92	345.45	0.044476	4.14	2.72	8.05	1.57
Fossatone	3.75*	q30	10.30	343.43	344.66	344.94	345.49	0.044971	4.23	2.85	8.12	1.58
Fossatone	3.75*	q200	13.47	343.43	344.74	345.02	345.69	0.046609	4.63	3.63	11.06	1.64
Fossatone	3.75*	q500	16.65	343.43	344.80	345.10	345.85	0.048909	4.99	4.41	13.39	1.70
Fossatone	3.75*	PF 5	3.00	343.43	344.21	344.36	344.70	0.047829	3.08	0.97	2.22	1.48
Fossatone	3.5*	q20	9.70	342.09	343.38	343.61	344.25	0.049723	4.21	2.54	6.67	1.60
Fossatone	3.5*	q30	10.30	342.09	343.41	343.62	344.29	0.049583	4.27	2.70	7.14	1.60
Fossatone	3.5*	q200	13.47	342.09	343.51	343.84	344.45	0.050538	4.56	3.51	9.44	1.64
Fossatone	3.5*	q500	16.65	342.09	343.58	343.92	344.57	0.050352	4.79	4.19	9.72	1.66
Fossatone	3.5*	PF 5	3.00	342.09	342.92	343.07	343.42	0.052465	3.15	0.95	2.13	1.50
Fossatone	3.25*	q20	9.70	340.74	342.12	342.45	342.99	0.049232	4.18	2.47	5.69	1.55
Fossatone	3.25*	q30	10.30	340.74	342.15	342.47	343.03	0.048962	4.23	2.63	6.19	1.55
Fossatone	3.25*	q200	13.47	340.74	342.27	342.54	343.20	0.047868	4.47	3.47	8.35	1.56
Fossatone	3.25*	q500	16.65	340.74	342.35	342.71	343.32	0.047516	4.66	4.28	10.67	1.58
Fossatone	3.25*	PF 5	3.00	340.74	341.63	341.77	342.11	0.050110	3.06	0.98	2.08	1.42
Fossatone	3	q20	9.70	339.40	340.84	341.17	341.72	0.050482	4.17	2.39	4.59	1.53
Fossatone	3	q30	10.30	339.40	340.87	341.22	341.77	0.050033	4.23	2.53	5.12	1.53
Fossatone	3	q200	13.47	339.40	341.00	341.35	341.97	0.048509	4.48	3.35	7.41	1.54
Fossatone	3	q500	16.65	339.40	341.10	341.42	342.11	0.047774	4.68	4.15	9.12	1.55
Fossatone	3	PF 5	3.00	339.40	340.31	340.46	340.81	0.052231	3.12	0.96	1.90	1.40
Fossatone	2.66666*	q20	9.70	338.45	339.78	340.09	340.54	0.040075	3.87	2.53	3.67	1.46
Fossatone	2.66666*	q30	10.30	338.45	339.81	340.14	340.59	0.040032	3.93	2.64	3.74	1.47
Fossatone	2.66666*	q200	13.47	338.45	339.97	340.34	340.85	0.037814	4.17	3.31	5.31	1.47
Fossatone	2.66666*	q500	16.65	338.45	341.03	340.41	341.06	0.000605	0.91	27.50	37.52	0.21
Fossatone	2.66666*	PF 5	3.00	338.45	339.31	339.39	339.68	0.035082	2.70	1.11	2.31	1.24
Fossatone	2.33333*	q20	9.70	337.50	340.08	338.87	340.08	0.000079	0.37	36.81	35.25	0.08
Fossatone	2.33333*	q30	10.30	337.50	340.17	338.92	340.17	0.000089	0.36	39.99	35.25	0.08
Fossatone	2.33333*	q200	13.47	337.50	340.62	339.11	340.62	0.000042	0.32	55.82	35.25	0.06
Fossatone	2.33333*	q500	16.65	337.50	341.04	341.05	341.05	0.000031	0.30	70.89	35.25	0.06
Fossatone	2.33333*	PF 5	3.00	337.50	338.83	338.34	338.87	0.001393	0.85	3.81	6.60	0.30
Fossatone	2	q20	9.70	336.55	340.08	340.08	340.08	0.000007	0.16	77.37	32.99	0.03
Fossatone	2	q30	10.30	336.55	340.17	340.17	340.17	0.000007	0.16	80.34	32.99	0.03
Fossatone	2	q200	13.47	336.55	340.62	340.62	340.62	0.000007	0.18	95.14	32.99	0.03
Fossatone	2	q500	16.65	336.55	341.05	341.05	341.05	0.000007	0.19	109.23	32.99	0.03
Fossatone	2	PF 5	3.00	336.55	338.86	338.86	338.86	0.000006	0.11	37.02	32.99	0.02
Fossatone	1	q20	9.70	335.54	340.00	337.48	340.07	0.002503	1.23	7.89	2.13	0.20
Fossatone	1	q30	10.30	335.54	340.08	337.55	340.16	0.002679	1.28	8.07	2.13	0.21
Fossatone	1	q200	13.47	335.54	340.49	337.87	340.61	0.003605	1.50	8.95	2.13	0.23
Fossatone	1	q500	16.65	335.54	340.88	338.14	341.03	0.004488	1.70	9.79	2.13	0.25
Fossatone	1	PF 5	3.00	335.54	338.84	336.53	338.86	0.000584	0.55	5.43	2.13	0.11
Fossatone	0.5		Culvert									
Fossatone	0	q20	9.70	331.31	333.25	333.25	333.96	0.038462	3.71	2.61	1.86	1.00
Fossatone	0	q30	10.30	331.31	333.32	333.32	334.04	0.038762	3.77	2.73	1.89	1.00
Fossatone	0	q200	13.47	331.31	333.64	333.64	334.45	0.039057	4.00	3.36	2.06	1.00
Fossatone	0	q500	16.65	331.31	333.91	333.91	334.82	0.040189	4.24	3.93	2.13	1.00
Fossatone	0	PF 5	3.00	331.31	332.30	332.30	332.70	0.035319	2.79	1.07	1.36	1.00

Reach	River Sta	Profile	E.G. Elev (m)	W.S. Elev (m)	Vel Head (m)	Frctn Loss (m)	C & E Loss (m)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Top Width (m)
Fossatone	10	q20	359.52	359.35	0.17	0.14	0.04	2.12	7.29	0.29	19.39
Fossatone	10	q30	359.54	359.37	0.17	0.15	0.04	2.47	7.50	0.33	19.57
Fossatone	10	q200	359.64	359.45	0.18	0.20	0.04	4.17	8.70	0.59	19.63
Fossatone	10	q500	359.72	359.51	0.21	0.24	0.05	5.91	9.87	0.87	19.63
Fossatone	10	PF 5	358.91	358.66	0.25	0.04	0.07		3.00		2.83
Fossatone	6	q20	355.06	355.04	0.03				9.70		3.25
Fossatone	6	q30	355.13	355.10	0.03				10.30		3.25
Fossatone	6	q200	355.49	355.44	0.04				13.47		3.25
Fossatone	6	q500	355.81	355.76	0.06				16.65		3.25
Fossatone	6	PF 5	353.96	353.95	0.00				3.00		3.25
Fossatone	5.5		Culvert								
Fossatone	5	q20	348.02	347.08	0.94	0.22	0.22		9.70		1.20
Fossatone	5	q30	348.13	347.15	0.98	0.22	0.24		10.30		1.20
Fossatone	5	q200	348.71	347.54	1.17	0.24	0.29		13.47		1.20
Fossatone	5	q500	349.24	347.90	1.34	0.24	0.34		16.65		1.20
Fossatone	5	PF 5	346.48	346.06	0.43	0.30	0.05		3.00		1.20
Fossatone	4	q20	347.18	345.77	1.41	0.79	0.05		9.30	0.40	6.46
Fossatone	4	q30	347.27	345.79	1.48	0.81	0.05		9.78	0.52	6.77
Fossatone	4	q200	347.69	345.84	1.85	0.94	0.07		12.16	1.31	8.10
Fossatone	4	q500	348.09	345.89	2.20	1.07	0.09		14.34	2.31	9.12
Fossatone	4	PF 5	345.99	345.47	0.52	0.49	0.01		3.00		2.35
Fossatone	3.75*	q20	345.45	344.64	0.81	1.55	0.18	0.01	8.88	0.81	8.05
Fossatone	3.75*	q30	345.49	344.66	0.83	1.59	0.19	0.02	9.27	1.00	8.12
Fossatone	3.75*	q200	345.69	344.74	0.95	1.74	0.27	0.11	11.33	2.03	11.06
Fossatone	3.75*	q500	345.85	344.80	1.05	1.89	0.35	0.31	13.17	3.16	13.39
Fossatone	3.75*	PF 5	344.70	344.21	0.48	1.28	0.01		3.00		2.22
Fossatone	3.5*	q20	344.25	343.38	0.87	1.19	0.01		9.23	0.47	6.67
Fossatone	3.5*	q30	344.29	343.41	0.88	1.20	0.00		9.67	0.63	7.14
Fossatone	3.5*	q200	344.45	343.51	0.95	1.23	0.00		11.77	1.70	9.44
Fossatone	3.5*	q500	344.57	343.58	1.00	1.26	0.01	0.00	13.48	3.17	9.72
Fossatone	3.5*	PF 5	343.42	342.92	0.50	1.27	0.00		3.00		2.13
Fossatone	3.25*	q20	342.99	342.12	0.87	1.26	0.00		9.47	0.23	5.69
Fossatone	3.25*	q30	343.03	342.15	0.88	1.25	0.00		9.95	0.35	6.19
Fossatone	3.25*	q200	343.20	342.27	0.93	1.25	0.00		12.15	1.32	8.35
Fossatone	3.25*	q500	343.32	342.35	0.97	1.24	0.01		14.03	2.62	10.67
Fossatone	3.25*	PF 5	342.11	341.63	0.48	1.30	0.01		3.00		2.08
Fossatone	3	q20	341.72	340.84	0.88	1.27	0.00		9.64	0.06	4.59
Fossatone	3	q30	341.77	340.87	0.90	1.26	0.00		10.17	0.13	5.12
Fossatone	3	q200	341.97	341.00	0.97	1.23	0.00		12.63	0.84	7.41
Fossatone	3	q500	342.11	341.10	1.00	1.21	0.00		14.67	1.98	9.12
Fossatone	3	PF 5	340.81	340.31	0.50	1.30	0.00		3.00		1.90
Fossatone	2.66666*	q20	340.54	339.78	0.76	1.15	0.04		9.67	0.03	3.67
Fossatone	2.66666*	q30	340.59	339.81	0.79	1.15	0.03		10.27	0.03	3.74
Fossatone	2.66666*	q200	340.85	339.97	0.88	1.10	0.03		13.39	0.08	5.31
Fossatone	2.66666*	q500	341.06	341.03	0.02	0.00	0.01	1.77	6.84	8.04	37.52
Fossatone	2.66666*	PF 5	339.68	339.31	0.37	1.09	0.04		3.00		2.31
Fossatone	2.33333*	q20	340.08	340.08	0.00	0.00	0.00	2.83	3.21	3.66	35.25
Fossatone	2.33333*	q30	340.17	340.17	0.00	0.00	0.00	2.97	3.23	4.10	35.25
Fossatone	2.33333*	q200	340.62	340.62	0.00	0.00	0.00	3.68	3.47	6.31	35.25
Fossatone	2.33333*	q500	341.05	341.04	0.00	0.00	0.00	4.38	3.81	8.46	35.25
Fossatone	2.33333*	PF 5	338.87	338.83	0.04	0.00	0.01	0.09	2.88	0.04	6.60
Fossatone	2	q20	340.08	340.08	0.00	0.00	0.01	3.44	2.23	4.04	32.99
Fossatone	2	q30	340.17	340.17	0.00	0.00	0.01	3.60	2.34	4.36	32.99
Fossatone	2	q200	340.62	340.62	0.00	0.00	0.01	4.47	2.91	6.09	32.99
Fossatone	2	q500	341.05	341.05	0.00	0.00	0.01	5.31	3.48	7.87	32.99
Fossatone	2	PF 5	338.86	338.86	0.00	0.00	0.00	1.38	0.93	0.69	32.99
Fossatone	1	q20	340.07	340.00	0.08				9.70		2.13
Fossatone	1	q30	340.16	340.08	0.08				10.30		2.13
Fossatone	1	q200	340.61	340.49	0.12				13.47		2.13

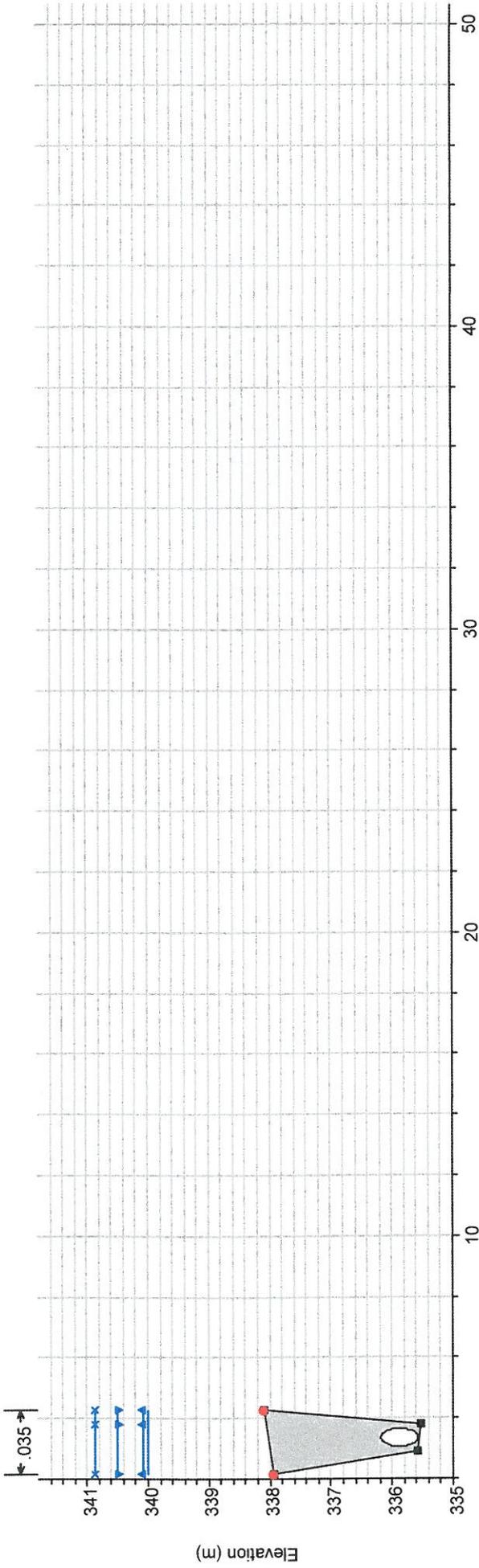
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Fossatone Reach: Fossatone (Continued)

Reach	River Sta	Profile	E.G. Elev (m)	W.S. Elev (m)	Vel Head (m)	Frctn Loss (m)	C & E Loss (m)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Top Width (m)
Fossatone	1	q500	341.03	340.88	0.15				16.65		2.13
Fossatone	1	PF 5	338.86	338.84	0.02				3.00		2.13
Fossatone	0.5		Culvert								
Fossatone	0	q20	333.96	333.25	0.70				9.70		1.86
Fossatone	0	q30	334.04	333.32	0.73				10.30		1.89
Fossatone	0	q200	334.45	333.64	0.82				13.47		2.06
Fossatone	0	q500	334.82	333.91	0.91				16.65		2.13
Fossatone	0	PF 5	332.70	332.30	0.40				3.00		1.36

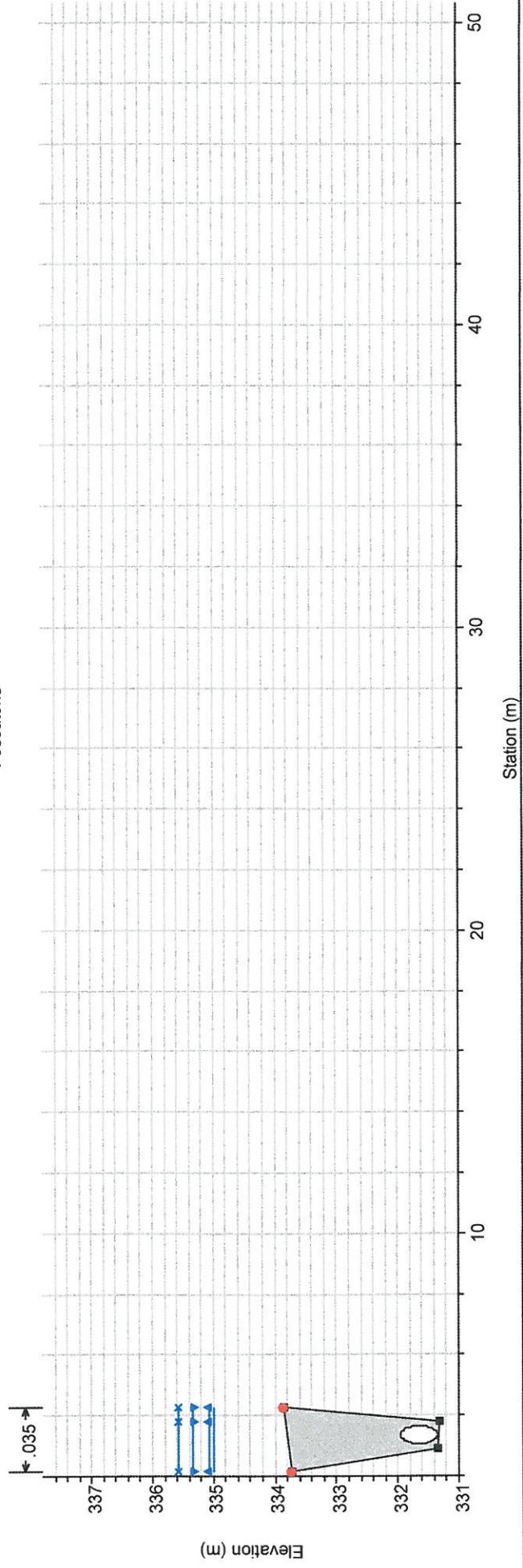
RS = 0 Fossatone



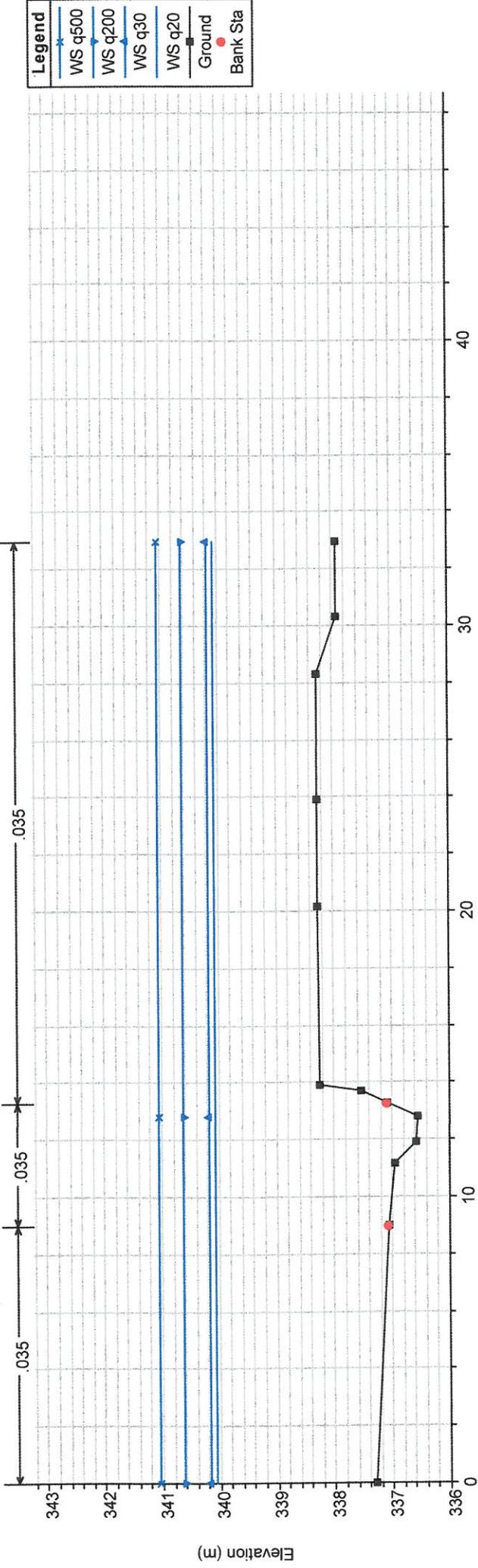
RS = 0.5 Culiv
Fossatone



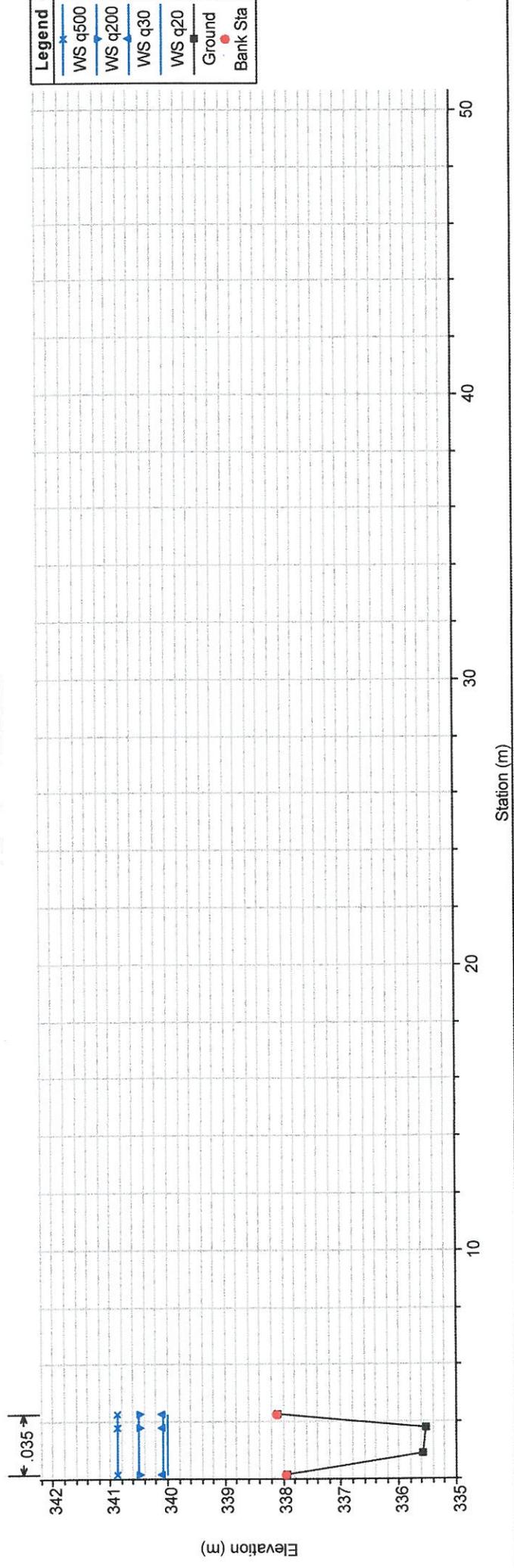
RS = 0.5 Culiv
Fossatone



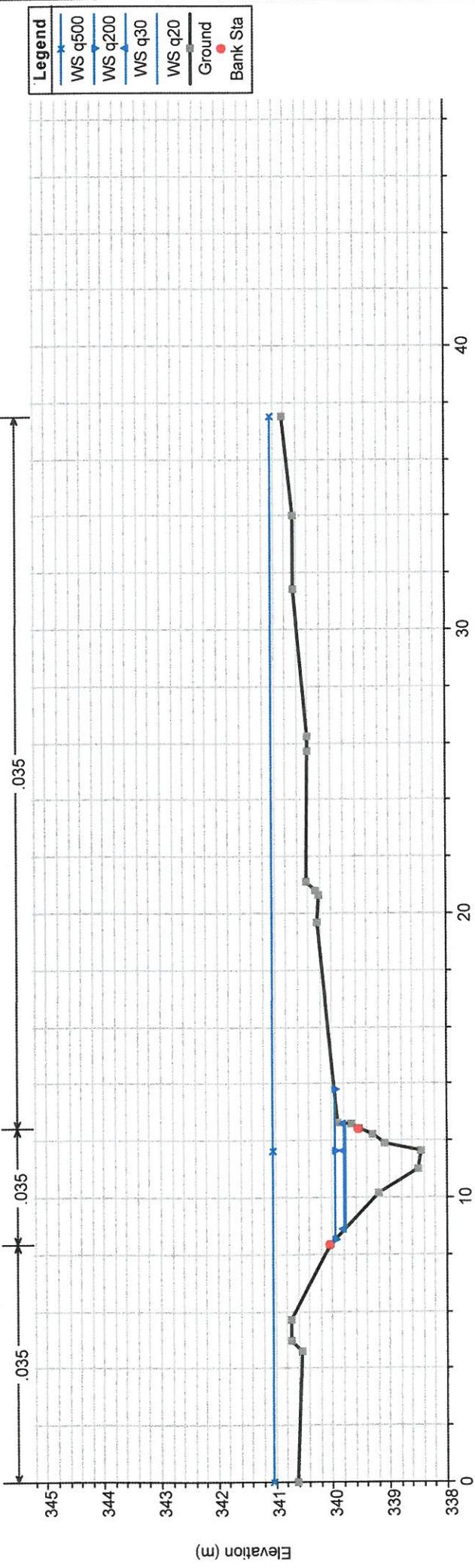
RS = 2 sez 16 Fossatone



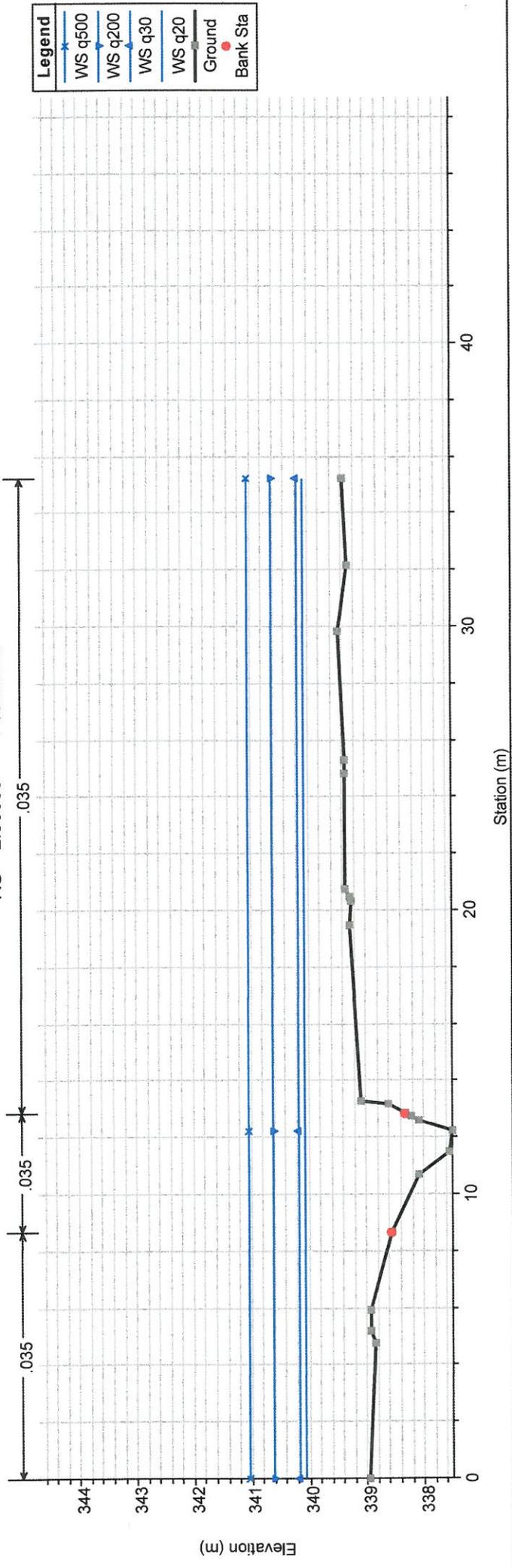
RS = 1 Fossatone



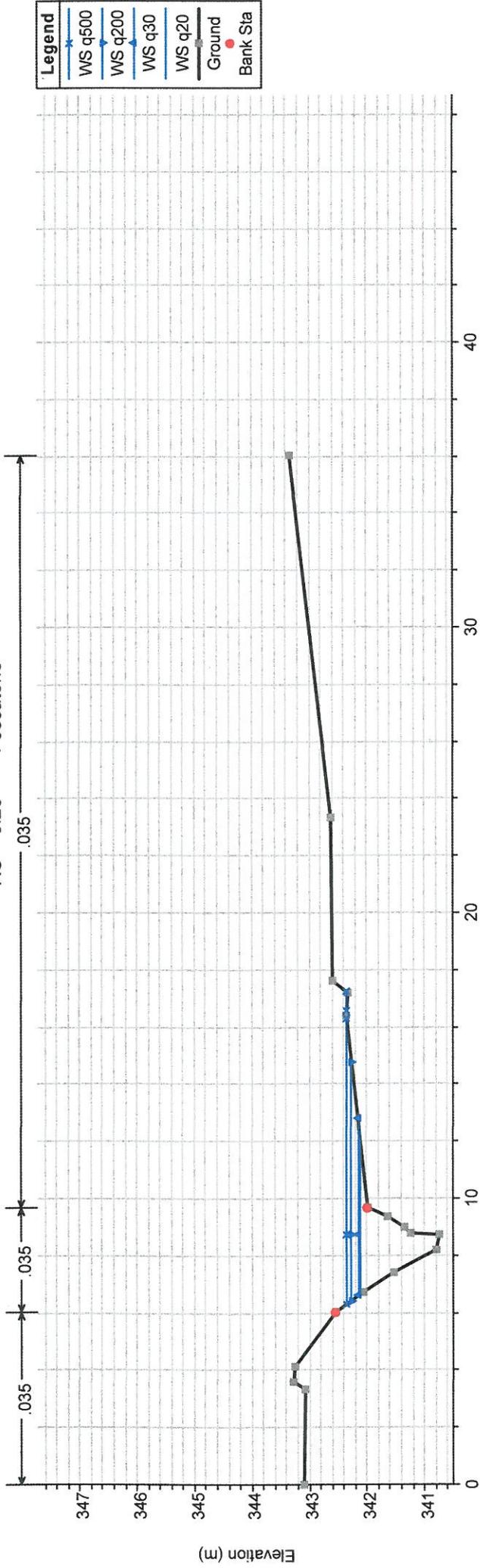
RS = 2.66666* Fossatone



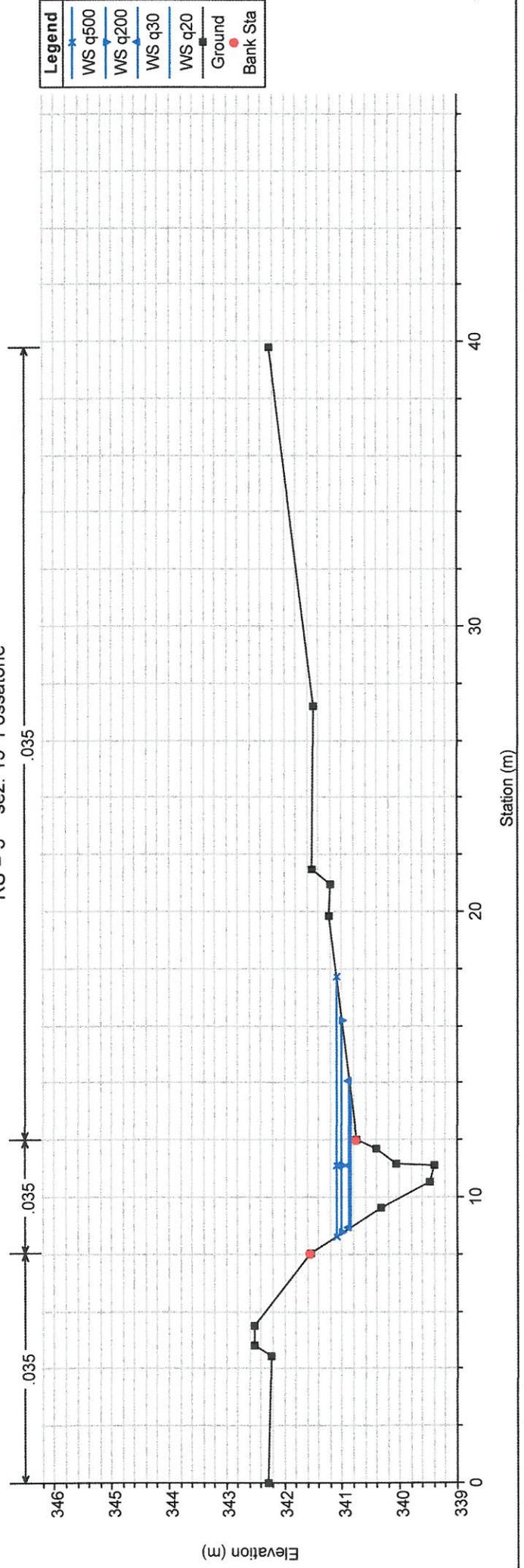
RS = 2.33333* Fossatone



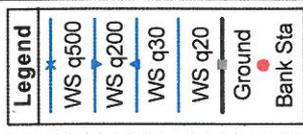
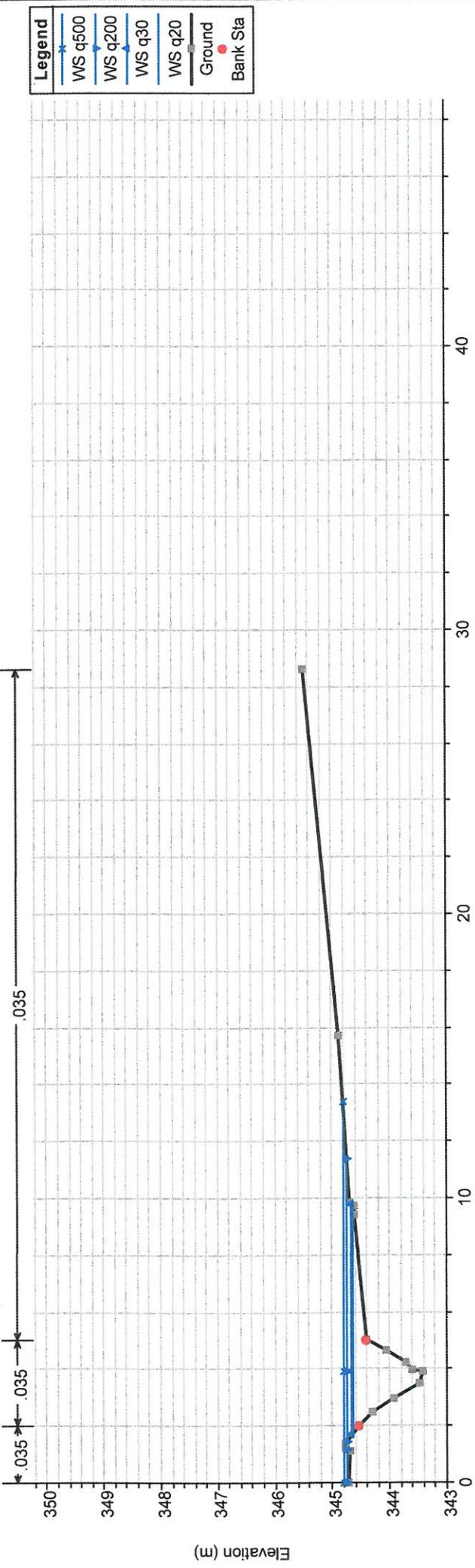
RS = 3.25* Fossatone



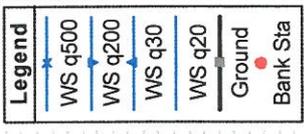
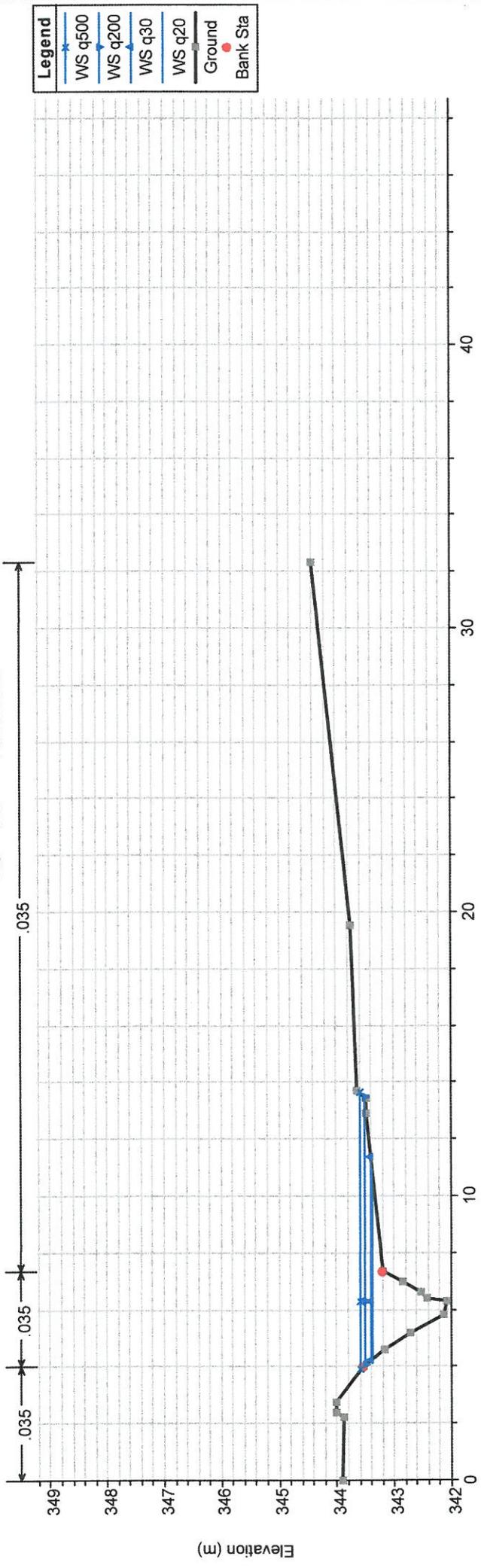
RS = 3 sez. 15 Fossatone



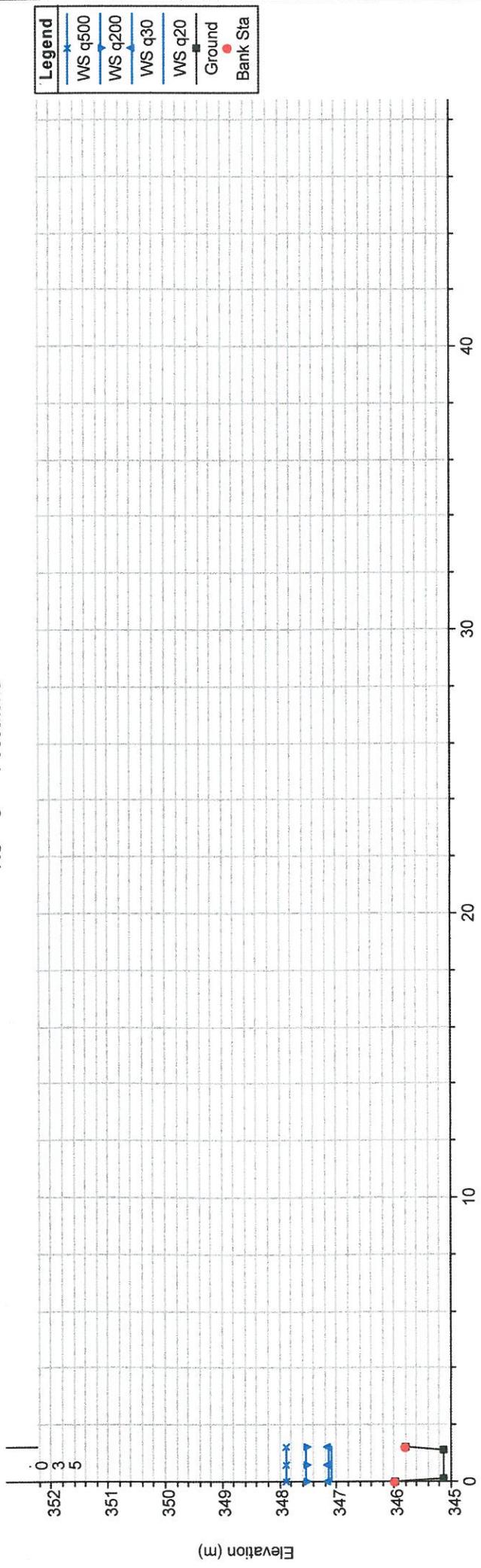
RS = 3.75* Fossatone



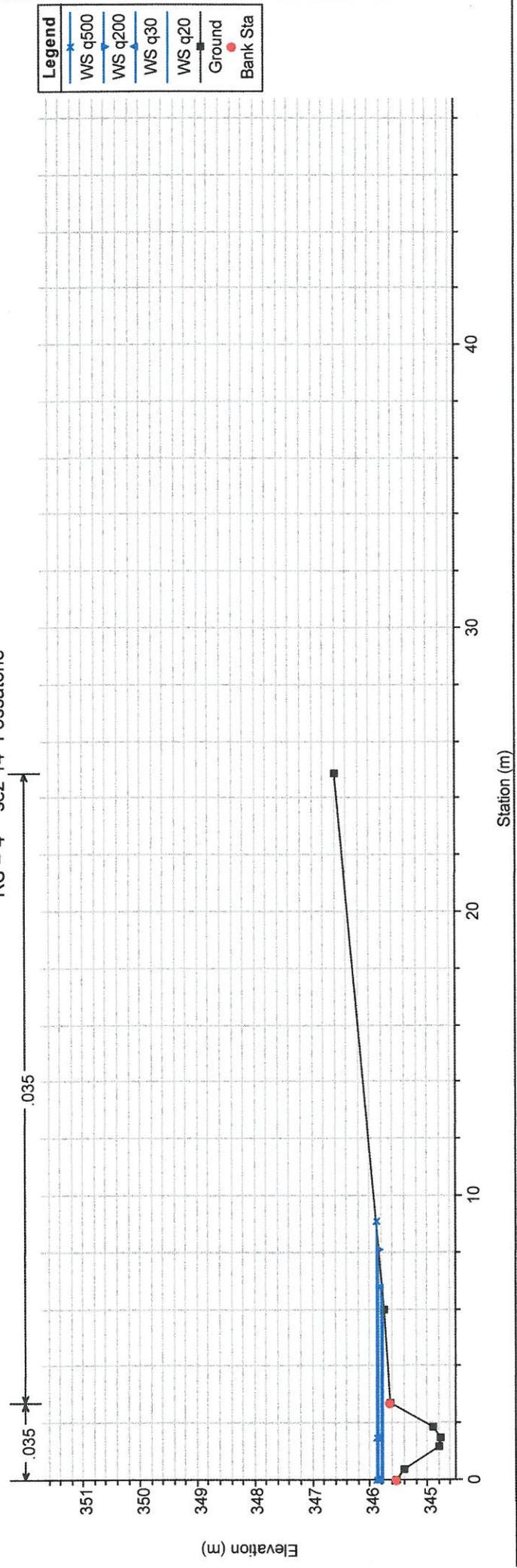
RS = 3.5* Fossatone



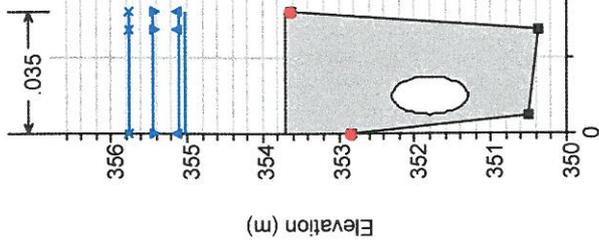
RS = 5 Fossatone



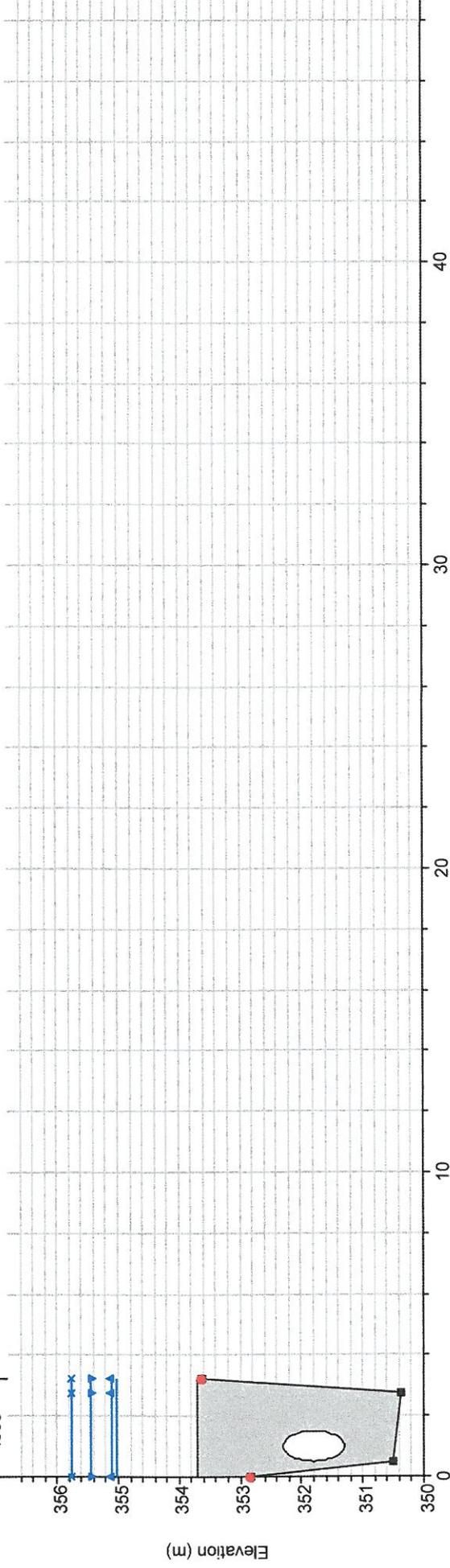
RS = 4 sez 14 Fossatone



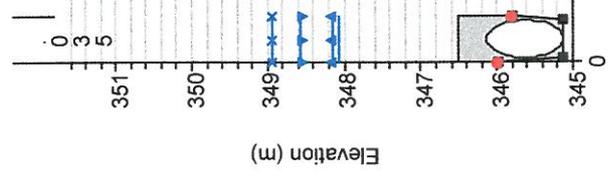
RS = 5.5 Culiv
Fossatone



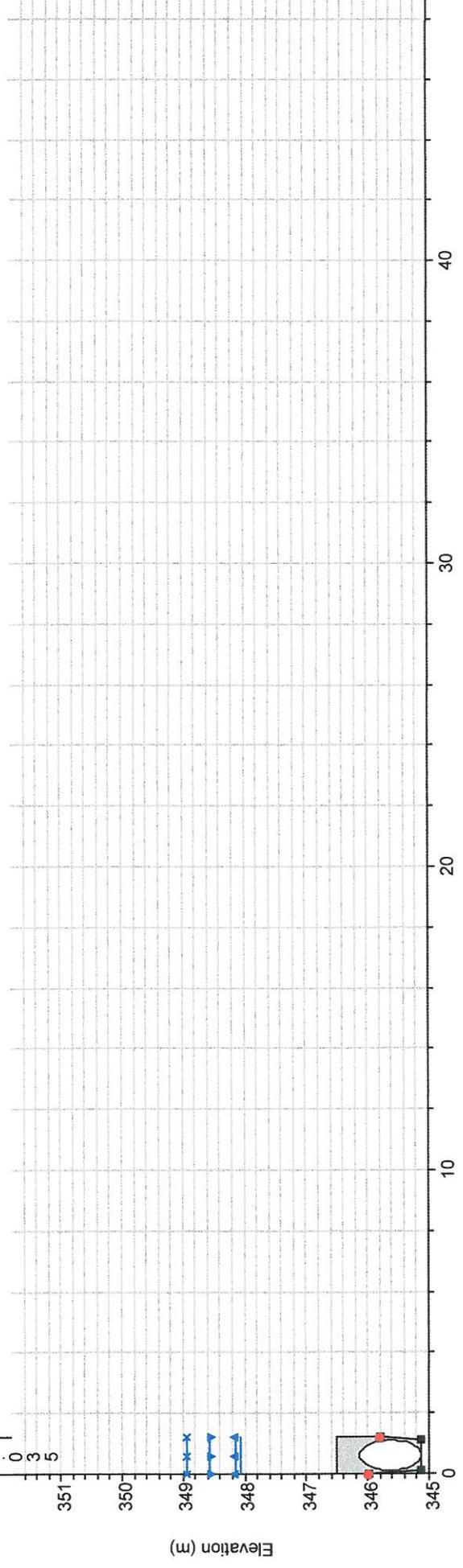
Legend	
WS q500	✕
WS q200	▶
WS q30	▲
WS q20	■
Ground	■
Bank Sta	●



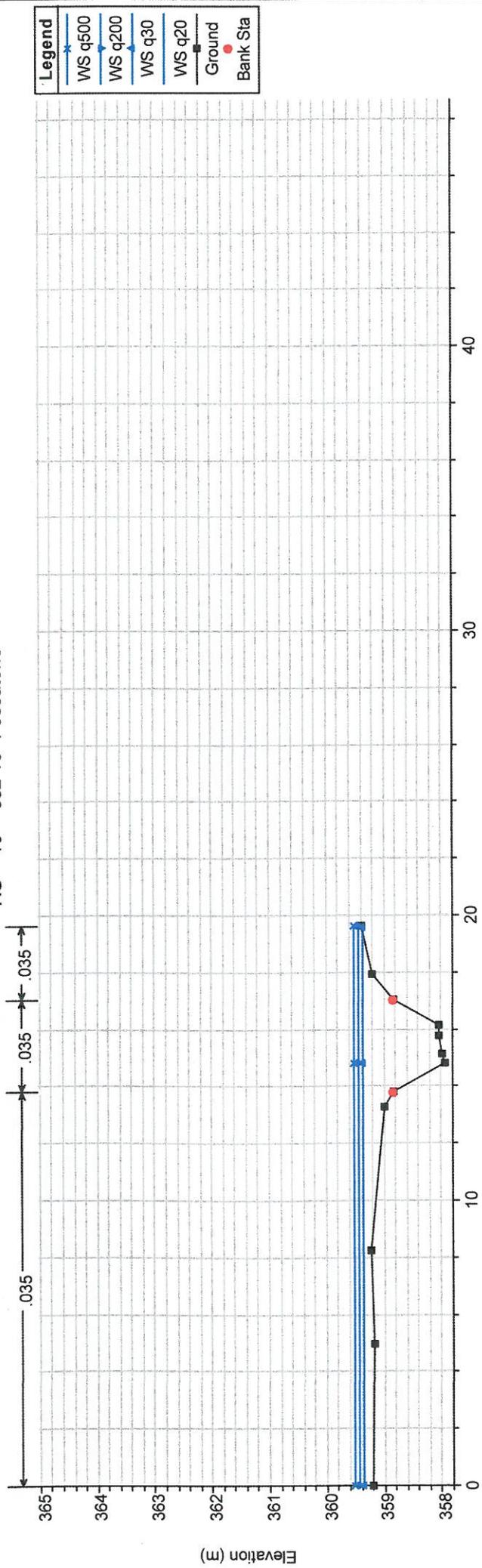
RS = 5.5 Culiv
Fossatone



Legend	
WS q500	✕
WS q200	▶
WS q30	▲
WS q20	■
Ground	■
Bank Sta	●



RS = 10 sez 13 Fossatone



RS = 6 Fossatone

