Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

(Provincia di Cosenza)

OGGETTO:

MESSA IN SICUREZZA DI UN TRATTO DI STRADA DI S. MARIA LA CASTAGNA INTERESSATO DA UN MOVIMENTO FRANOSO

PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO

TAV. B. 03

Montalto Uffugo - febbraio 2022

ELABORATO

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

R.U.P. :

Ing. Massimiliano Costanzo

Geologo:

Dott. Geol. Giorgio Canonaco

Progettista :

Ing. Luciano Corniola

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

INDICE

Premessa

1. RELAZIONE SULLO STUDIO IDROLOGICO
   1.1. Caratteri morfometrici del bacino del Torrente Ferrara
      1.1.1. *Curva ipsografica e altitudine media*
      1.1.2. *Profilo longitudinale e pendenza media dell'asta principale*
      1.1.3. *Forma del bacino*

   1.2. Caratteri idrologici del bacino del Torrente Ferrara, al fine della stima della massima portata al colmo di piena
      1.2.1. *Calcolo del tempo di corrivazione*
      1.2.2. *Curve di probabilità pluviometrica*
      1.2.3. *Pluviogrammi di calcolo*
      1.2.4. *Ricostruzione degli idrogrammi di piena mediante modello afflussi/deflussi*
      1.2.5. *Stima della massima portata al colmo di piena mediante metodi empirici, semi-empirici e analitici*

2. RELAZIONE SULLO STUDIO IDRAULICO
   2.1. Oggetto dei calcoli idraulici
   2.2. Modello di calcolo
   2.3. Ricostruzione dei profili della superficie libera in moto permanente
      2.3.1. *Stato attuale*
      2.3.2. *Stato futuro*

3. CONCLUSIONI

ALLEGATO A. Risultati dei calcoli idraulici

Premessa

Al fine di garantire la sicurezza idraulica, relativa al pericolo d'inondazione, relativo alla messa in sicurezza di un tratto di strada di S. Maria la Castagna interessato da un fenomeno franoso nel Comune di Montalto Uffugo (CS), si è proceduto allo svolgimento dello studio idrologico-idraulico del bacino idrografico dell'affluente con codice 0009_01_27126 del Torrente Ferrara.

In particolare, sarà oggetto di studio un tratto dell'affluente con codice 0009_01_27126 del Torrente Ferrara di 800 m circa. Il tratto oggetto di studio è indicato come "area di attenzione" della Variante di aggiornamento mappa PAI alle mappe PGRA del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Calabria.

Scopo del presente lavoro è la verifica delle condizioni di pericolosità idraulica del suddetto tratto del corso d'acqua.

La messa in sicurezza di un tratto di strada di S. Maria la Castagna interessato da un fenomeno franoso nel Comune di Montalto Uffugo (CS) si concretizzerà attraverso la realizzazione di una paratia su pali lunga 12 metri e alta 2,50 metri, mentre la profondità delle fondazioni su pali sarà pari a circa 8,00 metri. La succitata paratia sarà realizzata in sinistra idraulica e al di fuori dell'alveo fluviale.

1. RELAZIONE SULLO STUDIO IDROLOGICO

1.1 Caratteri morfometrici del bacino dell'affluente del Torrente Ferrara

Per delimitare il bacino idrografico ci si è avvalsi del Modello Digitale del Terreno (DTM) a maglie quadrate aventi lato di 20 m. In Fig. 1 è mostrata la corografia del bacino in esame chiuso alla quota 0394,70 m.s.m. alla confluenza con il Torrente Ferrara, avente area e perimetro rispettivamente pari a: A=0,36 km^2 e P= 3,24 km.

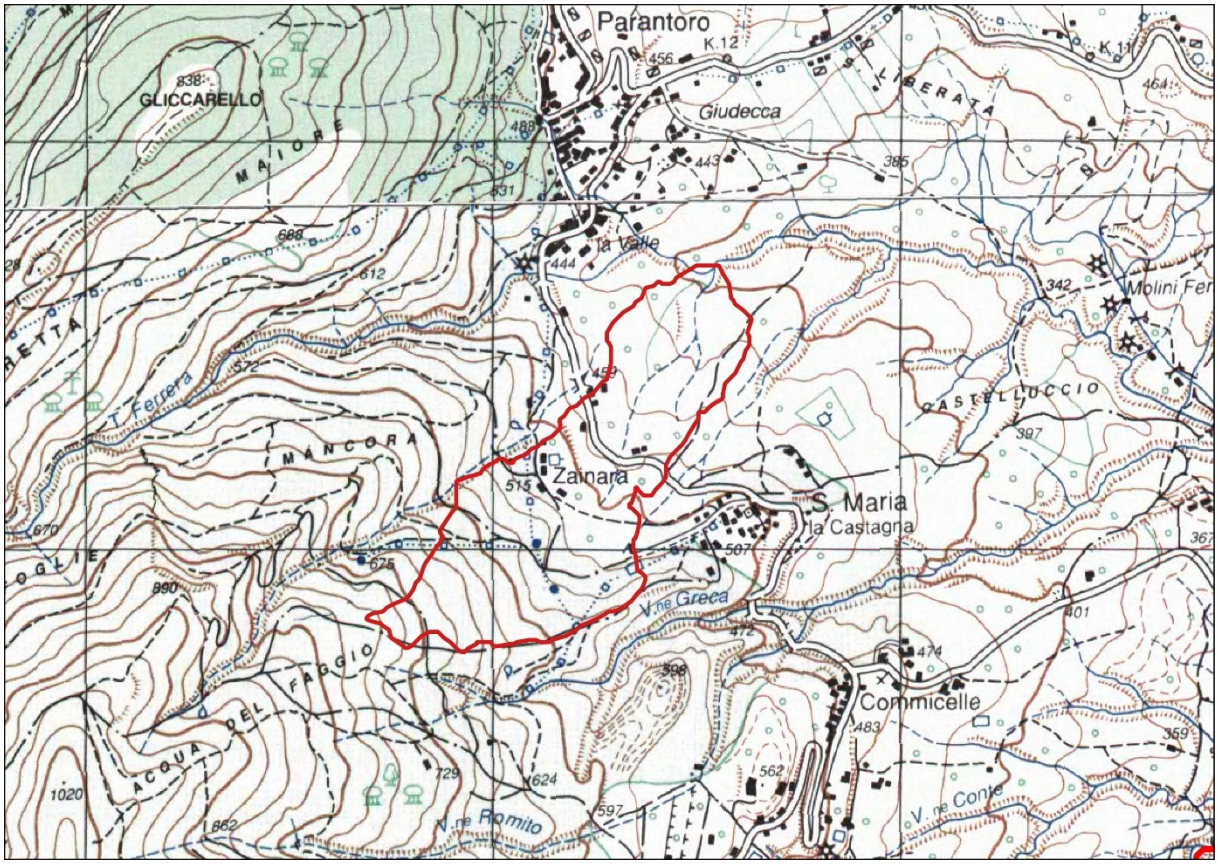


Fig. 1. Corografia del bacino dell'affluente del Torrente Ferrara.

1.1.1 *Curva ipsografica e altitudine media*

È stata ricavata la curva ipsografica del bacino (Fig. 2), con quota massima H_{max}=765,00 m s. m. e quota minima H_0=394,70 m s. m. Si è ottenuta l'altitudine media, ordinata di compenso della curva ipsografica, risultata pari a H_m=526,95 m s. m.

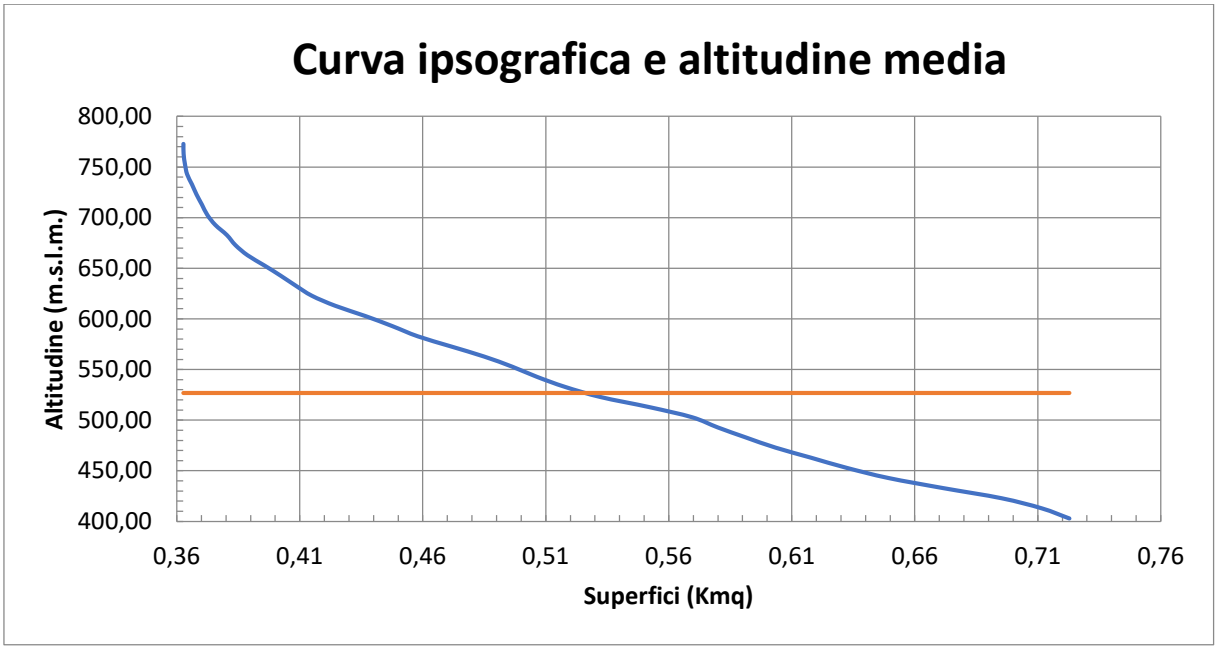


Fig. 2. Curva ipsografica del bacino dell'affluente del Torrente Ferrara.

1.1.2 *Profilo longitudinale e pendenza media dell'asta principale*

È stato ricostruito il profilo longitudinale dell'asta principale del reticolo idrografico dell'affluente del Torrente Ferrara (Fig. 3), che presenta una lunghezza totale L=1,13 km.

È stata calcolata la pendenza media dell'asta principale, i_a, secondo la formula di Taylor e Schwarz:

$$i_a = \left(\frac{L}{\sum_J \frac{L_j}{\sqrt{i_j}}} \right)^2 = 12{,}21\ \% \qquad (1)$$

essendo L la lunghezza totale dell'asta principale e L_j e i_j, rispettivamente, la lunghezza e la pendenza del j-esimo tratto, ritenuto a pendenza costante, in cui si è suddiviso il corso d'acqua.

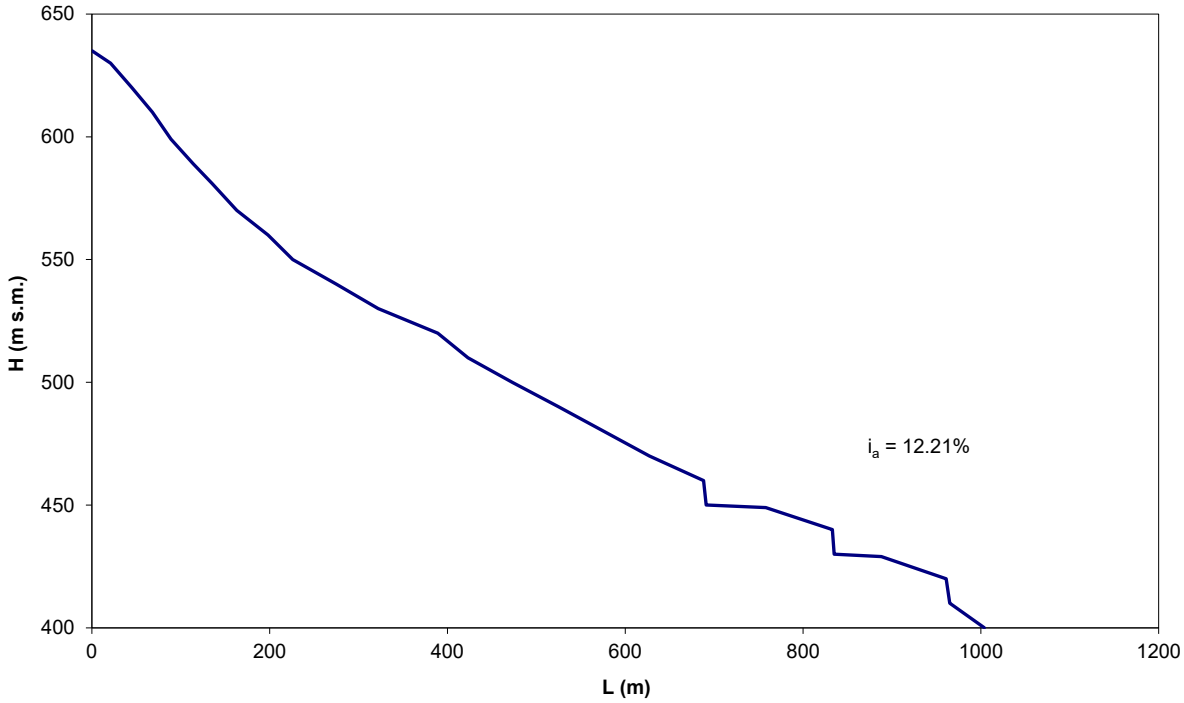


Fig. 3. Profilo longitudinale dell'asta principale del bacino dell'affluente del Torrente Ferrara.

1.1.3 *Forma del bacino*

Per quanto riguarda la forma del bacino, sono stati calcolati i fattori di forma, F, di Schumm e di Gravelius.

Il fattore di forma di Schumm è il rapporto tra la lunghezza dell'asta principale e il diametro del cerchio equivalente:

$$F_S = \frac{L}{\sqrt{\frac{4A}{\pi}}} = 1{,}66 \tag{2}$$

Il fattore di forma di Gravelius è il rapporto tra il perimetro del bacino e il perimetro del cerchio equivalente:

$$F_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 1{,}52 \tag{3}$$

Quanto più il valore di F è superiore all'unità, tanto più la forma del bacino si discosta da quella circolare. È noto che l'espressione di Gravelius fornisce valori numerici inferiori a

quella di Schumm, a parità di allungamento.

Il bacino risulta essere, pertanto, di forma allungata, come si evince dalla corografia mostrata in Fig. 1.

Nella Tabella 1 sono riassunte le caratteristiche morfometriche del bacino dell'affluente del Torrente Ferrara oggetto di studio.

Tabella 1. Caratteristiche morfometriche del bacino dell' affluente del Torrente Ferrara.

A (km^2)	P (km)	H_{max} (m s. m.)	H_0 (m s. m.)	H_m (m s. m.)	L (km)	i_a (%)	F_S	F_G
0,36	3,24	765,0	394,7	526,95	1,13	12,21	1,66	1,52

1.2 Caratteri idrologici del Torrente Ferara, al fine della stima della massima portata al colmo di piena

Non essendo presenti nel bacino in esame del Torrente Ferrara stazioni di misura delle portate, la massima portata al colmo di piena sarà stimata con metodi statistici partendo dai dati di precipitazione disponibili, attraverso un metodo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali. Per confronto, essa sarà anche calcolata adoperando le più note formule empiriche, semi-empiriche e analitiche proposte nella letteratura specialistica.

Preliminarmente, si è proceduto al calcolo del tempo di corrivazione del bacino, alla stima delle curve di probabilità pluviometrica per assegnati tempi di ritorno e, quindi, alla costruzione dei pluviogrammi di calcolo necessari per l'applicazione del metodo afflussi/deflussi.

1.2.1 *Calcolo del tempo di corrivazione*

Per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino chiuso alla foce, t_c, sono state adoperate diverse formule, tra le numerose presenti in letteratura, ritenute di buona capacità predittiva.

1) Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} \tag{4}$$

essendo t_c (ore) il tempo di corrivazione, A (km^2) l'area della superficie topografica, L (km) la lunghezza dell'asta principale, H_m (m) l'altitudine media del bacino, H_0 (m) la quota della sezione di chiusura.

2) Formula di Puglisi e Zanframundo:

$$t_c = 6\frac{L^{2/3}}{d^{1/3}} \tag{5}$$

essendo t_c (ore) il tempo di corrivazione, L (km) e d (m) rispettivamente la lunghezza e il dislivello dell'asta principale.

3) Formula di Viparelli:

$$t_c = L/V \quad (6)$$

essendo t_c (s) il tempo di corrivazione, L (m) la lunghezza dell'asta principale e V (m/s) la velocità di scorrimento dell'acqua nel percorso relativo sia ai versanti che alla rete idrografica, ritenuta dall'Autore pari a 1÷1.5 m/s.

In Tabella 4 sono mostrati i risultati ottenuti e il loro valore medio.

Tabella 2. Comparazione tra i tempi di corrivazione.

t_c (ore)			
Giandotti	Puglisi e Zanframundo	Viparelli (V = 1.5 m/s)	Media
0,45	0,91	0,21	0,52

In base alle caratteristiche morfometriche dei bacini, si è ritenuto opportuno stimare il tempo di corrivazione pari a $t_c \approx 0{,}21$ ore, valore prossimo a quello ottenuto attraverso la formula di Viparelli. Infatti, per bacini di dimensioni così ridotte quale quello in esame, la formula di Viparelli è la più adatta tra quelle considerate; inoltre, si opera a vantaggio di sicurezza considerando un tempo di corrivazione inferiore rispetto a quello ottenuto con le altre due relazioni empiriche

1.2.2 *Curve di probabilità pluviometrica*

Per la stima delle curve di probabilità pluviometrica, si è proceduto ad analizzare le altezze di pioggia di durata oraria (t = 1, 3, 6, 12 e 24 ore), h_t (mm), i cui valori massimi annuali sono pubblicati negli Annali Idrologici dall'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN).

La legge di distribuzione probabilistica prescelta per la variabile casuale h_t è la *Two Component Extreme Value* (TCEV),[1] secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica pro-

[1] Rossi F., Versace P. (1982), *Criteri e metodi per l'analisi statistica delle piene*, Valutazione delle piene, C.N.R. – P.F. Conservazione del suolo, 165, 63-130. Si vedano anche: Rossi F., Fiorentino M., Versace P. (1984), Two component extreme value distribution for flood frequency analysis, *Water Resources Research*, 20(7), 847-856; Beran M., Hosking J. R. M., Arnell N. (1986), Comment on "Two component extreme value distribution for flood frequency analysis" by F. Rossi, M. Fiorentino and P. Versace, *Water Resources Research*, 22(2), 263-266; Rossi F., Fiorentino M., Versace P. (1986), Reply to the comment of Beran et al., *Water Resources Research*, 22(2), 267-269.

vengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (*outliers*), legati a differenti fenomeni meteorologici.

La funzione di distribuzione di probabilità (*Cumulative Distribution Function*, CDF) della variabile casuale X è espressa come segue:

$$F_X(x) = \exp\left(-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\theta_2}} \right) \tag{7}$$

essendo Λ_1, θ_1, Λ_2 e θ_2 i quattro parametri della distribuzione. Essa equivale al prodotto di due CDF della legge del valore estremo di Gumbel, con cui coincide per $\Lambda_2 = 0$.

I quattro parametri esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni (Λ_1 e Λ_2) e il loro valore medio (θ_1 e θ_2). Se si pone $\theta^* = \theta_2/\theta_1$ e $\Lambda^* = \Lambda_2/\Lambda_1^{1/\theta^*}$, si può considerare la quaterna di parametri Λ^*, θ^*, Λ_1 e θ_1.

La stima dei parametri può avvenire a differenti livelli:

0) livello di regionalizzazione zero, in cui i parametri sono tutti stimati dalla singola serie di dati, qualora se ne possiedano nel sito d'interesse;
1) livello di regionalizzazione uno, in cui i parametri Λ^* e θ^* sono stimati regionalmente e i parametri Λ_1 e θ_1 sono stimati puntualmente;
2) livello di regionalizzazione due, in cui i parametri Λ^*, θ^* e Λ_1 sono stimati regionalmente e il parametro θ_1 è stimato puntualmente;
3) livello di regionalizzazione tre, in cui tutti i parametri sono stimati regionalmente.

Il valore x_T corrispondente a un *tempo di ritorno* T (durata media fra due superamenti consecutivi) si ricava in funzione di T e dei quattro parametri comunque stimati. Nel presente caso di studio, x_T indica l'altezza di pioggia di durata t per T assegnato, $h_{t,T}$.

L'analisi delle piogge giornaliere in Calabria, effettuata nello studio di *Va*lutazione delle *Pi*ene (VAPI) dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR),[2] ha portato alla verifica dell'ipotesi che l'intera regione costituisca una zona pluviometricamente omogenea, ossia nella quale si possa ritenere costante il coefficiente di asimmetria, γ_1; ciò implica la costanza dei parametri $\Lambda^* = 0{,}418$ e $\theta^* = 2{,}154$. Si sono, quindi, individuate tre sottozone in cui si ritiene costante il coefficiente di variazione, γ, e di conseguenza il parametro Λ_1 (sottozona tirrenica, T: $\Lambda_1 = 48{,}914$;

[2] Versace P., Ferrari E., Gabriele S., Rossi F., *Valutazione delle piene in Calabria*, bozza finale, CNR-IRPI Rende – *Geodata*, 30, Cosenza, dicembre 1989.

sottozona centrale, C: $\Lambda_1 = 22{,}878$; sottozona ionica, I: $\Lambda_1 = 10{,}987$). Infine, sono state delimitate 13 aree omogenee, in ciascuna delle quali si ritiene valido un legame di correlazione tra la media delle altezze di pioggia giornaliere massime annuali e la quota sul mare.

Ritenendo valida la suddivisione in sottozone e aree omogenee del VAPI anche per le piogge di breve durata, si è proceduto a effettuare l'analisi delle stesse tramite il Sistema Informativo del VAPI (SIVAPI),[3] pervenendo alla valutazione dei parametri Λ^*, θ^* e Λ_1 per le diverse durate orarie, t = 1, 3, 6, 12, 24 ore (Tabella 3), attraverso il metodo della massima verosimiglianza (*Maximum Likelihood*, ML).[4]

Il bacino del Torrente Ferrara ricade all'interno dell'area omogenea dell'Alto e Medio Tirreno (T3).

Nell'area T3 sono presenti le seguenti stazioni pluviografiche, installate dall'ex SIMN:[5] Montalto Uffugo (codice 1060, quota 468,00 m s. m), Rende (codice 1040, quota 620,00 m s m.), Cerisano (codice 1020, quota 620,00 m s. m.), Domanico (codice 1000, quota 736,00 m s. m.), Cosenza (codice 1010, quota 242,00 m s. m.), Tortora (codice 3161, quota 12,00 m s. m.), Aieta (codice 3250, quota 524,00 m s. m.), Verbicaro Scalo (codice 3124, quota 15,00 m s. m.), Belvedere Marittimo (codice 3100, quota 10,00 m s. m.), Cetraro Superiore (codice 3090, quota 416,00 m s. m.), Guardia Piemontese (codice 3080, quota 5,00 m s. m.), Paola (codice 3060, quota 160,00 m s. m.), Fiumefreddo Bruzio (codice 3050, quota 220,00 m s. m.), Amantea (codice 3040, quota 54,00 m s. m.), Aiello Calabro (codice 3030, quota 590,00 m s. m.), Capo Suvero (codice 2970, quota 20,00 m s. m.), Sant'Eufemia – Lamezia (codice 2960, quota 25,00 m s. m.), Lamezia Terme – Palazzo (codice 2955, quota 24,00 m s. m.), Nicastro (codice 2935, quota 200,00 m s. m.), Decollatura (codice 2870, quota 780,00 m s. m.), Nicastro Bella (codice 2940, quota 400,00 m s. m.), Carlopoli (codice 1870, quota 950,00 m s. m.), Torre Mezzapraia (codice 2840, quota 20,00 m s. m.), Filadelfia (codice 2830, quota 550,00 m s. m.), Pizzo Calabro (codice 2810, quota 107,00 m s. m.), Vibo Valentia (codice 2800, quota 498,00 m s. m.), Tropea (codice 2770, quota 51,00 m s. m.), Capo Vaticano (codice 2815, quota 30,00 m s. m.), Joppolo (codice 2760, quota 185,00 m s. m.).

[3] Gabriele, S., SIVAPI, Laboratorio di Telerilevamento, CNR-IRPI, Rende (CS), in corso di completamento.
[4] Gabriele, S., Iiritano, G., *Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV*, GNDCI – Linea 1 U.O. 1.4 – Pubblicazione n. 1089, CNR-IRPI Rende (CS), maggio 1994.
[5] Ministero dei Lavori Pubblici, Consiglio Superiore, Servizio Idrografico, *Elenco delle stazioni termopluviometriche del Servizio Idrografico Italiano (situazione al 1970)*, pubblicazione n° 27 del Servizio, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato – Libreria, 1976.

Tabella 3. Valori dei parametri Λ^*, θ^* e Λ_1 della TCEV per piogge di durata oraria.

	Calabria zona omogenea		Λ_1 per sottozone omogenee (Calabria)		
Durata (ore)	Λ^*	θ^* (mm)	tirrenica	centrale	ionica
1	0,1997	2,0735	13,03	12,84	12,26
3	0,2614	2,4100	21,26	17,77	14,02
6	0,2834	2,3103	25,17	18,97	14,17
12	0,2915	2,2148	31,85	17,60	12,91
24	0,3610	1,9420	31,54	13,42	10,26

Le altezze di pioggia massime annuali di durata oraria sono riportate nelle Tabelle 4.1÷4.29.

Tabella 4.1. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Montalto Uffugo, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1928	0	0	0	0	95,0
1929	0	0	0	0	102,1
1930	0	0	0	0	100,6
1933	0	0	0	0	104,1
1934	14,0	30,0	50,0	63,8	63,8
1935	22,6	0	0	0	0
1937	27,8	0	0	0	0
1938	38,8	47,6	48,0	50,6	62,8
1939	27,8	33,6	45,4	49,4	62,0
1940	18,0	50,0	78,0	103,1	112,7
1941	21,6	48,0	70,4	94,2	100,1
1942	14,0	33,0	52,0	71,2	80,2
1944	12,0	22,0	38,0	46,6	85,2
1945	20,0	52,0	88,0	107,4	113,8
1946	36,0	41,4	41,6	42,2	49,2
1947	20,0	47,8	65,0	98,4	119,8
1949	20,0	41,0	55,2	62,2	86,6
1950	22,0	28,0	44,2	53,0	66,4
1951	26,4	69,4	114,5	139,5	149,9
1952	60,0	89,4	89,8	89,8	94,6
1953	11,0	24,0	38,4	58,0	69,8
1954	12,0	22,6	31,0	47,0	66,0
1955	22,6	41,8	47,6	61,0	74,0
1956	34,0	39,0	54,0	70,0	77,6
1957	16,0	23,0	30,0	53,6	93,0
1958	24,0	36,4	42,0	48,4	60,0
1959	22,6	24,0	43,0	63,0	67,0
1962	21,0	27,0	47,4	69,6	78,6
1963	24,0	32,6	56,6	64,4	77,2
1964	22,0	31,6	40,4	53,8	83,4
1965	17,0	36,0	57,0	80,6	119,8
1966	17,8	22,0	41,4	47,0	55,2
1967	24,0	47,0	63,0	67,6	69,6

1968	19,0	34,4	47,0	59,4	68,4
1969	17,2	24,4	34,8	49,6	65,0
1970	20,0	34,0	52,8	56,0	64,0
1971	18,0	38,0	51,0	62,6	68,0
1978	13,0	27,6	43,6	52,6	69,6
1979	18,2	26,6	49,2	65,0	99,8
1980	10,8	17,2	24,6	38,0	62,0
1992	55,4	88,0	99,6	102,2	103,2
1993	35,8	35,8	53,4	77,2	80,0
1994	23,0	36,2	42,6	50,0	60,0
1995	26,0	39,6	63,4	87,4	97,0
1996	37,4	52,8	74,6	106,8	115,0
1997	22,0	29,8	50,6	77,4	99,6
1998	29,2	42,8	77,0	117,4	141,6
1999	43,0	54,4	57,8	67,2	77,6
2000	25,2	36,2	55,2	78,0	86,4
2001	27,4	37,0	44,4	50,8	53,8
2002	19,6	33,6	45,2	53,6	59,0
2003	24,2	37,0	51,2	51,2	69,8
2004	23,4	36,0	54,8	69,8	94,0
2005	20,8	29,0	45,8	55,4	64,0
2006	44,4	53,2	58,6	61,4	67,2
2007	25,0	41,4	54,2	105,4	125,4
2008	29,2	52,6	98,6	161,0	224,8
2009	19,0	39,8	62,8	88,4	149,4
2010	28,8	63,6	87,0	148,0	176,2
2011	19,6	28,2	41,6	62,6	70,8
2012	22,8	53,4	95,2	125,0	143,0
2014	29,8	50,8	85,8	129,6	179,0
2015	22,2	54,0	72,4	103,0	133,8

Tabella 4.2. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Rende, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1965	26,4	26,6	36,2	46,6	75,8
1966	15,2	25,8	48,2	68	81,8
1967	18,4	18,4	18,4	35	41,2
1977	23	32,2	49,6	74,4	86,6
1978	28,2	51,6	60,8	72	99,8
1979	14,8	30,4	37,6	58	111,8
1980	15,4	32,4	46,6	68,2	73,6
1981	15,6	32,6	59,8	97,2	106,3
1982	13,8	19,6	27,8	33	49,4
1983	15,8	37,8	60,2	77,4	106,6
1984	22,4	33,8	46,8	73,4	82
1985	32,4	54,6	61,2	70,8	73,8
1986	8,6	17,6	31,2	45,8	56,8

Tabella 4.3. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Cerisano, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
2003	14,2	19,0	21,2	21,6	25,0
2004	22,6	22,6	22,6	28,4	36,8

Tabella 4.4. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Domanico, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1939	22,8	30,6	41,4	51,4	70
1940	39	94	175,1	234,1	258,1
1941	18	50	87	108,7	131,9
1942	18	37,4	42	64	83,6
1946	17	22,4	40	56	68
1949	40	55,6	78	94,2	140,1
1951	40,6	84,6	135,1	189,1	198,7
1954	15	23	31	47,4	75,6
1955	30,4	34,2	44,4	50,6	60,6
1956	27	37	44,4	55	91,4
1957	18	30,4	47	73	129,1
1959	33,6	42,8	73	125,1	130,1
1960	19,6	40,6	60,6	114,5	147,5
1961	33,4	51,8	71,4	94,2	117,6
1962	24	40	75,2	97	116,8
1963	16,4	30	36,6	56	61,6
1964	20,4	47	66	83,2	128,5
1965	27,2	53	79	97,8	128,5
1966	43,6	51,2	94,6	142,7	172,5
1967	27	61	95	120,5	123,1
1968	25	59	85	96,2	102,3
1969	20,4	30	55	86	133,1
1970	25,2	41,2	69,2	76	89,6
1971	18	27,4	34	47	74
1972	16,2	35,8	56,6	71,2	101,6
1974	19,8	44,2	61,2	83,8	104,3
1975	17,4	26,8	51,6	70,6	82,4
1977	20,4	38	48,6	63,6	84,6
1978	42,4	55,8	59,4	86,2	113,6
1979	15,4	38,4	61,2	97,6	133,1
1980	40,4	49,8	49,8	63,2	89,2
1981	22,8	61,2	94,6	136,5	163,3
1982	22,2	48,4	77,4	96,2	124,1
1983	18,6	52,2	79,2	103,8	151,5
1984	18,6	31,6	55,2	92,6	96,2
1985	31	60	69,6	86	99,2
1986	18,2	34,8	63,4	82,2	82,2
1987	29,4	67,4	97,6	108,5	108,5
1991	21,4	27,6	34,2	52,8	57,8
1992	28,8	45,6	68	75,4	97,4

1993	15,2	28,6	34	45,6	64,6
1994	25,6	28,6	36,6	48	74,2
1995	16,8	26,8	46,8	71,8	89,6
1996	35,4	36,6	56,8	85	116
1997	24,8	34	44,4	63	94
1998	24,6	36,2	69	98,8	105,2
1999	23,8	33,2	45,4	65,2	81,4
2000	23,2	44,2	72	74,2	92,2

Tabella 4.5. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Cosenza, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1923	0	0	0	0	85
1926	0	0	0	0	77,3
1928	18	37	55,5	60,7	70,8
1929	30,6	30,8	30,8	34,5	56,5
1930	8,3	21	37,5	63,5	80
1931	19,4	23,8	39,4	58	76,2
1932	32,6	32,6	36,5	41,5	52,8
1933	19,5	33	40,5	55,2	69,2
1934	27,6	27,6	27,6	37,2	49,4
1935	23	26	33,2	49	61,4
1936	0	0	0	62	0
1937	12	28,4	41,8	48,2	56,2
1938	18,4	24,6	30,6	40,6	56,6
1940	16,4	32,2	44,4	62	71,6
1944	16	30	37	44,8	45,4
1945	30,8	34,8	0	0	102,8
1946	26	31,8	31,8	34,6	39,4
1948	40,6	43,8	43,8	43,8	45,4
1949	40	66	76	77,6	79,6
1950	28,2	28,2	31,2	42,2	45,2
1951	16	35	52	70,4	78
1952	18,8	29	35	45,4	76
1953	16	30	36,8	45,6	61,8
1954	10	17,6	25,4	42	57,8
1955	38	43,2	47,8	47,8	57
1956	20	31	43,6	57,6	66,2
1958	16	28	44	69,4	74,6
1959	21,4	48	71,4	119,3	122,6
1960	16	32,6	78	96,4	117,5
1962	16,4	31	49,8	53,4	68,4
1963	17	24	25,4	35,4	51
1964	13,6	29	39,4	52,8	66,2
1965	20	20	32	42,4	63
1966	23,2	35,8	50	71	83
1967	12	17	45,2	49,4	50,8
1968	15	28	42	56,4	64,2
1969	11	17	33	53,6	66,6
1971	10	16,4	24,2	28,4	49,2
1979	24,4	24,6	35,4	52,6	77

1980	7	14,8	26,2	43	71,2
1981	18,6	50,6	71	72	72
1982	15,6	28,8	41,4	54	63,4
1983	28,2	49,8	56,2	57,2	58,8
1984	32,6	46,6	46,6	46,6	59,2
1988	25,2	33,8	40,2	41,2	51,4
1989	12,6	27,2	38,8	40,8	42,4
1991	25,4	25,6	32	40,4	47,4
1993	16	21,8	35,8	57,4	58,8
1995	18,4	34	45,2	53,6	64,8
1996	25,2	25,4	29,8	43,2	67,6
1997	18,2	22	25,6	34,8	55,2
1998	18,8	23	38,2	44,6	67,4
1999	20,6	22,4	28,2	50,2	50,4
2000	22,2	26,2	30	41,4	51,2
2001	20,2	20,8	29,4	36,4	42,8

Tabella 4.6. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Tortora, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
2003	42,6	45,0	45,0	49,0	55,6
2004	37,0	39,2	43,2	64,4	79,6
2005	12,2	24,2	31,2	41,0	47

Tabella 4.7. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Aieta, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1968	25	37,4	54,8	75,4	111,5
1969	42	51	63,5	73	106,6
1970	32	49,2	50,6	52	64,2
1971	19	29,8	32,6	47,4	76
1979	36,8	46,4	58,8	76,6	78,8
1980	35,4	61,6	72,6	94,8	99
1981	11,4	24,2	36,4	43,4	43,6
1982	12	23	30,2	38,8	47,2
1983	18,2	36,2	39,8	61,2	88,4
1984	26	38	41,6	57,2	85,2
1985	9,6	28,8	46,8	54,8	66,8
1986	21,8	37,6	51,8	54,6	59,6
1987	14	25,6	33	46,2	57,8

Tabella 4.8. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Verbicaro Scalo, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1934	28	37,7	37,7	58,3	74,2
1935	57,6	79,8	92	103,8	128,1
1936	29,6	29,6	39,8	44,4	44,6

1937	39,8	45	48,8	51,2	65,6
1938	24,6	35,8	35,8	36,4	42
1950	24,2	34,8	35,4	44,2	56,4

Tabella 4.9. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Belvedere Marittimo, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1981	15,2	22,8	28,4	32,6	35,6
1993	20	21	21	41	46
1994	22	36,6	41	58,6	66
1995	8	14,6	28	45	46,4
1996	30	35	35	52	83,4

Tabella 4.10. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Cetraro Superiore, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1993	24,6	27,2	37	39,6	55,2
1994	27,8	36,8	42,6	50	56,4
1995	31,8	38,2	46	46,2	58,4
1996	12	18,6	27,8	44,8	67,8
1997	42,6	49,2	56,6	60,2	91,2
1998	23,8	24,2	29,8	38	59,8
1999	30,2	41,4	41,4	47,6	53,8
2000	22	29,6	33,8	51,2	69
2001	25,2	37,4	50,4	59	64,8

Tabella 4.11. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Guardia Piemontese, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1968	35	46	67,1	73,2	77,8
1971	21,4	24,6	30	34,8	47
1984	19	31,8	44,8	55,4	71,4
1985	18,4	26	45	71,8	93,4
1986	13,4	27,4	31,2	48,6	65,8
1987	22,6	36	58,6	71	77

Tabella 4.12. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Paola, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1945	30	40	51	69,6	81,8
1946	44,2	48,2	48,2	50,4	79,4
1947	34,6	34,6	35,4	44,4	67,8
1948	22	26,6	38,4	40,8	66
1951	41	44	58,6	58,6	77,2
1952	52	94	100,1	101,1	101,1
1957	18,8	22,6	23,8	43,2	61,6

1958	26,4	31	41	55,8	65
1959	26,6	31,8	43,6	62,2	70,2
1960	21	34	44	79	89,8
1961	32,4	33,2	49,6	53	54,8
1962	40,8	41	41,2	41,4	65,4
1963	32,2	38	40	47,8	81,2
1964	29	49	57	74,4	86,3
1966	40,4	42,2	46,4	85,4	93,2
1968	13,8	17	26	37,6	42,4
1969	31	51	51,4	51,4	57,2
1970	21,6	34,4	39,6	48,4	51
1971	23	26	31,8	33	48,4
1972	16,8	22,2	32,4	39,2	64,4
1974	25,4	38,6	49,2	51,8	55,6
1975	16,4	23,2	32,2	53,8	56,4
1977	37,8	38,4	48,4	53,6	57,6
1978	22	27,8	29,2	32,4	57,4
1979	10,8	26,8	31,6	50,4	61,2
1980	13	25,8	31,8	48,8	65,6
1981	14,2	30,2	44,8	66,8	93,6
1982	12,2	16,2	25,2	34,4	41,6
1983	29,4	35,6	38,2	40	40
1984	26,2	34,8	37,4	40	55,6
1986	31	45,6	66,6	69,8	69,8
1987	11	28,8	36	50	55,6
1988	41,8	52,6	58,2	69	74
1991	70	72,8	72,8	98,6	98,6
1992	13,8	21,6	24,2	26,6	46,6
1993	22,4	23	24,2	35,4	54
1994	27	27,2	31,8	43,4	54,6
1995	31,6	44	61	79	79
1997	16,6	18,6	26,2	35,4	42,6
1998	18,8	27,8	28	32,6	55
1999	33,6	42,2	46,6	47,8	64,2
2000	15,8	26,8	38	48	53,2

Tabella 4.13. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Fiumefreddo Bruzio, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1966	28,2	38,2	60,2	97	123,6
1969	19,6	37	41,2	54,3	80,4
1972	21,6	23,6	34,8	50	61,8
1977	14,4	18,8	20,8	31,6	35,4
1980	15,6	23	29	32,2	40,4
1982	30,4	40	40	40	44,6
1983	39,8	61,4	74,8	78,4	78,4
1985	60,8	97,8	112,8	121,3	121,3
1986	33,4	59,2	62,8	73	77
1988	19,8	22,6	25	38	48,2
1993	17,2	24,6	35,6	64,4	70,4
1994	31,6	37	37	37,6	49,2

1995	25,6	47,2	65,8	81,8	84,6
1996	38,8	42,2	42,2	50,6	66,2
1997	25,6	29,8	56,2	60,6	67,2
1998	27,2	34,2	43,4	59,4	62,4
1999	33	33	33	45,8	69,4
2000	34,8	56,6	56,6	56,6	58
2001	22	31,4	39,2	41,8	44,2

Tabella 4.14. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Amantea, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
2002	16,8	32,4	40,2	40,4	50,8
2004	17,6	26,4	33,8	45,2	76,0
2005	30,4	30,4	37,6	53,2	61,2
2006	26,4	32,4	44,6	59,4	73,6
2007	18,4	25,6	41,0	42,2	47,0
2008	36,8	52,8	66,2	69,8	80,0
2009	20,8	37,6	40,4	47,8	59,0
2010	34,0	74,0	76,6	84,4	119,8
2011	31,0	35,4	39,0	55,4	66,0
2012	17,6	30,6	52,4	60,6	66,6
2013	29,6	46,4	62,4	65,8	71,2

Tabella 4.15. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Aiello Calabro, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1966	31,4	47	61,2	91,6	114,8
1967	30,2	41	42	52,2	52,2
1969	14,5	27	31	57	70
1970	18	24,4	48	51	51
1972	26,8	44,8	59,4	88,4	111,6
1978	13,8	23,4	33,4	41	49,4
1979	13,8	22,4	30,8	41,6	59,2
1982	29,2	42,6	42,6	56,6	60,8
1984	39,2	58,4	58,4	58,4	72,6
1985	17	30,2	40,8	53	77,6
1990	18,2	18,2	24	37,6	52
1993	30,6	30,6	31	31	31,6
1995	22,6	36,8	49	70	71
1996	10,2	19,6	31,2	49	51

Tabella 4.16. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Capo Suvero, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1928	5	11,8	16,8	24	31,4
1929	18	19,5	20,5	24,5	44,5
1930	26,7	53,7	67,7	70,3	83,7

1932	17	18	22,5	41,5	60
1934	19,7	32,3	36,9	73,5	85,6
1935	15,4	18,4	22	25	34,8
1936	51,5	98,5	106,3	107,7	205,9
1937	29,6	36	40,6	61,2	68,2
1938	25,4	28,2	28,6	28,6	33,4
1939	31	35,4	39,2	46,4	63
1940	41,6	47,6	73,6	81,8	92,4
1941	14,8	17,8	23,6	43,2	48,4
1945	20,6	23,2	24,8	38	45,8
1946	39	43,8	70,2	75	81,6
1951	31	45	66,2	67,6	94
1953	20,6	28	35,4	49	80
1954	21	42	67	79	103,5
1955	40,8	47,8	51,8	88,4	112,5
1956	26	29,6	29,6	31,4	42,2
1959	20	30	44	49,8	57,8
1960	27	32,2	33	36,2	48,8
1962	20	21,4	29,2	30,8	35,4
1963	26,4	26,8	27,4	30,6	48,6
1964	27,6	32	35,8	41,8	51,6
1965	24,6	28,4	45	55,6	67,8
1966	32	50,8	55,6	58,2	61,2
1969	30,7	40,7	45	45,5	46,6
1970	32	44	57,4	61,2	61,2
1978	21	26,4	30,8	30,8	34
1980	23,8	36,2	55,6	60,6	81,4
1981	54,2	82,6	82,8	109,5	130,3
1982	21,4	30,4	30,4	37,4	51,8
1983	18,2	18,2	18,4	34,4	35,6
1987	23,2	36,8	37,2	47,8	50
1988	34,6	71,8	76,6	93,2	110,5

Tabella 4.17. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Sant'Eufemia – Lamezia, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1988	24	24,4	26,8	28,4	47,4
1991	12,4	18,2	26,4	32,6	47
1992	24,2	34,6	38	41,8	49,2
1993	13,6	27	32,6	44	46,8
1994	17	23	29	36,4	48,6
1995	24,8	27,8	32	32,4	36,8
1996	42,6	65,6	68,8	77,4	139,8
1997	23	30,8	30,8	44,8	50,2
1998	21,2	27,4	30,8	30,8	36,2
1999	31,2	36,4	53,6	54,2	65,6
2000	18,8	22,4	22,8	22,8	22,8

Tabella 4.18. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Lamezia Terme – Nicastro, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
2002	22,6	31,4	38,4	39,8	42,6
2004	20,2	27,2	32,8	37,8	47,0
2005	27,8	37,4	41,8	46,0	57,0
2006	25,8	39,6	45,6	62,0	66,0
2008	27,2	44,6	72,2	95,8	108,8
2009	20,6	30,2	35,2	42,6	66,4
2010	20,6	24,8	31,8	52,4	68,2
2011	13,8	17,8	28,8	34,8	37,4
2012	21,2	30,0	32,6	43,2	63,6
2014	16,0	27,6	48,0	59,2	68,2
2015	33,2	43,2	68,6	98,0	125,0
2016	18,2	21,2	29,0	29,0	36,6
2017	23,8	29,0	42,8	65,4	98,0
2018	33,6	66,6	111,0	131,6	131,6

Tabella 4.19. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Nicastro, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1925	0	0	0	0	125,1
1928	20	40	57,5	79	95,7
1929	35	55,3	56,6	60,3	70
1930	43,2	62,2	87,2	92,2	94,6
1931	12,4	24	43,2	71,3	99,5
1932	0	0	58	0	0
1933	14	27,5	36,2	39,2	58
1934	22,8	40	50	59,5	86,4
1935	20,2	28,4	40,2	54,6	61,4
1936	48,8	84	93	114,5	116,3
1937	31,6	56,6	82	119,3	132,9
1938	19	21	25,6	36,2	52
1940	21	60	115,5	148,7	160,5
1941	27	39,6	44,4	56,2	66,8
1944	53	120,1	154,1	161,9	178,7
1946	14,2	31,2	33,6	50,4	61,8
1947	38,8	0	0	0	0
1949	38	51,3	68,2	97,2	103,5
1955	58	61,2	61,4	61,4	61,4
1958	46,4	46,6	46,6	46,6	46,6
1960	33	41	44	46,7	53,6
1962	20,3	20,6	23,3	42,6	54,7
1963	41	42,3	42,3	47,2	47,2
1964	23	24,3	37,6	39	64
1965	24,8	24,8	33,3	58	64,2
1966	50	61,3	74,4	103	149
1967	27,1	28,8	55,2	68,5	69,2

1968	43,3	48,2	51,2	57,2	57,2
1969	20	26,6	37,2	58	59
1971	16	20,8	24,6	35,2	57

Tabella 4.20. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Decollatura, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1929	34	0	0	0	0
1930	19,2	28,4	42,5	62	77,6
1931	13	31,5	61	98,7	112,3
1932	30	53,5	92	119,1	121,1
1933	43	44,4	45,6	50	84
1934	18	21,1	24,6	32	57,8
1935	31	33,6	46	64	69,2
1936	38,8	52,4	68,4	117,5	151,6
1937	15,2	25,4	48	72,8	88,6
1939	30	42	47,2	52,6	64,8
1940	19,4	36	61	92,2	114,1
1941	19	33	57,2	76,4	87,6
1942	14,4	30	43	71	111,1
1943	59,6	62,8	73,6	80,6	85,8
1944	51	115,7	148,3	155,9	172,1
1945	18,2	44	62	98	130,1
1946	0	0	0	91	140,1
1947	40,2	43,2	0	0	0
1948	34,5	0	0	0	0
1949	33	51,8	53,4	70	93,4
1950	27	33	40	54	97
1952	13	23,8	33,6	46,4	74,8
1953	22	34,2	48	67	107,1
1954	17	21	28,6	47	76
1957	60	93,6	106,3	109,1	116,7
1958	50	53,4	56	69	85,2
1959	72	97	112,1	153,9	175,7
1960	16,4	31,6	48	92,6	128,7
1961	24	50	77,6	102,1	107,8
1962	34,2	36,8	54,2	68,6	77,8
1963	29	35,4	47	59,6	90,4
1964	20,2	23,4	32,2	65,4	90,8
1965	34,8	43,4	45	66,6	94
1966	71,4	75,8	78,6	119,6	154,1
1967	20	43	61,2	74,6	79,8
1968	19	40	66,2	73,2	76,6
1969	20,9	29,5	31,7	88,5	98,2
1970	24	39	62	66,6	66,6
1971	34	35,6	35,6	48	53,4
1972	21,6	31,8	43,4	64	78,8
1973	23,4	42,8	50,4	66,8	74,8
1974	14,6	33,6	55,2	97,2	101,5

1978	14,4	22	29,6	42	56,8
1980	14,2	26,8	41,2	55,2	63,8
1981	20	30,6	55,4	57,8	93,6
1982	14,8	27	38,8	46,4	56,2
1983	28,6	35,4	40	56	71,4
1984	8	14,4	19,8	30	40,8
1985	20,4	33	44	48,8	48,8
1986	14,8	34,2	53,4	66,4	0
1987	17,8	31,2	42,4	48,2	50,2
1988	9,4	19	19	28,8	48,6
1990	8	13	22	41	77
1993	8	11	19,4	35	64
1995	17	58	90,4	94,4	107,5
1996	20	40	45,4	57	83

Tabella 4.21. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Nicastro – Biella, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1992	23.6	31.6	45.8	61.4	82.8
1993	25.6	33.4	43.4	69.6	108
1994	30	30.4	31.8	48	78.4
1995	27	31.2	33	33.4	37.6
1996	29.8	46.8	72.6	87.2	98
1997	36.4	40	40.2	50.6	76
1998	22.2	30.6	54	77.4	87
1999	23	45	55.4	61.6	96
2000	42.2	64.2	65.4	67.4	104

Tabella 4.22. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Carlopoli, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1954	26,4	27,8	35	65	105,8
1955	30	40,4	55	63	67,8
1956	43	56	57	61,4	87
1958	36,6	46,4	79	100,1	114,8
1959	63	112,1	162,1	180,1	266,9
1960	60	73,4	75,4	80,4	84,2
1961	47	53,6	60	91	106,3
1962	16,4	20,6	23,8	37,4	63,2
1963	34,2	40,6	59,6	81,2	83,6
1964	28,6	28,8	44	73,4	97,4
1965	32,2	40,2	40,2	42,1	49
1966	24	25,4	31	43,6	56,2
1967	24	24	25	38,6	45,8
1972	22,2	42,4	66	88	158,5
1974	18,2	31,2	55,6	86,2	120,6

1977	6,4	14,8	24,2	31,6	42,2
1978	18	34,6	49,2	60,8	93,8
1979	7,2	21,2	33,8	51,4	66,2
1981	5,8	15,4	23,4	43,2	59
1983	18,4	33	36,6	48,6	76,2
1984	14	26,4	45,2	61	87,6
1985	19,4	41,4	72,4	131,5	169,7

Tabella 4.23. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Torre Mezzapraia, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1930	86	134,6	134,6	134,6	134,6
1932	21,5	35,5	46	56	86
1934	29	41	41,2	51,6	62,3
1935	41	46,2	46,4	46,4	53,4
1936	24,6	32,5	42,6	55,8	65,5
1937	20	27,2	35	62,4	70
1938	24,8	29,4	30,8	44	56,6
1946	34,6	52	52	59,2	60,8
1949	24,8	26,2	27	37	54,8
1950	36,6	39,8	39,8	40,4	42
1951	30	49,6	51	58	59,2

Tabella 4.24. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Filadelfia, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1990	30,6	45,6	47	47,6	57
1995	19	39,4	53	60	70
1996	24	49	72	83,4	90,4
1997	32,6	36,6	45,4	64,6	80

Tabella 4.25. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Pizzo Calabro, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1964	43,2	48,8	55,6	60,6	61,6
2004	26,4	32,4	34,6	34,8	38

Tabella 4.26. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Vibo Valentia, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1920	0	0	0	0	119,1
1921	0	0	0	0	115,5
1923	0	0	0	0	100,7
1928	29	47	52,5	77,2	88,2
1930	60	120,6	120,8	129,2	130
1931	34,6	46	50,8	68,2	69,6
1932	25	27,5	34,5	54,5	82
1933	26,8	29,2	29,2	36,5	48,5
1934	34,5	46,4	73,5	116,1	142,9
1936	21	33,2	53	77,4	83,8
1937	15,6	25,6	28	47,8	55
1938	49	108,1	164	277,1	328,1
1941	24,2	26,8	37	42,8	52,2
1942	21	21,8	21,8	31	44,4
1945	22,8	27	42,6	45,8	50,4
1946	16	21,6	23	48,6	51
1951	33	65	84	101,1	101,1
1952	29,6	29,6	34	58	68
1954	0	0	0	48	85,6
1958	34	55,6	73,2	77,2	79,2
1959	32	63	100,1	121,3	142,1
1960	18,6	23,6	33	46,4	58,2
1961	27	34,8	44	59,2	78
1962	22,6	24,4	26,6	35,2	44,6
1963	24,2	32,2	39	40	48,8
1964	31	32,4	34,4	39,4	54,4
1965	20	37,5	52,4	60	78,6
1966	23,8	25,8	32,8	41	42,2
1968	27,4	28,8	32,8	37,8	38,2
1969	10,8	15,6	19,6	25,5	47
1971	19,6	19,6	20,8	26	60
1972	30,8	38,2	43,6	53,4	56
1973	25,2	42,6	42,6	46,4	54,2
1974	10,2	17	28,6	38	48,6
1977	23,6	37,6	45,4	54,4	54,4
1978	39,4	47	51	51	53
1979	30	51,8	52,6	56,4	56,4
1980	32,4	57,6	83,8	84,6	85,2
1982	20,8	30,6	40	62,6	89,4
1984	18,2	37	38,8	65,4	96,8
1985	8,2	14,4	25,4	38	44,4
1986	16,2	24,2	29,6	44	50,8
1987	18,2	37	37	38,6	42,6
1990	12,4	20	25	37	44
1993	23	30	30	35	48,4
1994	11	19,6	28,4	29	31
1995	12	13,6	25	31	61,4
1996	11	17	22,4	37	63

1997	23,4	23,4	23,4	42	57,4
2000	21,2	35,1	38	40,8	58,1

Tabella 4.27. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Tropea, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1917	0	0	0	0	80
1931	0	0	0	0	74
1932	16,5	23,5	27,5	47,5	78
1933	14,5	28,5	30,4	35,2	40,5
1934	13,5	19,9	25	39,5	63
1935	25,8	0	0	0	0
1936	17,8	27,5	33,4	41,4	61,4
1937	23,4	41,2	41,2	41,2	41,2
1938	13	19,8	19,8	28,2	28,2
1940	24,8	27,4	30,2	30,4	44,4
1941	15,2	20,6	25,8	26,6	37,2
1943	24,6	32,6	46	64	65,8
1945	28	0	0	0	0
1946	25,6	0	0	0	0
1948	0	0	40	47,8	0
1949	31	32	32	38,2	41,8
1950	16,4	21,2	33,6	33,6	33,6
1951	27	41	55,6	58	63,6
1953	32	38,2	38,4	42	64,4
1955	43	58	68	68,4	68,4
1956	36	42,4	57,6	61,2	61,2
1957	0	0	0	0	63,6
1964	39	39	39	39	41,6
1965	36,2	36,2	41,6	53,8	61,4
1966	24,4	34,6	45,2	61,4	69,6
1967	14,2	14,2	38,4	50	53
1969	32,6	32,6	32,6	52	56
1972	43,8	77,6	93,4	97	114,3
1975	17,2	20,6	30,6	39	39
1978	7,6	16,4	23	29,4	29,8
1980	13,6	24,8	31	47,8	64,4
1981	16	26,4	34,6	42	58,2
1982	61,6	91,8	91,8	91,8	91,8
1983	14,4	23,6	28,8	31,4	39,2
1984	15,2	25,8	25,8	43,4	74,2
1985	12,4	23,4	31,4	41,6	48,4
1986	14	22,8	32	45,2	49
1987	31,4	34,2	38	42,6	45,4
1992	14	30,2	34,8	35	43,6
1993	32,6	37,2	37,2	37,2	49,2
1995	23,8	23,8	23,8	32,2	36,6
1996	32	36,4	42,4	69,2	107,2
1997	22,2	32,6	37	38,2	42,4

1998	44,4	44,6	44,6	44,6	58,2
1999	21,4	25,2	28,8	36,8	43,2
2000	34,4	45,8	50,6	57,8	63,2
2001	11,6	21	30,6	33,2	39,2

Tabella 4.28. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Capo Vaticano, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
2002	17,2	25,8	30,0	30,8	43,8
2003	25,0	35,6	51,2	52,2	55,8
2004	27,0	40,8	41,4	41,6	48,2
2005	34,0	39,8	47,4	55,8	55,8

Tabella 4.29. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Joppolo, ricadente nell'area omogenea T3.

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
2003	50,4	65,2	83,0	84,8	85,4
2004	30,8	45,0	50,4	65,2	65,2
2005	46,4	90,4	103,0	103,8	103,8
2007	22,2	34,2	40,8	48,0	60,2
2008	25,2	31,0	44,4	65,6	79,2
2009	27,0	48,8	49,0	69,8	73,4
2010	16,6	30,4	46,4	71,2	96,8
2011	15,6	22,2	34,8	46,2	47,8
2012	51,2	51,8	55,8	70,4	70,8
2013	22,0	44,4	52,0	67,6	77,2
2014	24,4	27,4	39,2	56,0	70,4
2015	21,0	35,2	42,0	45,8	50,2
2016	36,0	59,8	62,0	70,0	79,6
2017	29,4	40,2	40,8	50,4	73,6

Per le 13 aree omogenee è possibile ricercare un legame di correlazione multipla tra il valor medio delle intensità di pioggia massime annuali di breve durata, μ_i, la durata della pioggia, t, e la quota sul mare della stazione di misura, H. Partendo dall'espressione:

$$\mu_i(t,H) = \frac{i_0}{\left(1 + t/t_{car}\right)^{C+D\cdot H}} \tag{8}$$

in cui i_0 è il valore finito dell'intensità di pioggia per durate tendenti a zero, t_{car} è una durata caratteristica che rende massimo il coefficiente di correlazione multipla, C e D sono dei coefficienti.

Trasformando l'espressione (8) in forma logaritmica:

$$\log \mu_i(t,H) = \log i_0 - C\log(1+t/t_{car}) - D\cdot H\log(1+t/t_{car}) \tag{9}$$

si ottiene la seguente espressione lineare:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 \tag{10}$$

con $Y=\log\mu_i$, $A_0=\log i_0$, $A_1=-C$, $X_1=\log(1+t/t_{car})$, $A_2=-D$, $X_2=HX_1$. Attraverso un'operazione di regressione lineare multipla, si possono stimare i coefficienti A_0, A_1 e A_2, in modo da risalire a i_0, C e D.

Per l'area omogenea dell'Alto e Medio Tirreno (T3), in cui ricade il bacino del Torrente Ferrara, partendo dai dati riportati nelle Tabelle 4.1÷4.29, sono state ricavate, per ogni stazione con numero di anni sufficientemente elevato e per ciascuna durata, la numerosità del campione, N, e le medie dei massimi annuali delle altezze di pioggia, μ_h, e delle relative intensità, μ_i, Attraverso la regressione multipla, si è pervenuti alla seguente espressione media per le aree omogenee T3:

$$\mu_i(t,H) = \frac{119{,}717}{(1+t/0{,}061)^{0{,}65231-0{,}0001026\cdot H}} \tag{11}$$

Essendo già stati stimati i parametri $\Lambda^*(t)$, $\theta^*(t)$ e $\Lambda_1(t)$ (Tab. 3), ciò consente di caratterizzare completamente la CDF della distribuzione TCEV.

Infatti, nota l'altitudine media di ciascun bacino, si ottiene la media $\mu_i(t)$ in funzione della sola durata e, di conseguenza, la media delle altezze di pioggia massime annuali di breve durata, $\mu_h(t)=\mu_i(t)\cdot t$, da cui si ricava $\theta_1(t)=\mu_h(t)/\eta(t)$, essendo:

$$\eta(t) = \ln[\Lambda_1(t)] + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty}\frac{(-1)^j[\Lambda_*(t)]^j}{j!}\Gamma\left[\frac{j}{\vartheta_*(t)}\right] \tag{12}$$

Al terzo livello di regionalizzazione, partendo dall'espressione (18) si può pervenire alla stima di $\theta_1(t)$, al variare della durata della pioggia, per ciascun bacino dell'area T3.

La procedura di calcolo al terzo livello di regionalizzazione prevede, pertanto, la scelta di un valore del tempo di ritorno, T, la valutazione della probabilità di non superamento a esso legata, F(T)=1-1/T, e il calcolo di $x_T=h_{t,T}$ dalla CDF della TCEV, massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata t per un fissato tempo di ritorno, sono state ricavate le curve di probabilità pluviometriche per i diversi tempi di ritorno interpolando le altezze di pioggia $h_{1,T}$, $h_{3,T}$, $h_{6,T}$, $h_{12,T}$ e $h_{24,T}$. I risultati del calcolo, per i valori del tempo di ritorno T = 50, 200 e 500 anni, sono riassunti in Tabella 5, in cui sono mostrate le relative frequenze di non superamento, F(T), e i massimi annuali delle altezze di pioggia relative a 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Tabella 5. Stima delle massime altezze di pioggia di durata oraria per diversi tempi di ritorno.

T (anni)	F(T)=(T-1)/T	h_1(T) (mm)	h_3(T) (mm)	h_6(T) (mm)	h_{12}(T) (mm)	h_{24}(T) (mm)
50	0,9800	61,00	84,44	102,67	127,28	156,57
200	0,9950	81,30	111,07	135,23	164,66	200,48
500	0,9980	95,60	129,60	157,04	190,28	230,56

In Figura 16 sono rappresentate, le curve di probabilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, le espressioni analitiche (leggi di potenza della forma $h_{t,T}=a_T \cdot t^{n_T}$, con $h_{t,T}$ in mm e t in ore) e i coefficienti di determinazione, R^2. Noti i parametri della curva di pioggia, a_T e n_T, a prefissato tempo di ritorno, vengono riportate di seguito le espressioni delle curve di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno di riferimento:

$$h_{t,50} = 61{,}00 \cdot t^{0{,}296} \quad (13)$$

$$h_{t,200} = 81{,}30 \cdot t^{0{,}284} \quad (14)$$

$$h_{t,500} = 95{,}60 \cdot t^{0{,}277} \quad (15)$$

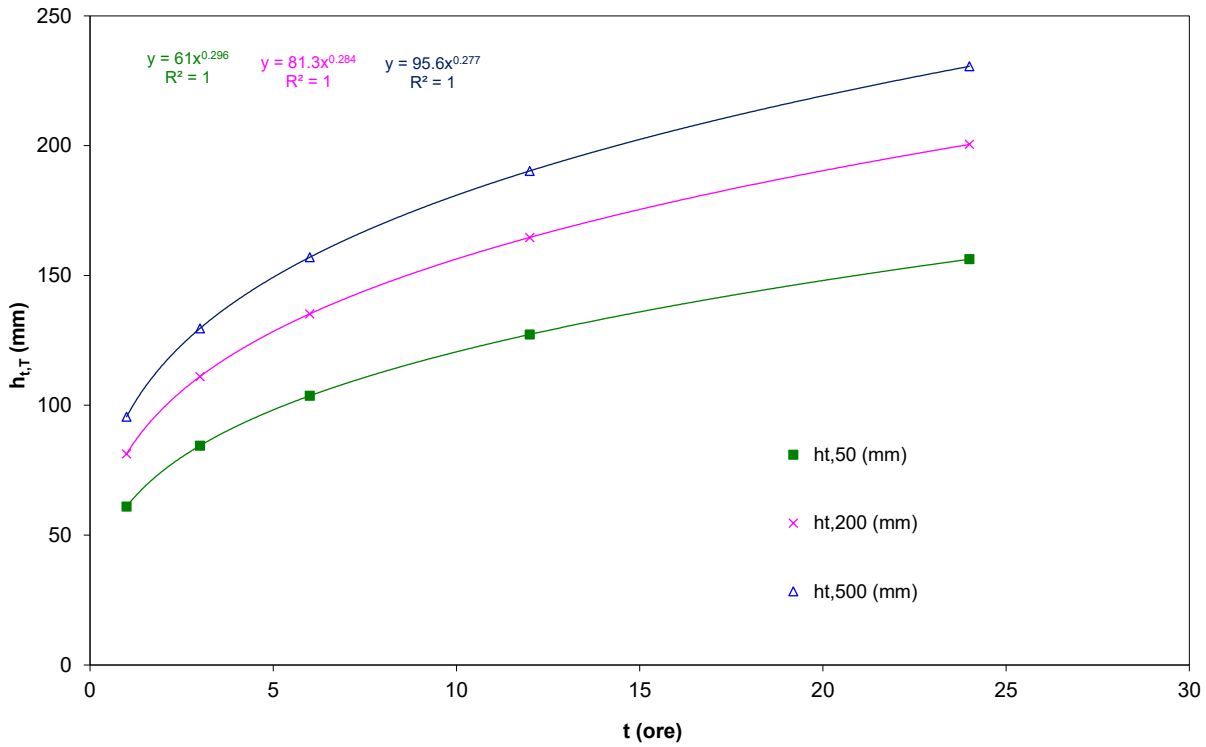


Fig. 4. Curve di probabilità pluviometrica per il bacino in esame del Torrente Ferrara calcolata al terzo livello di regionalizzazione.

Al fine di considerare la condizione più gravosa, sono state calcolate le curve di probabilità pluviometrica inerenti alle serie storiche della stazione di Montalto Uffugo, posta all'interno del bacino del Torrente Ferrara e avente un numero di anni di osservazione sufficiente per effettuare un'analisi statistica al primo livello di regionalizzazione.

I risultati del calcolo, relativi alla stazione di Montalto Uffugo, per i valori del tempo di ritorno T = 50, 200 e 500 anni, sono riassunti in Tabella 6, in cui sono mostrate le relative frequenze di non superamento, F(T), e i massimi annuali delle altezze di pioggia relative a 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Tabella 6. Stima delle massime altezze di pioggia di durata oraria per diversi tempi di ritorno calcolati al primo livello di regionalizzazione per la stazione di Montalto Uffugo.

T (anni)	F(T)=(T-1)/T	h_1(T) (mm)	h_3(T) (mm)	h_6(T) (mm)	h_{12}(T) (mm)	h_{24}(T) (mm)
50	0,9800	53,64	82,88	109,04	143,50	188,82
200	0,9950	70,40	107,70	140,84	184,17	240,83
500	0,9980	82,30	125,08	162,88	212,11	276,22

In Figura 5 sono rappresentate, le seguenti curve di probabilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, assieme ai coefficienti di determinazione, R^2:

$$h_{t,50} = 53{,}64 \cdot t^{0{,}396} \quad (16)$$

$$h_{t,200} = 70{,}40 \cdot t^{0{,}387} \quad (17)$$

$$h_{t,500} = 82{,}30 \cdot t^{0{,}381} \quad (18)$$

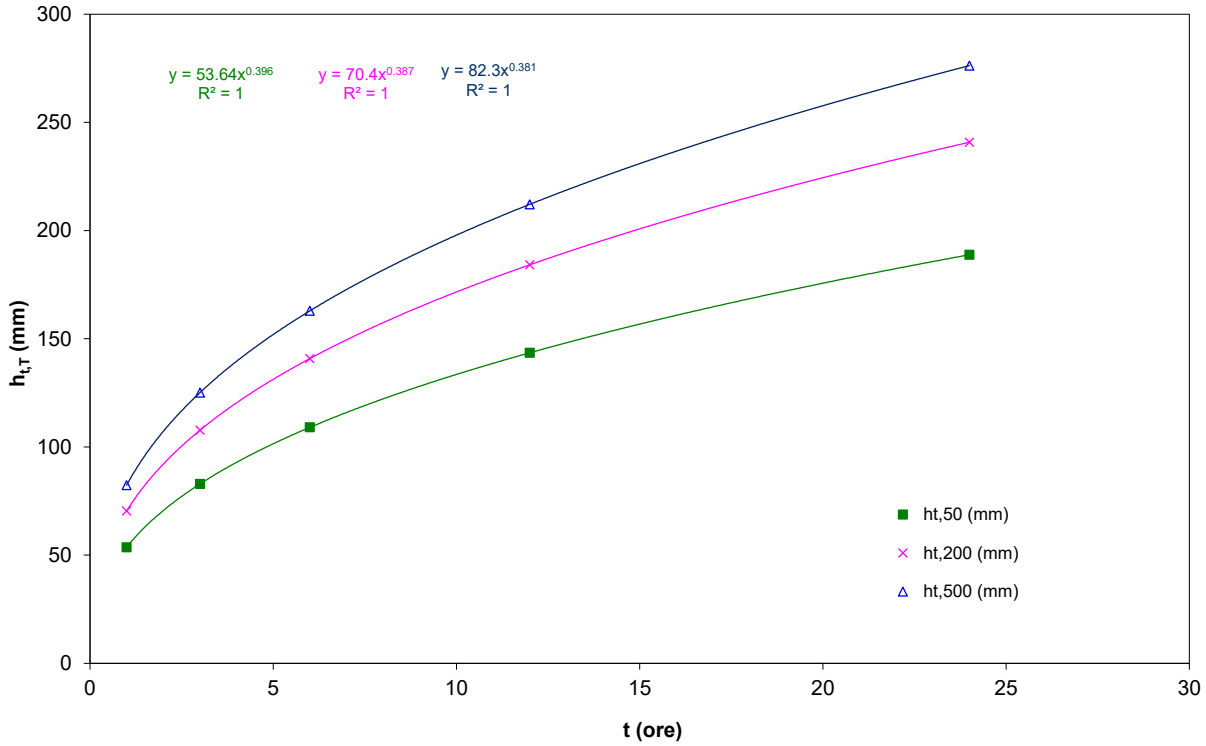


Fig. 5. Curve di probabilità pluviometrica per il bacino in esame del Torrente Ferrara calcolata al primo livello di regionalizzazione per la stazione di Montalto Uffugo.

Dal confronto tra le curve di probabilità pluviometriche stimate al terzo e al primo livello di regionalizzazione, per i diversi tempi di ritorno, nel caso del Torrente Ferrara è emerso che la condizione più gravosa è quella relativa al III livello, cui si farà d'ora in poi riferimento.

1.6.3. *Pluviogrammi di calcolo*

I pluviogrammi di calcolo, che costituiscono il principale dato d'ingresso del metodo afflussi/deflussi, sono stati costruiti a partire dalle altezze di pioggia cumulate, $h_{t,T}$, e parziali, $\Delta h_{t,T}$, stimate attraverso le curve di probabilità pluviometrica, ricavate al III livello di regionalizzazione, a intervalli di 10 minuti.

Al fine di ottenere pluviogrammi a un solo picco, come i classici pluviogrammi sintetici *Chicago* e *Wallingford*, si è adottato il metodo di composizione, riordinando gli incrementi di pioggia, $\Delta h_{t,T}$, in modo da presentare un picco centrale e un andamento a campana.

Nelle Figure 6÷8 sono mostrati i massimi pluviogrammi di calcolo che sono stati ottenuti considerando le curve di probabilità pluviometrica stimate al terzo livello di regionalizzazione per T=50, T=200 e per T=500.

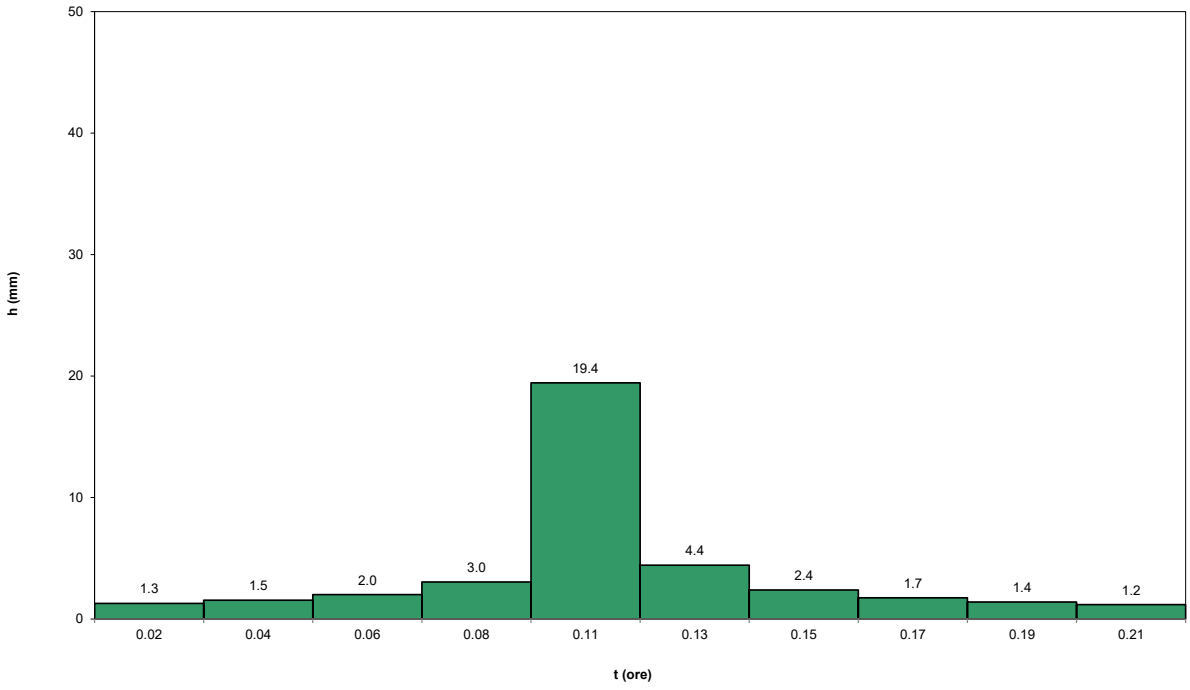


Fig. 6. Pluviogramma di calcolo per T=50 anni.

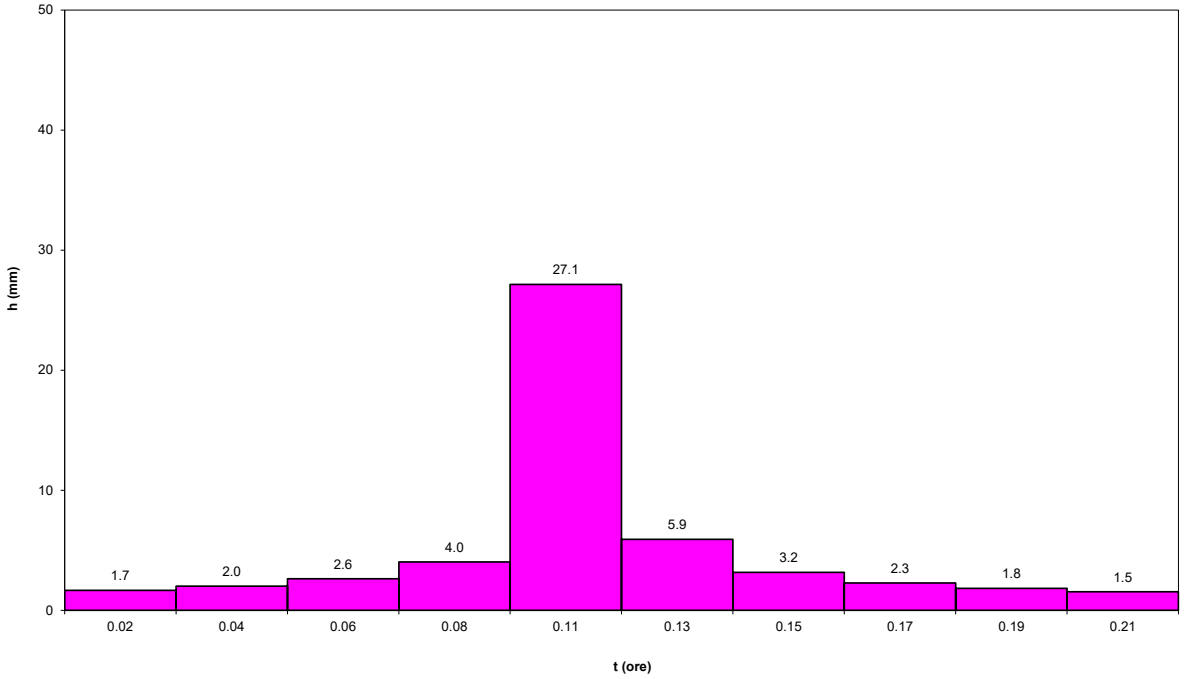


Fig. 7. Pluviogramma di calcolo per T=200 anni.

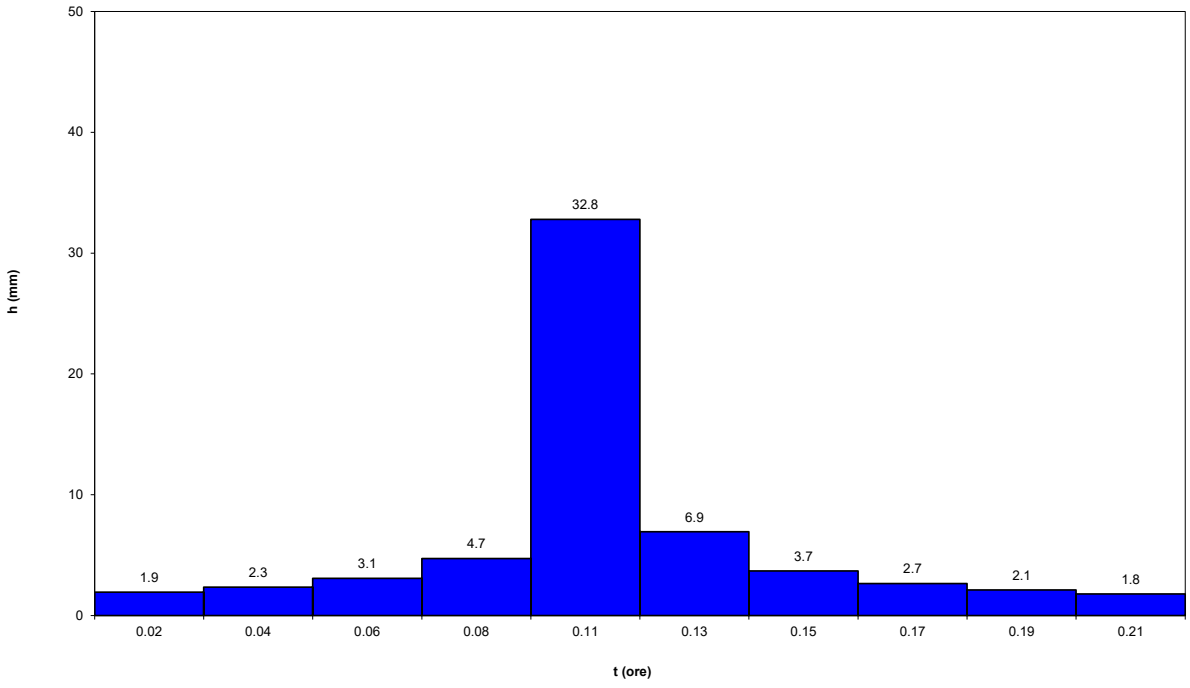


Fig. 8. Pluviogramma di calcolo per T=500 anni.

1.6.4 *Ricostruzione degli idrogrammi di piena mediante modello afflussi/deflussi*

Per la trasformazione degli afflussi meteorici (pluviogrammi di calcolo) in deflussi superficiali, si è utilizzata la procedura del *Soil Conservation Service* (SCS).

Gli afflussi vengono considerati, a vantaggio di sicurezza, uniformemente distribuiti sull'intero bacino. Dapprima essi vengono depurati per ottenere le piogge nette; infatti, non tutto il volume affluito si trasforma in deflusso, poiché parte di esso viene intercettata dalla vegetazione, parte evapotraspira, parte s'invasa nelle piccole depressioni superficiali del suolo e parte s'infiltra nel terreno.

Il calcolo delle piogge nette è stato effettuato col metodo del SCS detto del *Curve Number* (CN), Partendo dall'equazione di continuità:

$$R=P-S \tag{19}$$

in cui, all'istante t, R (mm) rappresenta l'altezza d'acqua complessivamente defluita, P (mm) l'altezza di pioggia affluita e S (mm) le perdite, si ipotizza la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite, S, e la massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$S/S'=R/P \tag{20}$$

ottenendo:

$$R=\frac{P^2}{P+S'} \tag{21}$$

Considerando una perdita iniziale, I_a (mm), *initial abstraction*, antecedente all'inizio dei deflussi, risulta:

$$R=\frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S'} \tag{22}$$

Poiché l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione, S', è esprimibile in funzione dell'indice CN, variabile tra 0 e 100 e tabulato dal SCS in funzione del tipo di terre-

no, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità, secondo la formula:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{23}$$

Il deflusso R è ricavabile, nota l'altezza di pioggia, se si conoscono i valori di I_a e CN,

Per la stima di I_a, il SCS suggerisce la relazione empirica I_a=0,2S', ma Wisner ritiene più cautelativo porre I_a=2÷3 mm.

La trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali è stata effettuata adoperando il metodo dell'idrogramma unitario del SCS, che richiede come unico parametro d'ingresso il tempo di ritardo, t_{lag} (ore), pari all'intervallo di tempo che separa i baricentri del pluviogramma efficace e dell'idrogramma, Si può porre t_{lag}=0,6·t_c, essendo t_c il tempo di corrivazione del bacino.

L'istante e la portata di picco sono espressi come segue:

$$t_{picco} = 0{,}5\Delta t + t_{lag} \tag{24}$$

$$Q_{picco} = 484\frac{A}{t_{picco}} \tag{25}$$

essendo t_{picco} (ore) il tempo cui si manifesta il picco dell'idrogramma, Δt (ore) la durata della pioggia netta, Q_{picco} (cfs/in) la portata massima dell'idrogramma riferita all'unità di pioggia e A (m^2) l'area del bacino.

La portata è ottenuta con la seguente espressione, che rappresenta la discretizzazione dell'integrale di convoluzione:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^{i} U(j)P(i-j+1) \tag{26}$$

dove Q(i) è la portata alla fine dell'intervallo i-esimo, U(j) è la j-esima ordinata dell'idrogramma unitario e P(i) è l'afflusso netto all'intervallo i-esimo.

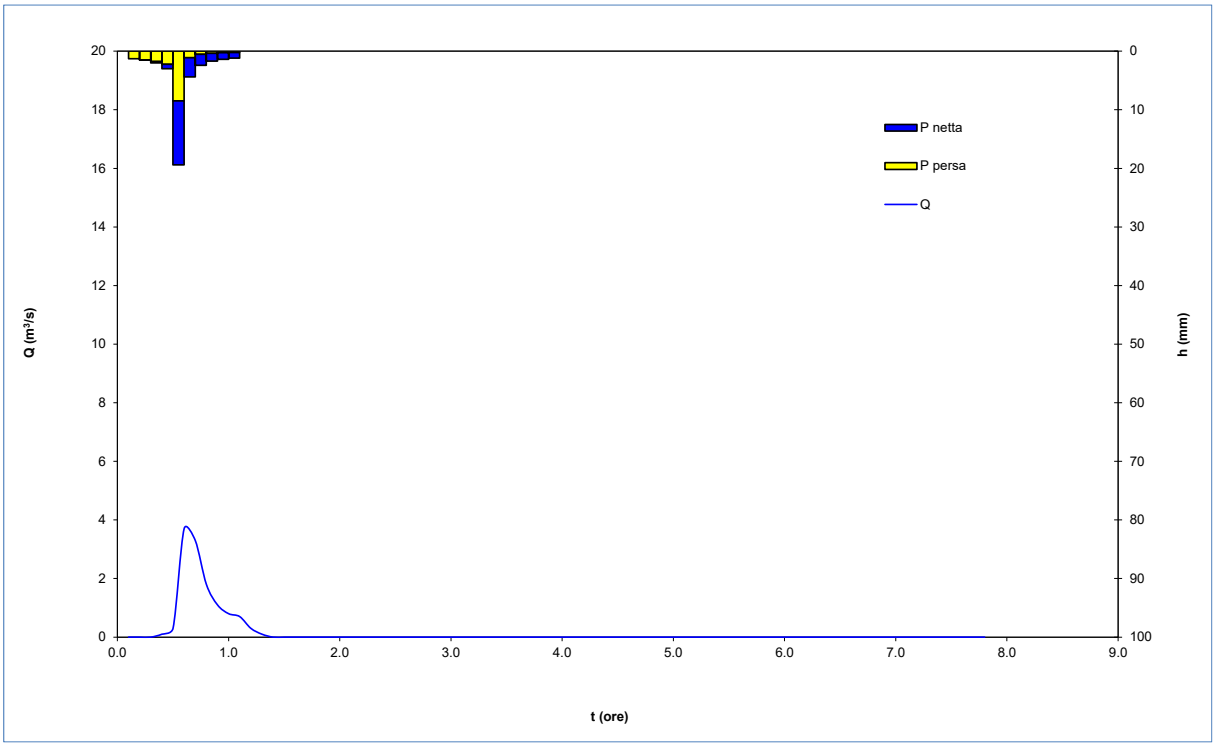
I dati d'ingresso, per le applicazioni presenti, sono stati i pluviogrammi di calcolo determinati per i diversi tempi di ritorno, un tempo di ritardo t_{lag}=0,6·t_c, una depurazione iniziale delle

piogge I_a=2 mm e un numero di curva CN=90, Riguardo a quest'ultimo valore, esso è stato scelto ritenendo, cautelativamente, "umide" le condizioni antecedenti di umidità del suolo (*Antecedent Moisture Conditions*, AMC, di tipo III, secondo la classificazione delle tabulazioni del SCS) e considerando i suoli stessi con potenzialità di deflusso moderatamente/molto alta, Tale scelta è avvalorata dalle indicazioni della carta delle caratteristiche di permeabilità del P,A,I, della Calabria nell'area in esame.

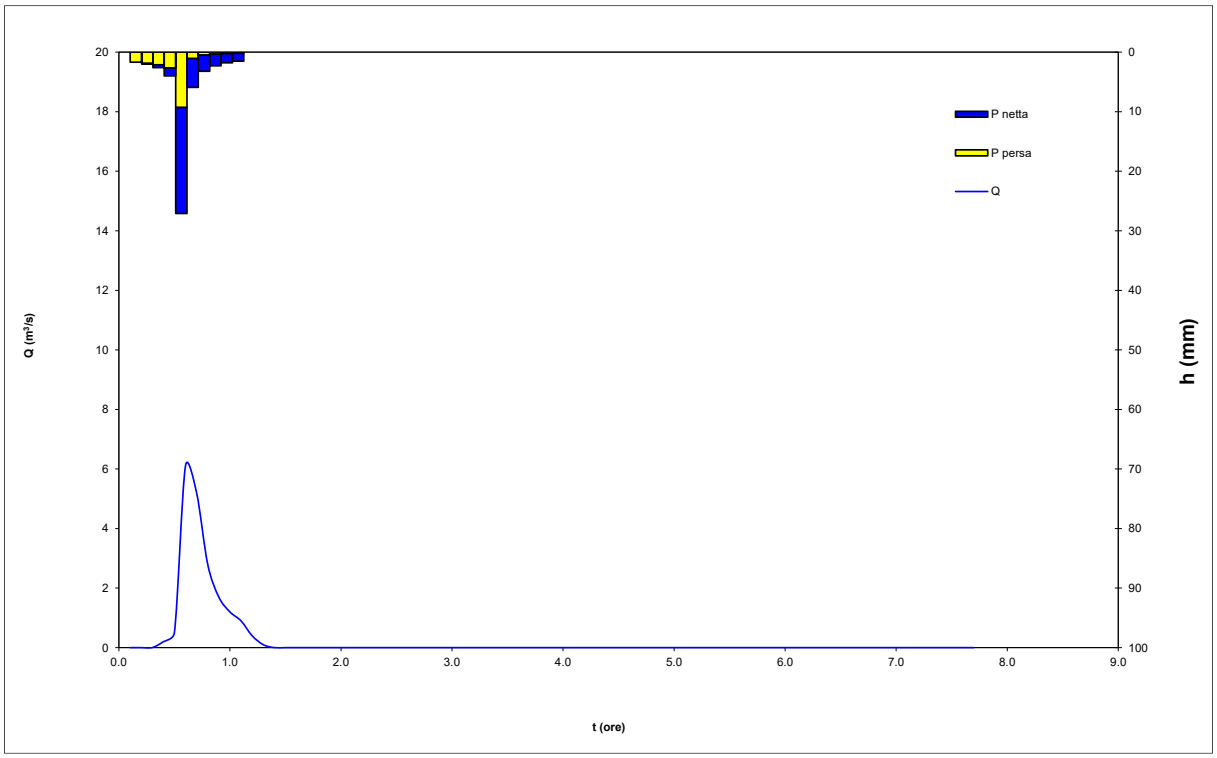
Partendo dai pluviogrammi ottenuti al terzo livello di regionalizzazione, sono stati ricavati gli idrogrammi di piena di cui alle Tabella 7 e alle Figure 9÷11, in cui sono mostrati i valori dell'altezza totale di pioggia netta, P_{netta}, della massima portata al colmo di piena, Q_c, del contributo unitario, $q_c=Q_c/A$, del volume defluito, W_Q, del volume affluito, W_P, e del coefficiente di afflusso, $C_a=W_Q/W_P$.

Tabella 7. Valori caratteristici degli eventi di piena calcolati.

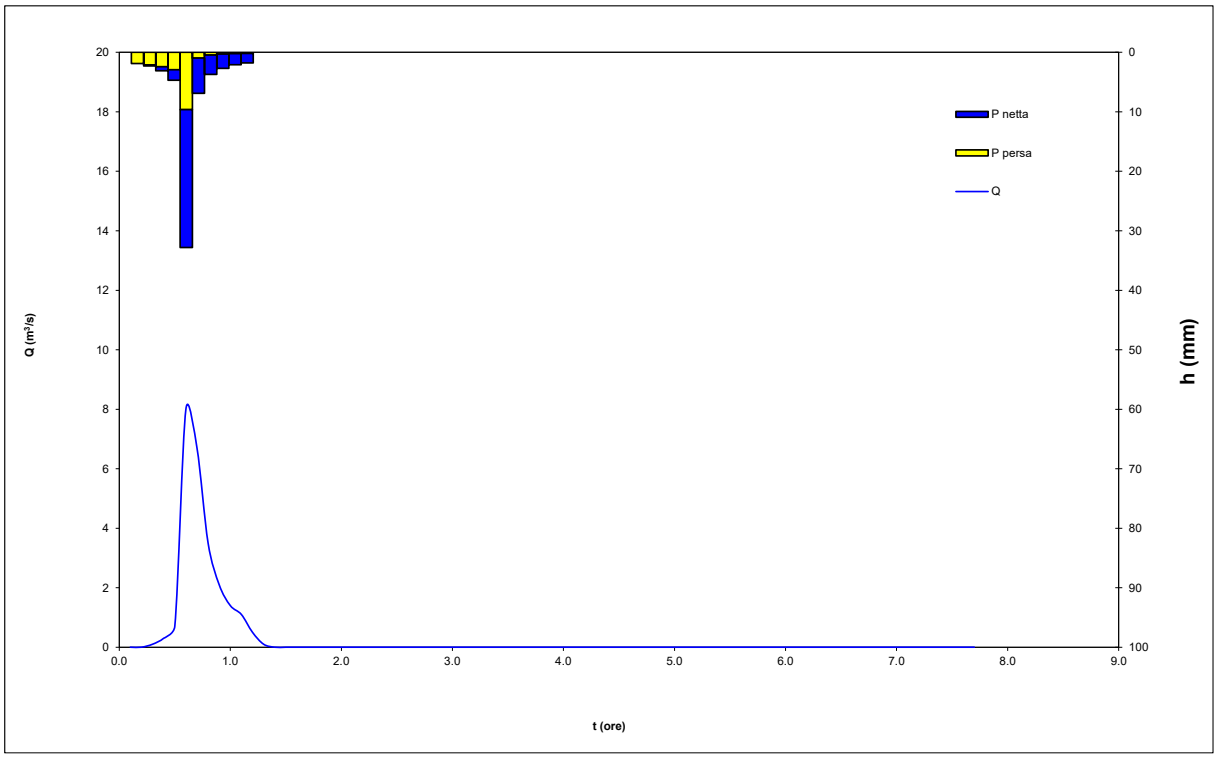
T (anni)	P_{netta} (mm)	Q_c (m^3/s)	q_c ($m^3/s/km^2$)	W_Q (10^6m^3)	W_P (10^6m^3)	C_a
50	20,44	3,70	10,28	0,004	0,014	0,32
200	32,05	6,10	16,94	0,007	0,019	0,37
500	40,82	8,00	22,22	0,009	0,022	0,40



Fig, 9. Pluviogramma efficace e idrogramma di piena per T = 50 anni,



Fig, 10. Pluviogramma efficace e idrogramma di piena per T=200 anni,



Fig, 11. Pluviogramma efficace e idrogramma di piena per T=500 anni,

Si osserva che i contributi unitari presentano valori adeguati a quanto riscontrato in letteratura per piccoli bacini.

1.6.5 *Stima della massima portata al colmo di piena mediante metodi empirici, semi-empirici e analitici*[6]

Le formule empiriche forniscono la massima portata al colmo di piena in funzione di soli parametri morfometrici del bacino.

Formula di Scimemi:

$$Q_c = A \cdot \left(1 + \frac{600}{A+10}\right) = 21{,}21 \frac{m^3}{s} \tag{27}$$

Le formule semiempiriche forniscono la massima portata al colmo di piena in funzione di parametri morfometrici del bacino e delle precipitazioni, ma senza riferirsi alla pioggia che causa la piena.

Formula di Forti, per precipitazioni massime nelle 24 ore dell'ordine di 200÷250 mm:

$$Q_c = A \cdot \left(0{,}5 + 2{,}35 \frac{500}{A+125}\right) = 3{,}55 \frac{m^3}{s} \tag{28}$$

Le formule analitiche forniscono la massima portata al colmo di piena in funzione di parametri morfometrici del bacino e della pioggia che genera la piena, Esse costituiscono una semplice forma di bilancio idrologico.

Metodo razionale:

$$Q_c = \frac{C i_c A}{3{,}6} \left(\frac{m^3}{s}\right) \tag{29}$$

essendo C un coefficiente di riduzione degli afflussi, posto pari a 0,8, i_c (mm/ora) l'intensità della pioggia critica (cioè corrispondente al tempo di corrivazione), A (km^2) l'area della superficie del bacino.

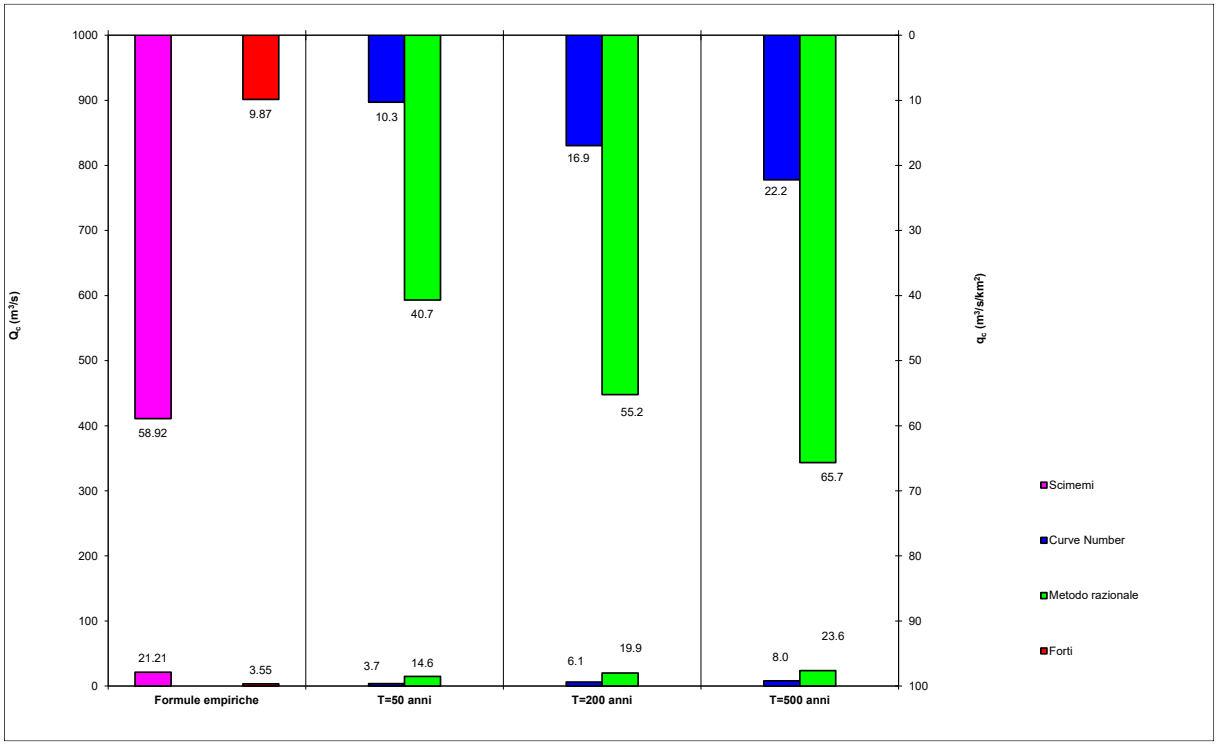
Fissati i diversi tempi di ritorno (T=50, 200 e 500 anni), al terzo livello di regionalizzazione si ottengono i risultati riportati nella Tabella 8 e nella Figura 12, comparati con i risultati del metodo afflussi/deflussi, Oltre alle portate al colmo di piena, compaiono anche i contributi

[6] Benini G, *Sistemazioni idraulico-forestali*, UTET, Torino, 1990.

unitari, q_c.

Tabella 8. Valori di Q_c e q_c ottenuti applicando i diversi metodi di calcolo.

Metodo di calcolo	T (anni)	i_c (mm/ora)	Q_c (m^3/s)	q_c ($m^3/s/km^2$)
Curve Number (SCS)	50	-	3,70	10,28
	200	-	6,10	16,94
	500	-	8,00	22,22
Scimemi	-	-	21,21	58,92
Fort	-	-	3,55	9,87
Metodo razionale	50	183,0	14,64	40,67
	200	248,5	19,88	55,23
	500	295,5	23,64	65,66



Fig, 12. Comparazione tra i valori di Q_c e q_c,

In conclusione, si ritiene cautelativo considerare, ai fini dello studio idraulico per la delimitazione di aree inondabili, le seguenti stime della massima portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno, Q_T, derivanti dall'applicazione del metodo razionale: Q_{50}=14,64 m^3/s, Q_{200}=19,88 m^3/s e Q_{500}=23,64 m^3/s.

2. RELAZIONE SULLO STUDIO IDRAULICO

2,1 Oggetto dei calcoli idraulici

Oggetto dei calcoli idraulici è un tratto dell'affluente con codice 0009_01_27126 del Torrente Ferrara di 800 m circa. Il tratto oggetto di studio è indicato come "area di attenzione" della Variante di aggiornamento mappa PAI alle mappe PGRA del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Calabria.

Sono state rilevate topograficamente numerose sezioni trasversali e le principali strutture presenti in alveo: ponti, briglie e tratti intubati.

2,2 Modello di calcolo

La ricostruzione dei profili della superficie libera per il tratto suddetto è stata effettuata col programma di calcolo *River Analysis System* del *US Army Corps of Engineers*, *Hydrologic Engineering Center* (HEC-RAS).

Nell'ipotesi di condizioni di moto permanente unidimensionale, corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si è risente della presenza di strutture), pendenze longitudinali del fondo dell'alveo non eccessive, per un dato tratto fluviale elementare, di lunghezza finita, il programma adopera la seguente equazione di conservazione dell'energia tra le generiche sezioni trasversali di monte e di valle, rispettivamente indicate con i pedici 2 e 1:

$$Y_2+Z_2+\alpha_2 V_2^2/(2g) = Y_1+Z_1+\alpha_1 V_1^2/(2g)+\Delta H \qquad (30)$$

in cui Y_2 e Y_1 sono le profondità d'acqua, Z_2 e Z_1 le quote dei punti più depressi delle sezioni trasversali rispetto a un piano di riferimento (superficie libera del livello medio mare), V_2 e V_1 le velocità medie (rapporto tra portata e area bagnata della sezione), α_2 e α_1 i coefficienti di Coriolis di ragguaglio delle potenze cinetiche, $g = 9{,}81$ m/s^2 l'accelerazione di gravità, ΔH le perdite di carico nel tratto considerato.

Le perdite energetiche per unità di peso che subisce la corrente fluida fra due sezioni trasversali sono espresse come segue:

$$\Delta H = J_m L + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right| \qquad (31)$$

in cui L è la lunghezza del tratto in analisi, J_m è un valore della cadente (perdita di carico per unità di lunghezza) rappresentativo del tratto medesimo e C è il coefficiente di contrazione o espansione; in tal modo, si tiene conto sia delle perdite di carico continue o distribuite, rappresentate dal primo addendo del membro di destra, sia delle perdite di carico localizzate o concentrate, rappresentate dal secondo addendo del membro di destra e dovute alle variazioni di sezione trasversale e/o alla presenza di ostacoli strutturali.

Negli alvei naturali, si suole suddividere la sezione trasversale in tre parti, caratterizzate da differenti valori della scabrezza, in cui la velocità si possa ritenere uniformemente distribuita: la parte centrale o canale principale, interessata dalle portate più basse, e le banchine laterali o golene, interessate dalle portate più alte. La determinazione della cadente, J, sezione per sezione avviene tramite l'equazione di moto uniforme di Manning:

$$Q = KJ^{0,5} \tag{32}$$

essendo Q la portata totale e K un coefficiente di trasporto, espresso come segue:

$$K = AR_i^{2/3}/n \tag{33}$$

in cui A è l'area bagnata della sezione trasversale, R_i il raggio idraulico (rapporto tra area e perimetro bagnato), n un coefficiente di scabrezza. Il coefficiente di trasporto, K, viene valutato separatamente per il canale principale e le golene; il suo valore per l'intera sezione trasversale è la somma delle tre aliquote. La cadente è quindi esprimibile come $J = (Q/K)^2$ in ciascuna sezione; ma il suo valore rappresentativo, J_m, nel tratto considerato è valutato con una delle seguenti formule:

media dei coeff, di trasporto: $$J_m = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \tag{34}$$

media aritmetica: $$J_m = (J_1 + J_2)/2 \tag{35}$$

media geometrica: $$J_m = (J_1 J_2)^{0,5} \tag{36}$$

media armonica: $$J_m = 2J_1J_2/(J_1 + J_2) \tag{37}$$

Il programma HEC-RAS seleziona automaticamente l'equazione più appropriata per il calcolo di J_m, secondo che, nel tratto di volta in volta considerato, l'alveo sia a forte o debole pendenza e la corrente sia lenta o veloce, accelerata o decelerata.

Il coefficiente di Coriolis si esprime come segue, in funzione dei coefficienti di trasporto, $K_{i,}$ e delle aree bagnate, A_i, del canale principale e delle golene:

$$\alpha = \frac{A^2}{K^3}\sum_i \frac{K_i^3}{A_i^2} \tag{38}$$

La procedura di calcolo per la determinazione della profondità d'acqua in ogni sezione è iterativa: si assegna una condizione iniziale a valle o a monte (tirante di moto uniforme, altezza critica, profondità d'acqua nota, ecc,) e si procede verso monte o valle secondo che si stia ricostruendo un profilo di corrente lenta o veloce; si assume una quota della superficie libera, $WS^I = Y^I+Z^I$, di primo tentativo nella sezione in cui essa è incognita; si determinano K e V; si calcolano J_m e ΔH; si ottiene dall'equazione dell'energia un secondo valore della quota dell'acqua, WS^{II}, da paragonare con quello assunto inizialmente; si ripetono i passi suddetti finché la differenza tra le quote della superficie libera risulti inferiore alla tolleranza prestabilita (3 mm).

La profondità d'acqua determinata, Y = WS-Z, va paragonata con l'altezza critica, Y_{cr}, per stabilire se il regime di moto è subcritico o supercritico. L'altezza critica è quella profondità d'acqua per cui il carico totale, $H = WS+\alpha V^2/(2g)$, assume valore minimo. In alvei naturali, si possono presentare situazioni in cui la curva dell'energia, ossia la funzione H(WS), presenta più di un minimo, ad esempio in presenza di ampie golene o di superamento di argini. Il programma HEC-RAS può individuare fino a tre minimi nella curva dell'energia, tra i quali seleziona il valore più piccolo.

Note la profondità d'acqua e l'altezza critica in una data sezione, si stabilisce il regime di corrente lenta o veloce nella sezione stessa. Se tale regime è differente da quello che si è verificato nella sezione precedente, la profondità d'acqua appena determinata perde di significato e alla sezione si assegna l'altezza critica.

Nel caso di passaggio da regime supercritico a subcritico tramite risalto idraulico, la corrente perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, si ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto:

$$\frac{\beta_2 Q_2^2}{gA_2} + A_2 Y_{2,b} + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) L \cdot i - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) L \cdot J_m - \frac{\beta_1 Q_1^2}{gA_1} - A_1 Y_{1,b} = 0 \tag{39}$$

in cui si sono indicate coi pedici 2 e 1 rispettivamente le sezioni di monte e di valle del tratto considerato; a meno del peso specifico, che essendo presente in ciascun addendo è stato eliso, il primo e il quinto termine rappresentano le spinte idrodinamiche dovute alle quantità di moto (con β coefficiente di ragguaglio dei flussi di quantità di moto), il secondo e il sesto termine le spinte idrostatiche dovute alle pressioni (essendo $Y_{2,b}$ e $Y_{1,b}$ gli affondamenti dei baricentri delle sezioni bagnate), il terzo termine la componente del peso lungo la direzione del moto (essendo i la pendenza longitudinale del fondo dell'alveo, calcolata in base alle quote medie in ciascuna sezione) e il quarto termine la resistenza al moto.

L'applicazione del modello matematico fornisce risultati tabulari e grafici, come illustrato nell'Allegato A. Per il tratto fluviale considerato, vengono riassunti in tabella i valori delle principali grandezze idrauliche, e precisamente:

1) le stazioni identificative delle diverse sezioni trasversali (colonna River Stations);
2) il tempo di ritorno, T (colonna Profile);
3) la portata totale, Q (colonna Q Total, m3/s);
4) la quota sul livello del mare del punto più depresso della sezione trasversale, Z (colonna Minimum Channel Elevation, m);
5) la quota sul livello del mare della superficie libera, WS (colonna Water Surface Elevation, m);
6) la quota sul livello del mare della superficie libera allo stato critico, WScr (colonna Critical Water Surface, m);
7) la quota sul livello del mare della linea dei carichi totali (colonna Energy Grade Elevation, m);
8) la cadente, J (colonna Energy Grade Slope, m/m);
9) la massima profondità d'acqua, Y = WS-Z, ossia quella misurata rispetto al punto più depresso della sezione trasversale (colonna Max Channel Depth, m);
10) l'altezza critica, Ycr = WScr–Z, (colonna Critical Depth, m);
11) l'area bagnata, A (colonna Flow Area, m2);
12) il raggio idraulico, Ri (colonna Hydraulic Radius, m);
13) la velocità media nella sezione trasversale, V (colonna Velocity Total, m/s).

Le tabelle dei risultati numerici sono corredate dai seguenti elaborati grafici:

1) i profili di moto permanente, per ciascun tempo di ritorno, in cui in ascissa sono riportate le distanze misurate, procedendo da valle a monte, lungo l'alveo centrale (*Main Channel*

Distance, m) e in ordinata le quote sul livello dal mare (*Elevation, m*) del fondo dell'alveo (*Ground*), della linea delle altezze critiche (*Crit*) e della superficie libera (*WS*);

2) le sezioni trasversali, identificate dal numero della stazione (*River Station, RS*); in ciascun grafico sono individuati con due cerchietti rossi gli estremi del canale centrale (*Bank Station*) e sono indicati i valori del coefficiente di scabrezza di Manning, n, per l'alveo principale e per le sponde o, eventualmente, per le golene, Le aree rappresentate in colore nero indicano possibili ostruzioni in alveo.

2.3 Ricostruzione dei profili della superficie libera in moto permanente

2.3.1 *Stato attuale (ante operam)*

Il tratto dell'affluente del Torrente Ferrara oggetto di studio si estende per 800 metri, partendo da circa 400 metri a monte dell'intervento in progetto e arrivando fino quasi alla confluenza con il Torrente Ferrara. Secondo quanto richiesto dal software HEC-RAS, sono state identificate numericamente le stazioni delle diverse sezioni trasversali (*river stations, RS*).

I numeri di stazione procedono in senso decrescente da monte a valle; accanto a ogni stazione è indicata la lunghezza, L, che la separa dalla successiva a valle (vedi Tabella 9).

Si noti la presenza delle seguenti strutture:

a) culvert alla sezione RS=7;

b) culvert alla sezione RS=6.

I coefficienti di contrazione e di espansione, α, sono stati posti rispettivamente pari a 0,1 e 0,3, In presenza dei ponti sono stati scelti valori più elevati, rispettivamente pari a 0,3 e 0,5.

Per quanto riguarda la scabrezza dell'alveo, i valori del coefficiente di Manning, n, tabulati su diverse pubblicazioni nella letteratura specialistica, sono stati scelti facendo riferimento ai testi classici di Ven Te Chow e Richard H, French e sono riportati in Tabella 9, dove n_{sn}, n_c e n_{dx} indicano rispettivamente le scabrezze della sponda sinistra, dell'alveo centrale e della sponda destra.[7]

Tabella 9. Distanze tra le sezioni trasversali e scabrezze di Manning

River Station, RS	Sezione Rilievo	L (m)	n_{sn} (s/m$^{1/3}$)	n_c (s/m$^{1/3}$)	n_{dx} (s/m$^{1/3}$)	Note
15	1	46,54	0,033	0,033	0,033	
14	2	53,8	0,033	0,033	0,033	

[7] Chow, V. T., *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1959; French, R. H., *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1985.

13	3	41,21	0,033	0,033	0,033	
12	4	51,63	0,033	0,033	0,033	
11	5	49,06	0,033	0,033	0,033	
10	6	49,35	0,033	0,033	0,033	
9	7	56,45	0,033	0,033	0,033	
8	8	40,24	0,033	0,033	0,033	
7	9	40,67	0,033	0,033	0,033	Culvert
6	10	12,36	0,033	0,033	0,033	Culvert
5	11	8,62	0,033	0,033	0,033	
4	12	108,95	0,033	0,033	0,033	
3	13	59,73	0,033	0,033	0,033	
2	14	113,93	0,033	0,033	0,033	
1	15	0,1	0,033	0,033	0,033	

L'analisi della superficie libera è stata effettuata per i valori di massima portata al colmo di piena, con assegnato tempo di ritorno, ottenuti dallo studio idrologico:

Q_{50}=14,64 m^3/s;

Q_{200}=19,88 m^3/s;

Q_{500}=23,64 m^3/s.

Il regime di moto è stato ipotizzato di tipo misto (correnti veloci e lente), con condizioni al contorno di stato critico.

I risultati dei calcoli idraulici (Allegato A) sono di seguito descritti e analizzati, secondo le "Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree di attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio inondazione" dell'Autorità di Bacino Regionale (ABR) della Calabria.

Per le portate considerate con tempi di ritorno T=50, 200 e 500 anni, la corrente idrica presenta comportamento pressoché analogo, pur variando i valori delle grandezze idrauliche.

Per la portata con tempo di ritorno T=50 anni, il deflusso, partendo da condizioni critiche diventa veloce dalla sezione RS=14 fino alla sezione RS=7. La corrente diventa lenta nella sezione RS=6, passa attraverso la stato critico nella sezione RS=5 e ritorna veloce nella sezione RS=4. La corrente resta veloce fino alla fine del tratto di studio (RS=1).

Alle diverse portate, le altezze d'acqua variano tra 3,61 m (RS=6) e 0,66 m (RS=6), mentre le velocità medie tra 1,43 m/s (RS=6) e 24,81 m/s (RS=14).

I risultati dei calcoli idraulici mostrano che le massime portate al colmo di piena esondano

nelle sezioni riportate in Tabella 10.

Tabella 10. Sezioni con esondazioni.

River Stations	T=50 anni		T=200 anni		T=500 anni	
	sx	dx	sx	dx	sx	dx
1	sì	sì	sì	sì	sì	sì
2	sì	sì	sì	sì	sì	sì
3	sì	sì	sì	sì	sì	sì
4	sì	sì	sì	sì	sì	sì
5	sì	sì	sì	sì	sì	sì
6	sì	sì	sì	sì	sì	sì
7	sì	sì	sì	sì	sì	sì
8	sì	sì	sì	sì	sì	sì
9	sì	sì	sì	sì	sì	sì
10	sì	sì	sì	sì	sì	sì
11	sì	sì	sì	sì	sì	sì
12	sì	sì	sì	sì	sì	sì
13	sì	sì	sì	sì	sì	sì
14	sì	sì	sì	sì	sì	sì
15	sì	sì	sì	sì	sì	sì

2.3.2 *Stato futuro (post operam)*

Si è ripetuto il calcolo considerando la realizzazione del muro di sostegno alla sezione RS=6.

Per le portate considerate con tempi di ritorno T=50, 200 e 500 anni, la corrente idrica presenta comportamento pressoché analogo, pur variando i valori delle grandezze idrauliche.

Per la portata con tempo di ritorno T=50 anni, il deflusso, partendo da condizioni critiche diventa veloce dalla sezione RS=14 fino alla sezione RS=7. La corrente diventa lenta nella sezione RS=6, passa attraverso la stato critico nella sezione RS=5 e ritorna veloce nella sezione RS=4. La corrente resta veloce fino alla fine del tratto di studio (RS=1).

Alle diverse portate, le altezze d'acqua variano tra 4,14 m (RS=6) e 0,66 m (RS=6), mentre le velocità medie tra 1,39 m/s (RS=6) e 24,81 m/s (RS=14).

I risultati dei calcoli idraulici mostrano che le massime portate al colmo di piena esondano nelle sezioni riportate in Tabella 11.

Tabella 11. Sezioni con esondazioni.

River Stations	T=50 anni		T=200 anni		T=500 anni	
	sx	dx	sx	dx	sx	dx
1	sì	sì	sì	sì	sì	sì
2	sì	sì	sì	sì	sì	sì
3	sì	sì	sì	sì	sì	sì

4	sì	sì	sì	sì	sì	sì
5	sì	sì	sì	sì	sì	sì
6	sì	sì	sì	sì	sì	sì
7	sì	sì	sì	sì	sì	sì
8	sì	sì	sì	sì	sì	sì
9	sì	sì	sì	sì	sì	sì
10	-	sì	-	-	-	-
11	-	-	-	-	sì	sì
12	sì	sì	sì	sì	sì	sì
13	sì	sì	sì	sì	sì	sì
14	sì	sì	sì	sì	sì	sì
15	sì	sì	sì	sì	sì	sì

La realizzazione della paratia su pali produce un sensibile miglioramento della pericolosità idraulica.

3 CONCLUSIONI

Lo studio idrologico-idraulico ha riguardato un tratto dell'affluente con codice 0009_01_27126 del Torrente Ferrara di 800 m circa. Il tratto oggetto di studio è indicato come "area di attenzione" della Variante di aggiornamento mappa PAI alle mappe PGRA del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Calabria.

I risultati dei calcoli idraulici mostrano che vi sono esondazioni lungo tutto il tratto oggetto di studio.

Le tombature presenti in alveo hanno una dimensione tale da non garantire il libero deflusso nemmeno al livello idrico corrispondente a $Q_{50.}$

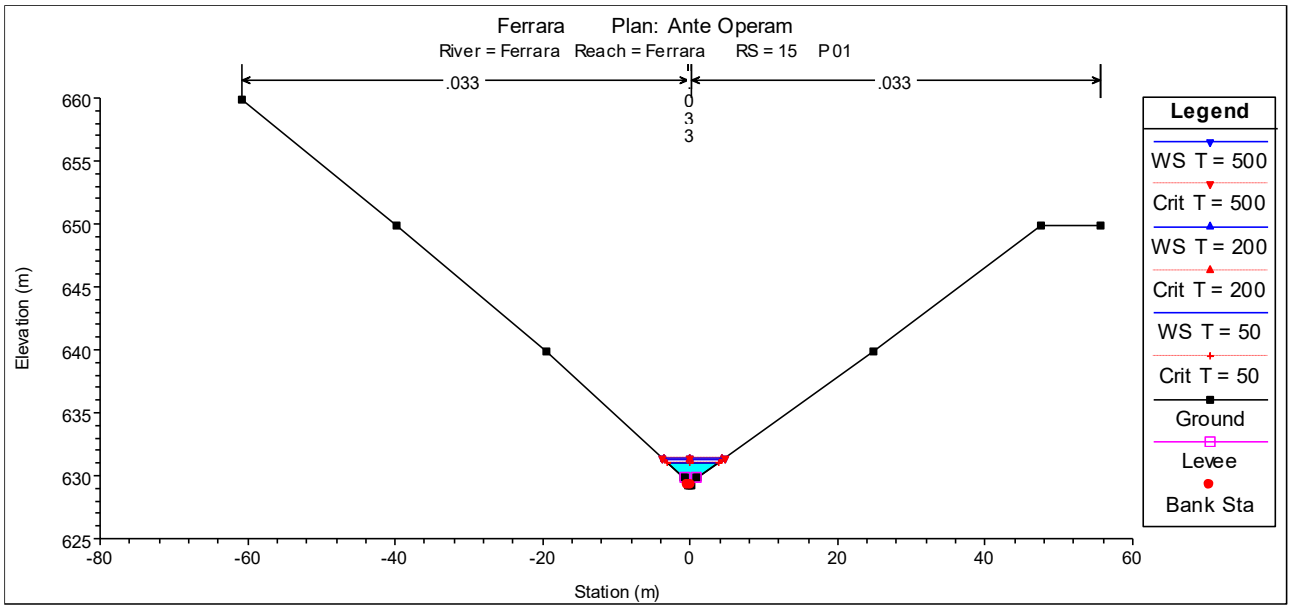
In ogni caso il rigurgito provocato dalle dimensioni insufficienti dei tratti tombati è tale da non interessare la paratia su micropali in progetto, in quanto l'opera è posta al di fuori dell'alveo fluviale e comunque la sua realizzazione produce un sensibile miglioramento della pericolosità idraulica del sito in parola.

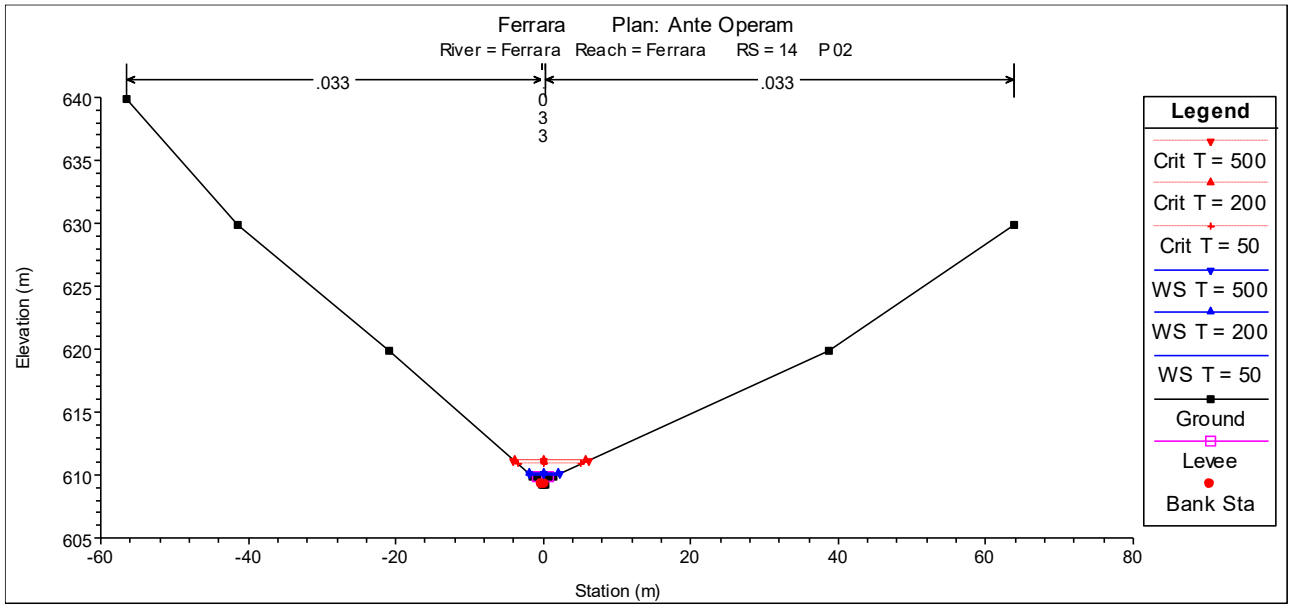
Per quanto sopra evidenziato, si ritiene dell'affluente con codice 0009_01_27126 del Torrente Ferrara, nel tratto di studio, è soggetto a stato di pericolosità idraulica.

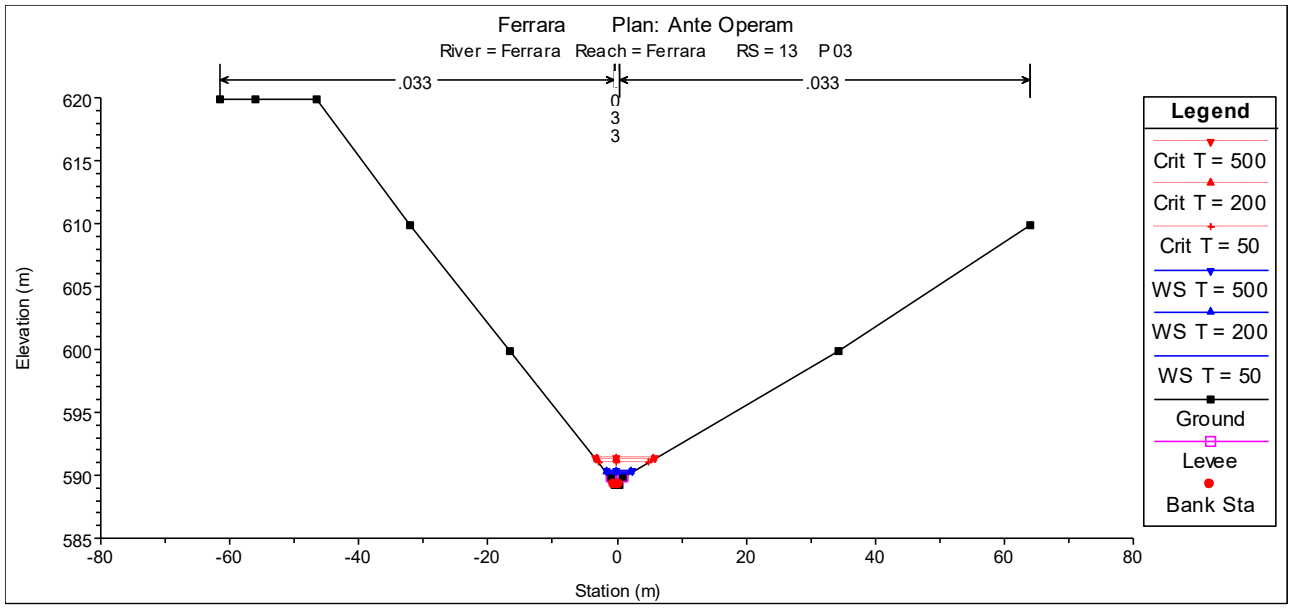
Montalto Uffugo, ottobre 2021

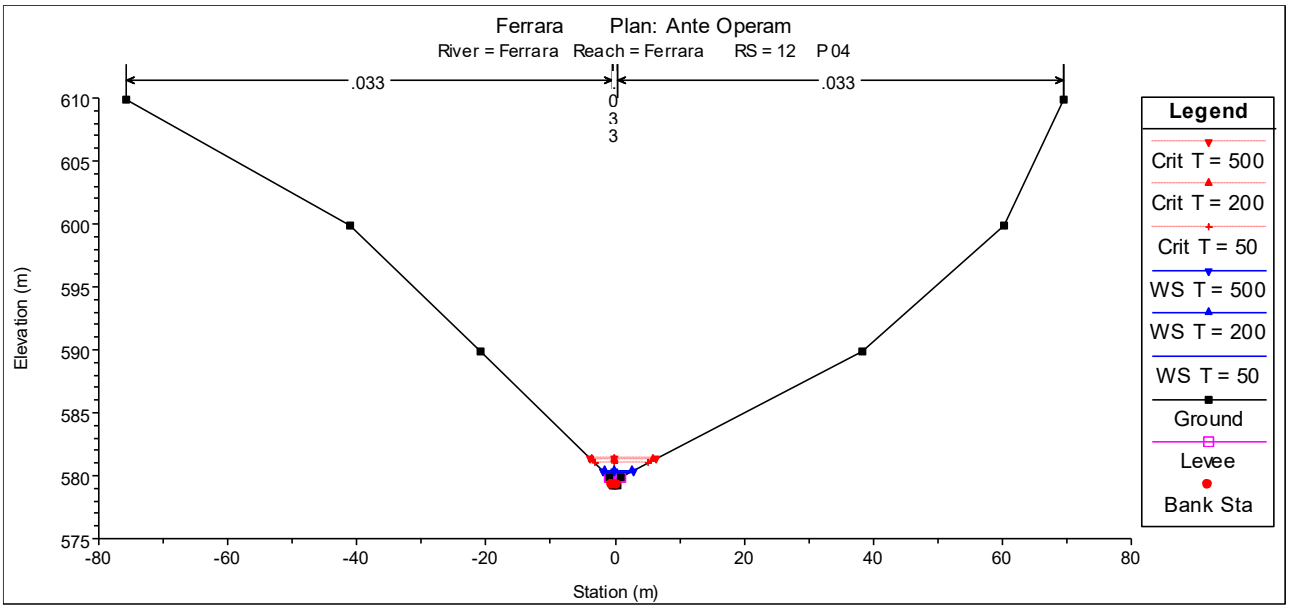
Dott. Ing. Luciano Corniola

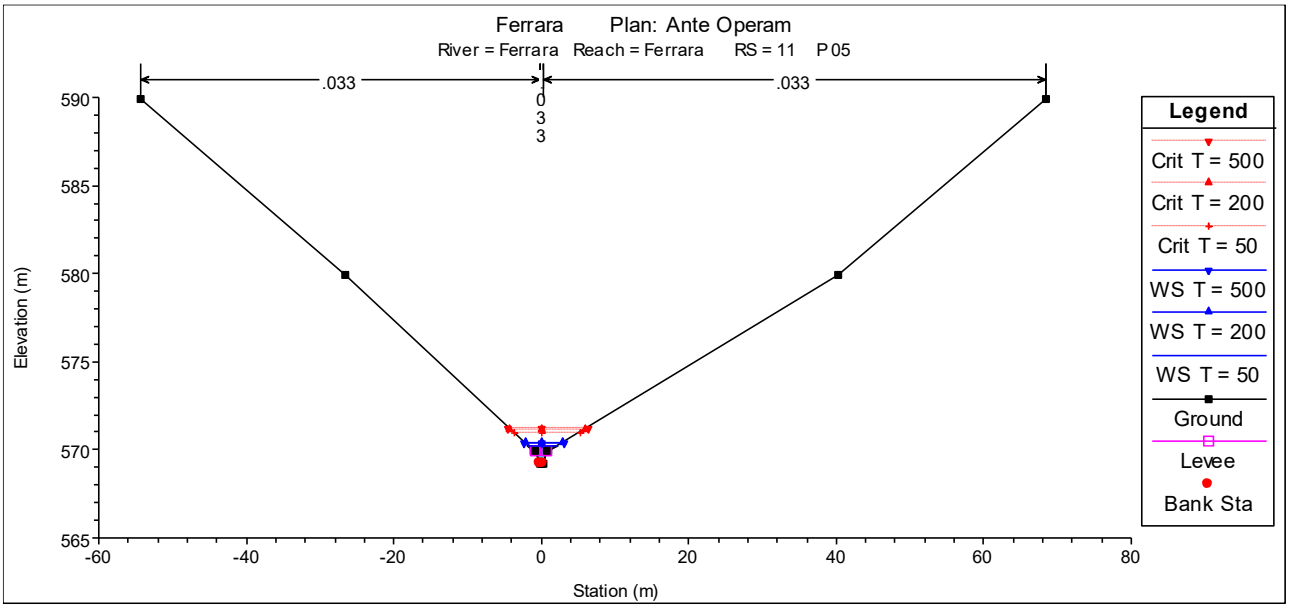
STATO ATTUALE

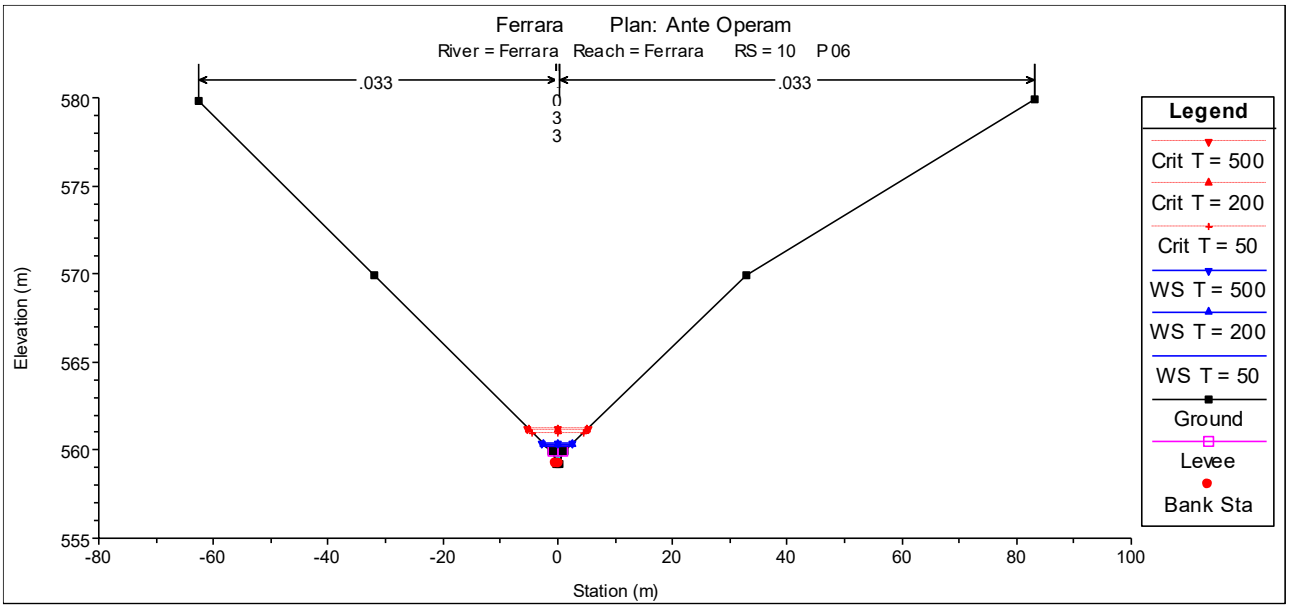

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 15 P01
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
660
655
650
645
640
635
630
625
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
Station (m)
Legend
WS T = 500
Crit T = 500
WS T = 200
Crit T = 200
WS T = 50
Crit T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

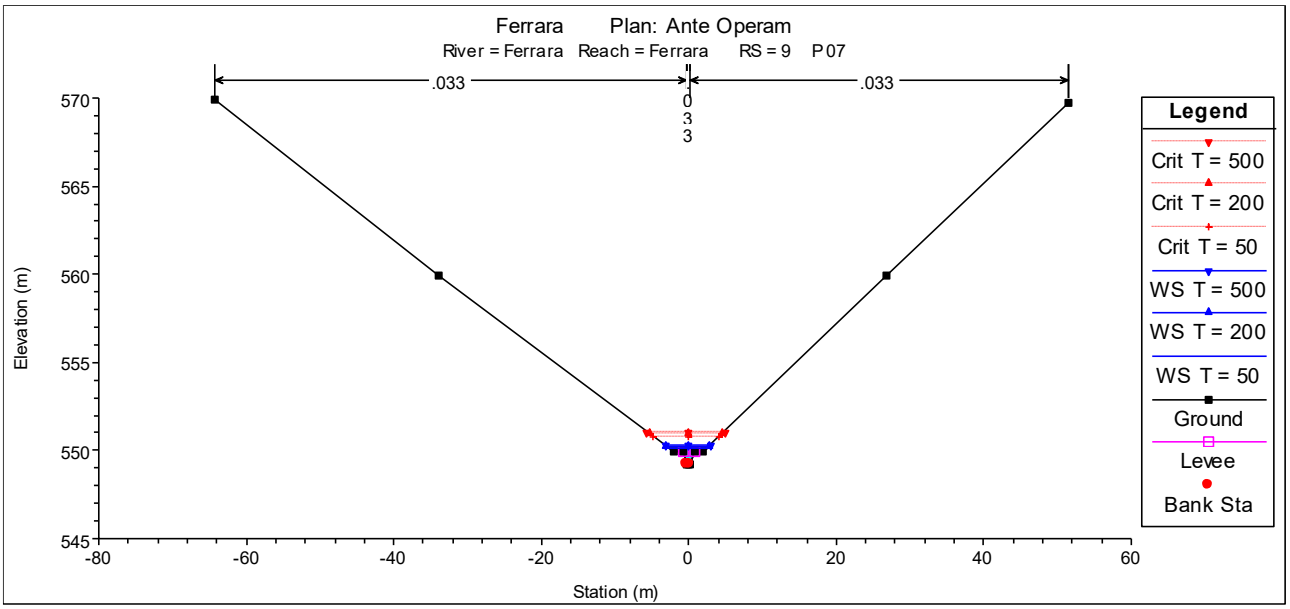

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 14 P02
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
640
635
630
625
620
615
610
605
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

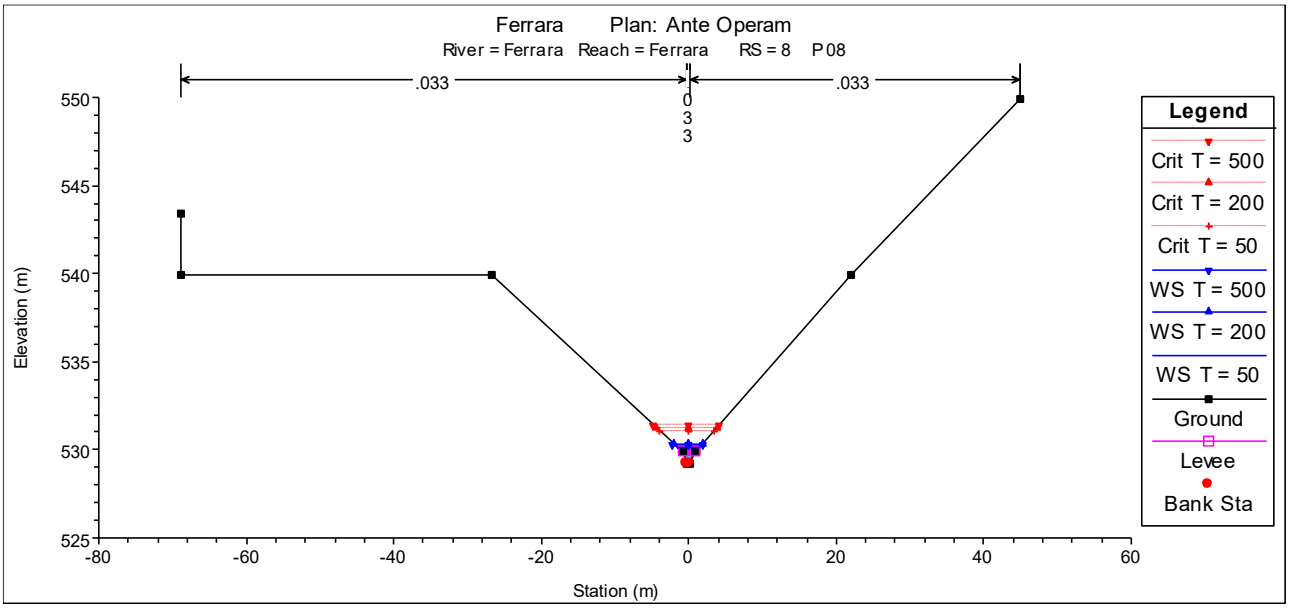

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 13 P03
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
620
615
610
605
600
595
590
585
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

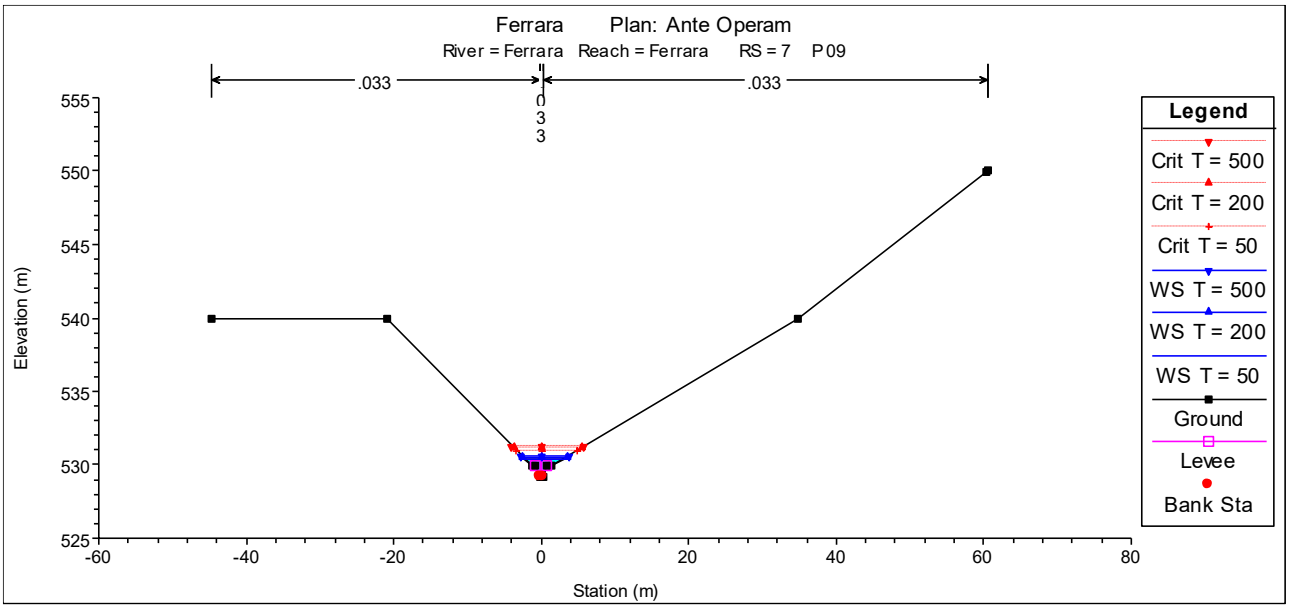

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 12 P04
.033
.033
0.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

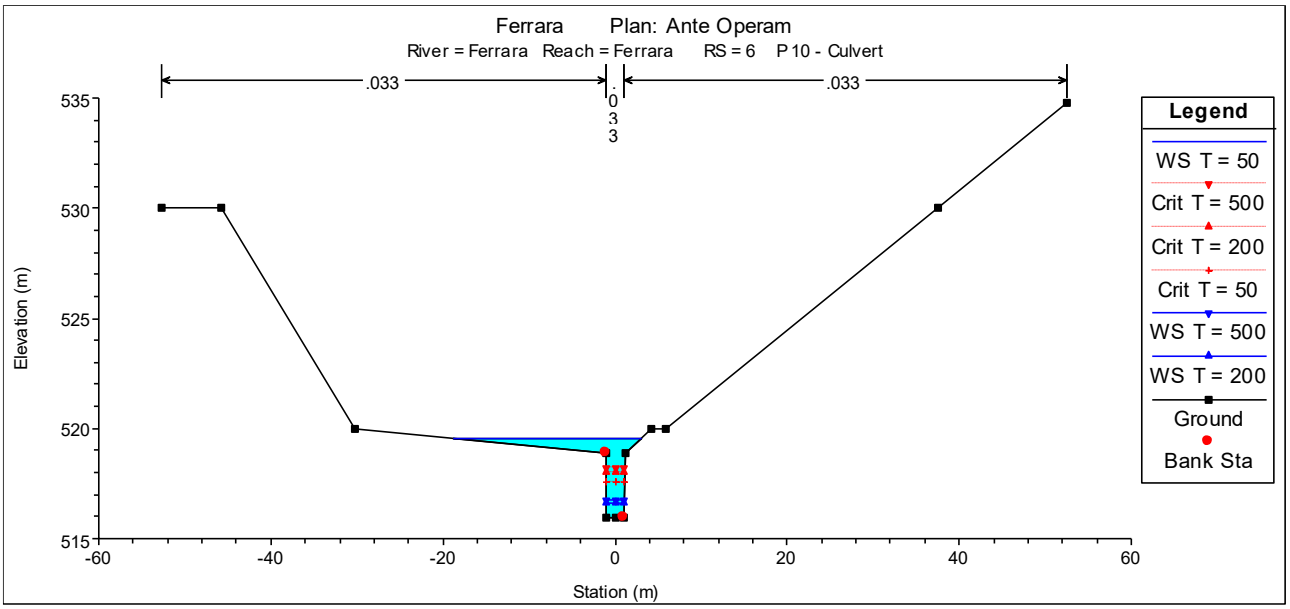

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 11 P05
.033
.033
0.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

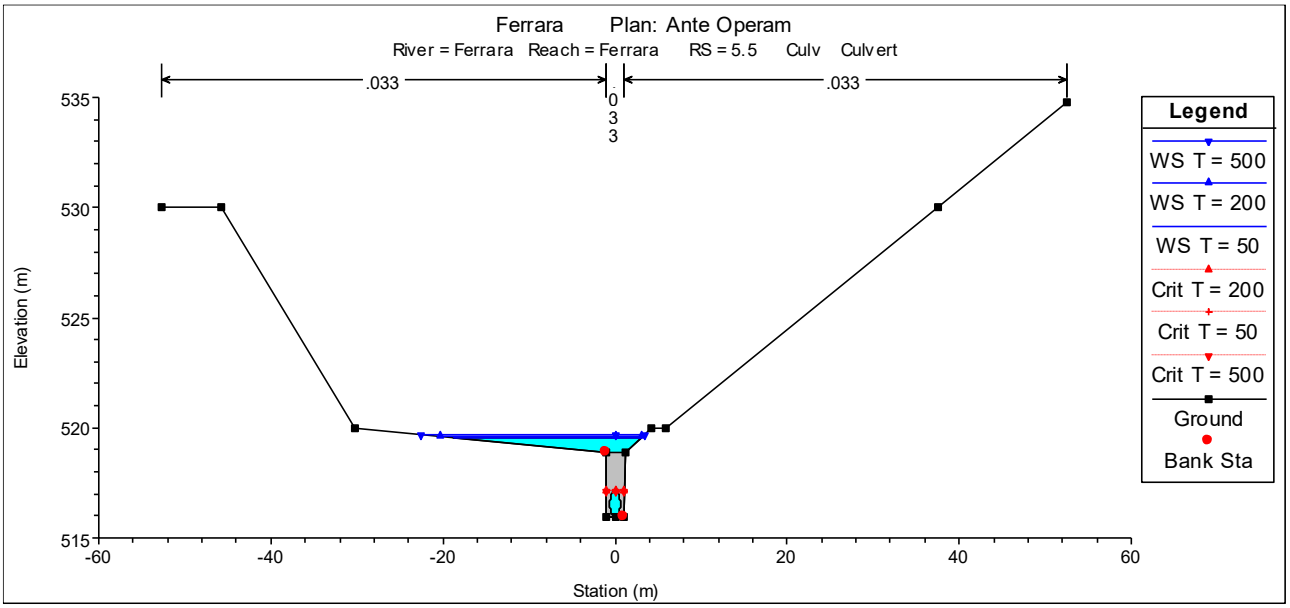

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 10 P06
.033
.033
0.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

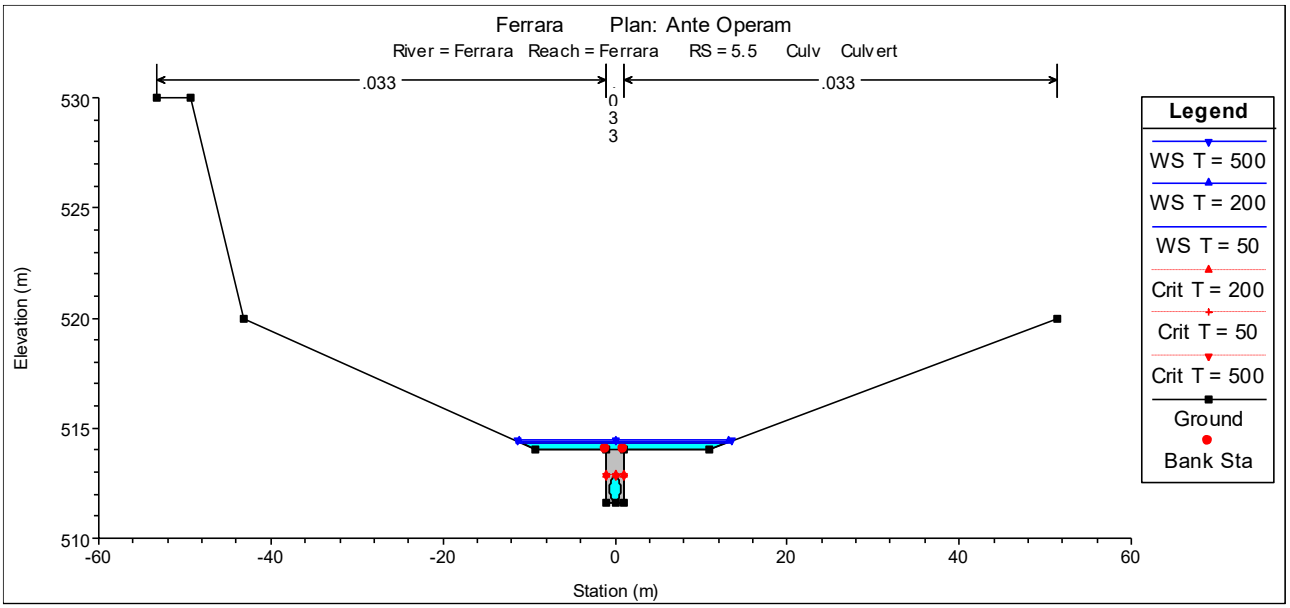

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 9 P07
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
570
565
560
555
550
545
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

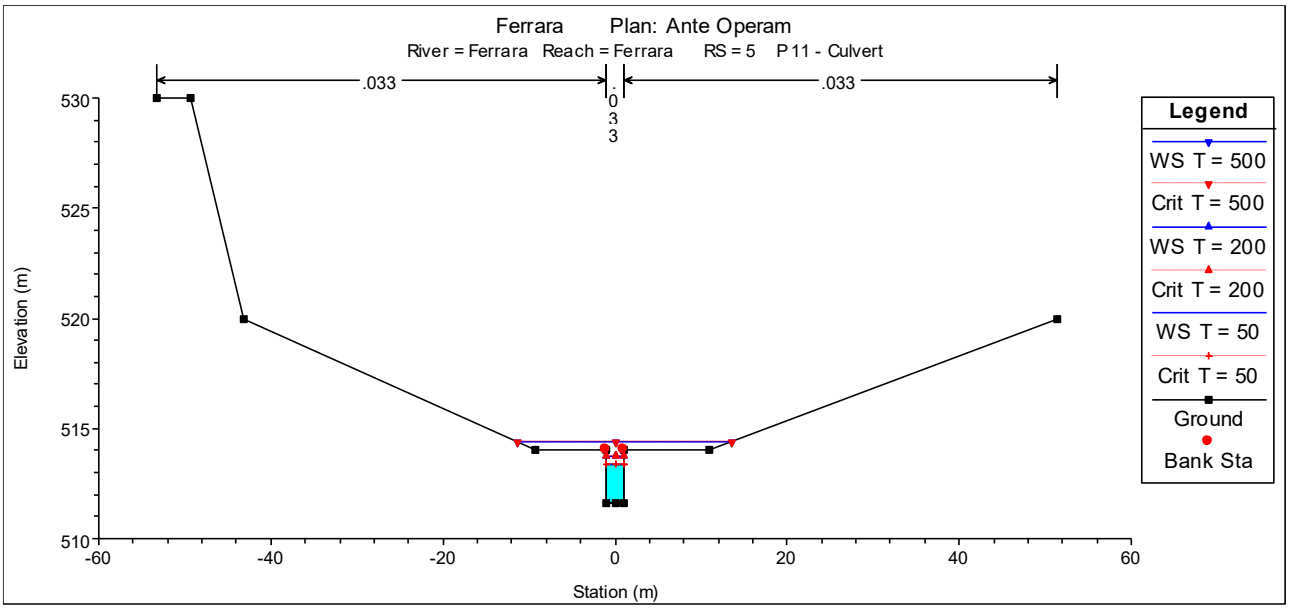

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 8 P08
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
550
545
540
535
530
525
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

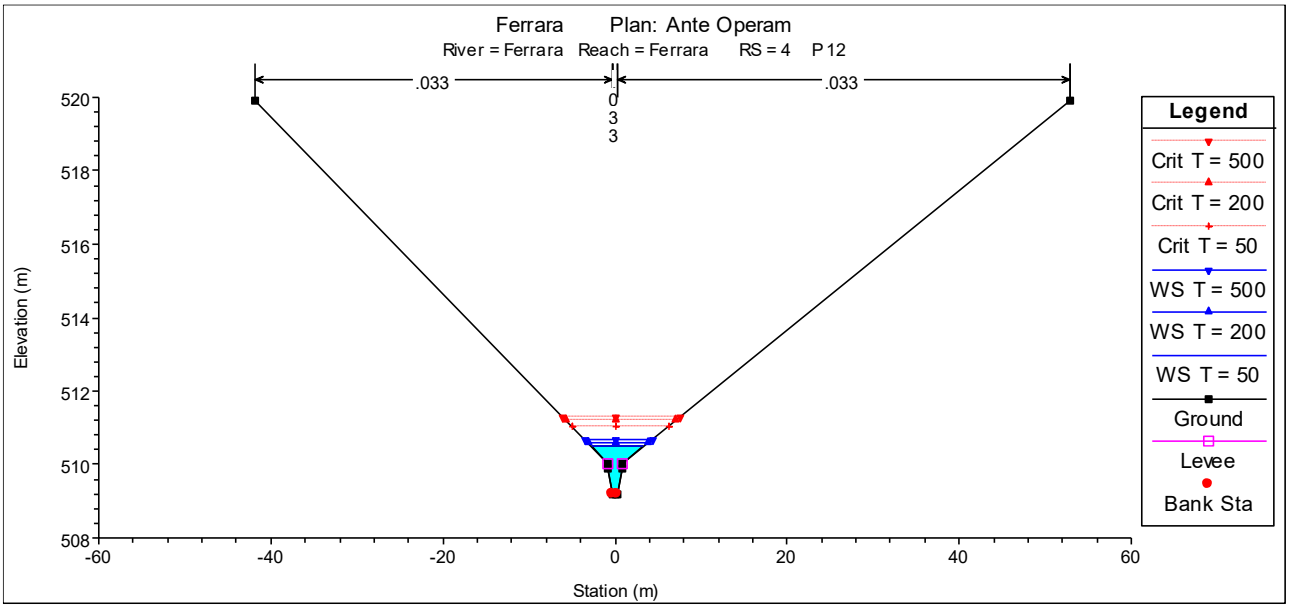

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 7 P09
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
555
550
545
540
535
530
525
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

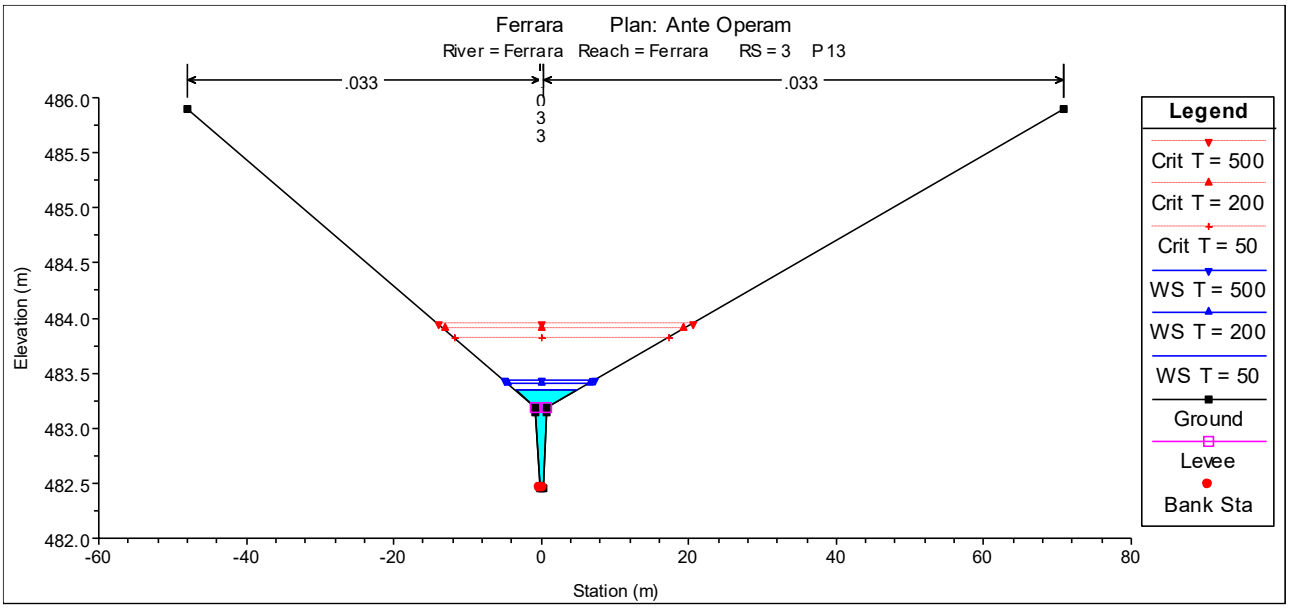

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 6 P 10 - Culvert
.033
.033
.033
Legend
WS T = 50
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

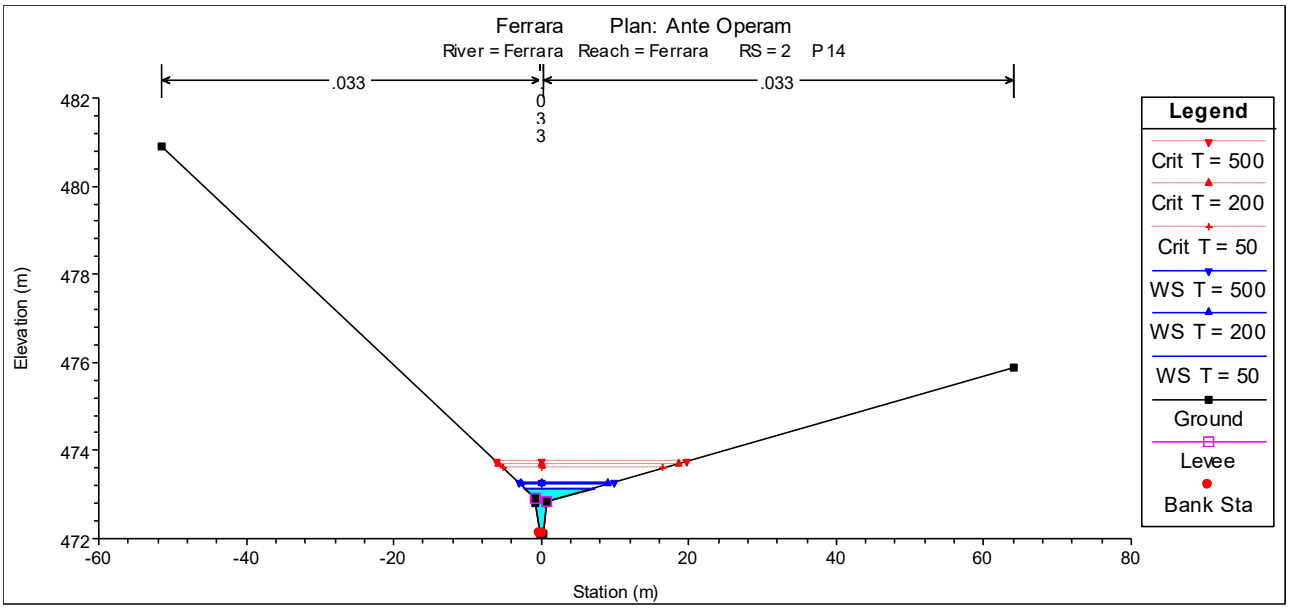

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 5.5 Culv Culvert
.033
.033
.033
Legend
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Crit T = 200
Crit T = 50
Crit T = 500
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

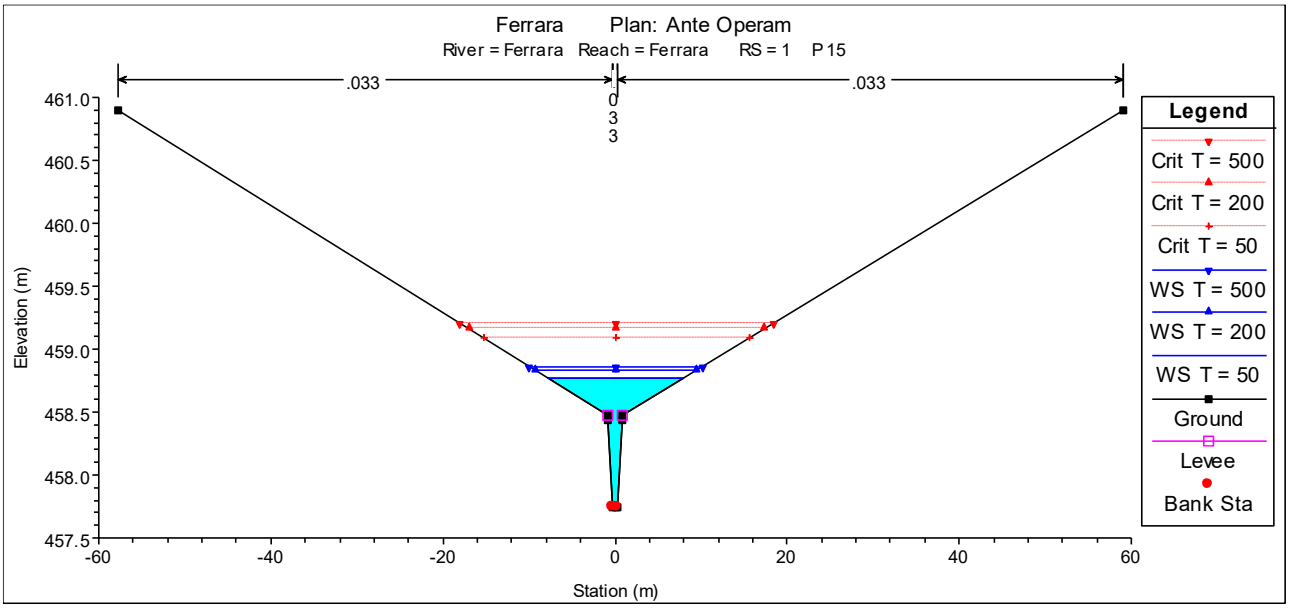

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 5.5 Culv Culvert
.033
.033
.033
Legend
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Crit T = 200
Crit T = 50
Crit T = 500
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)

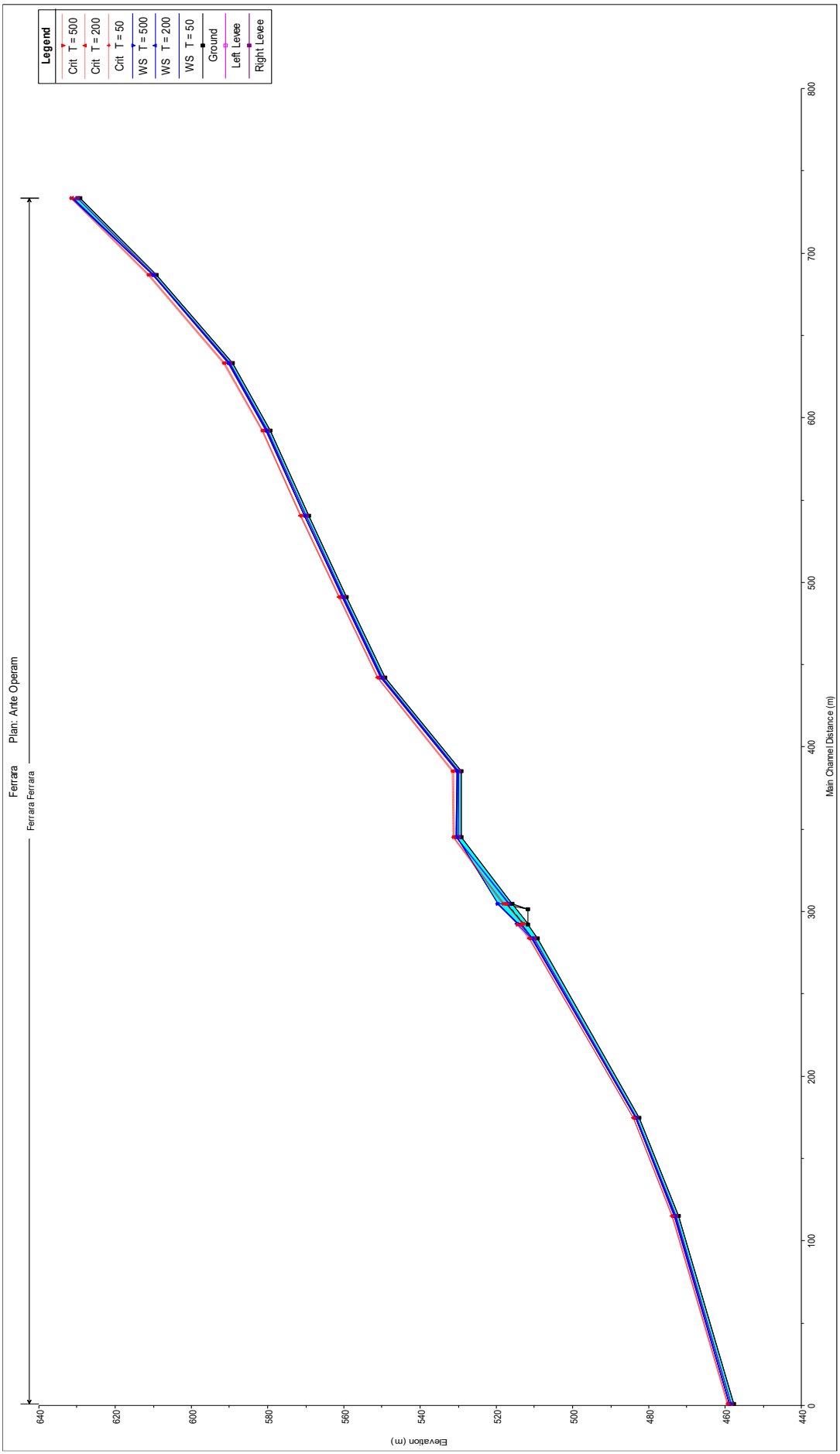

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 5 P 11 - Culvert
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS T = 500
Crit T = 500
WS T = 200
Crit T = 200
WS T = 50
Crit T = 50
Ground
Bank Sta


Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 4 P 12
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta


Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 3 P 13
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta


Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 2 P 14
.033
0
3
3
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

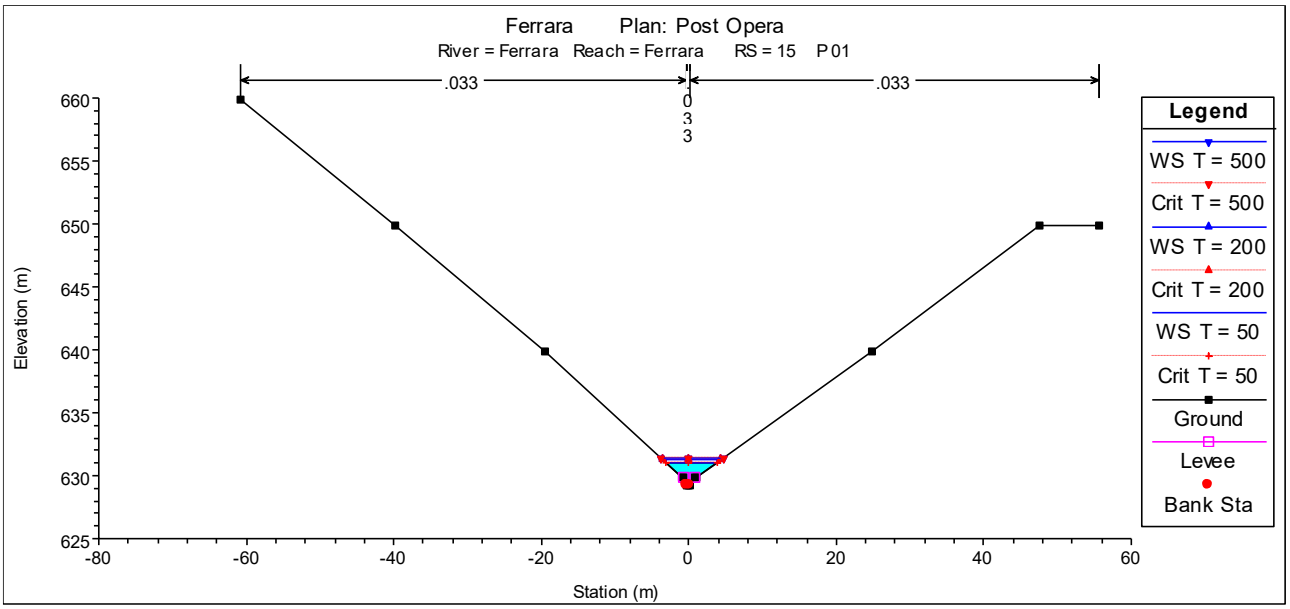

Ferrara Plan: Ante Operam
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 1 P 15
.033
0
3
3
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

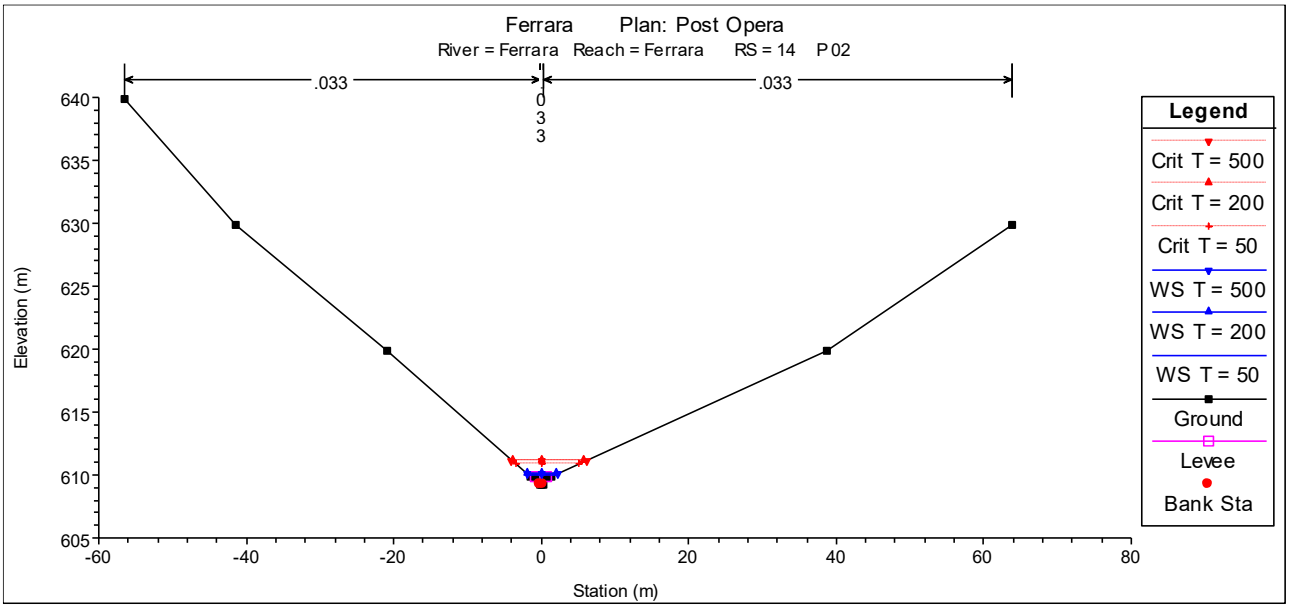

Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Left Levee
Right Levee
Plan: Arte Operam
Ferrara
Ferrara Ferrara
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
640
620
600
580
560
540
520
500
480
460
440
0
100
200
300
400
500
600
700
800

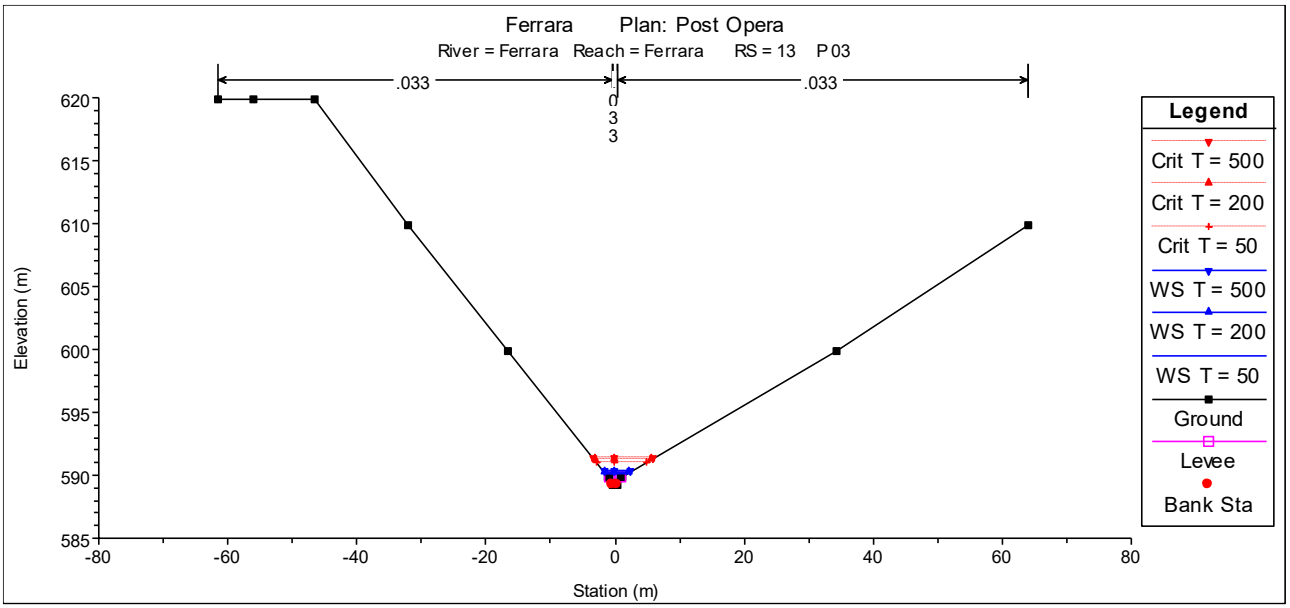
River Stations	Profile T (anni)	Q total Q (m3/s)	Minimum Channel Elevation Z (m)	Water Surface Elevation WS (m)	Critical Water Surface WScr (m)	Energy Grade Elevation E (m)	Energy Grade Slope J (m/m)	Max Channel Depth Y (m)	Critical Depth Ycr (m)	Flow Area A (m^2)	Hydraulic Radius Ri (m)	Velocity Total V (m/s)
15	50	14,64	629,2	631,08	631,08	631,48	0,008134	1,88	1,88	6,1	0,74	4,16
15	200	19,88	629,2	631,29	631,29	631,74	0,008312	2,09	2,09	7,66	0,83	4,51
15	500	23,64	629,2	631,42	631,42	631,9	0,008177	2,22	2,22	8,81	0,89	4,67
14	50	14,64	609,2	610	610,91	628,43	0,76588	0,8	1,71	1,04	0,25	22,9
14	200	19,88	609,2	610,1	611,09	628,66	0,731978	0,9	1,89	1,38	0,3	24,12
14	500	23,64	609,2	610,16	611,21	628,84	0,712661	0,96	2,01	1,62	0,32	24,81
13	50	14,64	589,2	590,15	591,05	599,59	0,335618	0,95	1,85	1,39	0,34	17
13	200	19,88	589,2	590,27	591,25	600,5	0,33533	1,07	2,05	1,8	0,38	18,34
13	500	23,64	589,2	590,34	591,38	601,04	0,335633	1,14	2,18	2,07	0,41	19,14
12	50	14,64	579,2	580,23	581,06	587,41	0,235826	1,03	1,86	1,6	0,36	15,04
12	200	19,88	579,2	580,35	581,25	588,18	0,239544	1,15	2,05	2,07	0,4	16,3
12	500	23,64	579,2	580,42	581,36	588,63	0,24162	1,22	2,16	2,38	0,43	17,04
11	50	14,64	569,2	570,25	570,98	575,97	0,19368	1,05	1,78	1,8	0,36	13,78
11	200	19,88	569,2	570,36	571,16	576,52	0,196039	1,16	1,96	2,33	0,4	14,85
11	500	23,64	569,2	570,43	571,27	576,84	0,197133	1,23	2,07	2,68	0,43	15,47
10	50	14,64	559,2	560,23	560,97	566,15	0,205592	1,03	1,77	1,77	0,35	14,02
10	200	19,88	559,2	560,35	561,15	566,65	0,205455	1,15	1,95	2,29	0,4	15,04
10	500	23,64	559,2	560,41	561,26	566,96	0,205299	1,21	2,06	2,64	0,43	15,63
9	50	14,64	549,2	550,15	550,8	555,47	0,220315	0,95	1,6	1,89	0,31	13,78
9	200	19,88	549,2	550,24	550,97	555,9	0,22293	1,04	1,77	2,39	0,36	14,73
9	500	23,64	549,2	550,3	551,07	556,19	0,223735	1,1	1,87	2,74	0,39	15,28
8	50	14,64	529,2	530,15	531,05	539,71	0,343036	0,95	1,85	1,38	0,34	17,11
8	200	19,88	529,2	530,27	531,25	540,3	0,329747	1,07	2,05	1,81	0,39	18,2
8	500	23,64	529,2	530,34	531,38	540,68	0,323732	1,14	2,18	2,1	0,42	18,85
7	50	14,64	529,2	530,43	530,93	532,42	0,063924	1,23	1,73	2,89	0,45	8,78
7	200	19,88	529,2	530,55	531,12	532,83	0,067593	1,35	1,92	3,59	0,51	9,61
7	500	23,64	529,2	530,62	531,24	533,09	0,069843	1,42	2,04	4,06	0,54	10,12
6	50	14,64	515,95	519,56	517,6	519,65	0,001248	3,61	1,65	14,57	0,53	1,43
6	200	19,88	515,95	516,61	517,97	526,19	0,506939	0,66	2,02	1,45	0,41	13,72
6	500	23,64	515,95	516,72	518,22	526,53	0,440879	0,77	2,27	1,71	0,46	13,88
5.5		Culvert										

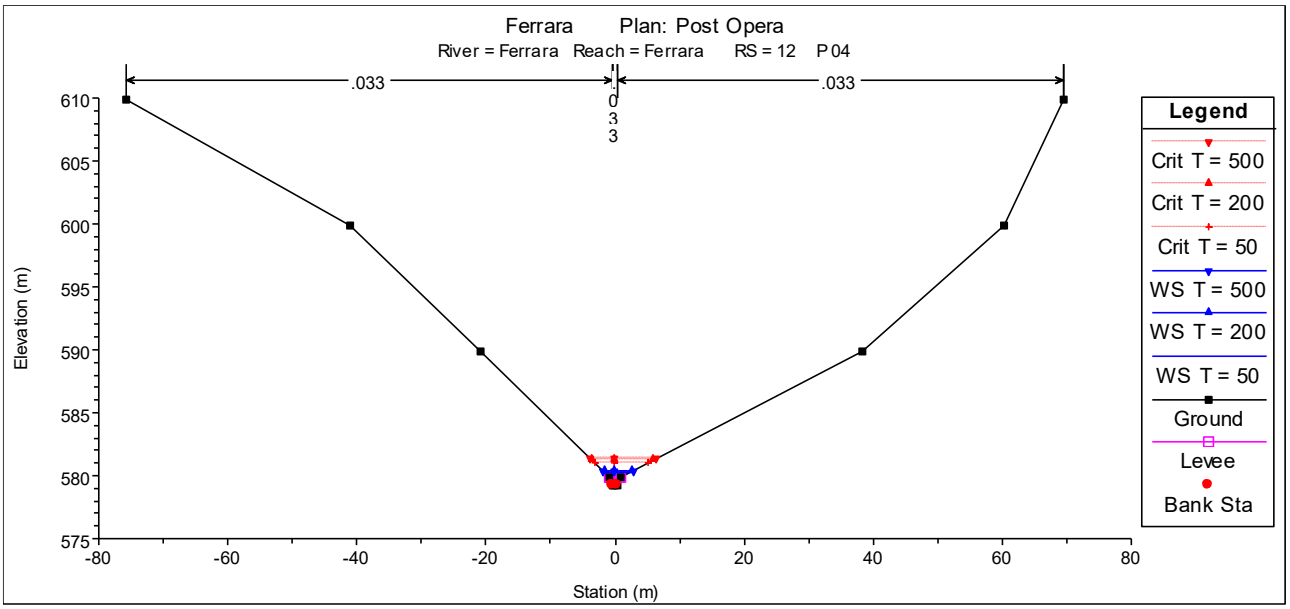
5	50	14,64	511,63	513,35	513,35	514,22	0,033294	1,72	1,72	3,55	0,64	4,13
5	200	19,88	511,63	513,74	513,74	514,8	0,03718	2,11	2,11	4,35	0,69	4,57
5	500	23,64	511,63	514,42	514,42	514,64	0,008265	2,79	2,79	13,15	0,44	2,44
4	50	14,64	509,2	510,5	511,05	513,24	0,077187	1,3	1,85	2,75	0,37	10,03
4	200	19,88	509,2	510,6	511,2	513,72	0,085743	1,4	2	3,43	0,41	11,12
4	500	23,64	509,2	510,69	511,3	513,65	0,079638	1,49	2,1	4,11	0,45	11,17
3	50	14,64	482,45	483,34	483,82	495,27	0,470575	0,89	1,37	1,56	0,17	19,26
3	200	19,88	482,45	483,41	483,9	494,58	0,469168	0,96	1,45	2,2	0,18	20,16
3	500	23,64	482,45	483,44	483,95	495,04	0,502431	0,99	1,5	2,54	0,19	21,28
2	50	14,64	472,1	473,15	473,6	477,45	0,164705	1,05	1,5	2,44	0,23	12,71
2	200	19,88	472,1	473,23	473,7	477,24	0,159181	1,13	1,6	3,32	0,26	13,14
2	500	23,64	472,1	473,28	473,76	477,21	0,158501	1,18	1,66	3,89	0,28	13,47
1	50	14,64	457,74	458,77	459,09	461,24	0,116502	1,03	1,35	3,33	0,2	10,53
1	200	19,88	457,74	458,83	459,16	461,2	0,118334	1,09	1,42	4,38	0,23	11,03
1	500	23,64	457,74	458,87	459,21	461,19	0,11869	1,13	1,47	5,09	0,24	11,29

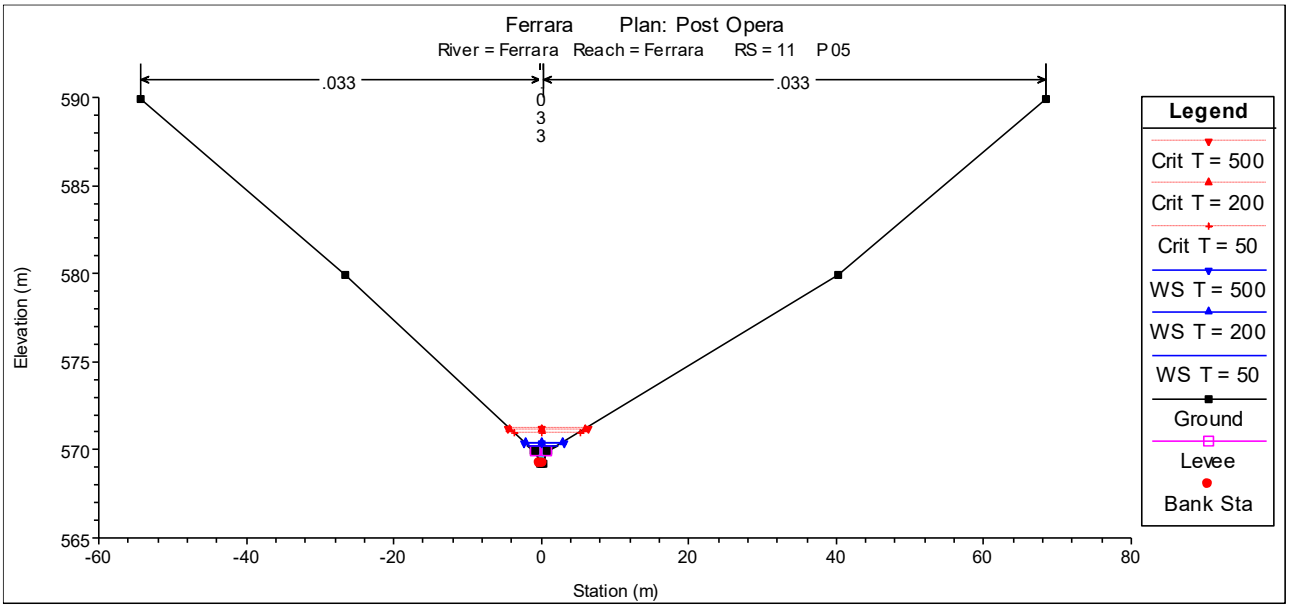
STATO FUTURO

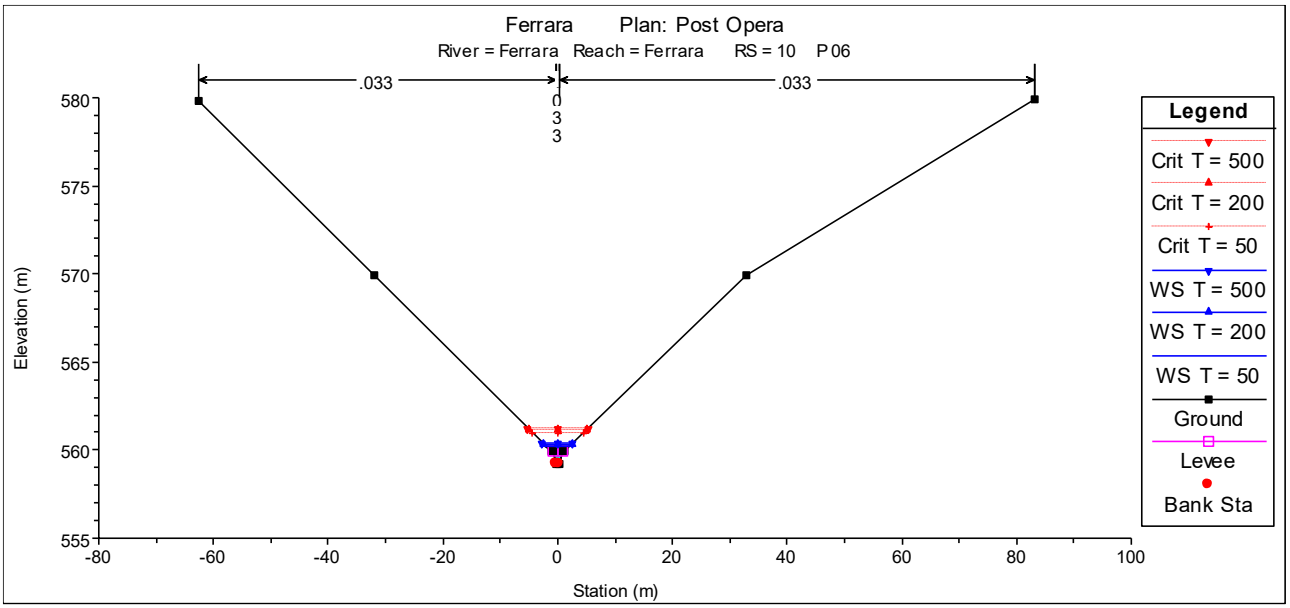

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 15 P01
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
660
655
650
645
640
635
630
625
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
Station (m)
Legend
WS T = 500
Crit T = 500
WS T = 200
Crit T = 200
WS T = 50
Crit T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

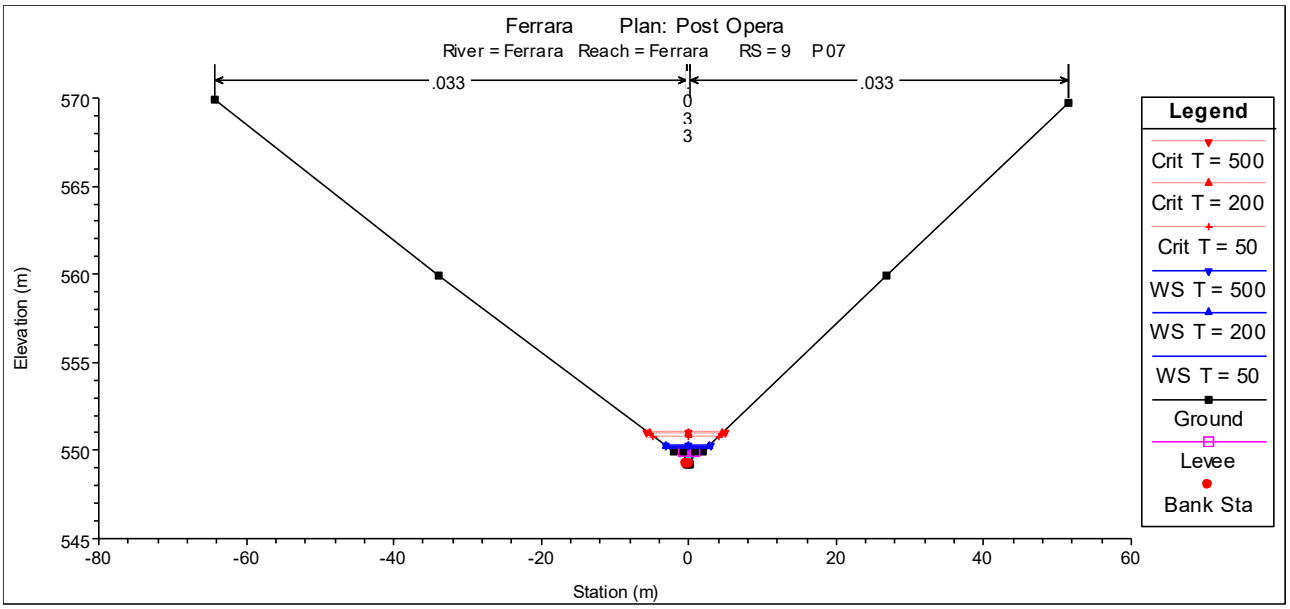

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 14 P02
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
640
635
630
625
620
615
610
605
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

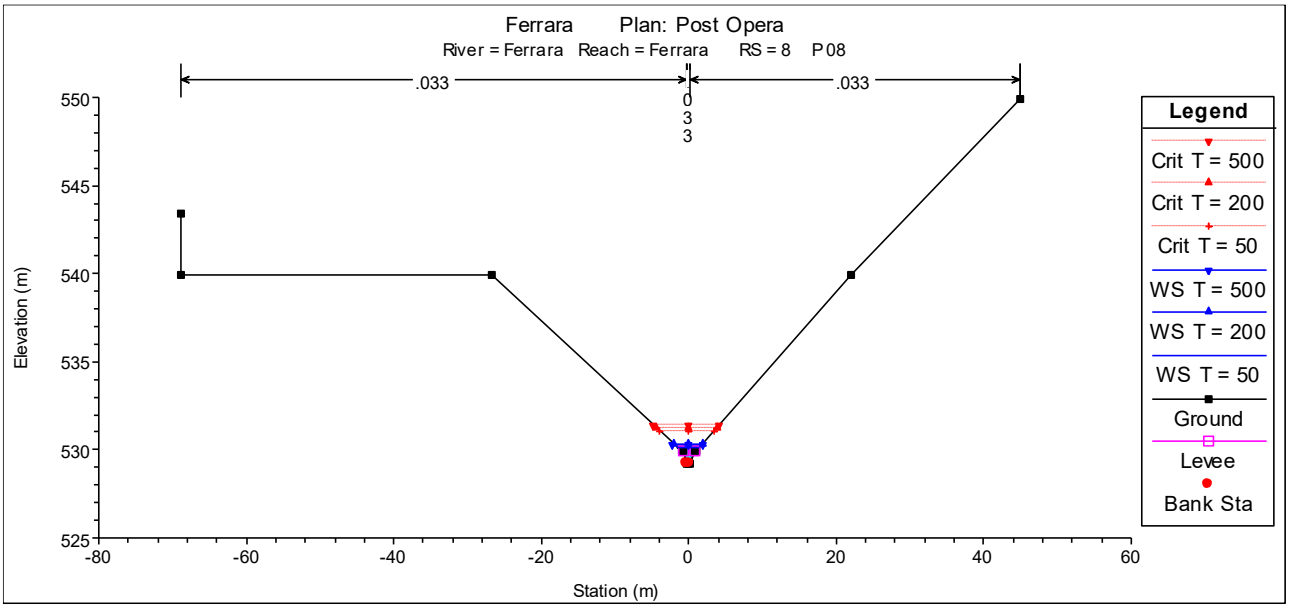

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 13 P03
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
620
615
610
605
600
595
590
585
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

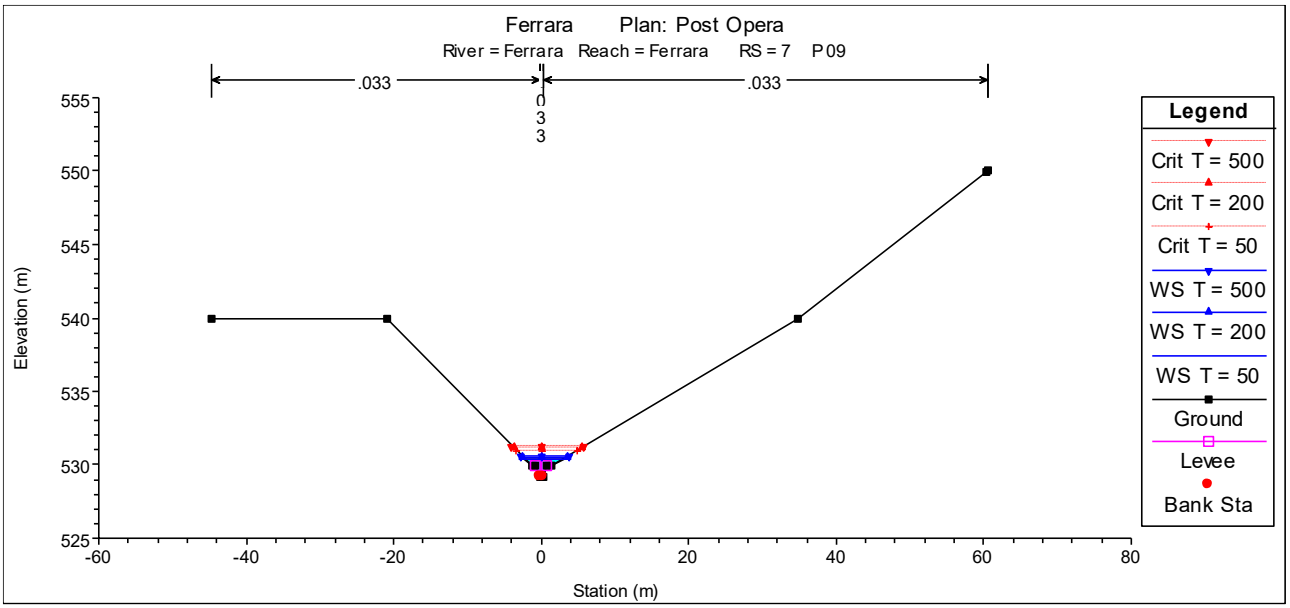

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 12 P04
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

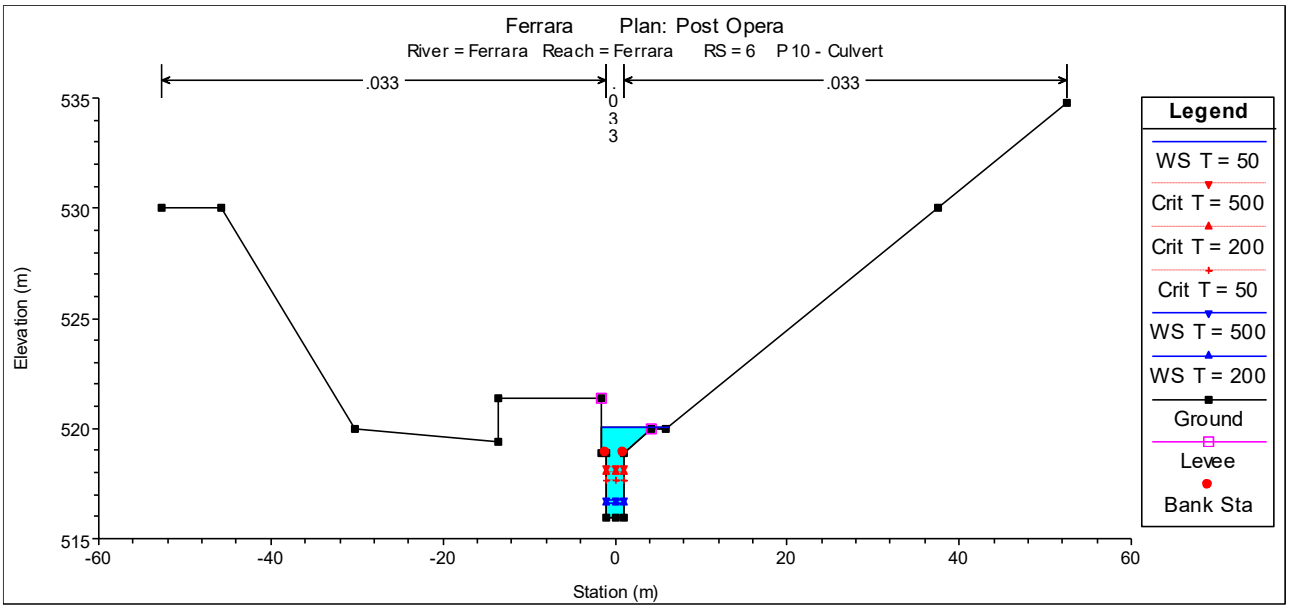

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 11 P05
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

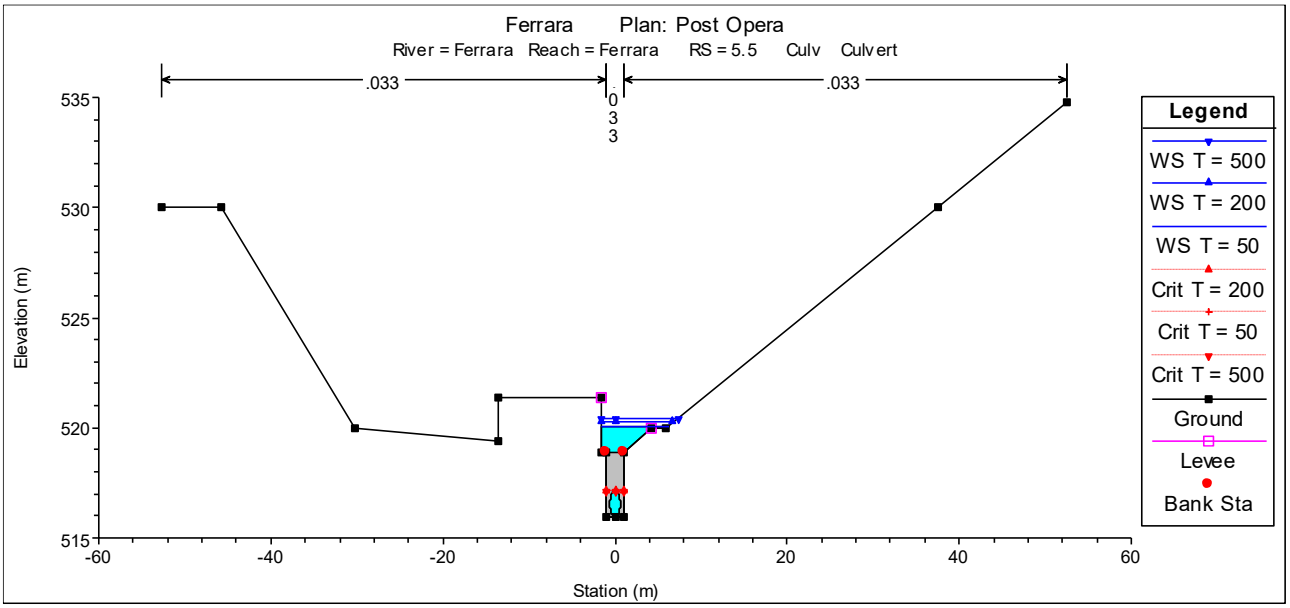

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 10 P06
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

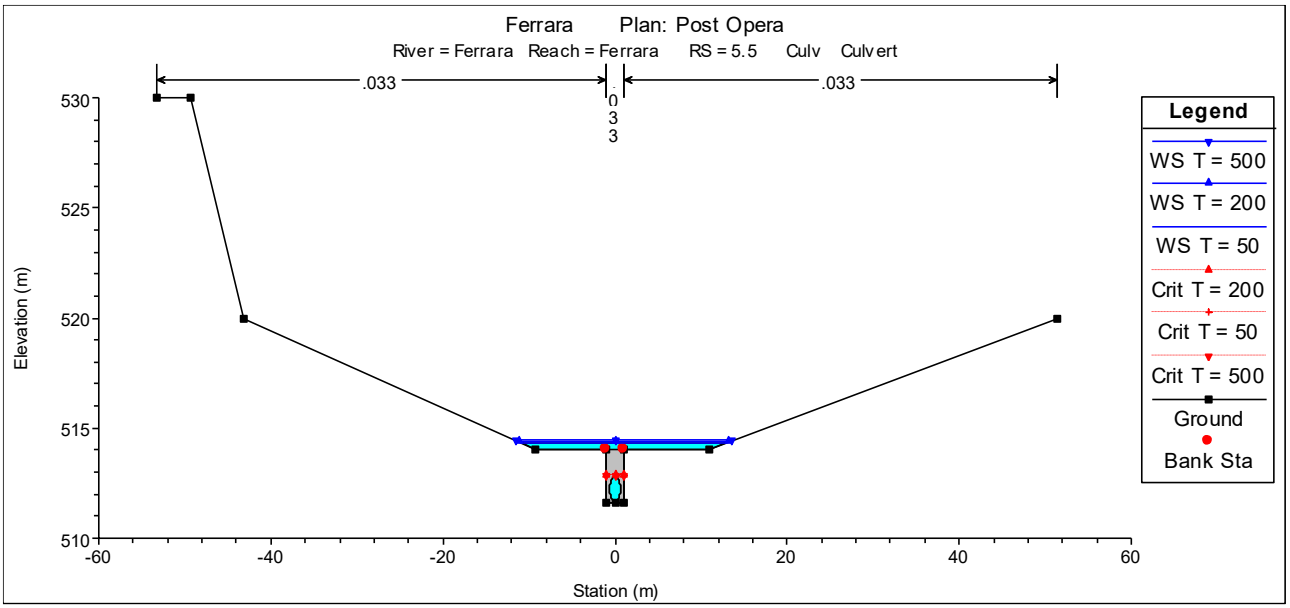

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 9 P07
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
570
565
560
555
550
545
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

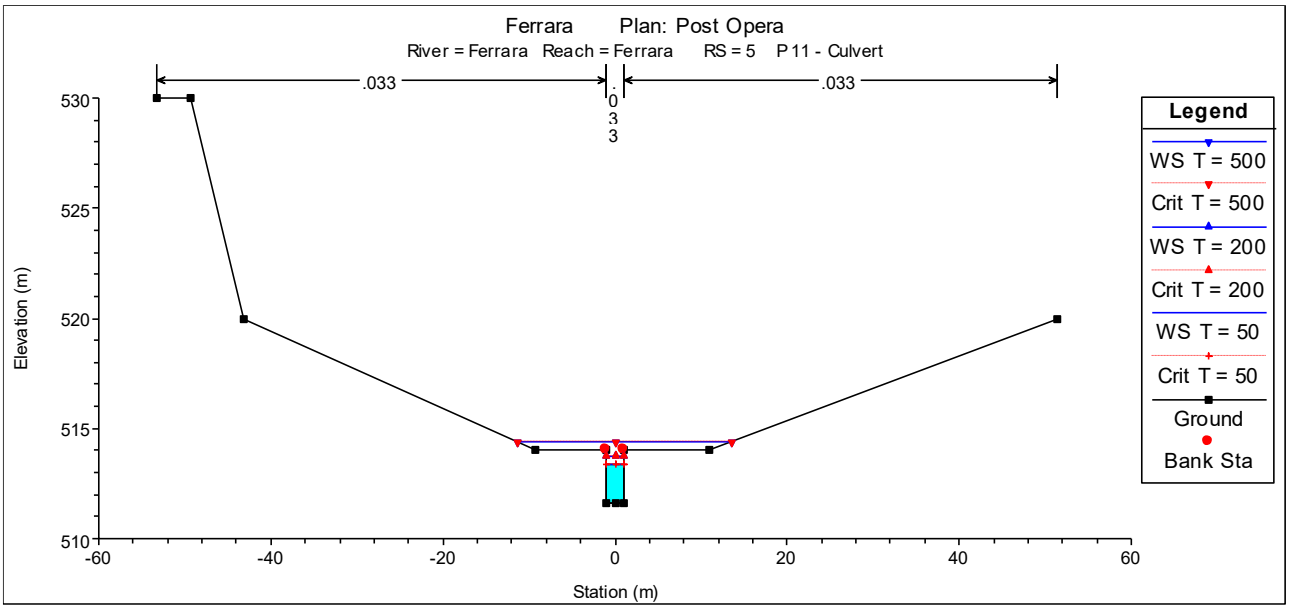

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 8 P08
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
550
545
540
535
530
525
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

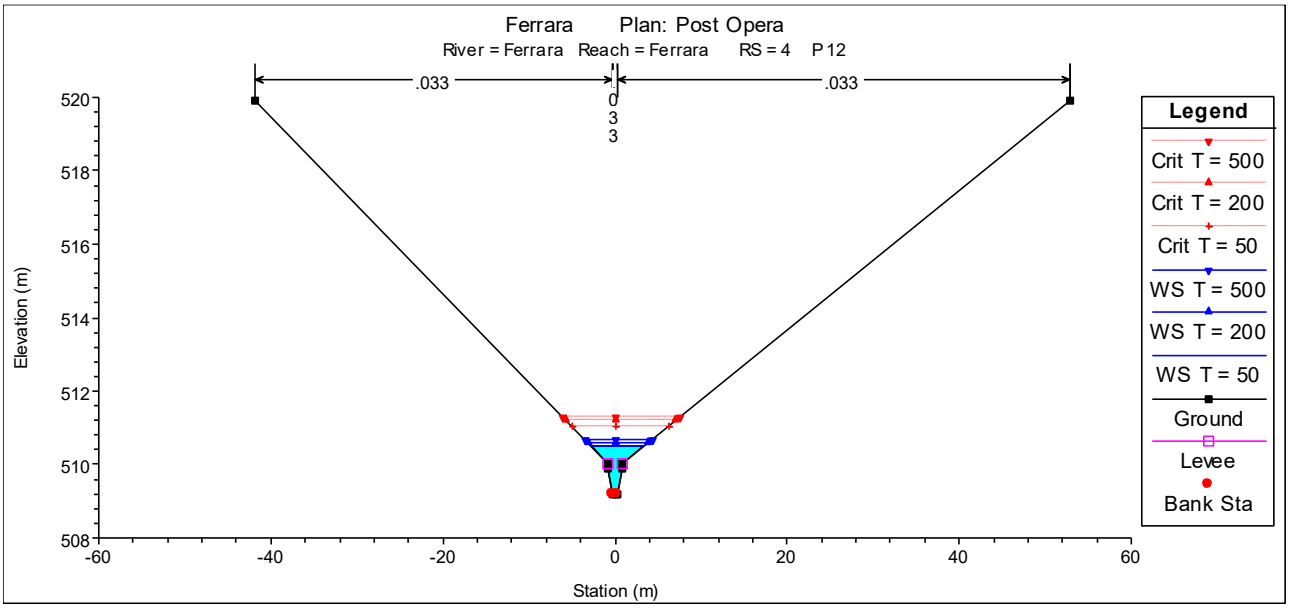

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 7 P09
.033
.033
0
3
3
Elevation (m)
555
550
545
540
535
530
525
-60
-40
-20
0
20
40
60
80
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta

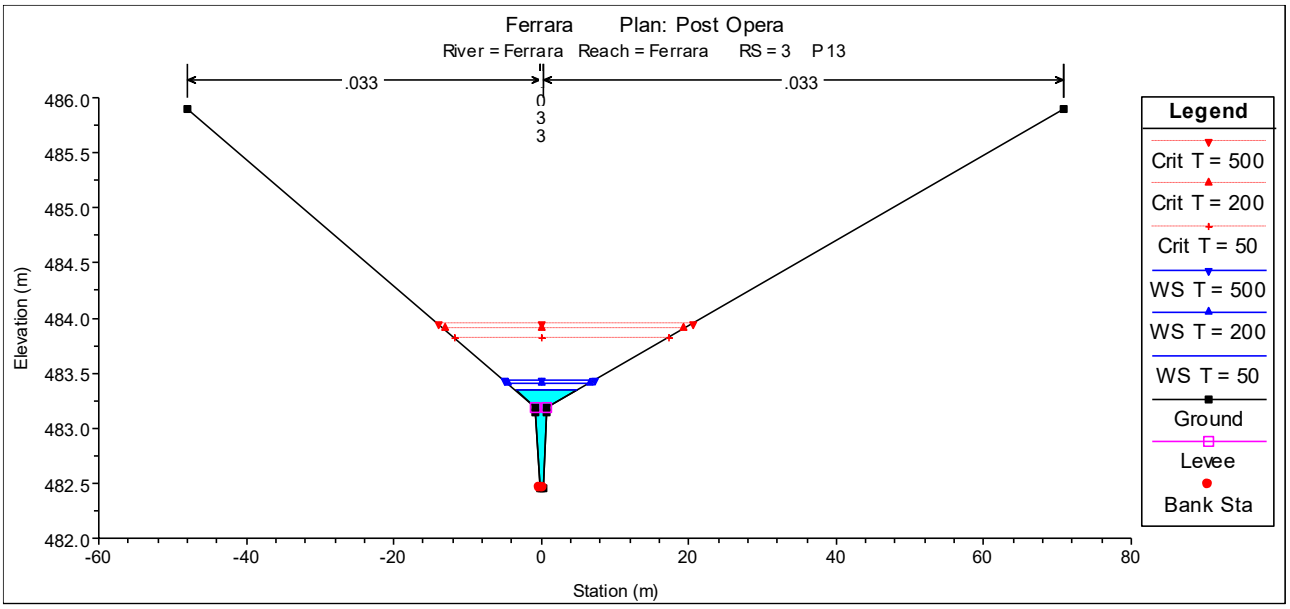

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 6 P 10 - Culvert
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS T = 50
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
Ground
Levee
Bank Sta

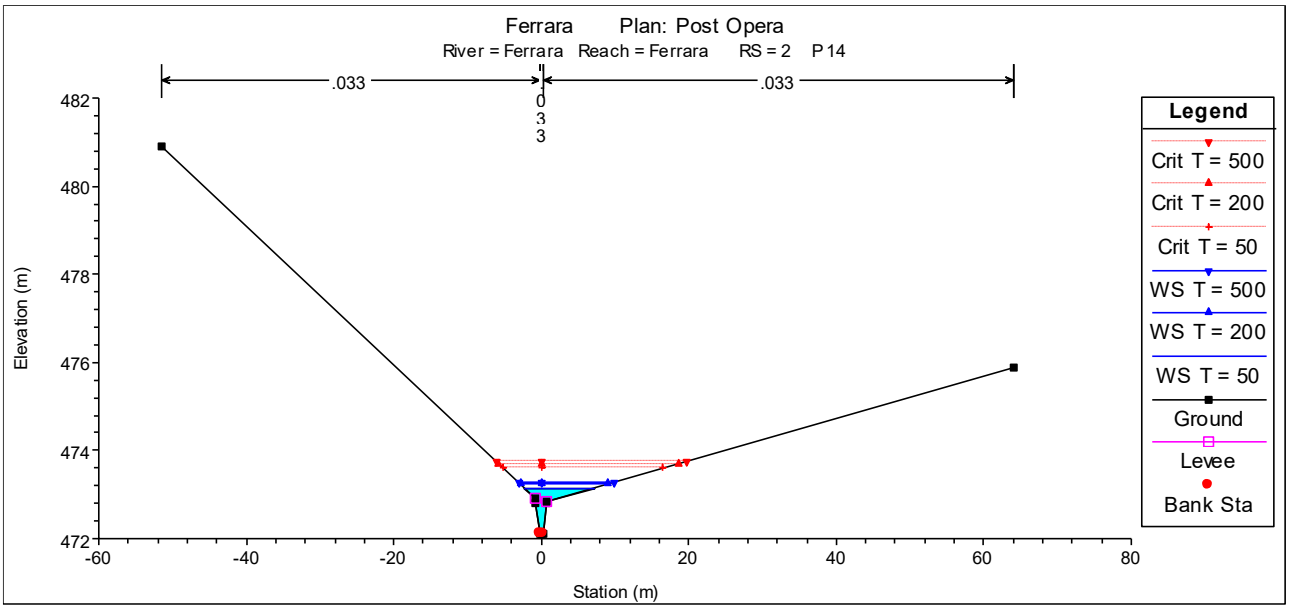

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 5.5 Culv Culvert
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Crit T = 200
Crit T = 50
Crit T = 500
Ground
Levee
Bank Sta

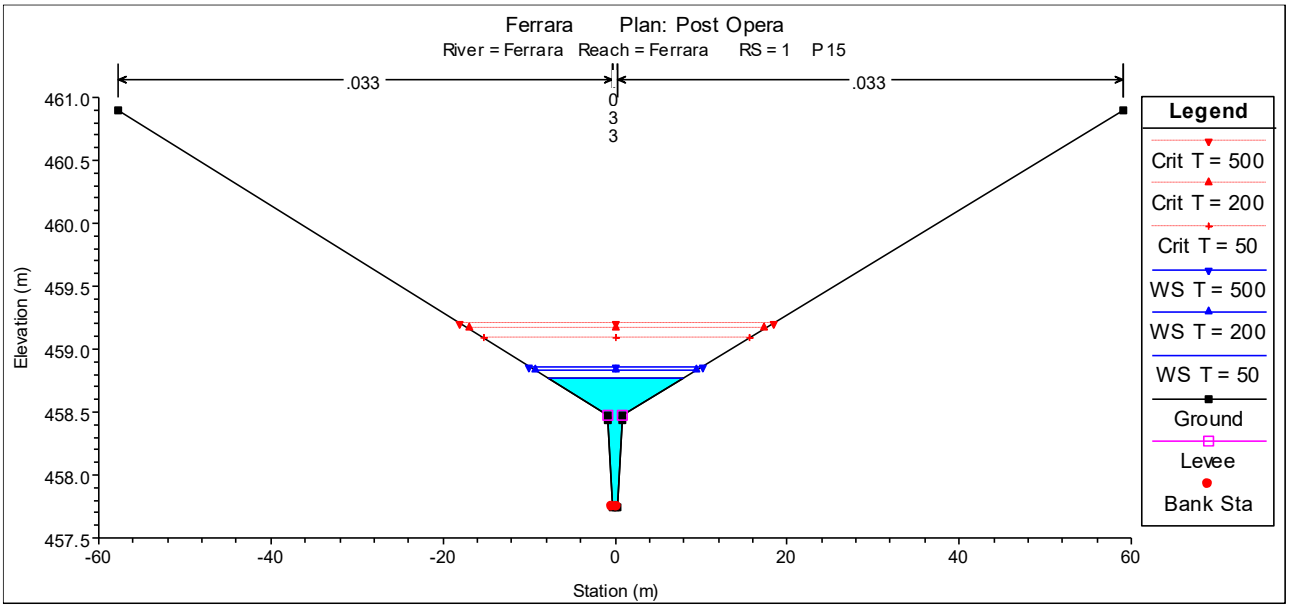

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 5.5 Culv Culvert
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Crit T = 200
Crit T = 50
Crit T = 500
Ground
Bank Sta

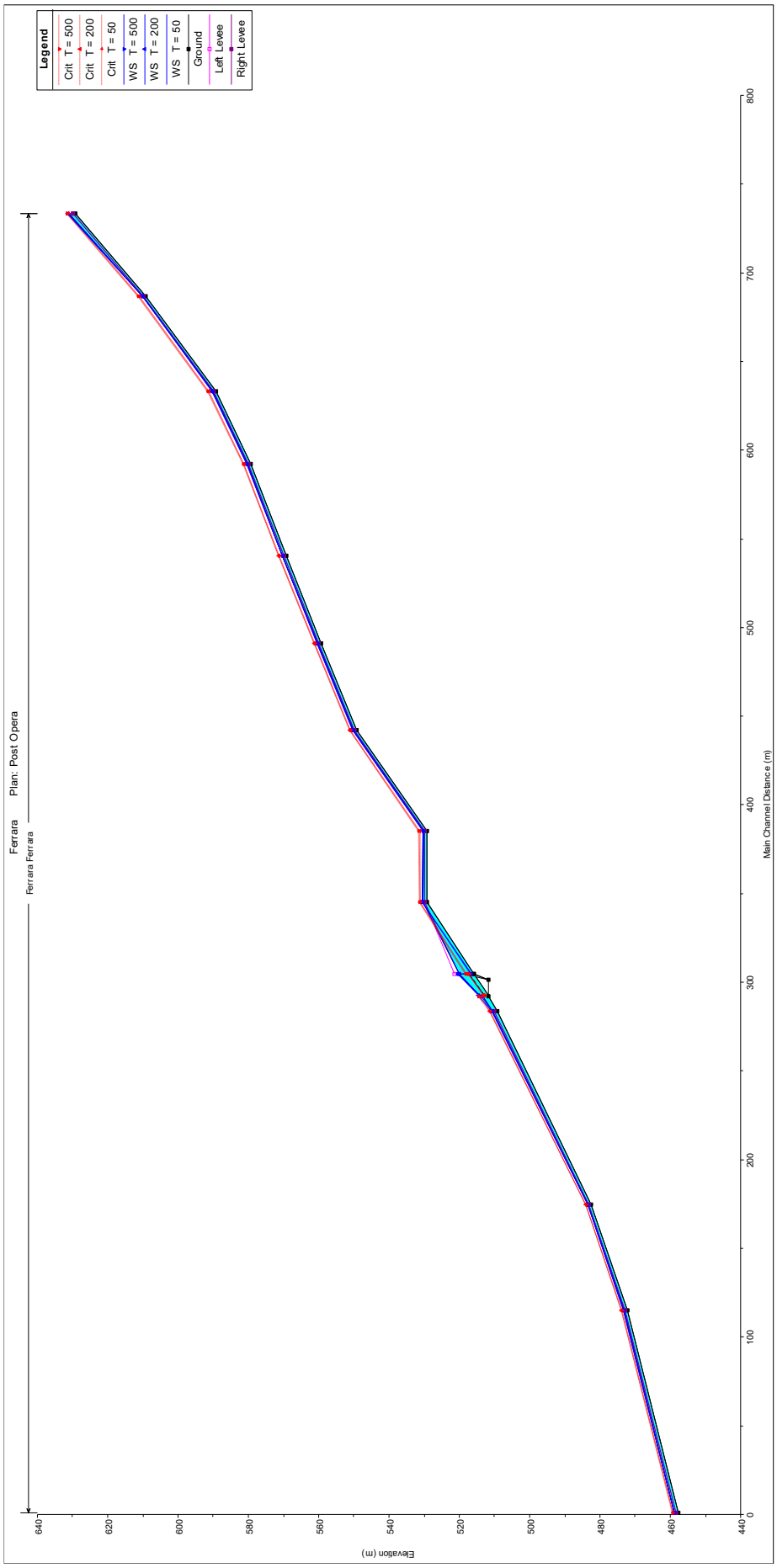

Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 5 P 11 - Culvert
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS T = 500
Crit T = 500
WS T = 200
Crit T = 200
WS T = 50
Crit T = 50
Ground
Bank Sta


Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 4 P 12
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta


Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 3 P 13
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta


Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 2 P 14
.033
0
3
3
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta


Ferrara Plan: Post Opera
River = Ferrara Reach = Ferrara RS = 1 P 15
.033
0
3
3
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Levee
Bank Sta


Legend
Crit T = 500
Crit T = 200
Crit T = 50
WS T = 500
WS T = 200
WS T = 50
Ground
Left Levee
Right Levee
Ferrara
Plan: Post Opera
Ferrara Ferrara
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)

River Stations	Profile T (anni)	Q total Q (m3/s)	Minimum Channel Elevation Z (m)	Water Surface Elevation WS (m)	Critical Water Surface WScr (m)	Energy Grade Elevation E (m)	Energy Grade Slope J (m/m)	Max Channel Depth Y (m)	Critical Depth Ycr (m)	Flow Area A (m^2)	Hydraulic Radius Ri (m)	Velocity Total V (m/s)
15	50	14,64	629,2	631,08	631,08	631,48	0,0081	1,88	1,88	6,1	0,74	4,16
15	200	19,88	629,2	631,29	631,29	631,74	0,0083	2,09	2,09	7,66	0,83	4,51
15	500	23,64	629,2	631,42	631,42	631,9	0,0082	2,22	2,22	8,81	0,89	4,67
14	50	14,64	609,2	610	610,91	628,43	0,7659	0,8	1,71	1,04	0,25	22,9
14	200	19,88	609,2	610,1	611,09	628,66	0,732	0,9	1,89	1,38	0,3	24,12
14	500	23,64	609,2	610,16	611,21	628,84	0,7127	0,96	2,01	1,62	0,32	24,81
13	50	14,64	589,2	590,15	591,05	599,59	0,3356	0,95	1,85	1,39	0,34	17
13	200	19,88	589,2	590,27	591,25	600,5	0,3353	1,07	2,05	1,8	0,38	18,34
13	500	23,64	589,2	590,34	591,38	601,04	0,3356	1,14	2,18	2,07	0,41	19,14
12	50	14,64	579,2	580,23	581,06	587,41	0,2358	1,03	1,86	1,6	0,36	15,04
12	200	19,88	579,2	580,35	581,25	588,18	0,2395	1,15	2,05	2,07	0,4	16,3
12	500	23,64	579,2	580,42	581,36	588,63	0,2416	1,22	2,16	2,38	0,43	17,04
11	50	14,64	569,2	570,25	570,98	575,97	0,1937	1,05	1,78	1,8	0,36	13,78
11	200	19,88	569,2	570,36	571,16	576,52	0,196	1,16	1,96	2,33	0,4	14,85
11	500	23,64	569,2	570,43	571,27	576,84	0,1971	1,23	2,07	2,68	0,43	15,47
10	50	14,64	559,2	560,23	560,97	566,15	0,2056	1,03	1,77	1,77	0,35	14,02
10	200	19,88	559,2	560,35	561,15	566,65	0,2055	1,15	1,95	2,29	0,4	15,04
10	500	23,64	559,2	560,41	561,26	566,96	0,2053	1,21	2,06	2,64	0,43	15,63
9	50	14,64	549,2	550,15	550,8	555,47	0,2203	0,95	1,6	1,89	0,31	13,78
9	200	19,88	549,2	550,24	550,97	555,9	0,2229	1,04	1,77	2,39	0,36	14,73
9	500	23,64	549,2	550,3	551,07	556,19	0,2237	1,1	1,87	2,74	0,39	15,28
8	50	14,64	529,2	530,15	531,05	539,71	0,343	0,95	1,85	1,38	0,34	17,11
8	200	19,88	529,2	530,27	531,25	540,3	0,3297	1,07	2,05	1,81	0,39	18,2
8	500	23,64	529,2	530,34	531,38	540,68	0,3237	1,14	2,18	2,1	0,42	18,85
7	50	14,64	529,2	530,43	530,93	532,42	0,0639	1,23	1,73	2,89	0,45	8,78
7	200	19,88	529,2	530,55	531,12	532,83	0,0676	1,35	1,92	3,59	0,51	9,61
7	500	23,64	529,2	530,62	531,24	533,09	0,0698	1,42	2,04	4,06	0,54	10,12
6	50	14,64	515,95	520,09	517,61	520,18	0,0018	4,14	1,66	11,96	0,79	1,39
6	200	19,88	515,95	516,62	517,98	525,87	0,6353	0,67	2,03	1,48	0,42	13,47
6	500	23,64	515,95	516,74	518,22	526,16	0,5675	0,79	2,27	1,74	0,46	13,6
5.5		Culvert										

5	50	14,64	511,63	513,35	513,35	514,22	0,0333	1,72	1,72	3,55	0,64	4,13
5	200	19,88	511,63	513,74	513,74	514,8	0,0372	2,11	2,11	4,35	0,69	4,57
5	500	23,64	511,63	514,42	514,42	514,64	0,0083	2,79	2,79	13,15	0,44	2,44
4	50	14,64	509,2	510,5	511,05	513,24	0,0772	1,3	1,85	2,75	0,37	10,03
4	200	19,88	509,2	510,6	511,2	513,72	0,0857	1,4	2	3,43	0,41	11,12
4	500	23,64	509,2	510,69	511,3	513,65	0,0796	1,49	2,1	4,11	0,45	11,17
3	50	14,64	482,45	483,34	483,82	495,27	0,4706	0,89	1,37	1,56	0,17	19,26
3	200	19,88	482,45	483,41	483,9	494,58	0,4692	0,96	1,45	2,2	0,18	20,16
3	500	23,64	482,45	483,44	483,95	495,04	0,5024	0,99	1,5	2,54	0,19	21,28
2	50	14,64	472,1	473,15	473,6	477,45	0,1647	1,05	1,5	2,44	0,23	12,71
2	200	19,88	472,1	473,23	473,7	477,24	0,1592	1,13	1,6	3,32	0,26	13,14
2	500	23,64	472,1	473,28	473,76	477,21	0,1585	1,18	1,66	3,89	0,28	13,47
1	50	14,64	457,74	458,77	459,09	461,24	0,1165	1,03	1,35	3,33	0,2	10,53
1	200	19,88	457,74	458,83	459,16	461,2	0,1183	1,09	1,42	4,38	0,23	11,03
1	500	23,64	457,74	458,87	459,21	461,19	0,1187	1,13	1,47	5,09	0,24	11,29