



ANAS S.p.A.

Direzione Generale

DG 41/08

LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA - CAT. B - DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)

PROGETTO ESECUTIVO

GUADI

Attraversamento provvisorio sul torrente Ferro
Relazione idrologico - idraulica

CONTRAENTE GENERALE: Società di Progetto

SIRJO S.C.p.A.

Presidente:

Dott. Arch. Maria Elena Cuzzocrea

PROGETTAZIONE :



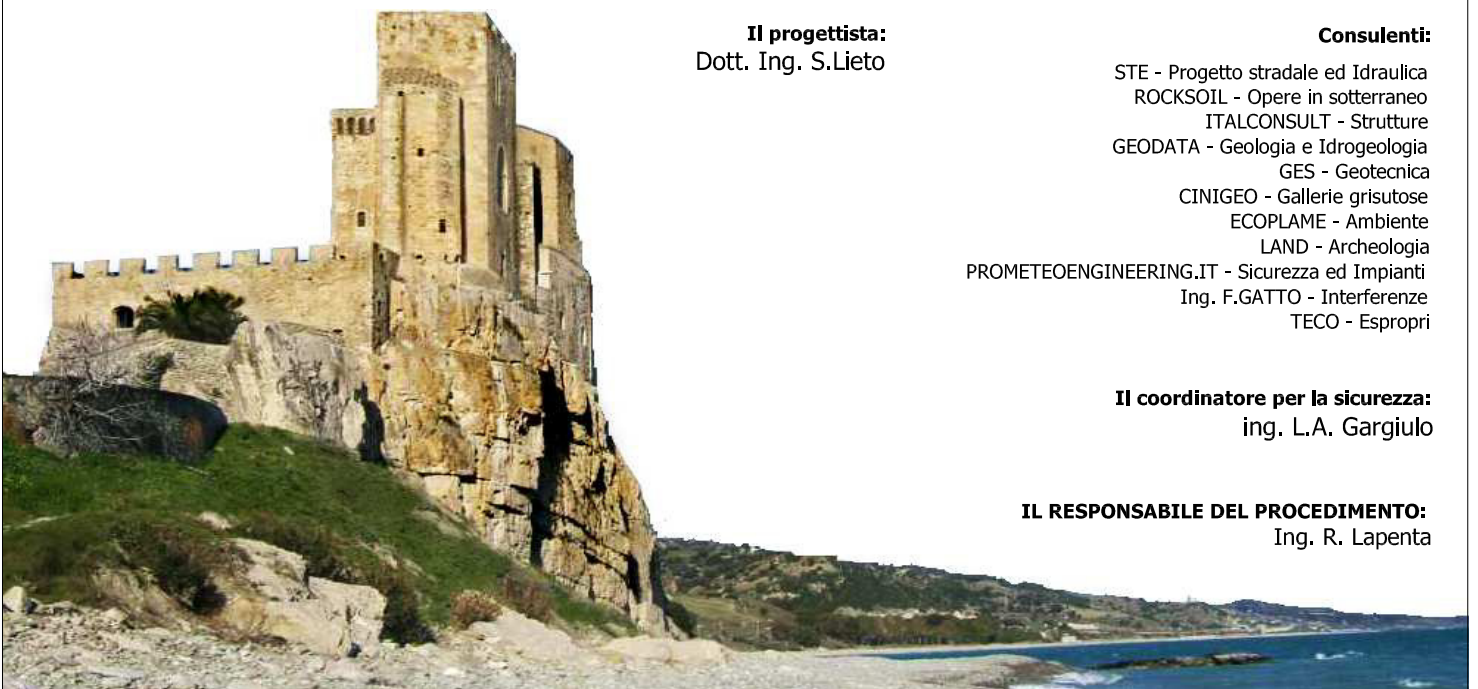
Il progettista: Dott. Ing. S.Lieto

Consulenti:

- STE - Progetto stradale ed Idraulica
ROCKSOIL - Opere in sotterraneo
ITALCONSULT - Strutture
GEODATA - Geologia e Idrogeologia
GES - Geotecnica
CINIGEO - Gallerie grisutose
ECOPLAME - Ambiente
LAND - Archeologia
PROMETEOENGINEERING.IT - Sicurezza ed Impianti
Ing. F.GATTO - Interferenze
TECO - Espropri

Il coordinatore per la sicurezza: ing. L.A. Gargiulo

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Ing. R. Lapenta



Rep.:

Scala di rappresentazione:

Codice Progetto:

Codice Elaborato:

LO716C E 1901 T04 V I 1 4 C A N R E 0 1 B

Table with 5 columns: Rev., Data, Descrizione, Redatto, Verificato, Approvato. Contains revision history for the project.

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO DEL TORRENTE FERRO

INDICE

Premessa

1. RELAZIONE SULLO STUDIO IDROLOGICO

1.1. Caratteri morfometrici del bacino del Torrente Ferro

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 Ferro, al fine della stima della massima portata al colmo di piena

1.2.1. *Calcolo del tempo di corrivazione*

1.2.2. *Tempo di ritorno delle opere provvisionali*

1.2.3. *Curve di probabilità pluviometrica e 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 (post operam con guado)*

3. CONCLUSIONI

ALLEGATO A. Risultati dei calcoli idraulici

Premessa

Al fine di garantire la sicurezza idraulica, relativa al pericolo d'inondazione, della costruenda S.S. 106, il committente, SIRJO S.C.p.A, ha incaricato il sottoscritto dello svolgimento dello studio idrologico-idraulico del bacino idrografico del Torrente Ferro.

In particolare, sarà oggetto di studio un tratto del Torrente Ferro di 4 km circa, a cavallo dell'attraversamento della nuova S.S. 106, indicato come "area di attenzione" nelle Tavole RI78107, RI78011/A, RI78011/B, RI78032/A, RI78032/B e RI78007/A 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.

1. RELAZIONE SULLO STUDIO IDROLOGICO

1.1 Caratteri morfometrici del bacino del Torrente Ferro

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 foce, avente area e perimetro rispettivamente pari a: $A=118,68 \text{ km}^2$ e $P=88,28 \text{ km}$.

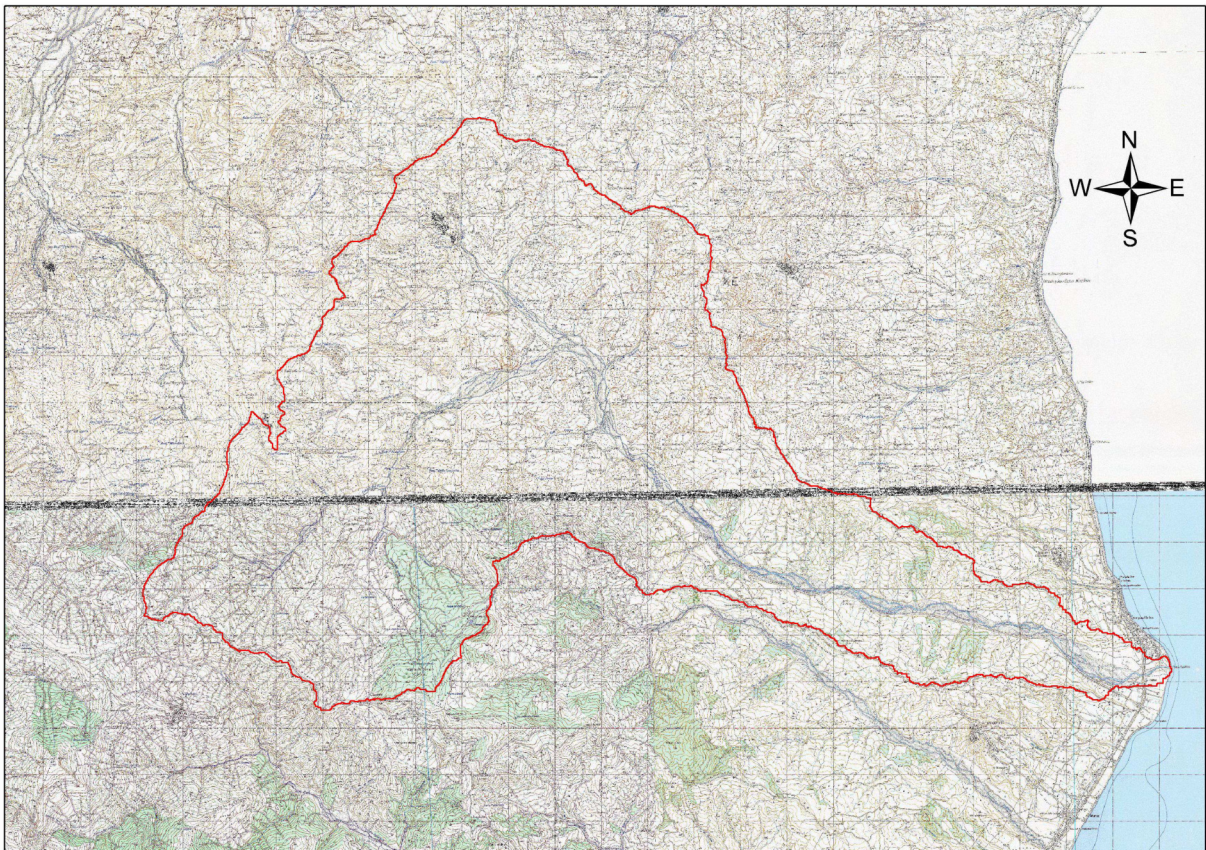


Fig. 1. Corografia del bacino del Torrente Ferro.

1.1.1 Curva ipsografica e altitudine media

È stata ricavata la curva ipsografica del bacino (Fig. 2), con quota massima $H_{\max}=1151 \text{ m s. m.}$ e quota minima $H_0=0 \text{ m s. m.}$ Si è ottenuta l'altitudine media, ordinata di compenso della curva ipsografica, risultata pari a $H_m=455,06 \text{ m s. m.}$

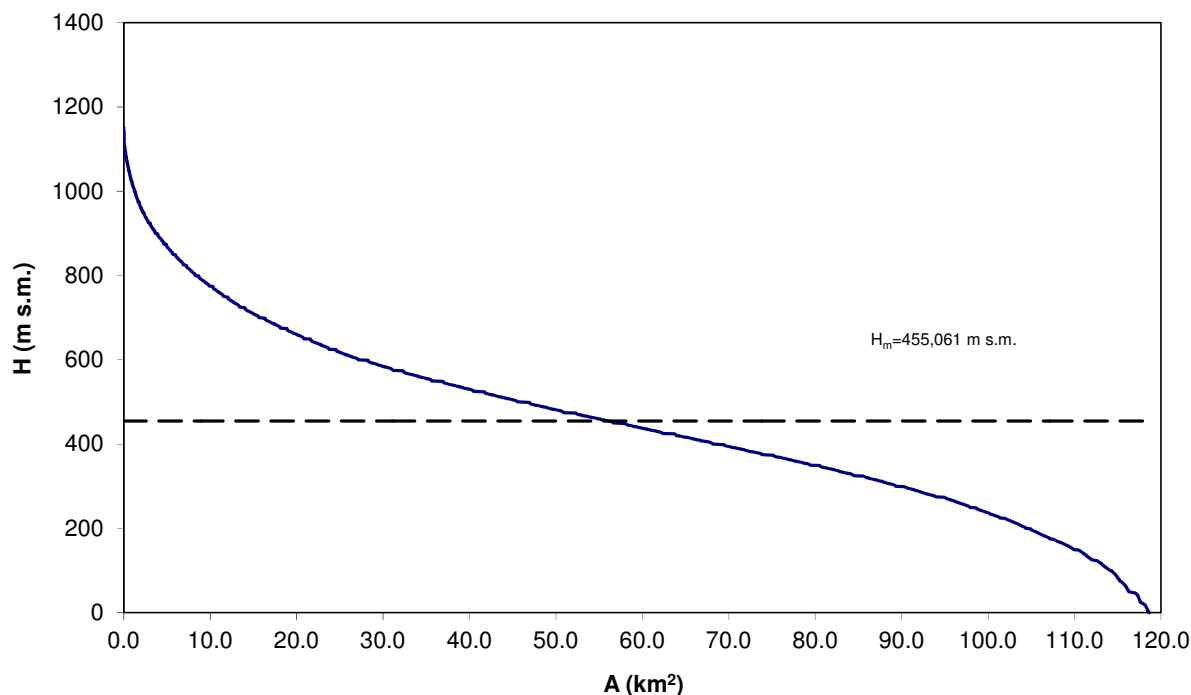


Fig. 2. Curva ipsografica del bacino del Torrente Ferro.

1.1.2 Profilo longitudinale e pendenza media dell'asta principale

È stato ricostruito il profilo longitudinale dell'asta principale del reticolo idrografico del Torrente Ferro (Fig. 3), che presenta una lunghezza totale $L=29,2$ km.

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

$$i_a = \left(\frac{L}{\sum_j \frac{L_j}{i_j}} \right)^2 = 0,66 \% \quad (1)$$

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.

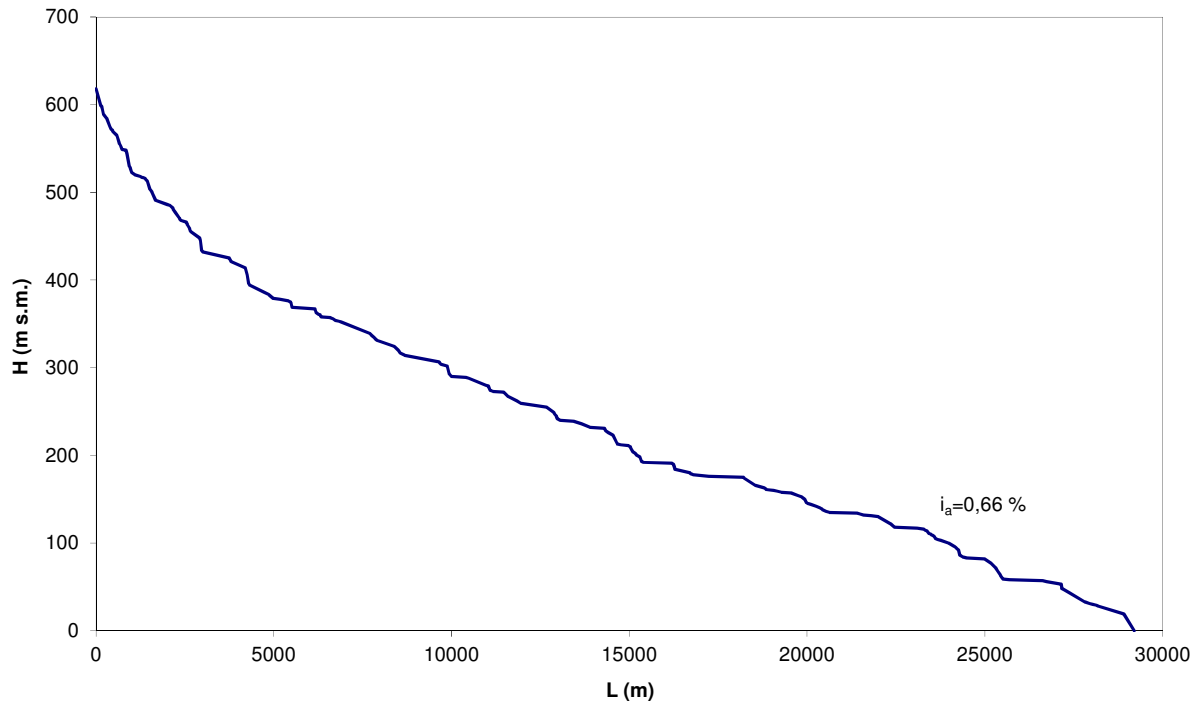


Fig. 3. Profilo longitudinale dell'asta principale del bacino del Torrente Ferro.

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:

$$F_S = \frac{L}{\sqrt{\frac{4A}{\pi}}} = 2,38 \quad (2)$$

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

$$F_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 2,29 \quad (3)$$

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 del Torrente Ferro oggetto di studio.

Tabella 1. Caratteristiche morfometriche del bacino del Torrente Ferro.

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
118,68	88,28	1151,00	0,00	455,06	29,20	0,66	2,38	2,29

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

Non essendo presenti nel bacino in esame del Torrente Ferro 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:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_m - H_0}} \quad (4)$$

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:

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

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 $1 \div 1.5$ m/s.

In Tabella 2 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
5,12	5,43	5,41	5,32

In base alle caratteristiche morfometriche del bacino, si è ritenuto opportuno stimare il tempo di corrivazione pari a $t_c \approx 1,25$ ore, valore prossimo a quello ottenuto attraverso la formula di Viparelli. Infatti, per bacini di dimensioni 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 Tempo di ritorno delle opere provvisionali

Per quanto riguarda la definizione del tempo di ritorno rispetto al quale definire il dimensionamento delle opere provvisionali legate ai lavori di ricostruzione del ponte sul Torrente Ferro della SS106, si rappresenta quanto di seguito specificato:

Dalle “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 di esondazione”, che fornisce gli indirizzi generali da applicare nelle attività di progettazione per i casi espressamente previsti dalle Norme di Attuazione del PAI Calabria si riporta testualmente (cap.2.6.2) “...il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni è quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell’opera....” ovvero la probabilità composta di non superamento che un determinato evento caratterizzato da tempo di ritorno assegnato, TR, si manifesti nel corso di un periodo temporale prefissato, N. Lo sviluppo della formulazione di tempo di ritorno, associato alla probabilità composta per la quale l’evento si manifesti all’interno dell’orizzonte temporale stabilito, porta alla seguente formulazione del rischio idraulico:

$$T = \left[1 - \frac{1}{TR}\right]^N \quad (7)$$

nella quale:

- R = rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;
- TR = tempo di ritorno dell’evento di riferimento (anni);
- N = orizzonte temporale di riferimento (anni).

Quanto affermato deve essere interpretato nel modo seguente: il rischio idraulico associato all’interferenza prodotta dalle opere provvisionali nel periodo di installazione del cantiere (periodo di costruzione e funzionamento delle opere provvisionali) deve essere uguale al rischio idraulico che l’evento di progetto si manifesti nel corso della vita dell’opera.

Stabilite quindi le seguenti variabili:

- TR = tempo di ritorno di progetto (anni);

- V = durata dell'opera (anni);
- c = durata di costruzione e funzionamento delle opere provvisionali (anni);
- T_{pr} = tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali (anni).

Il tutto si trasforma nella seguente uguaglianza:

$$1 - \left[1 - \frac{1}{T_{pr}}\right]^c = 1 - \left[1 - \frac{1}{T_R}\right]^V \quad (8)$$

Dalla quale si ricava T_{pr}

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left[1 - \frac{1}{T_R}\right]^{V/c}} \quad (9)$$

Stabilite quindi le seguenti variabili:

- TR = tempo di ritorno del progetto = 200 anni;
- V = durata dell'opera = 100 anni;
- c = durata di costruzione e funzionamento delle opere provvisionali = 3 anni.

Si avrà che il tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali T_{pr} sarà pari a 7 anni.

1.2.3 Curve di probabilità pluviometrica e pluviogramma di calcolo

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 provengono 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:

$$F_X(x) = \exp\left(-\Lambda_1 e^{-\frac{x}{\theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{x}{\theta_2}}\right) \quad (10)$$

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 *Valutazione delle Piene* (VAPI) dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI)

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.

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: $\Lambda_1 = 48,914$; 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 Ferro ricade all'interno dell'area omogenea dell'Alto Ionio (II). Nell'area II sono presenti le seguenti stazioni pluviografiche, installate dall'ex SIMN:⁵ Rocca Imperiale (codice 845, quota 190 m s. m.), Roseto Capo Spulico (codice 865, quota 151 m s. m.), Oriolo (codice 870, quota 450 m s. m.), Albidona (codice 900, quota 810 m s. m.), Cerchiara di Calabria (codice 924, quota 734 m s. m.), Villapiana Scalo (codice 930, quota 5 m s. m.), Francavilla Marittima (codice 940, quota 272 m s. m.), San Lorenzo Bellizzi (codice 950, quota 851 m s. m) e Civita (codice 960, quota 450 m s. m).

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

Durata (ore)	Calabria zona omogenea		Λ_1 per sottozone omogenee (Calabria)		
	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

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

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*, GNDICI – Linea I 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.

Le altezze di pioggia massime annuali di durata oraria sono riportate nelle Tabelle 4.1÷4.9.

Tabella 4.1. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Rocca Imperiale, ricadente nell'area omogenea II.

Anno	h ₁ (mm)	h ₃ (mm)	h ₆ (mm)	h ₁₂ (mm)	h ₂₄ (mm)
1930	28	49,5	62	76,5	84,4
1931	20	43	67,8	122,2	132,6
1933	29,5	34	36	49,5	74,8

Tabella 4.2. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di Roseto Capo Spulico, ricadente nell'area omogenea II.

Anno	h ₁ (mm)	h ₃ (mm)	h ₆ (mm)	h ₁₂ (mm)	h ₂₄ (mm)
2002	30,0	53,4	61,8	61,8	61,8
2003	33,6	56,4	94,6	116,2	123,2
2004	31,2	37,0	41,4	41,6	43,2

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:

$$\mu_i(t, H) = \frac{i_0}{(1+t/t_{car})^{C+D \cdot H}} \quad (11)$$

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.

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

Anno	h ₁ (mm)	h ₃ (mm)	h ₆ (mm)	h ₁₂ (mm)	h ₂₄ (mm)
1941	29,4	37	40	70,2	89,2
1949	22,2	28,2	29,6	40,2	52,6
1950	30,8	43,8	54,2	78	120,3
1951	32	40	46,6	58,6	62,8
1953	42	62,4	70	96,6	160,1
1954	38	40,6	41	56	102,1
1956	30	41,2	48	81	100,1
1957	25	50	71,6	79,8	91
1958	27,8	30,2	31,6	41	50,2
1959	39	67	92	142,1	182,1
1960	11	20,6	39	59,4	76

1961	31	51,6	74,2	102,1	132,9
1962	35,6	41,4	69,2	74	84,6
1963	19	24,2	38	69,2	95,4
1964	16	30	53	72	87
1965	37,2	58	90,8	128,1	197,1
1966	51	71,2	77	82	106,8
1967	29,2	40,4	48,4	54,8	81,8
1968	14,6	24	49,5	85,5	95,8
1969	41	46,2	46,2	64,6	84,6
1971	8,6	15,2	19,4	27	40

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

Anno	h ₁ (mm)	h ₃ (mm)	h ₆ (mm)	h ₁₂ (mm)	h ₂₄ (mm)
1966	58	74	78,4	81,4	96,4
1967	26	33,4	34	34	34
1968	19	41	52	54,8	90,2
1969	13	23,5	34	53	71,4
1970	14,4	34	46	80,4	127,6
1971	32	37	37,3	37,3	37,3
1972	18	42,6	72	91,4	107,5
1980	19,6	54,2	67,8	104,1	134,9
2000	7	17,2	23	23	28,8

Trasformando l'espressione (8) in forma logaritmica:

$$\log \mu_i(t, H) = \log i_0 - C \log(1 + t/t_{car}) - D \cdot H \log(1 + t/t_{car}) \quad (12)$$

si ottiene la seguente espressione lineare:

$$Y = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 \quad (13)$$

con $Y = \log \mu_i$, $A_0 = \log i_0$, $A_1 = -C$, $X_1 = \log(1 + t/t_{car})$, $A_2 = -D$, $X_2 = H X_1$. 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 .

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

Anno	h ₁ (mm)	h ₃ (mm)	h ₆ (mm)	h ₁₂ (mm)	h ₂₄ (mm)
1931	17	18,6	28,6	43,6	50,6
1932	17	44	61	81	104,6

1933	19	28	40	45,5	63,5
1934	11	17	27	46,4	73,8
1935	15	20	26,6	34,4	41,8
1936	14	20,2	26	41,8	52,5
1937	15	22,8	22,8	24	27
1939	21	33,4	44	55,4	55,8
1941	15,4	17	24	34,2	44,2
1943	33,8	34,4	34,4	34,6	52
1944	35	80	95,2	126,1	130,3
1946	24	36	47	60	97
1947	29,2	38,2	41	45	61,2
1948	16,6	26,8	34,4	38,6	46
1949	19,6	23	29	43,2	51,4
1950	20	40	60	72,2	79,6

Per l'area omogenea dell'Alto Ionio (II), in cui ricade il bacino del Torrente Ferro, partendo dai dati riportati nelle Tabelle 4.1÷4.9 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:

$$\mu_i(t, H) = \frac{119,717}{(1+t/0,061)^{0,65581} - 0,0001026 \cdot H} \quad (14)$$

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.

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

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1934	33,5	39,2	45,5	54,5	95,5
1935	16	35	55,2	69,2	87,4
1937	20	27,4	27,6	34,2	34,2
1939	16,4	30,4	51,4	51,4	55,4
1940	19,4	29,4	30,4	45	49
1949	9,4	15,4	19	23	28,8
1953	25,2	27,6	30	30,2	41,4
1955	14,6	19	24,8	24,8	34,8
1957	16,4	22	22	28,2	32,4
1958	0	17,2	25	32,3	50
1959	18,8	26,2	30	49,4	66,6
1964	12	18	32	37	47,4
1966	34,4	41,4	42,2	53	68
1967	23	30,5	40,2	67,4	73,2
1968	40	51	56	60,2	64,8

1969	15,4	22	28	43,6	52,5
1970	13,2	28,5	40	73,5	92,5
1971	10,6	10,6	17,2	27	29,6
1972	17,2	31,6	51,6	69,4	76,4
1978	17,2	19,2	29,8	41,2	47,8
1979	23,4	43,4	56,4	71,2	101,6
1980	8	16,2	28,6	39,4	51,2
1983	32,6	46,4	46,4	46,4	46,4
1984	18,6	41,6	47,2	57,4	60,2
1985	19,4	26,2	34,4	47	57
1986	16,8	23,8	34,4	51,2	63,2
1987	15,8	36,2	45,8	51,6	66
1988	9,6	17,2	19	20,4	30,2
1992	19	23,4	23,6	26,2	39,2
1993	12,6	13,6	18	22,4	25,6
1994	19,8	27	34,6	49,4	57
1995	10	11,8	17,8	30,8	43,4
1996	18,2	24,2	29	36,2	52,6
1997	20,4	29,8	42,2	54,6	58,6
1998	10	23,2	33,4	36,6	46,8
1999	39,8	43,2	43,4	43,4	43,4
2000	19,6	37,2	54,6	80,4	114,6
2001	22,8	38	57,6	90,6	97,2

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:

$$\eta(t) = \ln[A_1(t)] + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j [A_1(t)]^j}{j!} \Gamma \left[\frac{j}{\theta_1(t)} \right] \quad (15)$$

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

Anno	h_1 (mm)	h_3 (mm)	h_6 (mm)	h_{12} (mm)	h_{24} (mm)
1958	19,6	29	35	54	54,2
1959	23	36	47,6	59	69
1964	14,2	18,6	25,8	46,6	53,2
1965	34,2	49	66	93,4	126,3
1966	21,6	28	51	69,2	92
1967	27,8	35,4	35,4	41,6	70,6
1968	22	30,4	32,5	41,4	53,2
1970	26,6	28,6	29	35,4	61
1971	25	34	34	42,2	43,1
1972	13,8	18,6	36,6	50,6	66,6
1973	7,2	17,8	28,4	42,4	70
1978	7,2	17,4	26	38,2	41,2
1979	11,6	23,4	35,8	43,8	61,4
1980	12	26,2	43,6	57,6	69,6

1981	17	22,2	33,6	58,8	63,6
1983	17,6	33,4	51,8	58,2	58,2
1986	15,2	34	56,4	97,4	120,6

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

Anno	h ₁ (mm)	h ₃ (mm)	h ₆ (mm)	h ₁₂ (mm)	h ₂₄ (mm)
1964	19,4	20,2	28	48	79,8
1965	30	46,4	52,6	78,6	133,7
1966	27,2	35,4	39,8	60,4	86,6
1967	23,2	40,2	63,6	69,4	79
1968	23	37	49	68	82,6
1971	12,2	25	48,4	63	63,6
1972	16,6	24,8	37	48,4	77,8
1973	16,2	25,6	41,6	60,2	116,5
1974	7,2	15,4	22,6	32	40,6
1978	15,4	25,6	25,6	25,6	31,2
1979	13,2	26,4	36,2	49	55,6
1980	16,2	38	61	93,6	113,5
1981	10,8	24	43,6	65,8	72,4
1982	8,8	21,2	29,6	44	61,8
1983	53,2	74,2	80,8	81	81
1985	9,8	19,4	28,4	33,8	44,6
1986	14,4	22,4	31	48,6	68,4
1987	8,6	20,2	34,6	51,4	69,6
1988	14	15,2	17,6	23	33

Tabella 4.9. Valori massimi annuali delle altezze di pioggia di durata oraria, misurate alla stazione pluviografica di San Lorenzo Bellizzi, ricadente nell'area omogenea II.

Anno	h ₁ (mm)	h ₃ (mm)	h ₆ (mm)	h ₁₂ (mm)	h ₂₄ (mm)
1931	18	43	82	121,3	165,7
1933	22,6	35	69	118	168
1934	18,5	41	70,5	72,6	93,4
1936	21	34,5	46,8	71,8	108,1
1937	16	28	43,4	68	83,4
1939	20	39	59	71,4	78,2
1940	27	50,6	92	140,1	220,5
1941	16,4	41	58	76,4	105,8
1942	16	32	55	91	136,1
1943	41,4	44,4	0	0	0
1944	49	80	110,1	195,1	209,3
1945	0	0	0	0	193,8
1949	18	34	58,6	100,1	149,7
1950	32,4	53,4	92,8	152,1	235,1
1951	30	61	62,8	76	100,5
1952	16,6	22,4	22,4	23	29,2
1953	22	40	60	83	140,1
1954	30,2	41	65	95,4	118,5
1955	21	24	37	57	90,4
1956	15	30	36,6	53	90

1957	23	32	54	83	107,8
1958	24,6	53,4	59	71,8	74,8
1959	33,2	39,8	54	74	102,1
1960	22,6	31	43,8	45,6	55,8
1961	34,4	79	105,6	121,1	139,7
1962	23	24	24	38	57,2
1963	20	54	80	115,6	133,1
1964	23	53	93	140,1	168,7
1965	37,6	58,4	60,4	114,5	172,5
1966	30,2	37	66	94,6	113,1
1967	34	59,6	70,2	111,3	127,5
1968	34	57	82	137,1	184,7
1969	15,8	20	39	69,5	78
1970	18	30	43	59	85
1971	19	39	48,4	71	112,5
1972	26,6	36,2	48,4	82	150,1
1973	21	33,2	56,4	88,4	136,5
1974	24,6	27,8	39	68	77
1975	16,8	39,6	63,2	93	152,1
1977	17,8	17,8	23,6	29,2	30,6
1978	24	30	43,6	43,8	43,8
1979	13,2	26,4	36,2	49	55,6
1980	18	40,2	73,8	115,8	133,1
1981	13,4	19,4	19,4	19,4	19,4
1982	19,8	34	54,6	89,2	119,1
1983	14,8	30,2	33,8	38,4	56,8
1984	32,4	53,4	85,2	122,8	125,3
1985	16,6	38,8	67	103,6	162,9
1986	14,2	29,8	39,4	74,4	116,5
1987	11,8	21,2	37,8	57,4	60,2

Al terzo livello di regionalizzazione, partendo dall'espressione (15) si può pervenire alla stima di $\theta_1(t)$, al variare della durata della pioggia, per ciascun bacino dell'area II.

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 sole altezze di pioggia $h_{1,T}$, $h_{3,T}$ e $h_{6,T}$, $h_{12,T}$ e $h_{24,T}$. I risultati del calcolo, per i valori del tempo di ritorno $T = 7, 50, 200$ 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)
7	0,8570	30,35	47,72	63,02	83,73	112,15
50	0,9800	48,64	81,62	106,37	140,22	183,98
200	0,9950	64,11	109,91	142,08	186,77	240,16
500	0,9980	75,33	129,66	166,79	218,24	277,5

In Figura 4 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:

$$h_{t,7} = 30,300 \cdot t^{0,410} \quad (16)$$

$$h_{t,50} = 49,900 \cdot t^{0,416} \quad (17)$$

$$h_{t,200} = 67,500 \cdot t^{0,413} \quad (18)$$

$$h_{t,500} = 78,700 \cdot t^{0,407} \quad (19)$$

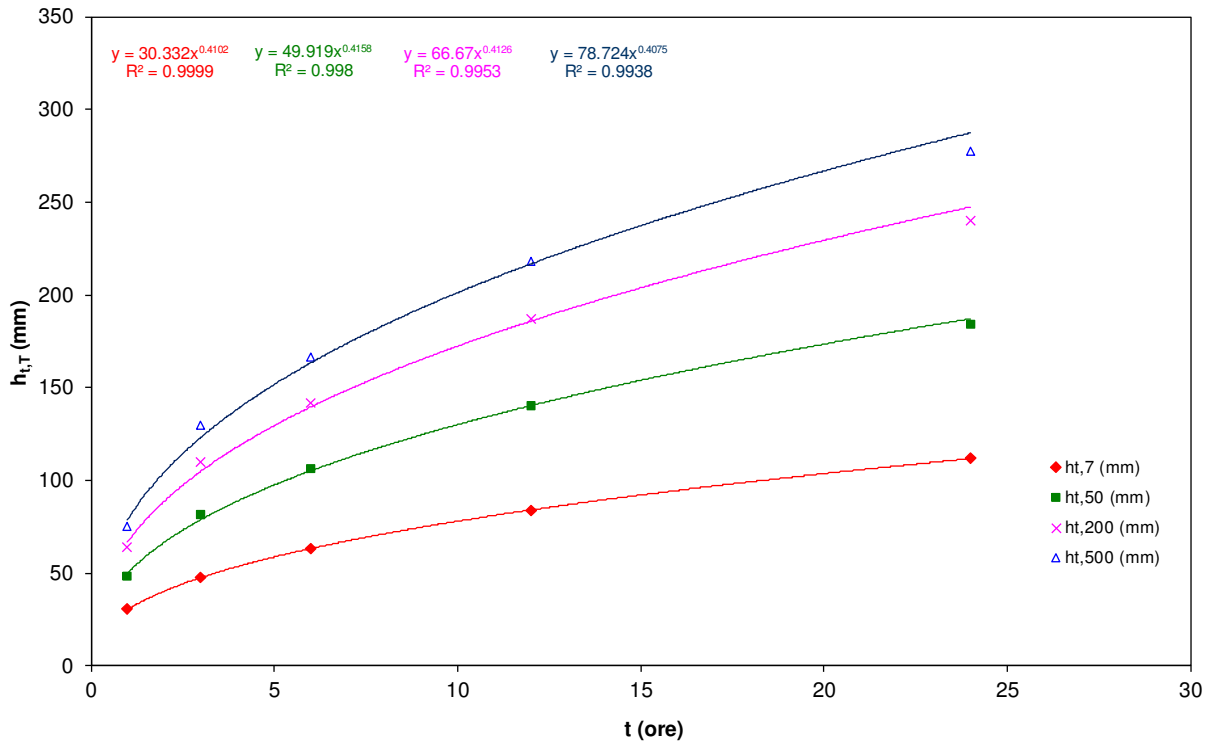


Fig. 4. Curve di probabilità pluviometrica per il bacino in esame del Torrente Ferro calcolata al terzo livello di regionalizzazione.

Nelle Figure 5÷8 sono mostrati i massimi pluviogrammi di calcolo che sono stati ottenuti al terzo livello di regionalizzazione per $T=7$, $T=50$, $T=200$ e $T=500$.

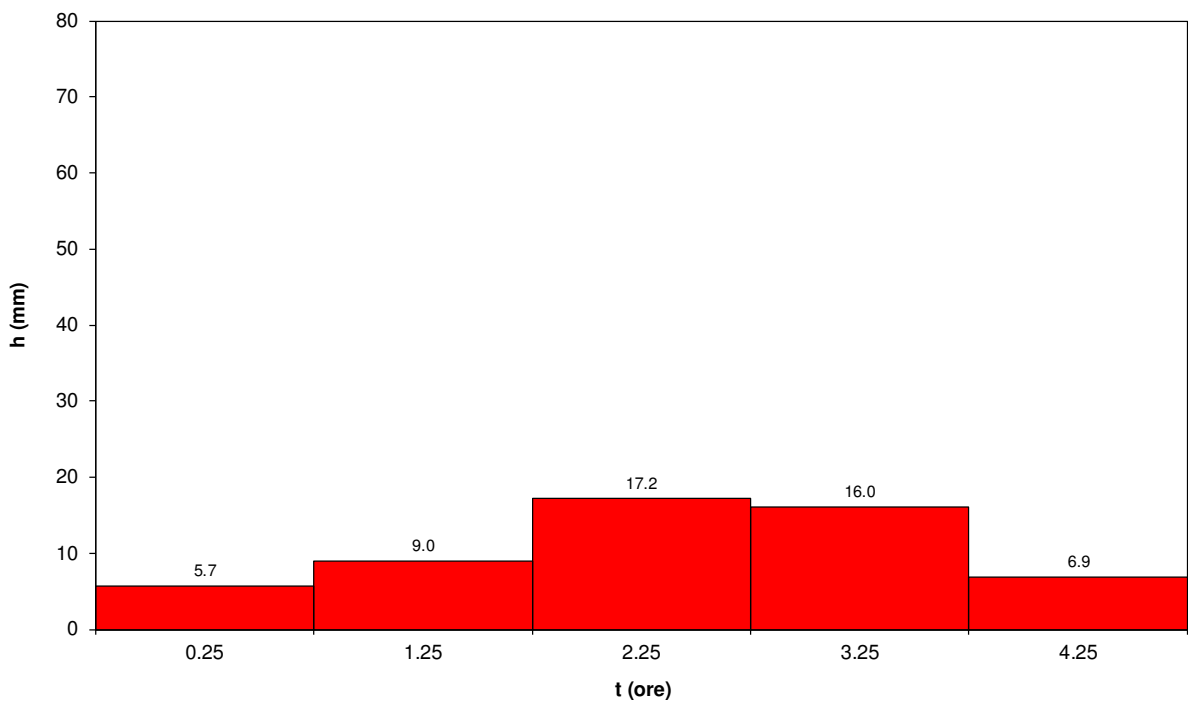


Fig. 5. Pluviogramma di calcolo per $T=7$ anni.

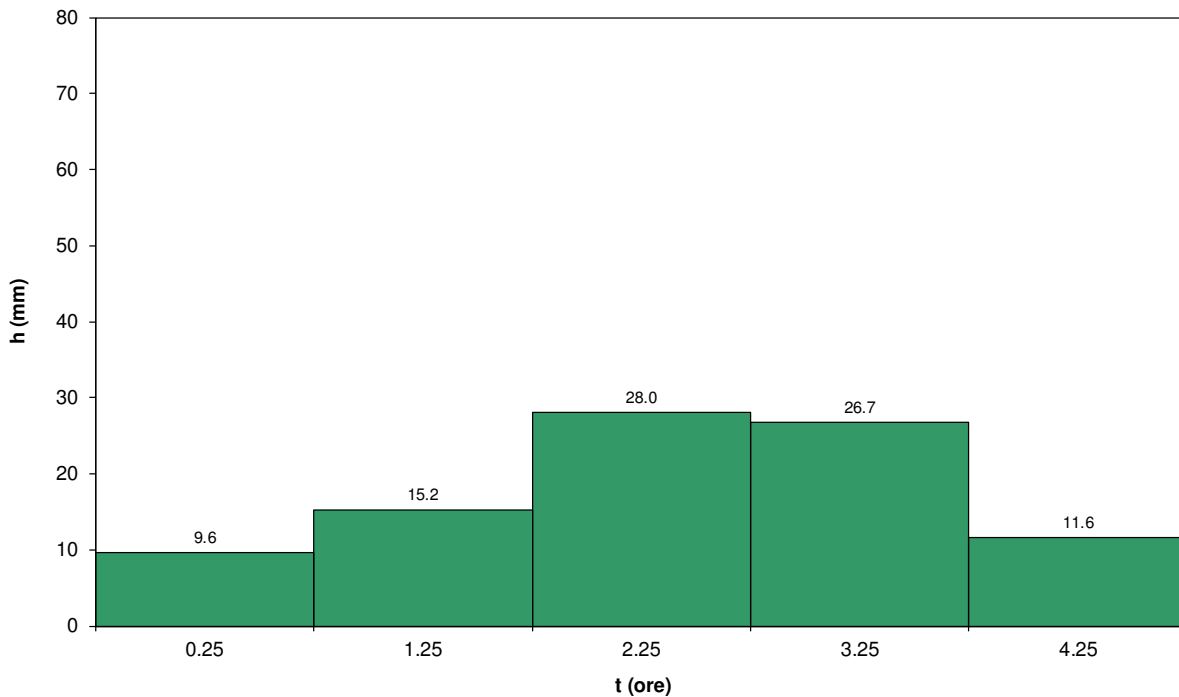


Fig. 6. Pluviogramma di calcolo per T=50 anni.

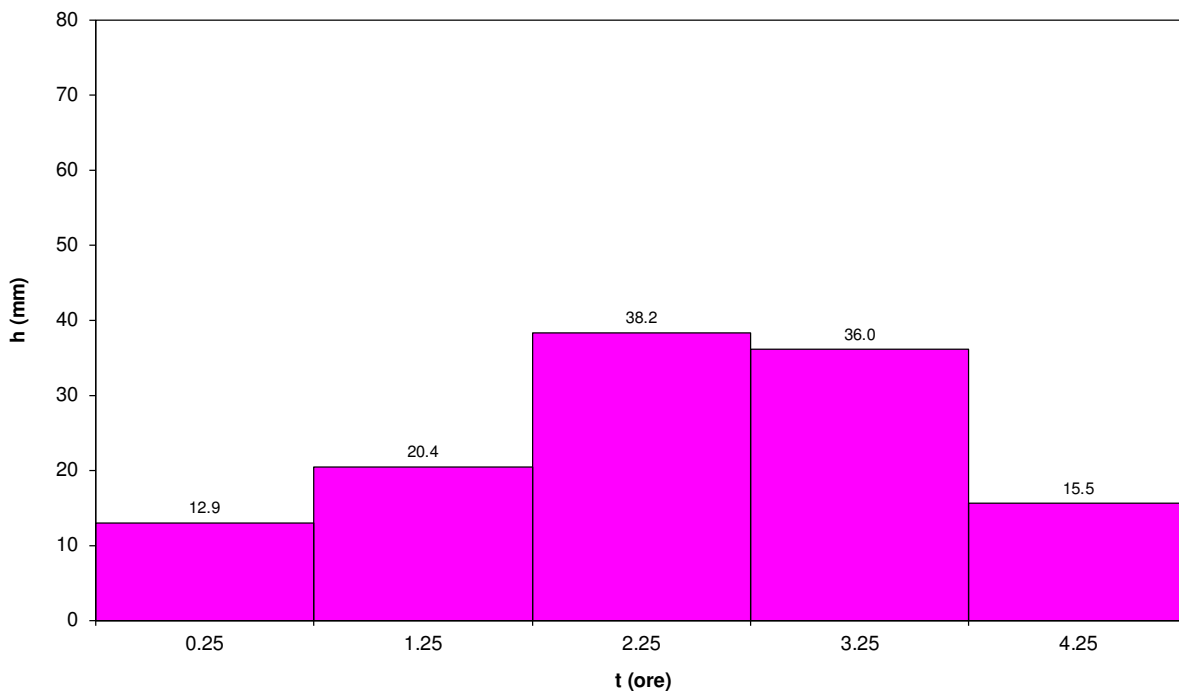


Fig. 7. Pluviogramma di calcolo per T=200 anni.

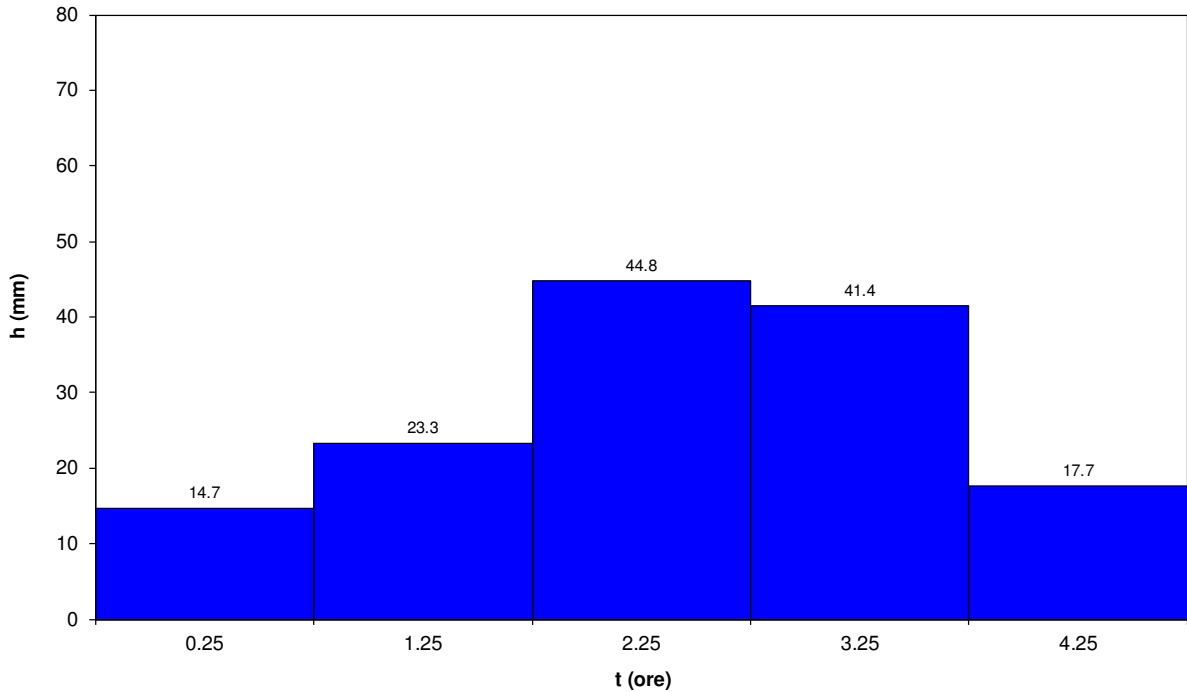


Fig. 8. Pluviogramma di calcolo per T=500 anni.

1.2.4 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:

$$R=P-S \quad (20)$$

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):

$$S/S' = R/P \quad (21)$$

ottenendo:

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

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

$$R = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S'} \quad (23)$$

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 terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità, secondo la formula:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (24)$$

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 $I_a = 2 \div 3$ 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 $t_{lag} = 0,6 \cdot t_c$, essendo t_c il tempo di corrivazione del bacino.

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

$$t_{picco} = 0,54t + t_{lag} \quad (25)$$

$$Q_{picco} = 484 \frac{A}{t_{picco}} \quad (26)$$

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:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j)P(i-j+1) \quad (27)$$

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 $t_{lag}=0,6 \cdot t_c$, 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 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 8 e alle Figure 9÷12, 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 8. 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 ($10^6 m^3$)	W_P ($10^6 m^3$)	C_a
7	14,06	113,20	0,95	4,138	6,340	0,65
50	48,06	371,70	3,13	14,137	13,126	1,08
200	75,67	585,80	4,94	22,264	17,612	1,26
500	97,49	755,10	6,36	28,685	20,900	1,37

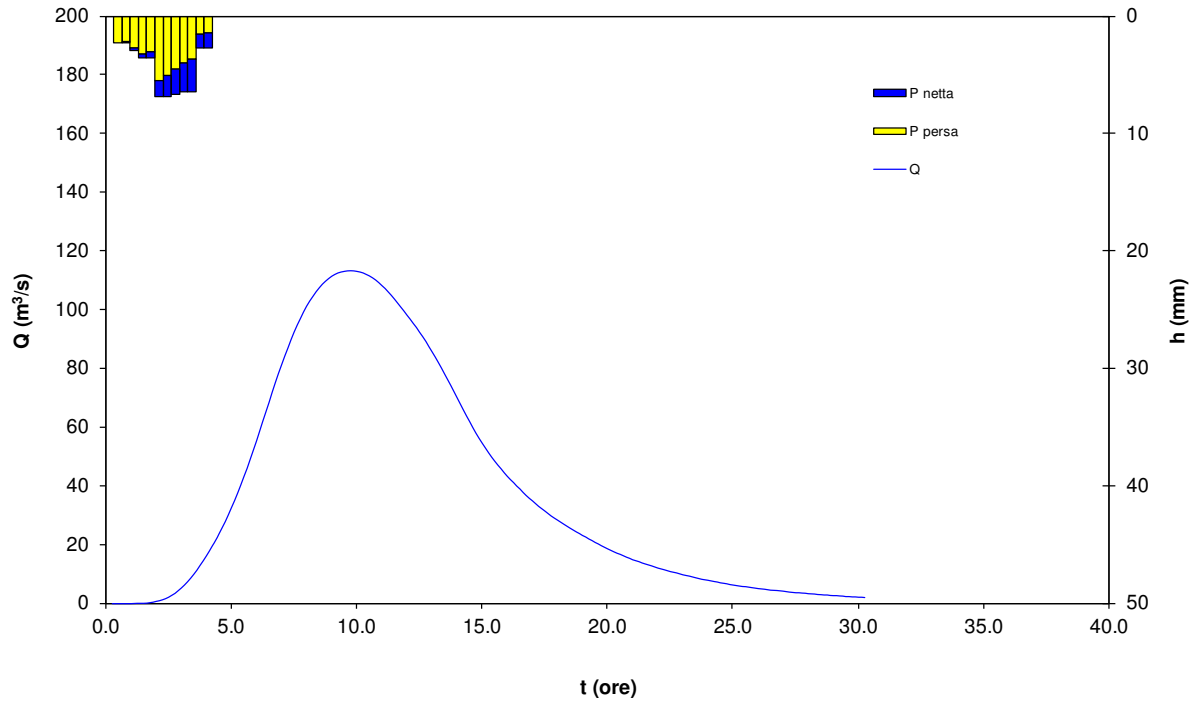


Fig. 9. Pluviogramma efficace e idrogramma di piena per $T=7$ anni.

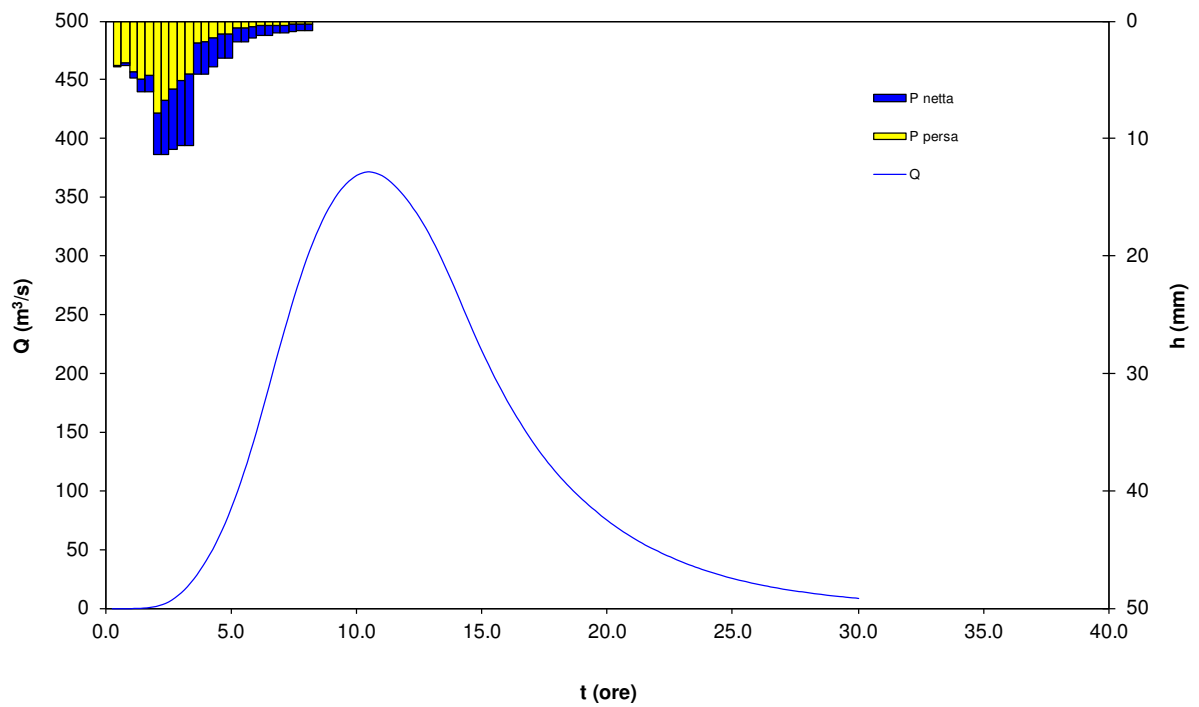


Fig. 10. Pluviogramma efficace e idrogramma di piena per $T=50$ anni.

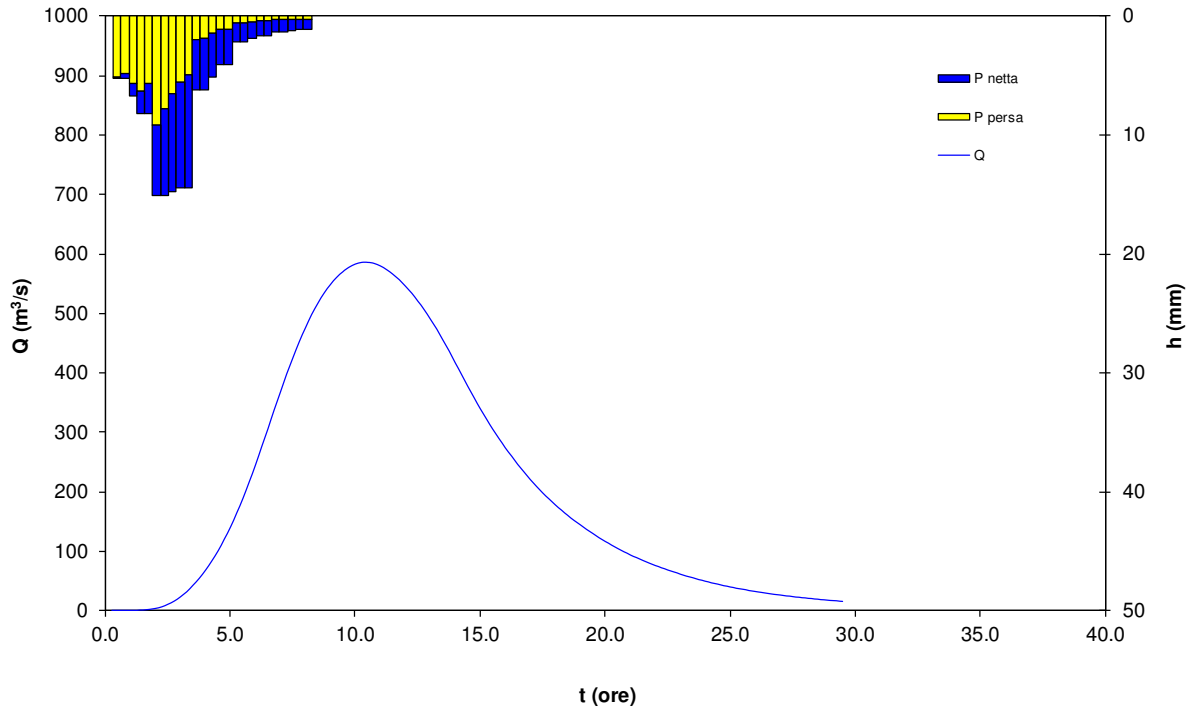


Fig. 11. Pluviogramma efficace e idrogramma di piena per T=200 anni.

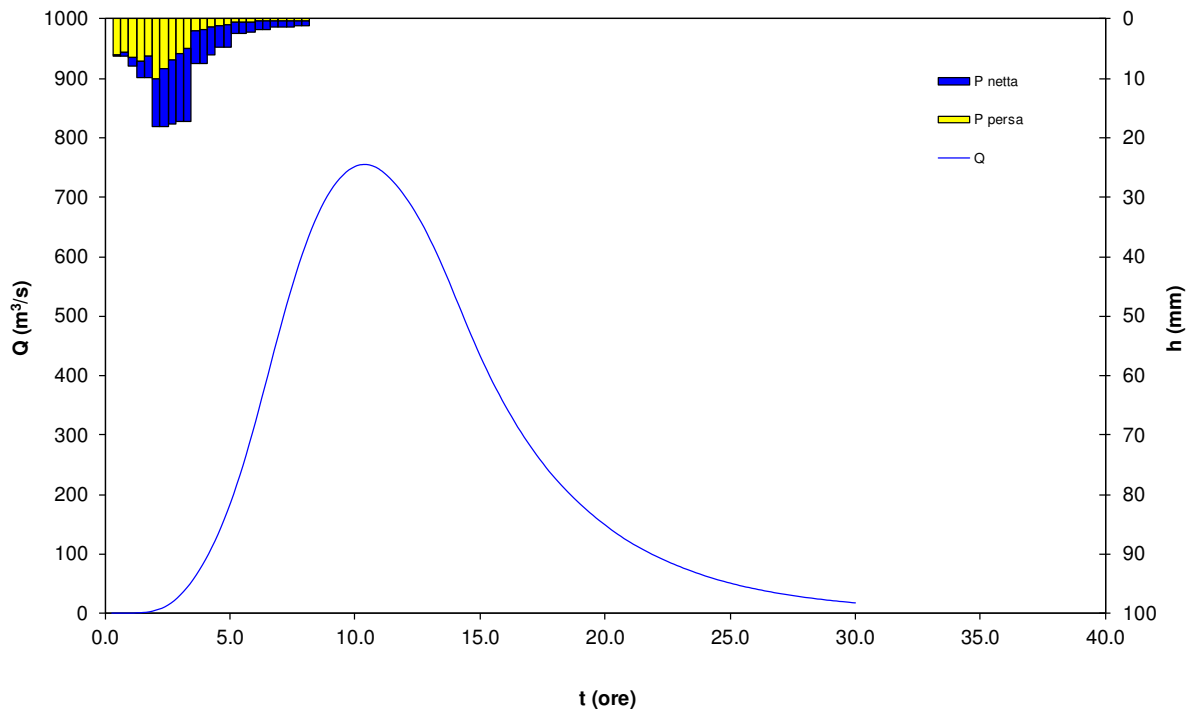


Fig. 12. Pluviogramma efficace e idrogramma di piena per T=500 anni.

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

1.2.5 Stima della massima portata al colmo di piena mediante metodi empirici, semi-empirici e analitici⁶

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

Formula di Scimemi:

$$Q_c = A \cdot \left(1 + \frac{600}{A+10} \right) = 672,05 \frac{m^3}{s} \quad (28)$$

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:

$$Q_c = A \cdot \left(0,5 + 2,35 \frac{500}{A+125} \right) = 631,37 \frac{m^3}{s} \quad (29)$$

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:

$$Q_c = \frac{C i_c A}{3,6} \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad (30)$$

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 (km²) l'area della superficie del bacino.

Fissati i diversi tempi di ritorno (T=7, 50, 200 e 500 anni), al terzo livello di regionalizza-

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

zione si ottengono i risultati riportati nella Tabella 9 e nella Figura 13, comparati con i risultati del metodo afflussi/deflussi. Oltre alle portate al colmo di piena, compaiono anche i contributi unitari, q_c .

Tabella 9. 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)	7	-	113,2	0,95
	50	-	371,70	3,13
	200	-	585,80	4,94
	500	-	755,10	6,36
Scimemi	-	-	672,05	5,66
Forti	-	-	631,60	5,32
Metodo razionale	7	11,2	295,14	2,49
	50	18,6	491,00	4,14
	200	24,8	652,99	5,50
	500	28,9	762,70	6,43

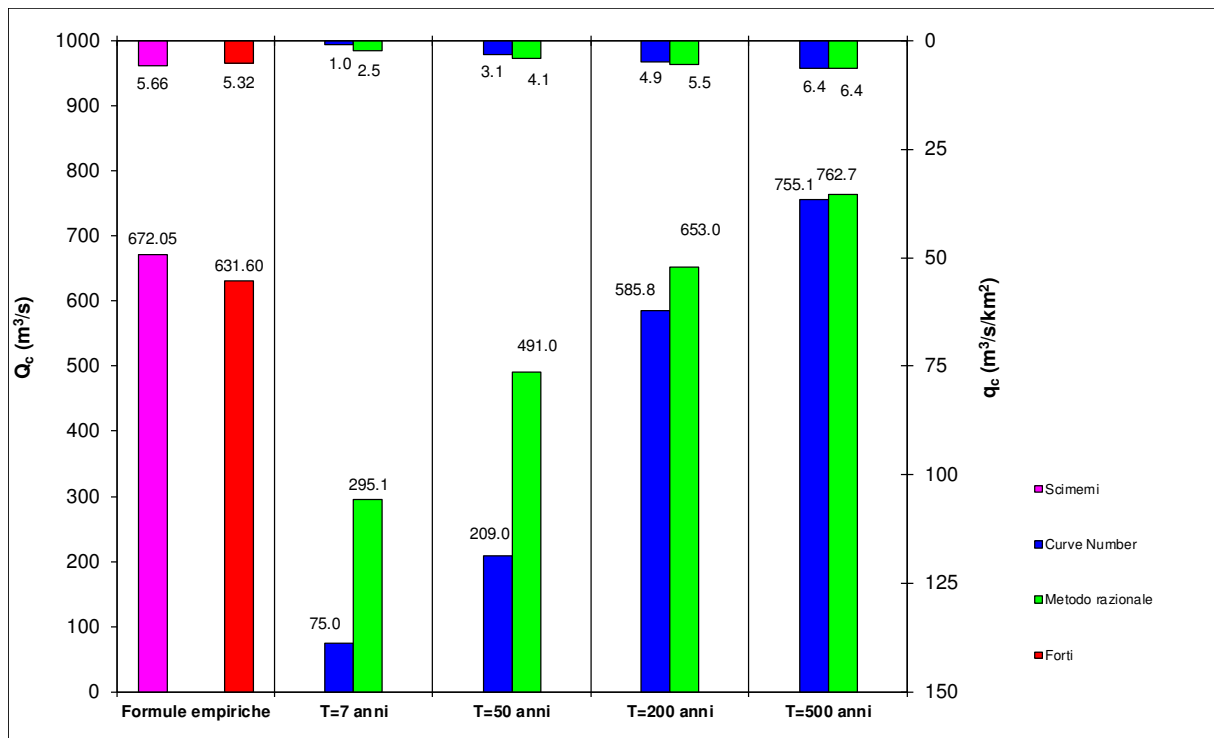


Fig. 13. Comparazione tra i valori di Q_c e q_c .

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: $Q_7=295,14$ m³/s, $Q_{50}=491,00$ m³/s, $Q_{200}=652,99$ m³/s e $Q_{500}=762,70$ m³/s.

2. RELAZIONE SULLO STUDIO IDRAULICO

2.1 Oggetto dei calcoli idraulici

Oggetto dei calcoli idraulici è il tratto del Torrente Ferro indicato come “area di attenzione” nelle Tavole RI78107, RI78011/A, RI78011/B, RI78032/A, RI78032/B e RI78007/A del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Calabria, tratto di lunghezza pari a circa 4 km, fino quasi alla foce.

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:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2 / (2g) = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / (2g) + \Delta H \quad (31)$$

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 ragguglio delle potenze cinetiche, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 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:

$$\Delta H = J_m L + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (32)$$

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:

$$Q = KJ^{0.5} \quad (33)$$

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

$$K = AR_i^{2/3}/n \quad (34)$$

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:

$$\text{media dei coeff. di trasporto: } J_m = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (35)$$

$$\text{media aritmetica: } J_m = (J_1 + J_2)/2 \quad (36)$$

$$\text{media geometrica: } J_m = (J_1 J_2)^{0.5} \quad (37)$$

$$\text{media armonica: } J_m = 2J_1 J_2 / (J_1 + J_2) \quad (38)$$

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:

$$\alpha = \frac{A^3}{K^3} \sum_i \frac{K_i^3}{A_i^3} \quad (39)$$

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:

$$\frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + A_2 Y_{2,b} + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \cdot i - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \cdot J_m - \frac{\beta_1 Q_1^2}{g A_1} - A_1 Y_{1,b} = 0 \quad (40)$$

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 ragguglio 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 del Torrente Ferro oggetto di studio si estende per 1878 m, partendo dall'area a monte del ponte autostradale e arrivando allo sbocco del tratto intubato in prossimità della foce. 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) ponte strada statale 106 alla sezione $RS=13$;
- b) ponte ferrovia alla sezione $RS=10$;
- c) briglie alle sezioni $RS=9, 10, 1$.

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 10, dove n_{sn} , n_c e n_{dx} indicano rispettivamente le scabrezze della sponda sinistra, dell'alveo centrale e della

sponda destra.⁷

Tabella 10. 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
39	A1	0,1	0,033	0,033	0,033	
38	A2	141,03	0,033	0,033	0,033	
37	A3	143,86	0,033	0,033	0,033	
36	A4	183,35	0,033	0,033	0,033	
35	1	184,96	0,033	0,033	0,033	
34	A5	181,29	0,033	0,033	0,033	
33	A6	123,26	0,033	0,033	0,033	
32	A7	125,55	0,033	0,033	0,033	
31	2	152,5	0,033	0,033	0,033	
30	A8	140,33	0,033	0,033	0,033	
29	A9	139,2	0,033	0,033	0,033	
28	3	179,08	0,033	0,033	0,033	
27	A10	185,05	0,033	0,033	0,033	
26	A11	196,22	0,033	0,033	0,033	
25	A12	148	0,033	0,033	0,033	
24	4	147,15	0,033	0,033	0,033	
23	Monte N.O.	91,25	0,033	0,033	0,033	
22	Asse N.O.	12,88	0,033	0,033	0,033	
21	Valle N.O.	13,24	0,033	0,033	0,033	
20	5	41,39	0,033	0,033	0,033	
19	A13	163,87	0,033	0,033	0,033	
18	A14	147,45	0,033	0,033	0,033	
17	A15	204,68	0,033	0,033	0,033	
16	6	218,06	0,033	0,033	0,033	
15	A16	239,54	0,033	0,033	0,033	
14	A17	156,16	0,033	0,033	0,033	
13	7	8,37	0,033	0,033	0,033	Viadotto S.S. 106
12	A18	8,79	0,033	0,033	0,033	
11	A19	12,33	0,033	0,033	0,033	
10	8	9,26	0,033	0,033	0,033	Ponte Ferrovia
9	A20	23,46	0,033	0,033	0,033	
8	9	13,85	0,033	0,033	0,033	Briglia 1 (Monte)
7	10	0,32	0,033	0,033	0,033	Briglia 1 (valle)
6	11	8,53	0,033	0,033	0,033	Briglia 2 (Monte)
5	12	0,1	0,033	0,033	0,033	Briglia 2 (Valle)
4	13	66,94	0,033	0,033	0,033	
3	A21	142,78	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.

2	A22	142,97	0,033	0,033	0,033	
1	A23	181,34	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:

$$Q_7=295,14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{50}=491,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{200}=652,99 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{500}=762,70 \text{ m}^3/\text{s}.$$

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) 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 $T=7, 50, 200$ e 500 anni, la corrente idrica presenta comportamento pressoché analogo, pur variando i valori delle grandezze idrauliche.

Per la portata con tempo di ritorno $T=7$ anni il deflusso, partendo da condizioni critiche, avviene in corrente veloce dalla sezione $RS=38$ fino alla sezione $RS=36$. La corrente è lenta nelle sezioni $RS=35$ ed $RS=34$, passa per lo stato critico alla sezione $RS=33$ e ritorna veloce nella sezione $RS=32$ fino alla sezione $RS=29$ passando attraverso lo stato critico nella sezione $RS=30$. Dalla sezione $RS=28$ fino alla sezione $RS=26$ il deflusso è lento, nella sezione $RS=25$ avviene allo stato critico. La corrente diventa veloce nella sezione $RS=24$ fino alla sezione $RS=17$ passando per lo stato lento nella sezione $RS=23$ e critica nelle sezioni $RS=22$ e $RS=18$. Nella sezione $RS=16$ la corrente è allo stato critico, diventa lenta nella sezione $RS=15$ fino alla sezione $RS=11$ passando attraverso lo stato critico nella sezione $RS=13$. Nella sezione $RS=10$ la corrente è allo stato critico per ritornare veloce nella sezione $RS=9$ rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio ($RS=1$) e passando per la condizione di corrente lenta nella sezione $RS=2$.

Per la portata con tempo di ritorno $T=50$ anni il deflusso, partendo da condizioni critiche,

avviene in corrente veloce dalla sezione RS=38 fino alla sezione RS=36. La corrente è lenta nelle sezioni RS=35 ed RS=34, passa per lo stato critico alla sezione RS=33 e ritorna veloce nella sezione RS=32 fino alla sezione RS=29 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=30. Dalla sezione RS=28 fino alla sezione RS=26 il deflusso è lento, nella sezione RS=25 avviene allo stato critico. La corrente diventa veloce nella sezione RS=24 fino alla sezione RS=17 passando per lo stato lento nella sezione RS=23 e critica nelle sezioni RS=22 e RS=18. Nella sezione RS=16 la corrente è allo stato critico, diventa lenta nella sezione RS=15 fino alla sezione RS=11 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=13. Nella sezione RS=10 la corrente è allo stato critico per ritornare veloce nella sezione RS=9 rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio (RS=1) e passando per lo stato critico nella sezione RS=2.

Per la portata con tempo di ritorno $T=200$ anni il deflusso, partendo da condizioni critiche, avviene in corrente veloce dalla sezione RS=38 fino alla sezione RS=36. La corrente è lenta nelle sezioni RS=35 ed RS=34, passa per lo stato critico alla sezione RS=33 e ritorna veloce nella sezione RS=32 fino alla sezione RS=29 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=30. Nella sezione RS=27 mentre nelle sezioni RS=26 ed RS=25 il deflusso avviene allo stato critico. La corrente diventa veloce nella sezione RS=24 fino alla sezione RS=17 passando per lo stato lento nella sezione RS=23 e critica nelle sezioni RS=22 e RS=18. Nella sezione RS=16 la corrente è allo stato critico, diventa lenta nella sezione RS=15 fino alla sezione RS=11 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=13. Nella sezione RS=10 la corrente è allo stato critico per ritornare veloce nella sezione RS=9 rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio (RS=1) e passando per lo stato critico nella sezione RS=2.

Per la portata con tempo di ritorno $T=500$ anni il deflusso, partendo da condizioni critiche, avviene in corrente veloce dalla sezione RS=38 fino alla sezione RS=36. La corrente è lenta nelle sezioni RS=35 ed RS=34, passa per lo stato critico alla sezione RS=33 e ritorna veloce nella sezione RS=32 fino alla sezione RS=17 passando attraverso lo stato critico nelle sezioni RS=27, RS=22 ed RS=18 e lenta nella sezione RS=23. Nella sezione RS=16 la corrente è allo stato critico, diventa lenta dalla sezione RS=15 fino alla sezione RS=11 passando per lo stato critico nella sezione RS=13. Nella sezione RS=10 la corrente è allo stato critico e ritorna veloce dalla sezione RS=9 e rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio (RS=1).

Alle diverse portate, le altezze d'acqua variano tra 4,97 m (RS=12) e 0,7 m (RS=6), mentre

le velocità medie tra 1,75 m/s (RS=13.1) e 10,01 m/s (RS=38).

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=7 anni		T=50 anni		T=200 anni		T=500 anni	
	sx	dx	sx	dx	sx	dx	sx	dx
39	-	-	-	-	si	-	si	-
38	si	-	si	-	si	-	si	-
37	si	-	si	-	si	-	si	-
34	-	si	-	si	-	si	-	si
33	-	si	si	si	si	si	si	si
32	si	si	si	si	si	si	si	si
31	si	-	si	-	si	-	si	-
30	si	-	si	-	si	-	si	-
29	si	-	si	-	si	-	si	-
19	-	-	-	-	si	-	si	-
18	-	si	-	si	-	si	-	si
15	-	-	-	-	si	si	si	si
14	si	si	si	si	si	si	si	si
12	si	-	si	-	si	-	si	-
11	si	-	si	-	si	-	si	-
10	si	-	si	-	si	-	si	-
9	si	-	si	-	si	-	si	-
3	si	-	si	-	si	-	si	-

2.3.2 Stato futuro (post operam con guado)

Si è ripetuto il calcolo considerando la realizzazione del guado alla sezione RS=23.

Per le portate considerate con tempi di ritorno T=7, 50, 200 e 500, la corrente idrica presenta comportamento pressoché analogo, pur variando i valori delle grandezze idrauliche.

Per la portata con tempo di ritorno T=7 anni il deflusso, partendo da condizioni critiche, avviene in corrente veloce dalla sezione RS=38 fino alla sezione RS=36. La corrente è lenta nelle sezioni RS=35 ed RS=34, passa per lo stato critico alla sezione RS=33 e ritorna veloce nella sezione RS=32 fino alla sezione RS=29 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=30. Dalla sezione RS=28 fino alla sezione RS=26 il deflusso è lento, nella sezione RS=25 avviene allo stato critico. La corrente diventa veloce nella sezione RS=24 fino alla sezione RS=17 passando per lo stato lento nella sezione RS=23 e critica nelle sezioni RS=22 e RS=18. Nella sezione RS=16 la corrente è allo stato critico, diventa lenta nella sezione RS=15 fino alla sezione RS=11 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=13. Nella sezio-

ne RS=10 la corrente è allo stato critico per ritornare veloce nella sezione RS=9 rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio (RS=1) e passando per la condizione di corrente lenta nella sezione RS=2.

Per la portata con tempo di ritorno $T=50$ anni il deflusso, partendo da condizioni critiche, avviene in corrente veloce dalla sezione RS=38 fino alla sezione RS=36. La corrente è lenta nelle sezioni RS=35 ed RS=34, passa per lo stato critico alla sezione RS=33 e ritorna veloce nella sezione RS=32 fino alla sezione RS=29 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=30. Dalla sezione RS=28 fino alla sezione RS=26 il deflusso è lento, nella sezione RS=25 avviene allo stato critico. La corrente diventa veloce nella sezione RS=24 fino alla sezione RS=17 passando per lo stato lento nella sezione RS=23 e critica nelle sezioni RS=22 e RS=18. Nella sezione RS=16 la corrente è allo stato critico, diventa lenta nella sezione RS=15 fino alla sezione RS=11 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=13. Nella sezione RS=10 la corrente è allo stato critico per ritornare veloce nella sezione RS=9 rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio (RS=1) e passando per lo stato critico nella sezione RS=2.

Per la portata con tempo di ritorno $T=200$ anni il deflusso, partendo da condizioni critiche, avviene in corrente veloce dalla sezione RS=38 fino alla sezione RS=36. La corrente è lenta nelle sezioni RS=35 ed RS=34, passa per lo stato critico alla sezione RS=33 e ritorna veloce nella sezione RS=32 fino alla sezione RS=29 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=30. Nella sezione RS=27 la corrente è lenta mentre nelle sezioni RS=26 ed RS=25 il deflusso avviene allo stato critico. La corrente diventa veloce nella sezione RS=24 fino alla sezione RS=17 passando per lo stato lento nella sezione RS=23 e critica nelle sezioni RS=22 e RS=18. Nella sezione RS=16 la corrente è allo stato critico, diventa lenta nella sezione RS=15 fino alla sezione RS=11 passando attraverso lo stato critico nella sezione RS=13. Nella sezione RS=10 la corrente è allo stato critico per ritornare veloce nella sezione RS=9 rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio (RS=1) e passando per lo stato critico nella sezione RS=2.

Per la portata con tempo di ritorno $T=500$ anni il deflusso, partendo da condizioni critiche, avviene in corrente veloce dalla sezione RS=38 fino alla sezione RS=36. La corrente è lenta nelle sezioni RS=35 ed RS=34, passa per lo stato critico alla sezione RS=33 e ritorna veloce nella sezione RS=32 fino alla sezione RS=17 passando attraverso lo stato critico nelle sezioni RS=27, RS=22 ed RS=18 e lenta nella sezione RS=23. Nella sezione RS=16 la corrente è allo stato critico, diventa lenta dalla sezione RS=15 fino alla sezione RS=11 passando per lo stato

critico nella sezione RS=13. Nella sezione RS=10 la corrente è allo stato critico e ritorna veloce dalla sezione RS=9 e rimanendo tale fino alla fine del tratto oggetto di studio (RS=1).

Alle diverse portate, le altezze d'acqua variano tra 4,97 m (RS=12) e 0,7 m (RS=6), mentre le velocità medie tra 0,75 m/s (RS=23) e 10,01 m/s (RS=38).

I risultati dei calcoli idraulici mostrano che le massime portate al colmo di piena esondano nelle sezioni riportate in Tabella 12.

Tabella 12. Sezioni con esondazioni.

River Stations	T=7 anni		T=50 anni		T=200 anni		T=500 anni	
	sx	dx	sx	dx	sx	dx	sx	dx
39	-	-	-	-	si	-	si	-
38	si	-	si	-	si	-	si	-
37	si	-	si	-	si	-	si	-
34	-	si	-	si	-	si	-	si
33	-	si	si	si	si	si	si	si
32	si	si	si	si	si	si	si	si
31	si	-	si	-	si	-	si	-
30	si	-	si	-	si	-	si	-
29	si	-	si	-	si	-	si	-
19	-	-	-	-	si	-	si	-
18	-	si	-	si	-	si	-	si
15	-	-	-	-	si	si	si	si
14	si	si	si	si	si	si	si	si
12	si	-	si	-	si	-	si	-
11	si	-	si	-	si	-	si	-
10	si	-	si	-	si	-	si	-
9	si	-	si	-	si	-	si	-
3	si	-	si	-	si	-	si	-

3 CONCLUSIONI

Lo studio idrologico-idraulico ha riguardato un tratto del Torrente Ferro indicato come “area di attenzione” nelle Tavole RI78107, RI78011/A, RI78011/B, RI78032/A, RI78032/B e RI78007/A del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Calabria, tratto avente lunghezza di circa 4 km, fino quasi alla foce.

I risultati dei calcoli idraulici relativi allo stato attuale mostrano che vi sono esondazioni

diffuse sia in destra che in sinistra idraulica in varie sezioni del corso d'acqua oggetto di studio. Ripetendo il calcolo considerando la realizzazione del nuovo attraversamento alla sezione RS=22 le esondazioni sono sempre diffuse sia in destra che in sinistra idraulica in varie sezioni del corso d'acqua oggetto di studio. In corrispondenza del ponte in progetto, il massimo livello idrico corrispondente a Q_{200} garantisce un franco minimo tra quota di massima piena di progetto e quota di intradosso del ponte maggiore di $0,5 \cdot V^2/(2g)$ e comunque superiore a 1,0 m, come richiesto dal PAI della Regione Calabria.

Inoltre, oggetto dello studio è stata la verifica idraulica dell'opera provvisoria di attraversamento in progetto, costituita da una passerella di materiale misto granulare stabilizzato di larghezza complessiva pari a 6.0 m per il passaggio dei mezzi di cantiere.

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

$$Q_7=295,14 \text{ m}^3/\text{s}, Q_{50}=491,00,36 \text{ m}^3/\text{s}, Q_{200}=652,99 \text{ m}^3/\text{s} \text{ e } Q_{500}=762,7,47\text{m}^3/\text{s}.$$

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

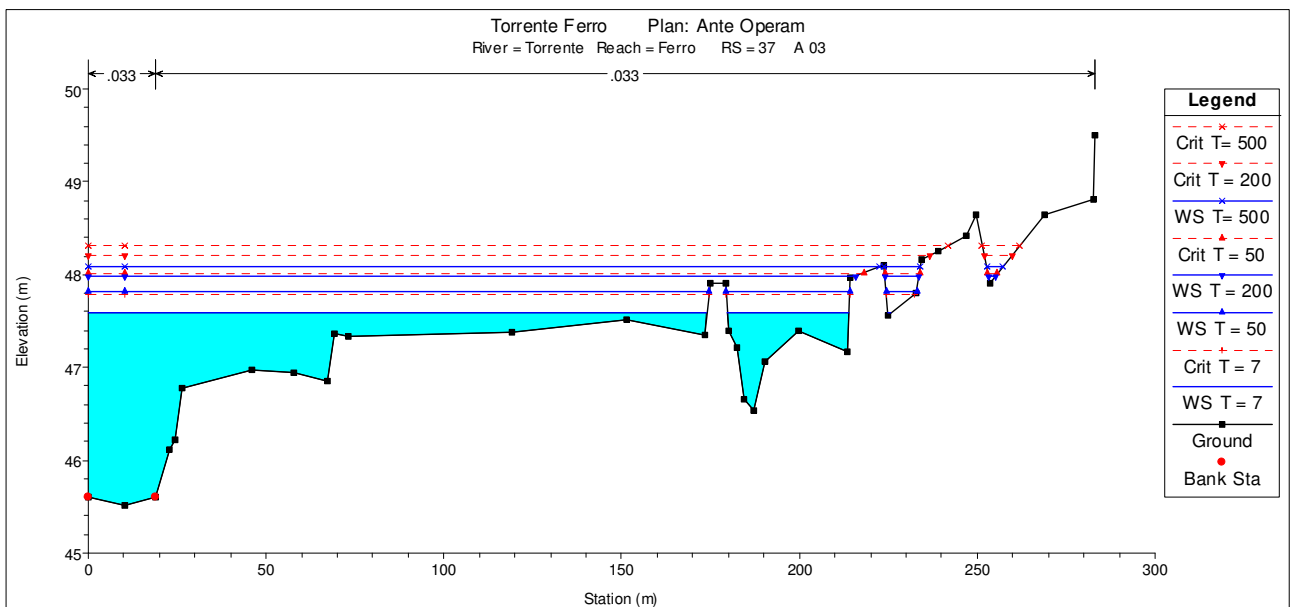
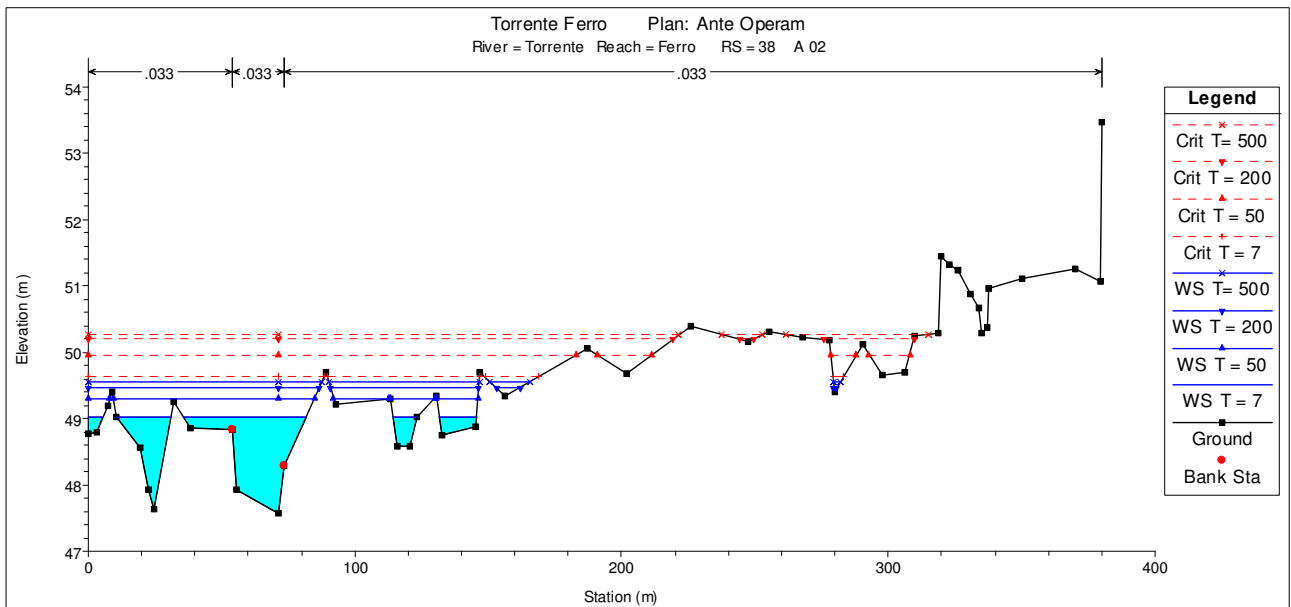
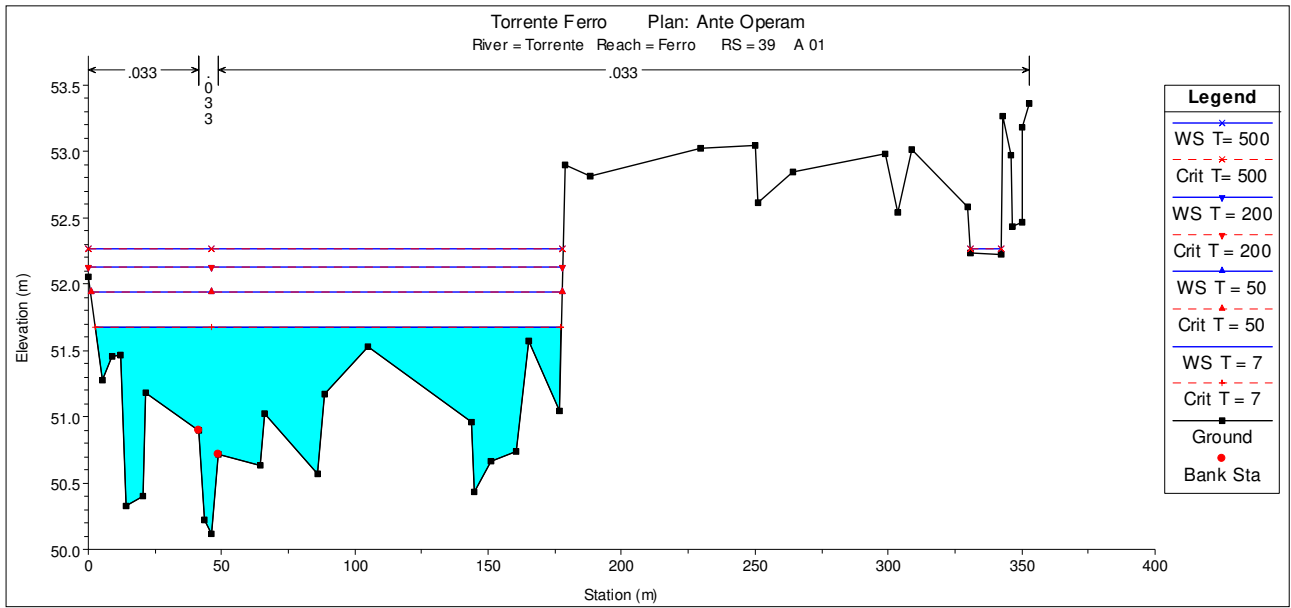
I risultati dei calcoli idraulici, effettuati sia ante che post operam, hanno evidenziato come l'opera provvisoria (post operam) viene tracimata con un livello idrico corrispondente a Q_7 non provocando tuttavia condizioni peggiorative rispetto allo stato attuale (ante operam).

Nello specifico non sono stati rilevati fenomeni di rigurgito a monte dell'opera provvisoria che può quindi essere realizzata senza alterare le attuali condizioni di deflusso del Torrente Ferro. Quanto ottenuto per la portata con tempo di ritorno pari a 7 anni è stato confermato dalle verifiche effettuate con gli altri tempi di ritorno.

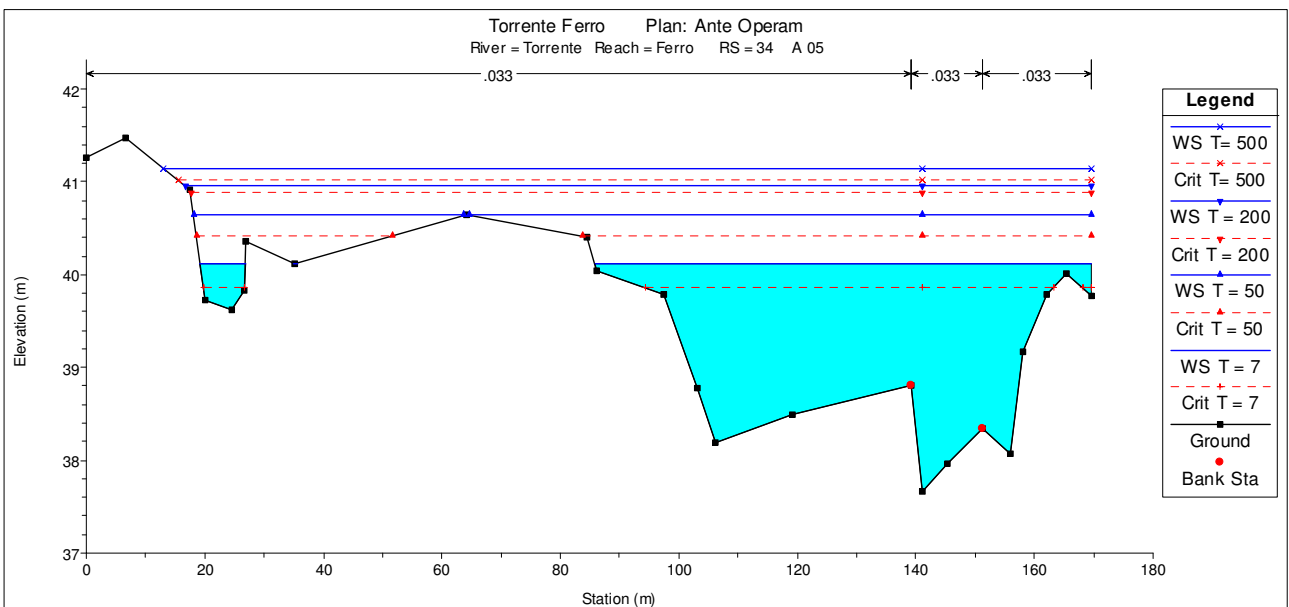
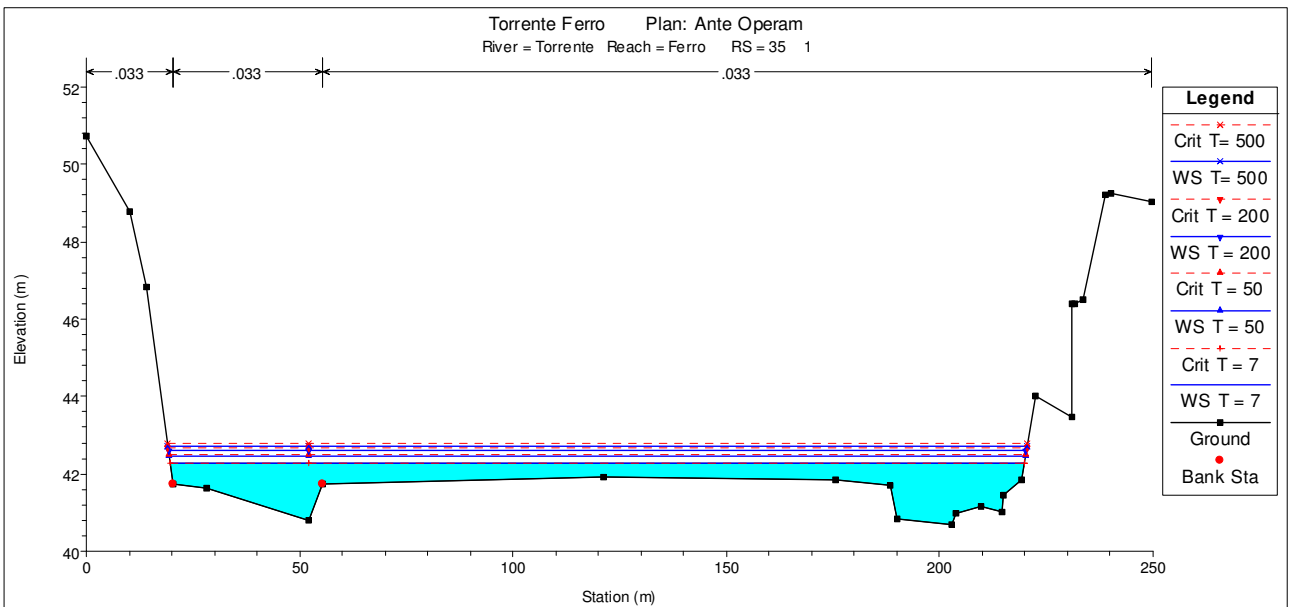
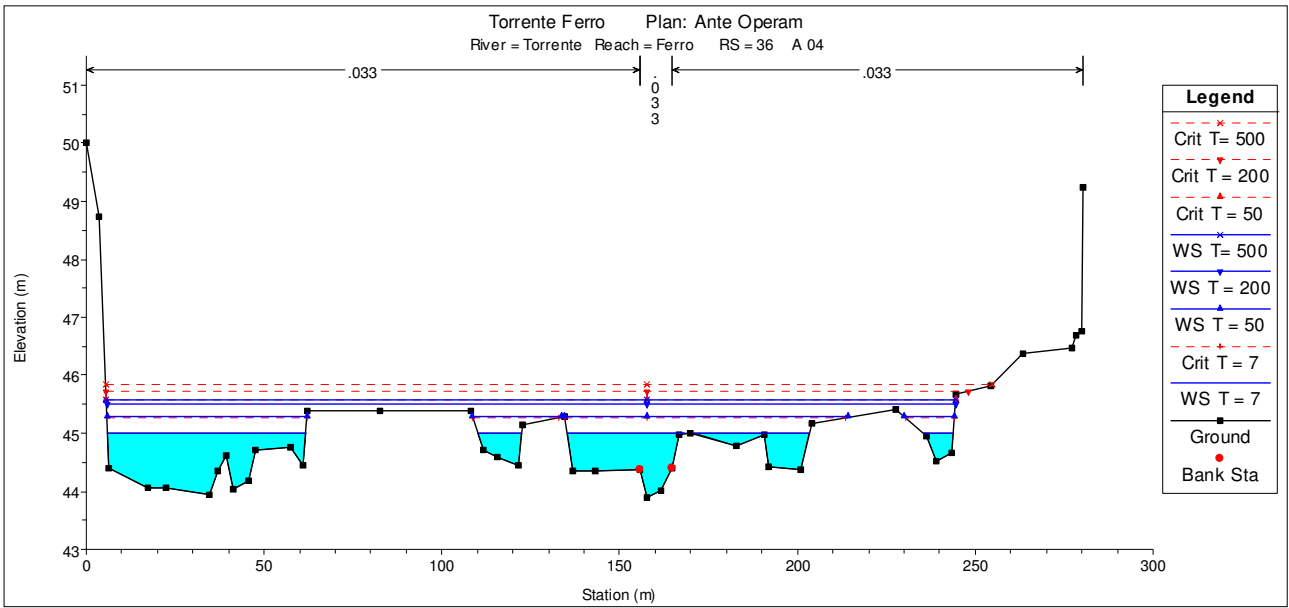
Alla luce dei risultati ottenuti, si evince che il cantiere sarà sempre praticabile in caso di assenza di precipitazioni. Nel caso di allerta meteo, con riferimento all'area di cantiere, si provvederà alla immediata sospensione dei lavori e all'allontanamento del personale presente nell'area del cantiere.

ANTE OPERAM

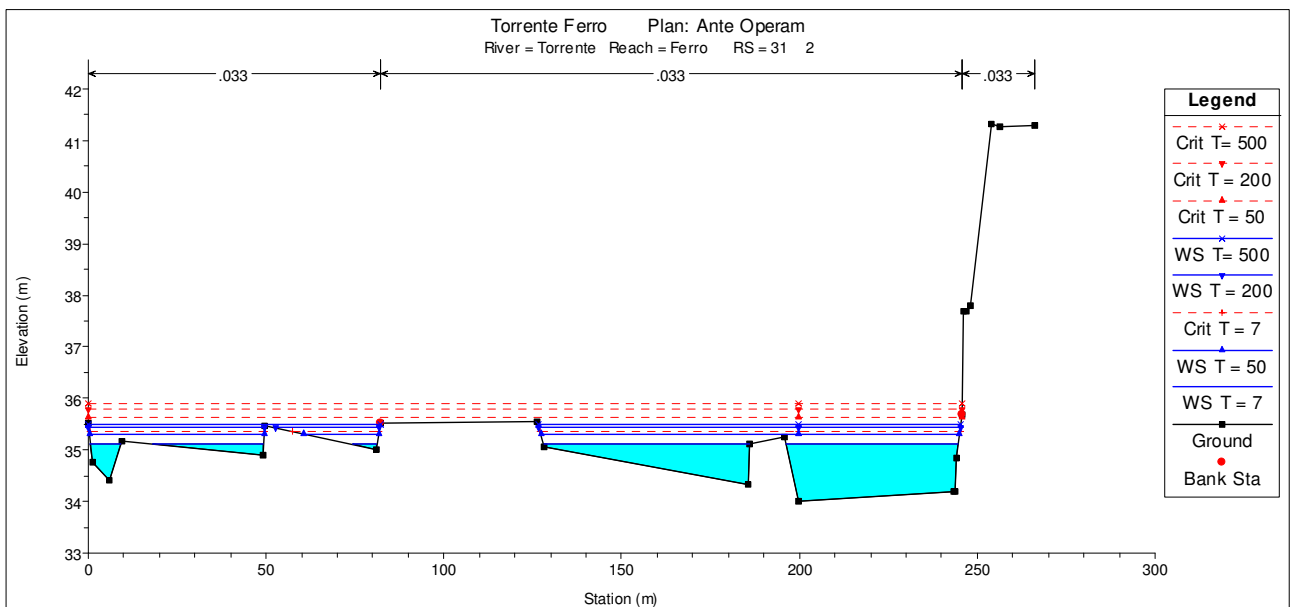
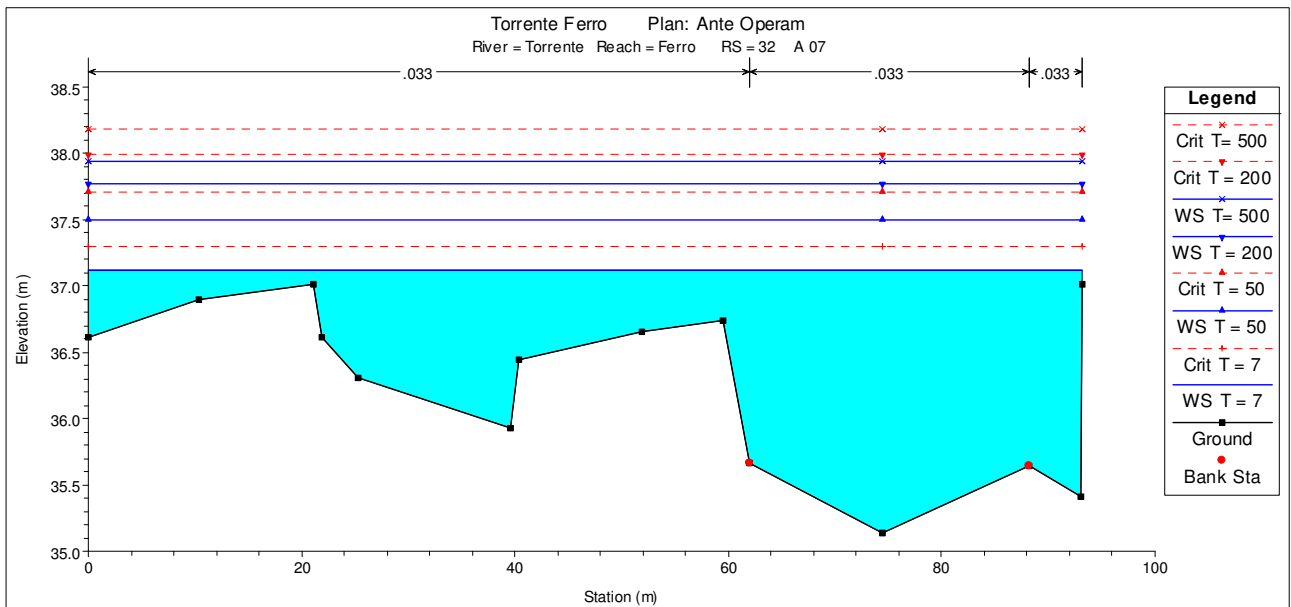
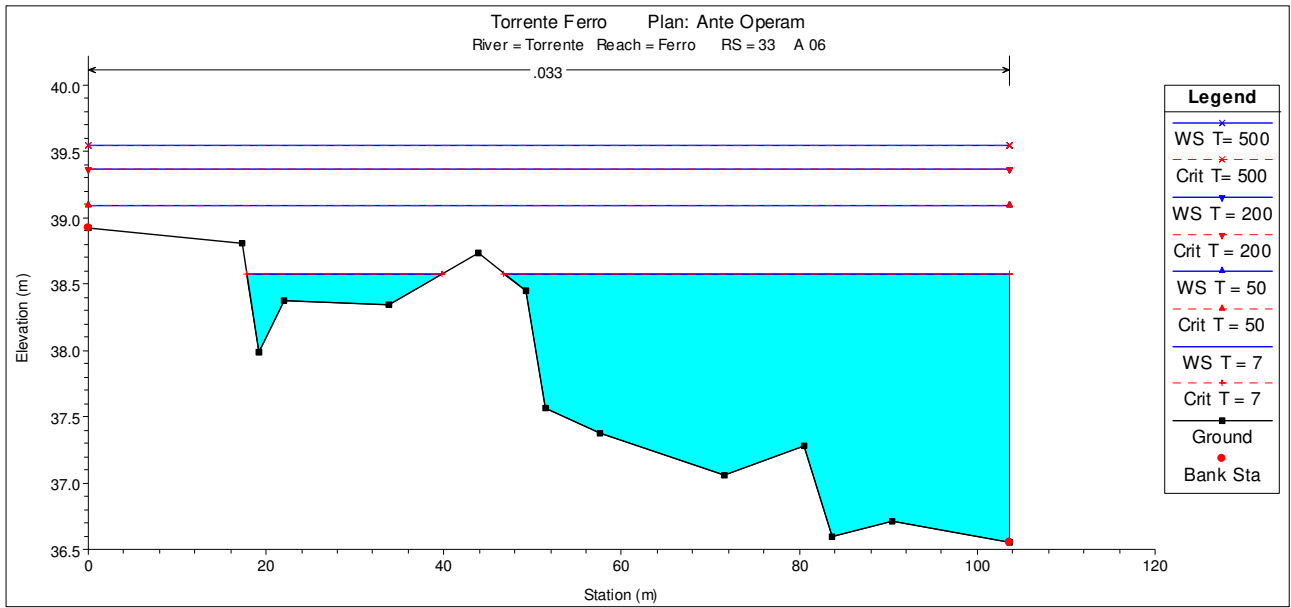
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



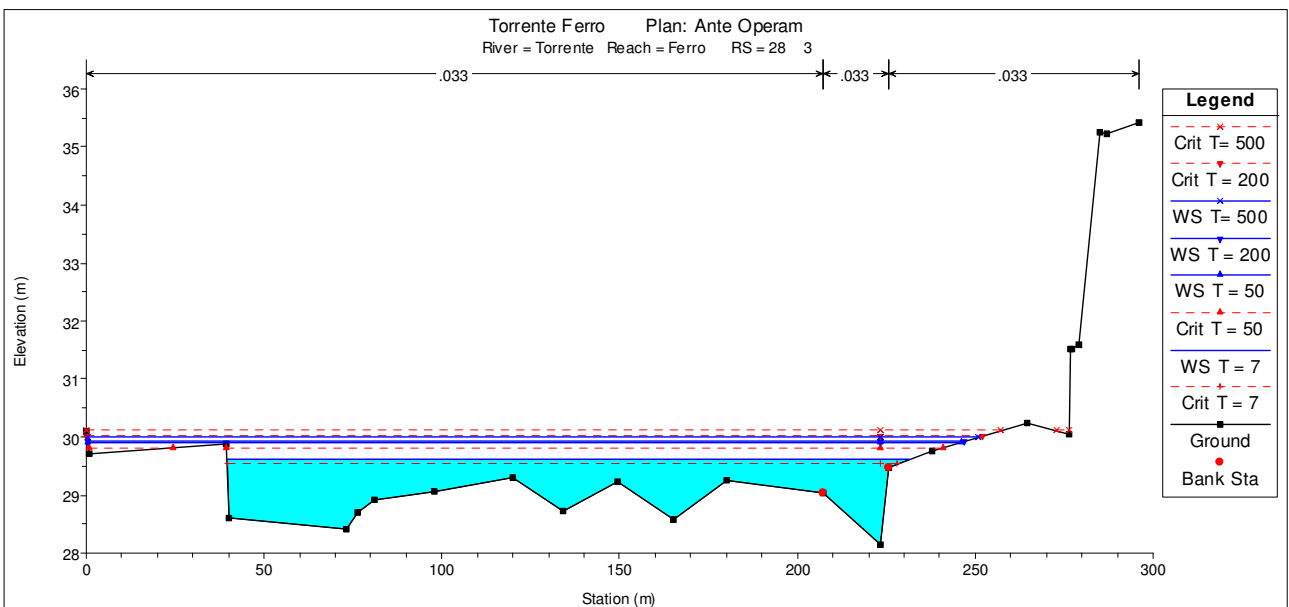
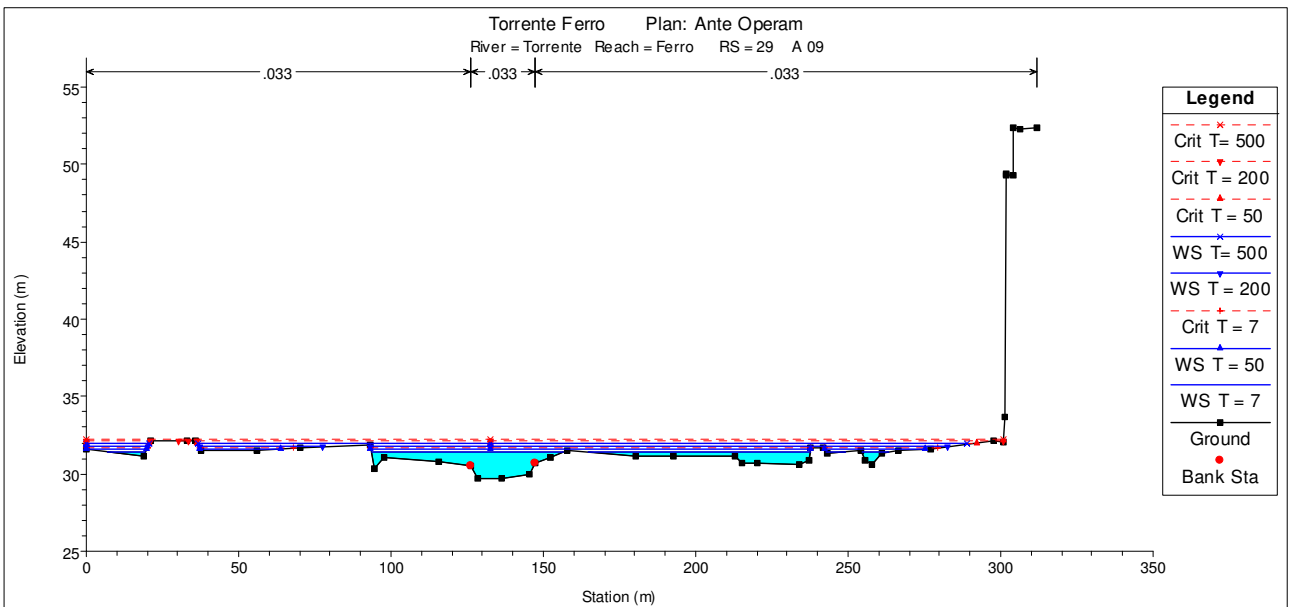
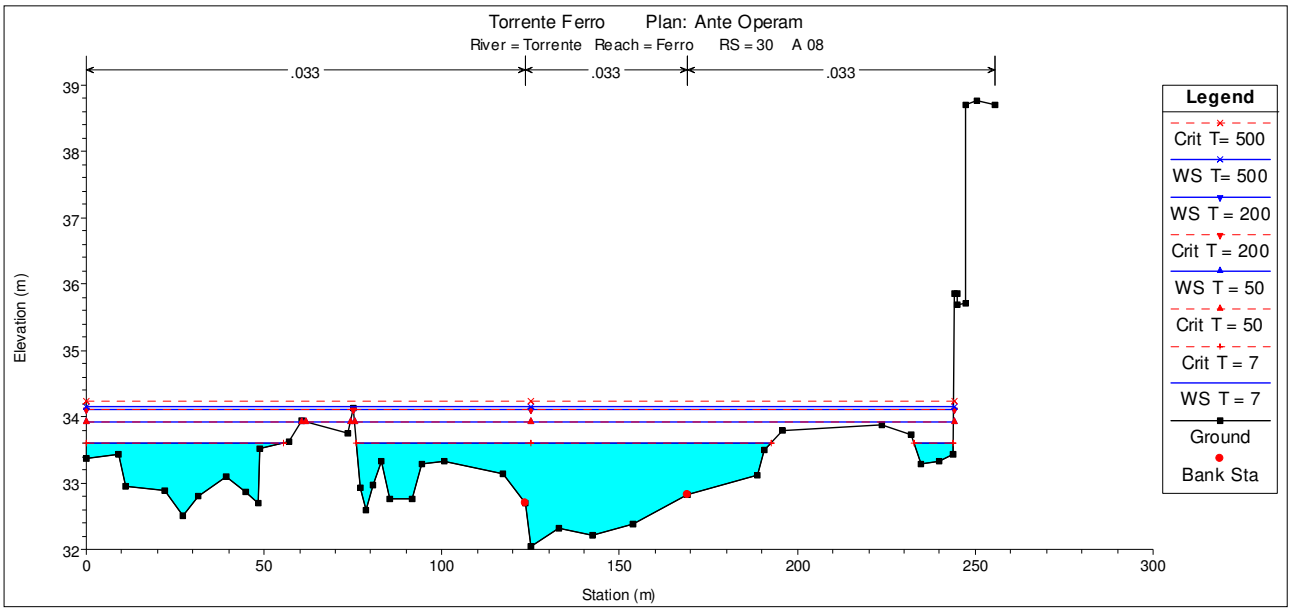
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



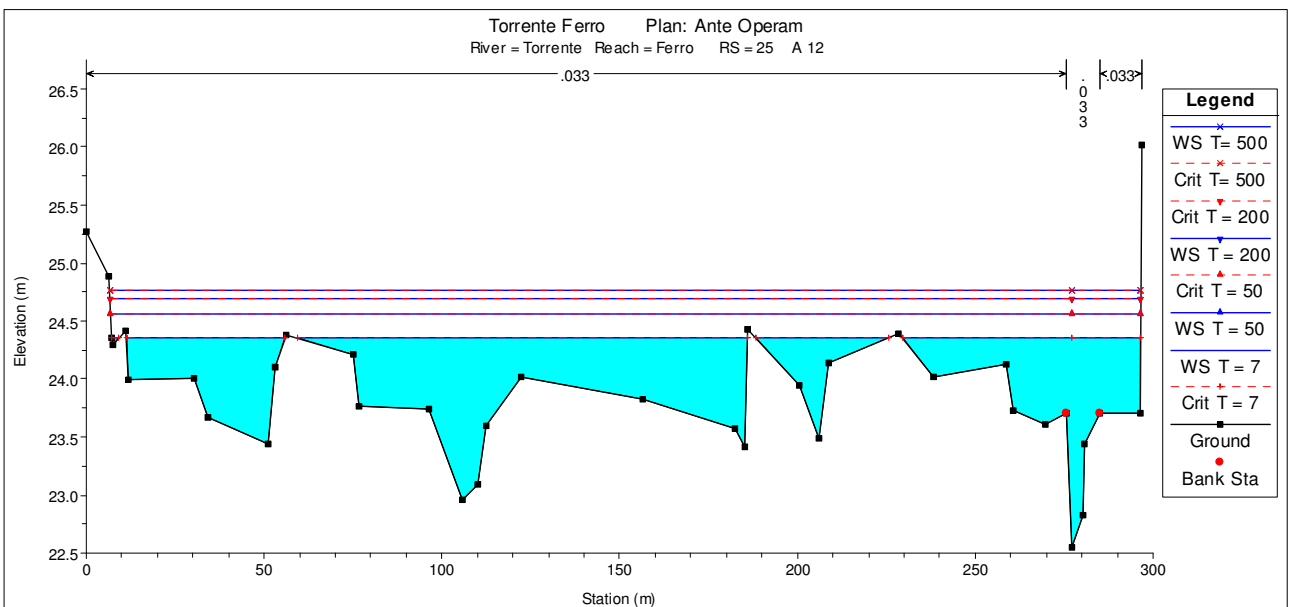
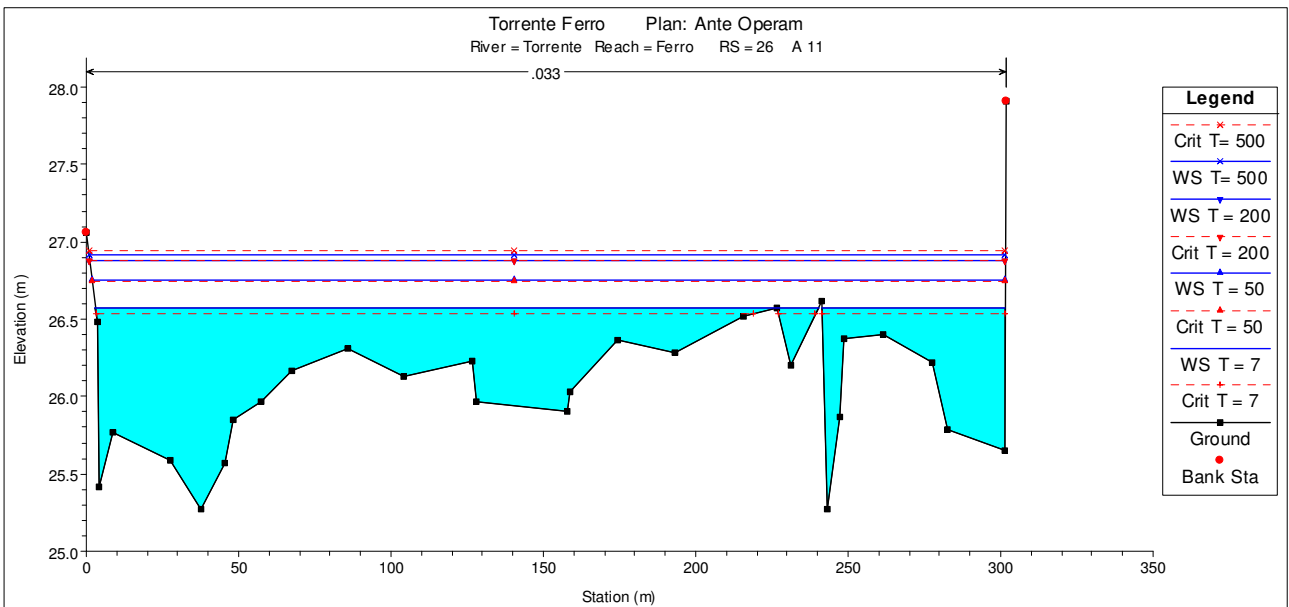
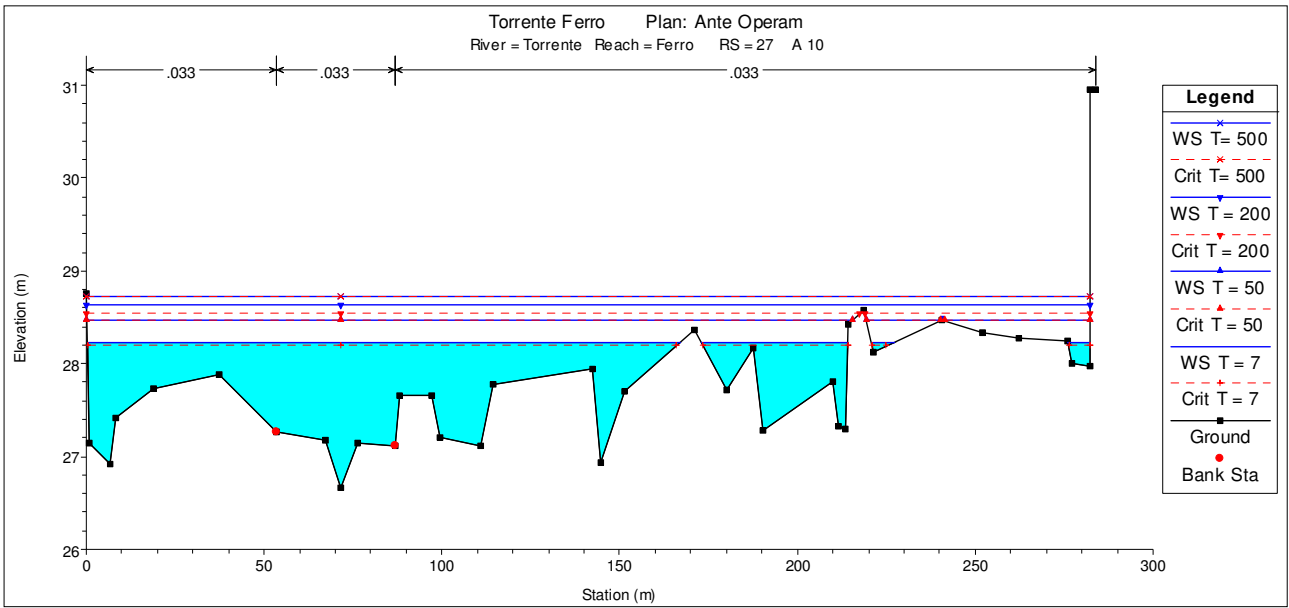
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



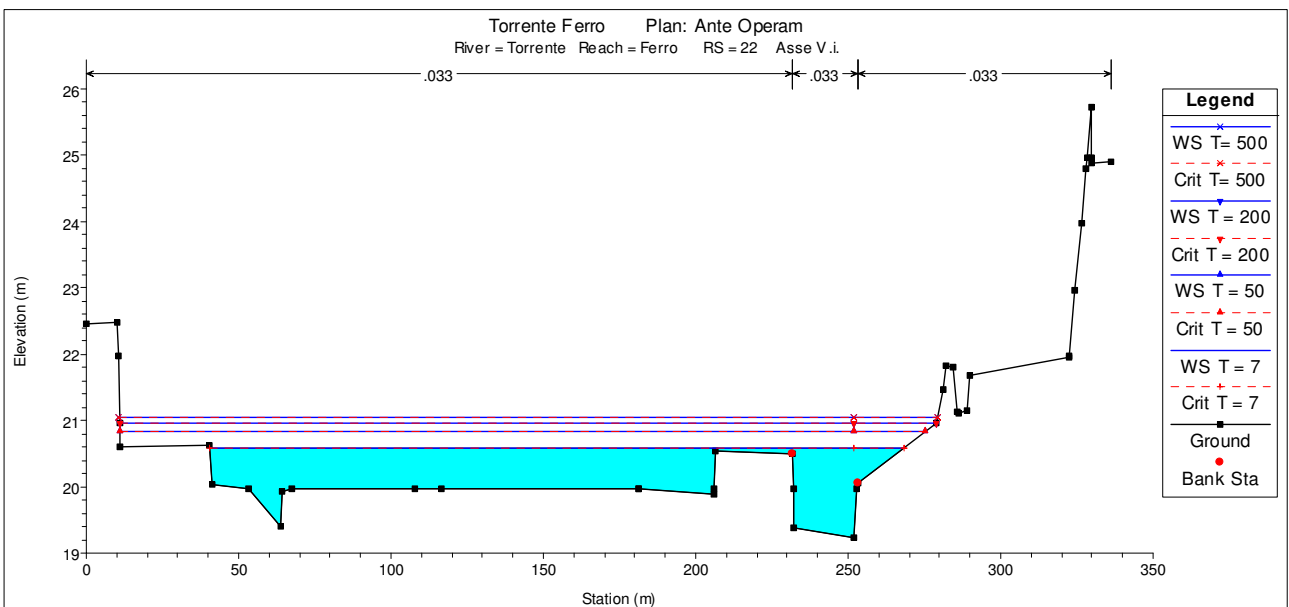
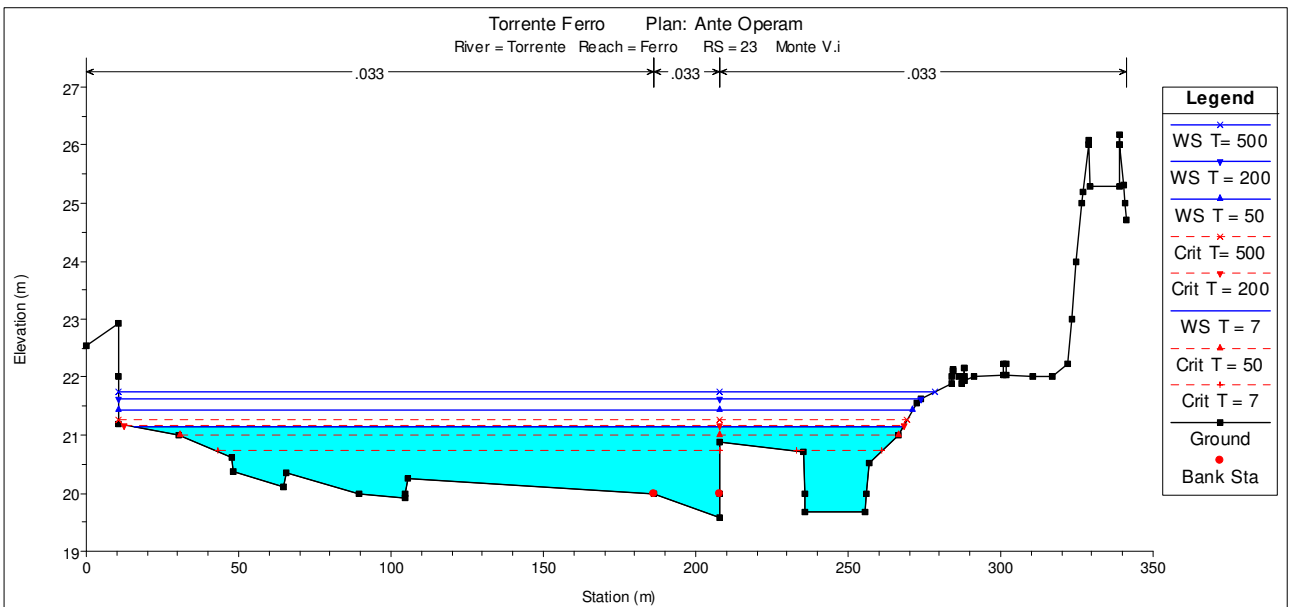
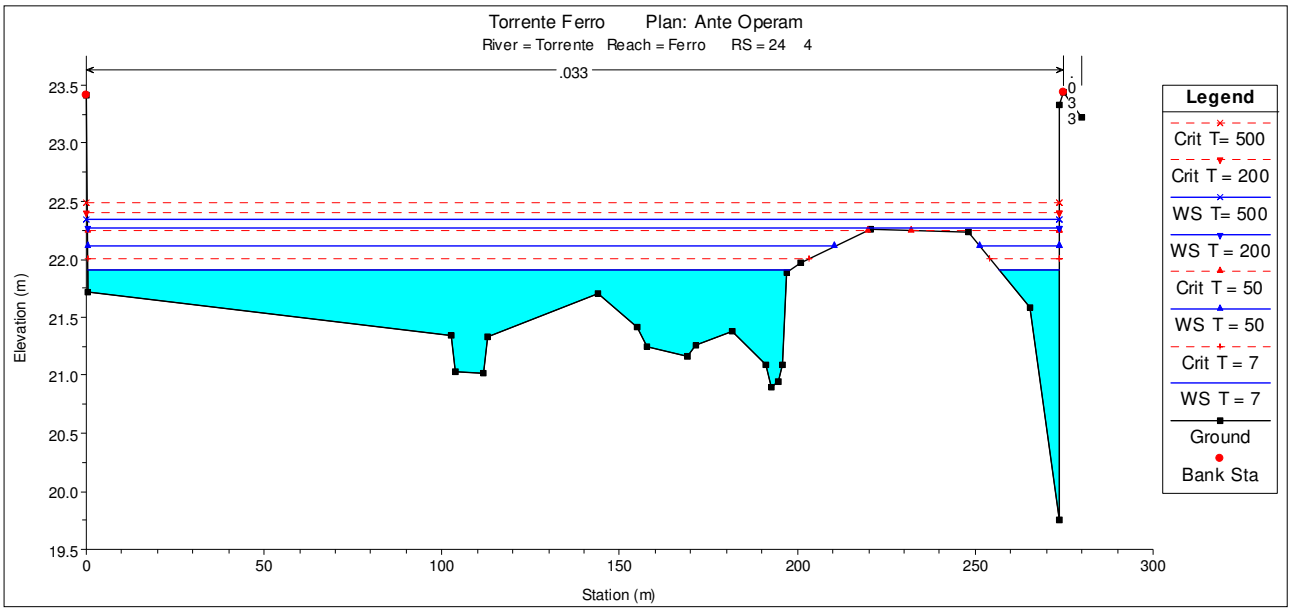
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



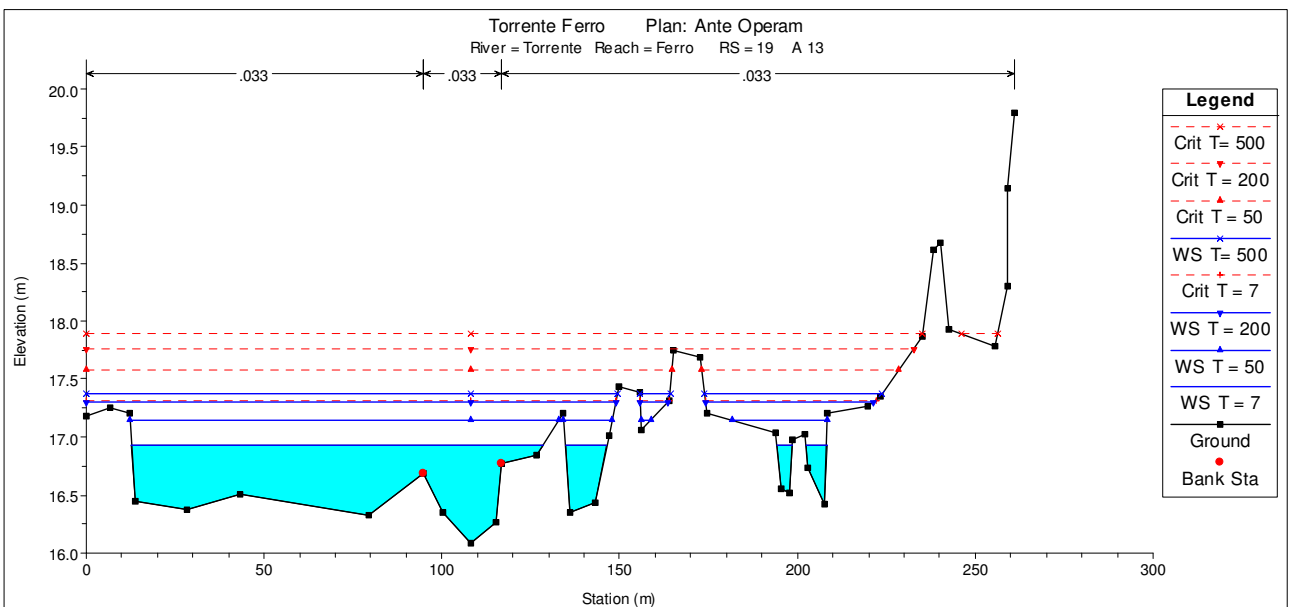
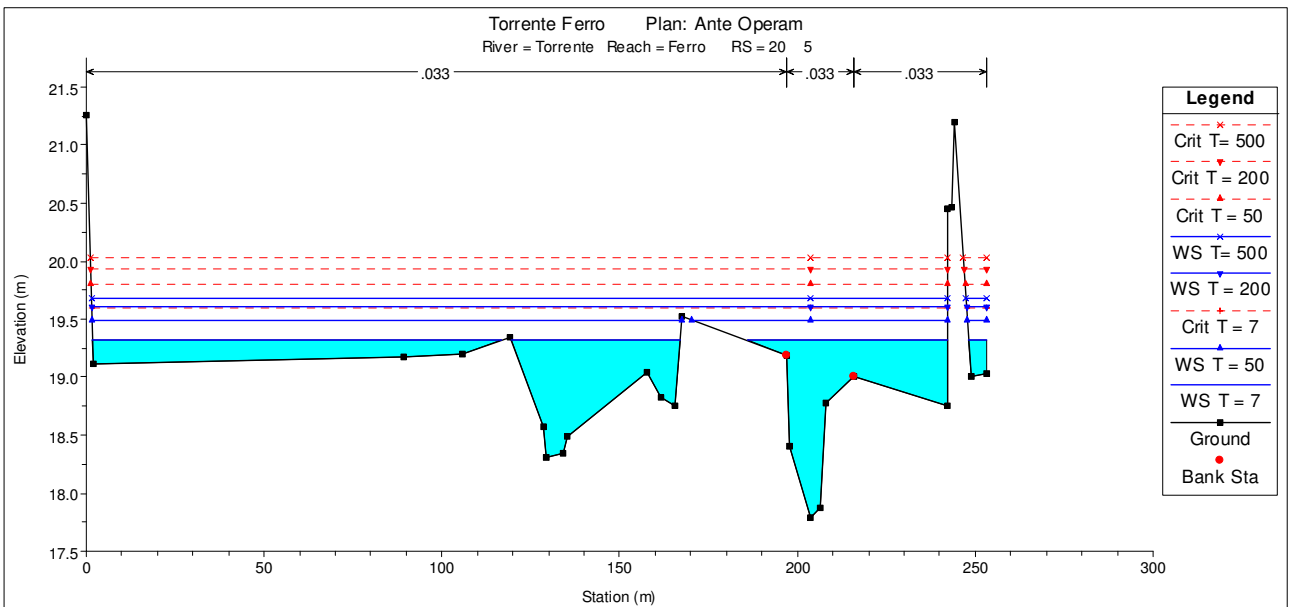
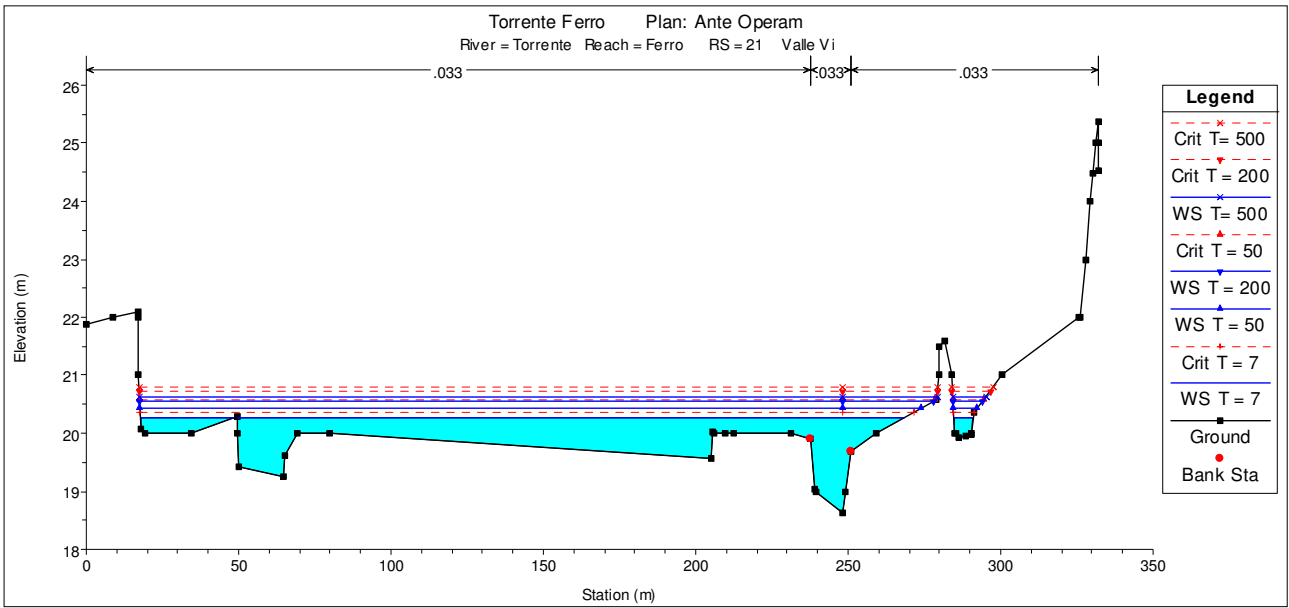
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



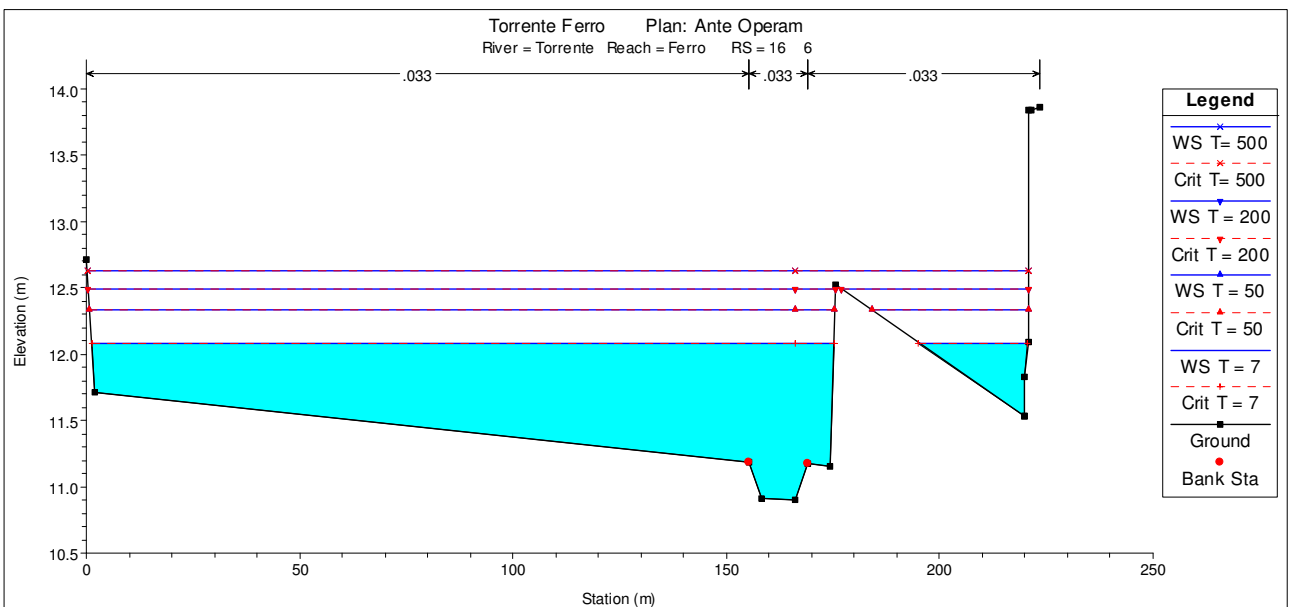
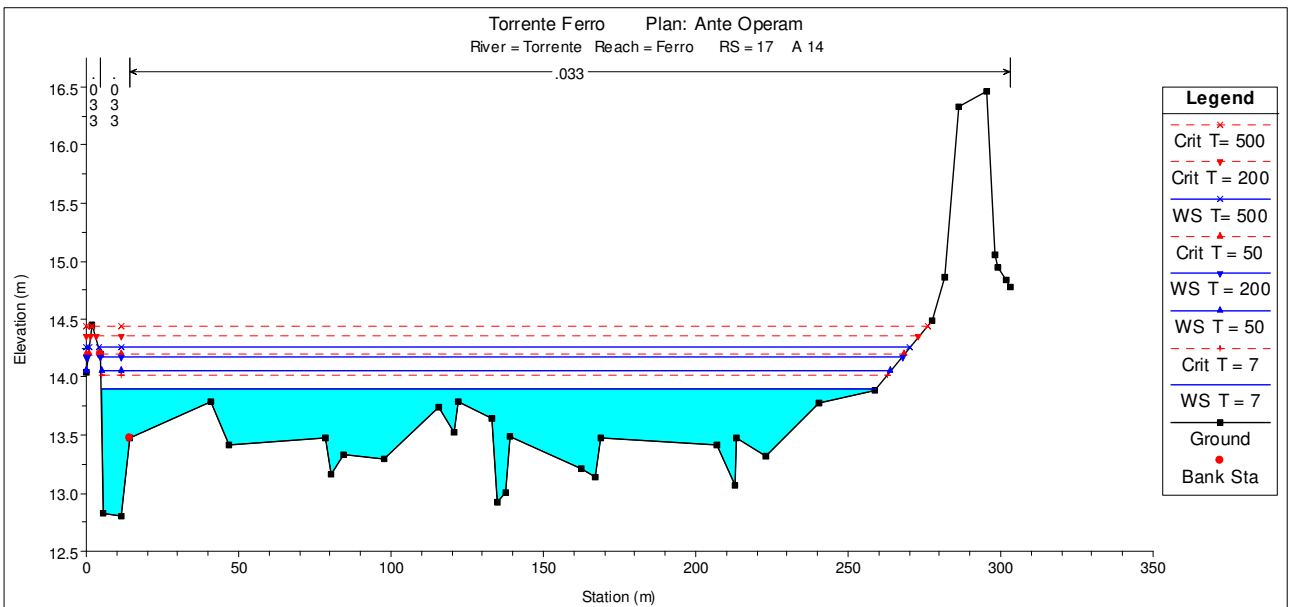
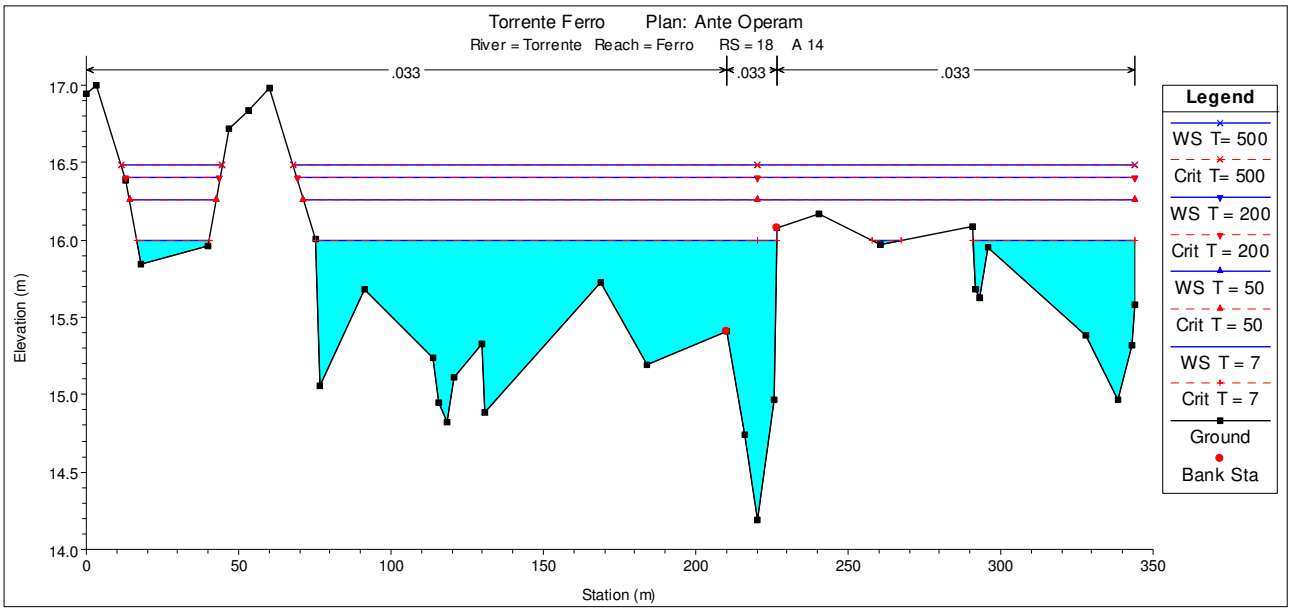
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



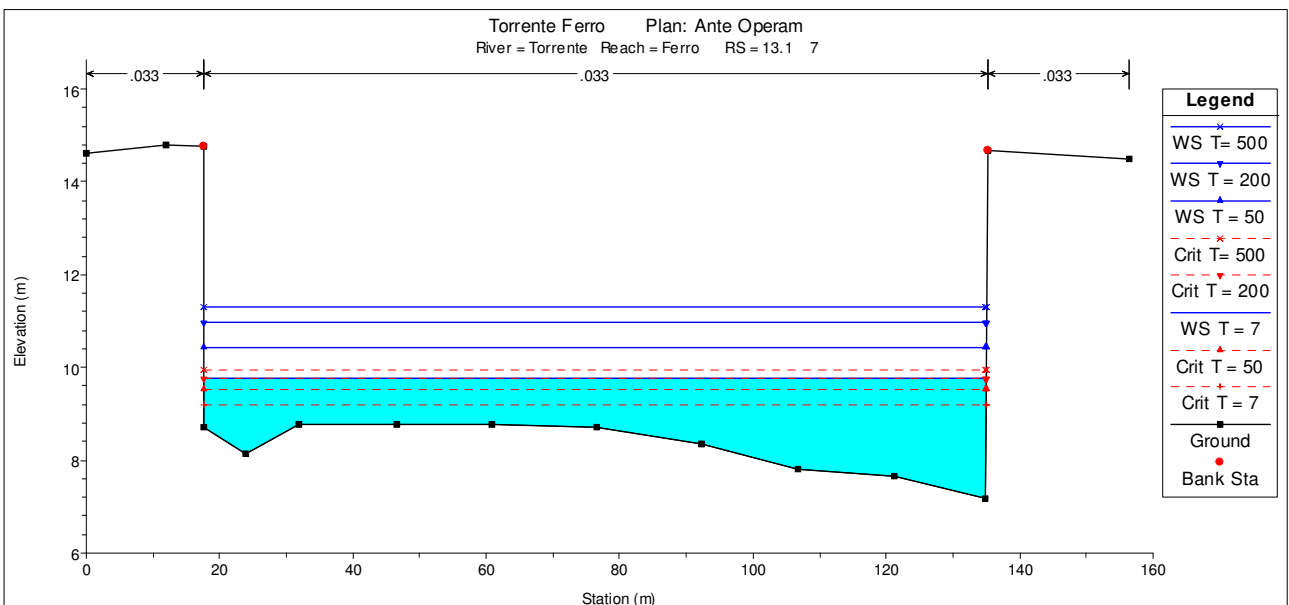
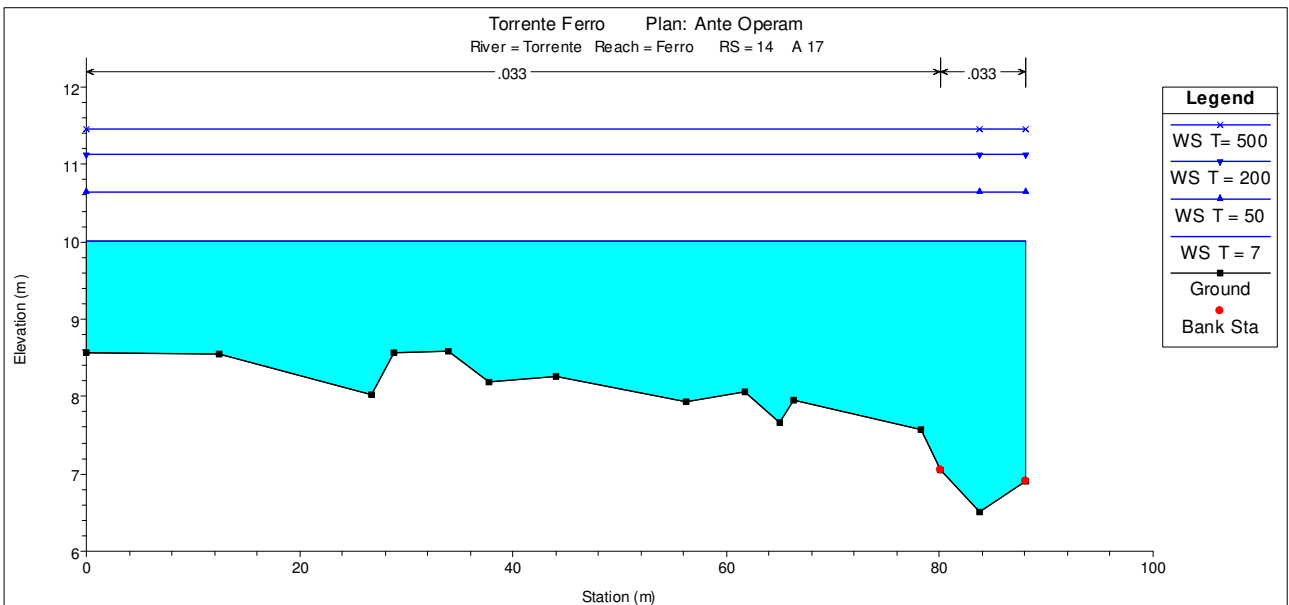
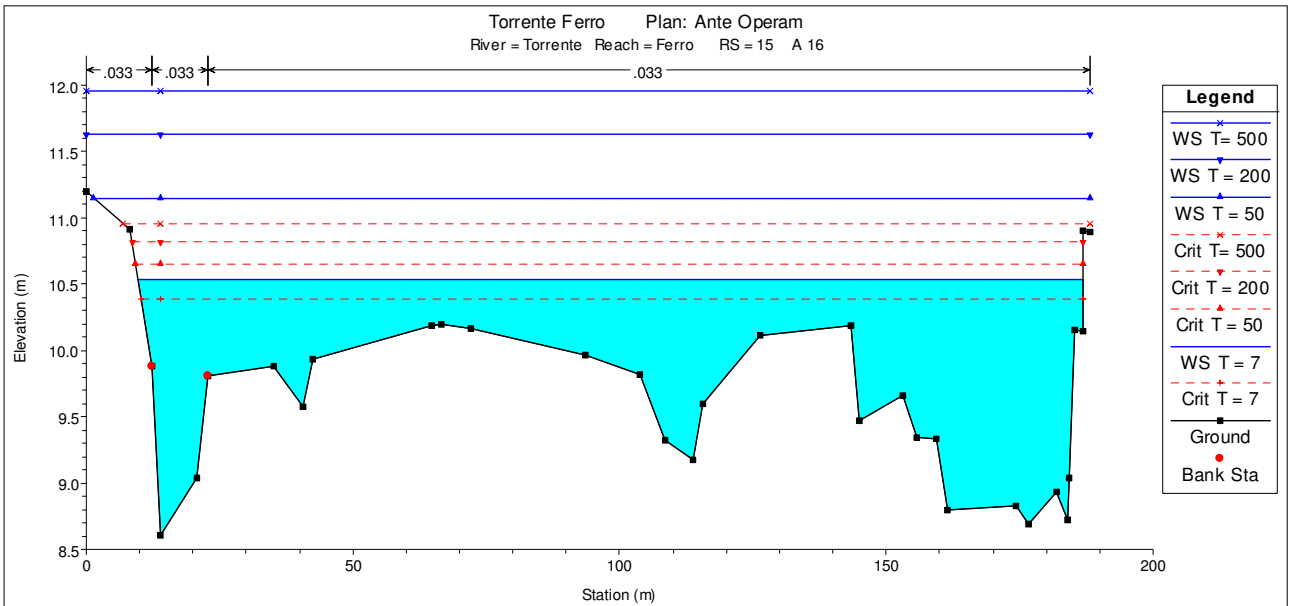
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



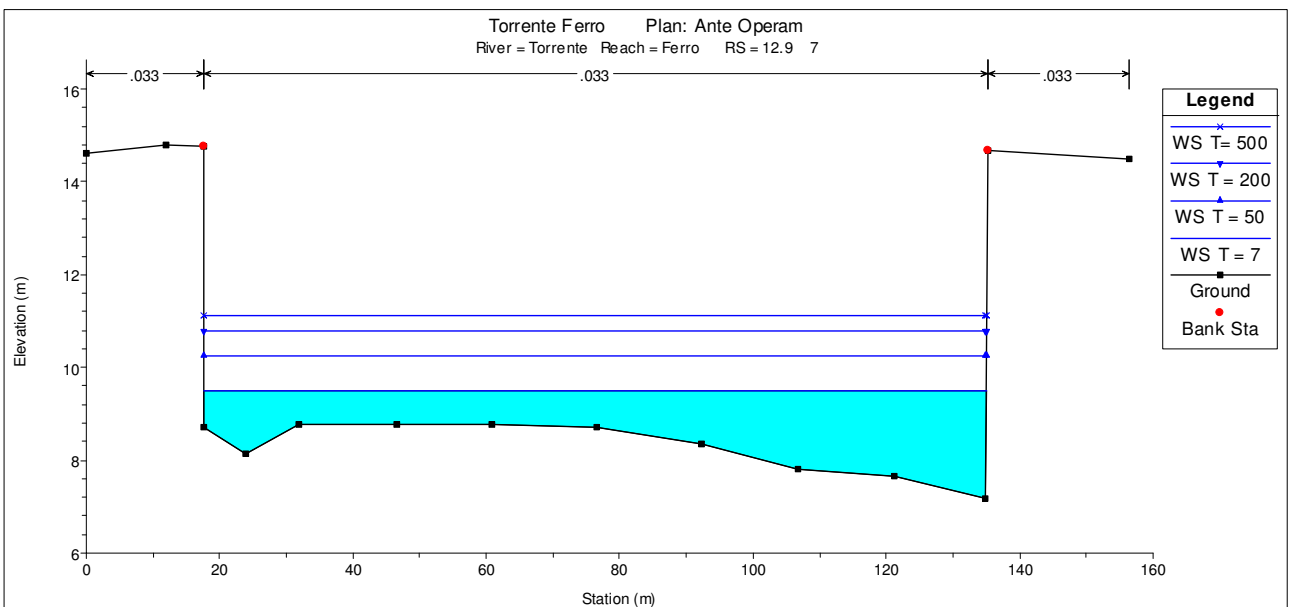
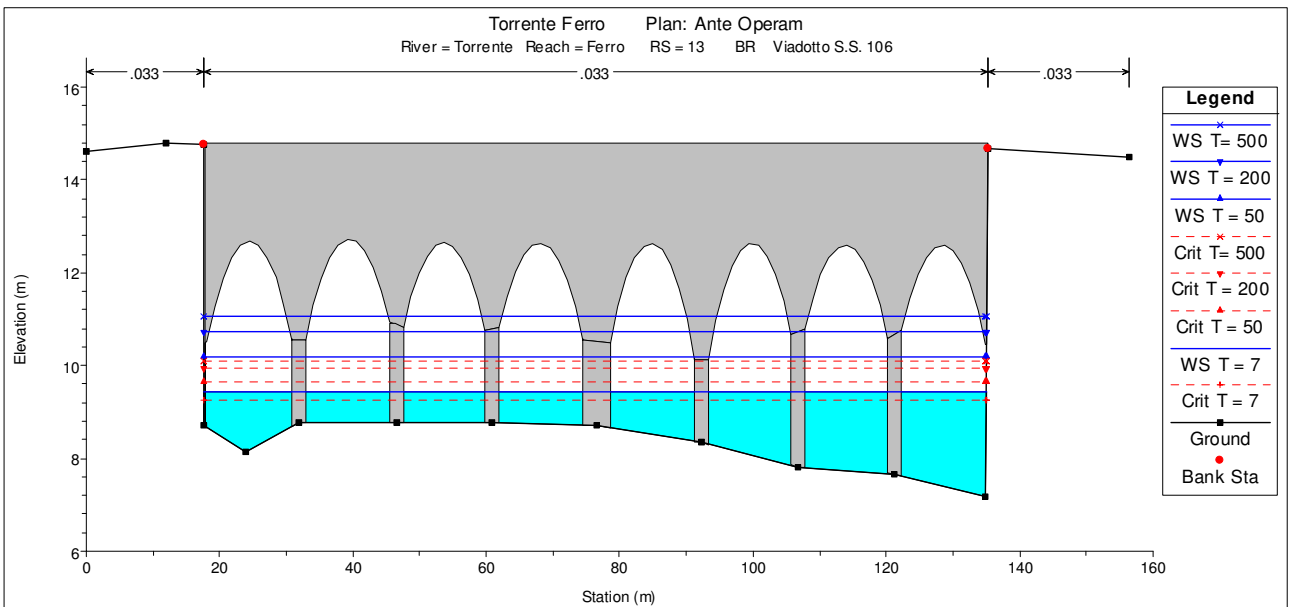
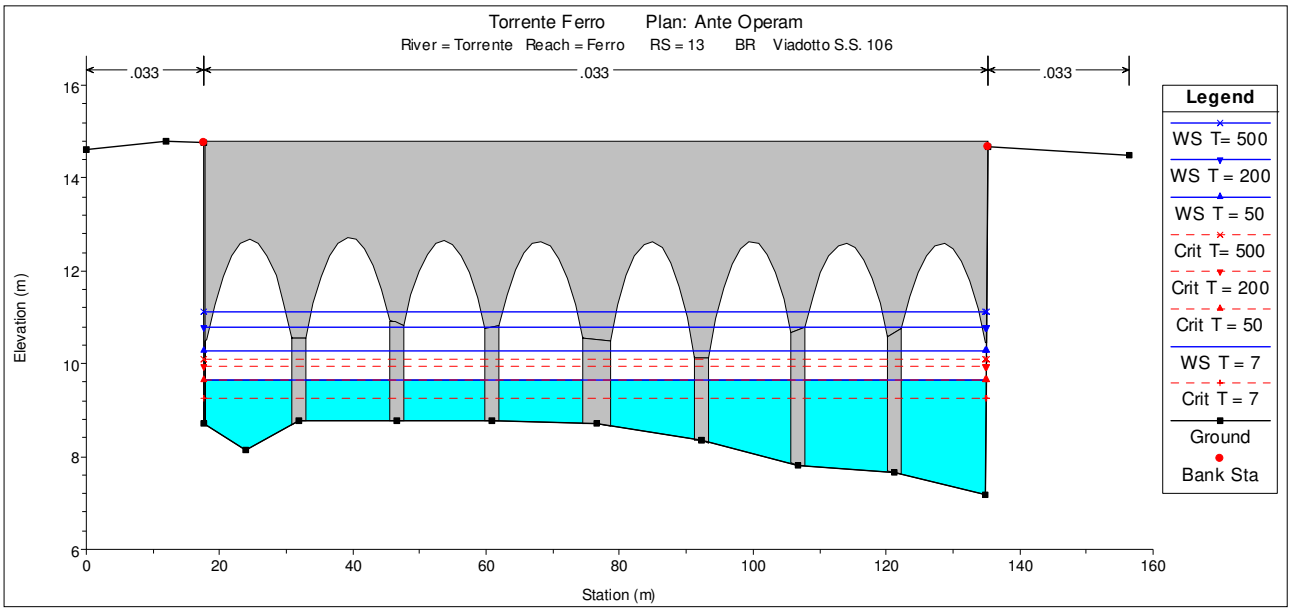
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



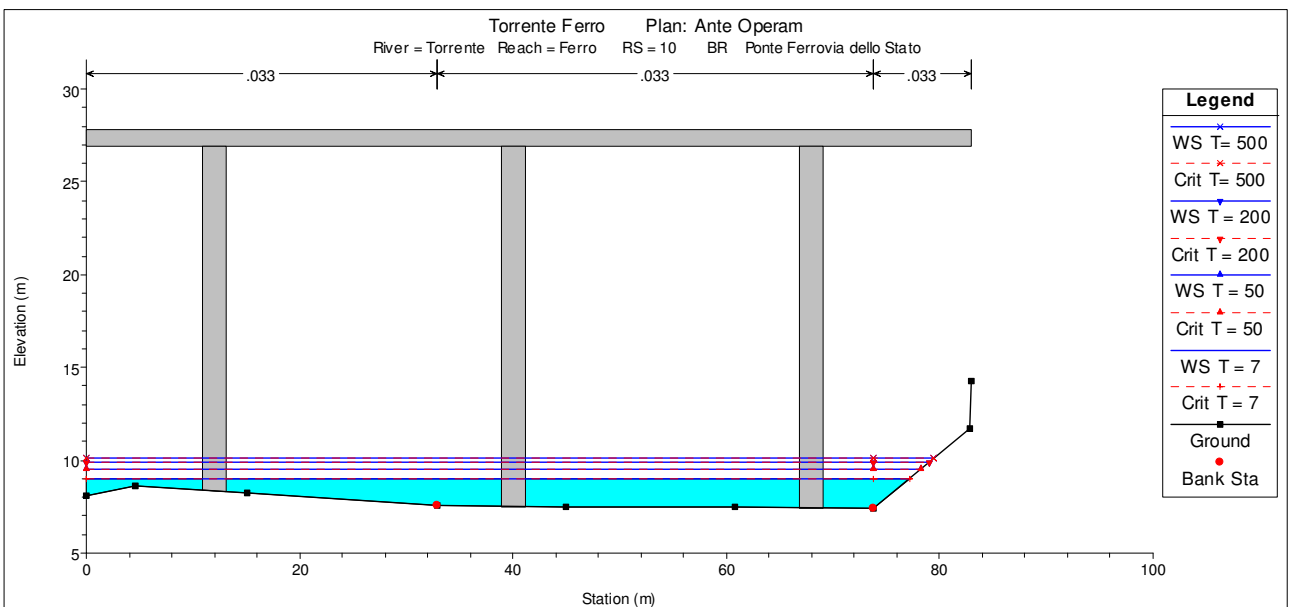
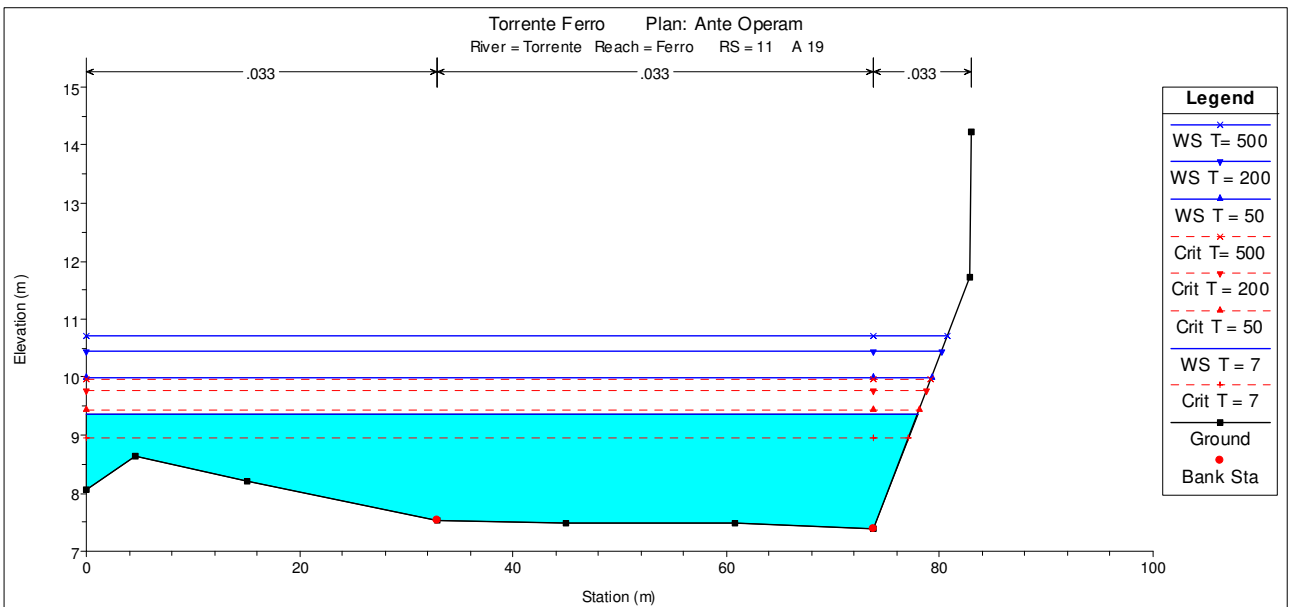
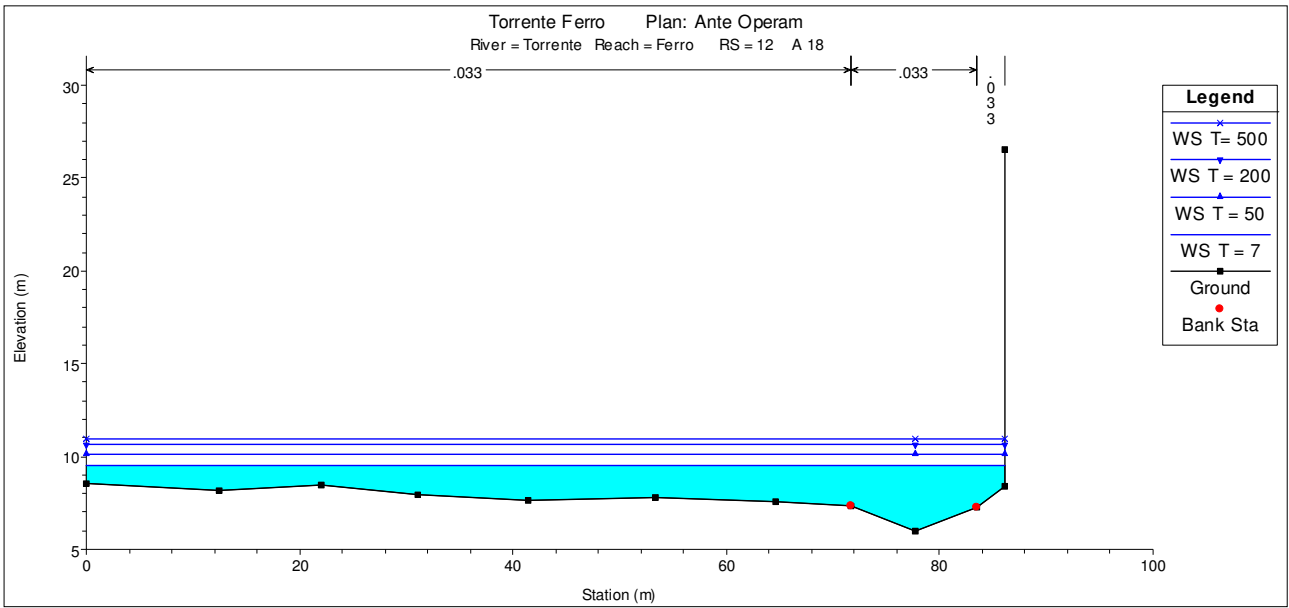
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



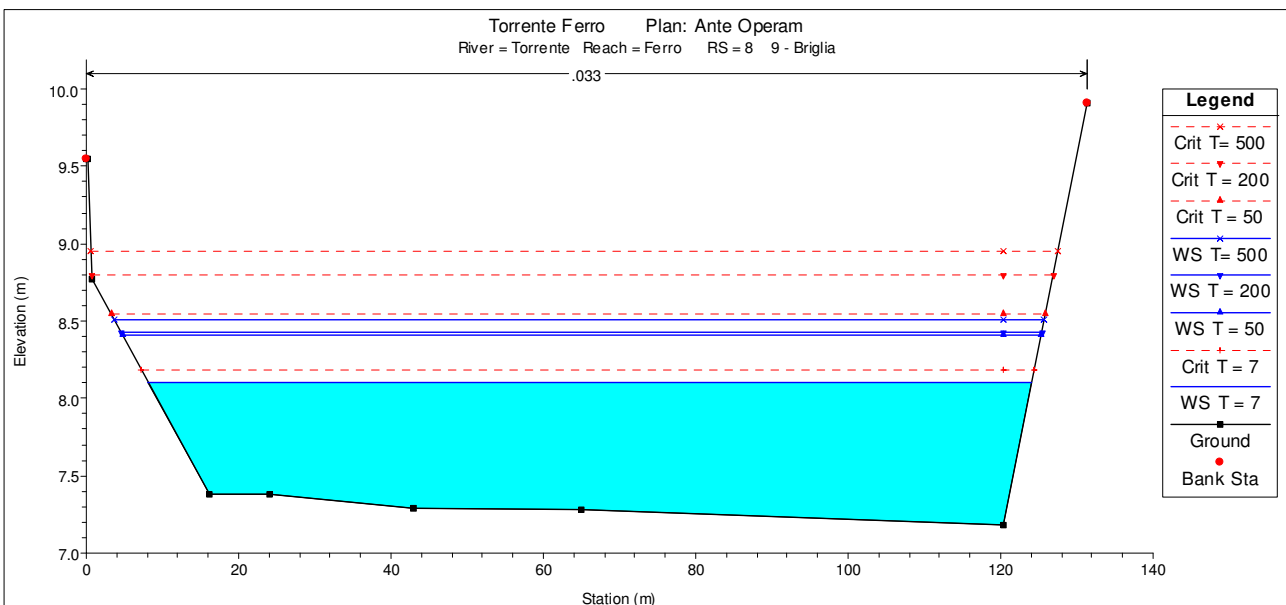
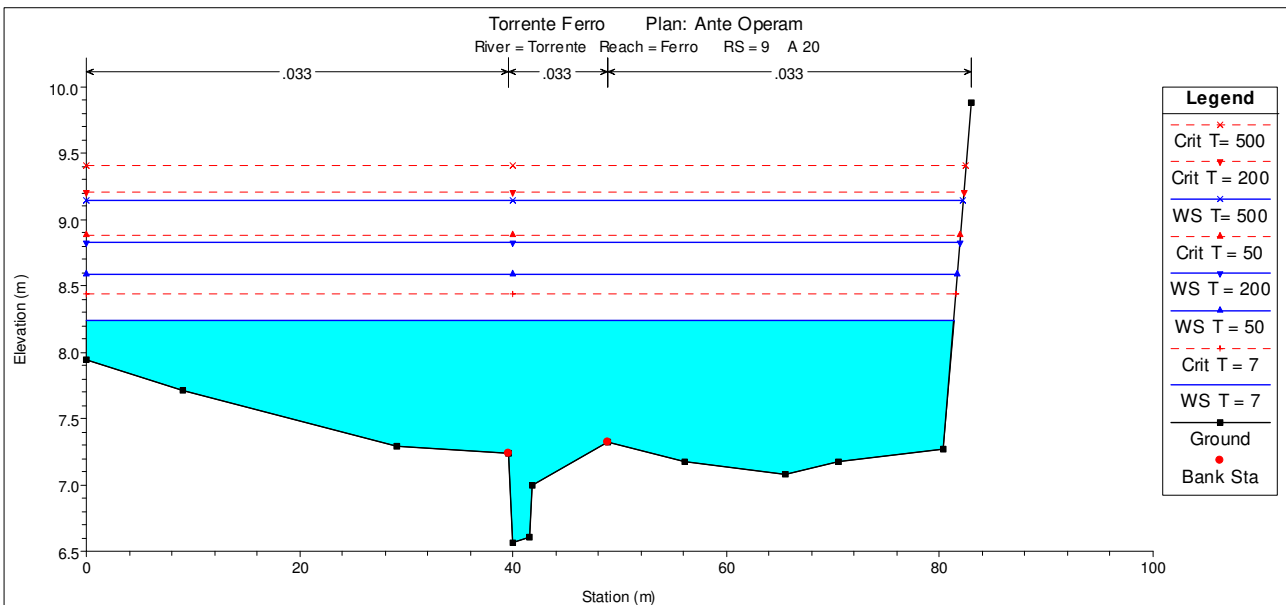
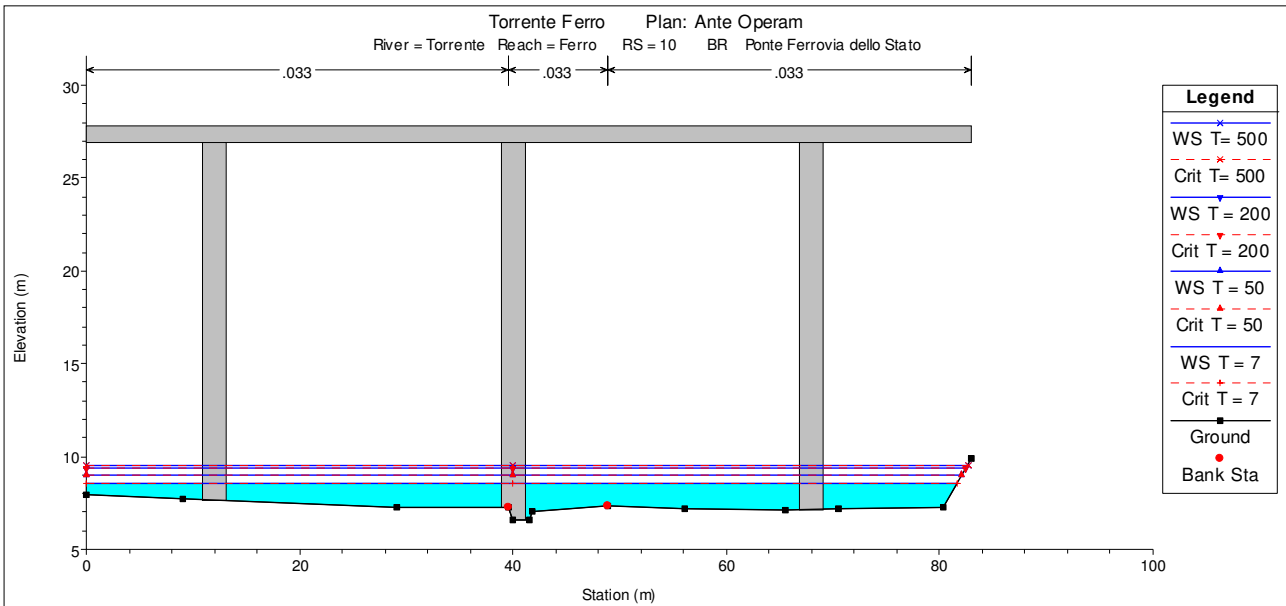
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



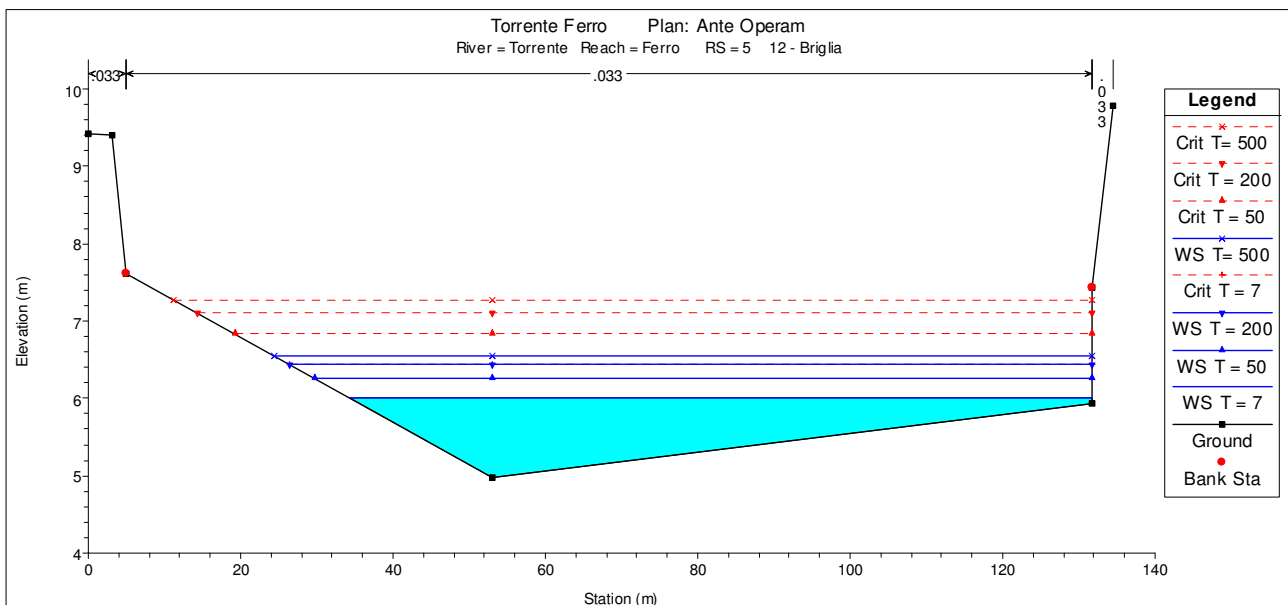
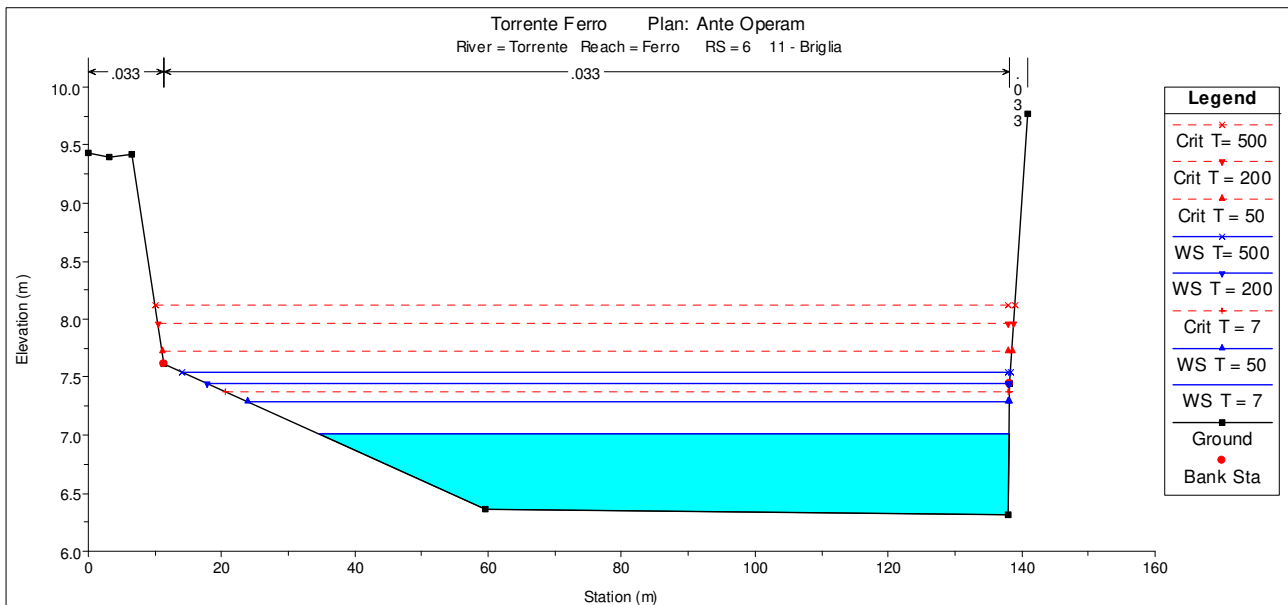
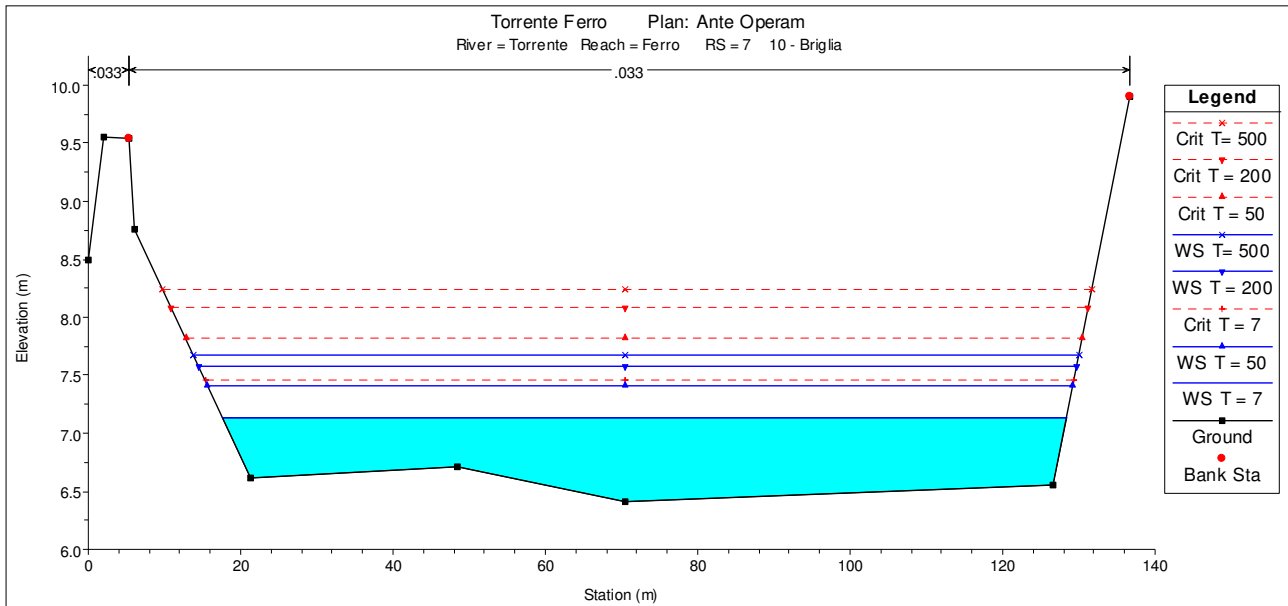
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



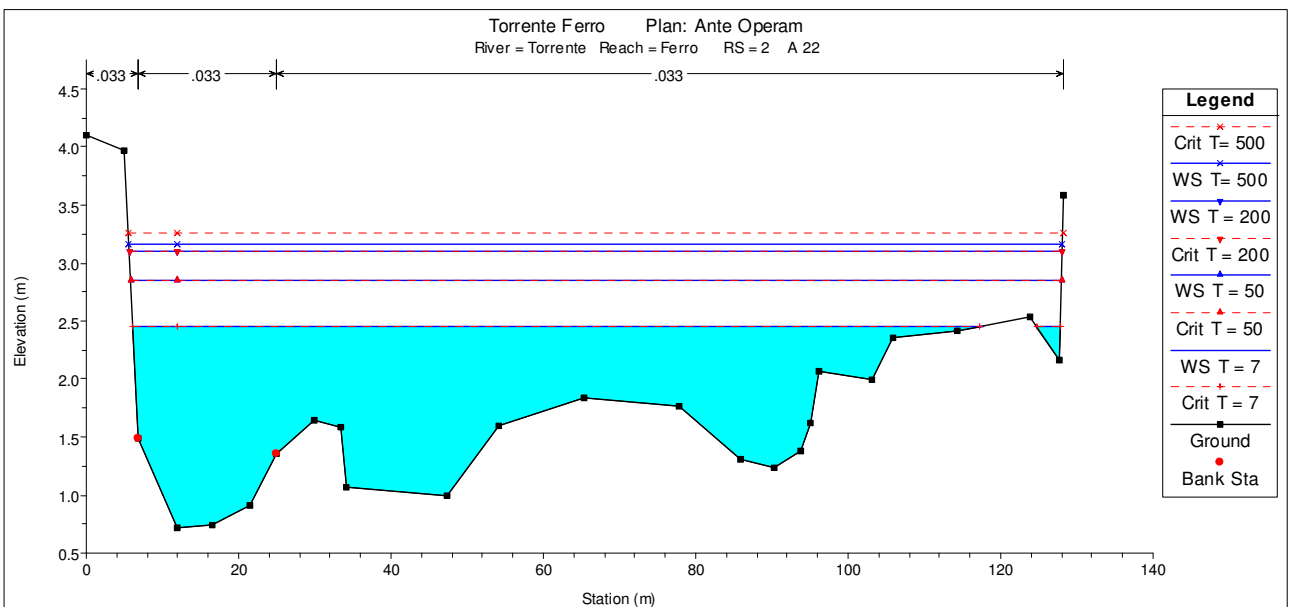
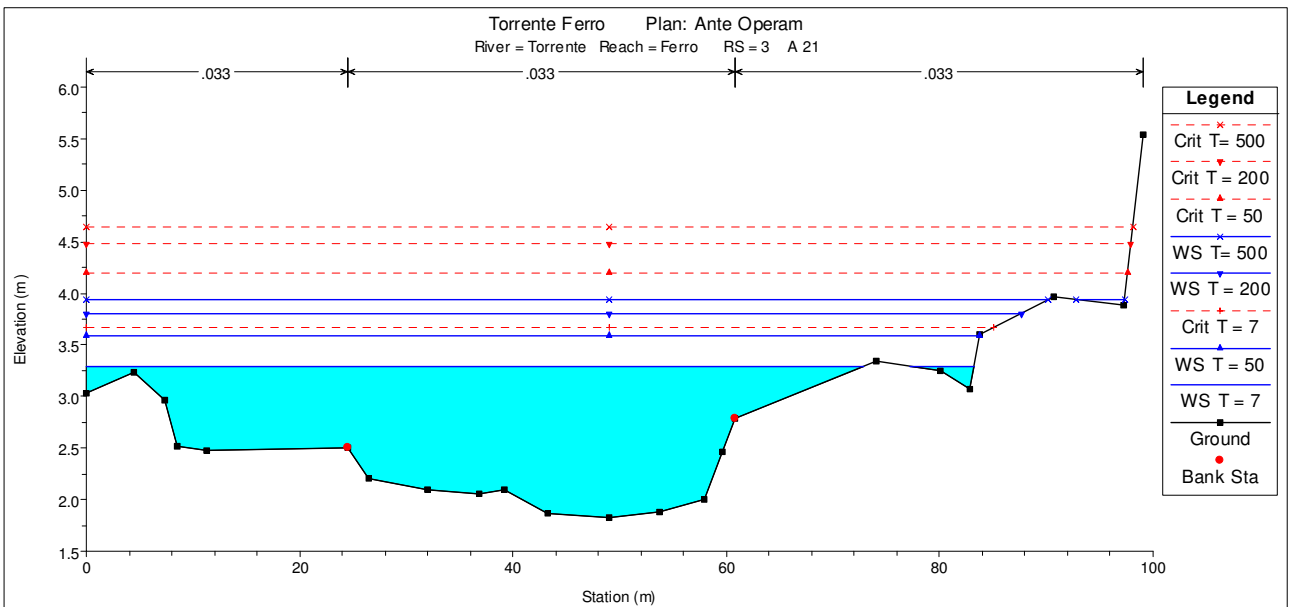
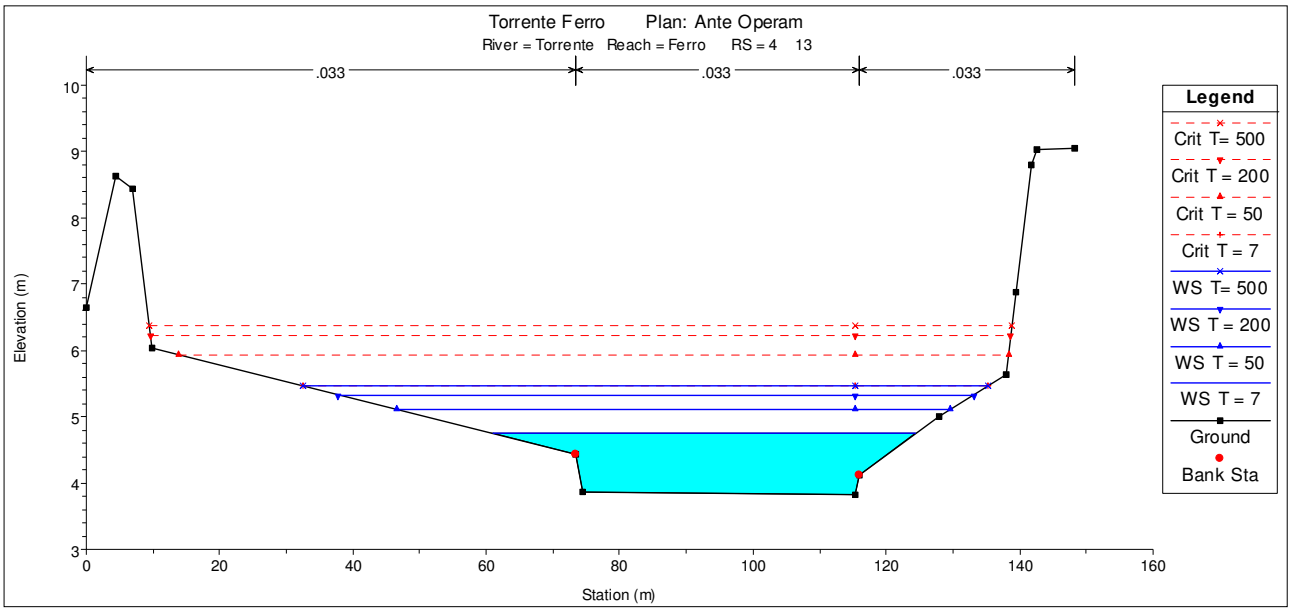
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



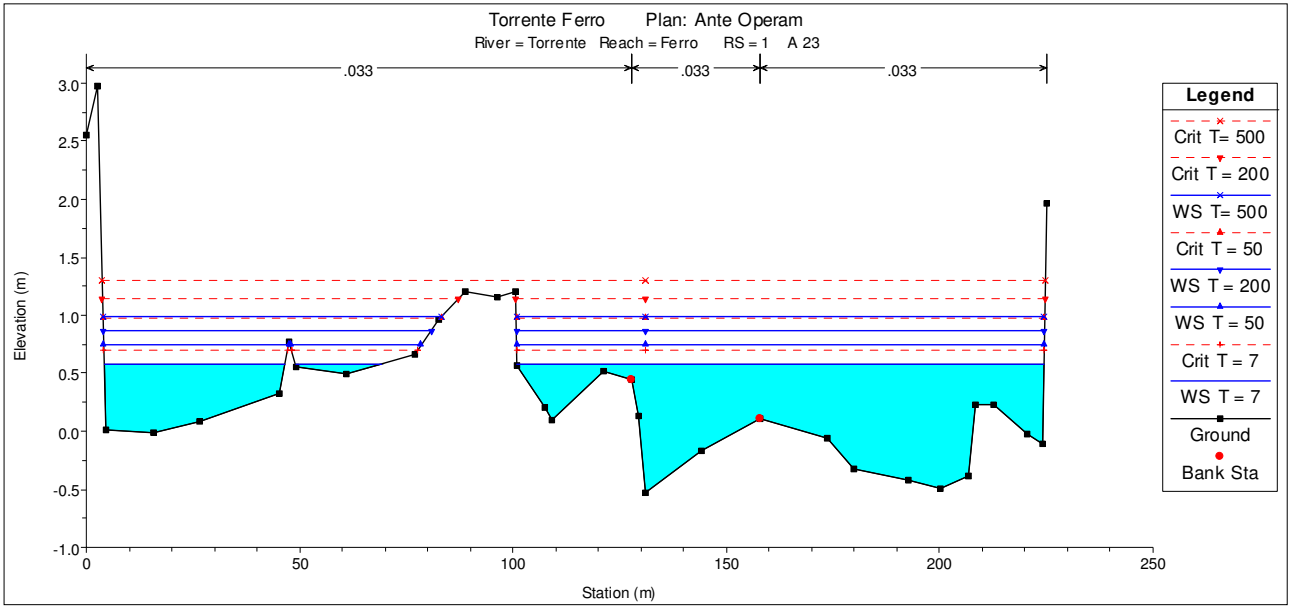
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



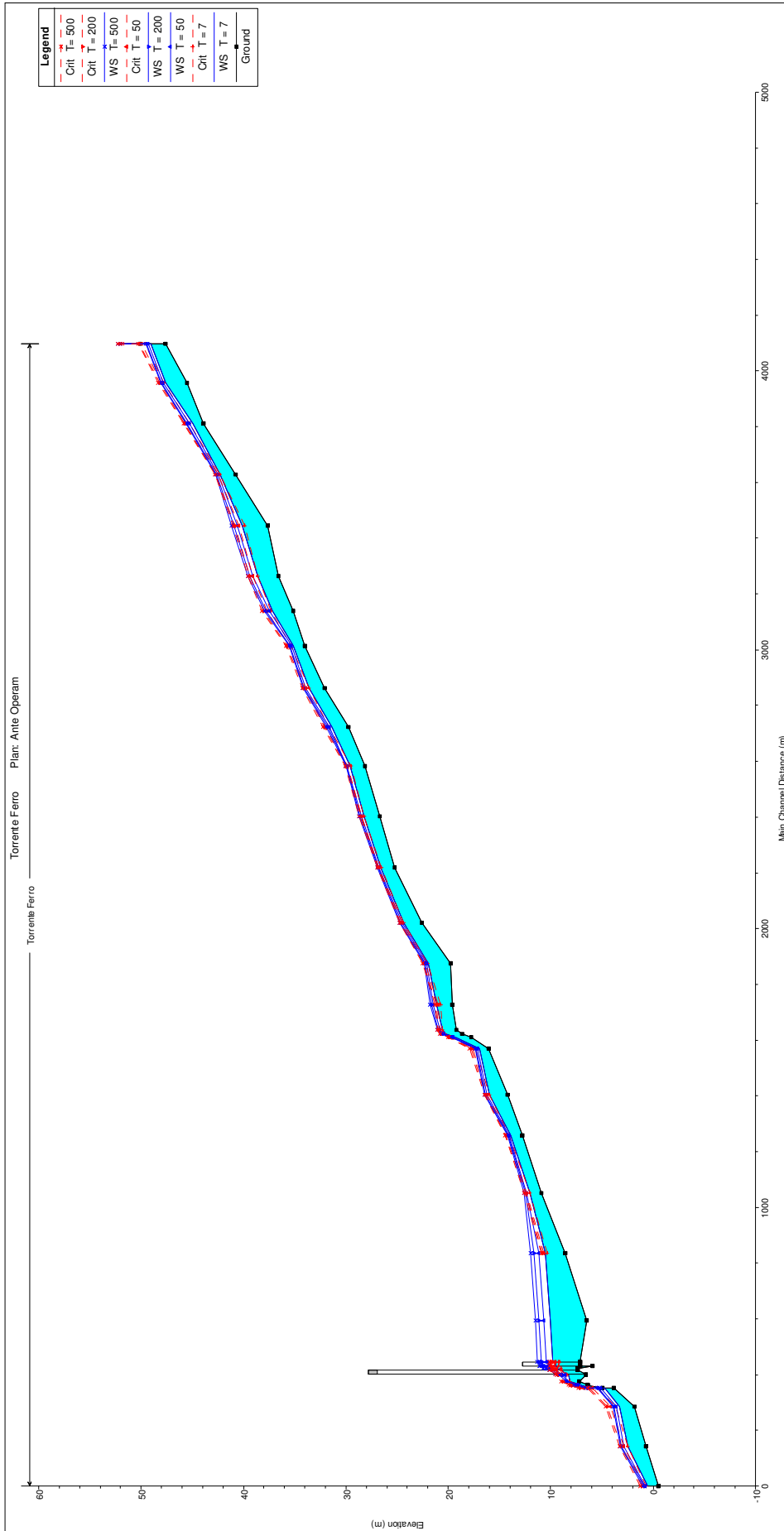
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
Committente: SIRJO S.C.p.A.

River Stations	Profile T (anni)	Q total Q (m ³ /s)	Minimum Channel Elevation Z (m)	Water Surface Elevation WS (m)	Critical Water Surface WS _{cr} (m)	Energy Grade Elevation E (m)	Energy Grade Slope J (m/m)	Max Channel Depth Y (m)	Critical Depth Y _{cr} (m)	Flow Area A (m ²)	Hydraulic Radius R _i (m)	Velocity Total V (m/s)
39	7	295,14	50,12	51,68	51,68	52,02	0,010904	1,56	1,56	118,91	0,68	3,71
39	50	491	50,12	51,94	51,94	52,41	0,010521	1,82	1,82	164,74	0,93	4,12
39	200	652,99	50,12	52,13	52,13	52,7	0,010215	2,01	2,01	198,06	1,1	4,38
39	500	762,7	50,12	52,27	52,27	52,87	0,009416	2,15	2,15	223,62	1,17	4,43
38	7	295,14	47,57	49,02	49,63	51,77	0,063176	1,45	2,06	47,46	0,49	8,5
38	50	491	47,57	49,3	49,96	52,18	0,056979	1,73	2,39	78,14	0,56	9,29
38	200	652,99	47,57	49,46	50,2	52,46	0,054956	1,89	2,63	101,52	0,66	9,78
38	500	762,7	47,57	49,55	50,27	52,62	0,053709	1,98	2,7	115,4	0,71	10,01
37	7	295,14	45,51	47,59	47,78	48,26	0,009991	2,08	2,27	112,91	0,53	4,54
37	50	491	45,51	47,82	48,01	48,54	0,010943	2,31	2,5	162,56	0,73	5,07
37	200	652,99	45,51	47,98	48,21	48,76	0,011378	2,47	2,7	198,42	0,86	5,39
37	500	762,7	45,51	48,08	48,31	48,9	0,011563	2,57	2,8	222,09	0,92	5,57
36	7	295,14	43,89	44,99	45,27	45,85	0,032732	1,1	1,38	75,6	0,53	5,16
36	50	491	43,89	45,28	45,59	46,23	0,025382	1,39	1,7	119,96	0,68	5,45
36	200	652,99	43,89	45,5	45,73	46,37	0,02606	1,61	1,84	166	0,69	6,16
36	500	762,7	43,89	45,57	45,85	46,52	0,025282	1,68	1,96	184,56	0,76	6,29
35	7	295,14	40,78	42,26	42,26	42,56	0,010402	1,57	1,48	126,4	0,63	2,98
35	50	491	40,78	42,45	42,49	42,93	0,012467	1,76	1,71	163,72	0,81	3,67
35	200	652,99	40,78	42,62	42,67	43,19	0,011799	1,93	1,89	198,32	0,98	3,93
35	500	762,7	40,78	42,71	42,77	43,36	0,01192	2,02	1,99	217,38	1,07	4,14
34	7	295,14	37,67	40,12	39,85	40,53	0,005601	2,45	2,18	109,39	1,17	3,62
34	50	491	37,67	40,64	40,42	41,14	0,00583	2,97	2,75	171,3	1,12	4,29
34	200	652,99	37,67	40,96	40,88	41,49	0,005537	3,29	3,21	219,43	1,41	4,52
34	500	762,7	37,67	41,15	41,01	41,7	0,005243	3,48	3,34	248,35	1,56	4,58
33	7	295,14	36,55	38,58	38,58	39,15	0,010825	2,03	2,03	88,51	1,09	3,33
33	50	491	36,55	39,1	39,1	39,75	0,010158	2,55	2,55	136,53	1,28	3,6
33	200	652,99	36,55	39,37	39,37	40,17	0,00963	2,82	2,82	164,96	1,54	3,96
33	500	762,7	36,55	39,54	39,54	40,43	0,009314	2,99	2,99	183,13	1,7	4,16
32	7	295,14	35,14	37,12	37,3	37,86	0,009807	1,98	2,16	88,68	0,93	4,32
32	50	491	35,14	37,5	37,71	38,46	0,010369	2,36	2,57	123,93	1,28	5,07
32	200	652,99	35,14	37,77	38	38,9	0,010501	2,63	2,86	148,92	1,53	5,52
32	500	762,7	35,14	37,94	38,18	39,18	0,010531	2,8	3,04	164,5	1,69	5,79
31	7	295,14	33,99	35,11	35,36	35,87	0,029325	1,12	1,37	78,36	0,51	3,94
31	50	491	33,99	35,32	35,64	36,34	0,031942	1,33	1,65	114,97	0,61	4,65
31	200	652,99	33,99	35,43	35,79	36,7	0,034026	1,44	1,8	137,07	0,69	5,23
31	500	762,7	33,99	35,5	35,9	36,94	0,035386	1,51	1,91	151,26	0,74	5,59
30	7	295,14	32,05	33,6	33,6	33,94	0,0077	1,55	1,55	127,85	0,69	3,04
30	50	491	32,05	33,92	33,92	34,33	0,007179	1,87	1,87	193,52	0,79	3,43
30	200	652,99	32,05	34,11	34,11	34,57	0,007096	2,06	2,06	239,83	0,97	3,68
30	500	762,7	32,05	34,15	34,23	34,73	0,008856	2,1	2,18	247,3	1	4,16
29	7	295,14	29,73	31,4	31,69	32,32	0,017411	1,67	1,96	87,47	0,53	5,26
29	50	491	29,73	31,62	31,99	32,7	0,019393	1,89	2,26	131,08	0,58	6,08

Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.

29	200	652,99	29,73	31,77	32,11	32,93	0,020059	2,04	2,38	165,79	0,66	6,52
29	500	762,7	29,73	31,91	32,26	32,97	0,017659	2,18	2,53	204,99	0,74	6,43
28	7	295,14	28,14	29,62	29,53	29,86	0,007812	1,48	1,39	135,96	0,7	2,64
28	50	491	28,14	29,91	29,81	30,24	0,008105	1,77	1,67	199,33	0,81	3,2
28	200	652,99	28,14	29,93	30,02	30,48	0,013461	1,79	1,88	203,38	0,82	4,15
28	500	762,7	28,14	29,99	30,11	30,64	0,014352	1,85	1,97	220,11	0,87	4,43
27	7	295,14	26,67	28,23	28,19	28,49	0,007534	1,56	1,52	141,38	0,63	2,84
27	50	491	26,67	28,47	28,46	28,81	0,007898	1,8	1,79	201,26	0,72	3,3
27	200	652,99	26,67	28,64	28,54	29,04	0,008165	1,97	1,87	248,88	0,87	3,63
27	500	762,7	26,67	28,73	28,73	29,17	0,008109	2,06	2,06	275,24	0,96	3,76
26	7	295,14	25,27	26,58	26,53	26,78	0,011325	1,31	1,26	147,08	0,49	2,01
26	50	491	25,27	26,75	26,74	27,06	0,011432	1,48	1,47	199,68	0,66	2,46
26	200	652,99	25,27	26,88	26,88	27,26	0,011527	1,6	1,6	236,62	0,78	2,76
26	500	762,7	25,27	26,92	26,94	27,39	0,013138	1,65	1,67	249,84	0,82	3,05
25	7	295,14	22,55	24,35	24,35	24,6	0,010783	1,8	1,8	140,35	0,5	3,32
25	50	491	22,55	24,56	24,56	24,89	0,010674	2,01	2,01	199,35	0,68	3,68
25	200	652,99	22,55	24,69	24,69	25,09	0,010647	2,14	2,14	237,53	0,81	3,91
25	500	762,7	22,55	24,77	24,77	25,22	0,010646	2,22	2,22	261,12	0,89	4,05
24	7	295,14	19,75	21,91	22	22,32	0,023443	2,16	2,25	104,03	0,48	2,84
24	50	491	19,75	22,11	22,25	22,67	0,022052	2,36	2,5	148,56	0,63	3,31
24	200	652,99	19,75	22,27	22,4	22,88	0,021808	2,52	2,65	188,58	0,68	3,46
24	500	762,7	19,75	22,34	22,49	23,03	0,021462	2,59	2,74	208,04	0,75	3,67
23	7	295,14	19,57	21,14	20,72	21,24	0,002281	1,57	1,15	220,61	0,87	1,76
23	50	491	19,57	21,44	20,99	21,58	0,002495	1,87	1,42	296,07	1,13	2,09
23	200	652,99	19,57	21,64	21,18	21,82	0,00262	2,07	1,61	348,15	1,31	2,31
23	500	762,7	19,57	21,76	21,27	21,97	0,002716	2,19	1,7	380,5	1,41	2,46
22	7	295,14	19,23	20,59	20,59	20,86	0,008497	1,36	1,36	139,02	0,61	3,15
22	50	491	19,23	20,83	20,83	21,18	0,008612	1,6	1,6	201,15	0,76	3,56
22	200	652,99	19,23	20,97	20,97	21,39	0,009006	1,74	1,74	237,97	0,88	3,86
22	500	762,7	19,23	21,05	21,05	21,53	0,009116	1,82	1,82	261,4	0,96	4,02
21	7	295,14	18,63	20,27	20,37	20,69	0,014949	1,64	1,74	119,77	0,47	4,33
21	50	491	18,63	20,43	20,58	21	0,017156	1,8	1,95	162,45	0,61	5,02
21	200	652,99	18,63	20,56	20,73	21,22	0,017103	1,93	2,1	195,81	0,72	5,29
21	500	762,7	18,63	20,64	20,81	21,35	0,017003	2,01	2,18	216,77	0,79	5,44
20	7	295,14	17,79	19,31	19,6	20,31	0,04859	1,52	1,81	73,61	0,33	5,91
20	50	491	17,79	19,49	19,8	20,6	0,045396	1,7	2,01	115,56	0,47	6,48
20	200	652,99	17,79	19,61	19,94	20,82	0,042757	1,82	2,15	143,87	0,58	6,74
20	500	762,7	17,79	19,68	20,03	20,96	0,040989	1,89	2,24	160,84	0,64	6,86
19	7	295,14	16,09	16,93	17,32	18,07	0,059598	0,84	1,23	63,83	0,46	5,43
19	50	491	16,09	17,15	17,58	18,59	0,050196	1,06	1,49	95,71	0,58	6,06
19	200	652,99	16,09	17,3	17,76	18,88	0,049315	1,21	1,67	123,55	0,6	6,7
19	500	762,7	16,09	17,37	17,89	19,08	0,04819	1,28	1,8	138,55	0,66	6,94
18	7	295,14	14,19	16	16	16,26	0,008308	1,81	1,81	137,78	0,57	3,1
18	50	491	14,19	16,26	16,26	16,58	0,007961	2,07	2,07	210,24	0,69	3,43
18	200	652,99	14,19	16,4	16,4	16,78	0,008134	2,21	2,21	253,65	0,82	3,69

Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.

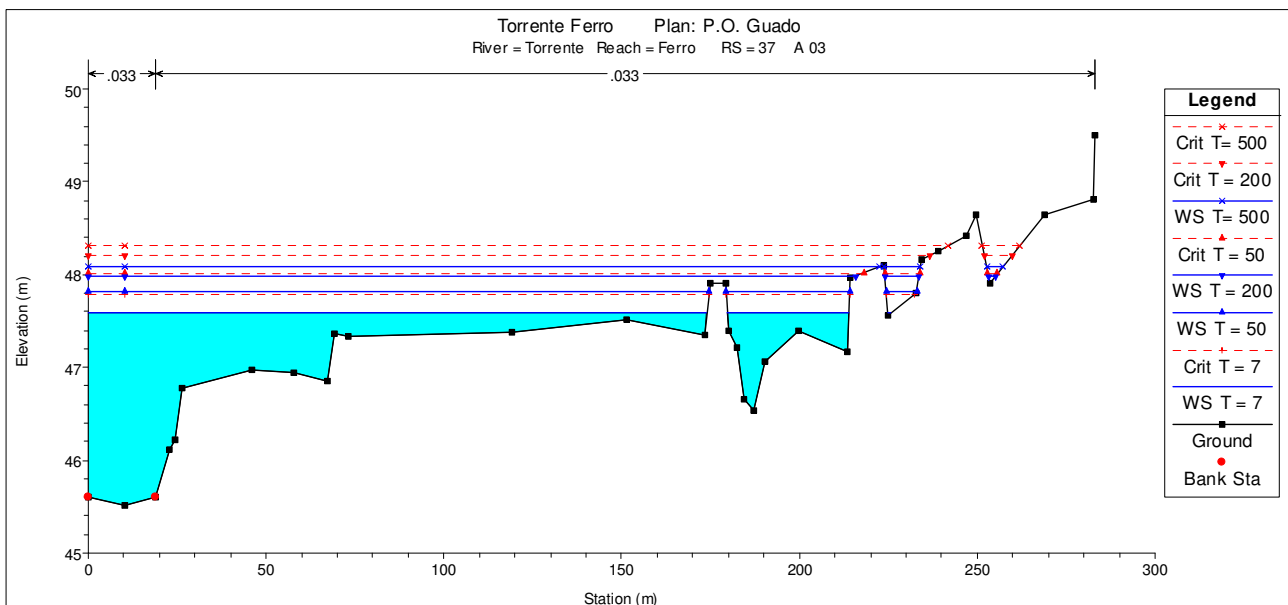
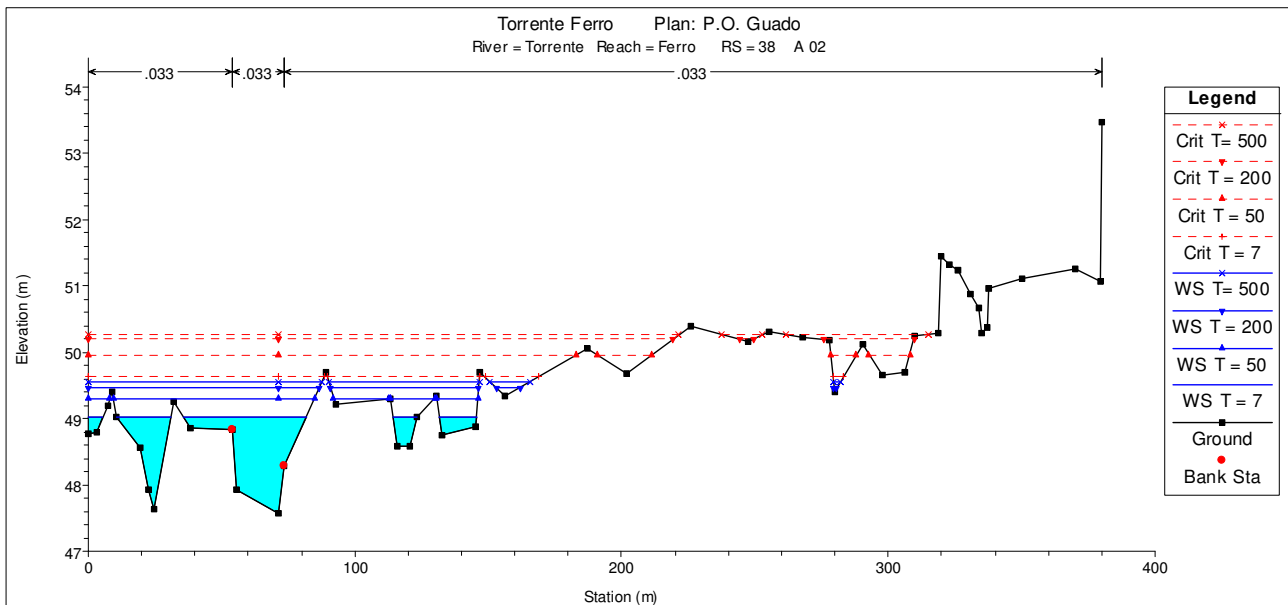
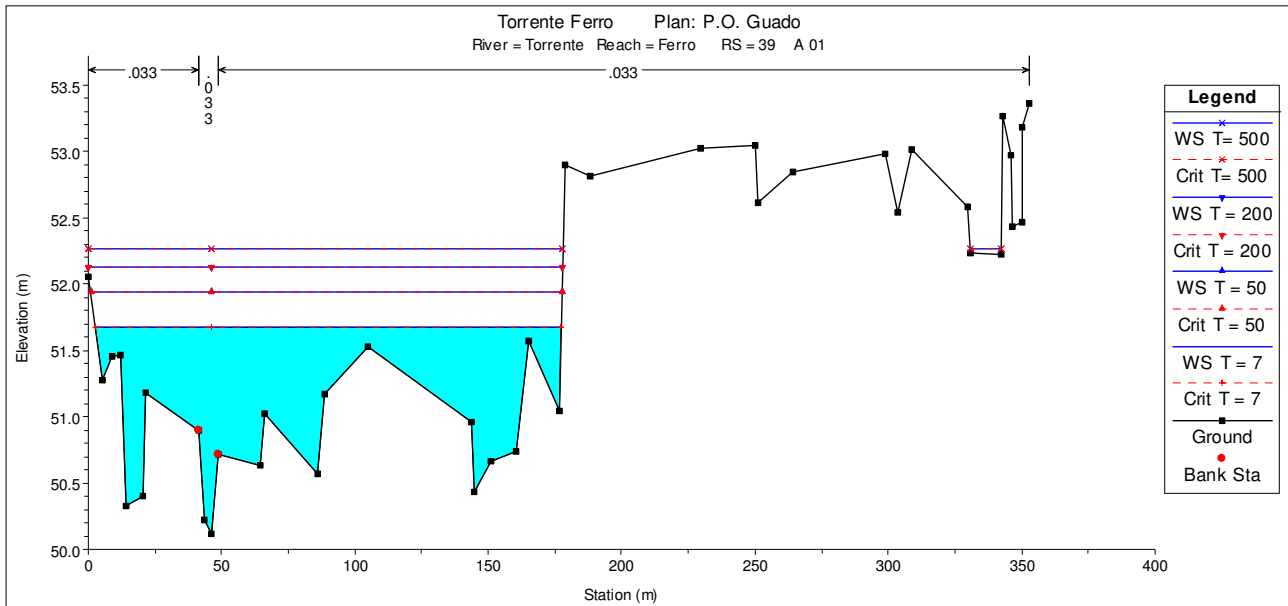
18	500	762,7	14,19	16,49	16,49	16,9	0,00828	2,3	2,3	279,91	0,9	3,85
17	7	295,14	12,8	13,9	14,02	14,31	0,023627	1,1	1,22	109,1	0,43	4,3
17	50	491	12,8	14,05	14,2	14,64	0,024939	1,25	1,4	147,74	0,57	4,82
17	200	652,99	12,8	14,18	14,35	14,86	0,023079	1,38	1,55	181,08	0,68	4,94
17	500	762,7	12,8	14,26	14,44	15	0,021935	1,46	1,64	202,87	0,75	5,02
16	7	295,14	10,9	12,08	12,08	12,39	0,010422	1,18	1,18	124,71	0,62	3,33
16	50	491	10,9	12,33	12,33	12,75	0,010056	1,43	1,43	175,59	0,83	3,74
16	200	652,99	10,9	12,49	12,49	13,01	0,010374	1,59	1,59	209,37	0,95	4,08
16	500	762,7	10,9	12,63	12,63	13,17	0,00917	1,73	1,73	241,29	1,09	4,08
15	7	295,14	8,61	10,54	10,39	10,75	0,005258	1,93	1,78	148,81	0,83	2,81
15	50	491	8,61	11,15	10,65	11,34	0,002442	2,54	2,04	259,2	1,37	2,39
15	200	652,99	8,61	11,64	10,82	11,82	0,001633	3,03	2,21	350,59	1,83	2,24
15	500	762,7	8,61	11,96	10,96	12,14	0,001328	3,35	2,35	411	2,13	2,18
14	7	295,14	6,5	10,02		10,17	0,001342	3,52		174,12	1,87	1,96
14	50	491	6,5	10,65		10,88	0,001519	4,15		229,51	2,44	2,26
14	200	652,99	6,5	11,13		11,43	0,001539	4,63		272,46	2,86	2,4
14	500	762,7	6,5	11,45		11,78	0,001528	4,95		300,52	3,14	2,46
13.1	7	295,14	7,17	9,76	9,18	9,91	0,002153	2,59	2,01	168,33	1,39	1,75
13.1	50	491	7,17	10,43	9,52	10,63	0,001678	3,26	2,35	247,27	2,02	1,99
13.1	200	652,99	7,17	10,96	9,78	11,19	0,001426	3,79	2,61	309,2	2,51	2,11
13.1	500	762,7	7,17	11,3	9,93	11,54	0,001302	4,13	2,76	349,53	2,82	2,18
13		Bridge										
12.9	7	295,14	7,17	9,49		9,73	0,004252	2,32		137	1,14	2,15
12.9	50	491	7,17	10,24		10,49	0,002272	3,07		225,53	1,85	2,18
12.9	200	652,99	7,17	10,78		11,04	0,001801	3,61		287,94	2,34	2,27
12.9	500	762,7	7,17	11,11		11,39	0,001623	3,94		326,78	2,64	2,33
12	7	295,14	5,96	9,49		9,71	0,001934	3,53		150,26	1,69	2,65
12	50	491	5,96	10,16		10,46	0,001917	4,2		207,22	2,3	3,03
12	200	652,99	5,96	10,63		11	0,001901	4,67		248,01	2,73	3,28
12	500	762,7	5,96	10,93		11,34	0,001892	4,97		273,42	2,99	3,43
11	7	295,14	7,39	9,37	8,96	9,68	0,003284	1,98	1,57	123,27	1,54	2,66
11	50	491	7,39	9,99	9,42	10,43	0,00314	2,6	2,03	171,99	2,1	3,14
11	200	652,99	7,39	10,44	9,76	10,97	0,003044	3,05	2,37	207,63	2,49	3,45
11	500	762,7	7,39	10,72	9,97	11,3	0,002992	3,33	2,58	230,13	2,73	3,63
10		Bridge										
9	7	295,14	6,56	8,24	8,44	9,09	0,019465	1,68	1,88	73,83	0,89	4,59
9	50	491	6,56	8,58	8,88	9,8	0,019062	2,02	2,32	101,81	1,22	5,36
9	200	652,99	6,56	8,83	9,21	10,31	0,01878	2,27	2,65	121,92	1,45	5,87
9	500	762,7	6,56	9,15	9,41	10,52	0,013705	2,59	2,85	147,82	1,74	5,59
8	7	295,14	7,18	8,11	8,19	8,64	0,015489	0,93	1,01	91,65	0,79	3,22
8	50	491	7,18	8,41	8,54	9,17	0,015098	1,23	1,36	127,31	1,05	3,86
8	200	652,99	7,18	8,43	8,8	9,72	0,025059	1,25	1,62	129,91	1,07	5,03
8	500	762,7	7,18	8,51	8,95	10,03	0,027374	1,33	1,77	139,41	1,14	5,47

Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.

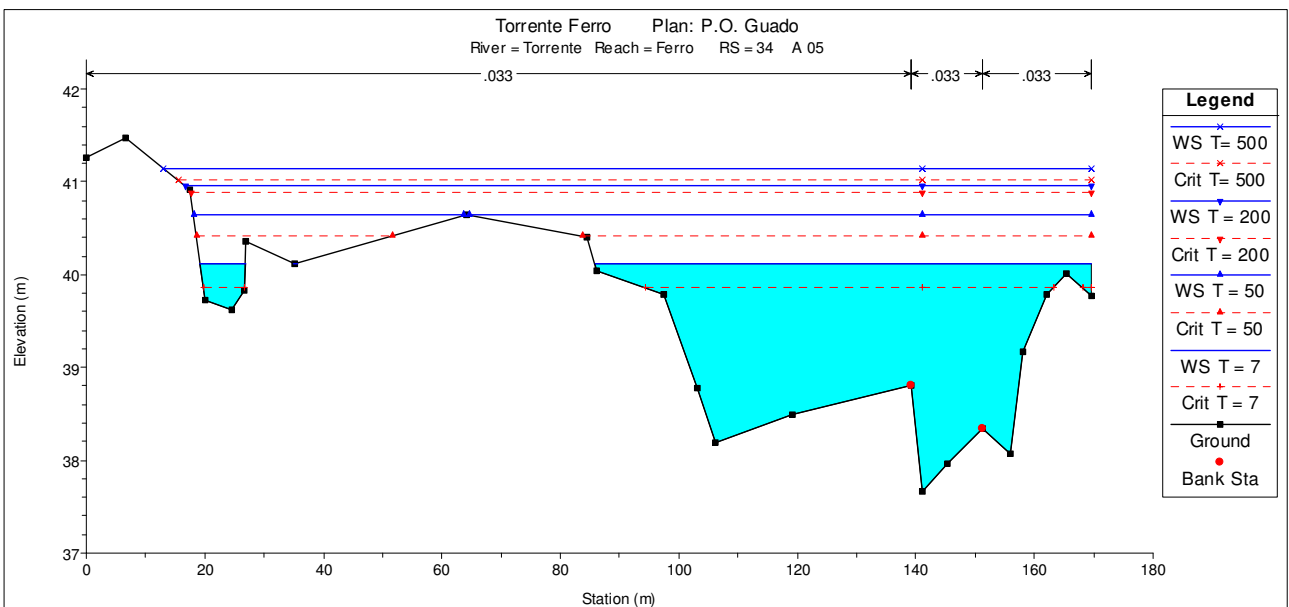
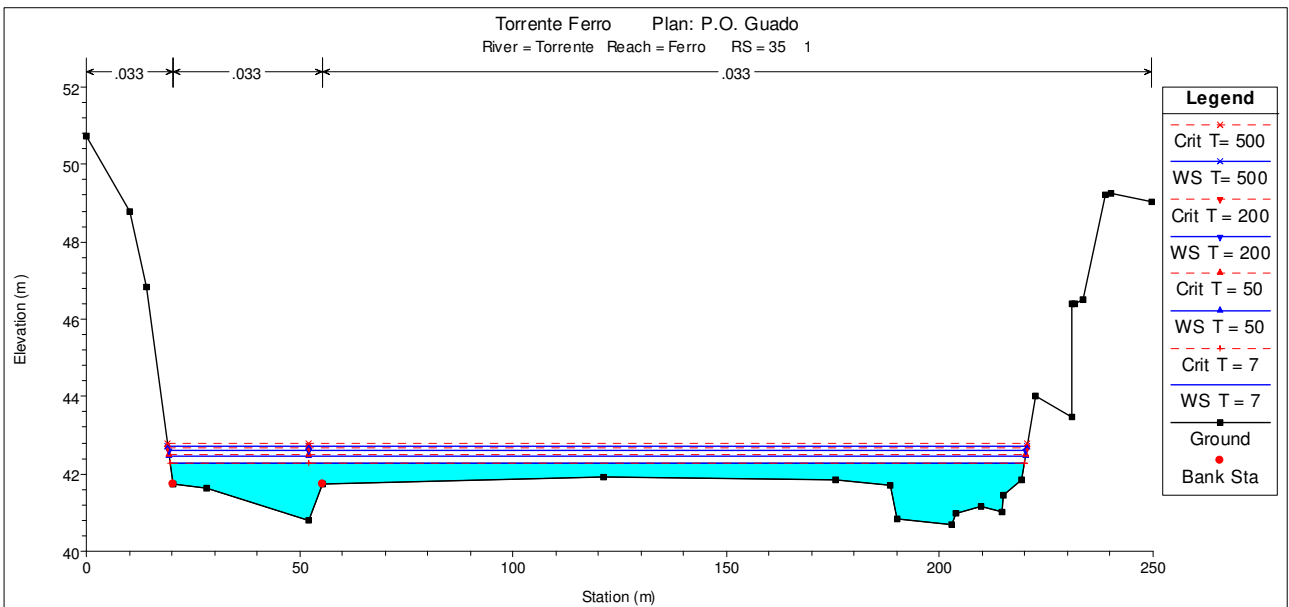
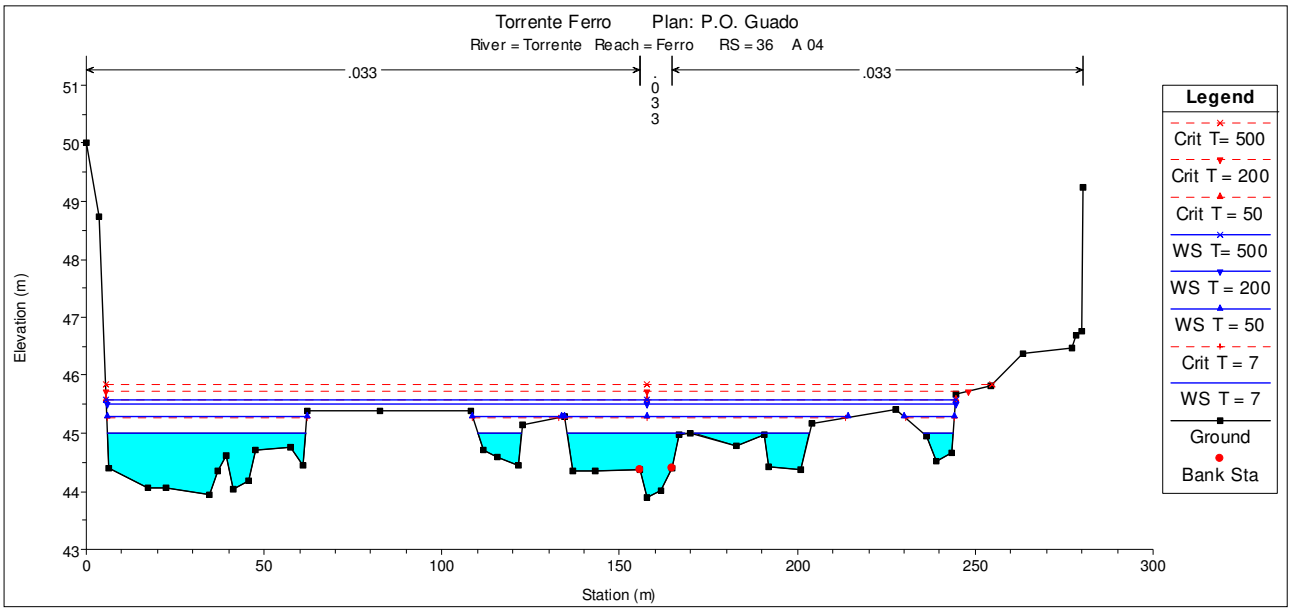
7	7	295,14	6,41	7,14	7,46	8,23	0,048719	0,73	1,05	63,8	0,58	4,63
7	50	491	6,41	7,41	7,82	8,79	0,037941	1	1,41	94,27	0,83	5,21
7	200	652,99	6,41	7,57	8,08	9,27	0,037047	1,16	1,67	113,34	0,98	5,76
7	500	762,7	6,41	7,68	8,24	9,57	0,036612	1,27	1,83	125,31	1,08	6,09
6	7	295,14	6,31	7,01	7,37	8,2	0,052235	0,7	1,06	60,94	0,58	4,84
6	50	491	6,31	7,29	7,73	8,76	0,043023	0,98	1,42	91,25	0,79	5,38
6	200	652,99	6,31	7,44	7,97	9,24	0,044037	1,13	1,66	109,81	0,9	5,95
6	500	762,7	6,31	7,54	8,12	9,54	0,044537	1,23	1,81	121,59	0,97	6,27
5	7	295,14	4,97	6	6,44	7,62	0,079215	1,03	1,47	52,37	0,54	5,64
5	50	491	4,97	6,26	6,83	8,27	0,061609	1,29	1,86	78,17	0,76	6,28
5	200	652,99	4,97	6,43	7,1	8,77	0,056442	1,46	2,13	96,48	0,91	6,77
5	500	762,7	4,97	6,54	7,27	9,07	0,053858	1,57	2,3	108,25	1	7,05
4	7	295,14	3,83	4,74	5,46	7,49	0,072722	0,91	1,63	42,04	0,66	7,49
4	50	491	3,83	5,11	5,93	8,16	0,05406	1,28	2,1	68,72	0,82	8,13
4	200	652,99	3,83	5,33	6,23	8,67	0,049352	1,5	2,4	88,64	0,93	8,67
4	500	762,7	3,83	5,46	6,37	8,97	0,047377	1,63	2,54	101,57	0,99	8,99
3	7	295,14	1,83	3,29	3,67	4,55	0,022546	1,46	1,84	63,97	0,81	5,29
3	50	491	1,83	3,59	4,19	5,39	0,025381	1,76	2,36	88,68	1,05	6,47
3	200	652,99	1,83	3,81	4,48	5,98	0,026074	1,98	2,65	107,2	1,21	7,15
3	500	762,7	1,83	3,94	4,65	6,33	0,026187	2,11	2,82	119,41	1,24	7,53
2	7	295,14	0,72	2,46	2,45	2,93	0,009307	1,74	1,73	103,03	0,89	3,85
2	50	491	0,72	2,85	2,85	3,44	0,008405	2,13	2,13	150,41	1,21	4,26
2	200	652,99	0,72	3,1	3,1	3,8	0,008124	2,38	2,38	181,46	1,46	4,55
2	500	762,7	0,72	3,16	3,25	4,04	0,009846	2,44	2,53	188,22	1,51	5,1
1	7	295,14	-0,53	0,58	0,7	1,09	0,018606	1,11	1,23	97,42	0,52	3,36
1	50	491	-0,53	0,74	0,98	1,54	0,023086	1,27	1,51	129,21	0,65	4,28
1	200	652,99	-0,53	0,87	1,14	1,88	0,02528	1,4	1,67	153,84	0,76	4,88
1	500	762,7	-0,53	0,98	1,3	2,01	0,022218	1,51	1,83	177,59	0,87	4,92

**POST OPERAM
GUADO**

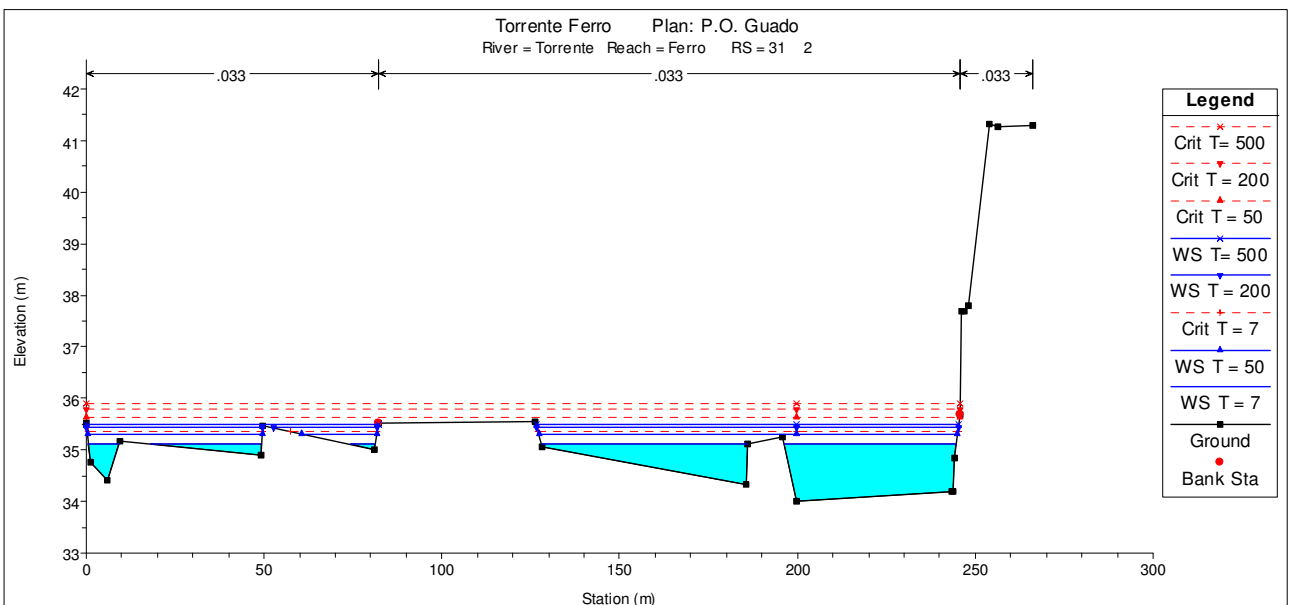
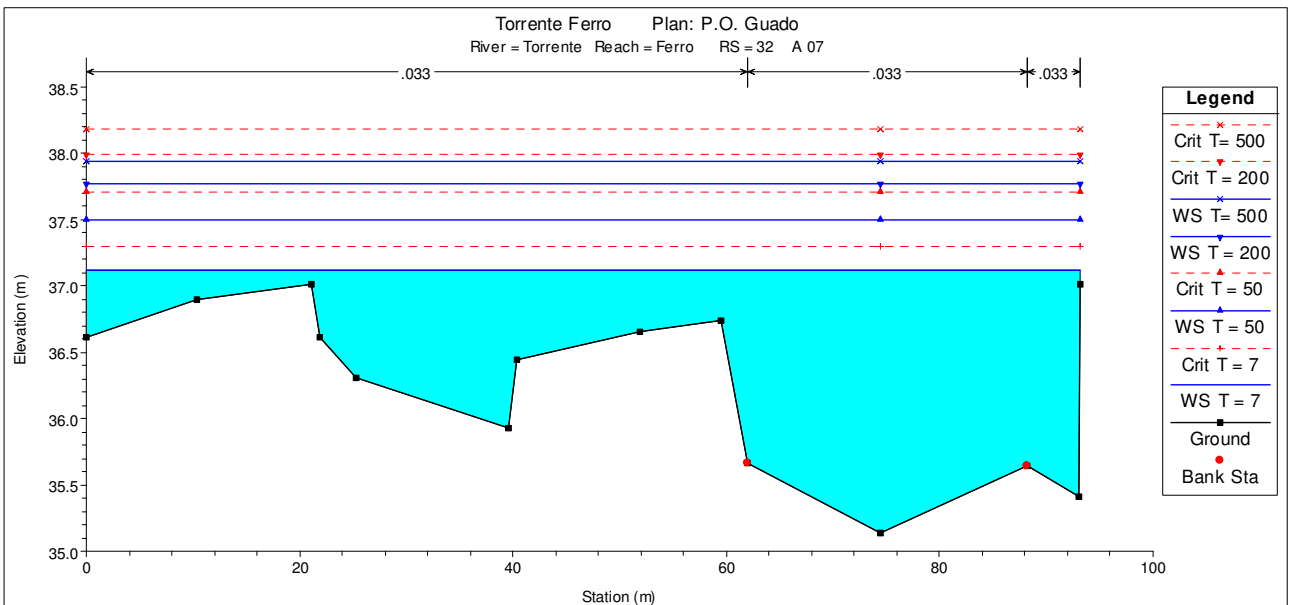
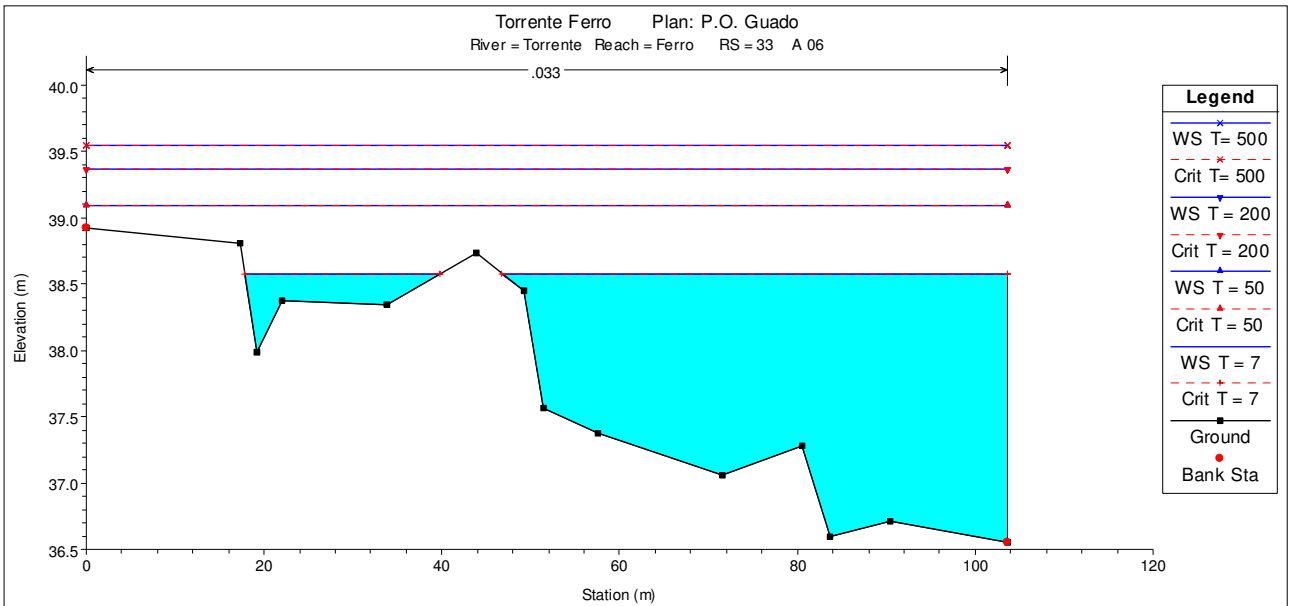
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



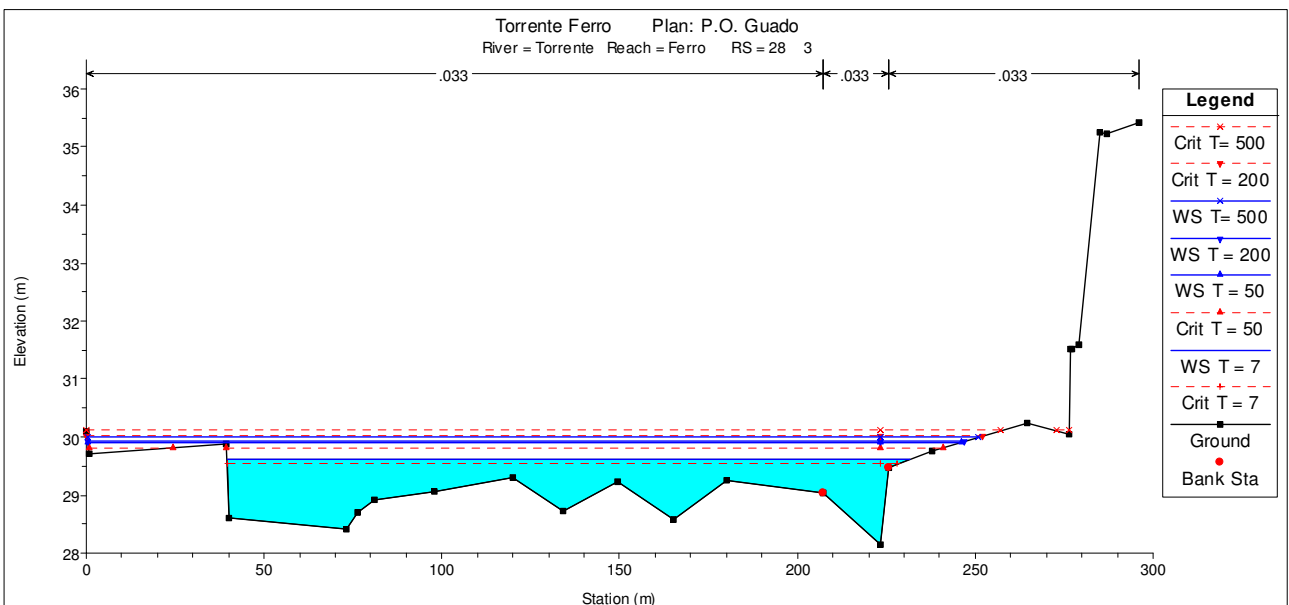
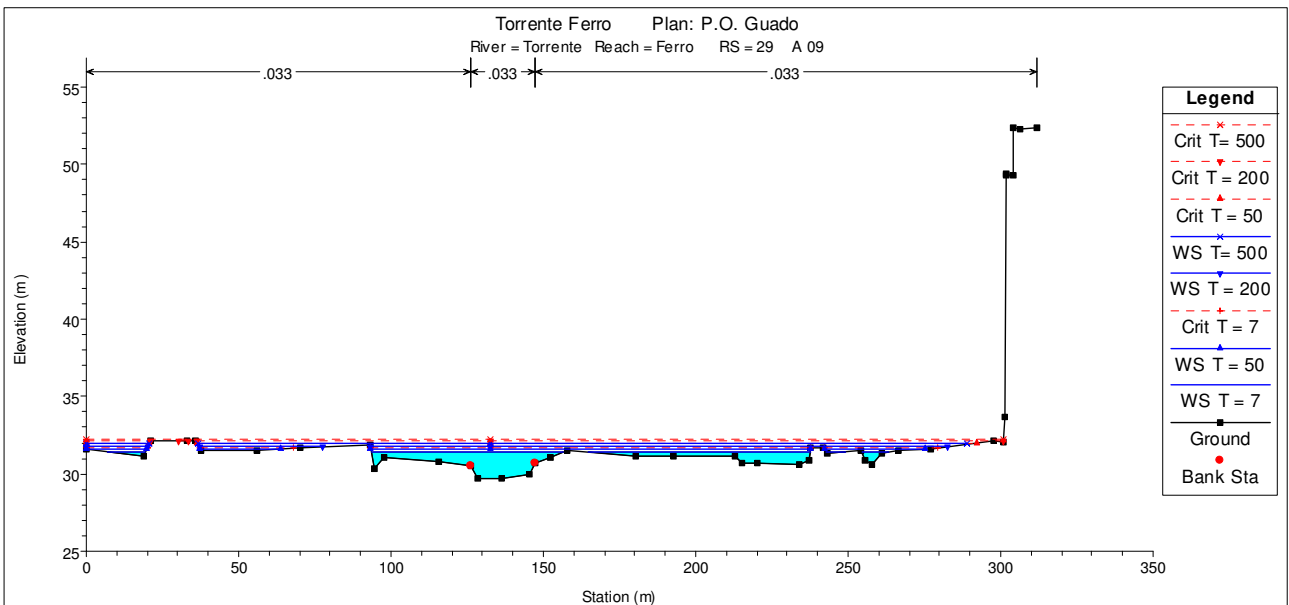
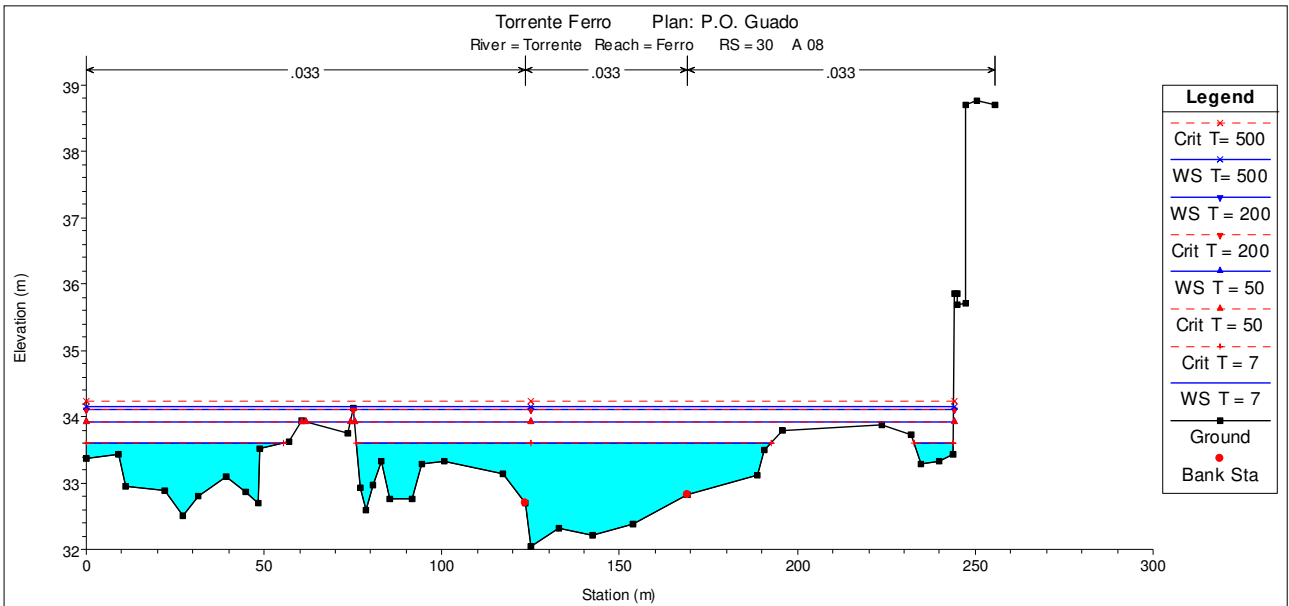
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



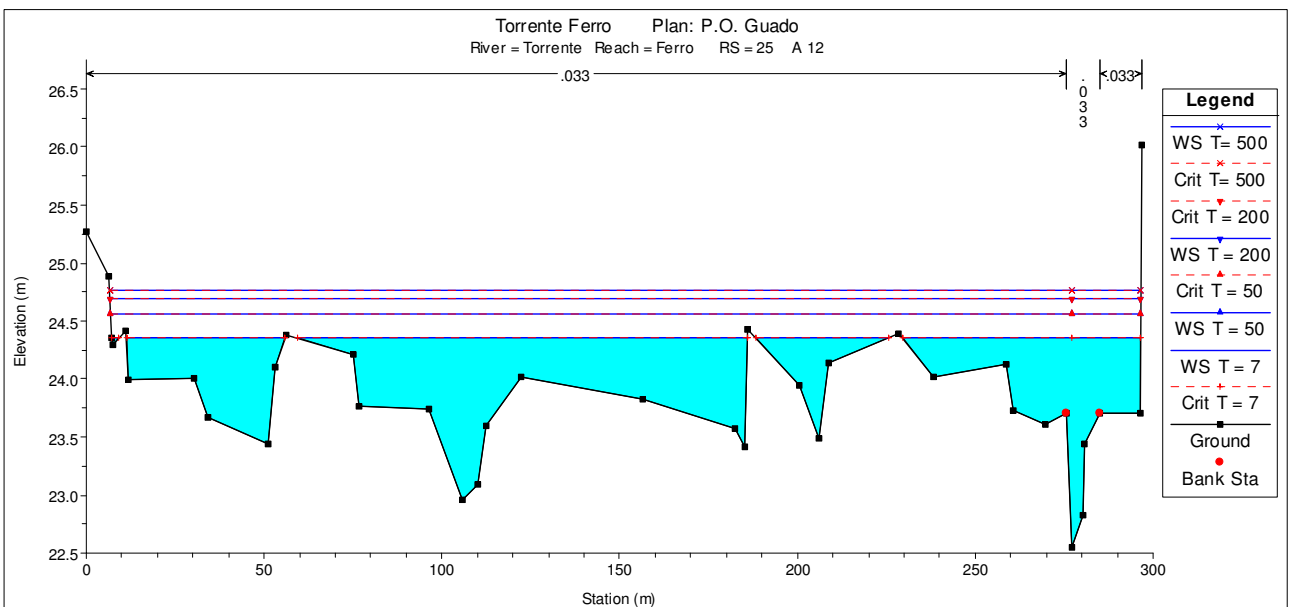
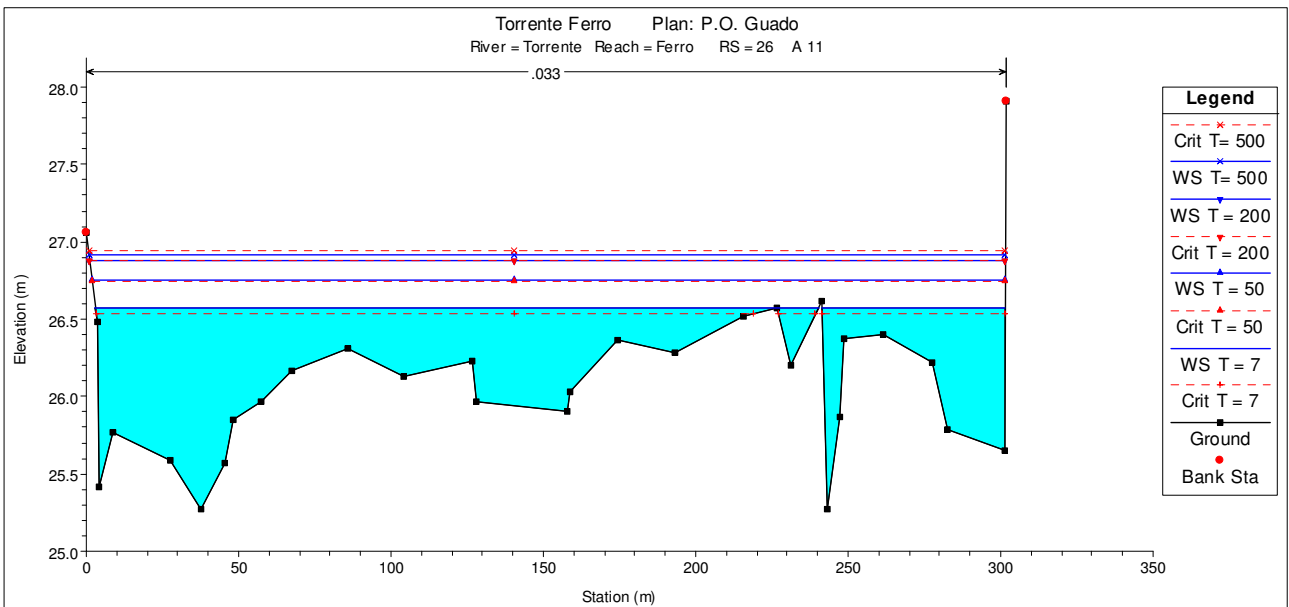
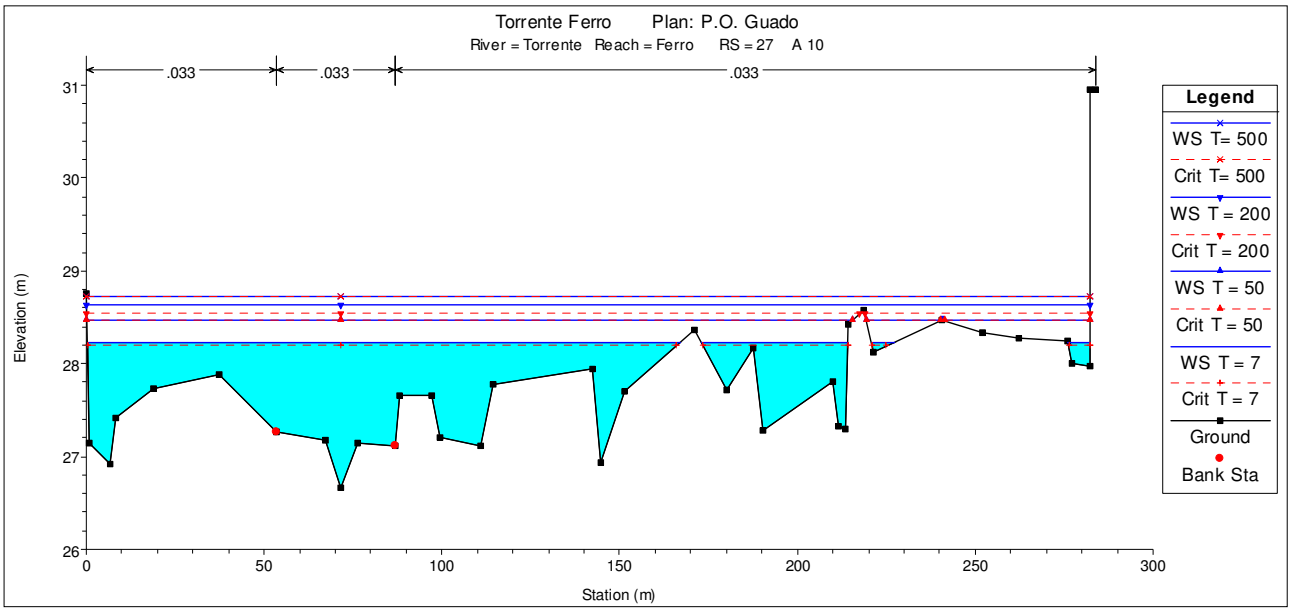
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



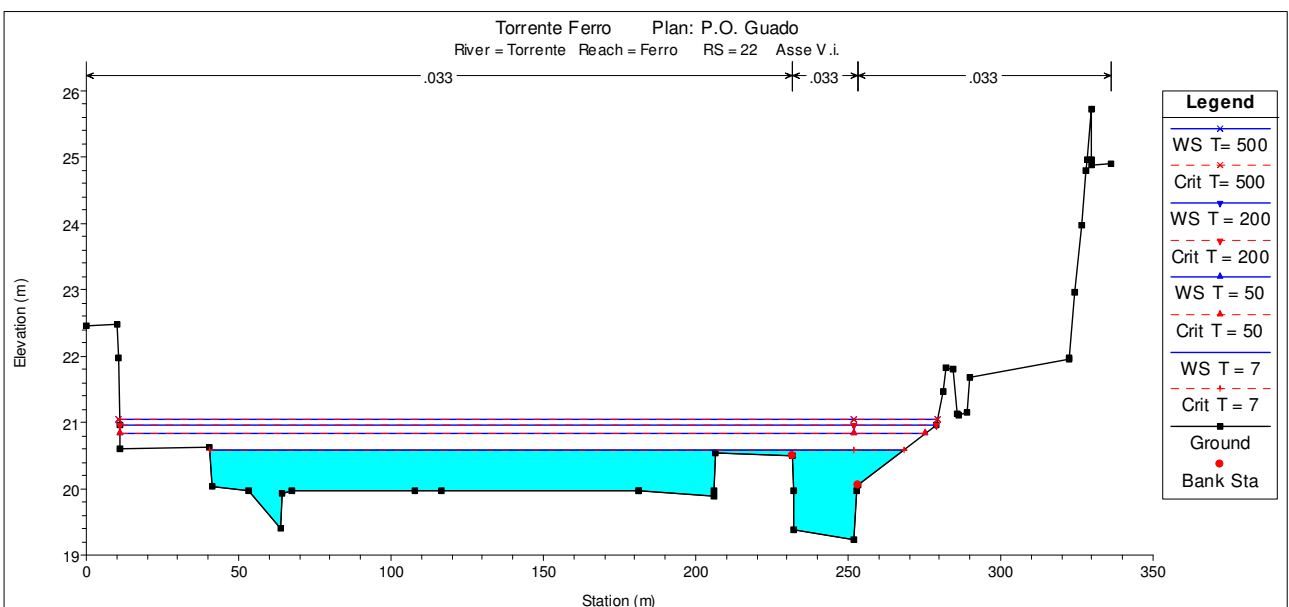
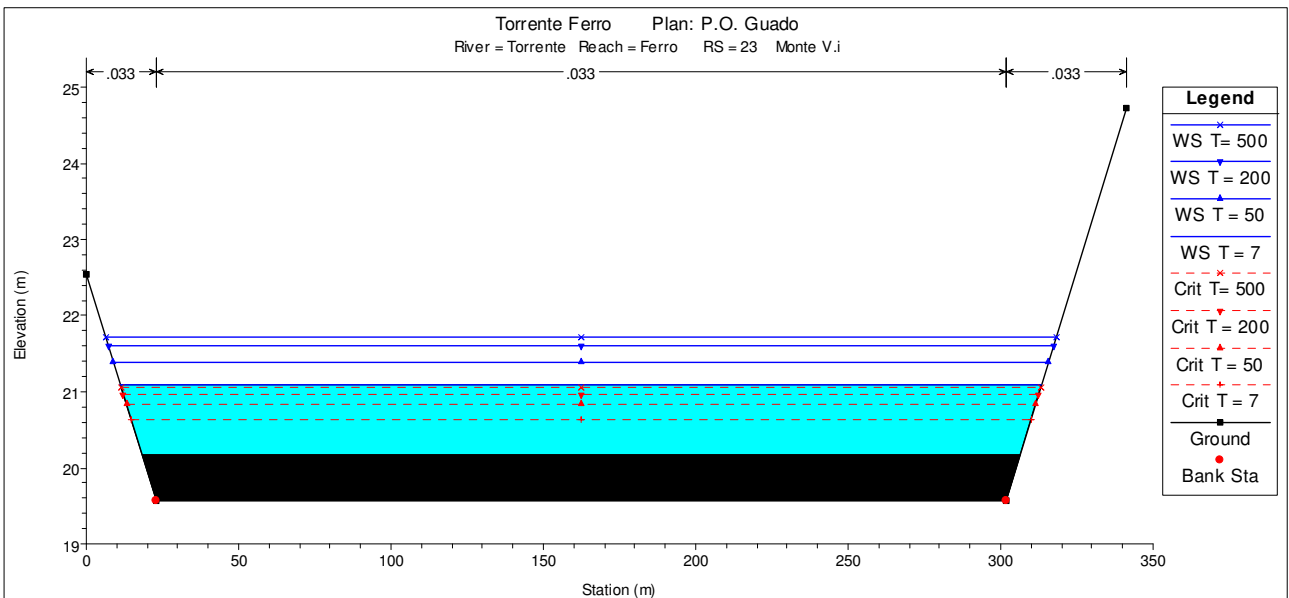
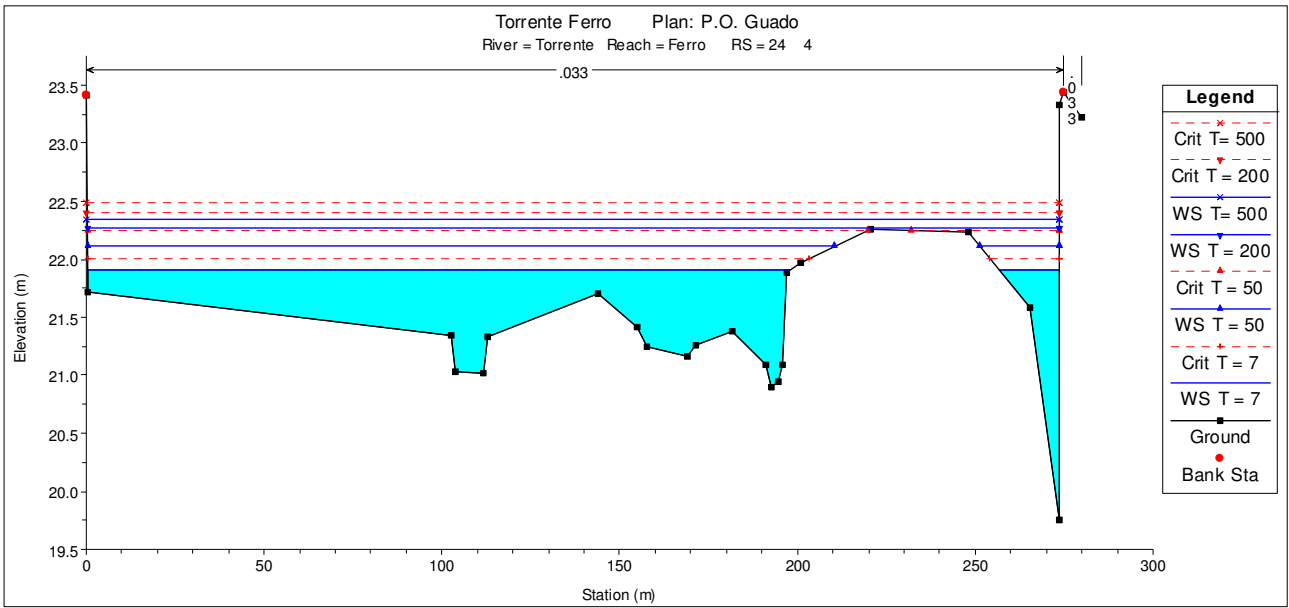
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



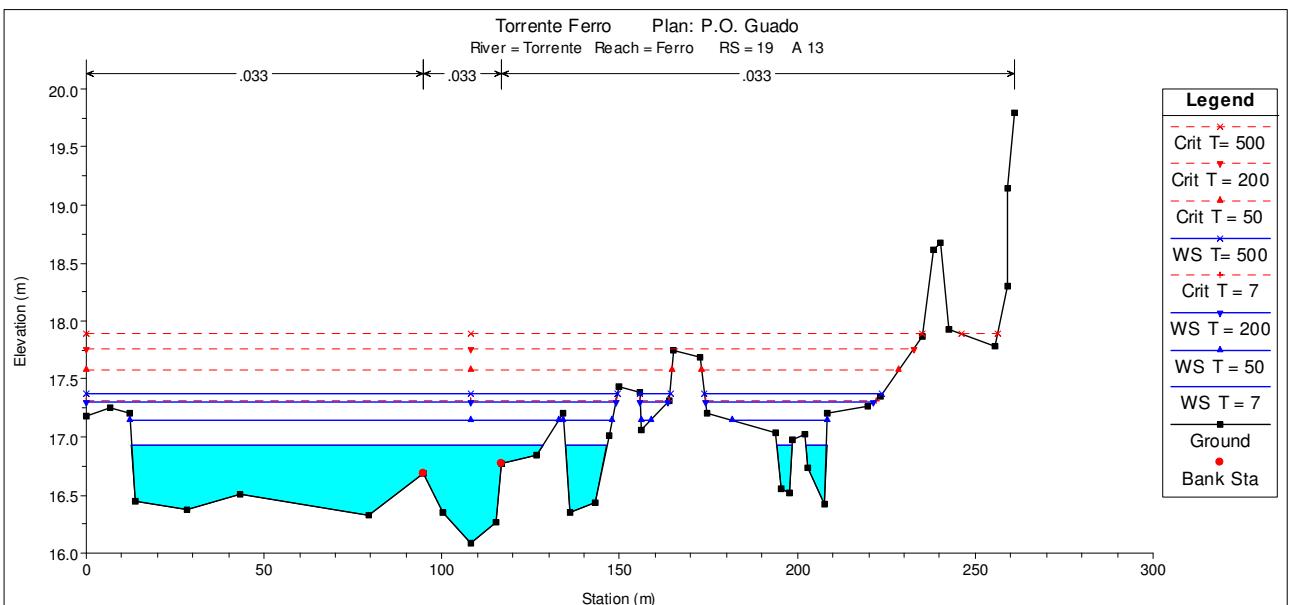
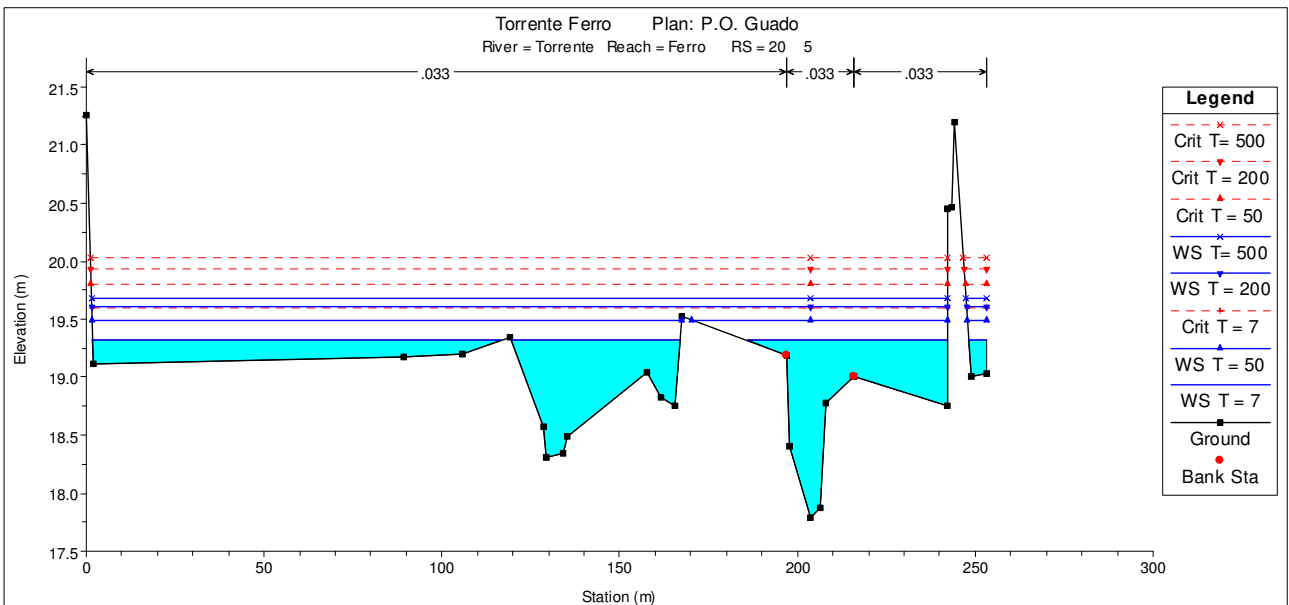
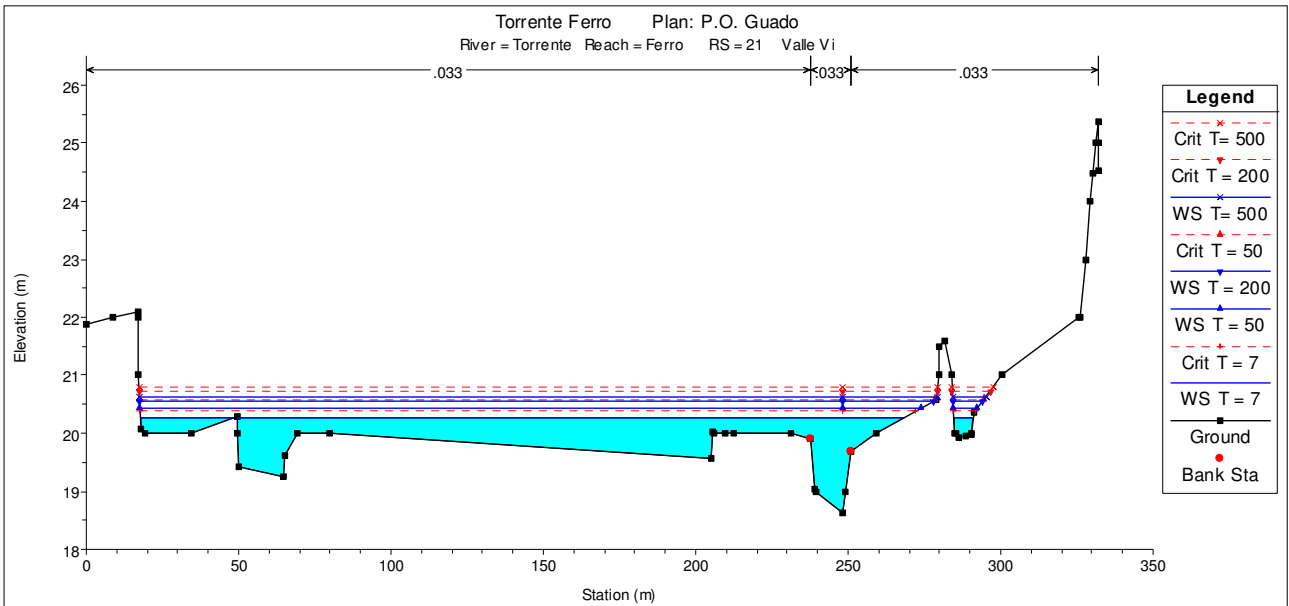
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



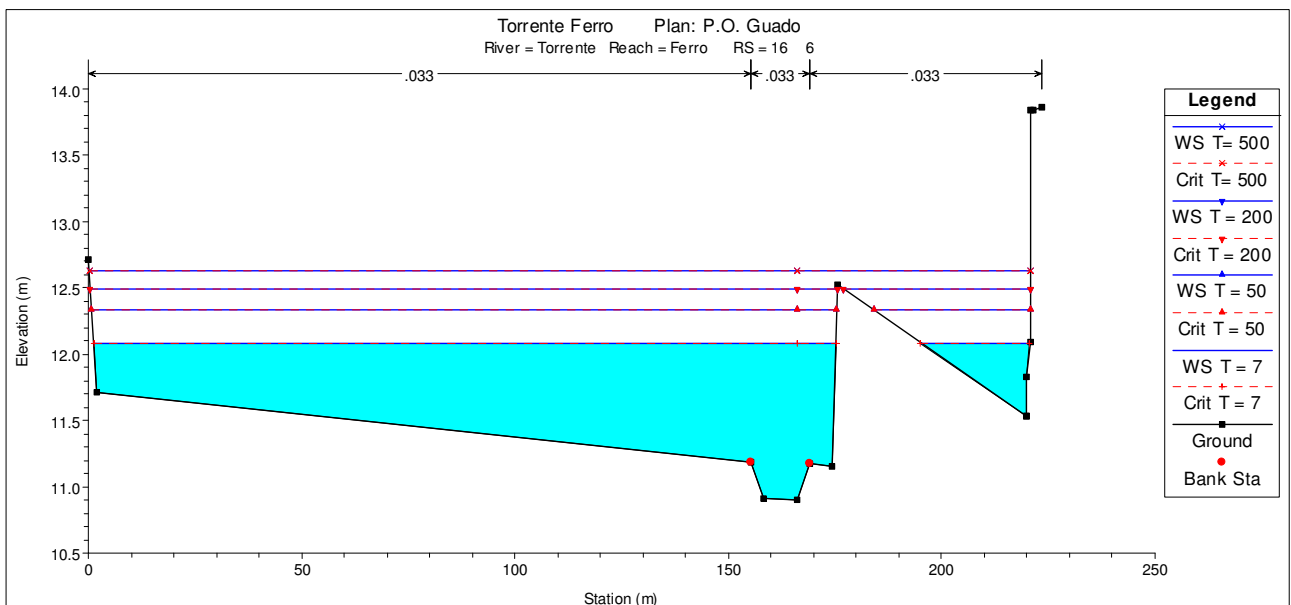
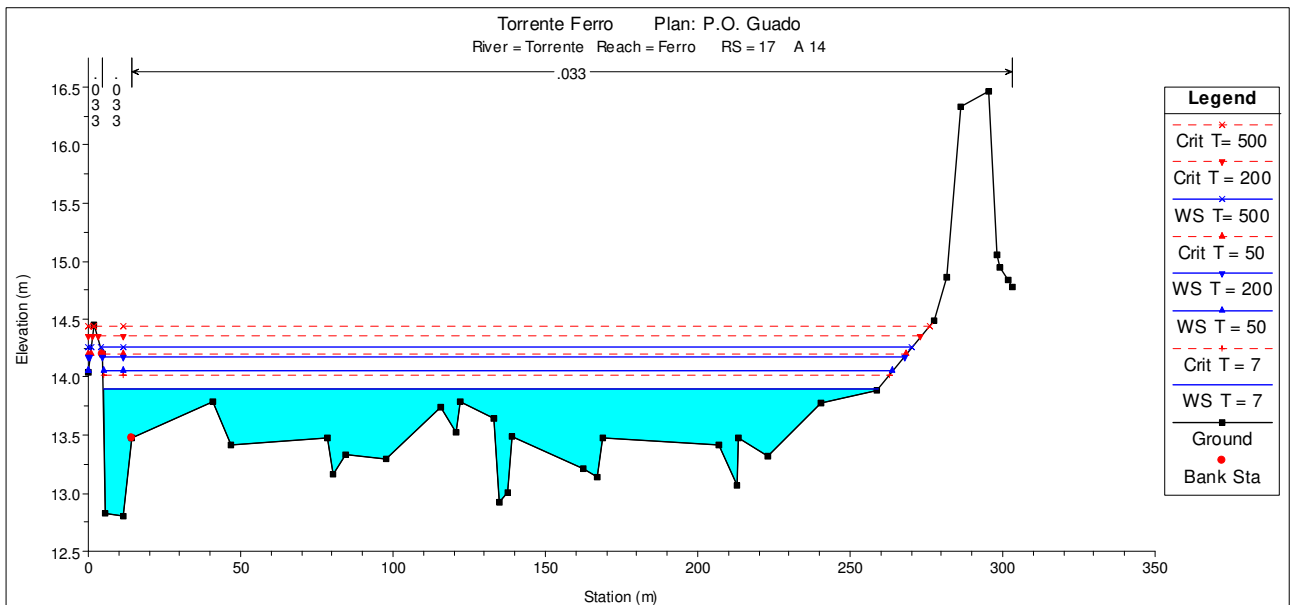
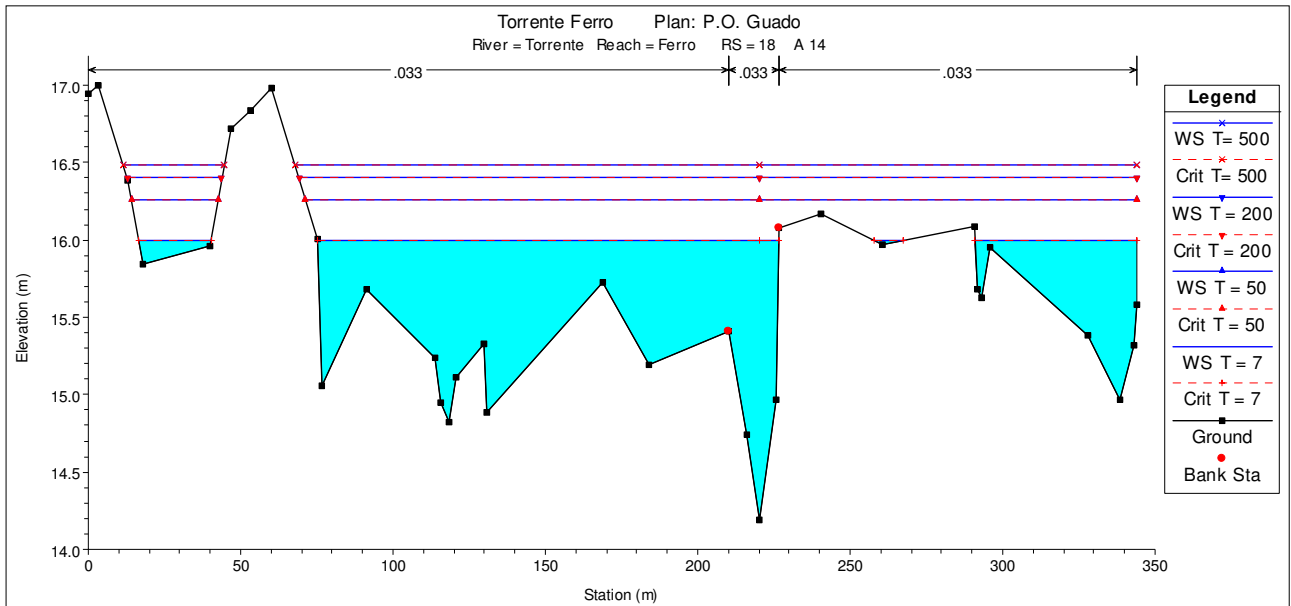
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



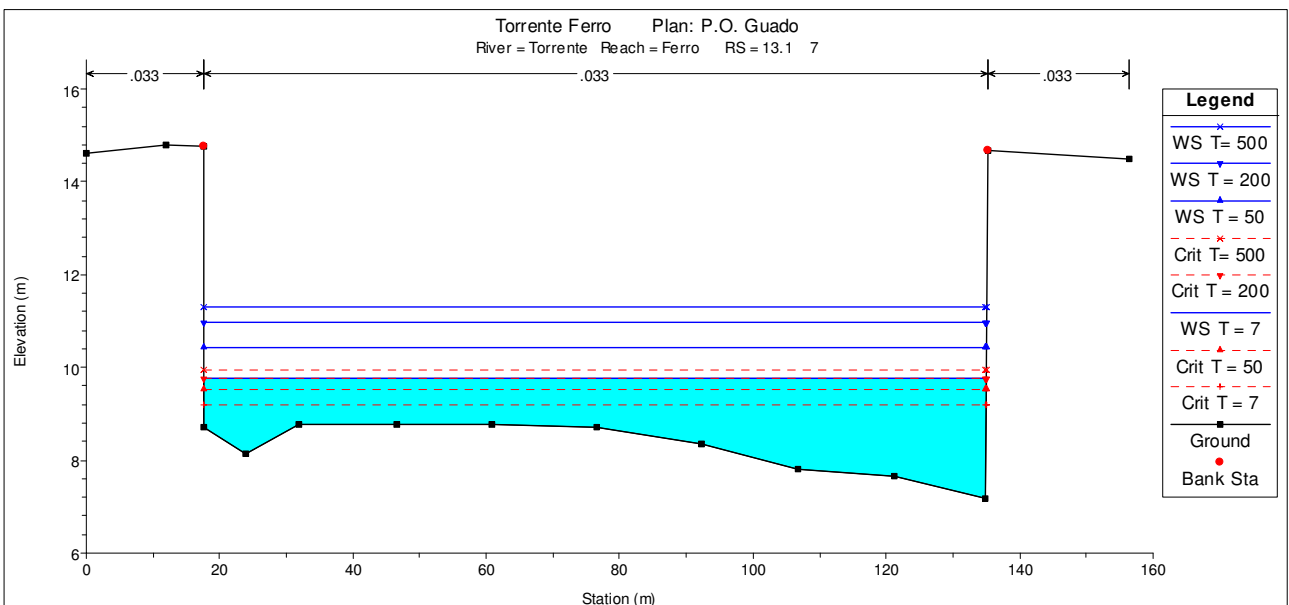
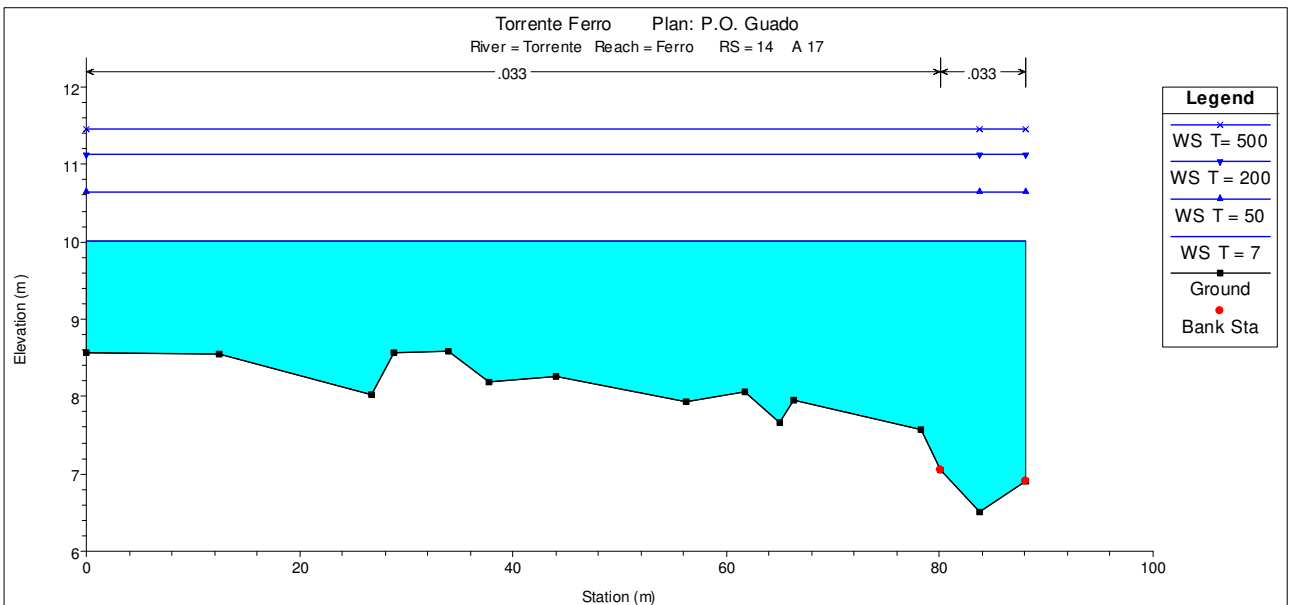
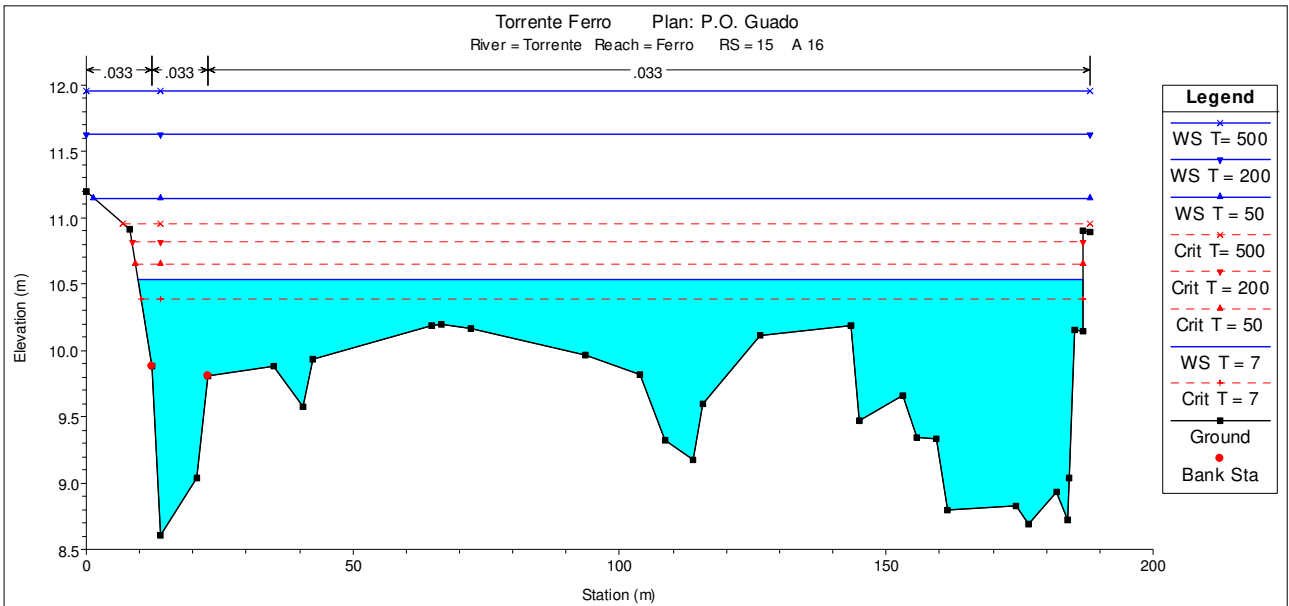
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



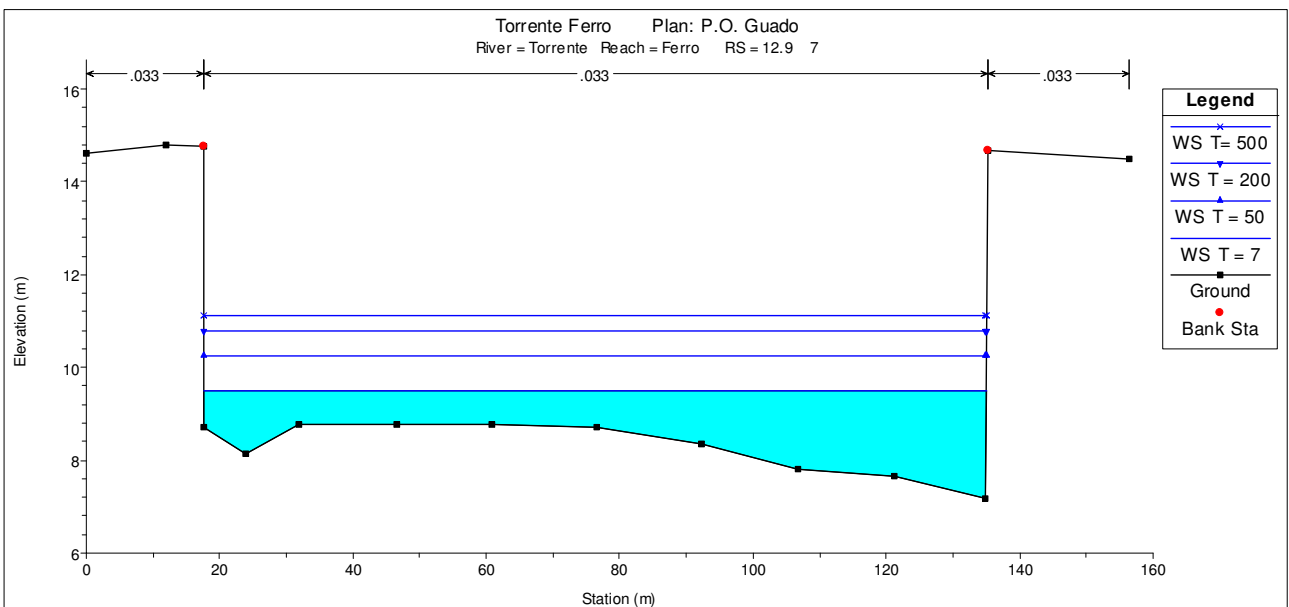
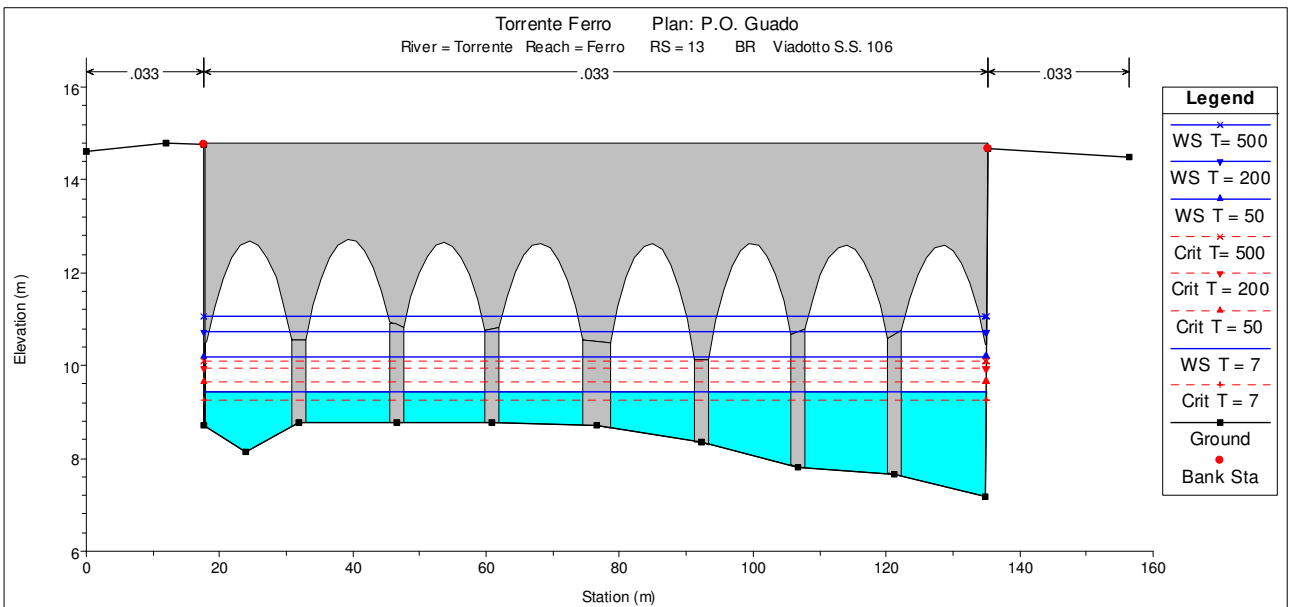
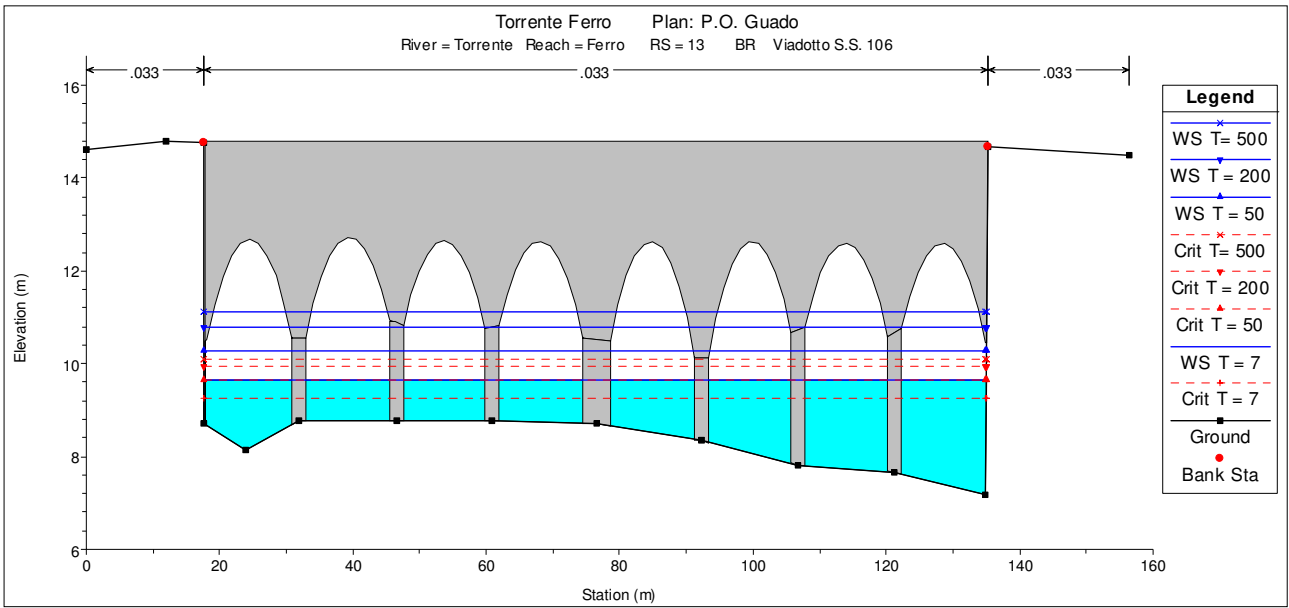
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



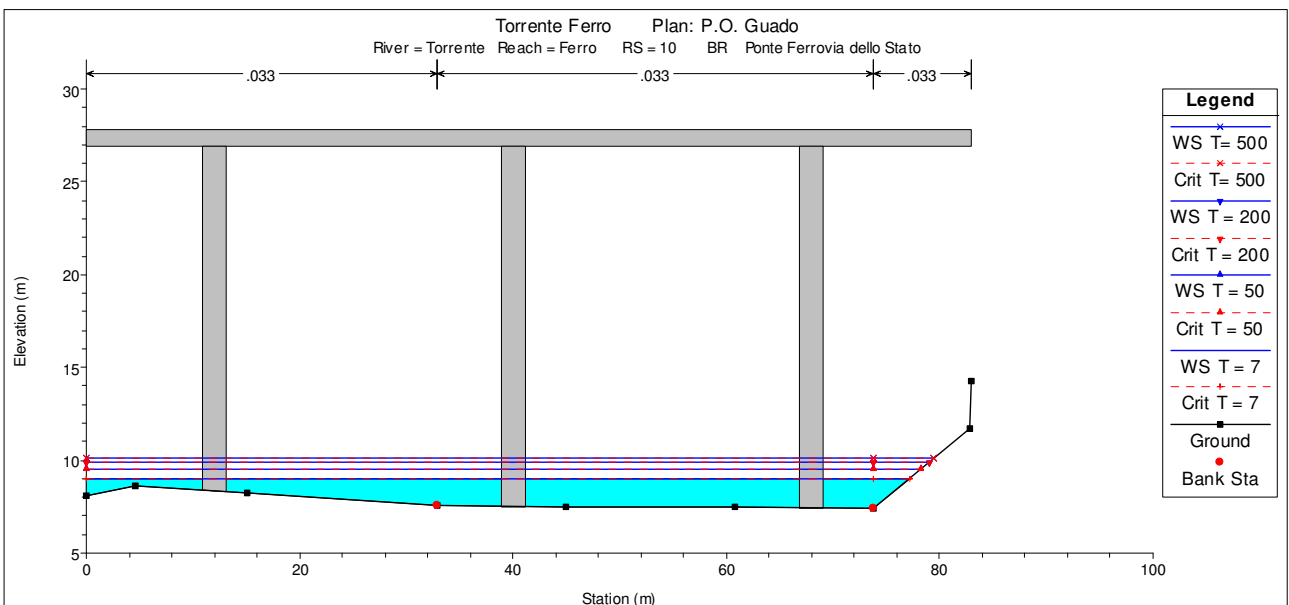
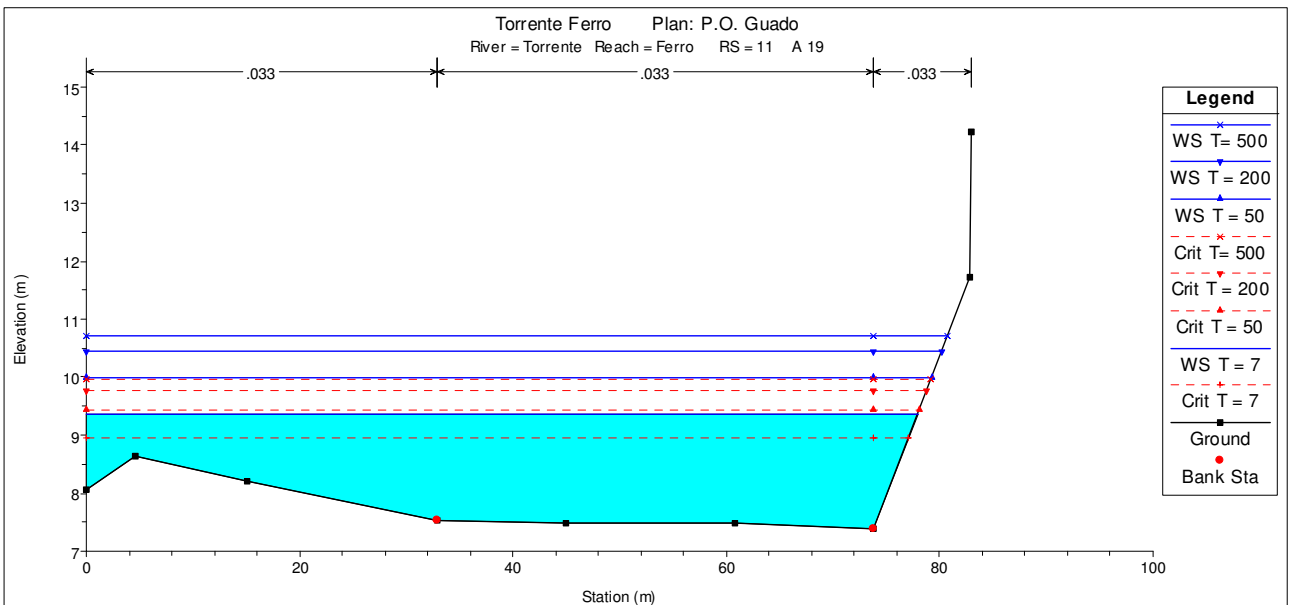
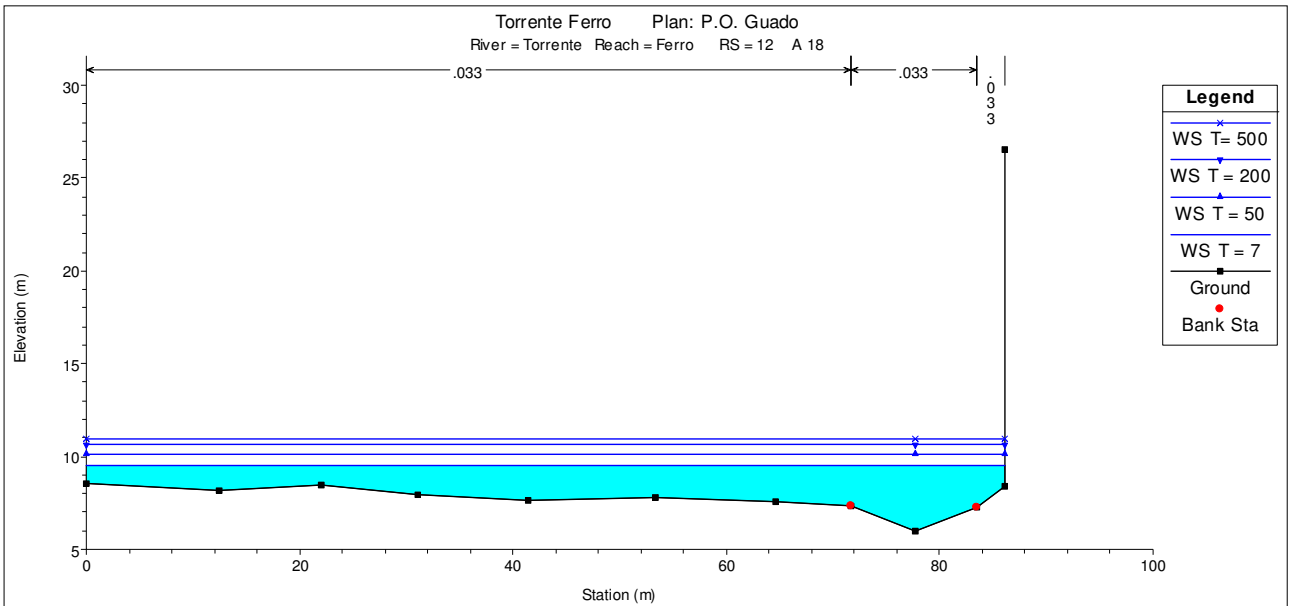
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



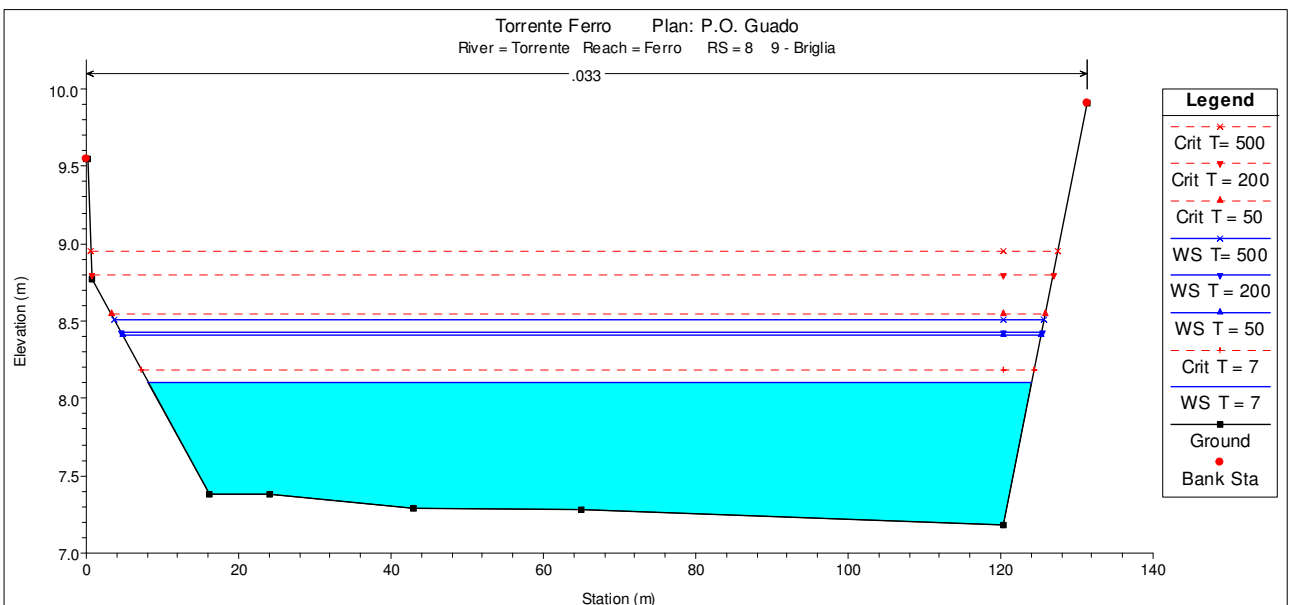
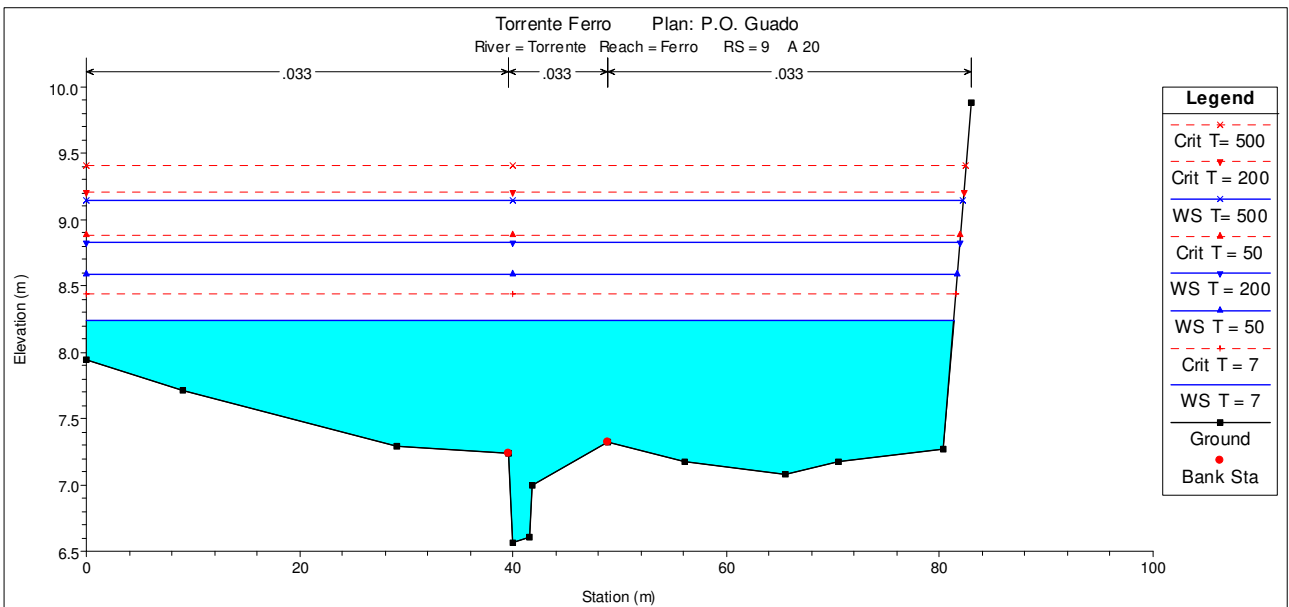
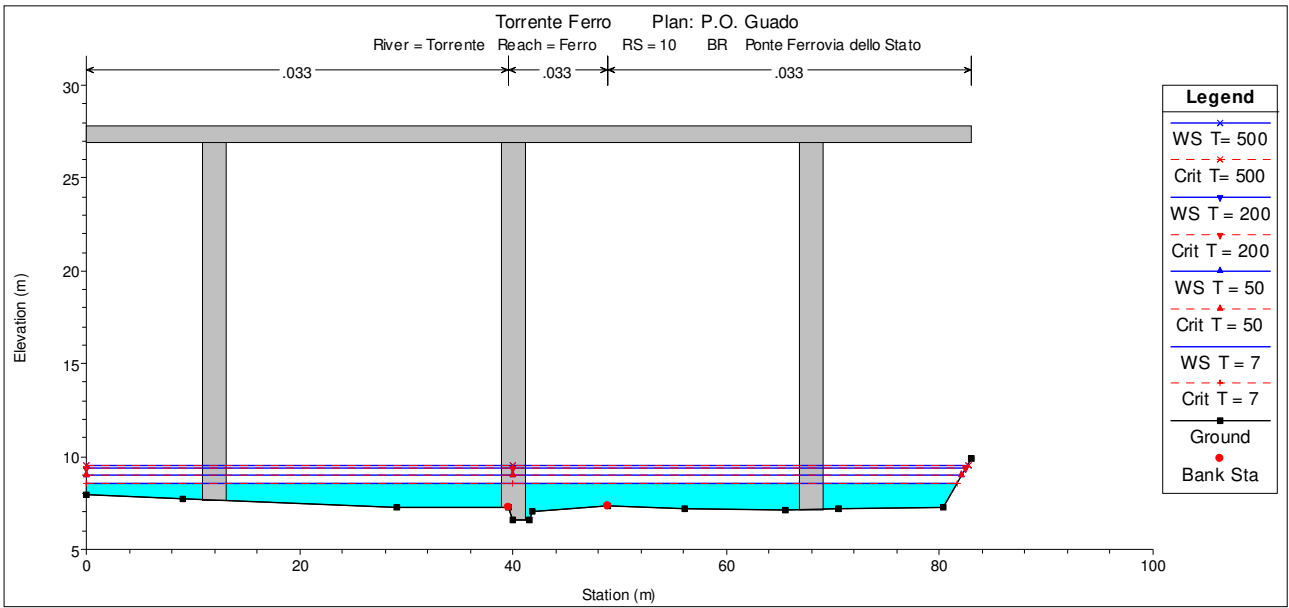
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



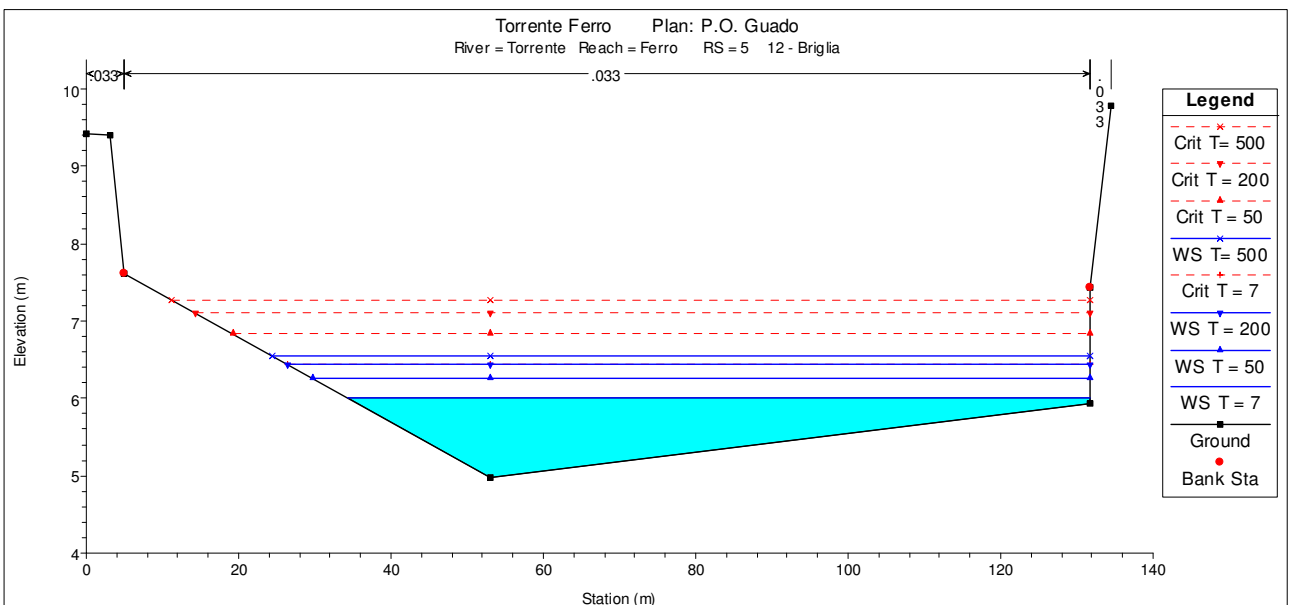
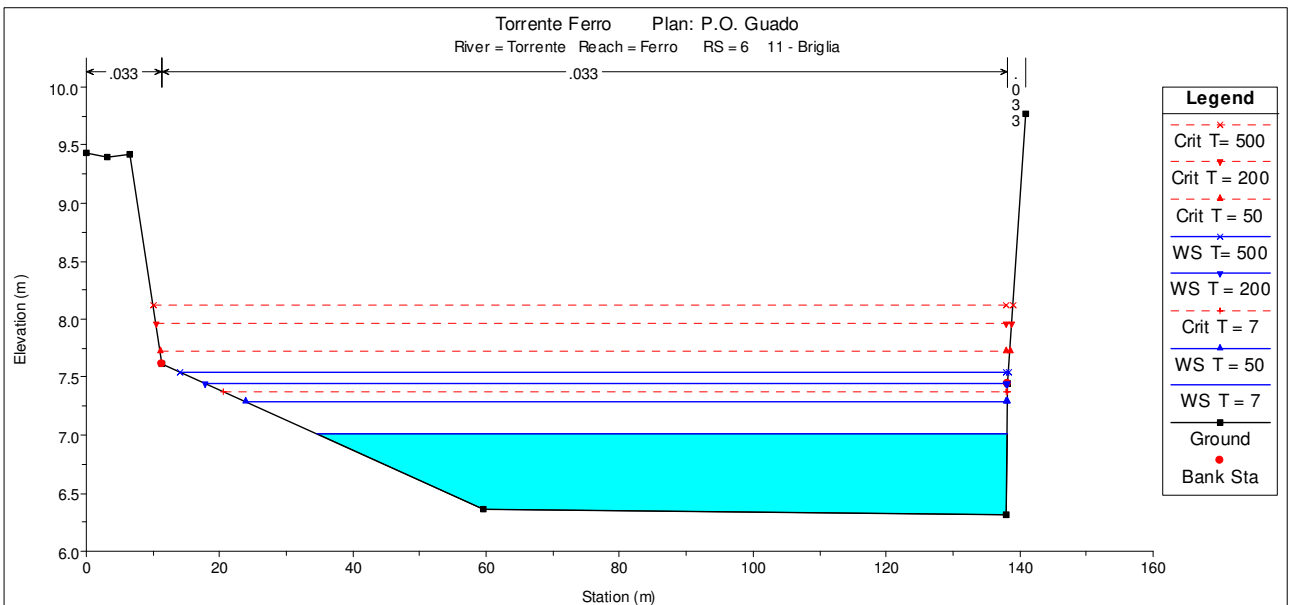
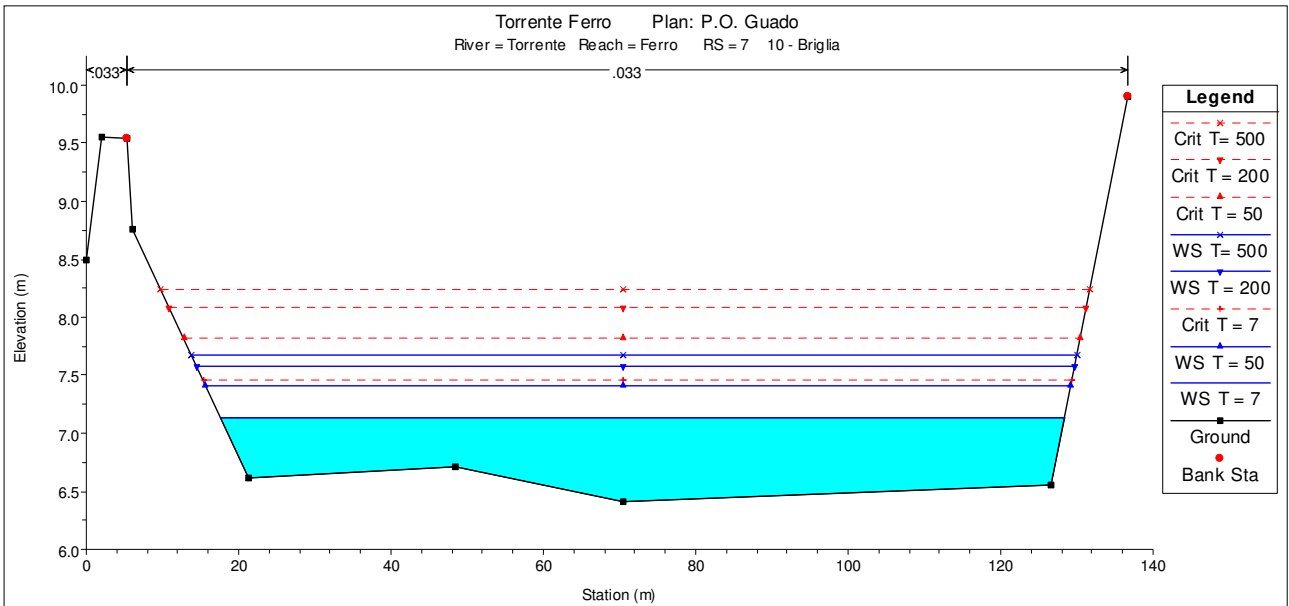
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



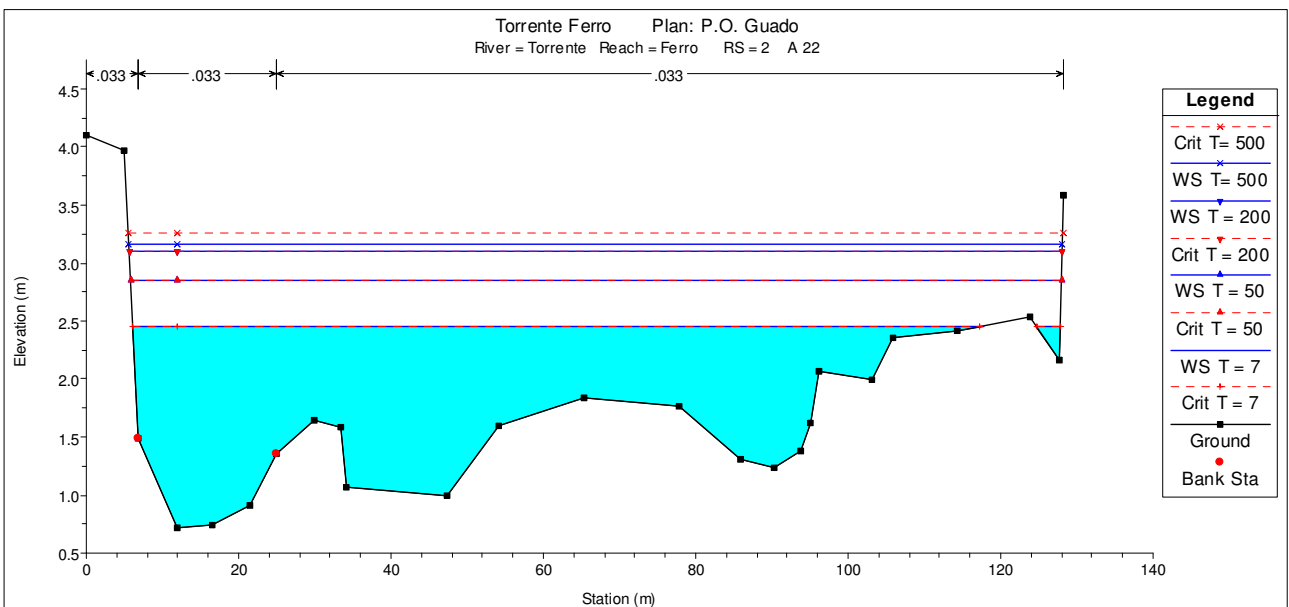
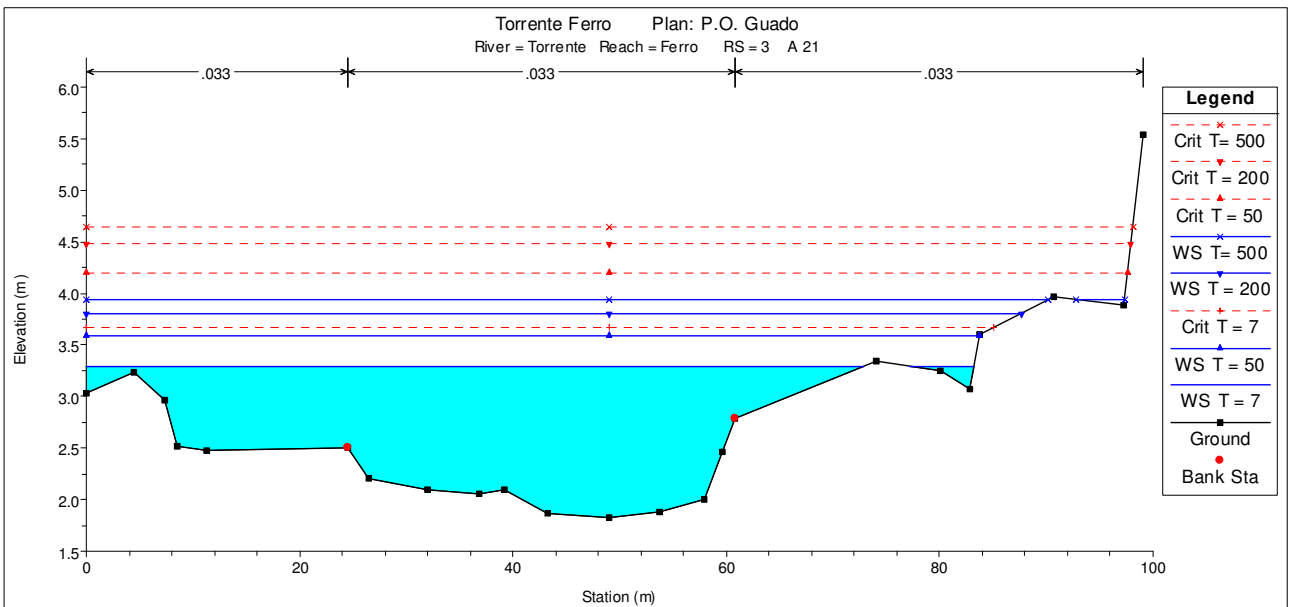
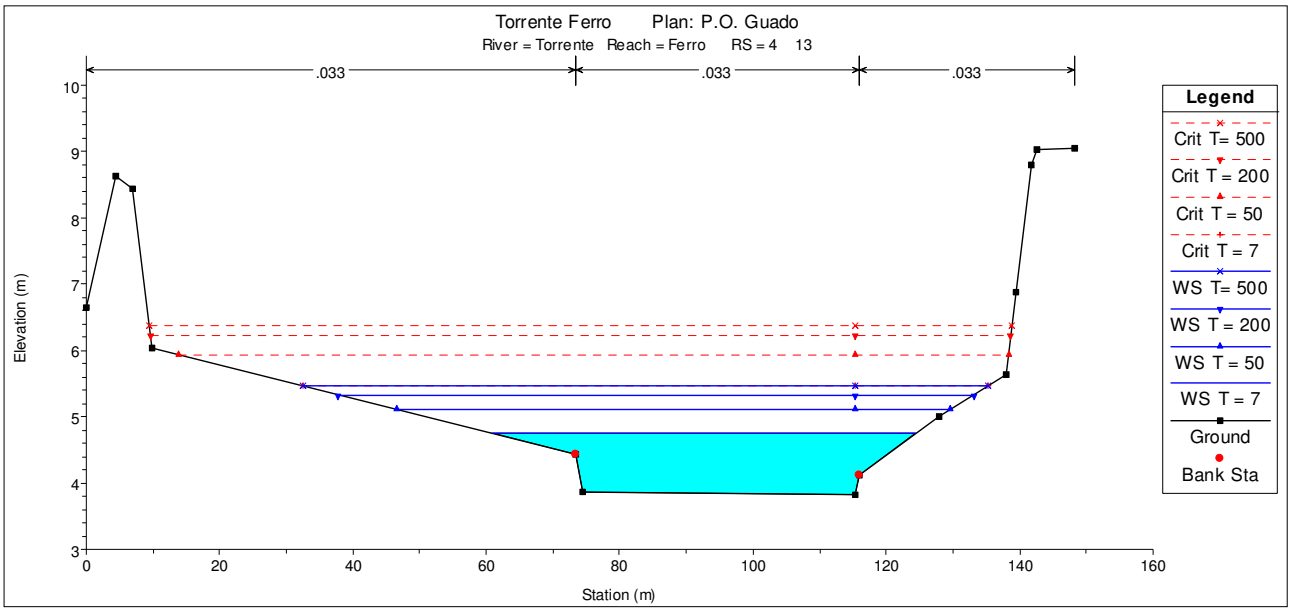
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



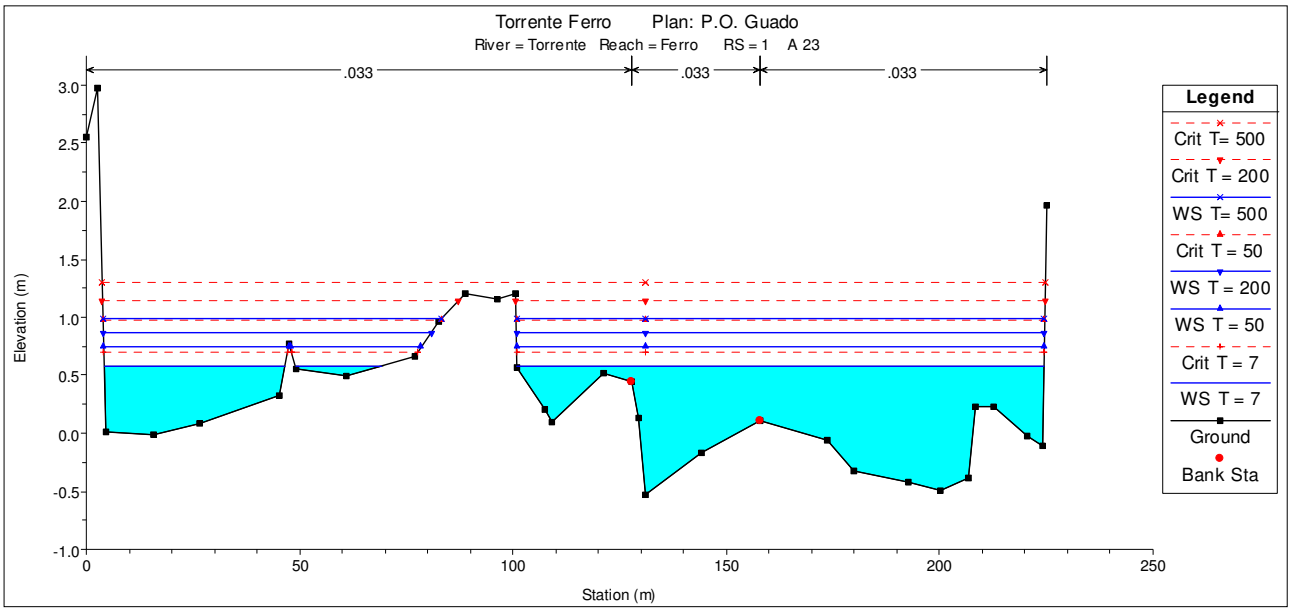
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



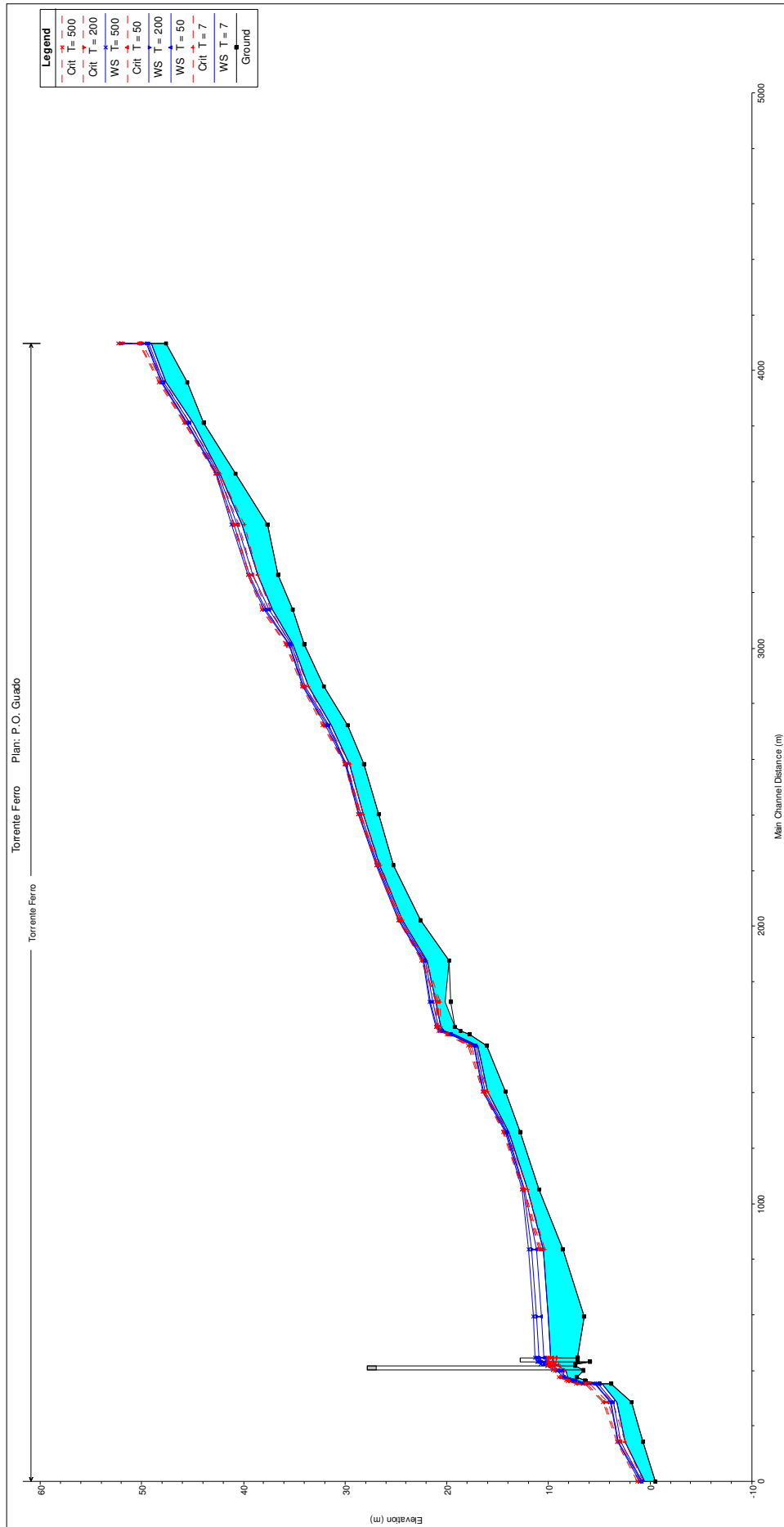
Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.



Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.

River Stations	Profile T (anni)	Q total Q (m ³ /s)	Minimum Channel Elevation Z (m)	Water Surface Elevation WS (m)	Critical Water Surface WS _{cr} (m)	Energy Grade Elevation E (m)	Energy Grade Slope J (m/m)	Max Channel Depth Y (m)	Critical Depth Y _{cr} (m)	Flow Area A (m ²)	Hydraulic Radius R _i (m)	Velocity Total V (m/s)
39	7	295,14	50,12	51,68	51,68	52,02	0,010904	1,56	1,56	118,91	0,68	3,71
39	50	491	50,12	51,94	51,94	52,41	0,010521	1,82	1,82	164,74	0,93	4,12
39	200	652,99	50,12	52,13	52,13	52,7	0,010215	2,01	2,01	198,06	1,1	4,38
39	500	762,7	50,12	52,27	52,27	52,87	0,009416	2,15	2,15	223,62	1,17	4,43
38	7	295,14	47,57	49,02	49,63	51,77	0,063176	1,45	2,06	47,46	0,49	8,5
38	50	491	47,57	49,3	49,96	52,18	0,056979	1,73	2,39	78,14	0,56	9,29
38	200	652,99	47,57	49,46	50,2	52,46	0,054956	1,89	2,63	101,52	0,66	9,78
38	500	762,7	47,57	49,55	50,27	52,62	0,053709	1,98	2,7	115,4	0,71	10,01
37	7	295,14	45,51	47,59	47,78	48,26	0,009991	2,08	2,27	112,91	0,53	4,54
37	50	491	45,51	47,82	48,01	48,54	0,010943	2,31	2,5	162,56	0,73	5,07
37	200	652,99	45,51	47,98	48,21	48,76	0,011378	2,47	2,7	198,42	0,86	5,39
37	500	762,7	45,51	48,08	48,31	48,9	0,011563	2,57	2,8	222,09	0,92	5,57
36	7	295,14	43,89	44,99	45,27	45,85	0,032732	1,1	1,38	75,6	0,53	5,16
36	50	491	43,89	45,28	45,59	46,23	0,025382	1,39	1,7	119,96	0,68	5,45
36	200	652,99	43,89	45,5	45,73	46,37	0,02606	1,61	1,84	166	0,69	6,16
36	500	762,7	43,89	45,57	45,85	46,52	0,025282	1,68	1,96	184,56	0,76	6,29
35	7	295,14	40,78	42,26	42,26	42,56	0,010402	1,57	1,48	126,4	0,63	2,98
35	50	491	40,78	42,45	42,49	42,93	0,012467	1,76	1,71	163,72	0,81	3,67
35	200	652,99	40,78	42,62	42,67	43,19	0,011799	1,93	1,89	198,32	0,98	3,93
35	500	762,7	40,78	42,71	42,77	43,36	0,01192	2,02	1,99	217,38	1,07	4,14
34	7	295,14	37,67	40,12	39,85	40,53	0,005601	2,45	2,18	109,39	1,17	3,62
34	50	491	37,67	40,64	40,42	41,14	0,00583	2,97	2,75	171,3	1,12	4,29
34	200	652,99	37,67	40,96	40,88	41,49	0,005537	3,29	3,21	219,43	1,41	4,52
34	500	762,7	37,67	41,15	41,01	41,7	0,005243	3,48	3,34	248,35	1,56	4,58
33	7	295,14	36,55	38,58	38,58	39,15	0,010825	2,03	2,03	88,51	1,09	3,33
33	50	491	36,55	39,1	39,1	39,75	0,010158	2,55	2,55	136,53	1,28	3,6
33	200	652,99	36,55	39,37	39,37	40,17	0,00963	2,82	2,82	164,96	1,54	3,96
33	500	762,7	36,55	39,54	39,54	40,43	0,009314	2,99	2,99	183,13	1,7	4,16
32	7	295,14	35,14	37,12	37,3	37,86	0,009807	1,98	2,16	88,68	0,93	4,32
32	50	491	35,14	37,5	37,71	38,46	0,010369	2,36	2,57	123,93	1,28	5,07
32	200	652,99	35,14	37,77	38	38,9	0,010501	2,63	2,86	148,92	1,53	5,52
32	500	762,7	35,14	37,94	38,18	39,18	0,010531	2,8	3,04	164,5	1,69	5,79
31	7	295,14	33,99	35,11	35,36	35,87	0,029325	1,12	1,37	78,36	0,51	3,94
31	50	491	33,99	35,32	35,64	36,34	0,031942	1,33	1,65	114,97	0,61	4,65

Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.

31	200	652,99	33,99	35,43	35,79	36,7	0,034026	1,44	1,8	137,07	0,69	5,23
31	500	762,7	33,99	35,5	35,9	36,94	0,035386	1,51	1,91	151,26	0,74	5,59
30	7	295,14	32,05	33,6	33,6	33,94	0,0077	1,55	1,55	127,85	0,69	3,04
30	50	491	32,05	33,92	33,92	34,33	0,007179	1,87	1,87	193,52	0,79	3,43
30	200	652,99	32,05	34,11	34,11	34,57	0,007096	2,06	2,06	239,83	0,97	3,68
30	500	762,7	32,05	34,15	34,23	34,73	0,008856	2,1	2,18	247,3	1	4,16
29	7	295,14	29,73	31,4	31,69	32,32	0,017411	1,67	1,96	87,47	0,53	5,26
29	50	491	29,73	31,62	31,99	32,7	0,019393	1,89	2,26	131,08	0,58	6,08
29	200	652,99	29,73	31,77	32,11	32,93	0,020059	2,04	2,38	165,79	0,66	6,52
29	500	762,7	29,73	31,91	32,26	32,97	0,017659	2,18	2,53	204,99	0,74	6,43
28	7	295,14	28,14	29,62	29,53	29,86	0,007812	1,48	1,39	135,96	0,7	2,64
28	50	491	28,14	29,91	29,81	30,24	0,008105	1,77	1,67	199,33	0,81	3,2
28	200	652,99	28,14	29,93	30,02	30,48	0,013461	1,79	1,88	203,38	0,82	4,15
28	500	762,7	28,14	29,99	30,11	30,64	0,014352	1,85	1,97	220,11	0,87	4,43
27	7	295,14	26,67	28,23	28,19	28,49	0,007534	1,56	1,52	141,38	0,63	2,84
27	50	491	26,67	28,47	28,46	28,81	0,007898	1,8	1,79	201,26	0,72	3,3
27	200	652,99	26,67	28,64	28,54	29,04	0,008165	1,97	1,87	248,88	0,87	3,63
27	500	762,7	26,67	28,73	28,73	29,17	0,008109	2,06	2,06	275,24	0,96	3,76
26	7	295,14	25,27	26,58	26,53	26,78	0,011325	1,31	1,26	147,08	0,49	2,01
26	50	491	25,27	26,75	26,74	27,06	0,011432	1,48	1,47	199,68	0,66	2,46
26	200	652,99	25,27	26,88	26,88	27,26	0,011527	1,6	1,6	236,62	0,78	2,76
26	500	762,7	25,27	26,92	26,94	27,39	0,013138	1,65	1,67	249,84	0,82	3,05
25	7	295,14	22,55	24,35	24,35	24,6	0,010783	1,8	1,8	140,35	0,5	3,32
25	50	491	22,55	24,56	24,56	24,89	0,010674	2,01	2,01	199,35	0,68	3,68
25	200	652,99	22,55	24,69	24,69	25,09	0,010647	2,14	2,14	237,53	0,81	3,91
25	500	762,7	22,55	24,77	24,77	25,22	0,010646	2,22	2,22	261,12	0,89	4,05
24	7	295,14	19,75	21,91	22	22,32	0,023443	2,16	2,25	104,03	0,48	2,84
24	50	491	19,75	22,11	22,25	22,67	0,022052	2,36	2,5	148,56	0,63	3,31
24	200	652,99	19,75	22,27	22,4	22,88	0,021808	2,52	2,65	188,58	0,68	3,46
24	500	762,7	19,75	22,34	22,49	23,03	0,021462	2,59	2,74	208,04	0,75	3,67
23	7	295,14	19,57	20,96	20,05	20,98	0,000391	1,39	0,48	401,56	1,34	0,75
23	50	491	19,57	21,28	20,24	21,33	0,000532	1,71	0,67	499,55	1,64	1
23	200	652,99	19,57	21,5	20,39	21,57	0,000623	1,93	0,82	567,34	1,84	1,17
23	500	762,7	19,57	21,64	20,47	21,72	0,000675	2,07	0,9	609,27	1,96	1,28
22	7	295,14	19,23	20,59	20,59	20,86	0,008497	1,36	1,36	139,02	0,61	3,15
22	50	491	19,23	20,83	20,83	21,18	0,008612	1,6	1,6	201,15	0,76	3,56

Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
Committente: SIRJO S.C.p.A.

22	200	652,99	19,23	20,97	20,97	21,39	0,009006	1,74	1,74	237,97	0,88	3,86
22	500	762,7	19,23	21,05	21,05	21,53	0,009116	1,82	1,82	261,4	0,96	4,02
21	7	295,14	18,63	20,27	20,38	20,69	0,015043	1,64	1,75	119,51	0,46	4,34
21	50	491	18,63	20,43	20,58	21	0,017036	1,8	1,95	162,82	0,61	5
21	200	652,99	18,63	20,56	20,73	21,22	0,017103	1,93	2,1	195,81	0,72	5,29
21	500	762,7	18,63	20,64	20,81	21,35	0,017003	2,01	2,18	216,77	0,79	5,44
20	7	295,14	17,79	19,31	19,6	20,31	0,048602	1,52	1,81	73,6	0,33	5,91
20	50	491	17,79	19,49	19,8	20,6	0,045393	1,7	2,01	115,56	0,47	6,48
20	200	652,99	17,79	19,61	19,94	20,82	0,042757	1,82	2,15	143,87	0,58	6,74
20	500	762,7	17,79	19,68	20,03	20,96	0,040989	1,89	2,24	160,84	0,64	6,86
19	7	295,14	16,09	16,93	17,32	18,07	0,059595	0,84	1,23	63,83	0,46	5,43
19	50	491	16,09	17,15	17,58	18,59	0,050196	1,06	1,49	95,71	0,58	6,06
19	200	652,99	16,09	17,3	17,76	18,88	0,049315	1,21	1,67	123,55	0,6	6,7
19	500	762,7	16,09	17,37	17,89	19,08	0,04819	1,28	1,8	138,55	0,66	6,94
18	7	295,14	14,19	16	16	16,26	0,008308	1,81	1,81	137,78	0,57	3,1
18	50	491	14,19	16,26	16,26	16,58	0,007961	2,07	2,07	210,24	0,69	3,43
18	200	652,99	14,19	16,4	16,4	16,78	0,008134	2,21	2,21	253,65	0,82	3,69
18	500	762,7	14,19	16,49	16,49	16,9	0,00828	2,3	2,3	279,91	0,9	3,85
17	7	295,14	12,8	13,9	14,02	14,31	0,023627	1,1	1,22	109,1	0,43	4,3
17	50	491	12,8	14,05	14,2	14,64	0,024939	1,25	1,4	147,74	0,57	4,82
17	200	652,99	12,8	14,18	14,35	14,86	0,023079	1,38	1,55	181,08	0,68	4,94
17	500	762,7	12,8	14,26	14,44	15	0,021935	1,46	1,64	202,87	0,75	5,02
16	7	295,14	10,9	12,08	12,08	12,39	0,010422	1,18	1,18	124,71	0,62	3,33
16	50	491	10,9	12,33	12,33	12,75	0,010056	1,43	1,43	175,59	0,83	3,74
16	200	652,99	10,9	12,49	12,49	13,01	0,010374	1,59	1,59	209,37	0,95	4,08
16	500	762,7	10,9	12,63	12,63	13,17	0,00917	1,73	1,73	241,29	1,09	4,08
15	7	295,14	8,61	10,54	10,39	10,75	0,005258	1,93	1,78	148,81	0,83	2,81
15	50	491	8,61	11,15	10,65	11,34	0,002442	2,54	2,04	259,2	1,37	2,39
15	200	652,99	8,61	11,64	10,82	11,82	0,001633	3,03	2,21	350,59	1,83	2,24
15	500	762,7	8,61	11,96	10,96	12,14	0,001328	3,35	2,35	411	2,13	2,18
14	7	295,14	6,5	10,02		10,17	0,001342	3,52		174,12	1,87	1,96
14	50	491	6,5	10,65		10,88	0,001519	4,15		229,51	2,44	2,26
14	200	652,99	6,5	11,13		11,43	0,001539	4,63		272,46	2,86	2,4
14	500	762,7	6,5	11,45		11,78	0,001528	4,95		300,52	3,14	2,46
13.1	7	295,14	7,17	9,76	9,18	9,91	0,002153	2,59	2,01	168,33	1,39	1,75
13.1	50	491	7,17	10,43	9,52	10,63	0,001678	3,26	2,35	247,27	2,02	1,99

Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.

13.1	200	652,99	7,17	10,96	9,78	11,19	0,001426	3,79	2,61	309,2	2,51	2,11
13.1	500	762,7	7,17	11,3	9,93	11,54	0,001302	4,13	2,76	349,53	2,82	2,18
13		Bridge										
12.9	7	295,14	7,17	9,49		9,73	0,004252	2,32		137	1,14	2,15
12.9	50	491	7,17	10,24		10,49	0,002272	3,07		225,53	1,85	2,18
12.9	200	652,99	7,17	10,78		11,04	0,001801	3,61		287,94	2,34	2,27
12.9	500	762,7	7,17	11,11		11,39	0,001623	3,94		326,78	2,64	2,33
12	7	295,14	5,96	9,49		9,71	0,001934	3,53		150,26	1,69	2,65
12	50	491	5,96	10,16		10,46	0,001917	4,2		207,22	2,3	3,03
12	200	652,99	5,96	10,63		11	0,001901	4,67		248,01	2,73	3,28
12	500	762,7	5,96	10,93		11,34	0,001892	4,97		273,42	2,99	3,43
11	7	295,14	7,39	9,37	8,96	9,68	0,003284	1,98	1,57	123,27	1,54	2,66
11	50	491	7,39	9,99	9,42	10,43	0,00314	2,6	2,03	171,99	2,1	3,14
11	200	652,99	7,39	10,44	9,76	10,97	0,003044	3,05	2,37	207,63	2,49	3,45
11	500	762,7	7,39	10,72	9,97	11,3	0,002992	3,33	2,58	230,13	2,73	3,63
10		Bridge										
9	7	295,14	6,56	8,24	8,44	9,09	0,019465	1,68	1,88	73,83	0,89	4,59
9	50	491	6,56	8,58	8,88	9,8	0,019062	2,02	2,32	101,81	1,22	5,36
9	200	652,99	6,56	8,83	9,21	10,31	0,01878	2,27	2,65	121,92	1,45	5,87
9	500	762,7	6,56	9,15	9,41	10,52	0,013705	2,59	2,85	147,82	1,74	5,59
8	7	295,14	7,18	8,11	8,19	8,64	0,015489	0,93	1,01	91,65	0,79	3,22
8	50	491	7,18	8,41	8,54	9,17	0,015098	1,23	1,36	127,31	1,05	3,86
8	200	652,99	7,18	8,43	8,8	9,72	0,025059	1,25	1,62	129,91	1,07	5,03
8	500	762,7	7,18	8,51	8,95	10,03	0,027374	1,33	1,77	139,41	1,14	5,47
7	7	295,14	6,41	7,14	7,46	8,23	0,048719	0,73	1,05	63,8	0,58	4,63
7	50	491	6,41	7,41	7,82	8,79	0,037941	1	1,41	94,27	0,83	5,21
7	200	652,99	6,41	7,57	8,08	9,27	0,037047	1,16	1,67	113,34	0,98	5,76
7	500	762,7	6,41	7,68	8,24	9,57	0,036612	1,27	1,83	125,31	1,08	6,09
6	7	295,14	6,31	7,01	7,37	8,2	0,052235	0,7	1,06	60,94	0,58	4,84
6	50	491	6,31	7,29	7,73	8,76	0,043023	0,98	1,42	91,25	0,79	5,38
6	200	652,99	6,31	7,44	7,97	9,24	0,044037	1,13	1,66	109,81	0,9	5,95
6	500	762,7	6,31	7,54	8,12	9,54	0,044537	1,23	1,81	121,59	0,97	6,27
5	7	295,14	4,97	6	6,44	7,62	0,079215	1,03	1,47	52,37	0,54	5,64
5	50	491	4,97	6,26	6,83	8,27	0,061609	1,29	1,86	78,17	0,76	6,28
5	200	652,99	4,97	6,43	7,1	8,77	0,056442	1,46	2,13	96,48	0,91	6,77

Allegato A – Calcoli idraulici Torrente Ferro
 Committente: SIRJO S.C.p.A.

5	500	762,7	4,97	6,54	7,27	9,07	0,053858	1,57	2,3	108,25	1	7,05
4	7	295,14	3,83	4,74	5,46	7,49	0,072722	0,91	1,63	42,04	0,66	7,49
4	50	491	3,83	5,11	5,93	8,16	0,05406	1,28	2,1	68,72	0,82	8,13
4	200	652,99	3,83	5,33	6,23	8,67	0,049352	1,5	2,4	88,64	0,93	8,67
4	500	762,7	3,83	5,46	6,37	8,97	0,047377	1,63	2,54	101,57	0,99	8,99
3	7	295,14	1,83	3,29	3,67	4,55	0,022546	1,46	1,84	63,97	0,81	5,29
3	50	491	1,83	3,59	4,19	5,39	0,025381	1,76	2,36	88,68	1,05	6,47
3	200	652,99	1,83	3,81	4,48	5,98	0,026074	1,98	2,65	107,2	1,21	7,15
3	500	762,7	1,83	3,94	4,65	6,33	0,026187	2,11	2,82	119,41	1,24	7,53
2	7	295,14	0,72	2,46	2,45	2,93	0,009307	1,74	1,73	103,03	0,89	3,85
2	50	491	0,72	2,85	2,85	3,44	0,008405	2,13	2,13	150,41	1,21	4,26
2	200	652,99	0,72	3,1	3,1	3,8	0,008124	2,38	2,38	181,46	1,46	4,55
2	500	762,7	0,72	3,16	3,25	4,04	0,009846	2,44	2,53	188,22	1,51	5,1
1	7	295,14	-0,53	0,58	0,7	1,09	0,018606	1,11	1,23	97,42	0,52	3,36
1	50	491	-0,53	0,74	0,98	1,54	0,023086	1,27	1,51	129,21	0,65	4,28
1	200	652,99	-0,53	0,87	1,14	1,88	0,02528	1,4	1,67	153,84	0,76	4,88
1	500	762,7	-0,53	0,98	1,3	2,01	0,022218	1,51	1,83	177,59	0,87	4,92