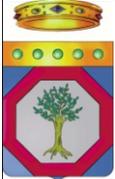


Regione: PUGLIA		Provincia: Foggia		Comune: Poggio Imperiale Lesina
---------------------------	--	-----------------------------	--	---

Committente: PARCO EOLICO S.AGATA srl Piazza G. Paolo II n. 8 71017 Torremaggiore (FG)	Supervisione:  wpd Italia srl viale Aventino 102 00153 Roma
--	---

Progettazione:  Geo Technologie s.r.l. Viale della Resistenza 48 G2 70125 - Bari (BA) Tel. 080.5426241 ingegneria@geotecnologie.net	
--	---

Oggetto:

V.I.A.

**MODIFICA E ADEGUAMENTI TECNICI
MIGLIORATIVI PROGETTUALI**

(ai sensi dell'art. 6 comma 9 d. lgs. 152/2006 parte II)

Progetto per la realizzazione di un parco eolico

Titolo: Relazione idrologica ed idraulica	Scala:				
	Cod.	1820	I	RI	01 P

Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Data
A	Emissione definitiva	G. LEANDRO	G. LEANDRO	G. LEANDRO	Luglio 2018

Sommario

1	ASPETTI GENERALI	3
1.1	Premessa.....	3
1.2	Interventi previsti	3
1.3	Impostazione dello studio.....	4
2	STUDIO MORFOLOGICO	6
2.1	Inquadramento generale dell’assetto dell’area	6
2.2	Analisi morfologica e morfometrica dei bacini idrografici	7
3	STUDIO IDROLOGICO	9
3.1	Analisi pluviometrica	9
3.2	Caratterizzazione del tempo di risposta e della potenzialità al deflusso dei bacini	16
3.3	Portate al colmo di piena	19
4	STUDIO IDRAULICO	20
4.1	Indagine in sito e rilevamenti	20
4.2	Dati di riferimento	20
4.3	Calcolo del profilo di moto	25
4.4	Coefficiente di scabrezza.....	25
4.5	Condizioni al contorno e condizioni iniziali	25
4.6	Sintesi dei risultati	26
5	ADEGUAMENTI PROGETTUALI E RELATIVE VERIFICHE	28
5.1	Viabilità a servizio dell’aerogeneratore WTG07	28
5.2	Attraversamenti e parallelismi del reticolo idrografico.....	28
6	CONCLUSIONI	30
7	PROGETTO HEC RAS WTG07 ANTE	32
8	PROGETTO HEC RAS WTG07 POST	33
9	PROGETTO HEC RAS VIABILITA’ WTG27	34
10	PROGETTOO HEC RAS STAZIONE CONDIVISA	35

1 ASPETTI GENERALI

1.1 Premessa

Con riferimento al "Progetto relativo alla costruzione ed all'esercizio dell'impianto di produzione di energia elettrica di tipo Eolico e delle relative opere connesse, sito nel Comune di Apricena", proposto dalla ditta **PARCO EOLICO SANT'AGATA Srl**, innanzitutto si precisa che l'Autorità di Bacino della Puglia si è già espressa con favorevolmente con prescrizioni il 04/03/2014 prot. N. 2746, con il presente studio si forniscono alcune integrazioni di carattere idraulico in ragione di alcune variazioni progettuali riguardanti la viabilità di accesso agli aerogeneratori, il tracciato dei cavidotti e la ubicazione della stazione condivisa. Per maggiori dettagli consultare gli allegati.

In particolare, si forniranno approfondimenti utili a chiarire alcuni aspetti progettuali in rapporto all'assetto idraulico del territorio, come l'insistenza di alcune opere nelle fasce di pertinenza del reticolo, le eventuali interferenze con la viabilità esistente da adeguare e quelle con l'elettrodotto, e si descriveranno le modalità di attraversamento.

In fase di impostazione degli studi, si è ritenuto opportuno estendere gli approfondimenti non soltanto alle indicazioni idrauliche fornite dalla Carta I.G.M. 1:25000, tuttora fonte ufficiale per l'individuazione del reticolo idrografico, ma anche a quelle della Carta Idrogeomorfologica, pur non avendo ancora, quest'ultima, valore formale, in quanto suscettibile di modifiche fino alla definitiva approvazione; difatti, gli elementi contenuti in tale carta assumono valenza non soltanto paesaggistica, ma, con particolare riferimento al reticolo idrografico, rappresentano un approfondimento del quadro conoscitivo di cui è utile tenere conto.

Gli studi effettuati, condotti con riferimento ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni, sono volti a caratterizzare le relazioni che si possono stabilire tra le opere in progetto e l'assetto idraulico delle aree, in modo da renderli reciprocamente compatibili secondo quanto prescrive il criterio di conformità al PAI vigente, in relazione alle condizioni di "sicurezza idraulica".

1.2 Interventi previsti

Il Parco Eolico sarà costituito da:

- 14 aerogeneratori aventi altezza al mozzo pari a 91.5 m,
- 1 rete di cavidotti interrati per il convogliamento dell'energia in MT fino alla cabina primaria di trasformazione;
- una cabina primaria di trasformazione dove avverrà l'elevazione da 30 kV a 150 kV;

- 1 cavidotto in AT per il convogliamento dell'energia alla Sottostazione 150/380 kV.

Fornendo specifiche indicazioni in merito alle criticità idrauliche presenti, l'impianto eolico verrà realizzato, in sintesi, attraverso le seguenti opere:

1. adeguamento della viabilità esistente per il trasporto dei componenti nel sito;
2. realizzazione di nuovi tratti di pista per l'accesso alle piazzole degli aerogeneratori;
3. realizzazione delle piazzole di servizio agli aerogeneratore;
4. realizzazione delle strutture di fondazione degli aerogeneratori e montaggio degli stessi;
5. realizzazione del **cavidotto interrato** di collegamento, fra il nuovo impianto di produzione e il punto di consegna dell'energia.

Al fine di rendere immediata l'individuazione dell'assetto idraulico che abbia validità formale, negli elaborati grafici allegati al presente studio le opere in progetto sono state ubicate su cartografia I.G.M..

1.3 Impostazione dello studio

Gli approfondimenti sull'assetto idraulico delle aree in esame saranno svolti con riferimento a :

- Strada di accesso a WTG07, interseca un reticolo idrografico;
- Strada di accesso a WTG27 , ricade all'interno di fascia di pertinenza fluviale;
- Stazione condivisa ricade all'interno di fascia di pertinenza fluviale.

A tutt'oggi, diversamente dalle aree a pericolosità idraulica, il reticolo idrografico e le relative fasce di pertinenza non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato al PAI, per cui, è uso consolidato presso l'Autorità di Bacino della Puglia, intendere "reticolo idrografico" al quale applicare i relativi articoli delle NTA del PAI stesso, tutto quanto rappresentato come tale su cartografia IGM in scala 1:25000.

Negli elaborati 1820IGI01P e 1820IGI02P si riporta l'ubicazione degli interventi sull'IGM, dove è stato segnato anche il reticolo idrografico della Carta Idrogeomorfologica, che pur non

avendo ancora valore formale, si è ritenuto utile tenere in conto, in quanto rappresenta un approfondimento del quadro conoscitivo attuale.

Al fine di definire il grado di interferenza tra le opere in progetto e le linee di impluvio che insistono sul territorio, si è ritenuto di dover procedere con uno studio idraulico, a scala di bacino, volto non soltanto a caratterizzarne il regime idraulico, ma, soprattutto, a definirne con la maggiore accuratezza possibile l'andamento sul territorio in relazione agli eventi che stabiliscono le condizioni di "sicurezza idraulica" secondo quanto stabilito dalle N.T.A. del PAI.

Pertanto, si è scelto di pervenire alla completa definizione dell'assetto idraulico propagando le portate bicentarie, ovvero quelle con tempo di ritorno di 200 anni, sui domini monodimensionali sottesi dal reticolo idrografico ivi presente.

Definendo le impronte del transito delle piene bicentarie, che al loro esterno individuano le suddette condizioni di "sicurezza idraulica", sarà possibile determinare, in maniera fisicamente basata, l'andamento del reticolo idrografico ed i parametri idraulici ad esso connessi, e, in tal modo, si potrà effettuare una corretta progettazione in conformità con il PAI vigente.

Di seguito si illustrano le fasi previste per la redazione dello studio:

- reperimento della cartografia di base (I.G.M. in scala 1:25.000, rilievi aerofotogrammetrici della nuova cartografia CTR 1:5.000 della Regione Puglia, ortofoto) e del modello digitale del terreno (DEM) della Regione Puglia a maglia 8x8 m;
- integrazione dei dati con un rilievo topografico in sito effettuato con strumentazione GPS di alta precisione, sia della geometria del reticolo indagato, comprese le intersezioni a raso con la viabilità, sia del piano di campagna delle aree interessate dagli interventi, come da traccia delle sezioni riportate nell'elaborato grafico allegato (sezioni di rilievo topografico e punti di ripresa fotografica);
- individuazione e caratterizzazione dei bacini idrografici che abbracciano i rami del reticolo idrografico oggetto di approfondimento;
- studio della pluviometria con i tempi di ritorno di 200 anni, di riferimento per le condizioni di sicurezza idraulica, tramite procedure di regionalizzazione proprie del progetto VAPI Puglia;
- definizione della pioggia critica netta e della relativa durata, per la quantificazione del massimo volume di piena, corrispondente al tempo di ritorno di 200 anni sopra richiamato, attraverso il metodo di trasformazione afflussi-deflussi dell'SCS-CN;
- definizione della portata di piena bicentaria attraverso il metodo SCS (Soil Conservation Service);

- individuazione delle aree interessate dal transito dei deflussi bicentenari;
- valutazione della vulnerabilità dei siti e delle soluzioni progettuali.

2 STUDIO MORFOLOGICO

2.1 Inquadramento generale dell'assetto dell'area

Le torri ricadono all'interno del Bacino di Lesina ed in parte all'interno del bacino del Canale Elice.

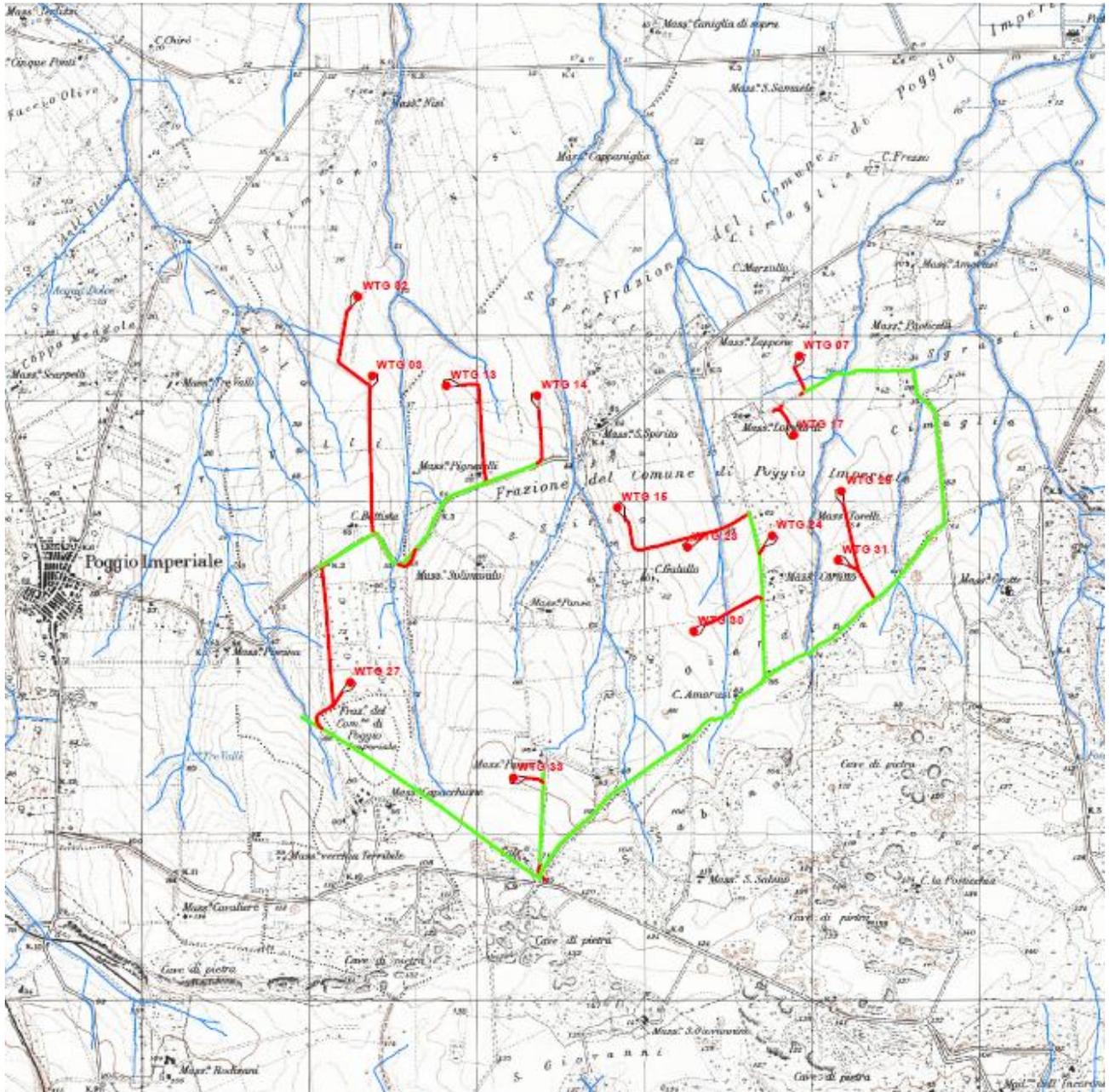


Figura 1 Inquadramento IGM con rappresentazione del reticolo idrografico

Tali bacini rientrano nell'ambito dei bacini dei corsi d'acqua torrentizi del Gargano che comprende tutti quei reticoli idrografici che, secondo una disposizione grossomodo centripeta,

scendono dalle alture del promontorio garganico verso la costa o la piana del Tavoliere, e in alcuni casi nei laghi di Lesina e Varano.

I corsi d'acqua presenti, che assumono caratteristiche di tipo "montano", sono caratterizzati da bacini di alimentazione sostanzialmente limitati, che solo in pochi casi superano i 100 km² di estensione, mentre dal punto di vista morfologico le reti fluviali mostrano un buon livello di organizzazione gerarchica interna.

Le valli fluviali appaiono in molti casi ampie e profonde, fortemente modellate nel substrato roccioso prevalentemente carbonatico, e caratterizzate da pendenze del fondo a luoghi anche elevate. Da ciò deriva che il regime idrologico di questi corsi d'acqua è tipicamente "torrentizio", caratterizzato da tempi di corrivazione ridotti, e tale che, in relazione al locale regime pluviometrico, da origine a lunghi periodi di magra intervallati da brevi ma intensi eventi di piena, a cui si accompagna anche un abbondante trasporto solido.

2.2 *Analisi morfologica e morfometrica dei bacini idrografici*

A partire da un ampio territorio, si è delimitato i bacini di studio, in maniera tale da ricomprendere tutto il reticolo che potesse avere influenza sull'assetto idraulico delle aree di interesse e sulle opere previste. Le operazioni cartografiche sono state effettuate attraverso l'applicazione di software GIS, costruendo il DEM (Digital Elevation Model) dai dati del rilievo prima citati. Occorre evidenziare come per tali operazioni, visto il piccolo ordine di estensione territoriale delle aree di interesse, si è impostata definizione di 5m x 5m, ricercando, in tal modo, la massima precisione possibile anche in relazione al passo del rilievo effettuato con strumentazione GPS.

Infine, si è fatto uso della carta geolitologica della Puglia e della carta dell'uso del suolo.

Al fine di assicurare la necessaria rappresentatività allo studio, il criterio inizialmente stabilito per estrapolare la significatività delle modellazioni idrologiche ed idrauliche con specifico riguardo alla zona di cui trattasi, è stato quello di indagare, ad una scala di dettaglio spinto, su un'area molto più ampia di quella strettamente interessata dagli interventi.

Le caratteristiche fisiografiche dei bacini così definiti (nell'ordine: superficie, pendenza media dei versanti, quota minima, massima e media s.l.m., lunghezza totale dell'asta alla cresta spartiacque) sono riportate nella tabella a seguire.

CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE BACINI IDROGRAFICI						
Bacino	Area	i_m	Q_{min}	Q_{max}	Q_{ave}	L_{max}

	(Km ²)	(%)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(Km)
Bacino WTG07	0.20	4.12	34	61	48.05	0.861
Bacino WTG27	1.40	10.75	40	158	92.67	2.91
Bacino Stazione condivisa	0.08	2.86	127	151	140.02	0.69

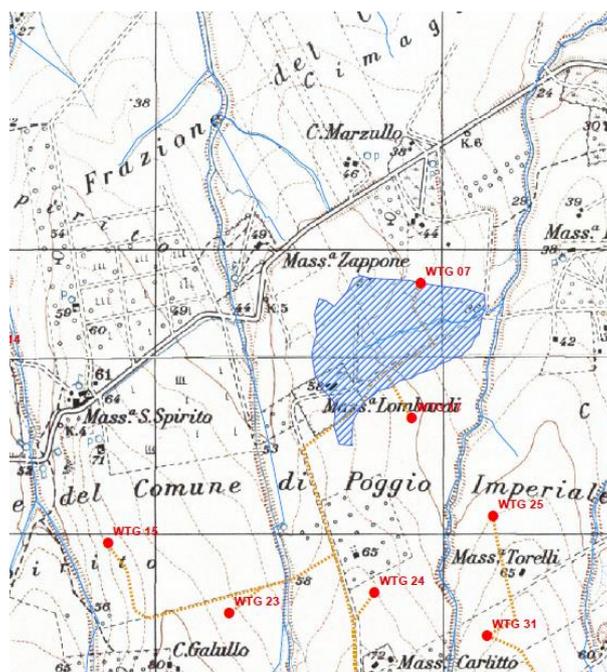


Figura 2 Bacino idrografico WTG07

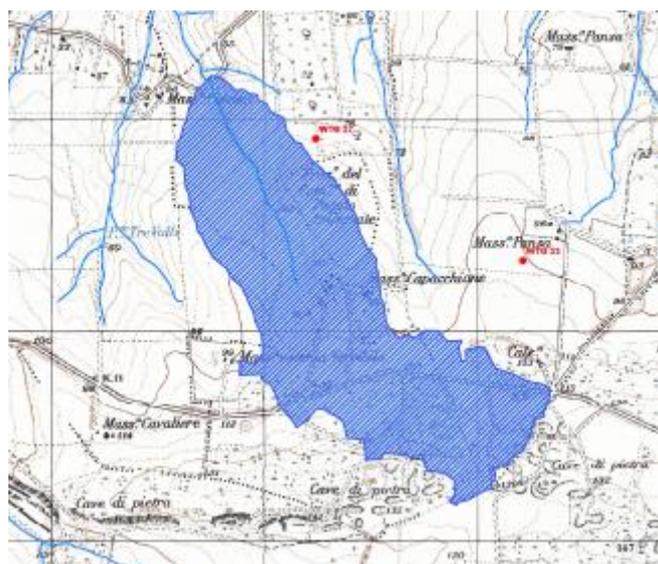


Figura 3 Bacino idrografico WTG27



Figura 4 bacino idrografico Stazione condivisa

3 STUDIO IDROLOGICO

3.1 Analisi pluviometrica

Effettuato lo studio morfologico, la metodologia da utilizzare per le analisi idrologiche deve essere individuata in base alle peculiarità del bacino e del reticolo idrografico che lo drena.

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena e dei relativi volumi che, per prefissati tempi di ritorno, interessano il bacino idrografico e, di conseguenza, il territorio e tutti gli elementi vulnerabili in esso presenti.

In congruenza con le finalità dello studio, volto a definire un assetto idraulico dei luoghi di interesse adeguato allo stato di fatto, si deve fare riferimento ad eventi con tempi di ritorno di 200 anni, attraverso i quali si stabiliscono le condizioni di sicurezza idraulica.

Il D.P.C.M. 29.09.1998, in materia di difesa del suolo, stabilisce che *"Ove possibile è consigliabile che si traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena, con assegnato tempo di ritorno, dalle elaborazioni eseguite dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, oppure dai rapporti tecnici del progetto Va. Pi. messo a disposizione dal G.N.D.C.I.- C.N.R."*.

Il progetto VAPI sulla valutazione delle piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, si prefigge l'obiettivo di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. Scopo di tale rapporto è quello di fornire uno strumento ed una guida ai ricercatori ed ai tecnici operanti sul territorio, per comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e per effettuare previsioni sui valori futuri delle piene in una sezione di un bacino naturale con il minimo possibile di incertezza.

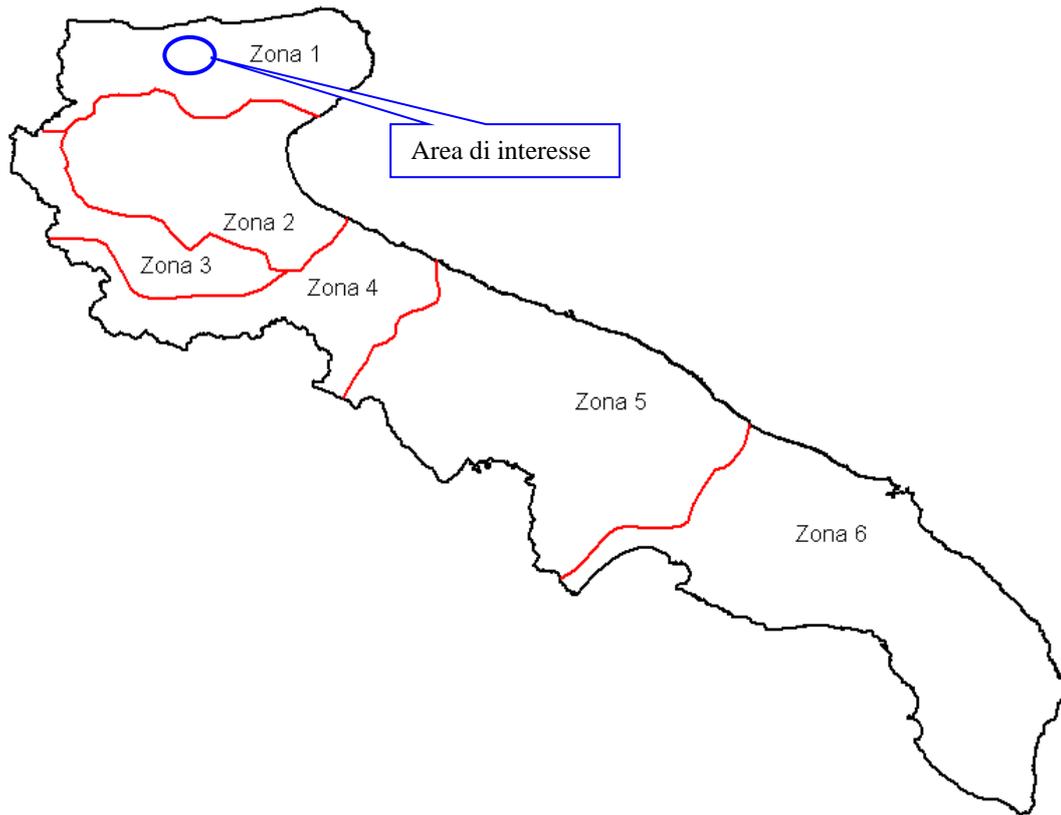
I bacini in analisi non drenano aree di dimensioni tali da presupporre portate significative ai fini della strumentazione idrometrica da parte del Servizio Idrografico e Mareografico. Inoltre, la citata metodologia del progetto Va. Pi. che propone la stima indiretta della piena indice nella sezione di chiusura del bacino oggetto di studio, così come specificato nel rapporto sintetico regionale, è limitata a bacini di area compresa tra 10 e 2000 Km², pertanto non risulta applicabile al caso in esame per la definizione dei deflussi di bacini di modeste dimensioni.

Per conoscere le caratteristiche di deflusso per i bacini di studio, in assenza di misure dirette, occorre utilizzare un modello di trasformazione afflussi – deflussi che permette di valutare la risposta dei bacini ad un determinato evento di pioggia.

Spesso nelle applicazioni idrologiche si presenta la necessità di stimare valori di una determinata grandezza, per esempio la precipitazione in siti non strumentati oppure, come nel caso in esame, con dati misurati che si ritengono insufficienti per numero e qualità.

Le procedure di regionalizzazione, che si utilizzeranno per la definizione della pluviometria di riferimento, rispondono a tale esigenza.

La metodologia propria del progetto Va.Pi. effettua la regionalizzazione delle piogge su sei zone omogenee, in cui è stata suddivisa la Puglia, con formulazioni diverse per ognuna di esse;



Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica TCEV (Rossi et al 1984); la peculiarità di questo modello e quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali. La TCEV (two components extreme value - legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente) ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura. Tale legge rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al 1984).

Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e quella ordinaria, appartengano a popolazioni diverse ma tuttavia interferiscono tra loro seguendo un processo poissoniano. Il processo individua una variabile X che rappresenta il massimo valore in una certa durata D , di una variabile casuale Y distribuita secondo la miscela di due esponenziali ($Y1$ e $Y2$) con funzione di probabilità cumulata (CDF):

$$FY(y) = [Y \leq y] = p(1 - e^{-y/\Theta_1}) + (1-p)(1 - e^{-y/\Theta_2}); Y \geq 0 \quad 0 < p \leq 1$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono alla componente ordinaria e straordinaria e p indica la proporzione della prima componente nella miscela.

Il numero di occorrenze K , cioè il numero di superamenti della variabile Y , in una durata D , è distribuito secondo la legge di Poisson con parametri uguali a Λ_1 e Λ_2 tali che:

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 = E[Kt]$$

in cui Λ rappresenta la funzione parametro del processo, espressa come la media dei superamenti. Ipotizzando che Y_1 e Y_2 siano distribuite esponenzialmente con valori medi:

$$\Theta_1 = E[Y_1] \quad \Theta_2 = E[Y_2]$$

l'equazione diventa:

$$F_{kt}(k) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-k/\Theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\Theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

La probabilità p_2 che un certo valore della X provenga dalla componente straordinaria è espresso dalla relazione:

$$p_2 = -\Lambda_2 / \Theta_2 \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j / j! \Lambda_1^j \Gamma(j+1/\Theta_2)$$

nella quale Γ è la funzione speciale e:

$$\Theta_* = \Theta_2 / \Theta_1, \quad \Lambda_* = \Lambda_2 / (\Lambda_1^{1/\Theta_*})$$

Se si dispone di un campione $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ della variabile X (massimo annuale delle Y) osservato in n anni, la stima dei parametri della distribuzione può essere effettuata utilizzando le serie dei massimi annuali applicando il metodo della massima verosimiglianza (ML).

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile

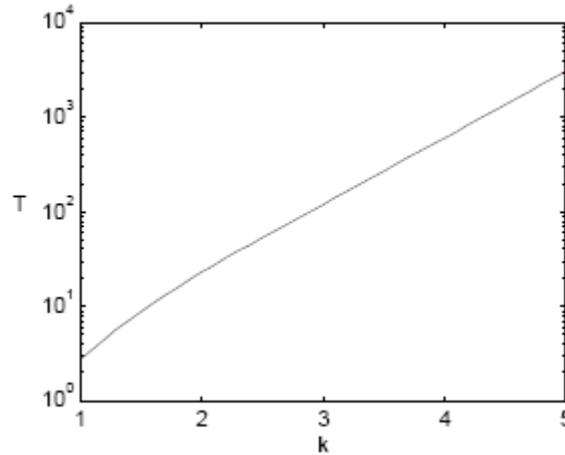
individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria (G), quindi risultano costanti i due parametri Θ^* e Λ^* ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro Λ_I che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità della X e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento. L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di Θ^* e Λ^*), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottozone omogenee al secondo livello.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV (CV e G), è utile rappresentare la legge $F(Xt)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata Xt come prodotto tra il suo valore medio $\mu(Xt)$ ed una quantità K_T, t , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T e della durata t , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t) \quad (a)$$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto (a) corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i tre parametri della TCEV.

E' possibile rappresentare graficamente la funzione $K_T = K_T(T)$ al variare del tempo di ritorno T ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione.



Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

In alternativa alle rappresentazioni grafiche delle curve di crescita, il valore di K_T può essere ricavato direttamente in funzione di Tr attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani, 1995) della legge di crescita. E' utile sottolineare che l'uso di questa approssimazione comporta una leggera sottostima del fattore di crescita, con valori che sono superiori al 5% solo per $T < 40$ anni. La relazione è la seguente:

$$K_T = a + b \ln T (1)$$

in cui :

$$a = (\Theta \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1) / \eta$$

$$b = \Theta^* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

T_0 è una funzione il cui valore è stato ottenuto grazie a un programma di calcolo iterativo.

Pertanto nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri a e b , e i relativi valori η e T_0 , che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	T_0	η
Puglia centro-merid.	0.0183	0.6219	-0.8256	4.2673

Coefficienti utilizzabili per l'uso dell'espressione asintotica (1)

Le aree omogenee individuate al primo e secondo livello di regionalizzazione si parzializzano al terzo livello, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica (Viparelli, 1964), per ciascuna stazione e stato possibile correlare il valore medio x_t dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$x_t = a \cdot t^n \quad (2)$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

Si riporta la relazione tra l'altezza media di precipitazione al variare della durata, in dipendenza con la quota del sito oggetto dello studio:

$$x_t = a \cdot t^{(C \cdot h + D + \log a - \log a) / \log 24} \quad (4)$$

dove:

a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di x_t relativi alle serie con $N \geq 10$ anni ricadenti nella zona omogenea;

$\alpha = x_g / x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata $t=24$ ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misura. Per la Puglia il valore del coefficiente a è risultato in pratica costante sull'intera regione e pari a 0.89.

C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento.

I valori delle stime dei parametri sono riportati nel prospetto seguente:

α	a	C	D
0.89	33.7	0.0022	4.1223

Valori delle stime dei parametri utilizzati nella relazione (4)

I bacini studiati ricadono nell'area omogenea di pioggia denominata "zona 1".

La curva di possibilità pluviometrica di base (C.P.P.) utilizzata per le valutazioni idrologiche è la seguente:

zona 1: $x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503z)/3.178]}$

appare evidente che la C.P.P. media per la zona 1 dipende dalla durata dell'evento (t) e dalla quota media assoluta del bacino s.l.m. (z).

Definita la C.P.P., a questa si devono applicare coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita K_T , funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, che nel caso in oggetto è stato assunto pari a 30, 200 e 500 anni, ed al Fattore di Riduzione Areale K_A che tiene conto della non contemporaneità dell'evento sull'intera estensione del bacino. Nel caso in esame detto fattore non è stato computato sui sottobacini di superficie più esigua.

Per quanto concerne il Fattore di Crescita nelle zone 1-2-3-4 (Puglia Settentrionale):

$$K_T = 0.5648 + 0.415 \ln T$$

Di seguito si riportano i valori singolari tabellati dal rapporto sintetico.

		Tempo di Ritorno (anni)											
		2	5	10	20	25	30	40	50	100	200	500	1000
K_T		0.91	1.26	1.53	1.81	1.9	1.98	2.1	2.19	2.48	2.77	3.15	3.43

Il Fattore di Riduzione Areale è così espresso:

$$K_A = 1 - (1 - e^{(-0.0021A)}) e^{(-0.53d^{0.25})}$$

con d che rappresenta la durata dell'evento ed A la superficie del bacino considerato.

3.2 Caratterizzazione del tempo di risposta e della potenzialità al deflusso dei bacini

Nell'individuazione delle caratteristiche pluviometriche, riveste particolare importanza la scelta della durata dell'evento, che di norma si assume pari al tempo critico di risposta del bacino oggetto di studio, assimilabile al tempo di corrivazione. È quindi fondamentale la determinazione di detta grandezza che, deve essere desunta attraverso procedure appropriate alla tipologia del bacino. Le peculiarità dei sottobacini in esame spingono la scelta verso il metodo SCS, secondo il quale, il tempo di ritardo del bacino idrografico viene calcolato con la formula di Mockus, per cui:

$$t_r = 0.342 * (((L)^{0.8}) / ((s)^{0.5})) * (((1000/CN) - 9))^{0.7}$$

in cui s è la pendenza (%) del bacino ed L è la lunghezza massima dell'asta principale (Km).

Il passaggio dal tempo di ritardo al tempo di corrivazione del bacino avviene attraverso la seguente formula:

$$t_c = t_r / 0,6.$$

Il metodo citato si basa innanzi tutto sulla determinazione del Curve Number (CN), parametro adimensionale decrescente in funzione della permeabilità, intesa come caratteristica globale del tipo e dell'uso del suolo. La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e litologica dei suoli ed all'uso del suolo. Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato.

Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi, rispettivamente la I, la II, e la III del grado di umidità del terreno, in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato (Antecedent Moisture Condition): molto asciutto (<50 mm), standard (tra 50 e 110 mm) e molto umido (oltre 110 mm). Poiché lo studio è rivolto al calcolo delle portate di piena relative ad eventi estremi, considerato che in occasione di queste ultime molto spesso il terreno del bacino soggetto all'evento meteorico si presenta in condizioni di elevato imbibimento e che il bacino in esame, nella parte di monte, ha pendenze elevate, si è preferito adottare il valore di CN corrispondente alla classe AMC-tipo III, legato alla classe standard dalla relazione:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 CN_{II}}$$

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro classi aventi, rispettivamente, potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa (B), moderatamente alta (C) e molto alta (D). La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende, invece, diverse situazioni di aree caratterizzate da differenti morfologie (pascoli, terrazzamenti, etc.) varie coperture vegetali (boschi, praterie, parchi), condizioni di conservazione e destinazione d'uso (coltivazioni, parcheggi, distretti industriali o altro).

Il bacino scolante viene analizzato suddividendo l'intera superficie, in base al tipo e all'uso del suolo, in zone omogenee caratterizzate dal medesimo valore del parametro stesso; si ottengono così varie sub-aree isoparametriche la cui somma fornisce la superficie complessiva del sottobacino. Per ogni sottobacino viene ricavato poi un valore medio pesato sulle sub aree del parametro CN:

$$CN = p_1 CN_1 + p_2 CN_2 + \dots + p_n CN_n$$

dove p_1, p_2, \dots, p_n sono le percentuali dell'area totale del bacino caratterizzate da un valore del parametro rispettivamente pari a CN_1, CN_2, \dots, CN_n .

Nella individuazione e caratterizzazione delle zone omogenee si fa riferimento alla Carta dell'uso del suolo ed alle Carte litologiche, i cui stralci con la sovrapposizione dei bacini di studio si riportano negli elaborati grafici allegati.

Tabella 1 Tabella di sintesi che indica il valore del parametro CN_{II} riferito alle varie zone omogenee.

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Infine, i valori dei parametri CN_{II} e quelli dei derivati parametri CN_{III} , determinati come sopra descritto, sono riportati nella tabella a seguire, dove sono indicati anche il tempo di ritardo ed il tempo di corrivazione dei bacini calcolati come specificato prima.

PARAMETRO CN E TEMPI CARATTERISTICI DEI BACINI				
Bacino	CN_{II}	CN_{III}	Tempo di ritardo (ore)	Tempo di corrivazione (ore)
Bacino WTG07	81	91.63	0.5	0.58
Bacino WTG27	85.14	94.09	0.49	0.82
Bacino Stazione condivisa	76.99	89.13	0.39	0.63

3.3 Portate al colmo di piena

La quantificazione delle portate al colmo di piena, ancora in coerenza con quanto esposto in precedenza in merito alle peculiarità dei bacini imbriferi studiati, è stata effettuata attraverso l'applicazione SCS-CN.

Il procedimento consente di ricavare il valore delle portate al colmo di piena Q_p attraverso la determinazione del volume V di deflusso della piena stessa così espresso:

$$V = (h - 0,2S)2/(h + 0,8S)$$

ove h è l'altezza di pioggia prima calcolata in corrispondenza di un evento con assegnato tempo di ritorno ed S , che rappresenta il massimo volume di invaso del suolo, è calcolato come:

$$S = 25.4(1000/CN-10)$$

Per il calcolo della portata al colmo si considera un diagramma di piena triangolare, che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento).

$$t_a = 0.5 t_c + t_r$$

l'area sottesa da tale triangolo definisce la portata al colmo di piena, che, pertanto, assume la formulazione seguente:

$$Q_p = 0,208 V A / t_a$$

di seguito si riportano i valori della portata al colmo per i bacini studiati per eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e per un valore del CN coincidente con quello del CNIII.

PORTATE AL COLMO DI PIENA Tr=200 anni	
Bacino	Q (m³/s)
Bacino WTG07	3.14
Bacino WTG27	19.04
Bacino Stazione condivisa	1.01

4 STUDIO IDRAULICO

Si precisa che il presente studio, nella ricerca delle condizioni di sicurezza idraulica per territorio, è mirato a stabilire l'ampiezza delle fasce di pertinenza fluviale onde determinare se e come l'intervento di progetto possa influire sul regime idraulico dell'area.

4.1 Indagine in sito e rilevamenti

Prima di affrontare lo studio della propagazione delle onde di piena nell'alveo ed il calcolo dei profili di rigurgito, si ritiene opportuno descrivere le indagini svolte sui luoghi in sede di rilevamenti per fornire una lettura più concreta dell'area in esame. Nella impossibilità di effettuare il rilievo di tutti i manufatti idraulici esistenti e di interesse, in corrispondenza degli stessi, a vantaggio di sicurezza, sono state inserite delle ostruzioni.

L'indagine si è pertanto operata non soltanto per rendere una rappresentazione attuale delle aree di interesse ma anche al fine di acquisire gli elementi imprescindibili per una corretta interpretazione delle dinamiche idrauliche.

Si focalizza dunque l'attenzione sull'area di studio. Per brevità nella trattazione, i rilievi effettuati in area per quanto concerne la geometria delle intersezioni viarie sono rappresentati negli elaborati relativi al calcolo idraulico, così come quanto concerne le sezioni morfologiche degli alvei analizzati desunte sulla base di dem, rilievi e ctr.

Le indicazioni riguardanti le sezioni di studio sono riportate negli elaborati grafici allegati.

4.2 Dati di riferimento

Determinate le portate di piena bicentinarie per ciascuna delle sezioni di riferimento, si tratta ora di osservarne la propagazione nelle aste oggetto di studio. Come già esposto in precedenza, al fine di aumentare ancora il criterio di sicurezza, e per conferire al modello idraulico la giusta rappresentatività nelle condizioni più gravose, si è assunto di applicare le portate calcolate come

sopra, riferite alla chiusura del bacino individuato, già dalla sezione iniziale del tronco idrico, ovverosia in sezioni poste a monte rispetto a quelle di calcolo.

Al fine di assicurare correttezza nella lettura dei risultati, si sono considerati tratti di alveo di lunghezze tali da conferire alle analisi la giusta rappresentatività, partendo sufficientemente a monte e arrivando abbastanza a valle rispetto all'area indagata.

Le sezioni morfologiche rilevate in sito, convenientemente scelte come illustrato in precedenza, sono state inserite nell'orografia generale desunta dai rilievi aerofotogrammetrici dell'area.

I dati sono stati quindi elaborati ancora con l'ausilio del software GIS e, con lo specifico applicativo Pre-Ras, pre-processore del codice di calcolo *HEC-RAS*, sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers*, si è acquisita l'informazione geometrica, georeferenziata, sia delle sezioni di interesse che dell'esatto tracciato plano-altimetrico dell'alveo. Il modello è stato poi implementato con l'inserimento delle strutture di attraversamento.

Va da se, dunque, l'applicazione dello stesso software HEC-RAS nell'affrontare lo studio idraulico. Difatti, la propagazione delle piene in regime permanente rappresenta al meglio il profilo di moto in relazione alle variazioni di pendenza degli alvei, alla diversa tipologia delle sezioni morfologiche ed alla presenza di interferenze sul flusso idrico.

Il tutto con particolare riguardo all'individuazione delle criticità idrauliche degli alvei ed alle relative aree di allagamento connesse ad eventi con i diversi tempi di ritorno di riferimento normativo attraverso una metodologia fisicamente basata.

Di seguito si illustrano brevemente i contenuti del modello applicato.

HEC-RAS è un programma realizzato per simulare la propagazione delle piene attraverso uno schema di calcolo monodimensionale; il software può lavorare in moto permanente o vario e, oltre che analizzare la singola asta fluviale, è possibile prevedere trasporto di sedimenti. Il software dispone di una interfaccia grafica attraverso cui inserire i necessari dati fisici (caratteristiche geometriche dell'asta) ed idraulici (condizioni al contorno e portate di verifica), ed applicare le differenti routine di modellazione, ovvero scegliere le metodologie di calcolo.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili sia di correnti lente che veloci, ed inoltre è possibile valutare profili misti, con passaggio attraverso lo stato critico. Il profilo idraulico è calcolato normalmente (standard step method) attraverso la soluzione iterativa della equazione dell'energia, tra due sezioni consecutive. Le perdite relative al termine cinetico dell'equazione, sono calcolate aggiungendo alle perdite continue per attrito, "J", un coefficiente di contrazione/espansione, che viene moltiplicato per la differenza delle altezze cinetiche medie tra due sezioni successive.

L'equazione che esprime la perdita di energia è la seguente:

$$h_s = LJ' + C \left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

L = lunghezza del tratto di alveo compreso tra le due sezioni successive, “pesata” in funzione della portata defluente all’interno della sezione trasversale su zone con differente coefficiente di attrito (basato sulla equazione di Manning);

J’ = pendenza di attrito “rappresentativa” (media) delle due sezioni successive (in caso di moto uniforme sarebbe parallela al fondo e costante);

C = coefficiente di contrazione o di espansione;

Occorre ribadire che il software è programmato per il calcolo di profili nell’ipotesi monodimensionale, e quindi fornisce, per ciascuna sezione trasversale, un’unica altezza del pelo libero e un’unica altezza della linea dell’energia. L’altezza della linea dell’energia è ottenuta calcolando un valore “pesato” dalla portata di ciascuna delle sottosezioni in cui si può suddividere la sezione trasversale.

Per calcolare quindi il valore dell’energia per l’intera sezione, bisogna ricavare la parte relativa alla altezza cinetica media, passando attraverso la valutazione del coefficiente di velocità (a sua volta “pesato”):

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

In generale si ottiene, per $Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$:

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2}$$

Come detto, le perdite continue per attrito sono valutate come il prodotto di

$$J'_f \times L$$

dove J_f è la pendenza media della linee dell'energia tra due sezioni consecutive distanti tra loro L (pesate in funzione delle “portate trasversali”).

La pendenza della linea dell'energia è calcolata, per ciascuna sezione, tramite l'equazione di Manning, nel modo seguente:

$$J_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

dove K rappresenta il termine di “trascinamento” e quindi influenza le perdite continue; il modello contiene espressioni alternative che possono essere scelte dall'utente.

In particolare l'espressione

$$J_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

è quella di default nel programma.

Le *perdite per contrazione ed espansione*, rappresentative in un certo senso delle perdite localizzate, sono calcolate in HEC-RAS tramite la seguente equazione:

$$h_{ce} = C \left[\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right]$$

dove:

C = coefficiente di contrazione o espansione.

Il programma assume che vi sia una contrazione, ogni volta che l'altezza cinetica (velocity head) a valle è maggiore di quella immediatamente a monte. Al contrario si assume una espansione, quando la altezza cinetica a valle è minore di quella di monte.

In definitiva l'equazione della energia, al fine della valutazione della incognita ovvero del tirante idrico nella singola sezione, viene applicata in maniera iterativa, secondo il seguente schema, assegnate che siano le condizioni al contorno:

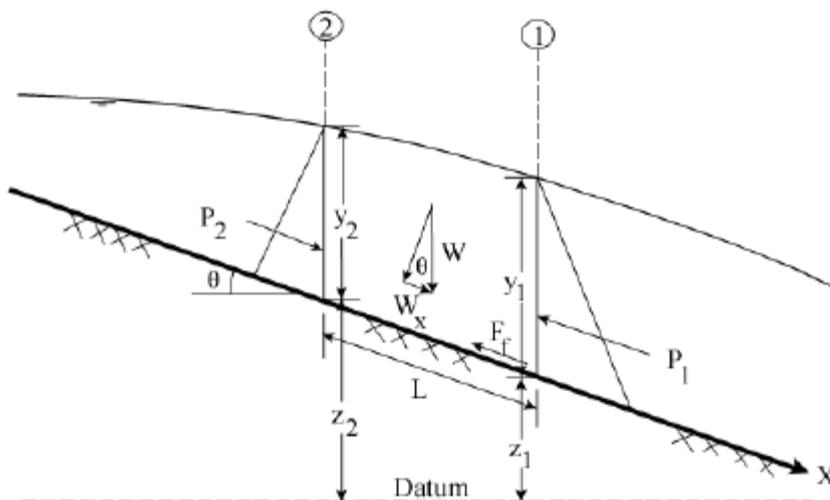
1. viene assunta una altezza del pelo libero nella sezione a monte di quella ritenuta nota (o a valle a seconda se siamo in corrente lenta o veloce);
2. su questo valore ipotetico, si valutano i valori di K e della altezza cinetica;
3. viene calcolato il termine J_f e quindi è possibile valutare h_e ;

4. con i valori ricavati, si ricava la altezza del pelo libero nella sezione di monte;
5. si confrontano il valore appena ricavato, con quello assunto al punto 1 e si reitera il calcolo, sino ad una tolleranza di 0.003 m (valore predefinito, modificabile dall'utente).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di una altezza iniziale del tirante, varia nell'ambito della procedura, man mano che si sviluppano passaggi successivi. Nel primo passaggio, relativo ai cinque punti descritti, il tirante si basa sulla proiezione di quello della sezione precedente nella sezione in studio. Nel secondo passaggio, invece, è utilizzato il tirante del primo passaggio, incrementata del 70% dell'errore risultante al primo passaggio (altezza calcolata – altezza assunta). Il terzo passaggio e i successivi, sono invece basati su un metodo di proiezione "secante", tendente a limitare la discrepanza evidenziata.

In tutte le situazioni in cui non sia un profilo di corrente gradualmente variato, ma che prevedono risalti idraulici, passaggio attraverso lo stato critico (per bruschi cambi di pendenza, restringimenti, attraversamenti, ponti) e quindi si generano profili di corrente rapidamente variati, il programma utilizza in luogo della equazione dell'energia, l'equazione del momento, o dell'equilibrio dinamico. L'equazione deriva dalla seconda legge di Newton ($F = m \cdot a$, ovvero Forza=massa*accelerazione), applicata ad una massa d'acqua compresa tra due sezioni; l'espressione della differenza dei momenti nell'unità temporale tra le sezioni 1 e 2, si esprime con la seguente equazione

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$



azioni esercitate sulla massa d'acqua

dove:

P = spinta sulle sezioni 1 e 2

W_x = forza peso nella direzione del moto

F_f = forza dovuta alle perdite per l'attrito esterno tra 2 e 1

Q = portata

ρ = densità dell'acqua

ΔVx = cambio di velocità tra 2 e 1 nella direzione del moto.

Risolvendo le varie componenti dell'equazione base, si perviene alla formulazione usata dal modello che la soluzione dell'equazione dei momenti, che risulta essere la seguente:

$$\frac{Q_2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \bar{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1$$

4.3 Calcolo del profilo di moto

Le ipotesi adottate contemplano uno schematismo di moto monodimensionale in regime permanente. Ciò non soltanto al fine di valutare l'attitudine al deflusso dell'alveo indagato ma, anche, per stimare le eventuali problematiche legate alla mancata capacità di smaltimento.

Sulla scorta dello studio idrologico affrontato e delle portate di piena con tempi di ritorno 200 anni risultanti, si è definito il profilo idrico ed i tiranti corrispondenti con riferimento al tratto di alveo studiato ed alle relative sezioni geometriche, sul quale si è altresì delineato il tracciato del reticolo idrografico rinveniente dal rilievo.

4.4 Coefficiente di scabrezza

A vantaggio di sicurezza si sono scelti i valori più elevati dell'indice di scabrezza. Difatti, si è attribuito un coefficiente n di Manning pari a 0,03 ($m^{-1/3} s$), corrispondente a *“Terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia.”* per l'alveo e le sponde, .

4.5 Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Non conoscendo a priori il regime di corrente idraulica presentato dai canali, si è condotto lo studio in regime di corrente mista, anche al fine di non precludere, all'eventuale passaggio a diversi stati critici, il cambiamento di regime stesso.

Il programma Hec-Ras dispone di quattro differenti opzioni per la definizione delle condizioni al contorno:

1. **Known Water Surface Elevations:** la condizione al contorno corrisponde ad un valore noto d'altezza d'acqua inserito per ciascuno dei profili da calcolare;
2. **Critical Depth:** la condizione al contorno viene posta uguale alla profondità critica che il programma calcola per ciascuno dei profili;
3. **Normal Depth:** la condizione al contorno è uguale alla profondità di moto uniforme che il programma calcola per ciascuno dei profili. In questo caso si deve inserire la pendenza della linea dei carichi totali, che può essere approssimata mediante la pendenza del tratto nel canale a monte;
4. **Rating Curve:** in questo caso occorre inserire una serie di valori noti di altezza d'acqua e delle relative portate. La condizione al contorno, per ciascun profilo, viene ottenuta interpolando le altezze d'acqua della scala di deflusso per il corrispondente valore di portata.

Nel nostro caso come condizione al contorno, sia di monte che di valle, si è imposta l'altezza critica.

Nel modello si sono tenute opportunamente in conto le confluenze, schematizzando il reticolo attraverso rami e nodi, rappresentati, rispettivamente, da “*Reach*”, relativi alle singole aste “*River*”, e da “*Junction*”. Tale assunto poiché le sezioni di inizio e di fine modellazione sono state scelte in maniera tale da assicurare che il regime idraulico che vi si instaura risulti ininfluenza sulla significatività dell'analisi nei tratti di interesse.

Le condizioni iniziali considerate, come prima definito, sono quelle di moto stazionario con portata di piena costante per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, attribuendo, ancora a vantaggio di sicurezza, le portate calcolate rispetto alle sezioni di chiusura dei vari bacini, alle sezioni iniziali dei diversi tratti di aste fluviali, ovvero nei tronchi a monte rispetto alle sezioni di calcolo.

Il tutto risulta evidente consultando i report del modello di calcolo allegati.

4.6 Sintesi dei risultati

Nell'allegato si mostrano le risultanze della modellazione idraulica monodimensionale di moto permanente lungo gli alvei indagati, da cui è possibile verificare i livelli idrici nelle diverse sezioni. Nello specifico, si riporta la restituzione del tracciato studiato con l'ubicazione delle sezioni rilevate, il profilo di moto permanente, i tiranti idrici raggiunti in ciascuna sezione e la tabella riassuntiva riportanti le grandezze idrauliche rilevanti.

A tal proposito si precisa che, ove le sezioni morfologiche dell'asta e delle fasce di territorio contermini strettamente rilevate ed acquisite nel modello idraulico, ad una prima girata del codice di

calcolo, fossero risultate di estensione insufficiente al contenimento del tirante idrico ingenerato dalla propagazione delle piene, sulla base dei rilievi aerofotogrammetrici disponibili, ed in maniera tale da non comprometterne la georeferenziazione, le stesse sezioni sono state estese, in destra ed in sinistra, sino a distanza tale che le quote terminali ricomprendessero detti tiranti.

Negli elaborati grafici allegati sono state rappresentate le aree di allagamento connesse agli eventi di riferimento, con tempi di ritorno pari 200 anni, restituite tramite l'utilizzo dell'estensione GIS Post-Ras ed interpretati sulla geomorfologia desunta dai dati dei rilievi aerofotogrammetrici.

Dalla lettura dei dati prodotti nelle diverse fasi di analisi e, in maniera immediata, osservando gli ultimi stralci cartografici in cui si riportano i risultati complessivi dello studio fornito, ovverosia la mappa delle aree di impronta del passaggio delle piene a 200 anni nelle zone in esame, è possibile rendere le seguenti constatazioni:

- i tratti di impluvio indagati, bene si prestano a rendere la necessaria significatività alle modellazioni idrauliche effettuate;
- non si verificano zone di allagamento significative in corrispondenza del transito delle citate piene di riferimento

Sovrapponendo l'impianto eolico in progetto con le aree allagabili, definite attraverso gli studi, si evidenzia quanto in appresso elencato:

- la strada di accesso alla WTG07 rientra in area allagabile;
- la strada di accesso alla WTG27 è esterna alle aree allagabili;
- la stazione condivisa è esterna alle aree allagabili;
- il cavidotto interno ed il cavidotto esterno, interrati, attraversano in più punti reticoli idrografici.

5 ADEGUAMENTI PROGETTUALI E RELATIVE VERIFICHE

5.1 Viabilità a servizio dell'aerogeneratore WTG07

Per la viabilità a servizio dell' aerogeneratore 07 è stata prevista la posa in opera di adeguato manufatto di attraversamento.

All'attraversamento in progetto, al fine di garantire un franco di sicurezza di un metro rispetto al tirante calcolato alla sezione immediatamente a monte dello stesso relativo al transito della piena bicentenaria, sono state assegnate le dimensioni di cui alle seguente tabella, per garantire le condizioni di sicurezza idraulica al nuovo attraversamento, sarà necessario prevedere localmente, solo immediatamente a monte ed a valle dell'opera, un allargamento delle sezioni.

Progetto	Reach	River Station	H s.l.m. intradosso (m)	H ₂₀₀
Bacino WTG07	unico	305.7067	42.70	41.57

5.2 Attraversamenti e parallelismi del reticolo idrografico

Obiettivo del presente studio, come già scritto in premessa, è anche quello di individuare la migliore modalità per la quale l'intersezione dei cavidotti, nei punti indicati nella Tav.1820IGI08P con l'idrografia risulti ottimale sotto il duplice aspetto delle dinamiche ingenerate dai deflussi idrici e della relativa sicurezza infrastrutturale.

Al fine di evitare la realizzazione di opere che possano alterare la sicurezza idraulica post-operam, tutti gli attraversamenti verranno realizzati con la tecnica del *directional drilling*, che rientra nelle cosiddette tecniche *no dig*.

Tale tecnica si articola secondo tre fasi operative:

- 1) esecuzione del foro pilota: di piccolo diametro che si realizzerà mediante l'utilizzo dell'utensile fondo foro, il cui avanzamento all'interno del terreno è garantito dalla macchina perforatrice che trasmetterà il movimento rotatorio ad una batteria di aste di acciaio alla cui testa è montato l'utensile fresante. La posizione dell'utensile sarà continuamente monitorata attraverso il sistema di localizzazione;
- 2) trivellazione per l'allargamento del foro fino alle dimensioni richieste: una volta completato il foro pilota con l'uscita dal terreno dell'utensile fondo foro (exit point) verrà montato, in testa alla batteria di aste di acciaio, l'utensile per l'allargamento del foro pilota, di diametro superiore al precedente, e il tutto viene tirato verso l'impianto di trivellazione (entry point). Durante il tragitto di rientro del sistema di trivellazione, l'alesatore allargherà il foro pilota.

- 3) Tiro della tubazione o del cavo del foro: completata l'ultima fase di alesatura, in corrispondenza dell'exit point verrà montato, in testa alle condotte da posare già giuntate tra loro, l'utensile per la fase di tiro-posa e questo viene collegato con l'alesatore. Tale utensile ha lo scopo di evitare che durante la fase di tiro, il movimento rotatorio applicato al sistema dalla macchina perforatrice non venga trasmesso alle tubazioni. La condotta viene tirata verso l'exit point. Raggiunto il punto di entrata la posa della condotta si può considerare terminata.

In particolare l'attraversamento del reticolo avverrà in ogni punto ad una profondità di metri 2 dal fondo dell'alveo e le operazioni di scavo direzionale avverranno a partire da una distanza di 150 m dall'asse del compluvio in maniera tale da alterare il meno possibile le aree limitrofe classificate come pertinenza fluviale.

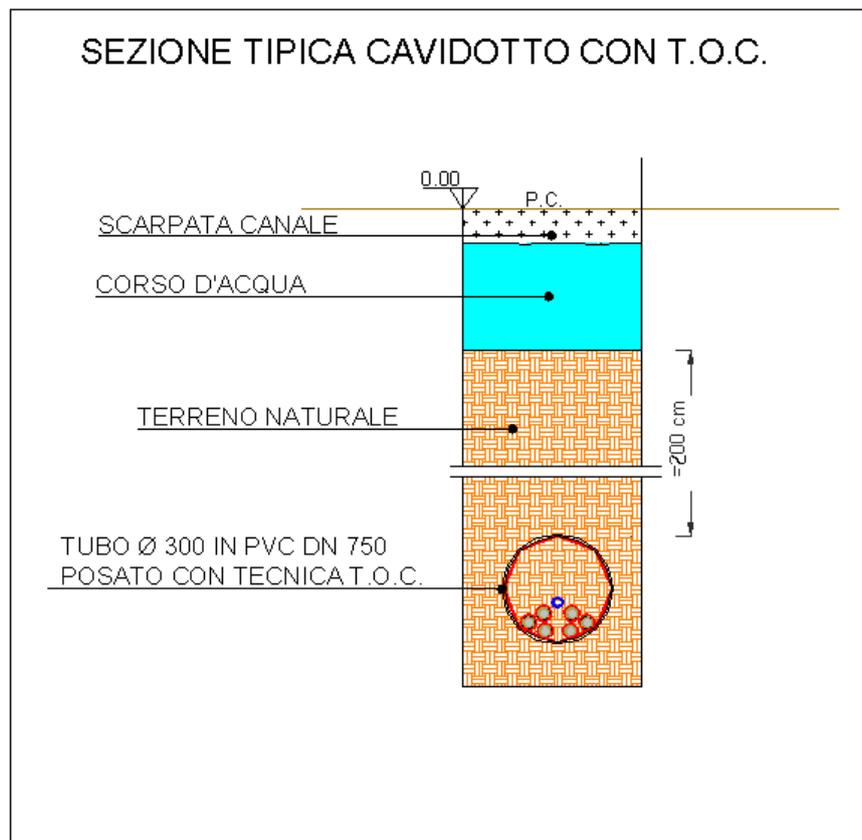


Figura 5

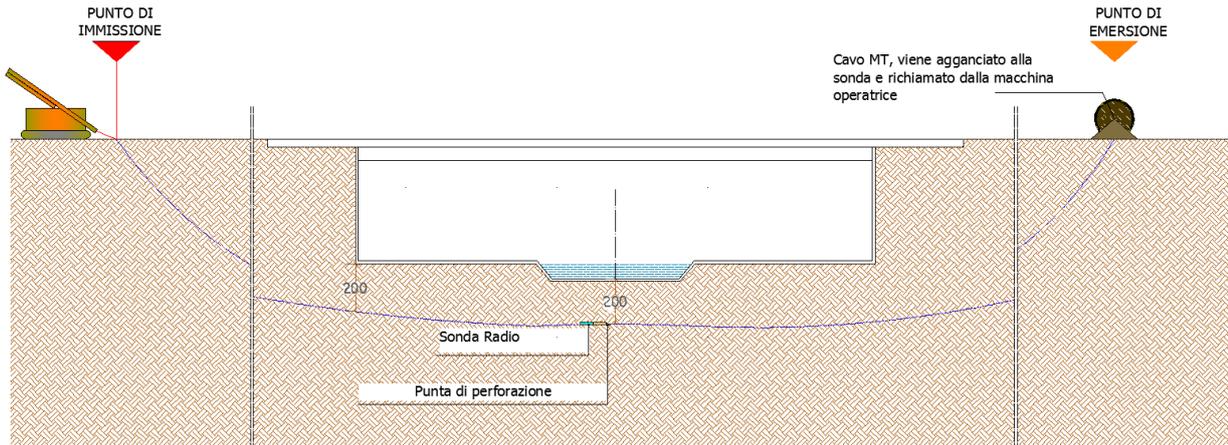


Figura 6

In merito alla possibilità di delocalizzare il cavidotto si fa presente che data l'ubicazione della sottostazione elettrica, il tracciato scelto risulta essere il più razionale in quanto si sviluppa interamente lungo viabilità esistente, fatto questo che permette di evitare pesanti modifiche del tessuto territoriale laddove questo è destinato ad altro uso (terreni agricoli, etc).

Per maggiori dettagli consultare la Tav. 1820IGI09A.

6 CONCLUSIONI

In rapporto all'assetto idraulico del territorio interessato dal "Progetto relativo alla costruzione ed all'esercizio dell'impianto di produzione di energia elettrica di tipo Eolico e delle relative opere connesse, sito nel Comune di Poggio Imperiale e Lesina", proposto dalla ditta **PARCO EOLICO SANT'AGATA Srl**, sono stati effettuati approfonditi studi di carattere morfologico, idrologico ed idraulico, per stabilire la conformità degli interventi in aree di alcune opere nelle fasce di pertinenza del reticolo, le eventuali interferenze con la viabilità esistente da adeguare e quelle con il cavidotto. Si è ritenuto opportuno procedere con modellazioni idrauliche di tipo monodimensionale con riferimento ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni ed estese sul reticolo idrografico della Carta I.G.M., volte a caratterizzare le relazioni che si possono stabilire tra le opere in progetto e l'assetto idraulico delle aree, in modo da renderli reciprocamente compatibili secondo quanto prescrive il criterio di conformità al PAI vigente in relazione alle condizioni di "sicurezza idraulica".

Gli studi condotti hanno interessato un ampio territorio, delimitando i bacini di studio in maniera tale da ricomprendere tutto il reticolo che potesse avere influenza sull'assetto idraulico delle aree di interesse e sulle opere previste.

Gli aerogeneratori, nella loro configurazione, non interferiscono con il reticolo idrografico e con le connesse aree di allagamento, mentre il cavidotto sarà posato con tecniche idonee per non alterare l'equilibrio del materiale costituente gli alvei, dove li attraversa, ed a profondità tale da non essere

interessato da fenomeni erosivi anche in rapporto a linee di deflusso non direttamente riconducibili alla cartografia di riferimento.

In sintesi, alla luce delle analisi e delle verifiche effettuate, nella nuova configurazione del parco, si sono delineate le seguenti conclusioni:

- per la strada di accesso alla WTG07 è stata prevista la posa in opera di adeguato manufatto di attraversamento che garantisce il transito della piena bicentenaria in condizioni di sicurezza idraulica;
- la strada di accesso alla WTG27 è esterna alle aree allagabili;
- la stazione condivisa è esterna alle aree allagabili;
- Il cavidotto attraversa in più punti le aree di transito della piena bicentenaria: le intersezioni con le aree allagabili connesse al reticolo idrografico tracciato su cartografia IGM saranno realizzate con tecnica T.O.C.

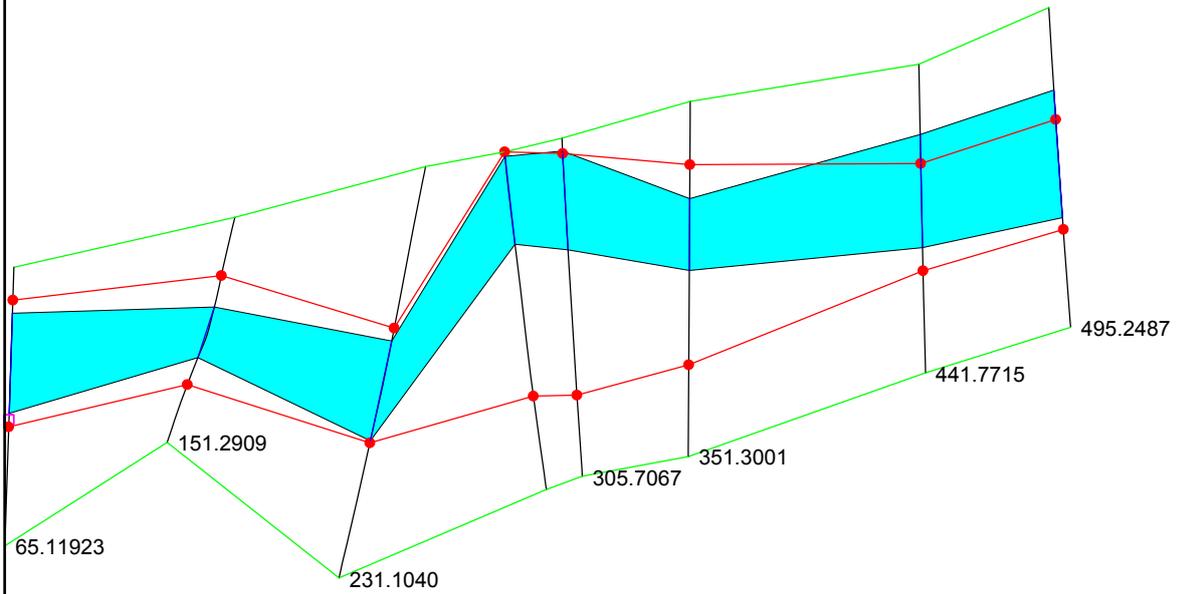
Pertanto, avendo riferito tutte le valutazioni agli eventi bicentenari, nella configurazione proposta, ad eccezione delle criticità evidenziate, l'impianto risulta essere in condizioni di "sicurezza idraulica".

9 PROGETTO HEC RAS VIABILITA' WTG27

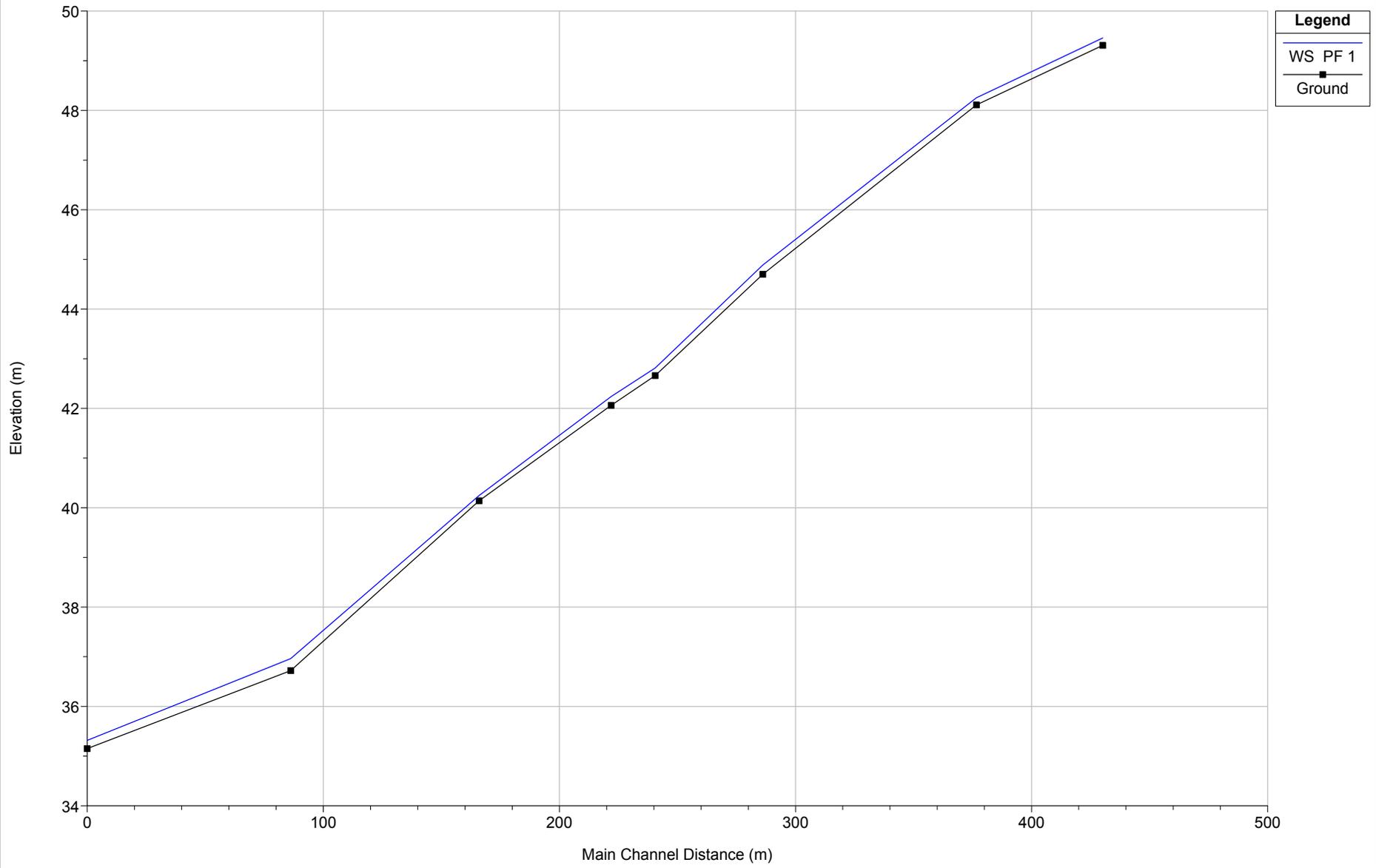
Strada WTG07 Plan: Ante

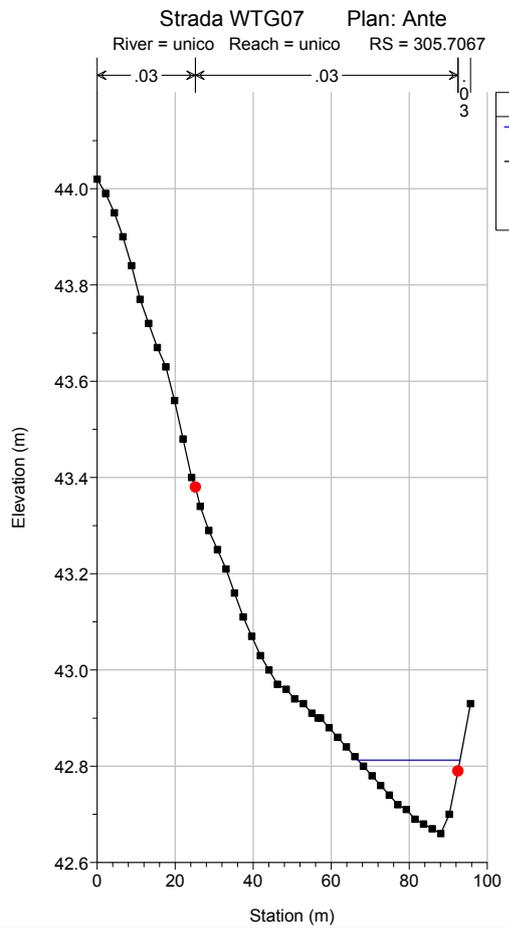
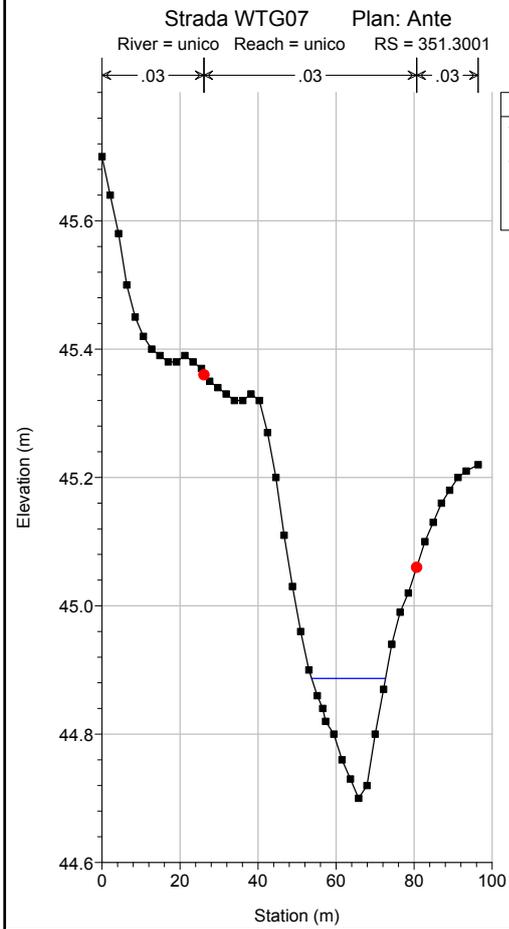
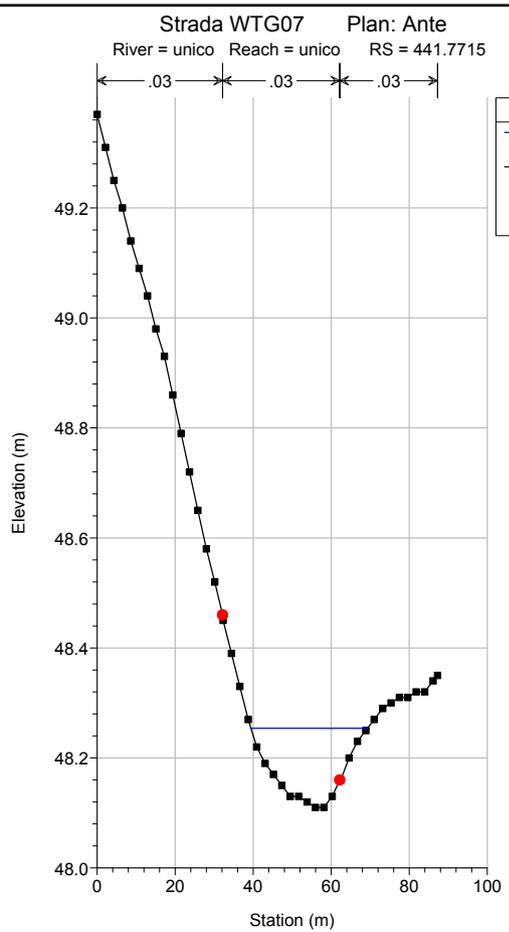
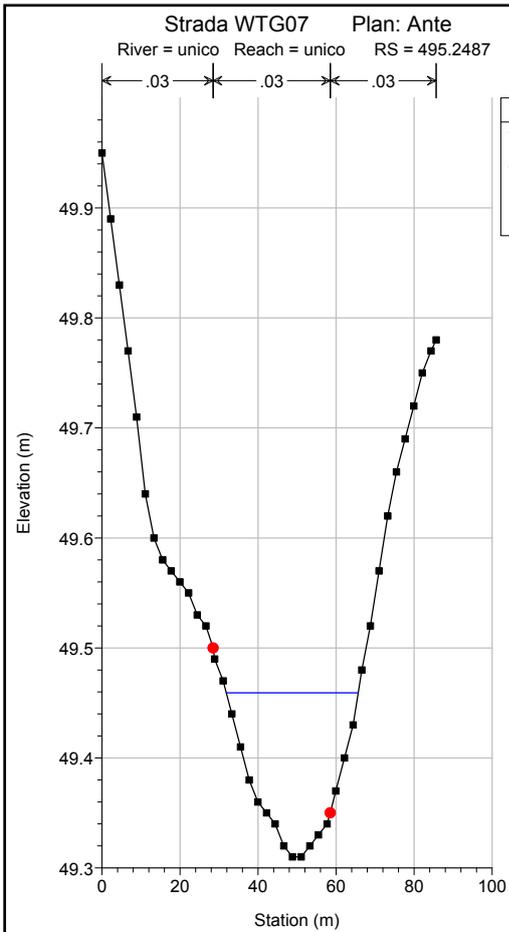
Legend

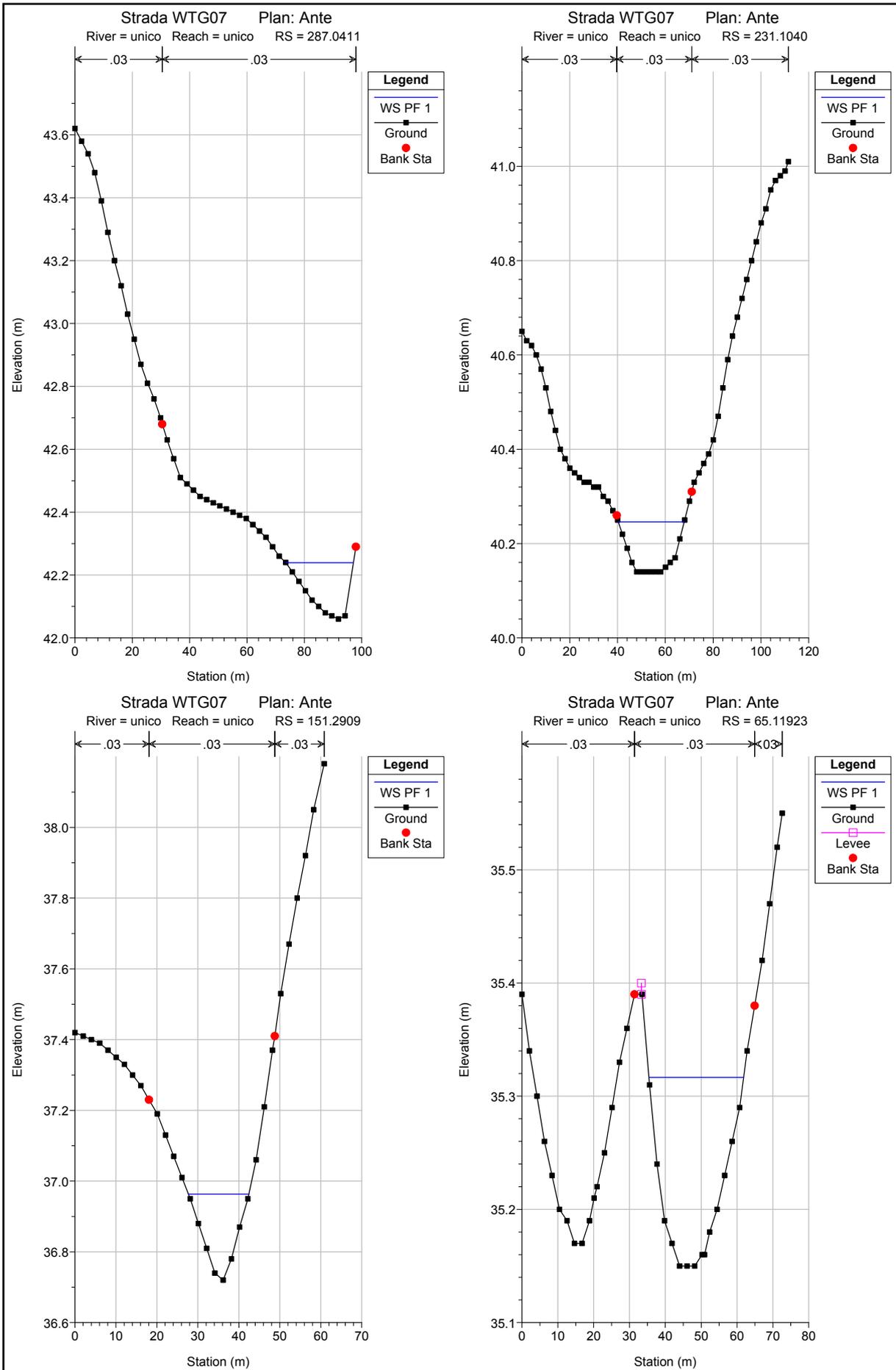
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta
- Levee



Strada WTG07 Plan: Ante







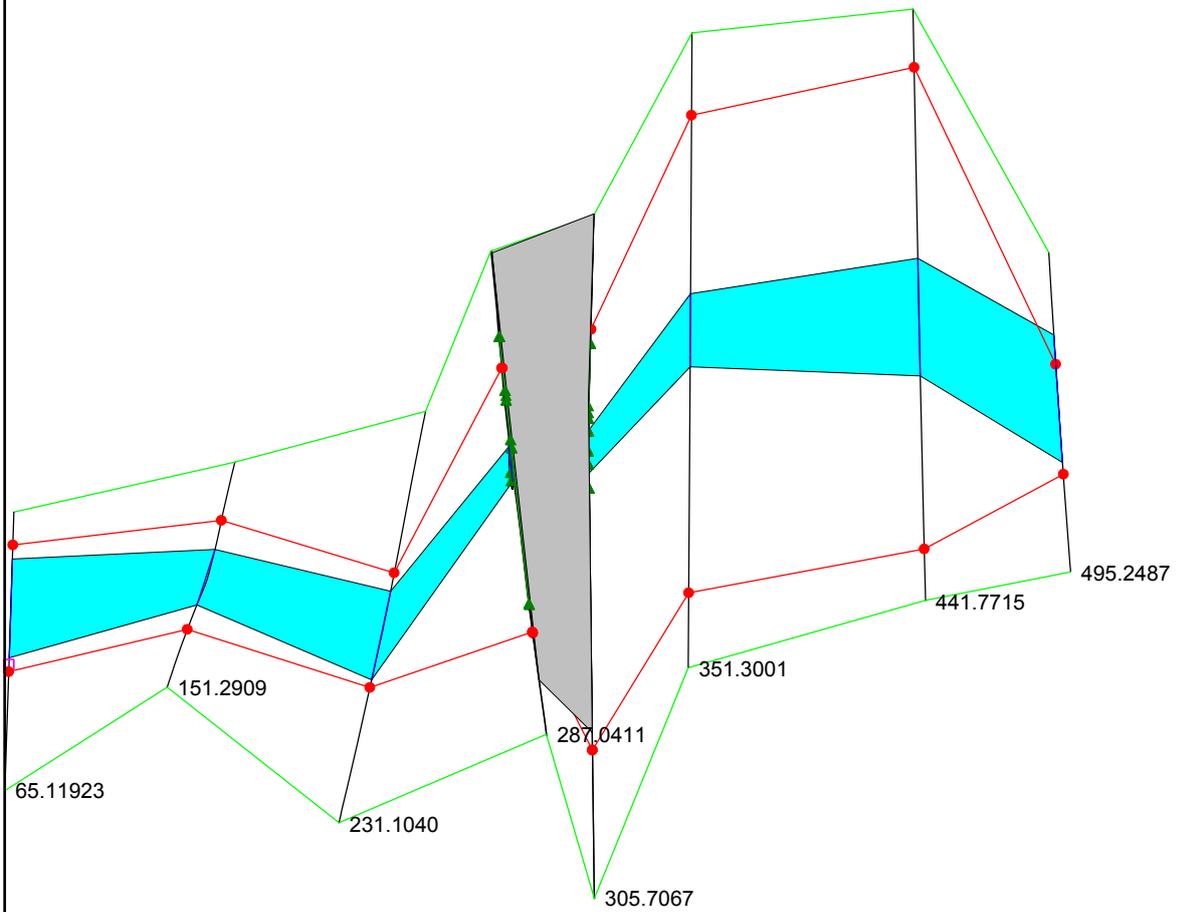
HEC-RAS Plan: Ante River: unico Reach: unico Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	495.2487	PF 1	3.14	49.31	49.46	49.46	49.51	0.018018	1.01	3.26	33.79	0.98
unico	441.7715	PF 1	3.14	48.11	48.25	48.27	48.33	0.027692	1.23	2.68	29.85	1.22
unico	351.3001	PF 1	3.14	44.70	44.89	44.93	45.02	0.050226	1.63	1.93	18.92	1.63
unico	305.7067	PF 1	3.14	42.66	42.81	42.84	42.91	0.042443	1.37	2.29	26.13	1.47
unico	287.0411	PF 1	3.14	42.06	42.24	42.25	42.31	0.024541	1.20	2.61	23.51	1.16
unico	231.1040	PF 1	3.14	40.14	40.25	40.28	40.35	0.054007	1.43	2.19	27.56	1.62
unico	151.2909	PF 1	3.14	36.72	36.96	37.00	37.09	0.031963	1.57	2.00	14.75	1.36
unico	65.11923	PF 1	3.14	35.15	35.32	35.32	35.37	0.018039	1.05	2.99	26.42	0.99

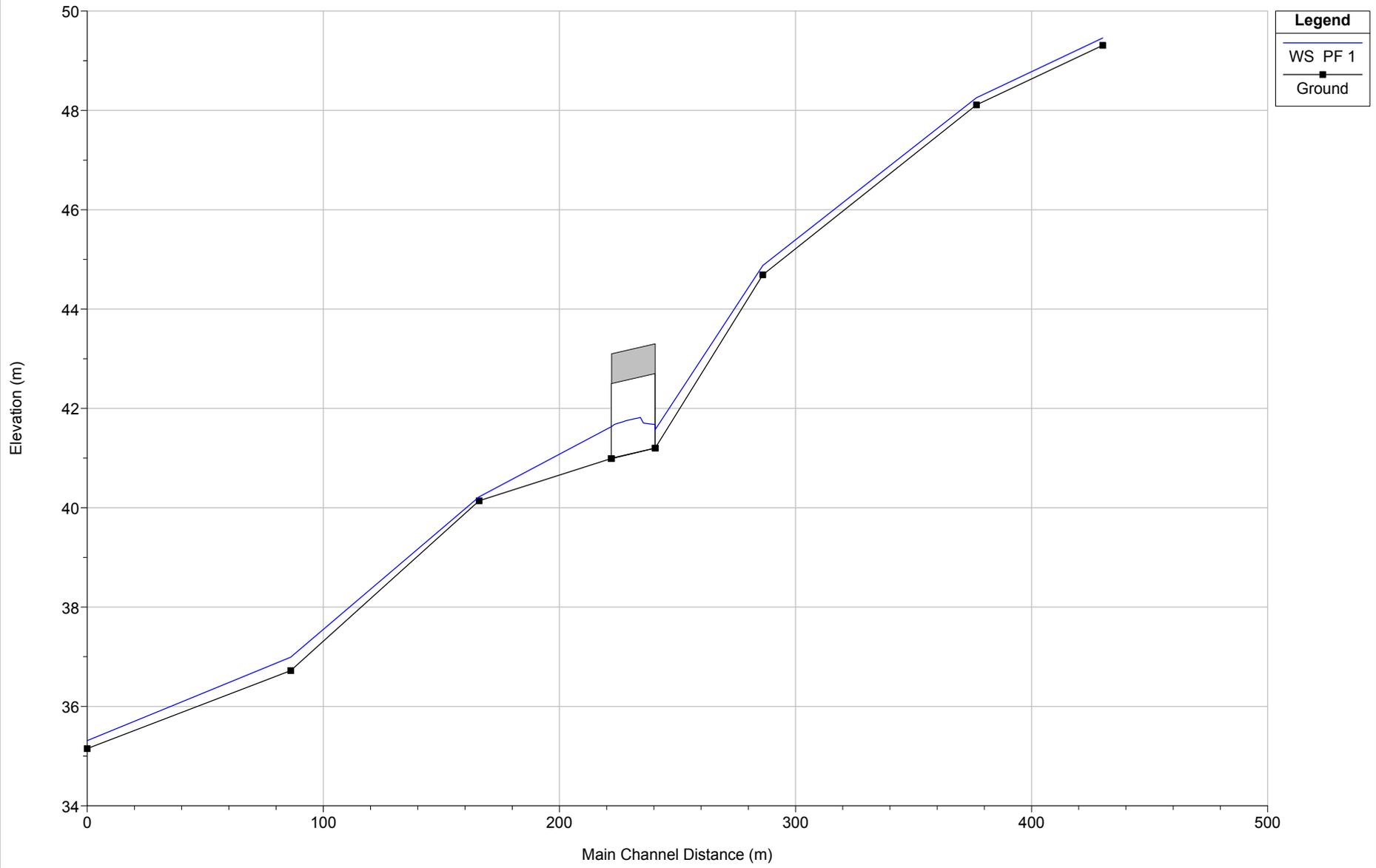
8 PROGETTO HEC RAS WTG07 POST

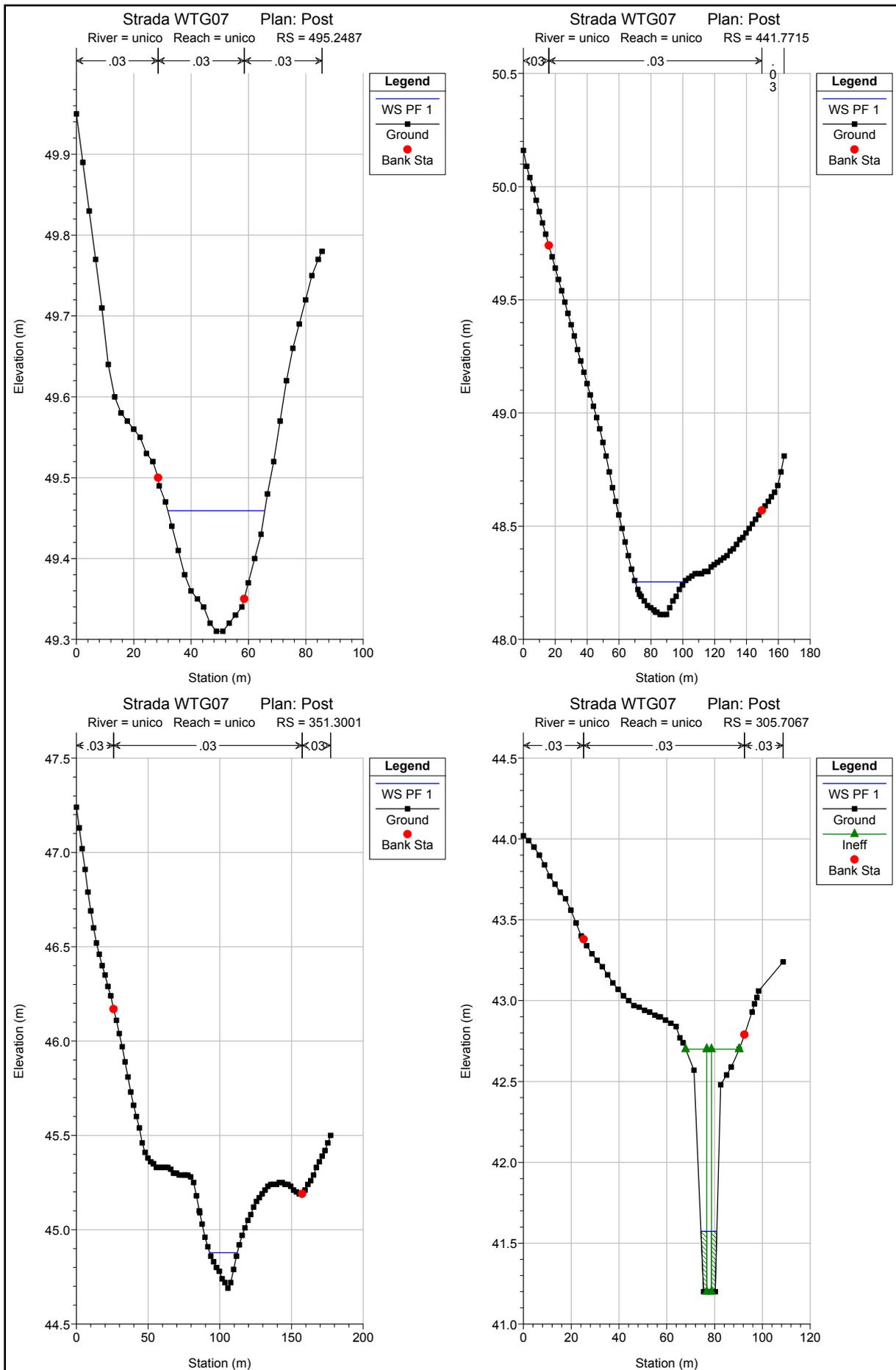
Strada WTG07 Plan: Post

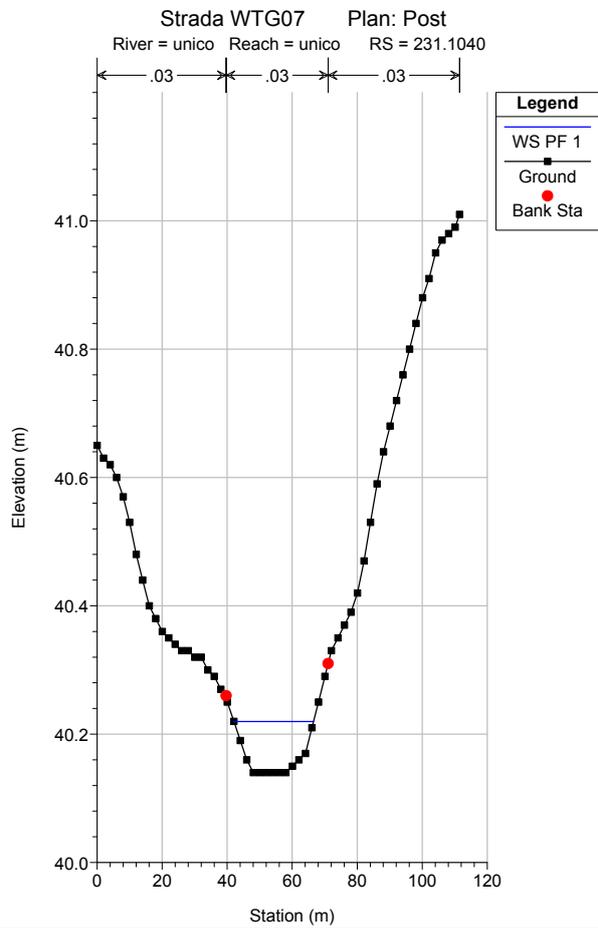
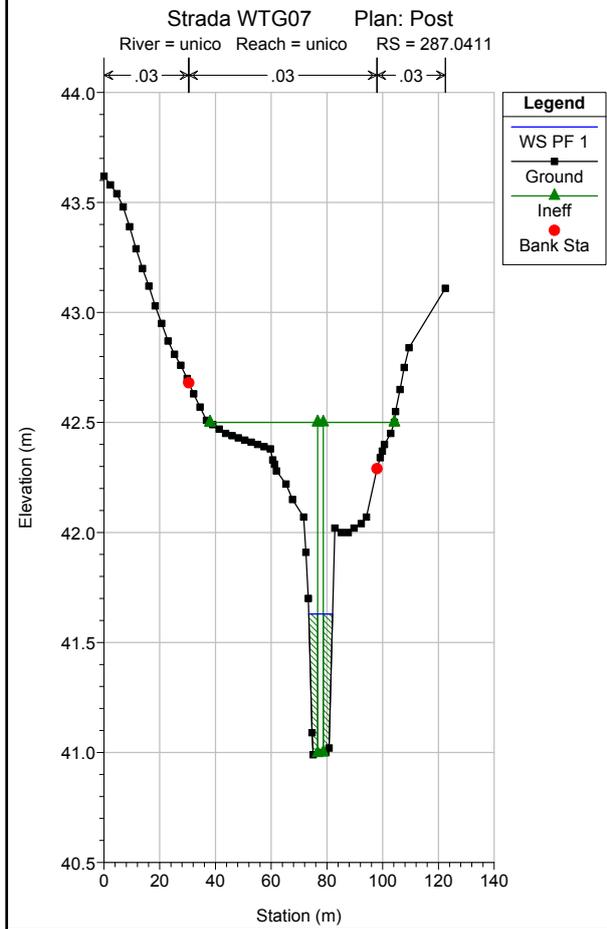
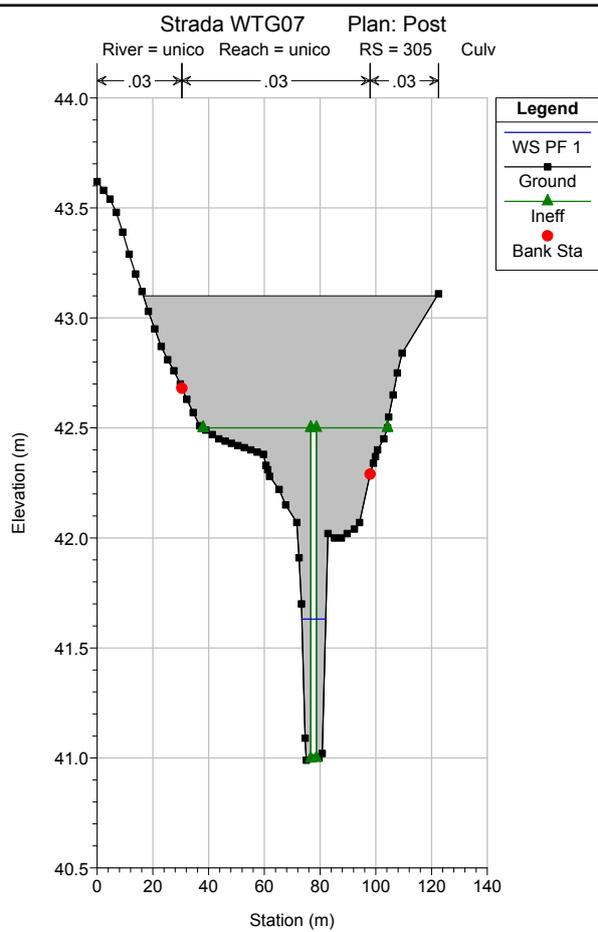
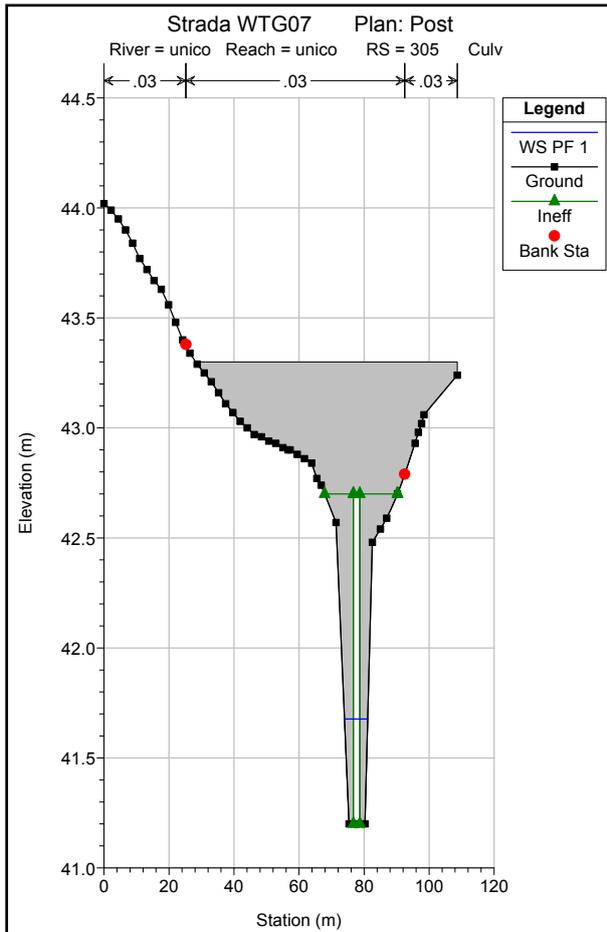
Legend	
	WS PF 1
	Ground
	Bank Sta
	Ineff
	Levee

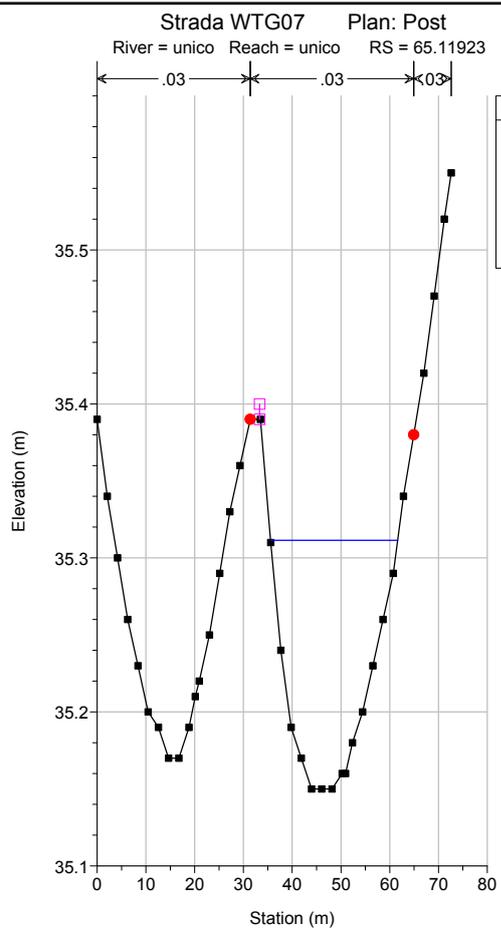
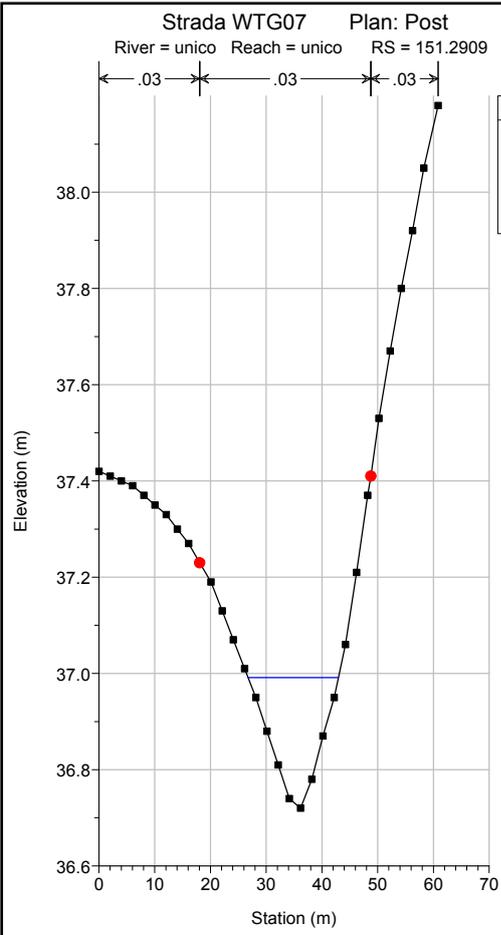


Strada WTG07 Plan: Post







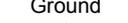


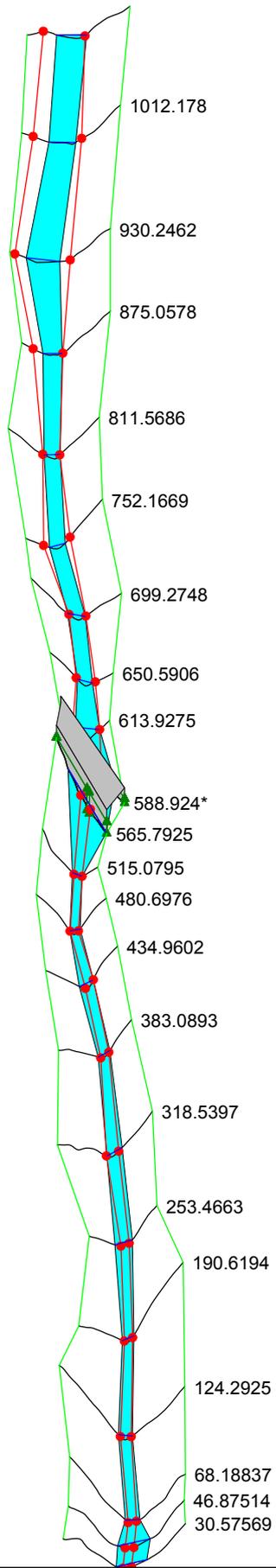
HEC-RAS Plan: Post River: unico Reach: unico Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	495.2487	PF 1	3.14	49.31	49.46	49.46	49.51	0.018018	1.01	3.26	33.79	0.98
unico	441.7715	PF 1	3.14	48.11	48.25	48.27	48.32	0.028167	1.12	2.79	31.04	1.20
unico	351.3001	PF 1	3.14	44.69	44.88	44.92	45.01	0.049147	1.61	1.95	19.28	1.61
unico	305.7067	PF 1	3.14	41.20	41.57	41.83	42.48	0.059378	4.21	0.75	6.64	2.20
unico	305	Culvert										
unico	287.0411	PF 1	3.14	40.99	41.63	41.63	41.95	0.010359	2.49	1.26	8.56	1.00
unico	231.1040	PF 1	3.14	40.14	40.22	40.28	40.44	0.161300	2.09	1.51	24.49	2.68
unico	151.2909	PF 1	3.14	36.72	36.99	37.00	37.08	0.018728	1.29	2.44	16.21	1.06
unico	65.11923	PF 1	3.14	35.15	35.31	35.32	35.37	0.020734	1.10	2.86	26.06	1.06

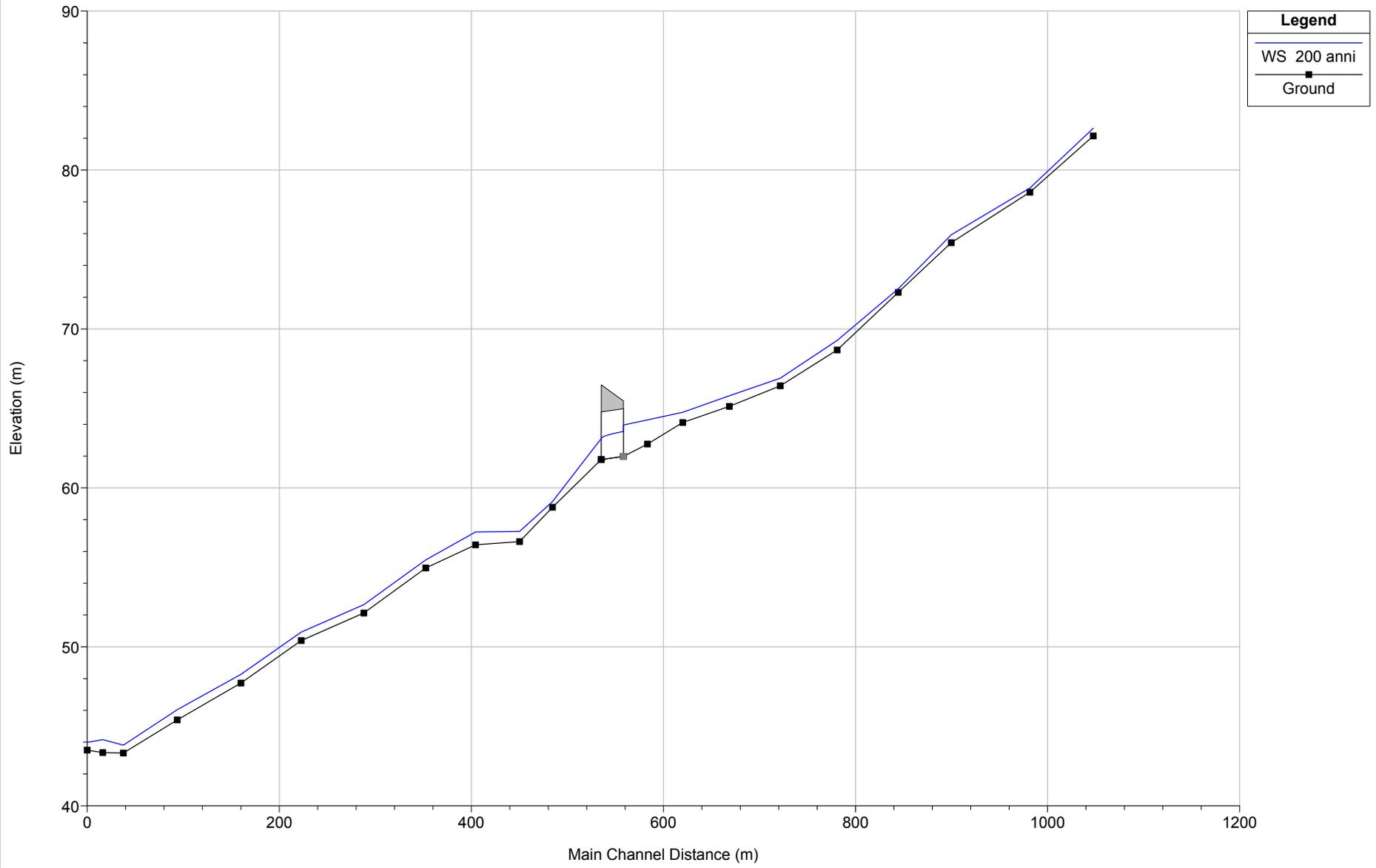
9 PROGETTO HEC RAS VIABILITA' WTG27

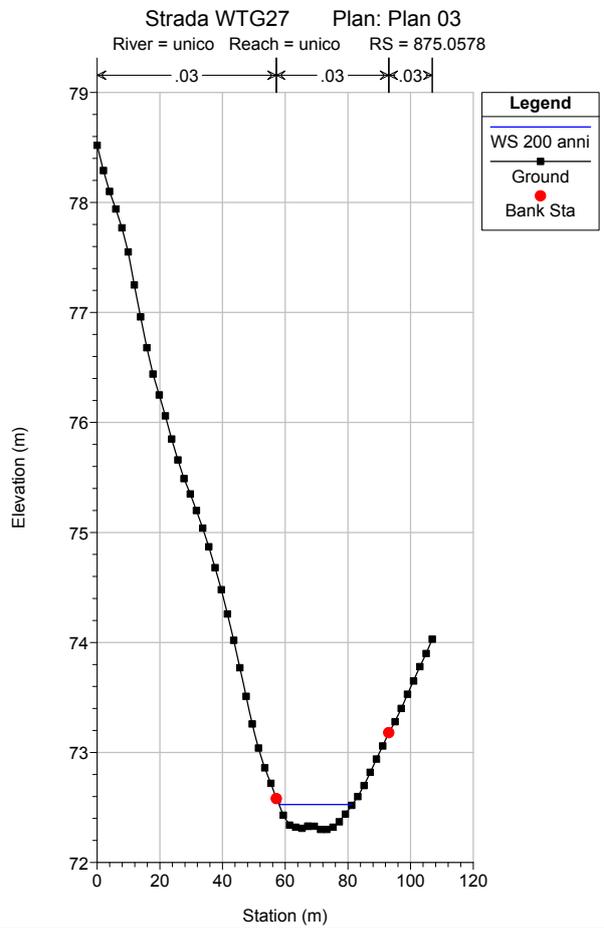
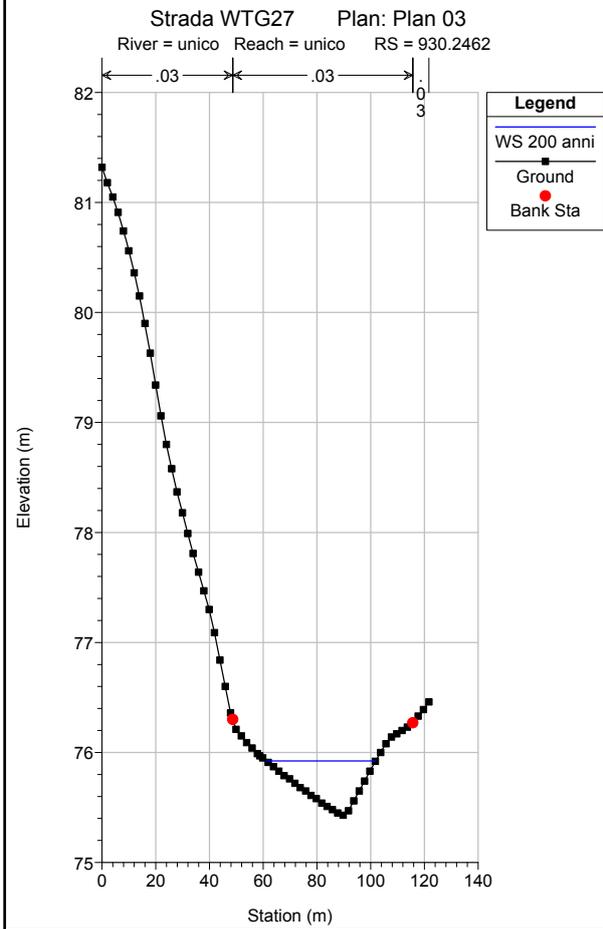
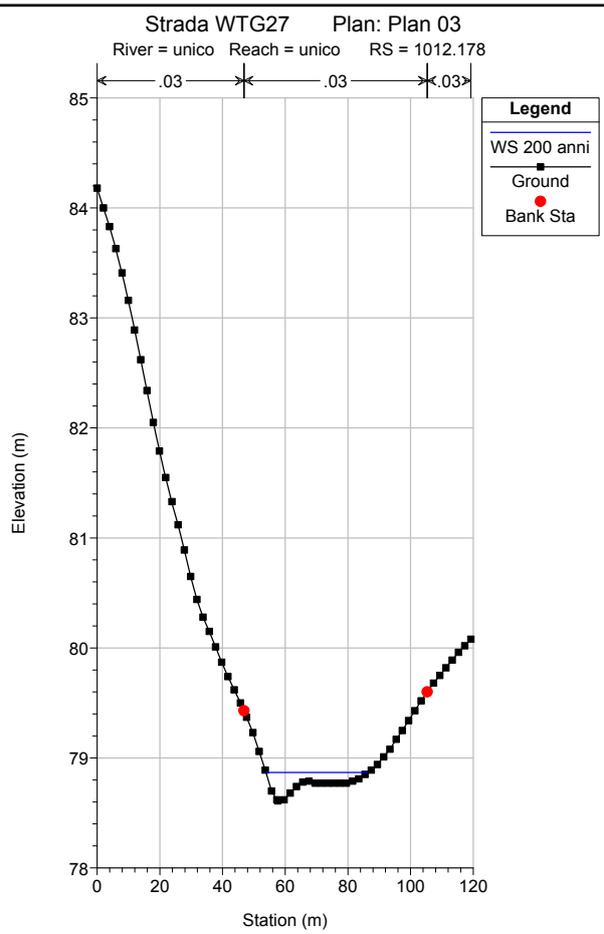
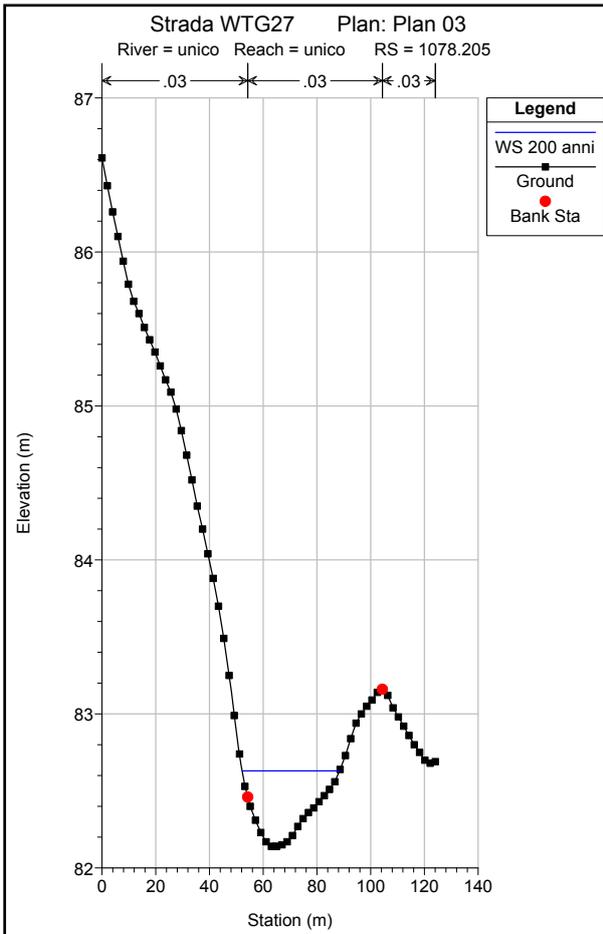
Strada WTG27 Plan: Plan 03

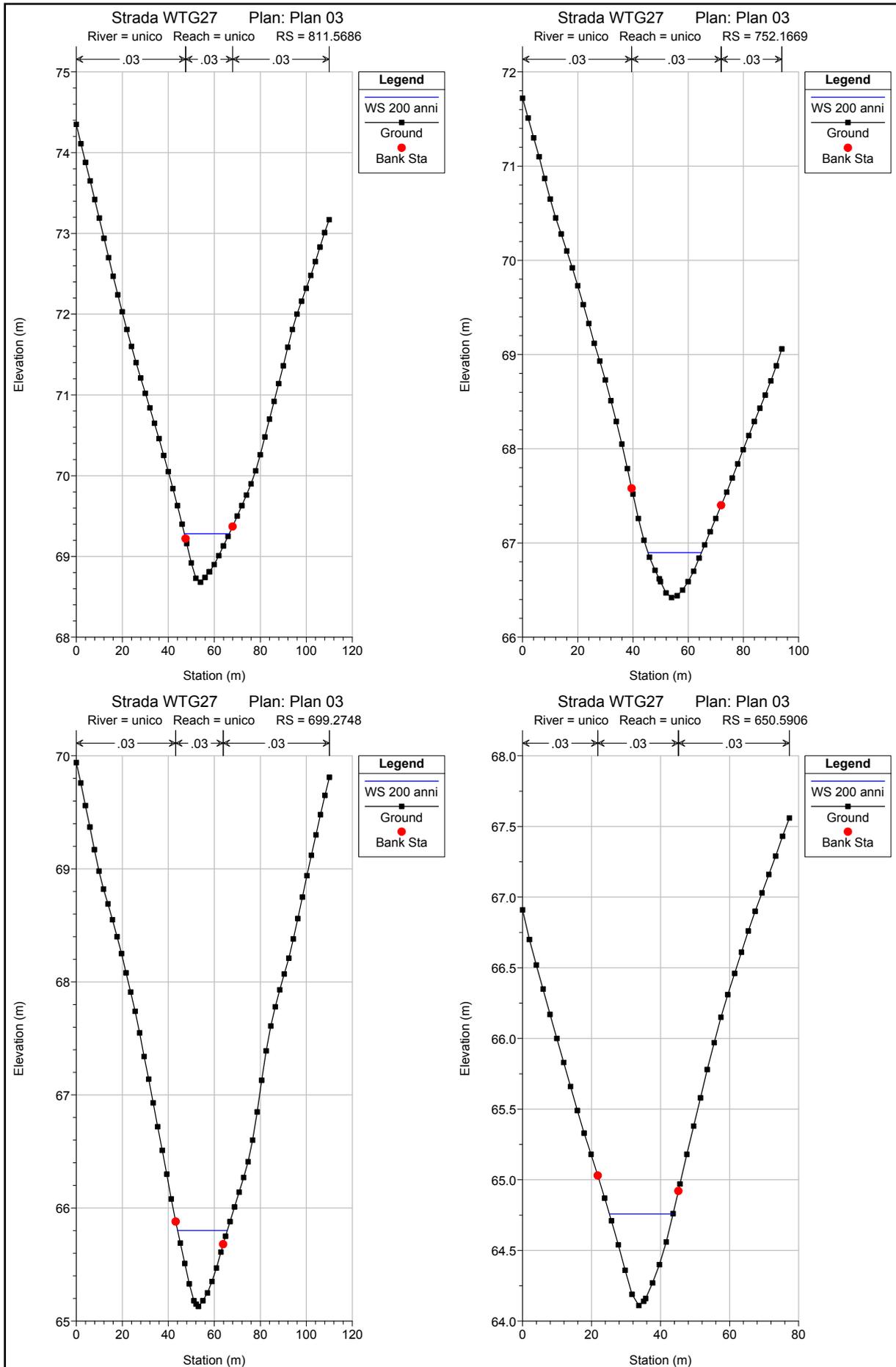
Legend	
	WS 200 anni
	Ground
	Bank Sta
	Ground
	Ineff

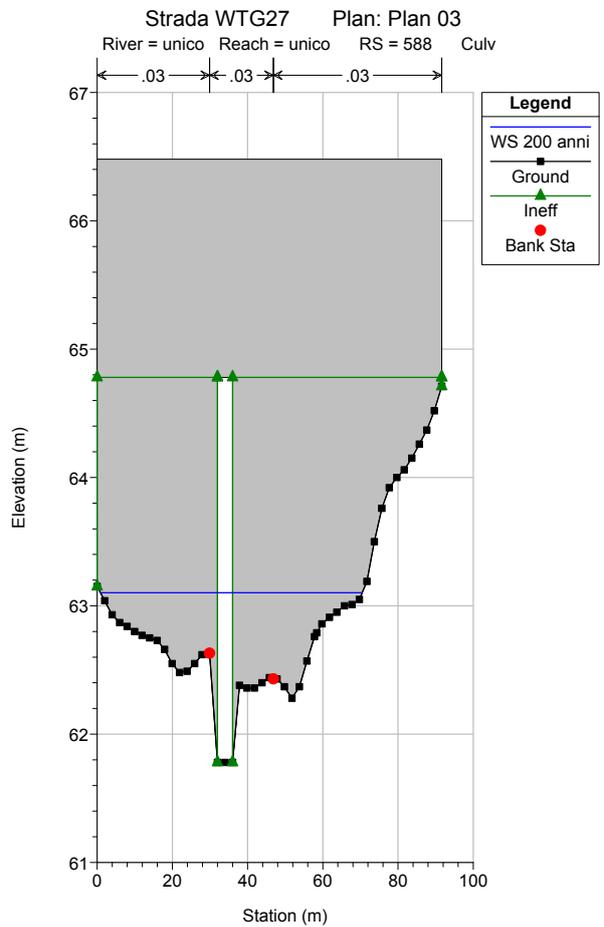
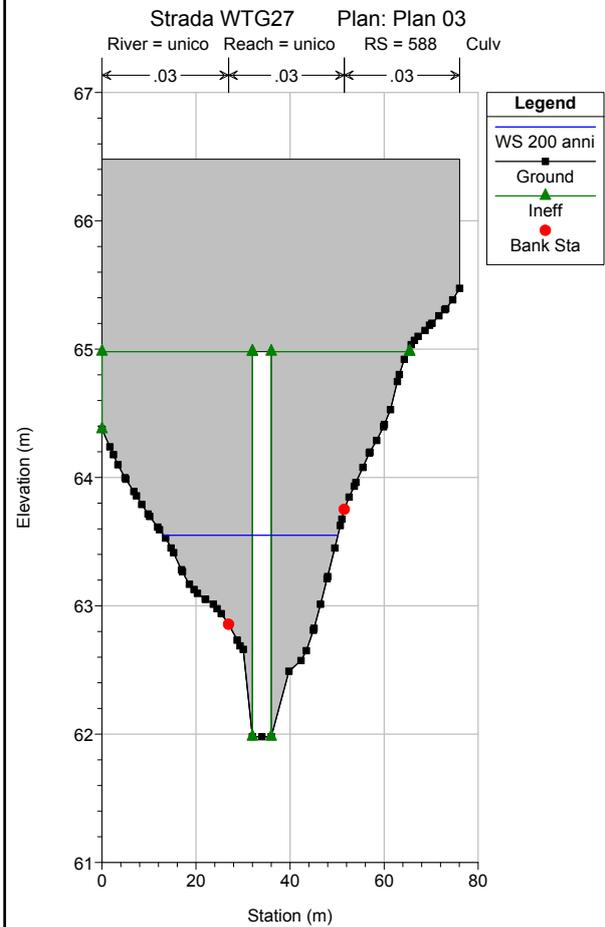
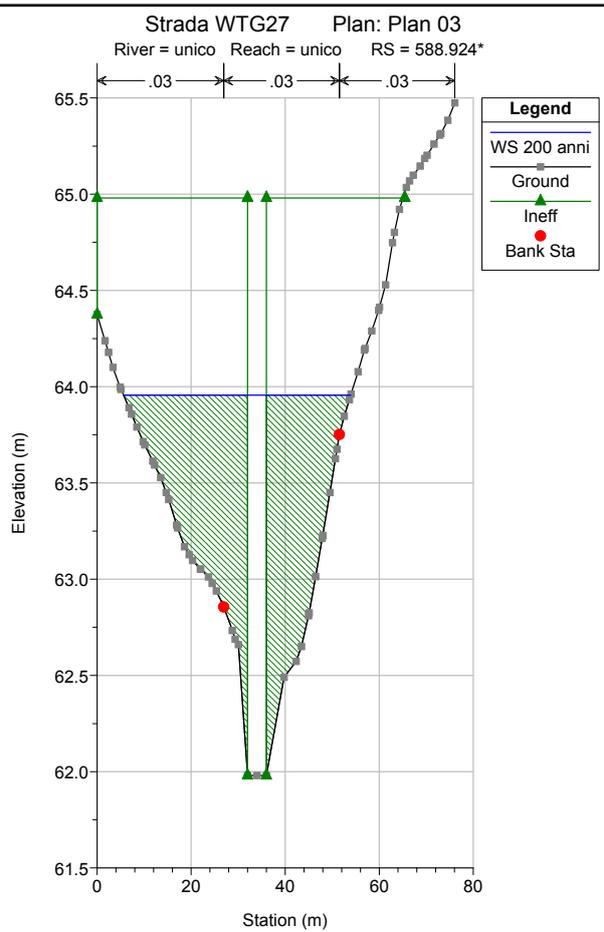
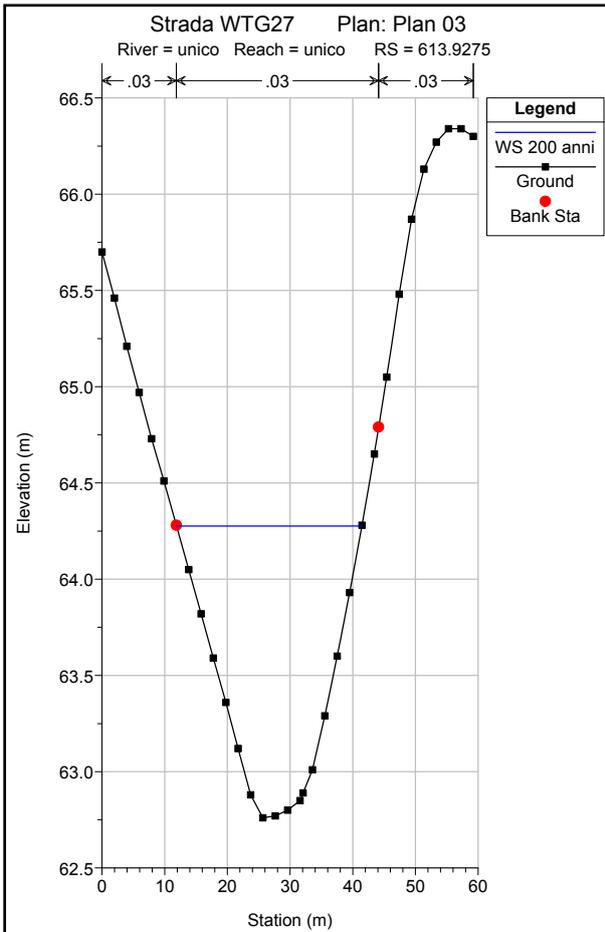


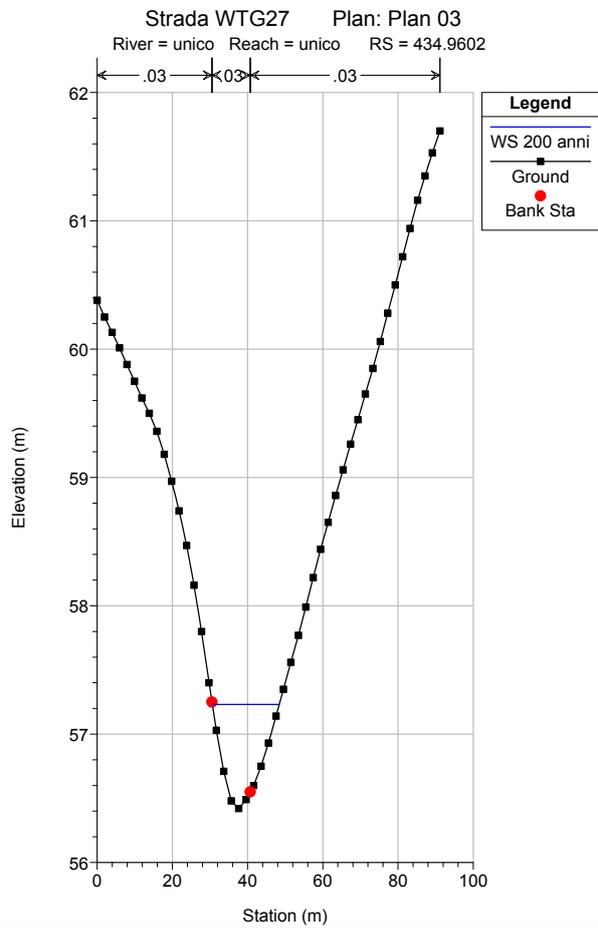
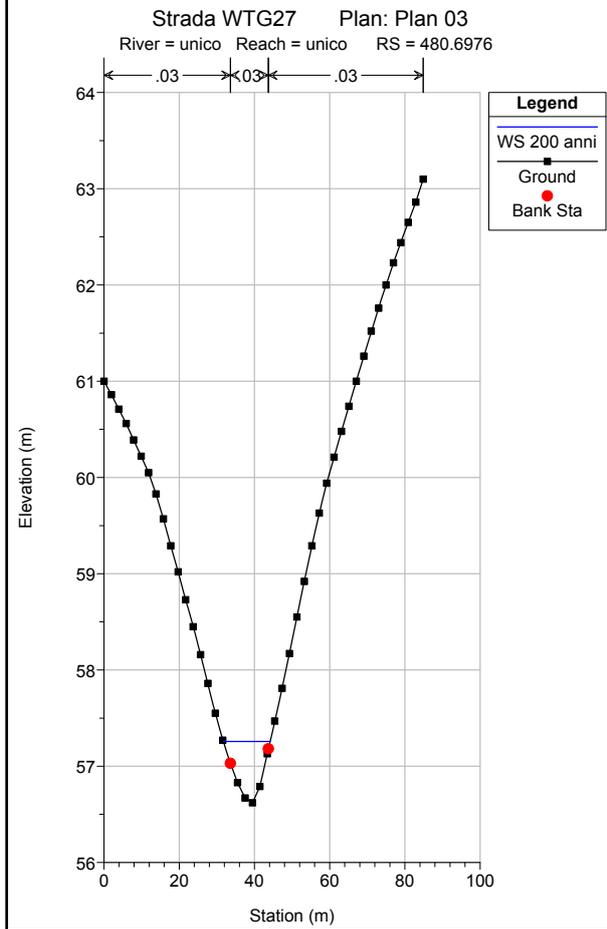
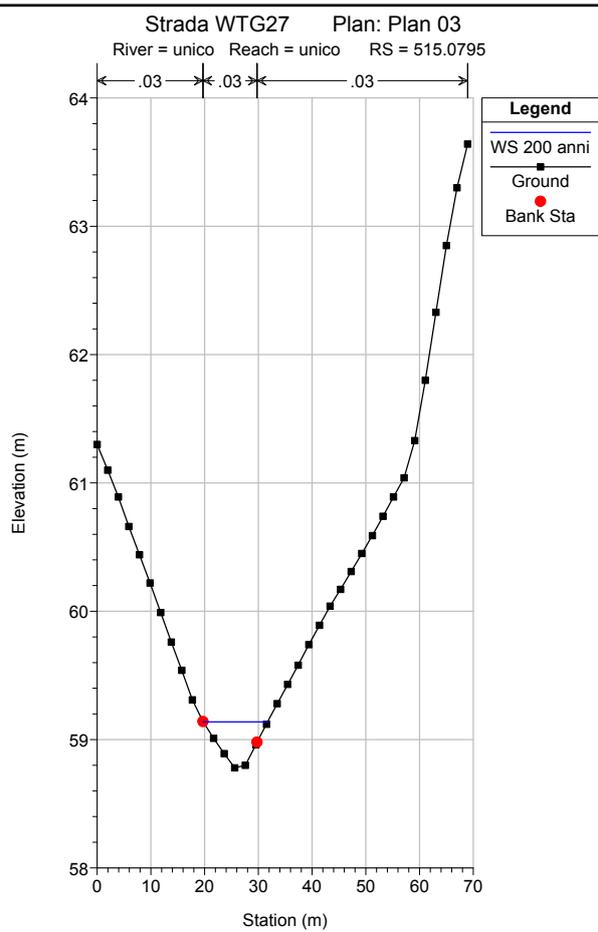
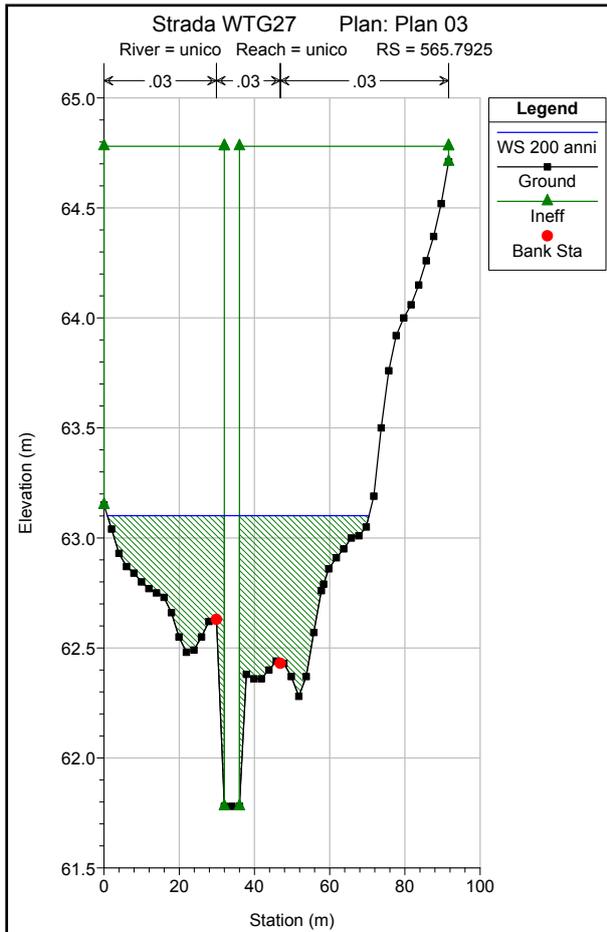
Strada WTG27 Plan: Plan 03

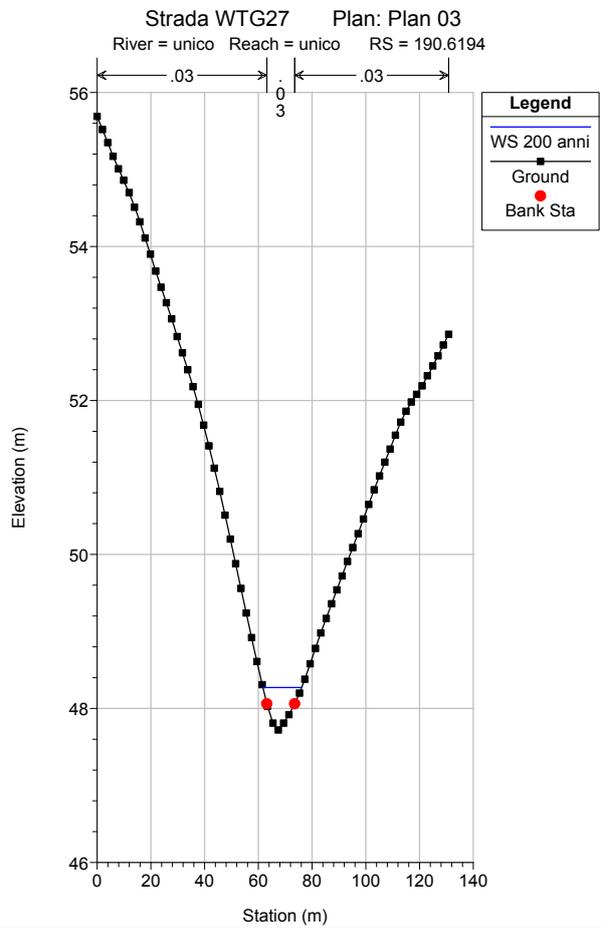
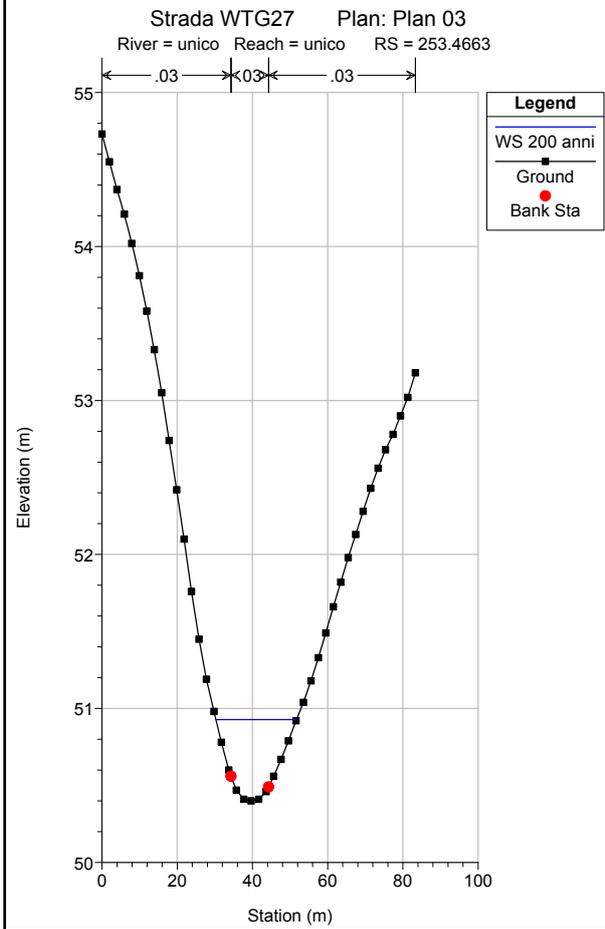
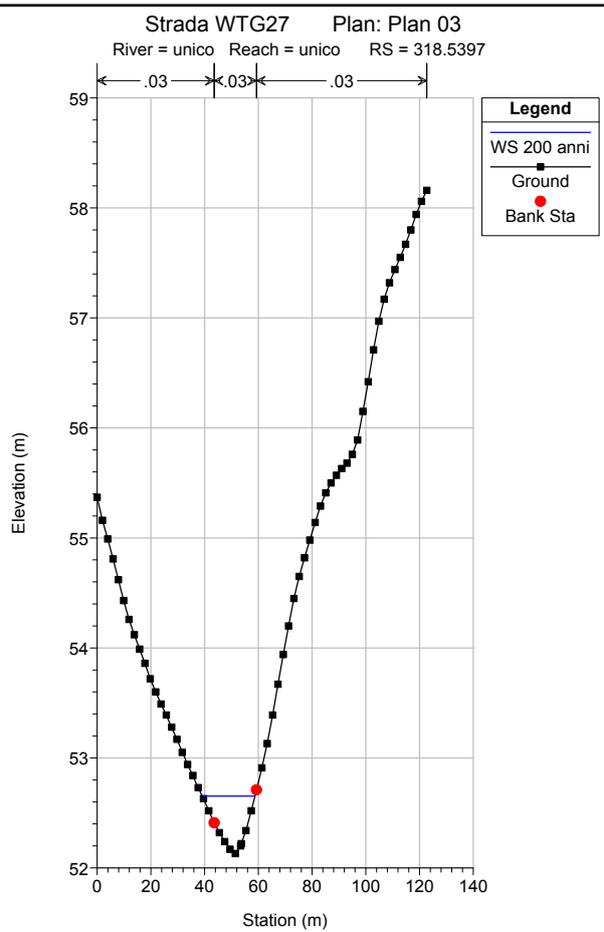
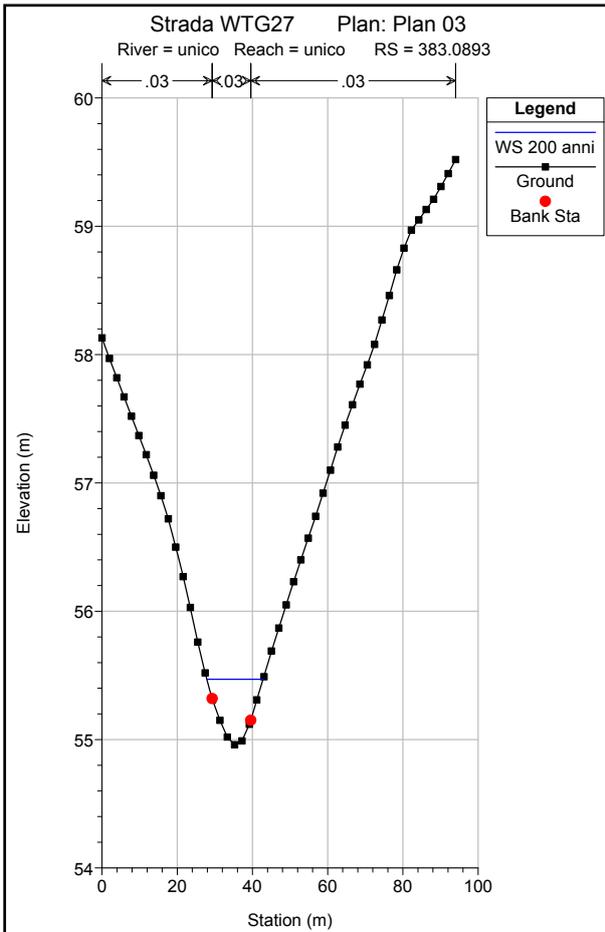


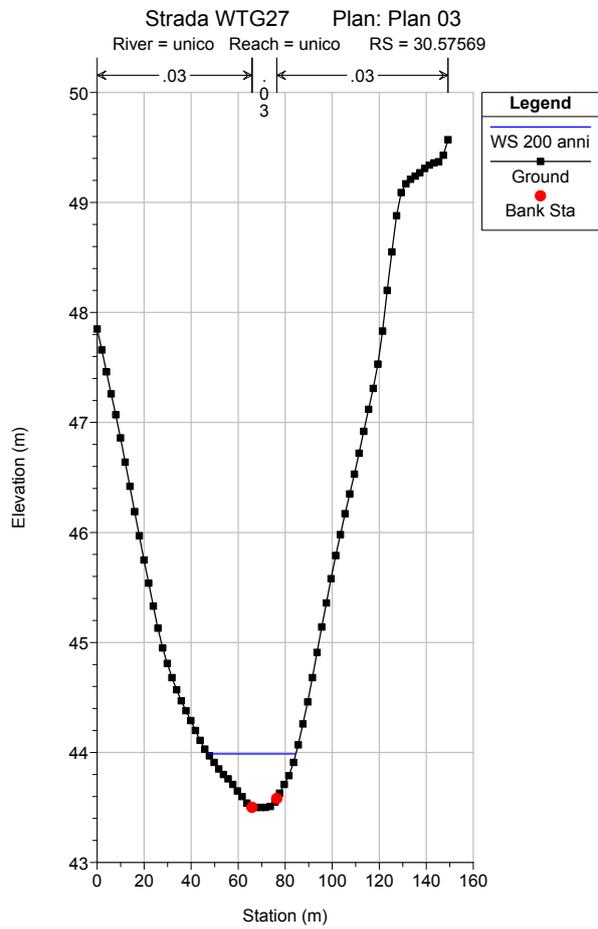
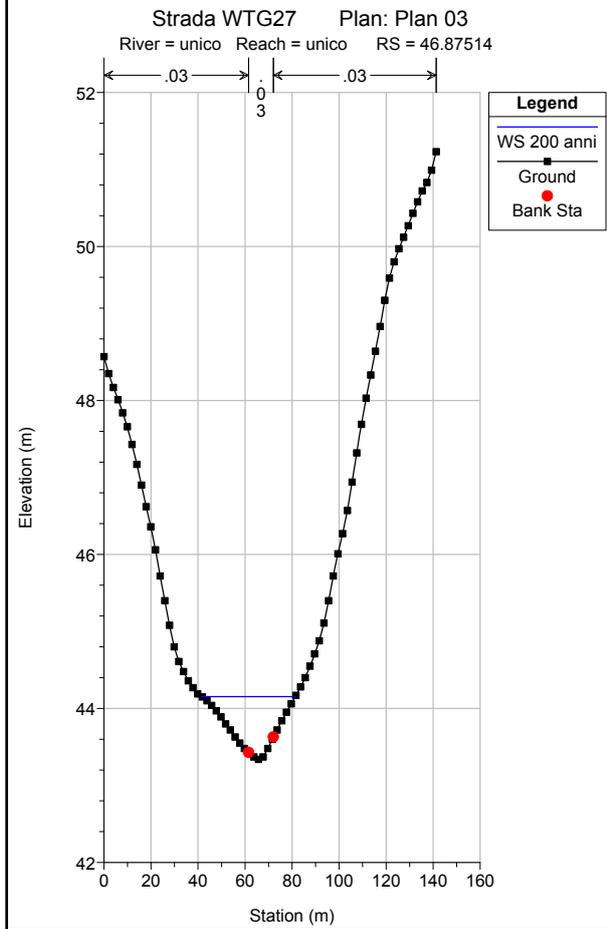
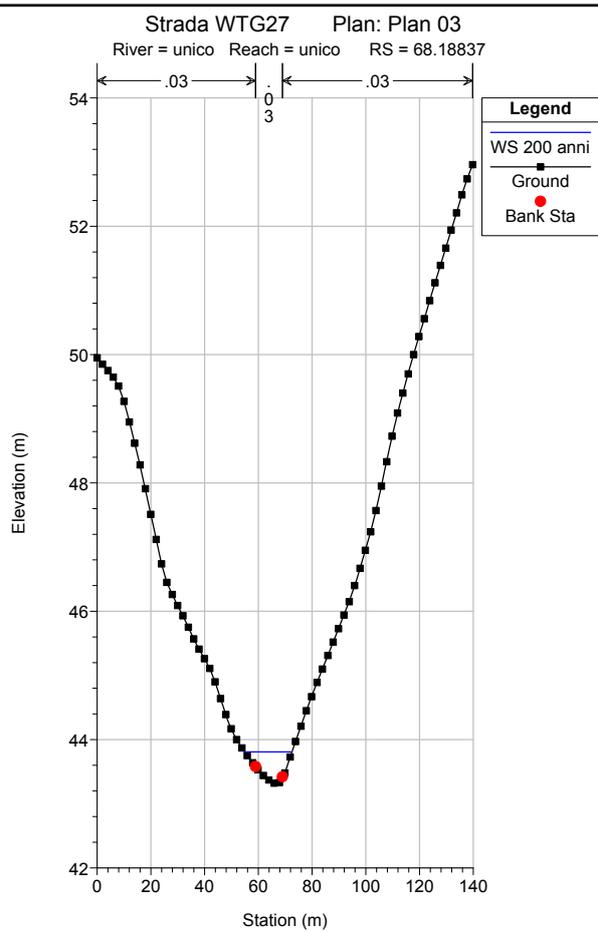
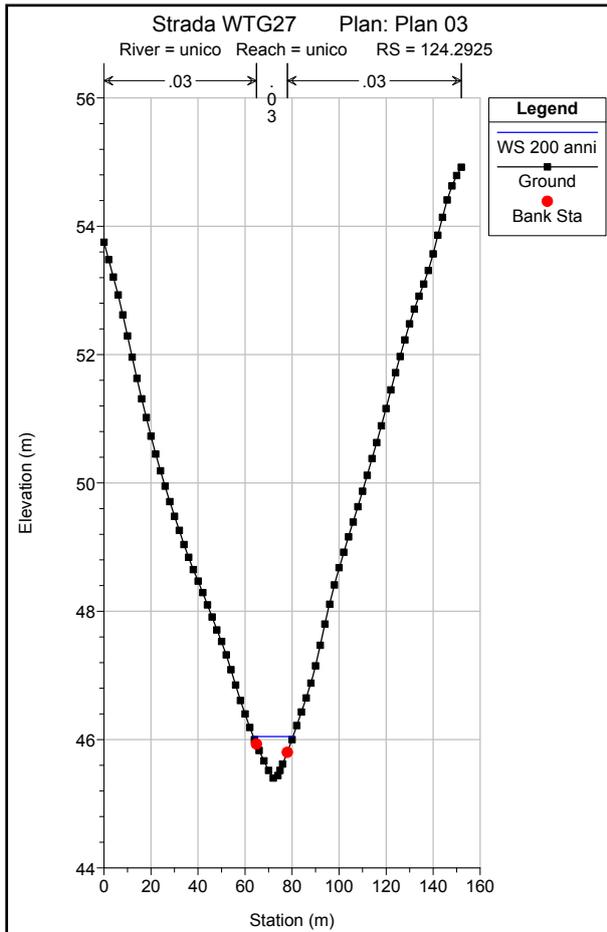












HEC-RAS Plan: Plan 02 River: unico Reach: unico Profile: 200 anni

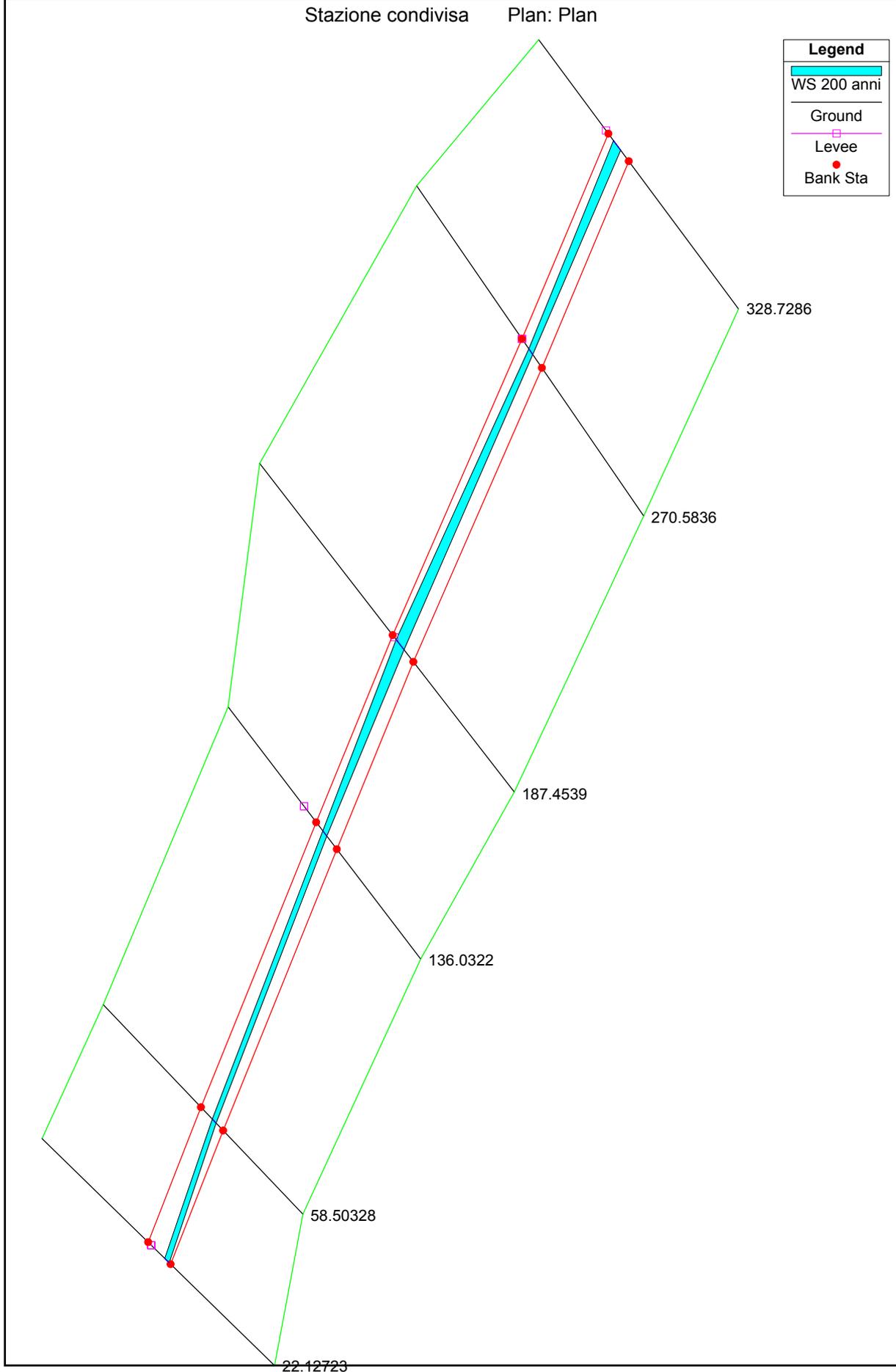
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	1078.205	200 anni	19.04	82.14	82.63	82.63	82.79	0.012945	1.76	10.95	36.16	1.00
unico	1012.178	200 anni	19.04	78.61	78.87	79.07	80.20	0.420029	5.11	3.73	32.44	4.81
unico	930.2462	200 anni	19.04	75.43	75.92	75.94	76.08	0.016488	1.77	10.78	40.64	1.09
unico	875.0578	200 anni	19.04	72.30	72.53	72.76	73.72	0.226257	4.84	3.93	23.30	3.76
unico	811.5686	200 anni	19.04	68.68	69.28	69.40	69.67	0.027171	2.78	6.86	19.48	1.48
unico	752.1669	200 anni	19.04	66.42	66.90	67.08	67.47	0.052432	3.36	5.66	19.35	1.98
unico	699.2748	200 anni	19.04	65.13	65.80	65.84	66.06	0.014523	2.26	8.49	21.57	1.11
unico	650.5906	200 anni	19.04	64.11	64.76	64.87	65.14	0.024845	2.74	6.95	18.42	1.42
unico	613.9275	200 anni	19.04	62.76	64.28	63.48	64.30	0.000467	0.69	27.71	29.57	0.23
unico	588.924*	200 anni	19.04	61.98	63.96	63.30	64.25	0.002105	2.41	7.90	48.33	0.55
unico	588	Culvert										
unico	565.7925	200 anni	19.04	61.78	63.10	63.10	63.76	0.008058	3.60	5.28	69.56	1.00
unico	515.0795	200 anni	19.04	58.78	59.14	59.56	62.26	0.398563	7.93	2.48	12.02	5.26
unico	480.6976	200 anni	19.04	56.62	57.26	57.52	58.11	0.045062	4.13	4.76	12.48	1.97
unico	434.9602	200 anni	19.04	56.42	57.23	57.23	57.48	0.010162	2.36	8.83	17.76	0.98
unico	383.0893	200 anni	19.04	54.96	55.47	55.73	56.37	0.057381	4.32	4.72	15.00	2.18
unico	318.5397	200 anni	19.04	52.13	52.65	52.82	53.20	0.039909	3.35	5.96	19.62	1.79
unico	253.4663	200 anni	19.04	50.40	50.93	51.05	51.32	0.021018	3.00	7.38	21.44	1.37
unico	190.6194	200 anni	19.04	47.72	48.27	48.54	49.21	0.057599	4.37	4.62	14.40	2.19
unico	124.2925	200 anni	19.04	45.40	46.05	46.20	46.55	0.027087	3.19	6.21	16.91	1.53
unico	68.18837	200 anni	19.04	43.32	43.81	44.03	44.55	0.047931	4.00	5.29	17.62	2.00
unico	46.87514	200 anni	19.04	43.34	44.15	43.97	44.23	0.002837	1.44	17.12	39.77	0.54
unico	30.57569	200 anni	19.04	43.50	43.99	43.99	44.14	0.010241	2.06	11.61	37.34	0.95

10 PROGETTO HEC RAS STAZIONE CONDIVISA

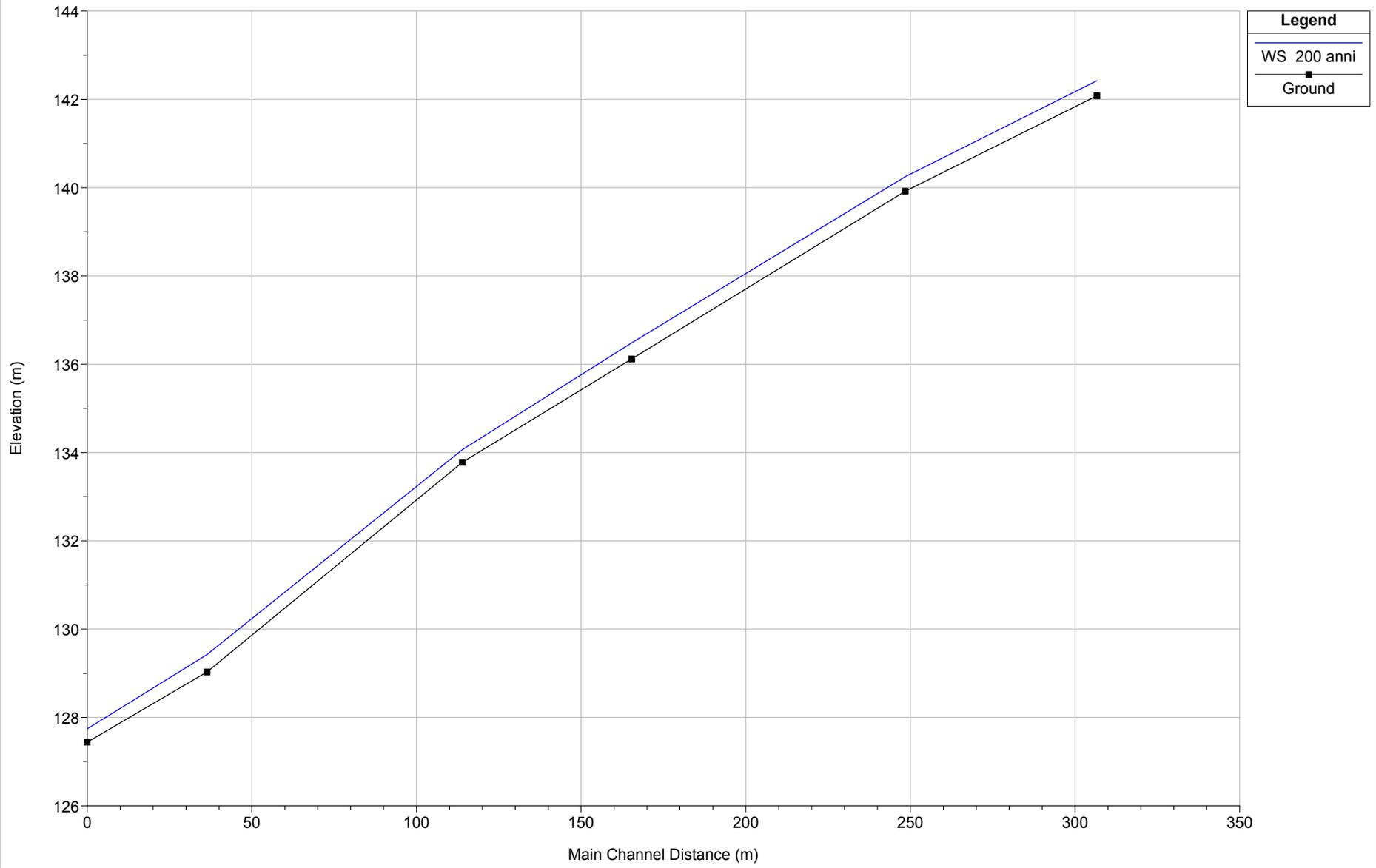
Stazione condivisa Plan: Plan

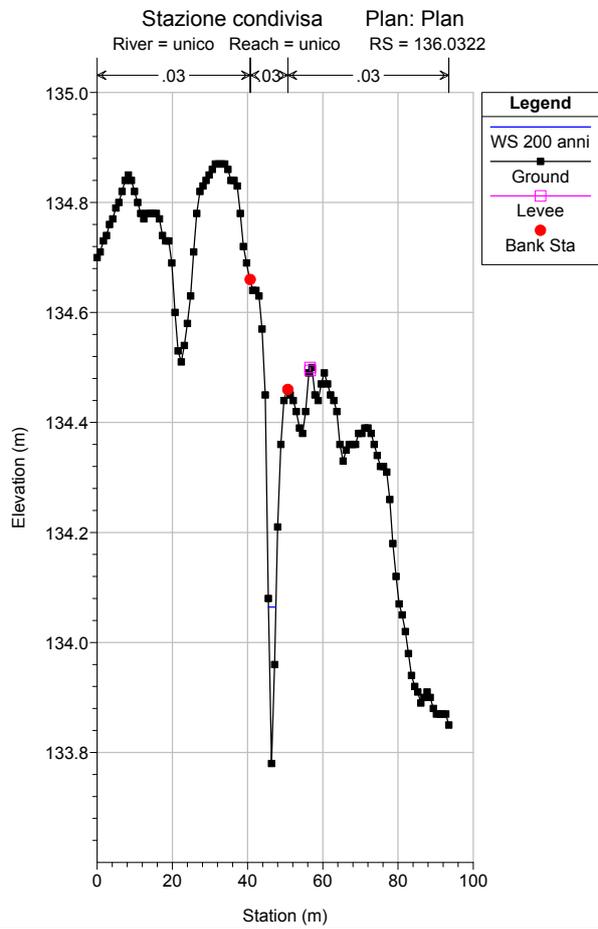
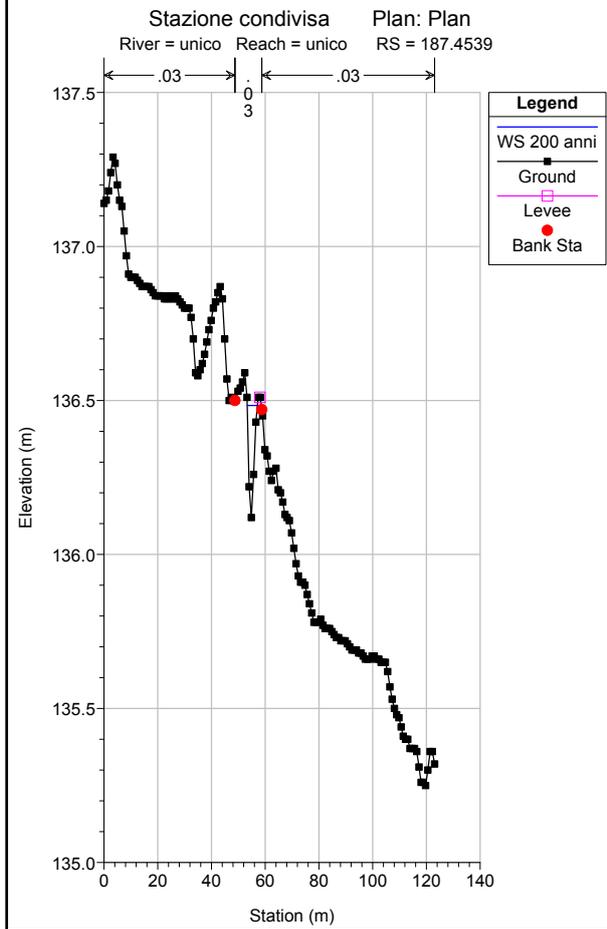
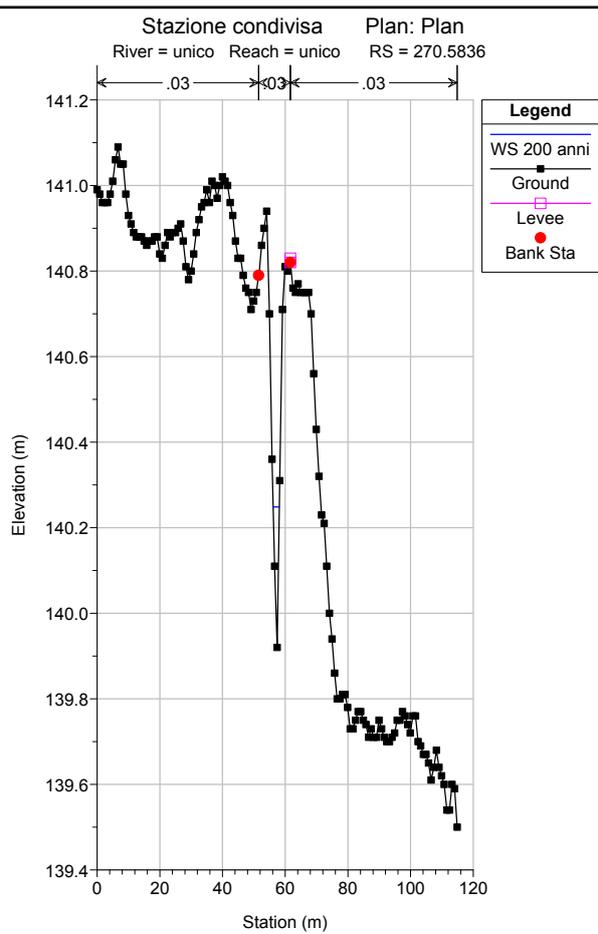
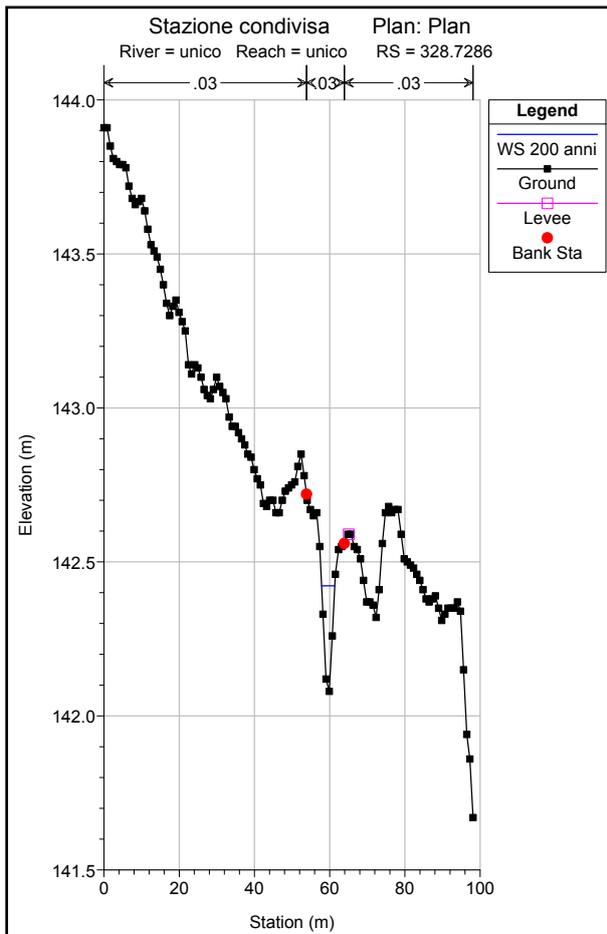
Legend

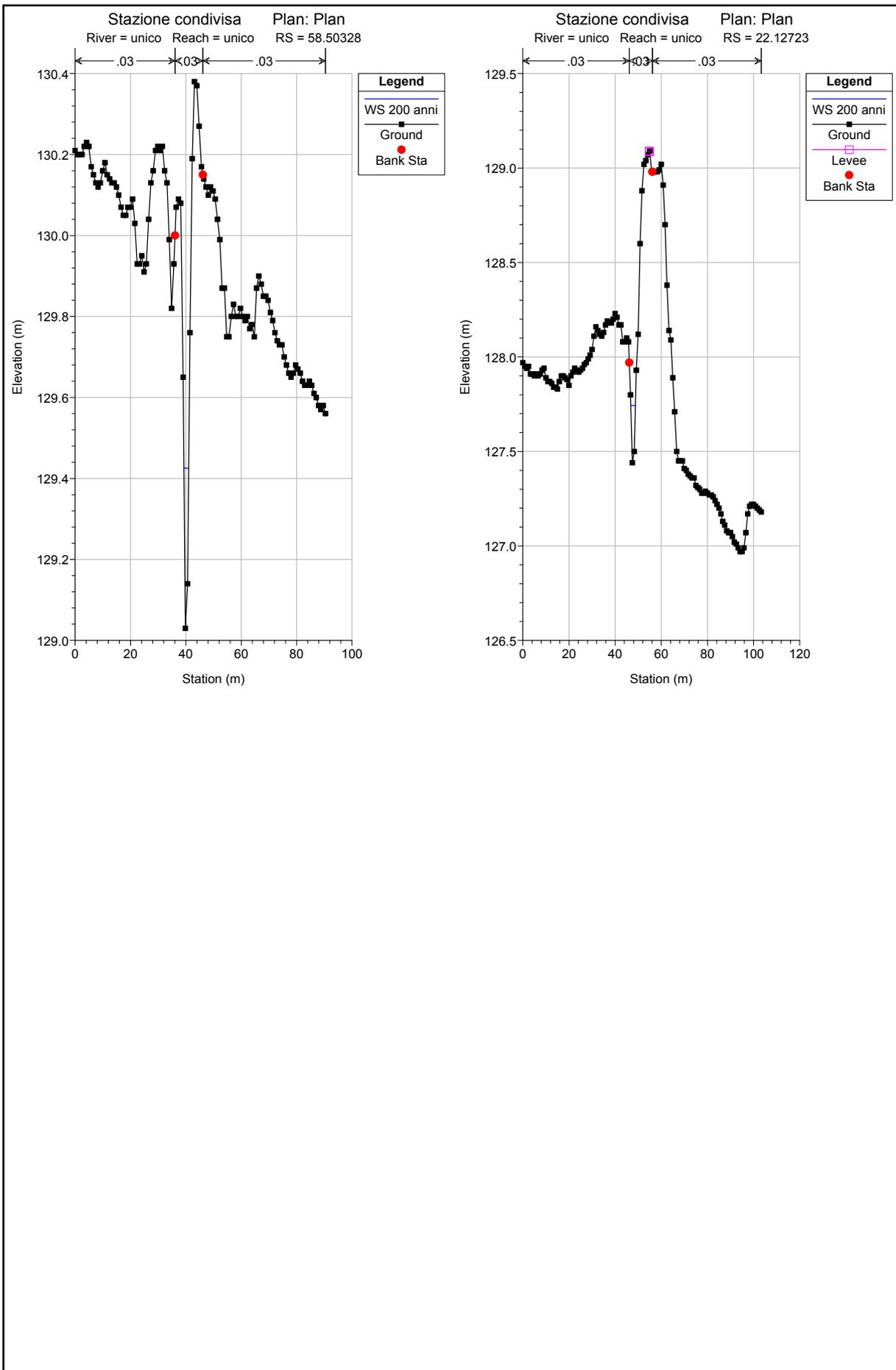
- WS 200 anni
- Ground
- Levee
- Bank Sta



Stazione condivisa Plan: Plan







HEC-RAS Plan: Plan River: unico Reach: unico Profile: 200 anni

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	328.7286	200 anni	1.01	142.08	142.42	142.42	142.53	0.015619	1.42	0.71	3.52	1.00
unico	270.5836	200 anni	1.01	139.92	140.25	140.38	140.69	0.088015	2.94	0.34	2.00	2.27
unico	187.4539	200 anni	1.01	136.12	136.48	136.48	136.58	0.015742	1.38	0.73	3.80	1.00
unico	136.0322	200 anni	1.01	133.78	134.06	134.22	134.69	0.148378	3.49	0.29	1.95	2.90
unico	58.50328	200 anni	1.01	129.03	129.43	129.50	129.69	0.034685	2.29	0.44	1.74	1.45
unico	22.12723	200 anni	1.01	127.44	127.74	127.92	128.08	0.057505	2.58	0.39	2.01	1.87