

Monty Wind S.r.l.

# Parco Eolico “Monty” sito nei Comuni di Montenero di Bisaccia e Montecilfone

Relazione Idrologica ed idraulica



Regione Molise



Comune di Montenero di Bisaccia



Comune di Montecilfone



Committente:

Monty Wind S.r.l.

Monty Wind S.r.l.

Via Sardegna, 40

00187 Roma

P.IVA/C.F. 16181131000

Titolo del Progetto:

**Parco Eolico "Monty" sito nei Comuni di Montenero di Bisaccia e Montecilfone**

Documento:

Relazione Idrologica e Idraulica

N° Documento:

IT-VESMON-TEN-GEN-TR-06

Progettista:



**sede legale e operativa**

San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale

**sede operativa**

Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114

P.IVA 01465940623

**Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873**



Progettista

**Dott. Ing. Nicola FORTE**



Rev	Data Revisione	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Settembre 2022	Richiesta VIA	EP	NF	NF

## Sommario

<b>Relazione idrologica ed idraulica .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Premessa .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Interventi previsti .....</b>	<b>6</b>
2.1 Impostazione dello studio idraulico .....	6
2.2 Inquadramento generale dell'assetto dell'area .....	10
<b>3 ANALISI DELLE CRITICITA' – ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>11</b>
3.1 Caratteristiche generali dell'assetto idraulico dell'area.....	11
3.2 Impostazione metodologica .....	12
3.3 Analisi delle criticità.....	12
3.4 Analisi geomorfologica .....	17
3.5 Calcolo del tempo di corrivazione .....	18
3.6 Stima delle portate al colmo di piena.....	20
<b>4 Studio idraulico.....</b>	<b>20</b>
4.1 Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per Aerogeneratore WTG 05 per eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni .....	21
4.1.1 Software di calcolo .....	22
4.1.2 Implementazione del modello per il Bacino 1.....	26
4.1.3 Implementazione del modello per il Bacino 2.....	29
4.1.4 Risultati ottenuti.....	31
4.2 Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per l'adeguamento temporaneo della viabilità in prossimità dell'Intersezione 6 per eventi con tempo di ritorno pari a 30 anni .....	37
4.2.1 Dati di riferimento .....	38
4.2.2 Calcolo del profilo di moto .....	43
4.2.3 Coefficiente di scabrezza .....	43
4.2.4 Condizioni al contorno e condizioni iniziali .....	43
4.2.5 Sintesi dei risultati .....	44
4.3 Valutazione dell'assetto idraulico in rapporto alla realizzazione di nuova viabilità per accesso all'aerogeneratore WTG 07 .....	46
4.3.1 Analisi della sicurezza idraulica dell'area ante opera.....	47
4.3.2 Dati di riferimento .....	48
4.3.3 Calcolo del profilo di moto .....	50
4.3.4 Coefficiente di scabrezza .....	50
4.3.5 Condizioni al contorno e condizioni iniziali .....	50
4.3.6 Sintesi dei risultati .....	51
4.3.7 Studio idraulico post operam .....	53
4.3.8 Coefficiente di scabrezza .....	54
4.3.9 Condizioni al contorno e condizioni iniziali .....	54
4.3.10 Sintesi dei risultati .....	54

<b>5</b>	<b>REALIZZAZIONE TOC-MODALITÀ OPERATIVE .....</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>ACCORGIMENTI PER SCAVI A CIELO APERTO .....</b>	<b>58</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>REPORT HEC RAS BACINO 4 .....</b>	<b>61</b>
<b>9</b>	<b>REPORT HEC RAS BACINO 3 .....</b>	<b>62</b>
9.1	Ante opera .....	62
9.2	POST OPERA SCENARIO 1 .....	63
9.3	POST OPERA SCENARIO 2 .....	64

## Relazione idrologica ed idraulica

### 1 Premessa

Con riferimento al progetto per la realizzazione di un impianto eolico costituito da nove aerogeneratori della potenza unitaria di 7.2 MW, per una potenza complessiva di impianto pari a 64,8 MW con il presente studio si forniscono alcuni approfondimenti di carattere idrologico ed idraulico in ragione delle problematiche idrauliche esistenti nella zona di intervento. Proponente dell'iniziativa è la società Monty Wind S.r.l. Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Montecilfone e Montenero di Bisaccia, in Provincia di Campobasso in località "Guardiola", dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 2,2 km e 2,5 km.

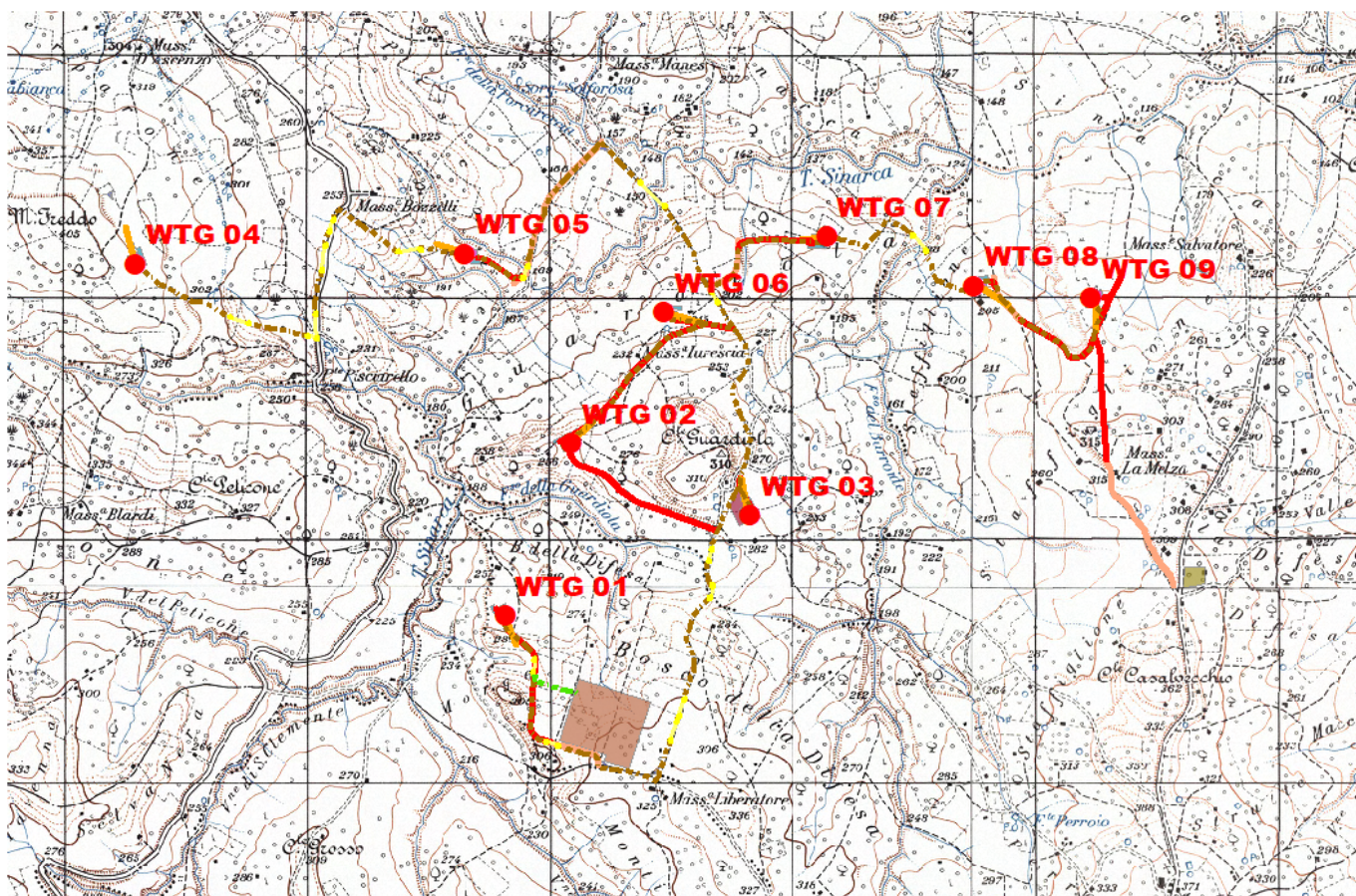


Figura 1 Inquadramento impianto eolico con relative opere connesse e di connessione su IGM 1:25.000

## 2 Interventi previsti

Come già specificato nel paragrafo precedente il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 9 aerogeneratori della potenza di 7,2 MW ciascuno, per una potenza complessiva di 64,8 MW, da installare nei comuni di Montecilfone e Montenero di Bisaccia, in Provincia di Campobasso in località “Guardiola”.

Proponente dell’iniziativa è la società Monty Wind S.r.l.

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Montecilfone e Montenero di Bisaccia, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 2,2 km e 2,5 km.

Gli aerogeneratori saranno collegati tra di loro mediante un cavidotto in alta tensione 36 kV interrato che sarà posato in gran parte al di sotto della viabilità di progetto di nuova realizzazione per l’accesso agli aerogeneratori e della viabilità esistente ed in minima parte su terreno agricolo.

I cavidotti in partenza dagli aerogeneratori saranno collegati ad una cabina di raccolta a 36 kV, la quale sarà collegata tramite un cavidotto in alta tensione a 36 kV, anch’esso interrato, alla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica di Trasformazione di Terna S.p.A. a 380/150/36 kV (anche detta SE Terna) da inserire in entra - esce sulla linea RTN a 380 kV “Larino – Gissi”.

La futura SE Terna, il cui progetto ha già ottenuto il benestare da parte di Terna, è ubicata nell’area di impianto nei pressi dell’aerogeneratore WTG01.

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori.

In fase di realizzazione dell’impianto, sarà necessario predisporre un’area logistica di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore). Sono previste, altresì, due aree necessarie alle manovre dei mezzi di trasporto eccezionale e di trasbordo delle strutture costituenti l’impianto.

L’area di cantiere e le aree di trasbordo saranno temporanee e saranno smantellate al termine dei lavori di costruzione dell’impianto.

### 2.1 Impostazione dello studio idraulico

Gli approfondimenti sull’assetto idraulico delle aree in esame saranno svolti con riferimento a tutte le opere elencate al paragrafo precedente ad eccezione della futura SE Terna, dalla consultazione degli elaborati grafici si può notare, che:

- alcuni aerogeneratori sono ubicati in prossimità di reticoli idrografici minori;

- la viabilità di progetto interseca alcuni reticoli idrografici minori;
- il cavidotto interrato interseca diversi reticoli idrografici.

Il PAI dell’Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore è stato approvato con Delibera del Comitato Istituzionale n. 102 del 29.10.2006. Esso è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità dei versanti ed a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d’uso, e rappresenta la disciplina che più particolarmente si occupa delle tematiche proprie della difesa del suolo.

Il PAI costituisce Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dell’articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 Maggio 1989, n° 183; ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d’uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell’Autorità di Bacino in oggetto.

Le finalità del PAI (art. 2) sono realizzate, dell’Autorità di Bacino dei fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore e dalle altre Amministrazioni competenti, mediante:

- la definizione del quadro della pericolosità idrogeologica in relazione ai fenomeni di esondazione e di dissesto dei versanti;
- la definizione degli interventi per la disciplina, il controllo, la salvaguardia, la regolarizzazione dei corsi d’acqua e la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, indirizzando l’uso di modalità di intervento che privilegino la valorizzazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del terreno;
- l’individuazione, la salvaguardia e la valorizzazione delle aree di pertinenza fluviale;
- la manutenzione, il completamento e l’integrazione dei sistemi di difesa esistenti;
- la definizione degli interventi per la difesa e la regolazione dei corsi d’acqua;
- la definizione di nuovi sistemi di difesa, ad integrazione di quelli esistenti, con funzioni di controllo della evoluzione dei fenomeni di dissesto e di esondazione, in relazione al livello di riduzione del rischio da conseguire.

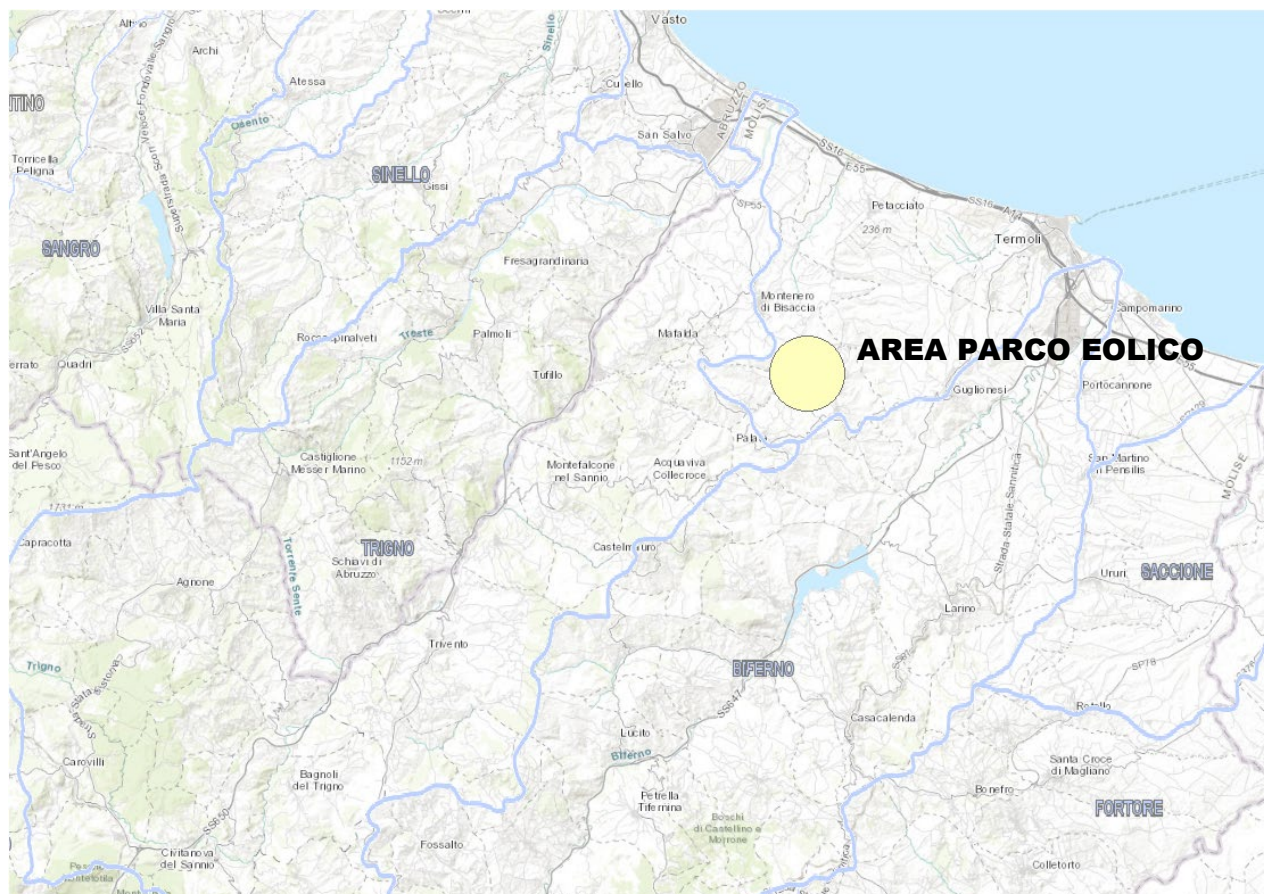


Figura 2 Carta bacini idrografici principali e secondari (Geoportale Nazionale)

Il PAI (art. 4), in relazione alle condizioni idrauliche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione di presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, disciplina le aree di cui agli artt. 12, 13, 14, 15, 16 e 17.

In particolare, le aree di cui sopra sono definite:

- Fascia di riassetto fluviale (art. 12);
- Aree a pericolosità idraulica alta (PI3) (art. 13);
- Aree a pericolosità idraulica moderata (PI2) (art. 14);
- Aree a pericolosità idraulica bassa (PI1) (art. 15);
- Tratti fluviali non studiati (art. 16).

Relativamente alle aree a diversa pericolosità idraulica, queste risultano arealmente individuate nelle “Carte della pericolosità idraulica” allegate al PAI, mentre, relativamente alle aree definite Fascia di riassetto fluviale e Tratti fluviali non studiati, la loro delimitazione segue i seguenti criteri:

- il PAI individua e perimetra la Fascia di riassetto fluviale (come definita all’art. 7 delle presenti norme), che comprende l’alveo, le aree di pertinenza fluviale e quelle necessarie per l’adeguamento del corso d’acqua all’assetto definitivo previsto dallo stesso Piano per l’assetto



idraulico. Tale fascia è riportata nella carta della pericolosità idraulica (tavole da T. 04 – 01 a T. 04 - 30) di cui all'art. 5 comma 1 lettera b) delle presenti norme. Nei tratti in cui tale fascia non è esplicitamente definita essa è assimilata alla fascia di pericolosità PI2.

L'area di studio ricade all'interno del bacino idrografico del T. Sinarca.

Per le aree limitrofe a corsi d'acqua, che non sono state oggetto o di verifiche idrauliche o di perimetrazioni su base geomorfologica e storica, per le quali non sono quindi disponibili la zonazione di pericolosità e la individuazione della fascia di riassetto fluviale, è stabilita una fascia di rispetto, misurata dai limiti dell'alveo attuale come definito all'art. 7 delle presenti norme sulla quale si applica la disciplina dell'Art. 12 pari a:

- a) 40 metri per il reticolo principale costituito dai corsi d'acqua Biferono, Cigno, Rio callora, Quirino e Sinarca;
- b) 20 metri per il reticolo minore (affluenti del reticolo principale identificabili sulla cartografia IGM scala 1:25000 con propria denominazione);
- c) 10 metri per il reticolo minuto (restanti corsi d'acqua distinguibili sulla cartografia IGM scala 1:25000 ma privi di una propria denominazione).

In relazione alle finalità e gli obiettivi generali del PAI, ai fini di assicurare la compatibilità con essi degli interventi sul territorio, le Norme Tecniche di Attuazione prevedono che (art. 10):

- a) la manutenzione del corso d'acqua deve mantenere la struttura morfologica dello stesso corso, la fascia di vegetazione riparia e la biodiversità;
- b) gli interventi sui corsi d'acqua devono tenere in conto degli impatti sull'ambiente fluviale e sul paesaggio;
- c) gli interventi devono essere realizzati ove possibile con tecniche di ingegneria naturalistica finalizzata alla rinaturalizzazione degli alvei;
- d) i ponti, nei limiti imposti dalla stabilità delle strutture, devono essere realizzati con il minor numero di luci possibili evitando la realizzazione di platee a protezione delle fondazioni che possano interferire con il trasporto solido.

La realizzazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, come l'intervento in progetto, sono consentiti in tutte le aree di cui sopra purché si tratti di servizi essenziali non delocalizzabili che:

- non pregiudichino la realizzazione degli interventi del PAI;
- non concorrano ad aumentare il carico insediativo;
- siano realizzati con idonei accorgimenti costruttivi;

- risultino coerenti con le misure di protezione civile di cui al presente PAI e ai piani comunali di settore.

Le opere che interessano i corsi d'acqua devono essere progettate e realizzate tenendo conto della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Dovranno essere inoltre adottati i franchi riportati nella seguente tabella rispetto al livello di piena sopraccitato.

Stato del bacino sotteso	Tipo di opere	
	Argini e difese spondali	Attraversamenti
Sufficientemente sistemato	cm 50	cm 75
Poco sistemato ma non dissestato	cm 75	cm 100
Dissestato	cm 100	cm 150

Il franco non potrà comunque essere inferiore al carico cinetico della corrente.

Deroghe ai franchi sopra definiti potranno essere ammesse dall'Autorità competente al rilascio dell'autorizzazione, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

## 2.2 Inquadramento generale dell'assetto dell'area.

Come abbiamo già detto l'area di studio ricade all'interno del bacino idrografico del T. Sinarca.

Il torrente Sinarca nasce presso Palata da Il Monte (541 m s.l.m.) e sfocia nel mare Adriatico presso l'antica omonima torretta nel comune di Termoli. Nel suo tragitto di 26 km aumenta la portata delle sue acque grazie a diversi affluenti, tra i più rilevanti entrambi a sinistra: il fosso della Guardata e il vallone Solagne Grandi.

Presenta un andamento E-W mentre nel settore centrale l'andamento è circa N-S.

Nel tratto terminale, il torrente Sinarca è caratterizzato, dapprima per un breve tratto, da un andamento circa E-W e successivamente da un andamento con orientazione N 10° in prossimità della foce. Le classi azimutali di frequenza (Fig. 3.1.2b), relative alle aste fluviali di I e II ordine. Le aste di ordine maggiore, escluso il torrente Sinarca, sono caratterizzate da andamenti con mostrano valori, per oltre il 75 % dei dati, compresi tra N 130° e N 140° e per oltre i 50 % N 20° e N 40°. Percentuali inferiori caratterizzano, invece, le altre classi.

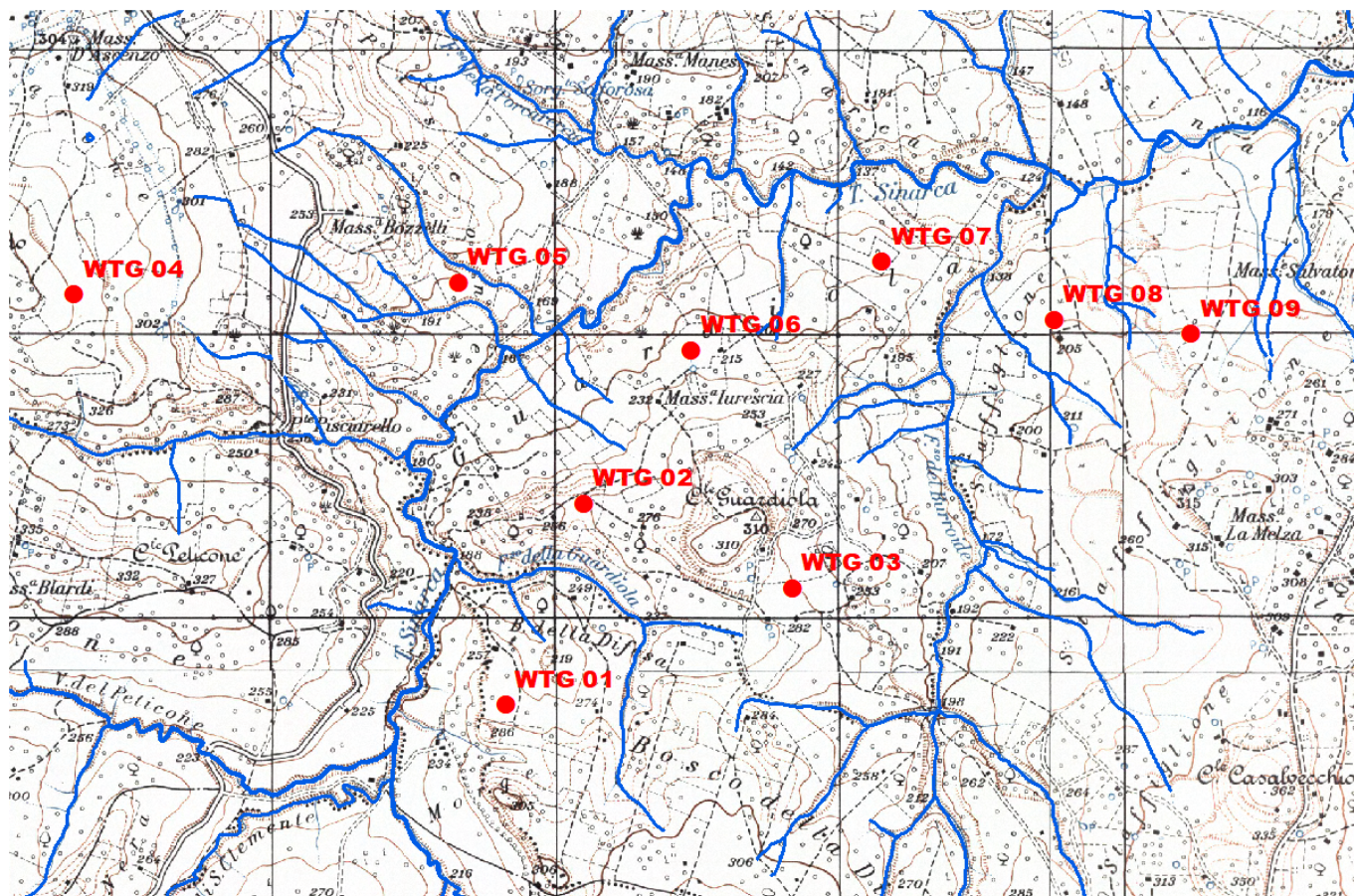


Figura 3 Planimetria Aerogeneratori di progetto con rappresentazione reticolo idrografico

### 3 ANALISI DELLE CRITICITA' – ANALISI IDROLOGICA

#### 3.1 Caratteristiche generali dell'assetto idraulico dell'area

Come anticipato in precedenza, lo studio si propone di analizzare l'assetto idraulico della zona in esame. A monte degli approfondimenti analitici e della dovuta indagine in sito, si è pertanto effettuata una preliminare ricognizione cartografica al fine di inquadrare i lineamenti morfologici generali che potessero definire i regimi idraulici dell'area. Con particolare riferimento ai vincoli cartografati dal vigente PAI, **l'opera non attraversa aree perimetrate a rischio di inondazione** ma interessa una vasta rete drenante a carattere esoreico.

Valutate le peculiarità di massima dei siti di interesse il necessario grado successivo di approfondimento prevede un approccio allo studio idrologico ed idraulico dell'area in esame, che non può prescindere dall'effettuare un'indagine particolare di carattere morfologico ed infrastrutturale, al fine di fornire una fedele lettura delle dinamiche idrauliche nella propagazione sulla reale conformazione dei luoghi.

### 3.2 Impostazione metodologica

Lo studio dell'area è stato condotto secondo le seguenti fasi:

- reperimento della cartografia di base (I.G.M. in scala 1:25.000, rilievi aerofotogrammetrici in scala 1:5.000 ed ortofoto) e del modello digitale del terreno (DEM) della Regione Molise a maglia 20x20 m;
- individuazione del bacini afferente alle sezione idrologica di riferimento;
- definizione delle caratteristiche fisiografiche del bacino (superficie, altitudine massima, media e minima, lunghezza dell'asta principale);
- determinazione delle portate di piena per assegnato tempo di ritorno;
- definizione delle eventuali interazioni del reticolo idrografico con l'opera di progetto.

### 3.3 Analisi delle criticità

L'area di interesse risulta caratterizzata dalla presenza di una vastarete idrografica esoreica così come già rappresentato in figura 3.

Gli approfondimenti sull'assetto idraulico delle aree in esame saranno svolti con riferimento a tutte le opere elencate al paragrafo precedente ad eccezione della futura SE Terna, dalla consultazione degli elaborati grafici si può notare, che:

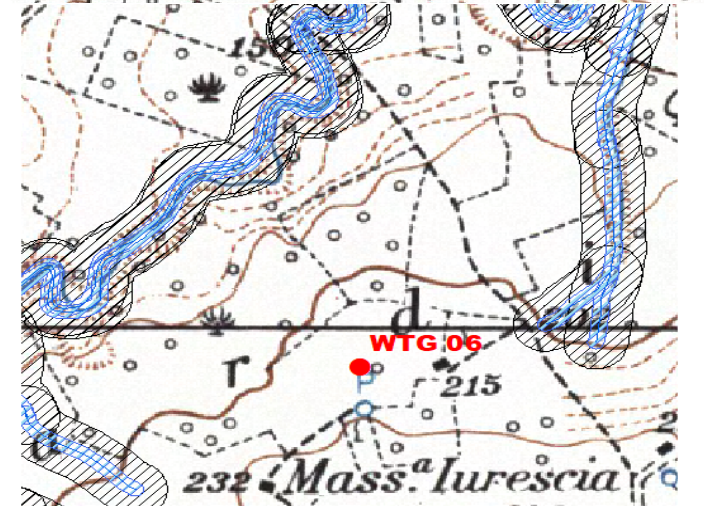
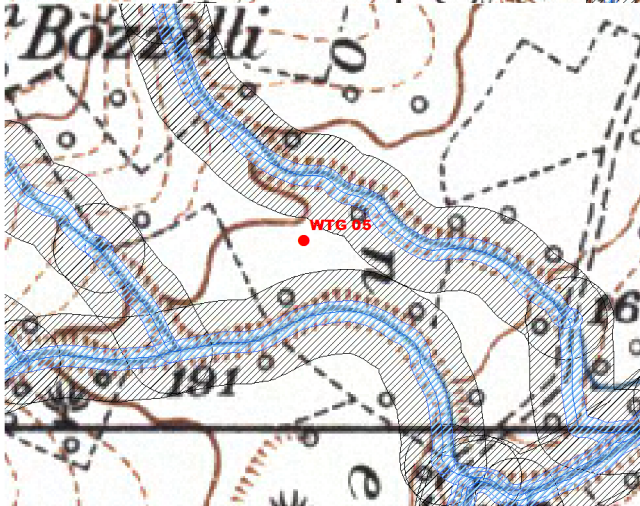
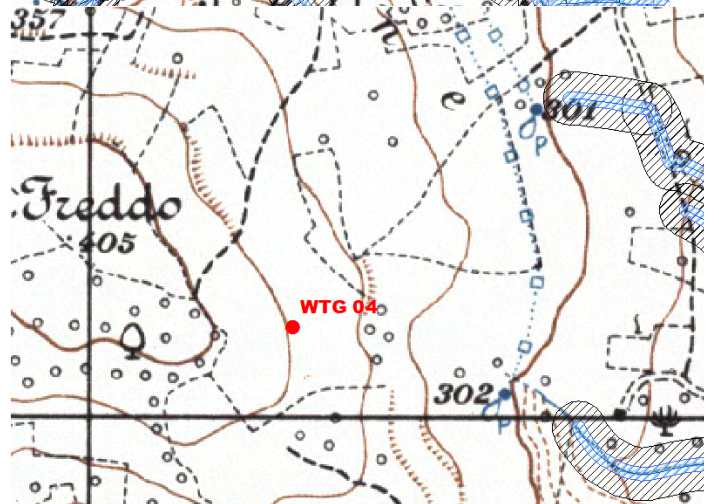
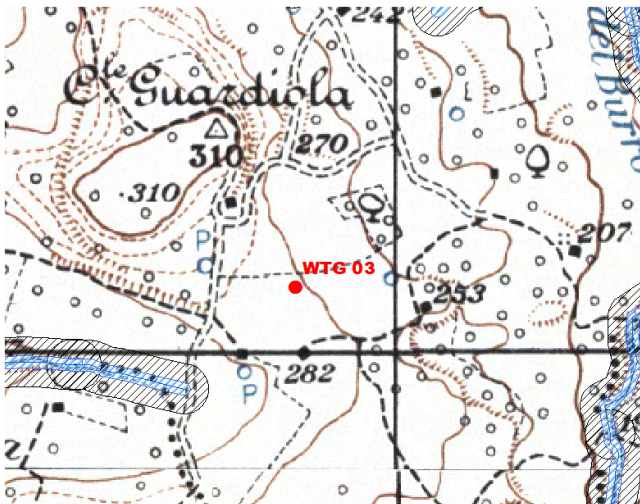
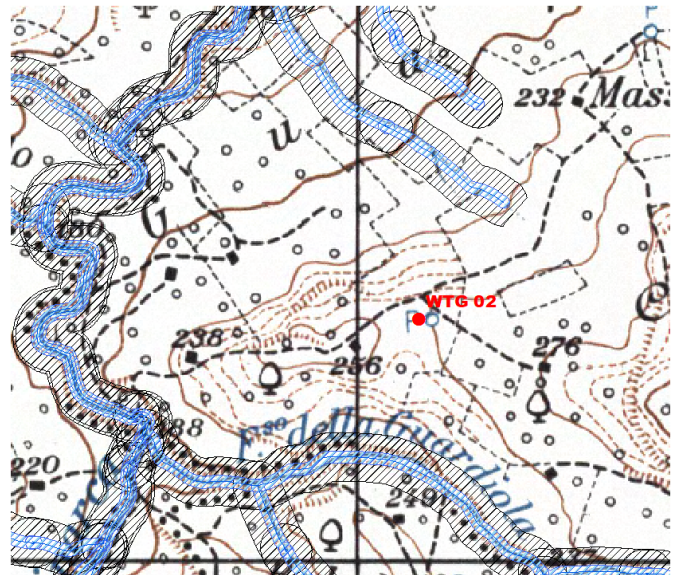
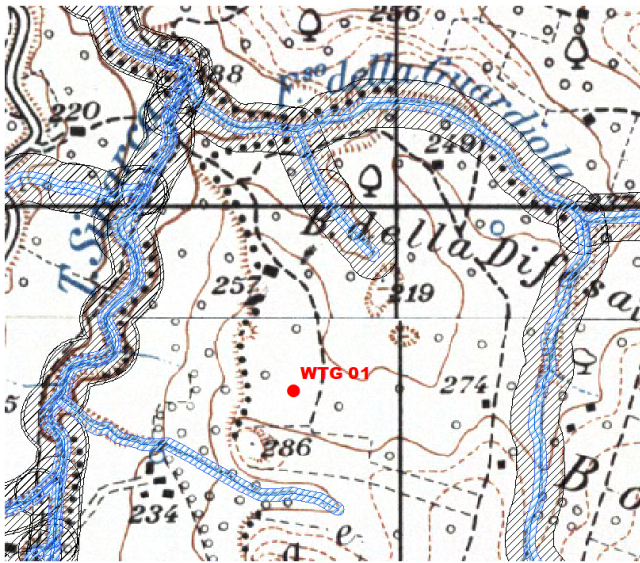
- alcuni aerogeneratori sono ubicati in prossimità di reticoli idrografici minori;
- la viabilità di progetto interseca alcuni reticoli idrografici minori;
- il cavidotto interrato interseca diversi reticoli idrografici.

Di seguito si procederà con l'analisi di dettaglio del layout di progetto sulla base di quanto stabilito nelle NTA del PAI:

*"Per le aree limitrofe a corsi d'acqua, che non sono state oggetto o di verifiche idrauliche o di perimetrazioni su base geomorfologica e storica, per le quali non sono quindi disponibili la zonazione di pericolosità e la individuazione della fascia di riassetto fluviale, è stabilita una fascia di rispetto, misurata dai limiti dell'alveo attuale come definito all'art. 7 delle presenti norme sulla quale si applica la disciplina dell'Art. 12 pari a:*

- a) 40 metri per il reticolo principale costituito dai corsi d'acqua Biferono, Cigno, Rio callora, Quirino e Sinarca;*
- b) 20 metri per il reticolo minore (affluenti del reticolo principale identificabili sulla cartografia IGM scala 1:25000 con propria denominazione);*
- c) 10 metri per il reticolo minuto (restanti corsi d'acqua distinguibili sulla cartografia IGM scala 1:25000 ma privi di una propria denominazione)."*

Dapprima si analizzerà la posizione degli aerogeneratori in rapporto alle aree buffer.



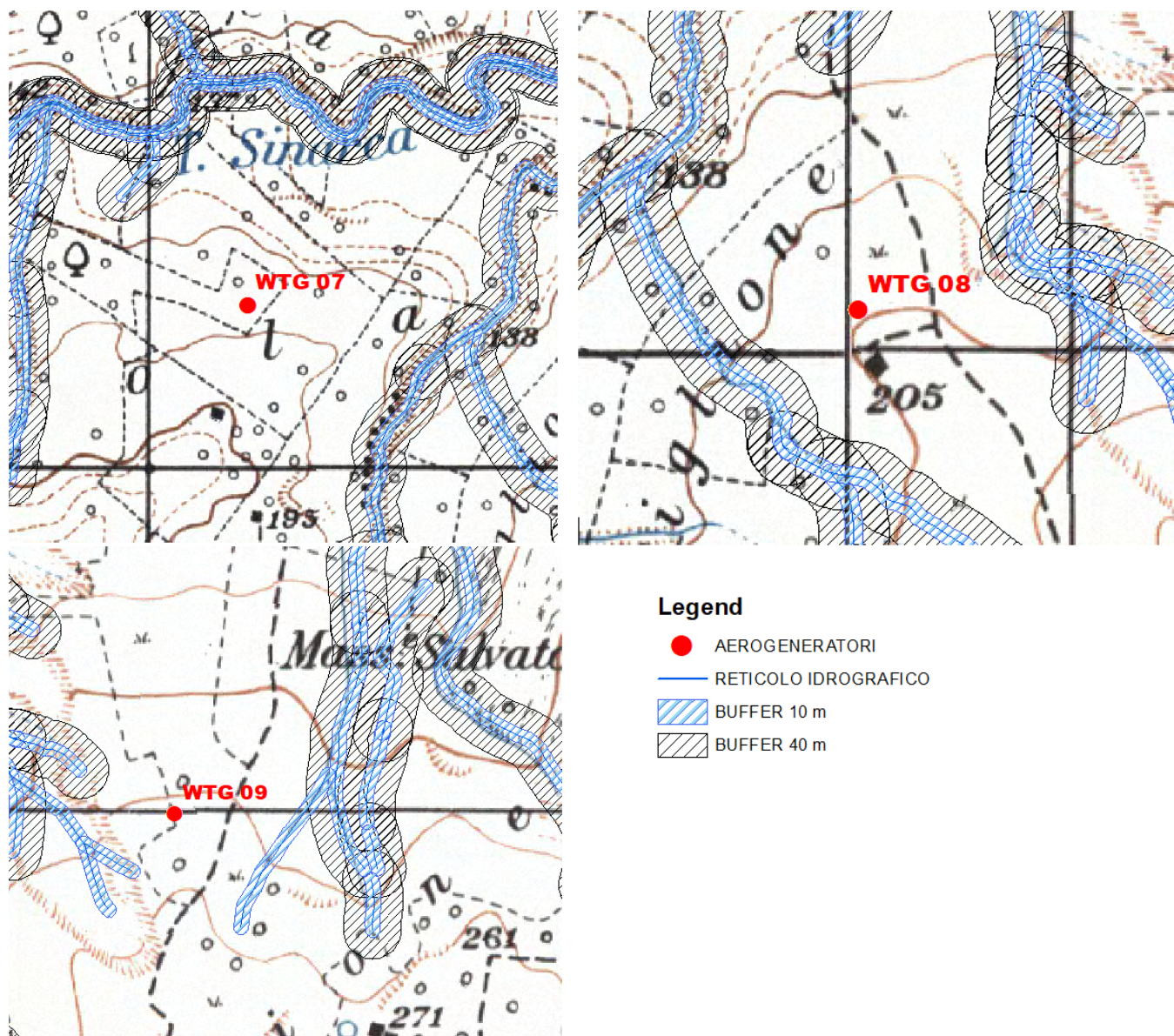


Figura 4 Dettaglio aerogeneratori su iGM con rappresentazione del buffer

Dall'analisi condotta è possibile affermare che tutti gli aerogeneratori risultano esterni alle aree buffer e, pertanto, in condizioni di sicurezza idraulica.

Successivamente sono state analizzate le intersezioni delle opere in progetto, strade e cavidotti con il reticolo idrografico.

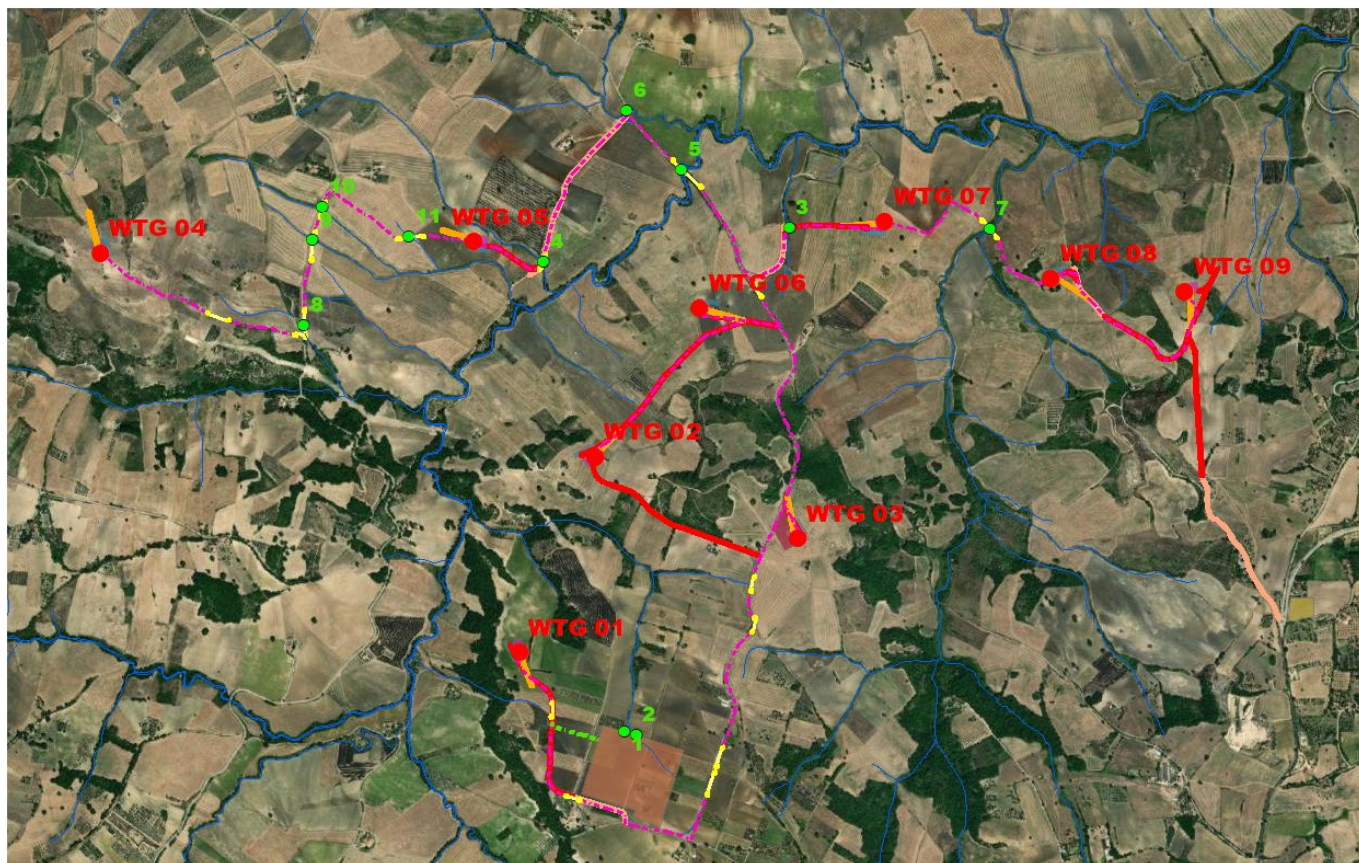


Figura 5 Layout di progetto con indicazioni delle intersezioni in verde

La sovrapposizione cartografica ha evidenziato la presenza di 11 intersezioni:

Intersezione	Strade da adeguare	Strade di progetto	Cavidotto	Stazione TERNA
1				X
2				X
3		X	X	
4	X		X	
5			X	
6	-		-	
7			X	
8			X	
9			X	
10			X	
11			X	

Le intersezioni 1 e 2 relative alla Stazione Terna non saranno oggetto del presente studio.

Per tutte le intersezioni del cavidotto con il reticolo idrografico si utilizzerà la tecnica della TOC, trivellazione orizzontale controllata.

I punti di infissione e uscita della TOC saranno esterni all'area buffer definita dalle NTA del PAI:

- a) 40 metri per il reticolo principale costituito dai corsi d'acqua Biferono, Cigno, Rio callora, Quirino e Sinarca;
- b) 20 metri per il reticolo minore (affluenti del reticolo principale identificabili sulla cartografia IGM scala 1:25000 con propria denominazione);
- c) 10 metri per il reticolo minuto (restanti corsi d'acqua distinguibili sulla cartografia IGM scala 1:25000 ma privi di una propria denominazione).

Intersezione	Tipologia intereferenza			
	Reticolo principale	Reticolo minore con propria denominazione	Reticolo minuto	Ampiezza minima TOC (m)
3			x	10
4			x	10
5	x			40
7		x		20
8			x	10
9			x	10
10			x	10
11			x	10

Il cavidotto in corrispondenza del punto di intersezione sarà posato ad una profondità di circa 2,0 m rispetto al fondo dell'impiuvio esistente.

Si condurranno studi di dettaglio per le seguenti criticità:

- Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per Aerogeneratore WTG 05 per eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni;
- Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per l'adeguamento temporaneo della viabilità in prossimità dell'Intersezione 6 per eventi con tempo di ritorno pari a 30 anni (trattandosi di adeguamento temporaneo che verrà rimosso al termine dei lavori di realizzazione del parco eolico);
- Valutazione dell'assetto idraulico in rapporto alla realizzazione di nuova viabilità per accesso all'aerogeneratore WTG 07 .



### 3.4 Analisi geomorfologica

Lo studio geomorfologico è stato affrontato, come già rappresentato, con l'ausilio della carta I.G.M. in scala 1:25000 e delle Ortofoto CGR in scala 1:2000. Sono state poi acquisite le carte tecniche aereofotogrammetriche delle zone di interesse in scala 1:5000, delle quali si sono utilizzati tutti i dati vettorializzati utili ai fini di una completa rappresentazione del territorio indagato. I dati a disposizione sono stati elaborati tramite l'applicazione di software GIS. Infine, si è fatto uso della carta geolitologica della Sicilia e della carta dell'uso del suolo. Come già evidenziato in precedenza, tutta l'area in esame si vede interessata da una certa rete drenante che consente l'allontanamento ed il collettamento delle acque meteoriche.

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. L'area di studio è interessata dalla presenza di una vasta rete idrografica esoreica in parte già studiata e perimetrata dall'Autorità di bacino competente.

Le caratteristiche fisiografiche dei bacini idrografici individuati, in cui ricade l'area di interesse (nell'ordine: 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.

<b>CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE BACINI IDROGRAFICI</b>						
<b>Bacino</b>	<b>Area (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Sl<sub>ave</sub> (%)</b>	<b>H<sub>min</sub> (m s.l.m.)</b>	<b>H<sub>max</sub> (m s.l.m.)</b>	<b>H<sub>ave</sub> (m s.l.m.)</b>	<b>L<sub>max</sub> (Km)</b>
<b>1</b>	0.57	13.46	167	404	270.58	1.340
<b>2</b>	0.66	10.35	165	363	230.21	1.478
<b>3</b>	0.31	14.32	149	285	204.94	0.81
<b>4</b>	2.415	11.37	157	344	226.98	2.453

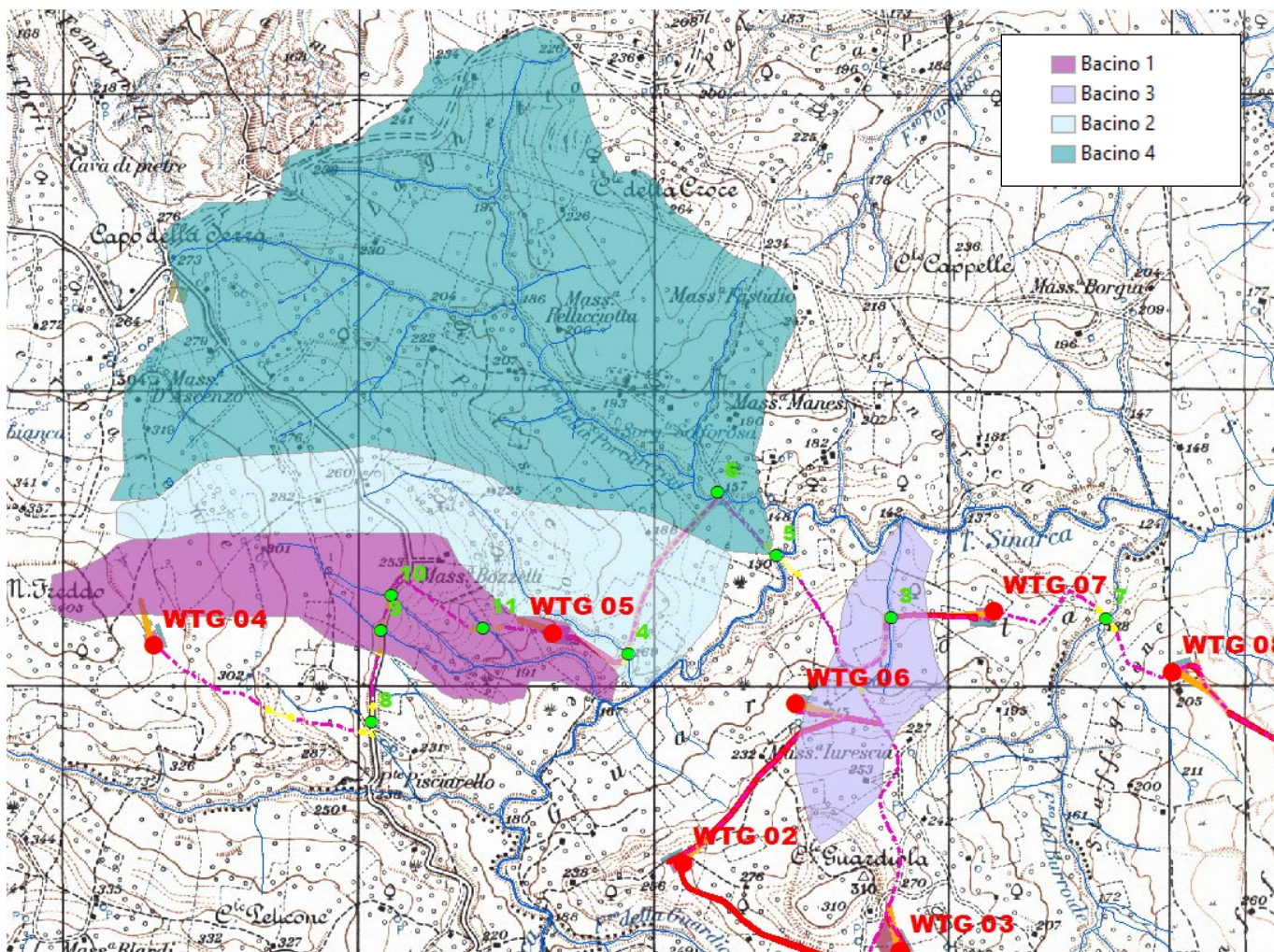


Figura 6 Planimetria bacini idrografici di studio

Effettuato lo studio morfologico dei bacini in esame, è ora possibile individuare, in base alle caratteristiche che gli stessi presentano, la metodologia più idonea per le successive analisi idrologiche con l’approccio più oggettivo.

### 3.5 Calcolo del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione viene valutato, di norma, mediante formule empiriche di diversi autori italiani stante la difficoltà di procedere a valutazioni e misure dirette. Si è ricorso alla valutazione del valore più attendibile con l’ applicazione delle formule indirette più diffuse, che di seguito si ricordano.

#### Formula del Ventura

$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i}} \quad [\text{ore}]$$

nella quale "A" rappresenta la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup> e "i" rappresenta la pendenza media dell’ asta principale del bacino che può essere calcolata con la formula:

$$\sqrt{i} = \frac{L}{\sum_k \frac{L_k}{\sqrt{i_k}}}$$

dove i valori di  $i_k$  ed  $L_k$  rappresentano rispettivamente la pendenza e la lunghezza dei tratti nei quali la pendenza dell'alveo può considerarsi uniforme;  $L$  rappresenta la lunghezza complessiva dell'asta principale del bacino, in Km, ed è uguale alla sommatoria delle  $L_k$ .

#### **Formula del Giandotti**

$$t_c = \frac{1.5 \cdot L + 4 \cdot \sqrt{A}}{0.8 \cdot \sqrt{H_m - H_o}} \quad [\text{ore}]$$

nella quale i simboli  $A$  ed  $L$  assumono i significati precedentemente esposti, mentre  $H_m$  rappresenta l'altitudine media del bacino e  $H_o$  rappresenta l' altitudine della sezione di chiusura del bacino idrografico.

#### **Formula del Viparelli**

La formula indicata dal Viparelli determina il tempo di corrivazione assumendo una velocità costante e compresa, usualmente, fra 1.0 e 1.5 m/s:

$$t_c = \frac{L}{3600} \quad [\text{ore}]$$

dove  $L$  è, al solito, la lunghezza dell' asta principale espressa in metri

#### **Formula del Pasini (seconda formula)**

La formula indicata dal Pasini determina il tempo di corrivazione assumendo quali grandezze caratteristiche la pendenza media dell' asta principale  $i$ , la superficie  $A$  del bacino [km<sup>2</sup>], e la lunghezza dell' asta  $L$  [km]:

$$t_c = \frac{0.108 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i}} \quad [\text{ore}]$$

#### **Formula del Kirpich-Pezzoli-Watt-Chow**

Per i piccoli bacini è particolarmente indicata una formula che media i valori del tempo di corrivazione ottenuti con le formule del Kirpich, del Pezzoli, di Watt e di Chow. Essa assume la seguente forma:

$$t_c = 0.002221 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{i_s}} \right)^{0.80} \quad [\text{min}]$$

In cui  $t_c$  è espresso in minuti e  $L$  in metri.

Preliminarmente si è quindi calcolato il tempo di corrivazione del bacino, utilizzando le formule precedentemente illustrate.

Si ritiene che la stima più attendibile e cautelativa del tempo di corrivazione sia fornita dalla formula di **Kirpich-Pezzoli-Watt-Chow**.

Bacino	$t_c$ (ore)
1	0.216
2	0.261
3	0.147
4	0.491

### 3.6 Stima delle portate al colmo di piena

La quantificazione delle portate al colmo di piena, è stata effettuata in accordo con quanto previsto nell'Allegato 1 delle Norme Tecniche di attuazione attraverso l'applicazione dei dati in esso riportati, ed in particolare:

Tempo di ritorno	Curva inviluppo
30	$Q = 10 A^{0.75}$
100	$Q = 13 A^{0.75}$
200	$Q = 16 A^{0.75}$
500	$Q = 19 A^{0.75}$

nella tabella sovrastante sono riportate le curve di inviluppo per il calcolo delle portate di piena con tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni, ove Q è la portata in mc/s e A è l'area del bacino sotteso in kmq.

Le portate al colmo di piena calcolate per eventi con tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni per i bacini di studio, è reso nella seguente tabella.

Bacino	Q (mc/s) Tr 30 anni	Q (mc/s) Tr 200 anni	Q (mc/s) Tr 500 anni
1	6.67	11.34	14.67
2	18.86	32.07	41.50
3	4.30	7.31	9.46
4	18.86	32.07	41.50

## 4 Studio idraulico

Dalle analisi precedenti è emersa la necessità di effettuare studi di dettaglio per la definizione delle seguenti criticità:

- Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per Aerogeneratore WTG 05 per eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni;
- Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per l'adeguamento temporaneo della viabilità in prossimità dell'Intersezione 6 per eventi con tempo di ritorno pari a 30 anni (trattandosi di adeguamento temporaneo che verrà rimosso al termine dei lavori di realizzazione del parco eolico);
- Valutazione dell'assetto idraulico in rapporto alla realizzazione di nuova viabilità per accesso all'aerogeneratore WTG 07 .

#### 4.1 Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per Aerogeneratore WTG 05 per eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni

L'aerogeneratore WTG 05 è posizionato in prossimità di diversi reticoli idrografici classificati come "reticolo minuto", seppur l'aerogeneratore risulti esterno all'area buffer di 10 m, si è ritenuto di dover studiare l'area con maggior dettaglio mediante la implementazione di modelli idraulici di dettaglio al fine di definire le fasce di assetto fluviale.

Pertanto sono stati individuati due bacini, ossia Bacino 1 e Bacino 2, tutte le valutazioni successive saranno condotte in riferimento a un tempo di ritorno pari a 200 anni.

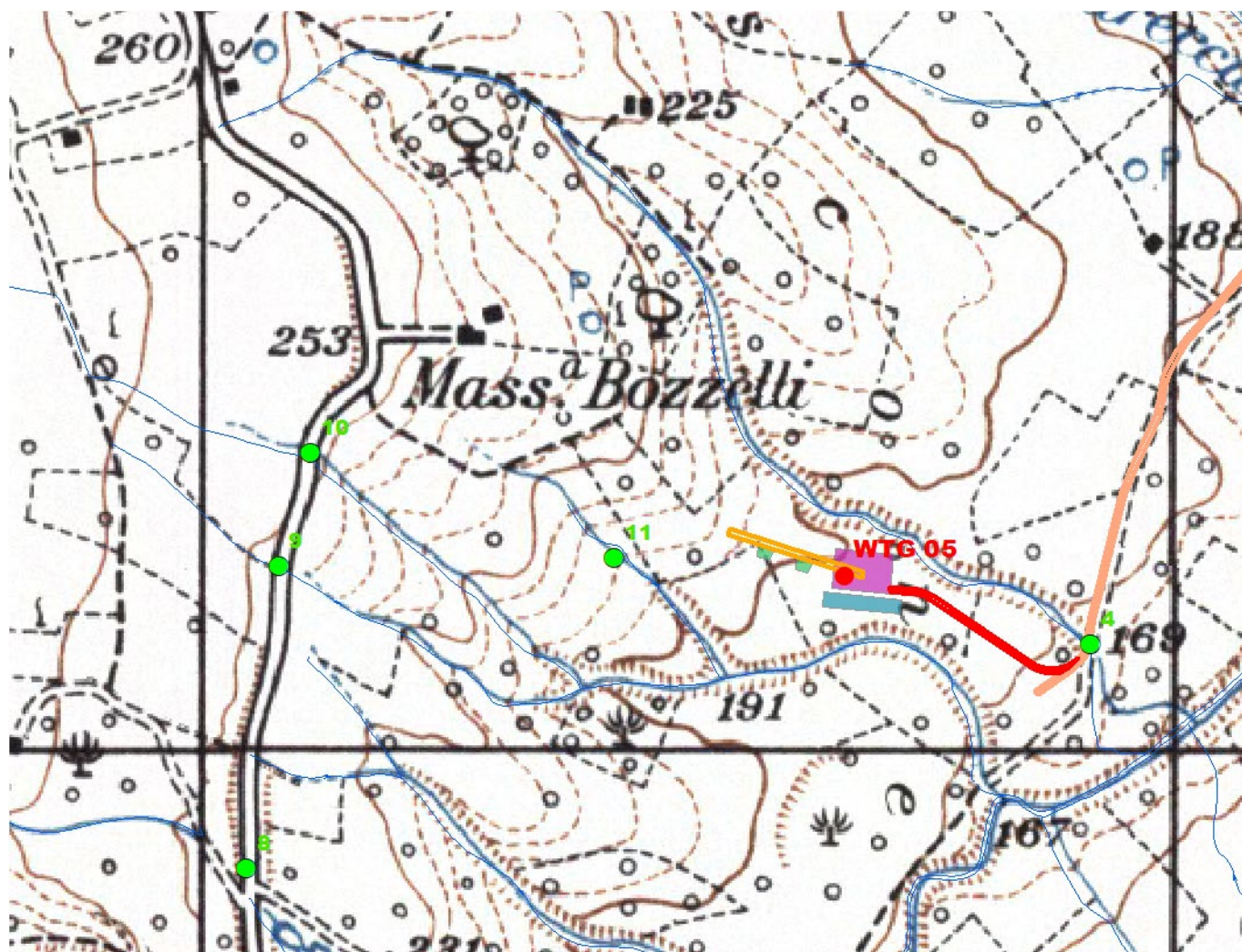


Figura 7 dettaglio aerogeneratore WTG 05

E' stato implementato un modello idraulico di calcolo bidimensionale sia a parametri distribuiti che a parametri concentrati con sovrapposizione degli effetti. Il metodo assunto, attraverso un applicativo implementato nel modello di calcolo che si utilizzerà, consente di inserire lo ietogramma funzione della pioggia netta bicentenaria individuata come descritto nei paragrafi precedenti e di propagare i corrispondenti deflussi sulle aree individuate dal dominio, simulando quanto accade per effetto di un evento dopo l'infiltrazione nel terreno di quota parte degli afflussi meteorici. In questo modo sarà possibile definire il comportamento del bacino quando è sollecitato da un evento estremo, osservando lo scorrimento dei deflussi idrici prima calcolati.

Di seguito vengono meglio descritte le varie fasi delle attività svolte e quindi presentati i principali risultati delle modellazioni eseguite.

#### 4.1.1 Software di calcolo

Il software utilizzato è il FLO-2D, il codice di calcolo bidimensionale FLO-2D è un modello commerciale distribuito dalla FLO-2D Inc. che rappresenta un punto di riferimento nell'ambito dei software per la modellazione

bidimensionale, essendo accreditata presso la FEMA e la Corps Engineers tra i modelli idraulici per gli studi dei fiumi e dei fenomeni di inondazione. È un modello basato su processi fisici in grado di combinare gli aspetti idrologici (quantità di pioggia, ruscellamento, infiltrazione, etc.) con aspetti idraulici (effetti delle strade, degli edifici e di ostruzioni in genere sul flusso, variazione della velocità del flusso tra due elementi di calcolo), al fine di delineare il rischio da inondazione ed assistere nella scelta dei processi di mitigazione di quest'ultimo.

Pertanto, si presta sia a simulazione monodimensionali, come ad esempio canali con una geometria naturale o con sezioni schematizzate (rettangolari o trapezoidali), sia alla simulazione di un flusso non confinato in una piana inondabile, sia la modellazione dell'impatto dell'inondazione sugli edifici in base a parametri fisici come pressione e velocità.

Tutto ciò è reso possibile grazie allo schema di calcolo del flusso non confinato in otto direzioni con la conservazione di massa, utilizzando un passo tempo variabile che può aumentare o diminuire a seconda delle necessità, ricorrendo ad efficienti criteri di stabilità con la possibilità di avere un numero illimitato di elementi calcolo.

FLO-2D è un modello basato sulla semplice conservazione dei volumi, in cui i flussi di acqua sul dominio di calcolo sono controllati dalla topografia e dai fattori di resistenza alla propagazione.

La modellazione bidimensionale si realizza attraverso un'integrazione numerica delle equazioni del moto e con la conservazione dei volumi, sia per fenomeni alluvionali che per flussi di sedimenti iperconcentrati. Le equazioni che governano questi processi sono l'equazione di continuità e l'equazione del moto nella forma completa includendo anche il termine dell'accelerazione:

equazione di continuità:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} = i$$

equazione del moto:

$$\partial S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

dove:

- h è l'altezza idrica,
- $V_x$  è la componente x della velocità media della corrente,
- $S_{fx}$  è la cadente,
- $S_{ox}$  è la pendenza del fondo
- g è l'accelerazione di gravità (FLO-2D User Manual, 2007).

L'eccesso dell'intensità di pioggia (i) può causare un flusso superficiale diverso da zero. La componente  $S_{fx}$  dell'attrito è funzione della pendenza ed è ricavata dall'equazione di Manning, mentre  $S_{ox}$  è la pendenza di fondo, e gli altri termini sono il gradiente della pressione ed il termine di accelerazione locale. Le equazioni del moto possono essere definite come quasi bidimensionali, poiché l'equazione del momento è risolta calcolando la velocità

media del flusso in un determinato tempo per le componenti al contorno della griglia di calcolo. Esistono otto potenziali direzioni di flusso, le quattro direzioni cardinali più le altre quattro diagonali, ed ogni velocità è essenzialmente calcolata con una natura monodimensionale risolvendo lo schema in maniera indipendente alle altre sette direzioni. La stabilità dello schema numerico esplicito è basata su un criterio specifico per controllare la dimensione del passo temporale. In ogni singola cella della griglia di calcolo sono stoccate le informazioni inerenti la quota, la profondità di flusso, il valore di attrito di Manning (n), le dimensioni della cella e le portate nelle otto possibili direzioni pertanto la zona di flusso è descrivibile come il prodotto della larghezza della cella per la profondità media del flusso.

Con un sistema appropriato di stima delle resistenze al flusso, FLO-2D distribuisce numericamente il volume di liquido in blocchi (quelli della griglia di calcolo), per imitare i fenomeni di propagazione spazio-temporale di un'onda di piena. Concettualmente, FLO-2D non ha un approccio Lagrangiano al moto del fluido, poiché il movimento di questo ultimo nella griglia di calcolo è unicamente controllato dai criteri di stabilità. Ricorrendo a otto direzioni di flusso si risolve il problema di quei modelli che usano l'approssimazione diffusiva, la quale obbliga il flusso a seguire la massima pendenza anche quando il flusso non ha una propria pendenza e la sua direzione non è allineata con la griglia di calcolo. Quest'ultimo problema viene risolto tramite un riallineamento artificiale, che consente di eliminare il problema della perdita dell'accelerazione convettiva. Certamente in un modello con otto direzioni di flusso, la diagonale di flusso può incrociarsi in verso opposto con quella della cella adiacente, ma questo non viola il principio di conservazione del volume. La conservazione del volume è un criterio di stabilità numerica e di accuratezza. I volumi in entrata, quelli in uscita, il cambiamento della capacità di accumulo, di infiltrazione e la perdita per evapotraspirazione, sono sommati alla fine di ogni passo temporale. Il volume conservato si esprime come la differenza totale tra i volumi in entrata, quelli in uscita e quelli persi per evapotraspirazione.

L'inserimento di dati errati, fenomeni d'instabilità numerica e tecniche di simulazione inappropriate causano la perdita della conservazione dei volumi; pertanto la conservazione dei volumi può essere usata per discernere quale elemento della modellazione conduce all'instabilità, e più in generale come parametro di bontà della simulazione. È importante sottolineare come in nessuna simulazione la conservazione del volume sia esatta; per valori intorno allo 0.001 per cento o meno sarà sufficientemente accurata.

Lo schema risolutore delle equazioni differenziali della continuità e del momento è quello delle differenze centrali. La soluzione della forma differenziale dell'equazione del momento è il risultato di una sua rappresentazione discreta in un punto. Questo schema numerico è di semplice formulazione, ma presenta l'inconveniente che deve essere limitato da un passo temporale piccolo e da ristretti criteri di stabilità numerica. Infatti, lo schema delle differenze finite può richiedere un elevato tempo di calcolo quando sono simulate onde di sommersione in lenta crescita o canali con sezioni molto variabili. È importante considerare un altro aspetto: le equazioni complete usate da FLO-2D sono equazioni differenziali di secondo ordine non lineari, in cui la velocità viene inizialmente calcolata con un'approssimazione diffusiva usando la pendenza media della superficie dell'acqua. La velocità è successivamente



usata nel metodo della tangente di Newton – Raphson per determinare le radici dell'equazione completa. L'equazione di Manning è applicata per calcolare l'attrito dovuto alla pendenza. Se la soluzione di Newton-Raphson fallisce la convergenza dopo tre iterazioni, l'algoritmo passa automaticamente all'utilizzo della soluzione diffusiva.

Volendo riassumere l'algoritmo risolutore include i seguenti passi:

il flusso medio, la rugosità, e la pendenza tra due celle vengono calcolati;

la profondità di flusso (d) per calcolare la velocità attraverso gli elementi di contorno della griglia di calcolo al passo temporale  $i+1$  è stimato al precedente passo temporale  $i$  usando una relazione lineare;

$$dx_{i+1} = dx_i + dx_{+1}$$

la prima stima della velocità è calcolata usando l'approssimazione diffusiva; infatti l'unica variabile non nota in tale semplificazione è la velocità. Questo è il caso di flussi non confinati, canali e strade;

il risultato al determinato passo temporale con approssimazione diffusiva è usato nella soluzione di Newton-Raphson per risolvere le equazioni complete ed ottenere la velocità;

la portata  $Q$  attraverso le celle di contorno è calcolata moltiplicando la velocità per l'area di flusso;

l'incremento di portata ad un determinato tempo, nelle otto direzioni calcolo, è il risultato della seguente somma:

$$\Delta Q_x^{i+1} = Q_n + Q_e + Q_s + Q_w + Q_{ne} + Q_{se} + Q_{sw} + Q_{nw}$$

la variazione di volume (portata netta per il passo temporale) è distribuita sull'area di accumulo disponibile all'interno della griglia per determinare l'aumento della profondità del flusso.

$$\Delta d^{i+1} = \Delta Q_x^{i+1} \Delta t / SurfaceArea$$

I criteri di stabilità numerica sono testati per la nuova griglia della profondità precedentemente calcolata;

se un qualunque criterio di stabilità viene superato, il tempo di simulazione viene azzerato e riportato al precedente passo temporale, il passo viene ridotto e tutti i calcoli sono cancellati e si riprende dal calcolo della velocità;

la simulazione procede con l'aumento del passo temporale fino a che i criteri di stabilità sono superati.

Per quanto concerne i criteri di stabilità numerica, FLO-2D garantisce la stabilità con passo temporale sufficientemente piccolo. La chiave per una modellazione funzionale alle differenze finite sono i criteri di stabilità numerica, che sono condizionati dal rapporto tra la variazione di volume degli elementi della griglia e il passo temporale in base alla relazione:

$$\Delta V / \Delta t \cong 0$$

Inoltre, un brusco aumento delle portate in ingresso su una griglia di calcolo con elementi molto piccoli può produrre una forte instabilità. La stabilità numerica viene controllata per ogni elemento della griglia ad ogni intervallo temporale per assicurare la stabilità della soluzione. Se i criteri di stabilità numerica sono superati, il passo temporale diminuisce e tutti i calcoli idraulici precedenti sono cancellati.

Esistono tre metodi per i criteri di stabilità numerica:

Specificare la percentuale di variazione della profondità dal precedente passo temporale;

CFL (Courant-Friedrich-Lewy), mette in relazione la celerità dell'onda di sommersione con la suddivisione temporale e spaziale. L'interpretazione fisica del CFL asserisce che una particella del fluido non deve compiere un percorso superiore all'incremento spaziale  $Nx$  in un passo temporale  $Nt$  (Fletcher,1990). FLO-2D usa le condizioni CFL per le piane inondabili, i canali e le strade. Il passo temporale può essere limitato secondo la relazione:

$$\Delta t = C^* \Delta x / (v + c)$$

dove  $C$  è il numero di Courant ( $C \leq 1.0$ ),  $Nx$  è la dimensione dell'elemento della griglia,  $v$  è la velocità media calcolata lungo la sezione trasversale,  $c$  è la celerità calcolata dell'onda;

Dynamic Wave Stability Criteria, sviluppato da Ponce e Theurer (1982). Questo criterio è funzione della pendenza di fondo, delle portate e delle dimensioni degli elementi della griglia. Infatti in base alla seguente relazione:

$$\Delta t < \zeta^* \Delta x^2 / q_0$$

Dove  $q_0$  è la portata unitaria,  $S_0$  è la pendenza di fondo e  $z$  è un coefficiente empirico con valori compresi tra 0.10 e 1.0.

Gli effetti di una possibile instabilità numerica si manifestano con elevati valori di velocità e livelli degli idrometrici in uscita molto elevati. Come si può notare il fattore fondamentale è quello del passo temporale che generalmente si colloca in un intervallo di valori tra 0.1 secondi e 30 secondi. Il modello inizia la sua simulazione con un passo temporale minimo, cioè uguale ad 1 secondo e aumenta fino a che una delle tre condizioni di stabilità non viene superata, e successivamente il passo temporale torna a diminuire. Se i criteri di stabilità continuano ad essere superati, il passo temporale diminuisce fino al minimo valore. Se il minimo intervallo temporale non è sufficientemente piccolo per conservare il volume o la stabilità numerica si presentano tre possibili soluzioni: a) riduzione del passo temporale; b) il coefficiente  $C$  di stabilità numerica viene adattato; c) vengono modificati i dati di input. I tre parametri fondamentali per la stabilità sono: le dimensioni della griglia, la portata di picco in ingresso ed il passo temporale. Piccole dimensioni degli elementi della griglia con un aumento delle portate dell'idrogramma in ingresso ed un'ampia portata di picco, necessitano di un passo temporale molto ridotto.

Nel caso in esame, trattandosi di overland flow, è sufficiente applicare il criterio di stabilità di Courant.

#### 4.1.2 Implementazione del modello per il Bacino 1

Lo studio del Bacino 1 ci consentirà di determinare l'ampiezza delle aree allagabili con  $Tr$  pari a 200 anni e, di conseguenza di definire l'ampiezza dell'area allagabile e, quindi, verificare se l'aerogeneratore WTG 05 rientra in fascia di pertinenza fluviale.

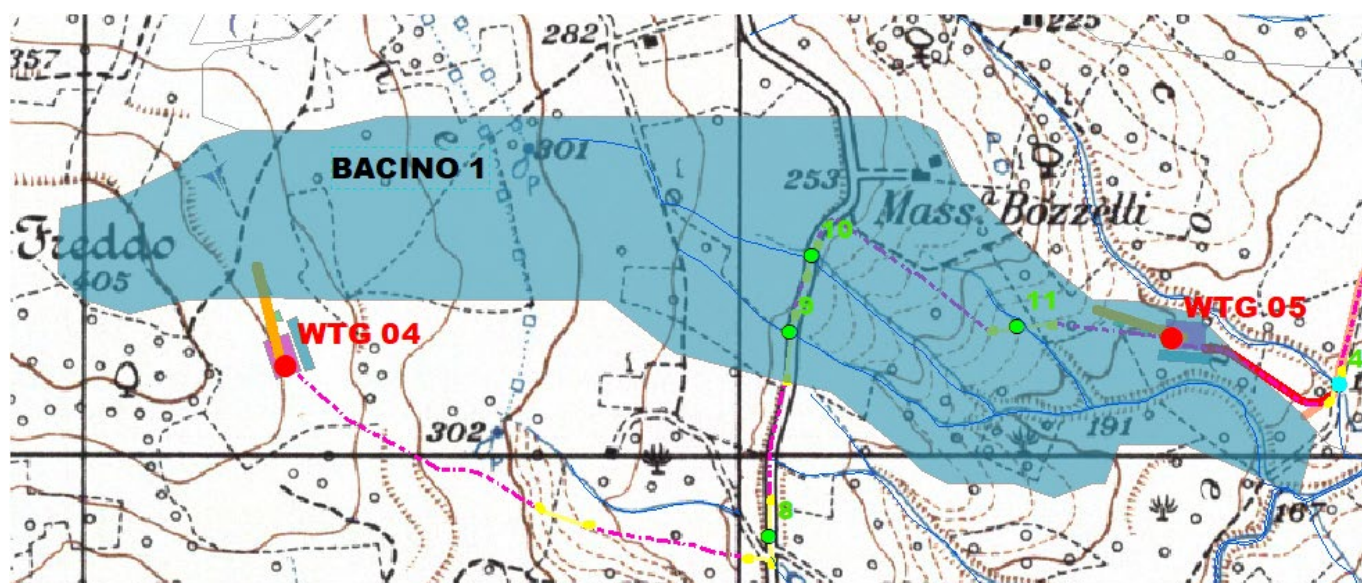
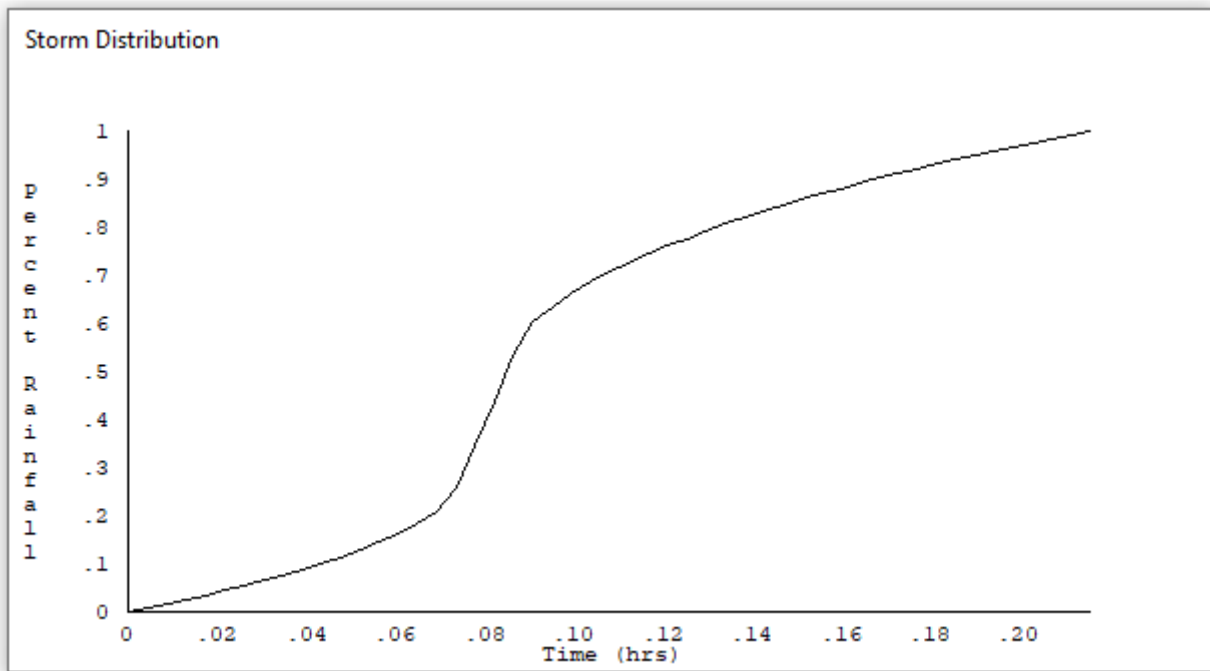


Figura 8 Bacino 1 con rappresentazione delle criticità oggetto di studio

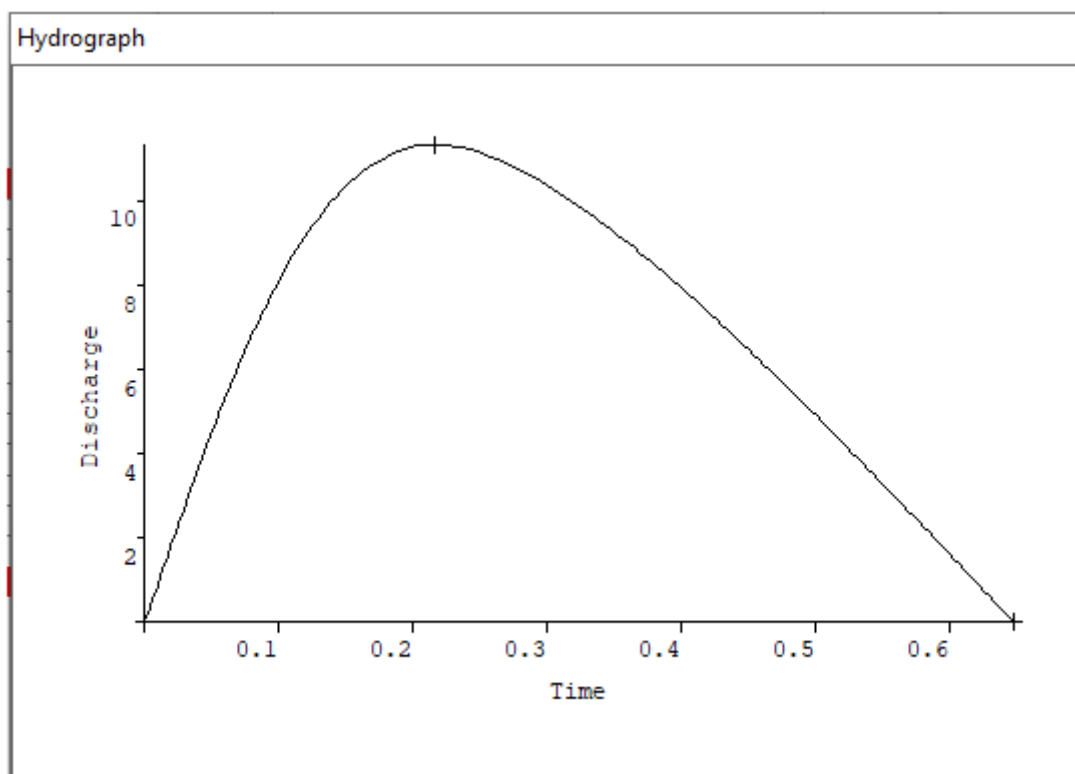
Come già detto nel paragrafo precedente è stato implementato un modello bidimensionale puro.

Il dominio di calcolo, coincidente con l'estensione del bacino idrografico 1, è stato creato in ambiente di pre-processamento GDS; lo stesso è stato discretizzato con celle di 20 m, la quota di ogni cella è stata ottenuta sulla base delle quote del DEM 20 m della regione Molise.

La valutazione delle dinamiche idrauliche sull'area di interesse è stata effettuata inserendo nel dominio di calcolo bidimensionale lo ietogramma netto di pioggia sulla base del volume specifico di deflusso prima definito, per una durata dell'evento pari al tempo di corrivazione.



Inoltre, è stato inserito anche l'idrogramma di piena. L'idrogramma di piena viene approssimato da un triangolo. Viene inoltre assunta l'ipotesi che la durata  $t_p$  della precipitazione di progetto  $P$  sia pari al tempo di corrivazione  $t_c$ . All'istante  $t_c$ , quando tutta la superficie del bacino concorre alla produzione del deflusso alla sezione di chiusura, la precipitazione cessa e la portata inizia a diminuire. Quindi anche  $t_a$ , (tempo di accumulo o di concentrazione) risulta esattamente uguale a  $t_c$  e  $t_p$ . La durata della fase di esaurimento è stata assunta pari a  $2 t_c$ .



Come condizioni al contorno di valle sono state semplicemente impostate come outflow tutte le celle a ridosso della sezione di chiusura immediatamente a monte della sezione di chiusura.

#### 4.1.3 Implementazione del modello per il Bacino 2

Lo studio del Bacino 1 ci consentirà di determinare l'ampiezza delle aree allagabili con Tr pari a 200 anni e, di conseguenza di definire l'ampiezza dell'area allagabile e, quindi, verificare se l'aerogeneratore WTG 05 rientra in fascia di pertinenza fluviale.

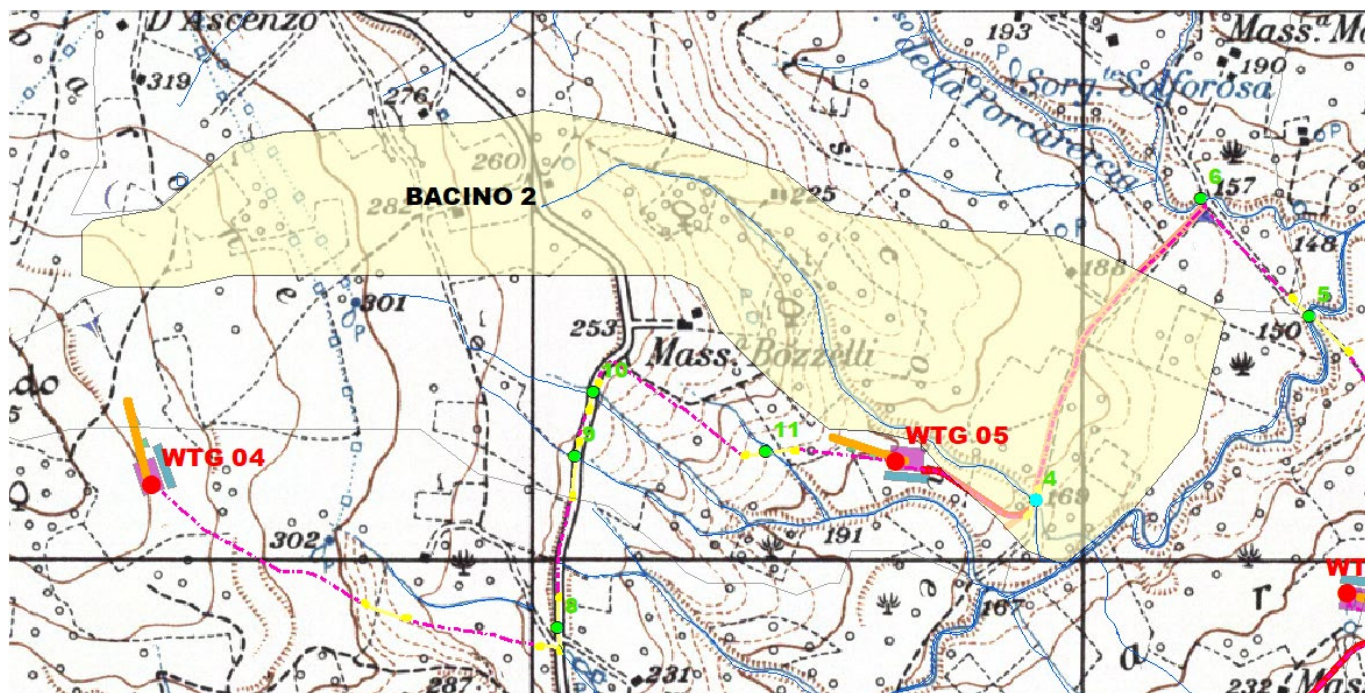
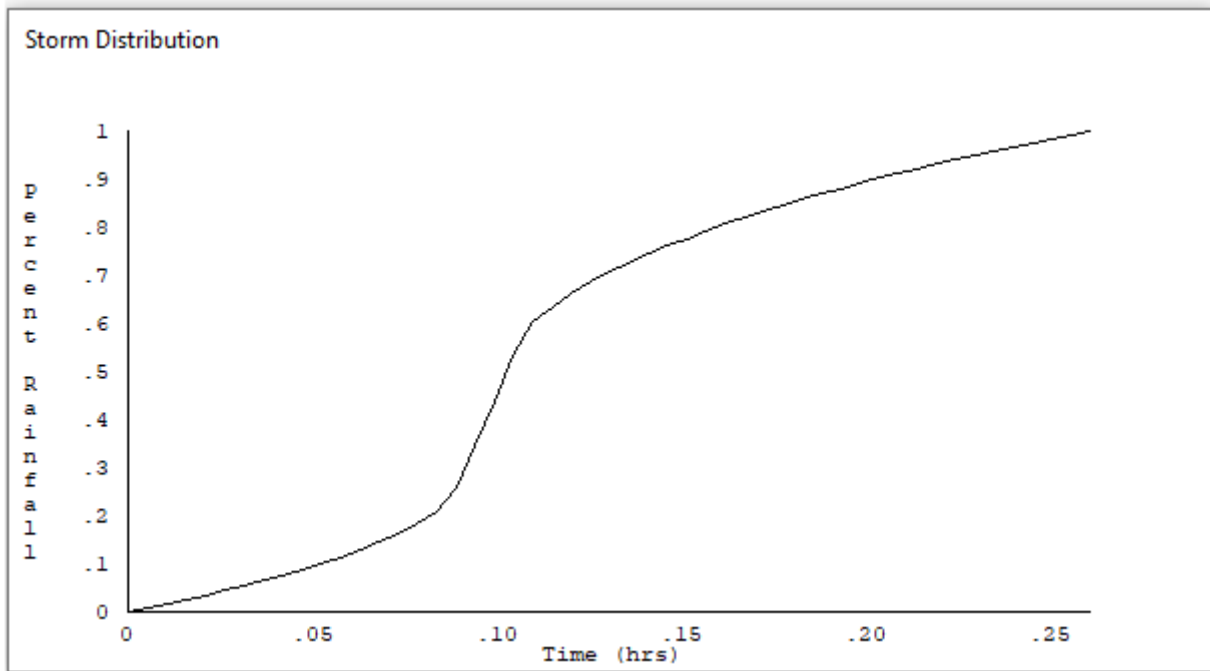


Figura 9 Bacino 2 con rappresentazione delle criticità oggetto di studio

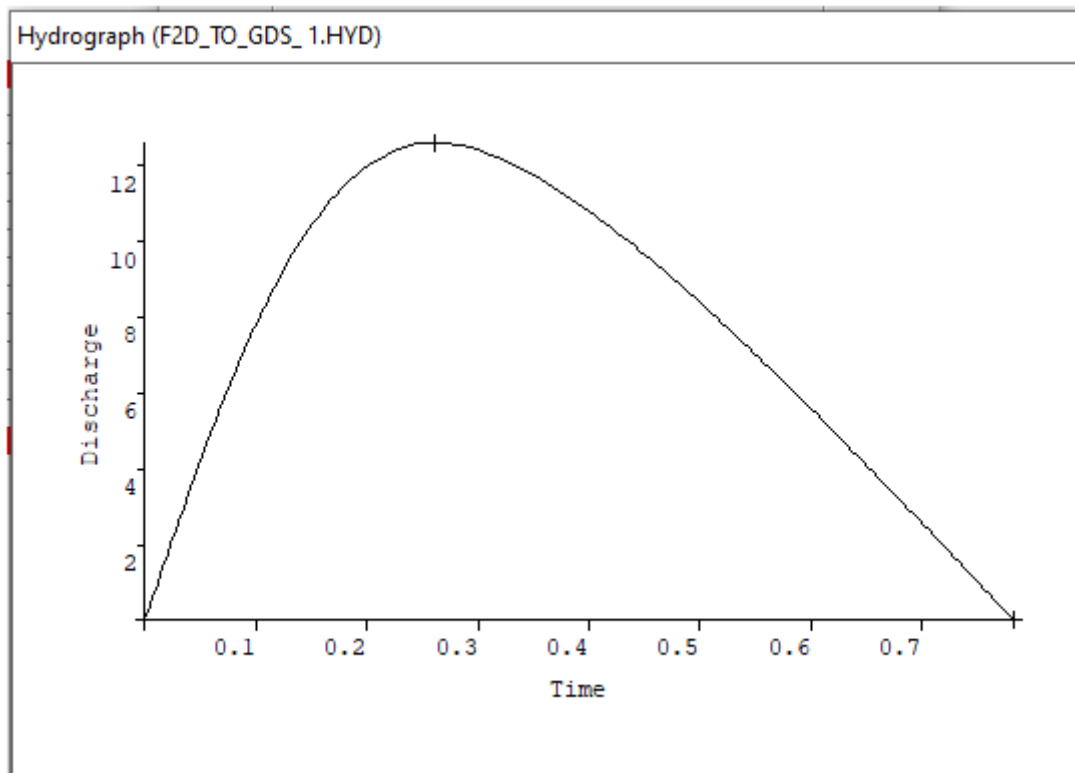
Come già detto nel paragrafo precedente è stato implementato un modello bidimensionale puro.

Il dominio di calcolo, coincidente con l'estensione del bacino idrografico 1, è stato creato in ambiente di pre-processamento GDS; lo stesso è stato discretizzato con celle di 20 m, la quota di ogni cella è stata ottenuta sulla base delle quote del DEM 20 m della regione Molise.

La valutazione delle dinamiche idrauliche sull'area di interesse è stata effettuata inserendo nel dominio di calcolo bidimensionale lo ietogramma netto di pioggia sulla base del volume specifico di deflusso prima definito, per una durata dell'evento pari al tempo di corrivazione.



Inoltre, è stato inserito anche l'idrogramma di piena. L'idrogramma di piena viene approssimato da un triangolo. Viene inoltre assunta l'ipotesi che la durata  $t_p$  della precipitazione di progetto  $P$  sia pari al tempo di corrivazione  $t_c$ . All'istante  $t_c$ , quando tutta la superficie del bacino concorre alla produzione del deflusso alla sezione di chiusura, la precipitazione cessa e la portata inizia a diminuire. Quindi anche  $t_a$ , (tempo di accumulo o di concentrazione) risulta esattamente uguale a  $t_c$  e  $t_p$ . La durata della fase di esaurimento è stata assunta pari a  $2 t_c$ .



Come condizioni al contorno di valle sono state semplicemente impostate come outflow tutte le celle a ridosso della sezione di chiusura immediatamente a monte della sezione di chiusura.

#### 4.1.4 Risultati ottenuti

Le valutazioni idrauliche condotte, come meglio dettagliato nel seguito, hanno consentito di definire il comportamento del bacino stesso quando è sollecitato da un evento estremo.

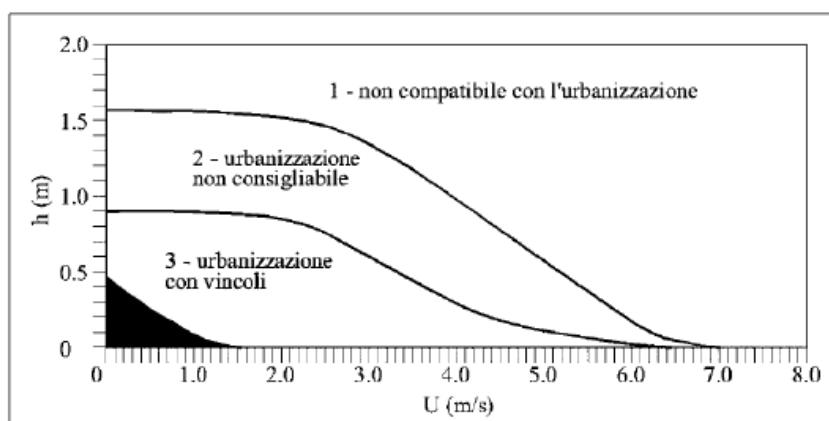
L'indicazione di allagamento di una superficie non è di per sé un fattore di pericolosità; d'altronde, particolari condizioni di allagamento, possono generare condizioni di pericolo per persone e/o cose presenti nelle aree in cui esse si verificano.

Oltre al tirante idrico, i fattori che influiscono sul livello di pericolo sono la velocità di scorrimento idrico e la persistenza del fenomeno. A tal proposito, l'Autorità di Bacino del Tevere propone una serie di approcci per la delimitazione delle fasce fluviali, definendo tre differenti tipologie di inondazione:

1. Aree di inondazione diretta, in immediata comunicazione con il corso d'acqua, dove l'inondazione è rapida e le velocità di deflusso sono relativamente elevate;
2. Aree di inondazione indiretta, inondate solo attraverso passaggi ristretti che limitano drasticamente la rapidità di allagamento;
3. Aree di inondazione marginale, in cui la velocità e l'altezza idrica sono talmente basse da non causare seri pericoli alle persone.

Per la determinazione delle aree marginali, l'AdB del Fiume Tevere ha fatto riferimento al diagramma rappresentato nella figura seguente, diagramma velocità - tirante, in cui tramite curve a uguale spinta totale sono determinate combinazioni di diversa pericolosità.

Vengono così definite aree "marginali", quelle ricadenti nella porzione 4 del grafico della figura sottostante o al disotto della retta di figura 15.



fonte: A.B. Tevere, 2002

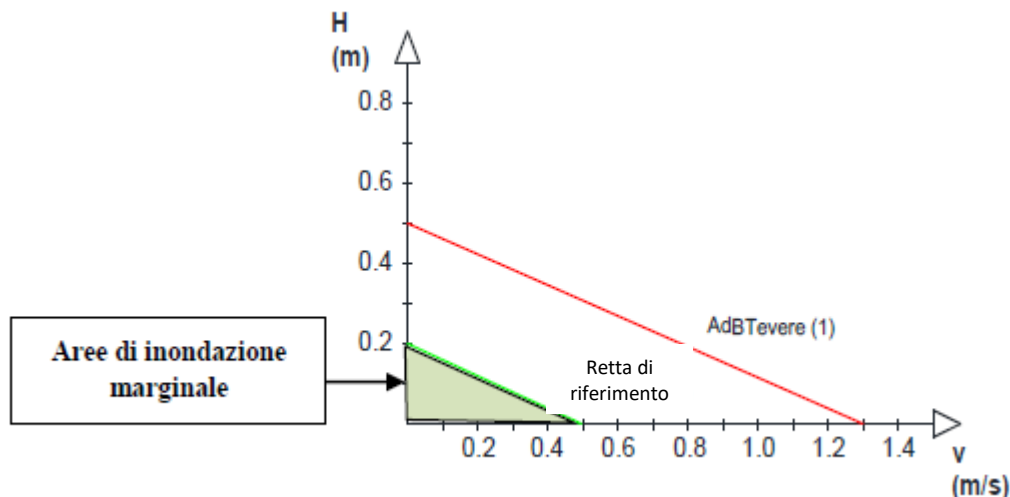


Figura 10 Diagramma della vulnerabilità delle persone in funzione della violenza dell'evento

In definitiva viene messo in evidenza il fatto che le condizioni di rischio non dipendono solo dalla presenza/assenza d'acqua e dell'entità del tirante idrico ma anche il fattore velocità di scorrimento (valutata localmente) gioca un ruolo nell'attribuzione del livello di danno effettivo.

Ciò detto, secondo una prassi in uso presso diverse Autorità di Distretto, i valori soglia adottati risultano essere pari a 0,2 m per i tiranti e 0,5 m/s per le velocità

Pertanto, le aree inondabili generate dai modelli di calcolo utilizzati per la definizione delle aree a diversa pericolosità idraulica, sono state "depurate" dalle suddette "aree di inondazione marginale", ossia da quelle aree che, per combinazione tra tiranti e velocità raggiunte nella singola cella di calcolo, non rappresentano fonte di pericolo per persone o cose, ricercando le aree con potenziale di pericolosità sono state ricercate attraverso l'intersezione tra la mappa dei tiranti e la mappa delle velocità, utilizzando la seguente espressione:

$$h + 0,5 / 1,3 \cdot v > 0,2$$



### Grid Element Ground Surface Elevation

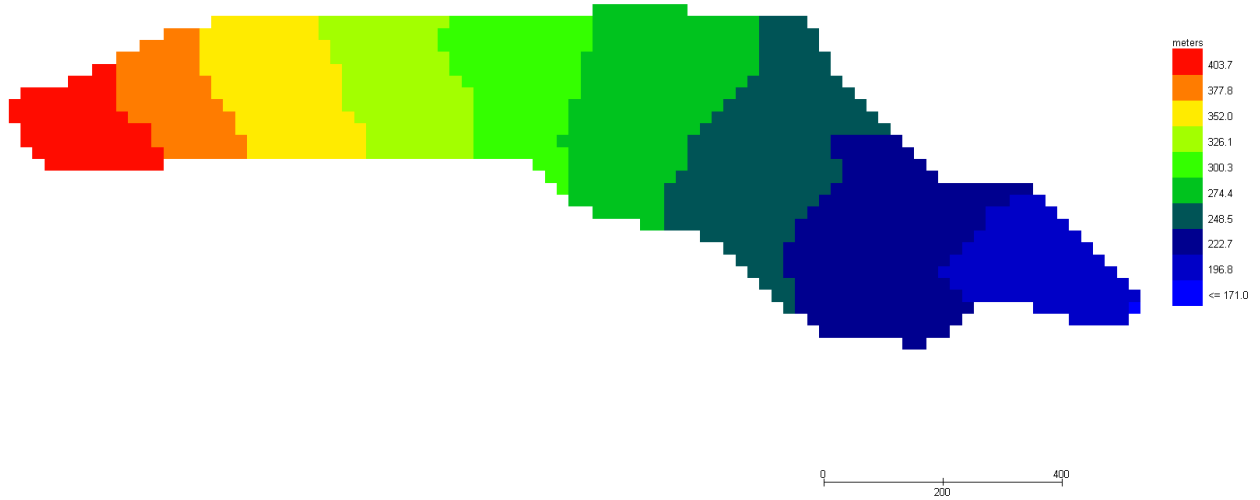


Figura 11 Modello Bacino 1 DTM

### Grid Element Maximum Flow Depth

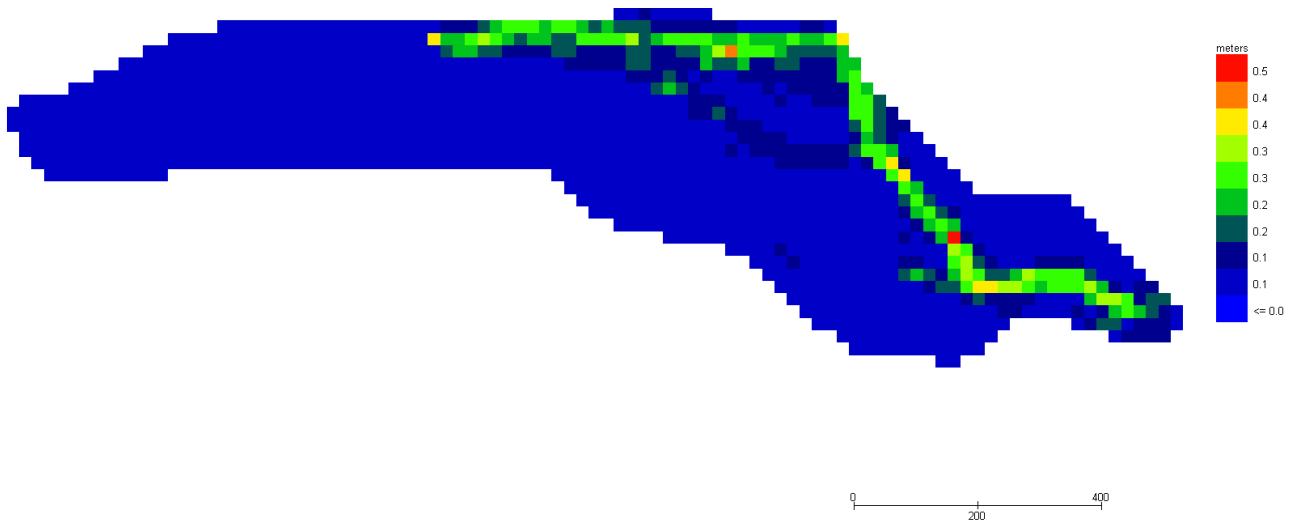


Figura 12 Modello Bacino 1 Tiranti Tr 200 anni

Grid Element Maximum Velocity

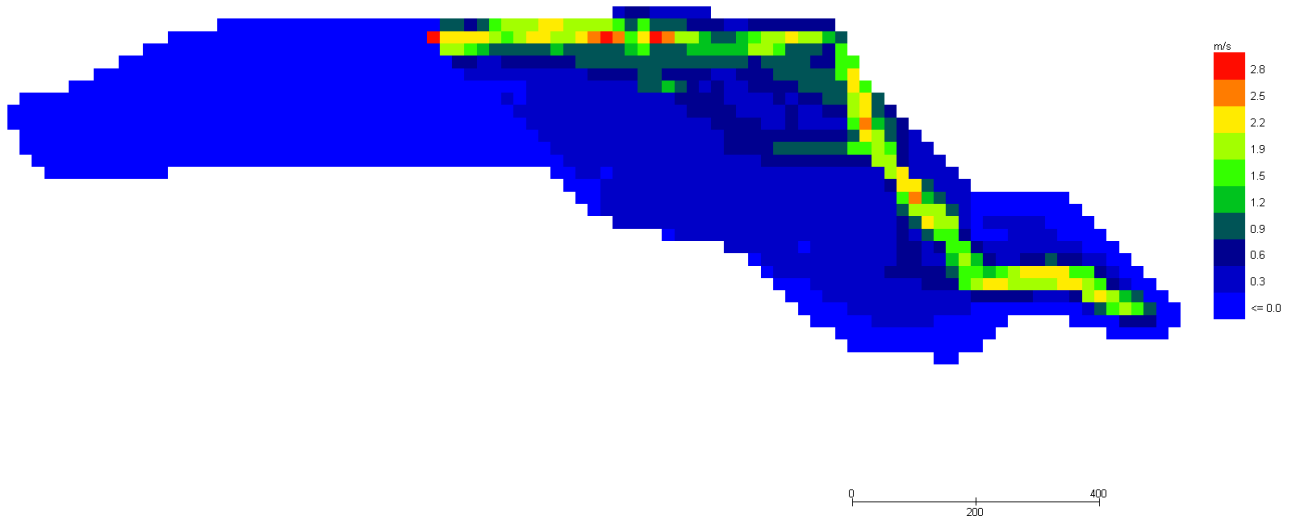


Figura 13 Modello Bacino 1 Velocità Tr 200 anni

Grid Element Ground Surface Elevation

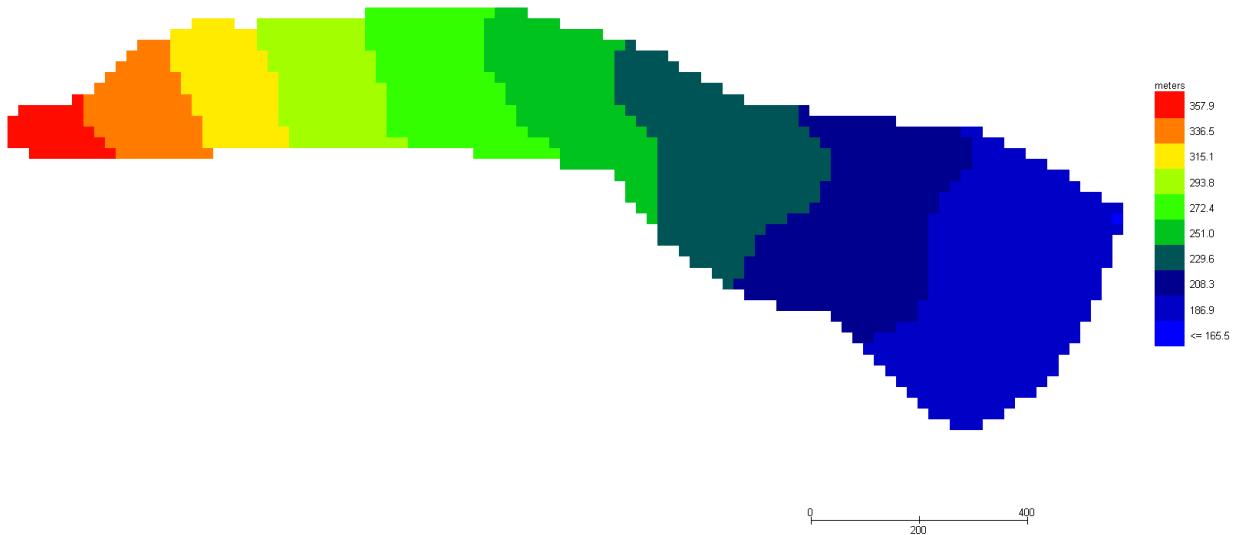


Figura 14 Modello Bacino 2 DTM

## Grid Element Maximum Flow Depth

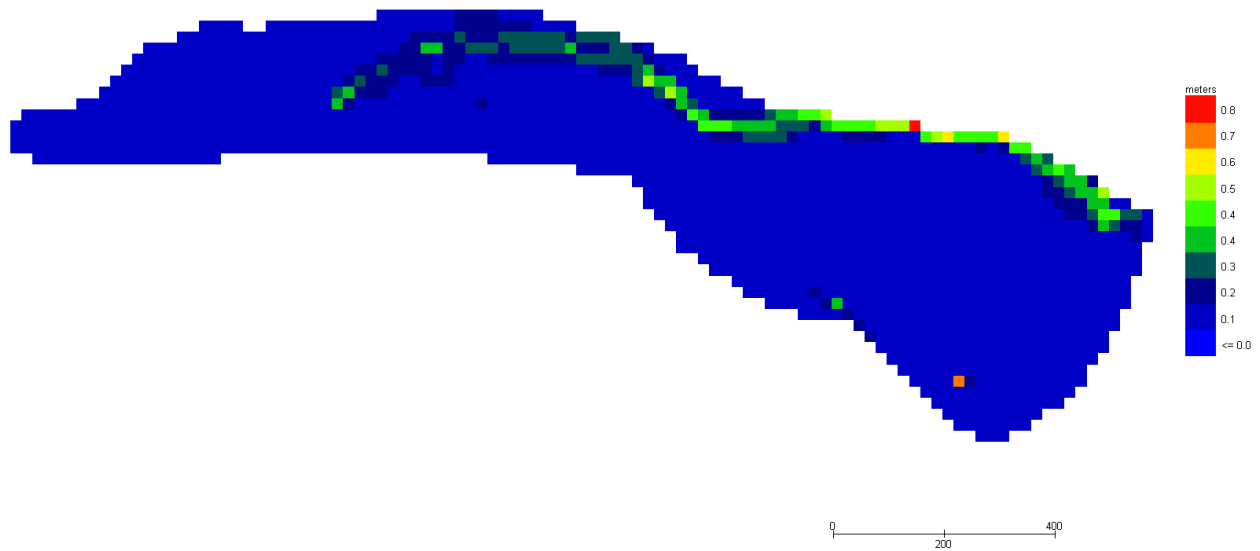


Figura 15 Modello Bacino 2 Tiranti Tr 200 anni

## Grid Element Maximum Velocity

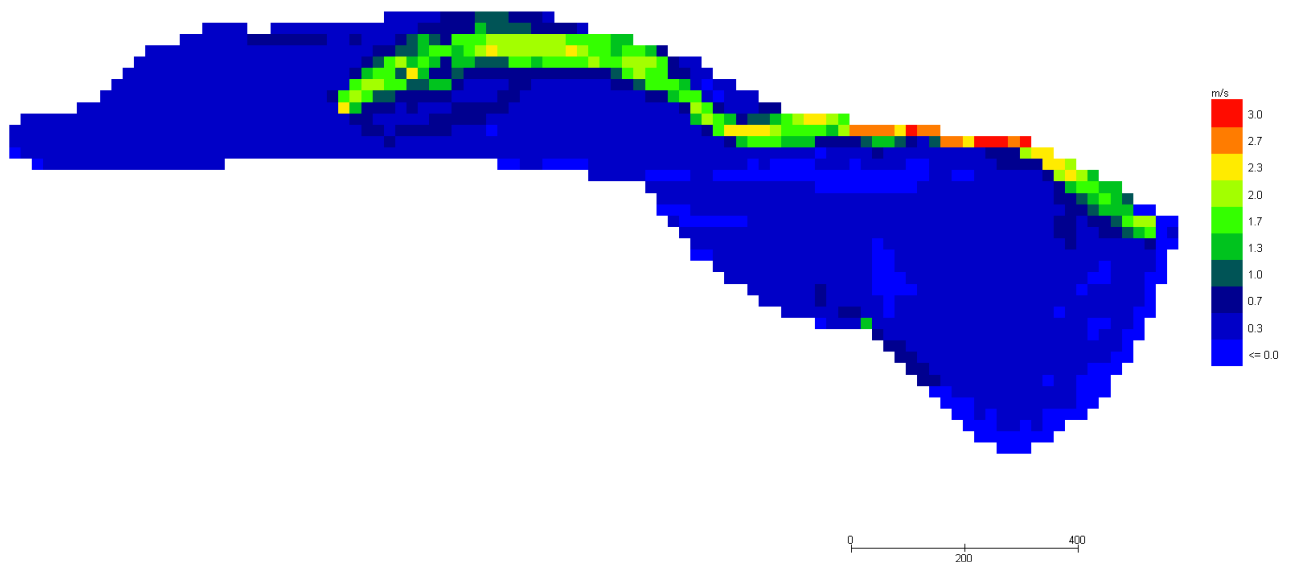


Figura 16 Modello Bacino 2 Velocità Tr 200 anni

Dalla sovrapposizione degli effetti e dall'applicazione dell'espressione prima indicata:

$$h+0,5/1,3 \cdot v > 0,2$$

si ottiene:

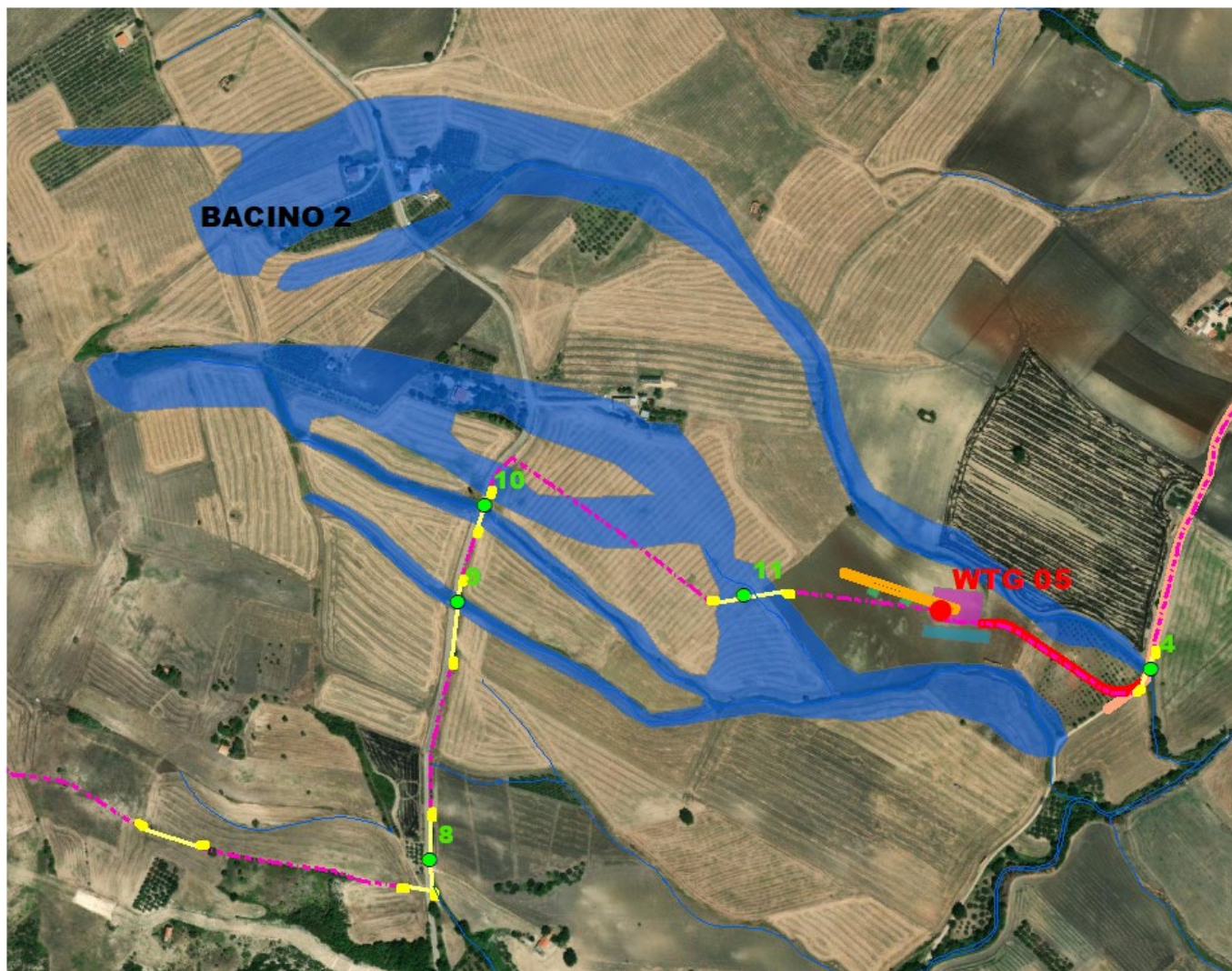


Figura 17 Aree allagabili Tr 200 anni in blu

Dall'analisi svolta risulta che:

- l'aerogeneratore WTG 05 non rientra in fascia di pertinenza fluviale;
- è stata definita l'ampiezza delle fasce di pertinenza fluviale in corrispondenza delle intersezioni indicate di seguito:

Intersezione	Reticolo minuto	Ampiezza minima TOC (m)	Ampiezza progetto TOC (m)
4	x	10	40
9	x	10	85
10	x	10	35
11	x	10	75

Il caviodotto in corrispondenza del punto di intersezione sarà posato ad una profondità di circa 2,0 m rispetto al fondo dell'impluvio esistente.

- per l'intersezione del cavidotto con le aree allagabili si adotterà la tecnica dello scavo a cielo aperto con opportuni accorgimenti e profondità di posa del cavo pari a 2 metri.

#### 4.2 Valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica per l'adeguamento temporaneo della viabilità in prossimità dell'Intersezione 6 per eventi con tempo di ritorno pari a 30 anni

L'intersezione 6 di fatto non si riferisce ad un'intersezione vera e propria, tuttavia si è ritenuto di dover eseguire analisi dettagliate data la estrema vicinanza dei necessari adeguamenti temporanei della viabilità al reticolo idrografico denominato "Fosso della Porcarecchia".

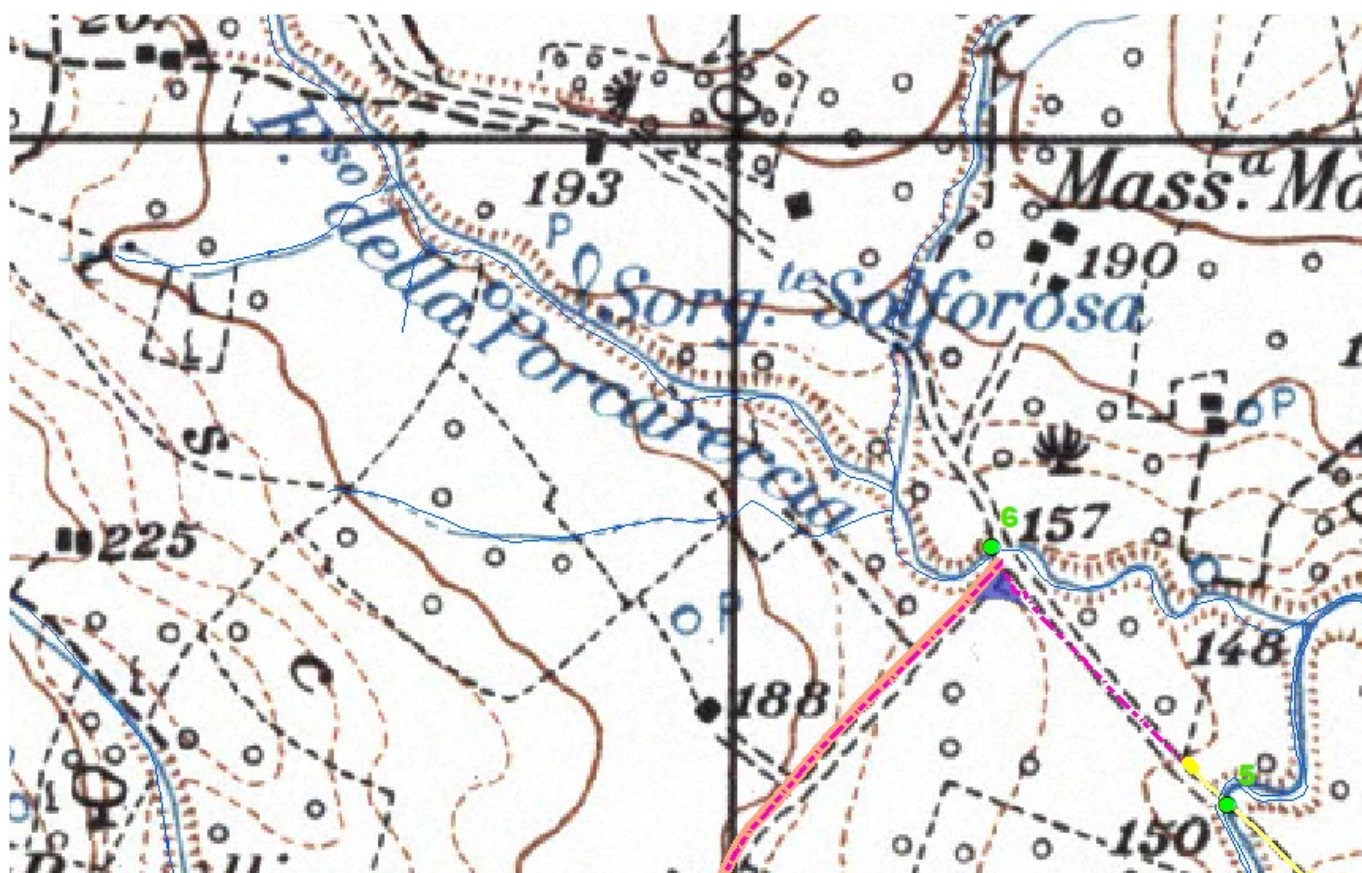


Figura 18 Dettaglio Intersezione 6

Trattandosi di adeguamento temporaneo funzionale alle attività di cantiere tutte le analisi sono state svolte con riferimento a un tempo di ritorno pari a 30 anni.

Il reticolo, in questo caso, ha una sezione morfologica ben incisa pertanto è stato implementato un modello idraulico di calcolo monodimensionale.

#### 4.2.1 Dati di riferimento

Determinate le portate di piena 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, ovvero sia in sezioni poste a monte rispetto a quelle di calcolo.

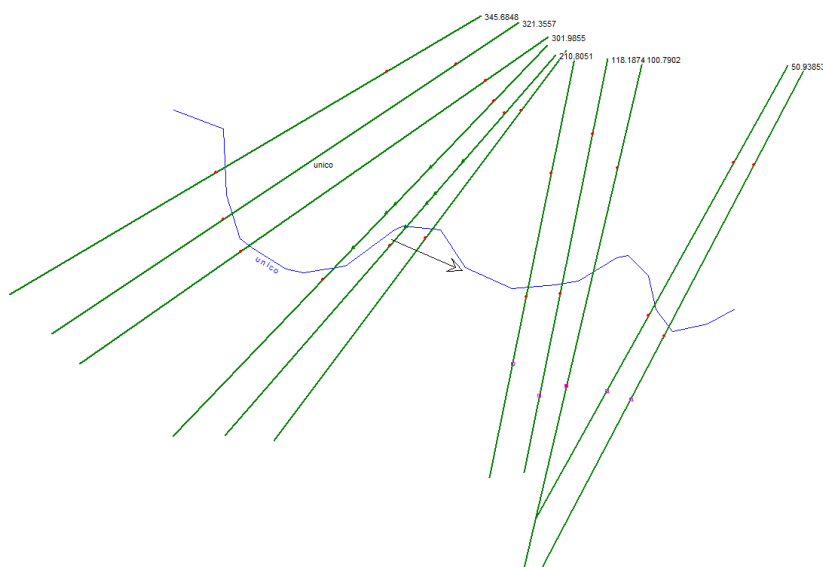


Figura 19 Planimetria Hec Ras, sezioni di studio

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.

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 sé, 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:

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

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).

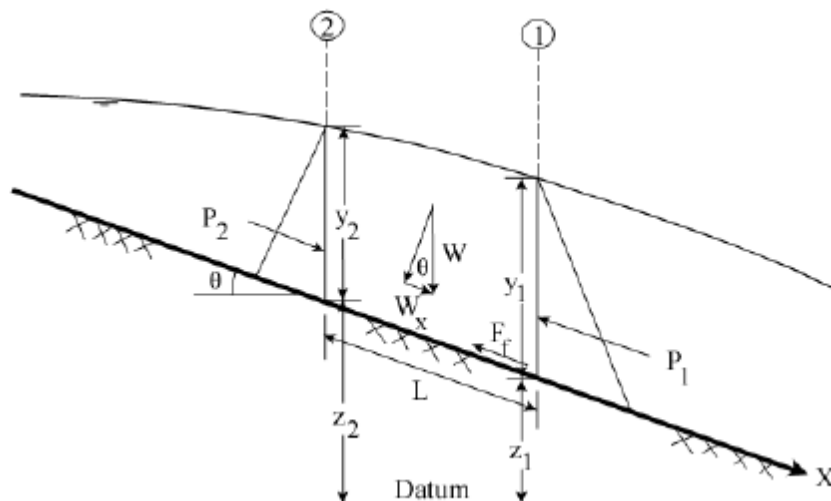
Il criterio utilizzato per l'assunzione di una altezza iniziale del tirante, varia nell'ambito della procedura, man mano che si sviluppano passaggi successivi. Nel primo passaggio, relativo ai cinque punti descritti, il tirante si basa sulla proiezione di quello della sezione precedente nella sezione 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

$\rho$  = densità dell'acqua

$\Delta V_x$  = cambio di velocità tra 2 e 1 nella direzione del moto.

Risolviendo 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:

$$\frac{Q_2\beta_2}{gA_2} + A_2\bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)LS_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)LS_f = \frac{Q_1\beta_1}{gA_1} + A_1\bar{Y}_1$$

#### 4.2.2 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 30 anni risultanti, si è definito il profilo idrico ed i tiranti corrispondenti con riferimento al tratto di alveo studiato ed alle relative sezioni geometriche.

#### 4.2.3 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, .

#### 4.2.4 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.

Le condizioni iniziali considerate, come prima definito, sono quelle di moto stazionario con portata di piena costante per eventi con tempo di ritorno di 30 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.

#### 4.2.5 Sintesi dei risultati

Nell'allegato si mostrano le risultanze della modellazione idraulica monodimensionale di moto permanente lungo l'alveo indagato, 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.

Negli elaborati grafici allegati sono state rappresentate le aree di allagamento connesse agli eventi di riferimento, con tempo di ritorno pari a 30 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, ovvero la mappa delle aree di impronta del passaggio delle piene a 30 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;
- la sezione idraulica risulta sufficiente in corrispondenza dell'area di progetto.

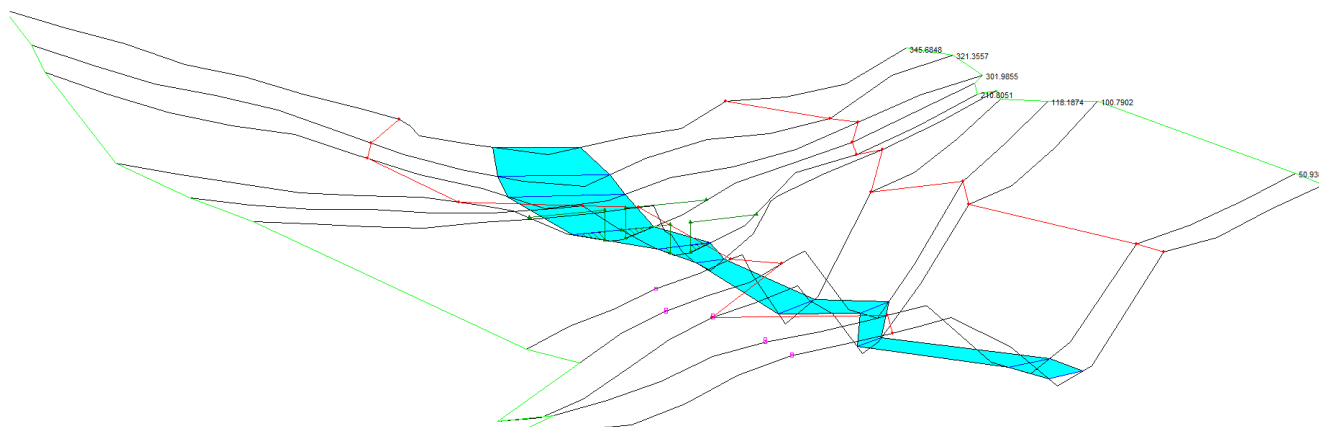


Figura 20 Vista prospettica delle sezioni di studio



Figura 21 Planimetria aree allagabili ante operam



Figura 22 dettaglio area allagabile con sovrapposizione opere di progetto

Risulta evidente che le opere di progetto non interferiscono in alcun modo con il reticolo idrografico “Fosso della Porcareccia”.

#### 4.3 Valutazione dell’assetto idraulico in rapporto alla realizzazione di nuova viabilità per accesso all’aerogeneratore WTG 07

In corrispondenza dell’intersezione della strada a servizio dell’aerogeneratore e il reticolo idrografico ivi presente, si è resa necessaria la progettazione e verifica di opera idraulica con portata relativa ad un tempo di ritorno pari a 200 anni, franco minimo 1,0 ml, così come previsto dalle NTA del PAI per eticolo poco sistemato ma non dissestato.

Stato del bacino sotteso	Tipo di opere	
	Argini e difese spondali	Attraversamenti
Sufficientemente sistemato	cm 50	cm 75
Poco sistemato ma non dissestato	cm 75	cm 100
Dissestato	cm 100	cm 150

Le opere che interessano i corsi d'acqua devono essere progettate e realizzate tenendo conto della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Dovranno essere inoltre adottati i franchi riportati nella seguente tabella rispetto al livello di piena sopraccitato.

Nel caso di studio l'attraversamento sarà realizzato mediante l'installazione di due condotte metalliche a sezione circolare di raggio 2.5 m, appoggiato su cuscinetto di materiale granulare fine, le zone di imbocco di monte e di valle (sagomata a becco di flauto), in alternativa potrà essere utilizzato uno scatolare rettangolare base 3 m altezza 2.5 m.

Si precisa che il presente studio, nella ricerca delle condizioni di sicurezza idraulica per l'attraversamento in progetto, in modo tale da renderlo compatibile con le caratteristiche indisturbate del regime idraulico, è mirato a stabilire la luce e l'altezza all'intradosso del tombino tali da garantire un adeguato franco di sicurezza (1.0 m), rispetto al tirante calcolato alla sezione immediatamente a monte delle opere di attraversamento al transito della piena bicentenaria. Pertanto, per i parametri geometrici relativi alla strada in termini di andamento della livelletta, che nello studio è da ritenersi puramente indicativo in quanto ininfluyente in senso idraulico, si rimanda agli elaborati inerenti la progettazione della strada.

#### 4.3.1 Analisi della sicurezza idraulica dell'area ante opera

Rilevate le criticità nei paragrafi precedenti, per il bacino di studio è stato implementato un modello idraulico di calcolo monodimensionale in moto permanente atto a descrivere le condizioni di assetto idraulico attuali dell'area.

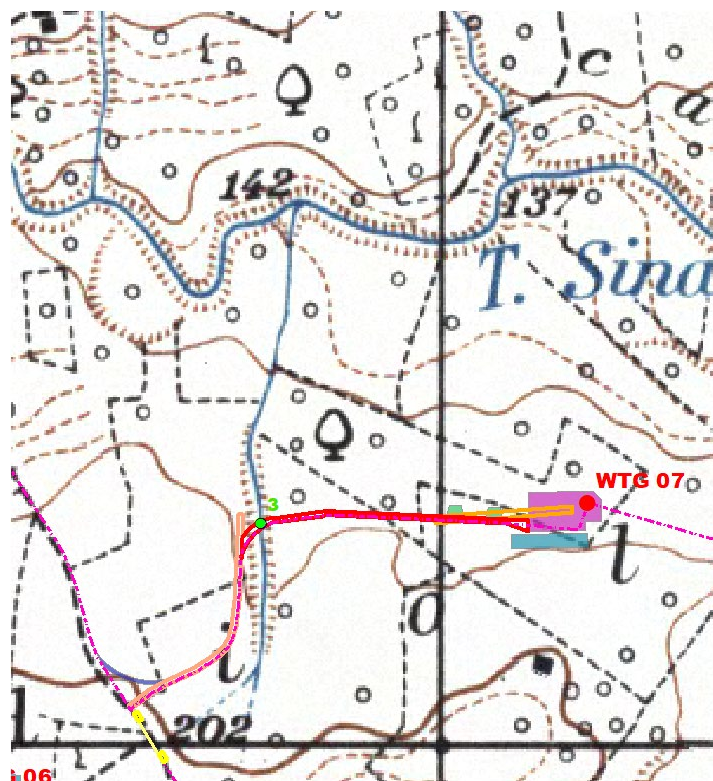


Figura 23 Dettaglio Intersezione 3

Il reticolo, in questo caso, ha una sezione morfologica ben incisa pertanto è stato implementato un modello idraulico di calcolo monodimensionale.

#### 4.3.2 Dati di riferimento

Determinate le portate di piena 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, ovvero sia in sezioni poste a monte rispetto a quelle di calcolo.



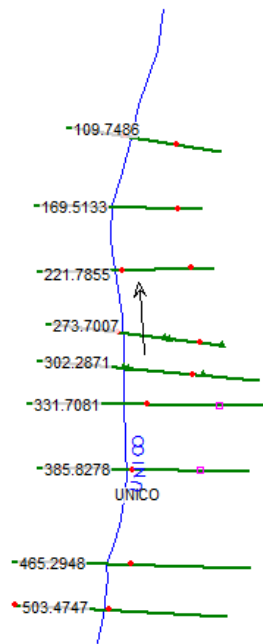


Figura 24 Planimetria Hec Rs, sezioni di studio ante opera

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.

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 sé, 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.

#### 4.3.3 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 30 anni risultanti, si è definito il profilo idrico ed i tiranti corrispondenti con riferimento al tratto di alveo studiato ed alle relative sezioni geometriche.

#### 4.3.4 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, .

#### 4.3.5 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.

Le condizioni iniziali considerate, come prima definito, sono quelle di moto stazionario con portata di piena costante per eventi con tempo di ritorno di 30 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.

#### 4.3.6 Sintesi dei risultati

Nell'allegato si mostrano le risultanze della modellazione idraulica monodimensionale di moto permanente lungo l'alveo indagato, 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.

Negli elaborati grafici allegati sono state rappresentate le aree di allagamento connesse agli eventi di riferimento, con tempo di ritorno pari a 30 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, ovvero sia la mappa delle aree di impronta del passaggio delle piene a 30 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;
- la sezione idraulica risulta sufficiente in corrispondenza dell'area di progetto.

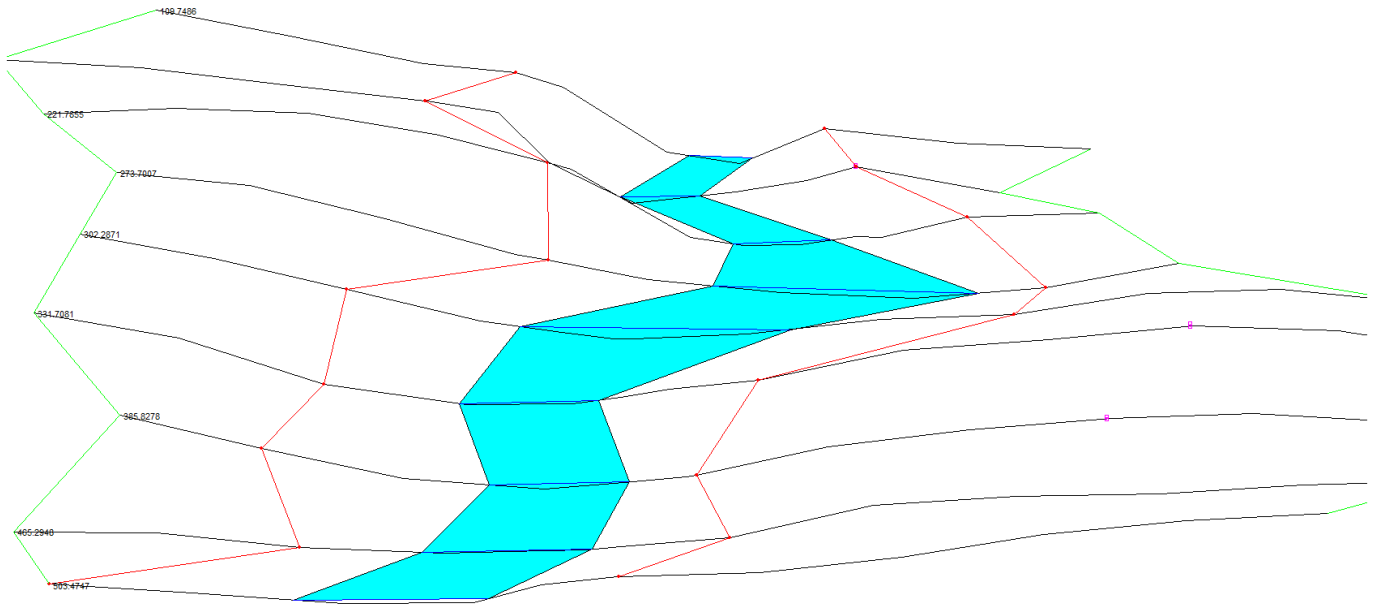


Figura 25 Vista prospettica delle sezioni di studio ante opera



Figura 26 Planimetria aree allagabili ante operam

#### 4.3.7 Studio idraulico post operam

Il progetto prevede la realizzazione di nuova viabilità per poter accedere all'aerogeneratore WTG 03, nel caso di studio l'attraversamento sarà realizzato mediante l'installazione di due condotte metalliche a sezione circolare di raggio 2.5 m, appoggiato su cuscinetto di materiale granulare fine, le zone di imbocco di monte e di valle (sagomata a becco di flauto), in alternativa potrà essere utilizzato uno scatolare rettangolare base 3 m altezza 2.5 m. La verifica sarà effettuata per entrambe le soluzioni denominate rispettivamente Scenario 1 e Scenario 2.

L'analisi idraulica post operam ha, quindi, previsto l'inserimento di tutte le opere elencate all'interno del modello monodimensionale già implementato per la simulazione delle condizioni ante operam.



Figura 27 Planimetria modello Hec Ras (post operam)

#### 4.3.8 Coefficiente di scabrezza

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

#### 4.3.9 Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Come condizione al contorno, sia di monte che di valle, si è imposta l'altezza critica.

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.

#### 4.3.10 Sintesi dei risultati

In allegato sono riportati tutti i tabulati di calcolo delle verifiche idrauliche post operam sia per lo Scenario 1 che per lo Scenario 2.

In generale è possibile affermare che a seguito dell'inserimento delle opere di attraversamento:

- I deflussi transitano con franco maggiore di 1 m:

	TIPOLOGIA ATTARAVERSAMENTO	Tirante H200 (m)	Quota fondo alveo (slmm)	Franco idraulico (m)
<b>SCENARIO 1</b>	Tombino circolare $\varnothing$ 2.5 m	175.82	174.58	1.26
<b>SCENARIO 2</b>	Scatolare reattangolare base 3 m altezza 2.5 m	175.87	174.58	1.21

- dalla sovrapposizione delle aree allagabili ante operam e delle aree allagabili post operam è evidente che, le condizioni di pericolosità idraulica dell'area a monte e a valle dell'area interessata, a seguito della realizzazione degli interventi proposti nel presente progetto, non subiscono alcuna variazione

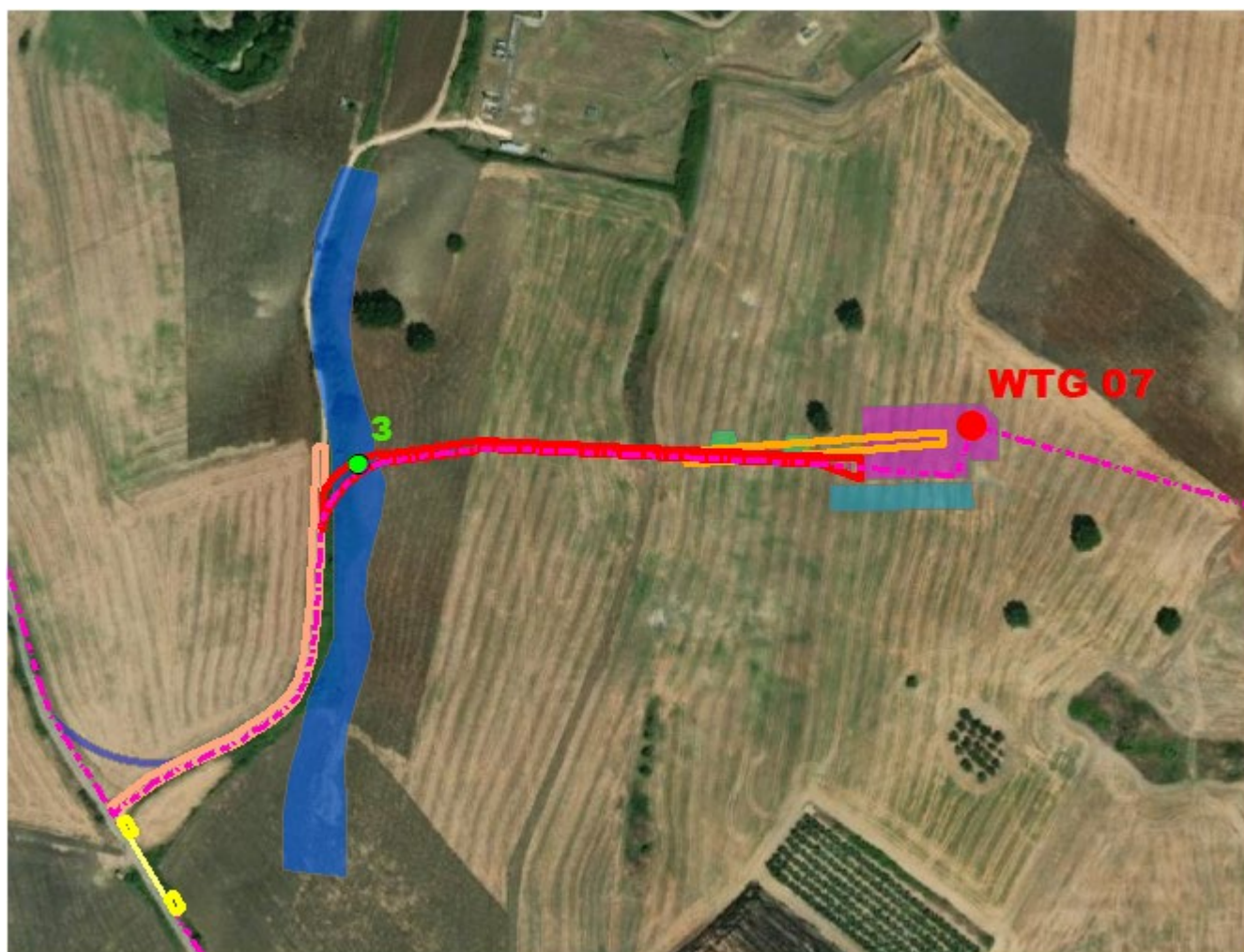


Figura 28 Planimetria aree allagabili post opera Scenario 1



Figura 29 Planimetria aree allagabili post opera Scenario 2

## 5 REALIZZAZIONE TOC-MODALITÀ OPERATIVE

La tecnica T.O.C. si articola secondo tre fasi operative:

- 1) esecuzione del foro pilota: questo sarà di piccolo diametro e verrà realizzato 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.

A seguire si restituiscono alcuni schemi semplificativi della TOC.

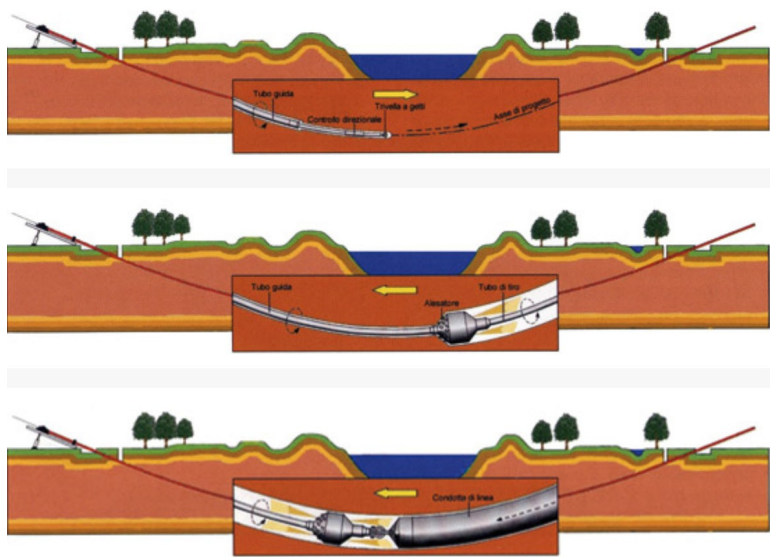


Figura 30 Operazioni di scavo direzionali con TOC

## 6 ACCORGIMENTI PER SCAVI A CIELO APERTO

In fase di realizzazione degli scavi si adotteranno i seguenti accorgimenti:

- le operazioni di scavo e rinterro per la posa dei cavidotti non modificheranno il libero deflusso delle acque superficiali;
- saranno realizzate opere atte ad impedire il trasferimento nel sottosuolo di eventuali acque superficiali che si dovessero infiltrare nella trincea di scavo anche in funzione della pendenza longitudinale del fondo;
- durante l'esercizio delle opere si eviterà, in modo assoluto, l'infiltrazione delle acque piovane nelle trincee realizzate per la posa dei cavidotti;
- il materiale di risulta provenienti dagli scavi, non utilizzato, sarà portato nel più breve tempo possibile alle discariche autorizzate.

## 7 CONCLUSIONI

Con riferimento al progetto per la realizzazione di un impianto eolico costituito da nove aerogeneratori della potenza unitaria di 7.2 MW, per una potenza complessiva di impianto pari a 64,8 MW con il presente studio sono stati effettuati alcuni approfondimenti di carattere idrologico ed idraulico in ragione delle problematiche idrauliche esistenti nella zona di intervento. Proponente dell'iniziativa è la società Monty Wind S.r.l. Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Montecilfone e Montenero di Bisaccia, in Provincia di Campobasso in località "Guardiola", dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 2,2 km e 2,5 km.

Dalla consultazione degli elaborati grafici sono emerse le seguenti criticità:

- alcuni aerogeneratori sono ubicati in prossimità di reticoli idrografici minori;
- la viabilità di progetto interseca alcuni reticoli idrografici minori;
- il cavidotto interrato interseca diversi reticoli idrografici

Per il superamento delle intersezioni cavidotto / reticolo idrografico si è scelto di utilizzare la tecnica della trivellazione orizzontale controllata TOC:

Intersezione	Ampiezza progetto TOC (m)
3	10
4	40
5	40
7	20
8	10
9	85
10	35
11	75

Il cavidotto in corrispondenza del punto di intersezione sarà posato ad una profondità di circa 2,0 m rispetto al fondo dell'impiuvio esistente.

Per l'intersezione del cavidotto con le aree allagabili detrmiante con gli studi di dettaglio si adotterà la tecnica dello scavo a cielo aperto con opportuni accorgimenti e profondità di posa del cavo pari a 2 metri.

Infine sono state effettuate valutazioni di dettaglio sia per l'adeguamento temporaneo della viabilità in corrispondenza dell'intersezione 6, esterno alle aree allagabili e quindi in condizioni di sicurezza, sia per l'intersezione 3 ubicata in corrispondenza della viabilità di progetto a servizio dell'aerogeneratore WTG 07.

L'attraversamento sarà realizzato mediante l'installazione di due condotte metalliche a sezione circolare di raggio 2.5 m, appoggiato su cuscinetto di materiale granulare fine, le zone di imbocco di monte e di valle (sagomata a becco di flauto), in alternativa potrà essere utilizzato uno scatolare rettangolare base 3 m altezza 2.5 m.

Effettuate le simulazioni post opera per gentrambi gli scenari è possibile affermare che:

- I deflussi transitano con franco maggiore di 1 m:

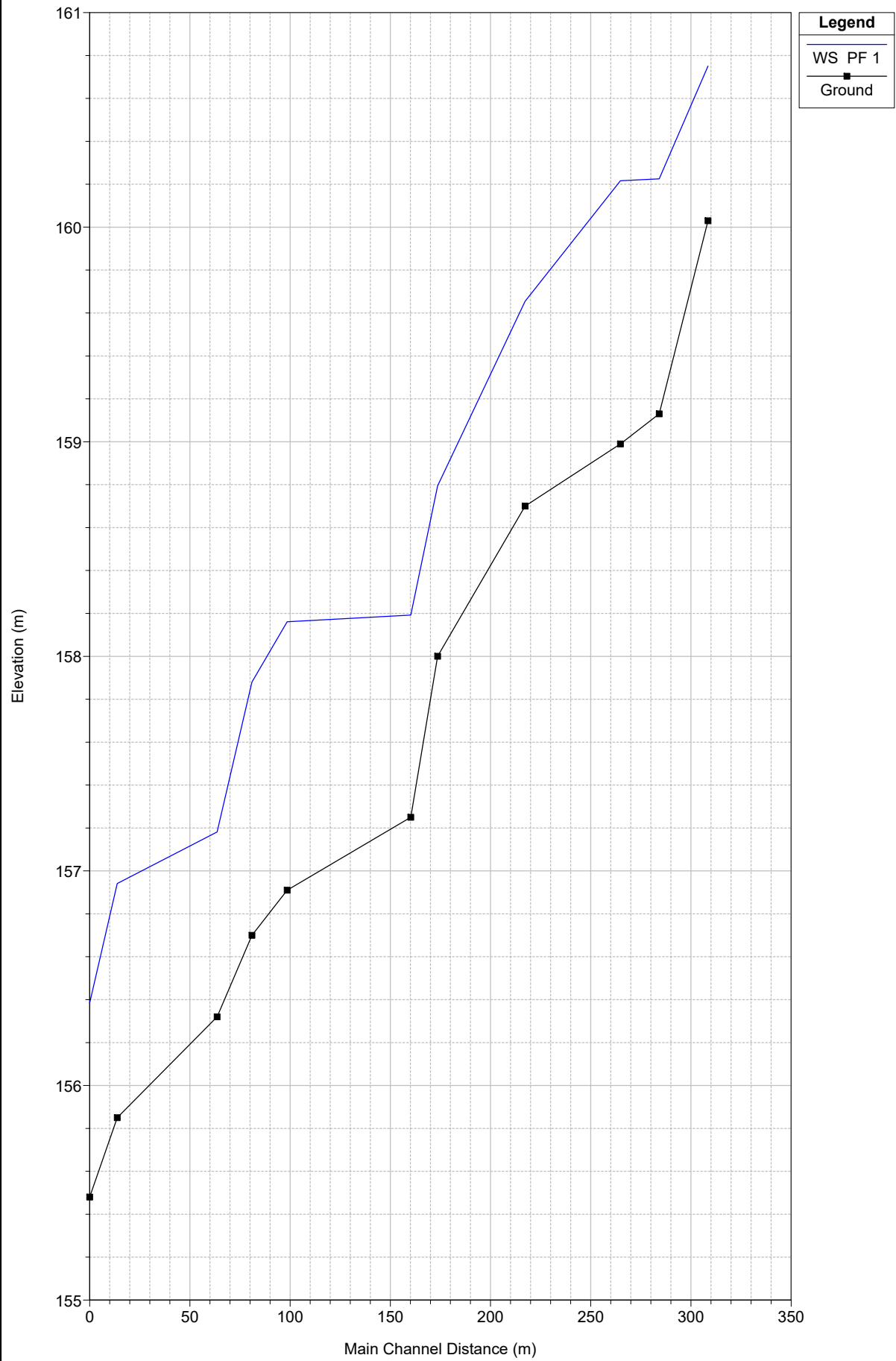
	TIPOLOGIA ATTARAVERSAMENTO	Tirante H200 (m)	Quota fondo alveo (slmm)	Franco idraulico (m)
<b>SCENARIO 1</b>	Tombino circolare $\varnothing$ 2.5 m	175.82	174.58	1.26
<b>SCENARIO 2</b>	Scatolare reattangolare base 3 m altezza 2.5 m	175.87	174.58	1.21

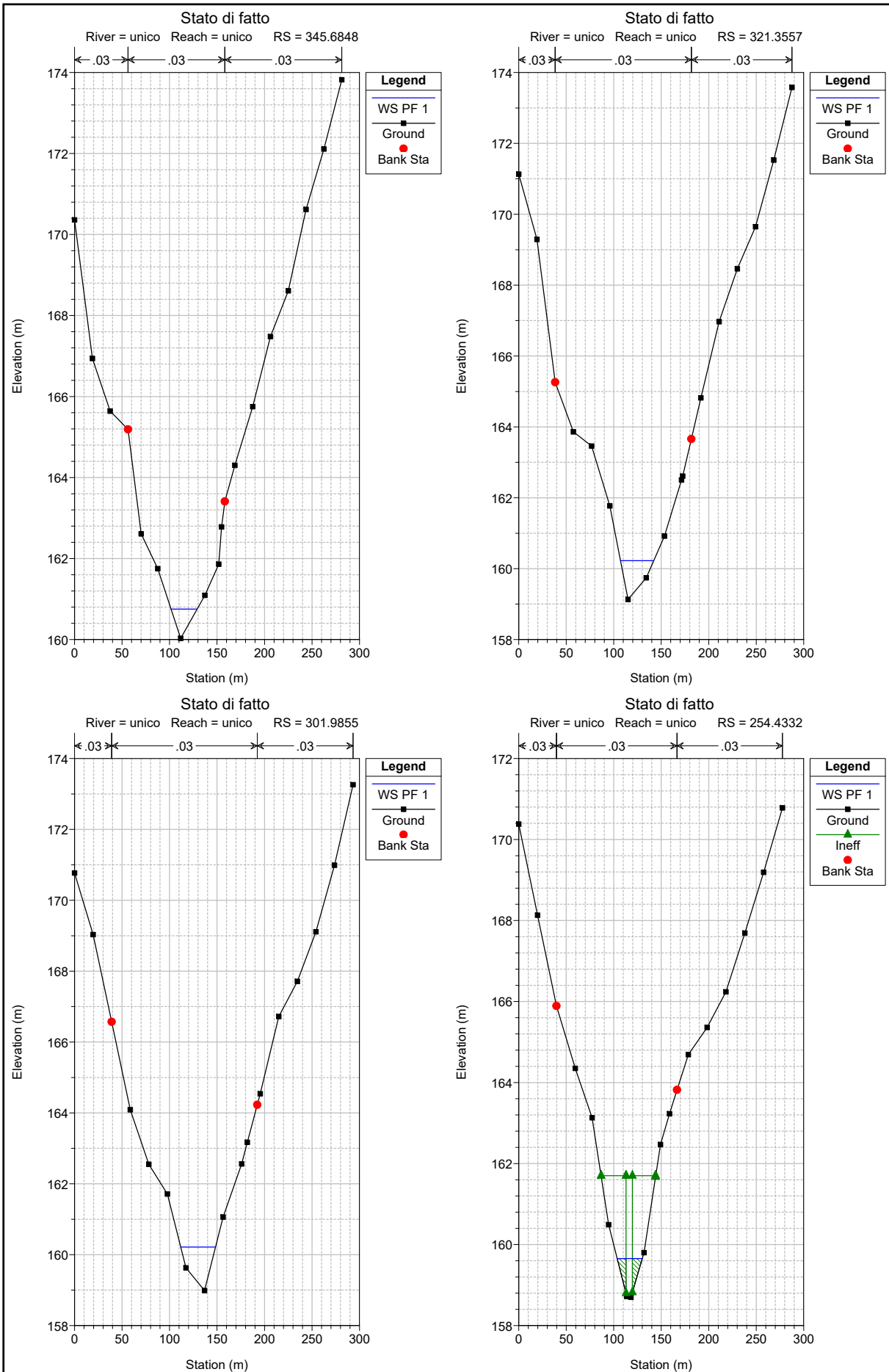
- dalla sovrapposizione delle aree allagabili ante operam e delle aree allagabili post operam è evidente che, le condizioni di pericolosità idraulica dell'area a monte e a valle dell'area interessata, a seguito della realizzazione degli interventi proposti nel presente progetto, non subiscono alcuna variazione

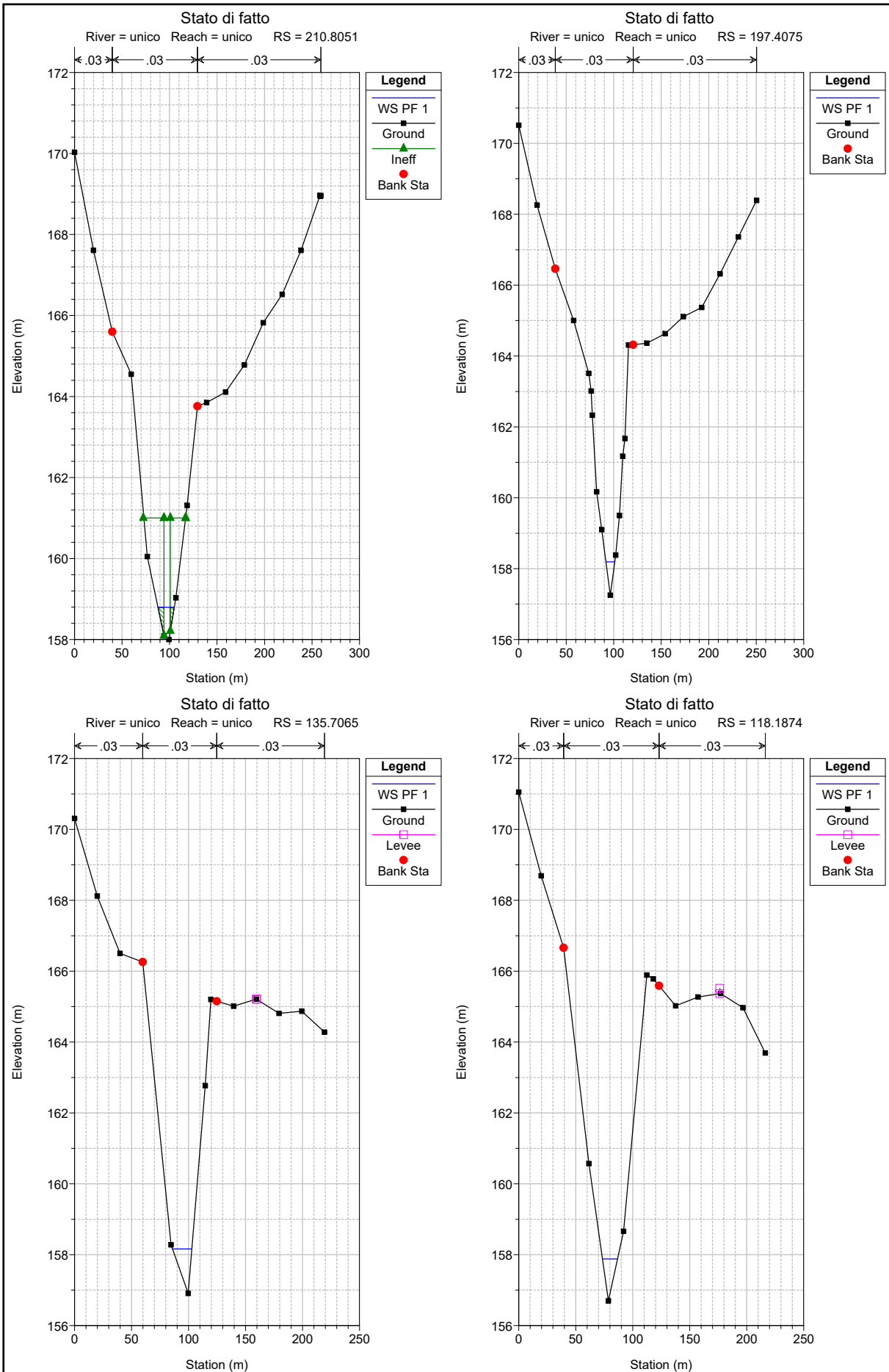
La presenza delle problematiche sopra esposte, dichiarata, dall'impresa proponente, la non delocalizzabilità dell'opera, non costituisce vincolo ostativo alla fattibilità dell'opera, a seguito delle analisi svolte e degli accorgimenti progettuali previsti è possibile affermare che il parco eolico nella sua interezza risulta essere in condizioni di sicurezza idraulica.

## 8 REPORT HEC RAS BACINO 4

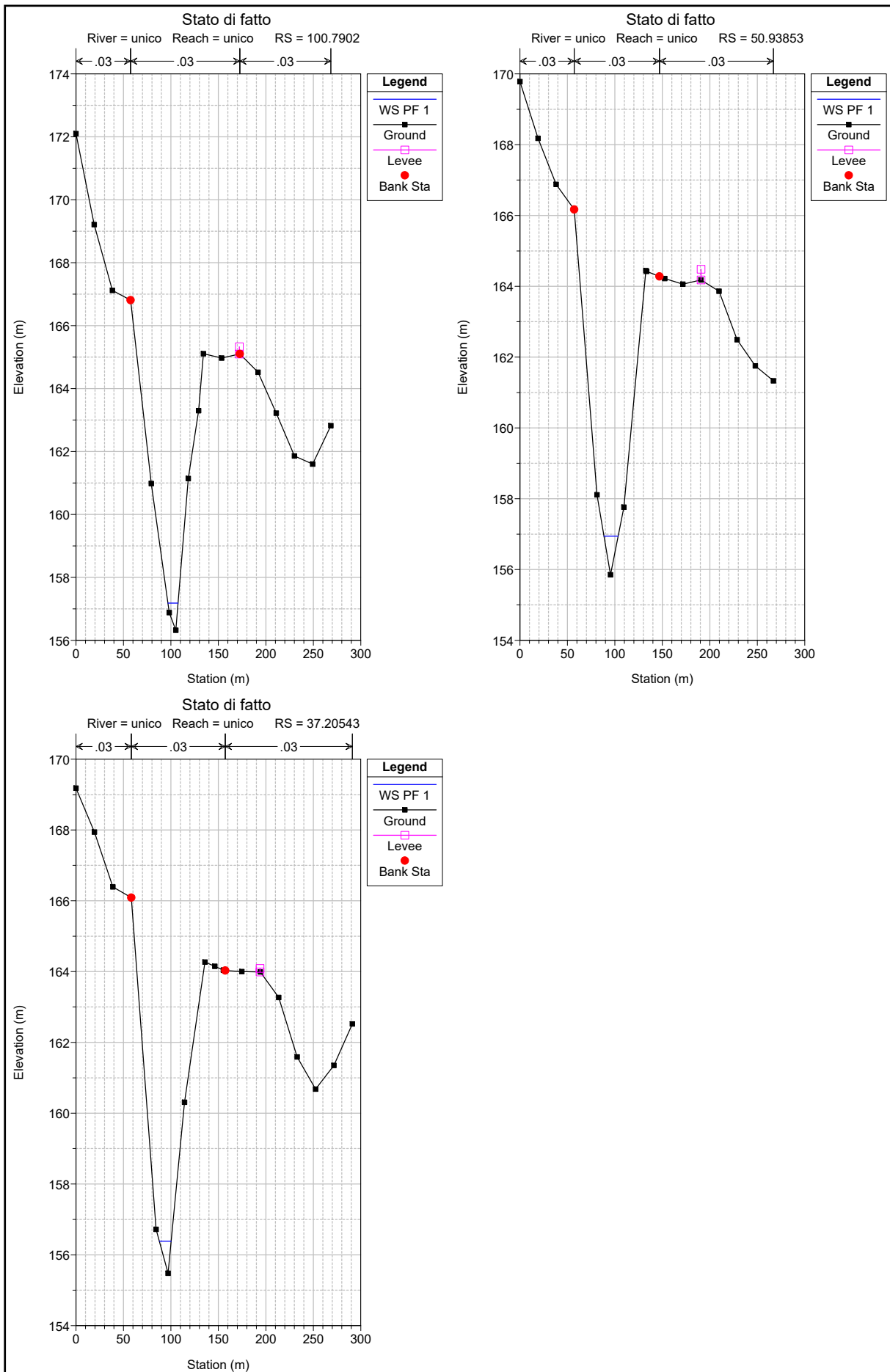
### Stato di fatto











HEC-RAS Plan: Sr. di fatto River: unico Reach: unico Profile: PF 1

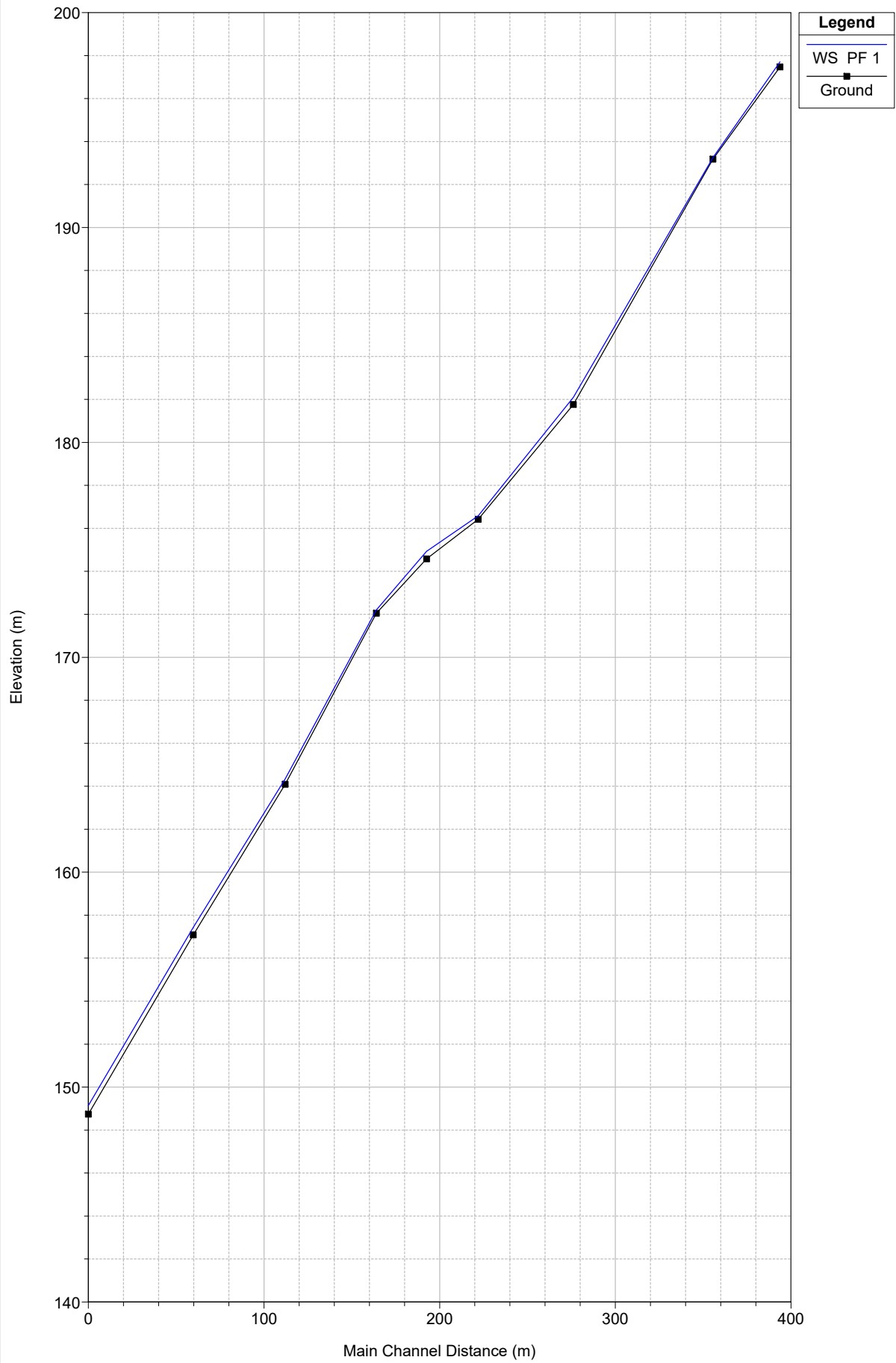
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	345.6848	PF 1	18.86	160.03	160.75	160.75	160.94	0.012799	1.91	9.88	27.42	1.01
unico	321.3557	PF 1	18.86	159.13	160.23	159.84	160.26	0.001346	0.88	21.43	35.02	0.36
unico	301.9855	PF 1	18.86	158.99	160.22		160.24	0.000711	0.71	26.43	36.64	0.27
unico	254.4332	PF 1	18.86	158.70	159.65	159.65	160.12	0.009038	3.01	6.27	26.35	1.00
unico	210.8051	PF 1	18.86	158.00	158.79	158.99	159.53	0.019595	3.80	4.97	17.16	1.41
unico	197.4075	PF 1	18.86	157.25	158.19	158.49	159.13	0.046214	4.28	4.41	9.35	1.99
unico	135.7065	PF 1	18.86	156.91	158.16	158.01	158.32	0.005470	1.78	10.58	16.92	0.72
unico	118.1874	PF 1	18.86	156.70	157.88	157.88	158.18	0.010845	2.42	7.81	13.23	1.00
unico	100.7902	PF 1	18.86	156.32	157.18	157.39	157.84	0.030792	3.60	5.24	10.65	1.64
unico	50.93853	PF 1	18.86	155.85	156.94	156.94	157.21	0.010934	2.31	8.16	14.96	1.00
unico	37.20543	PF 1	18.86	155.48	156.38	156.57	156.95	0.029376	3.34	5.65	12.50	1.58

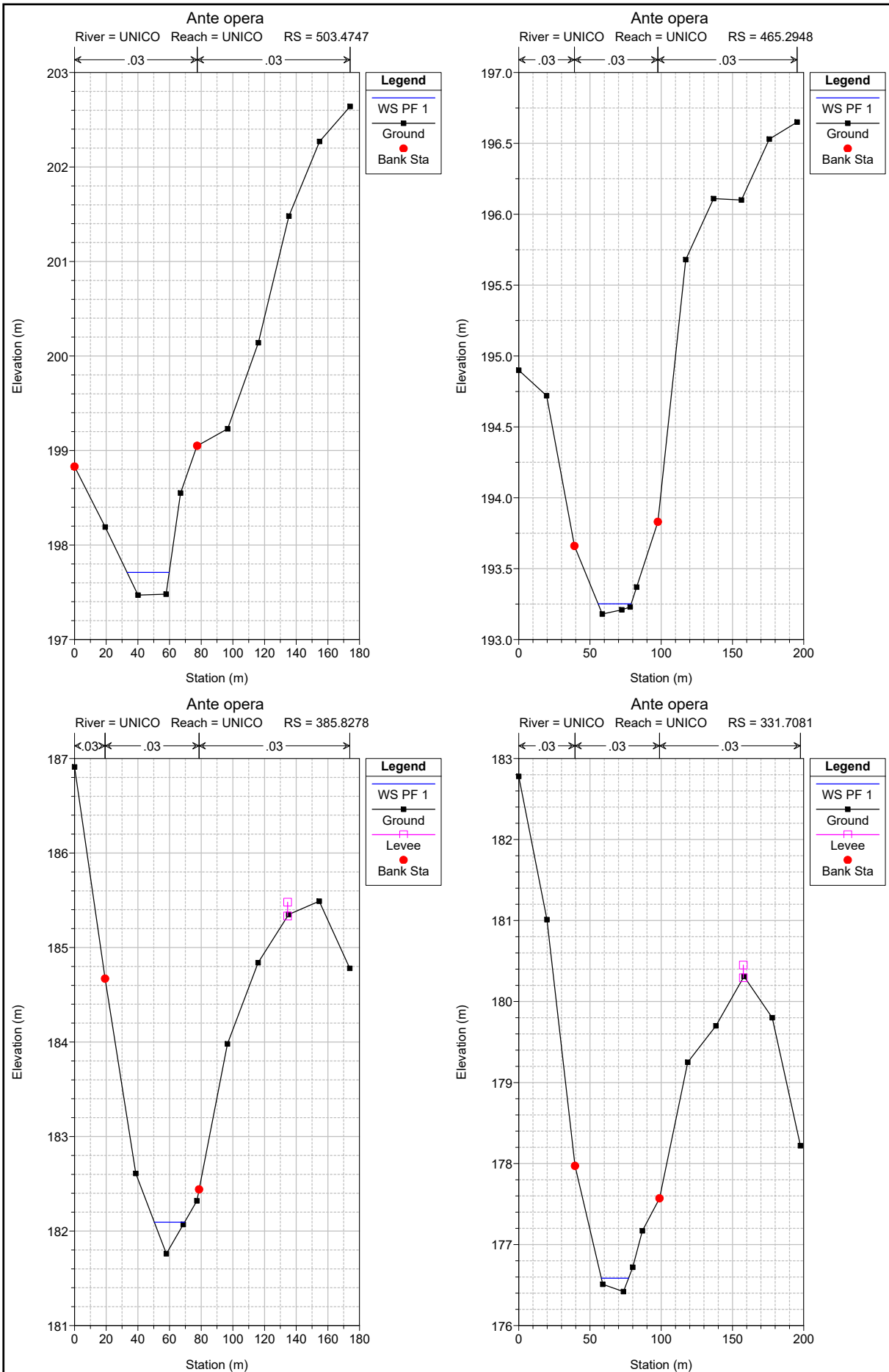
## 9 REPORT HEC RAS BACINO 3

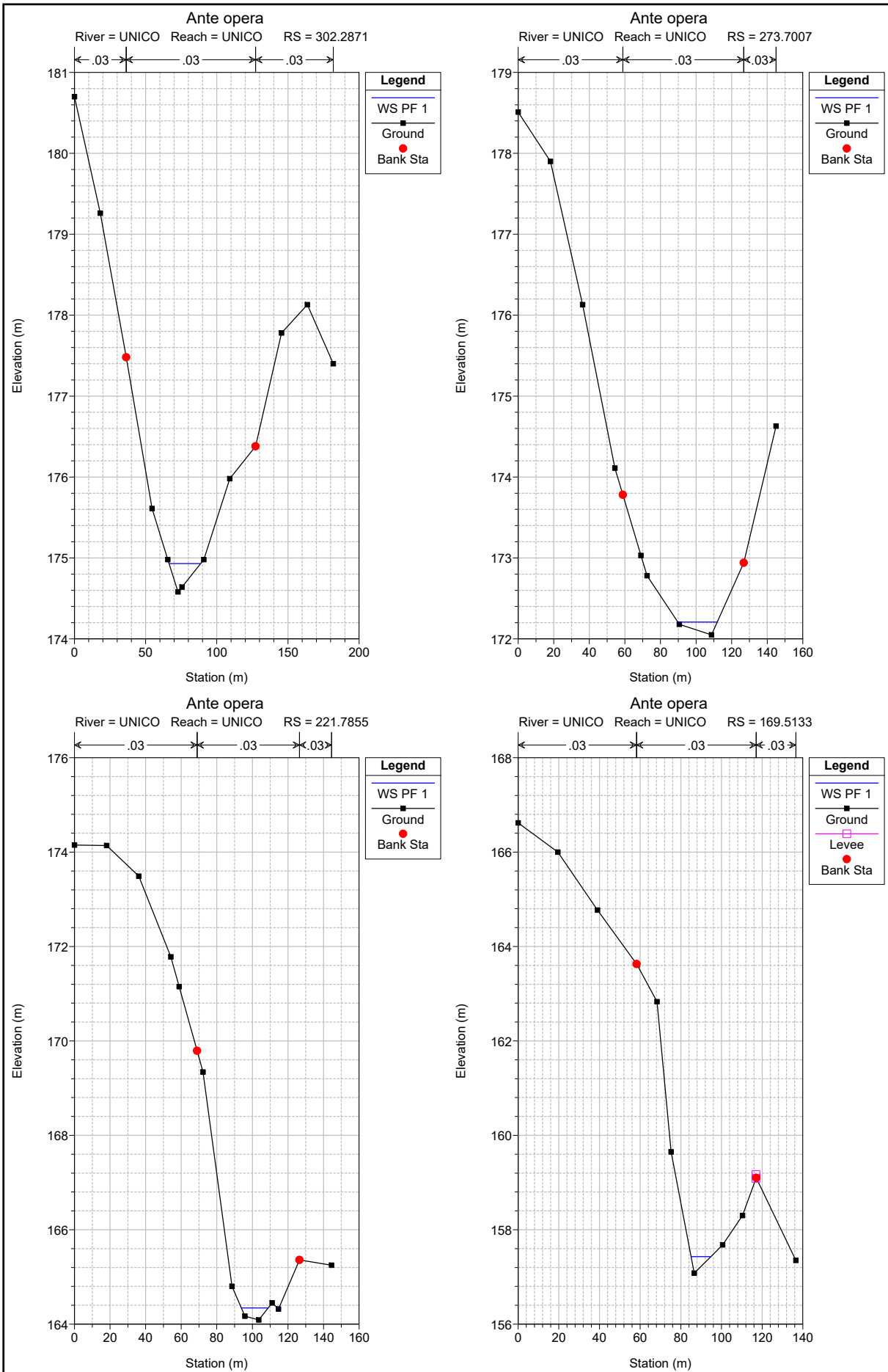


### 9.1 Ante opera

### Ante opera

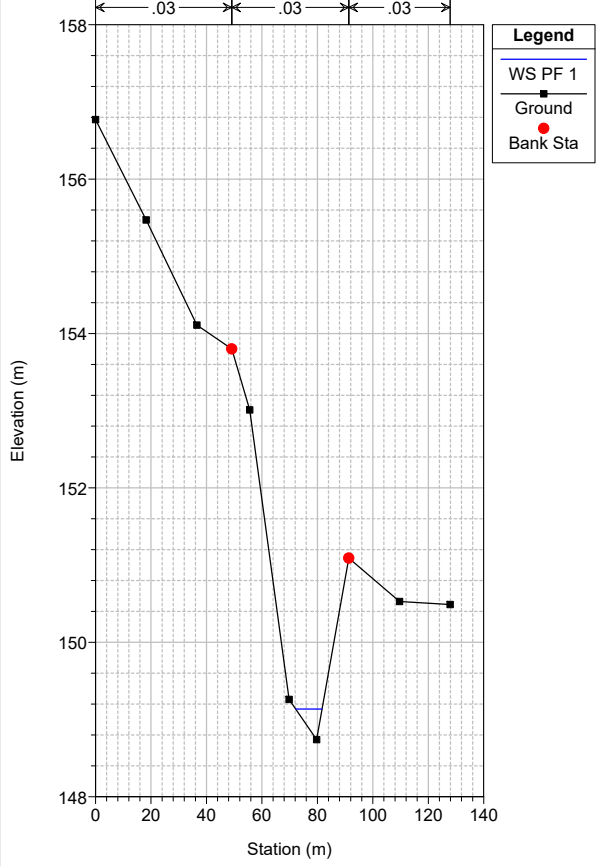






Ante opera

River = UNICO Reach = UNICO RS = 109.7486



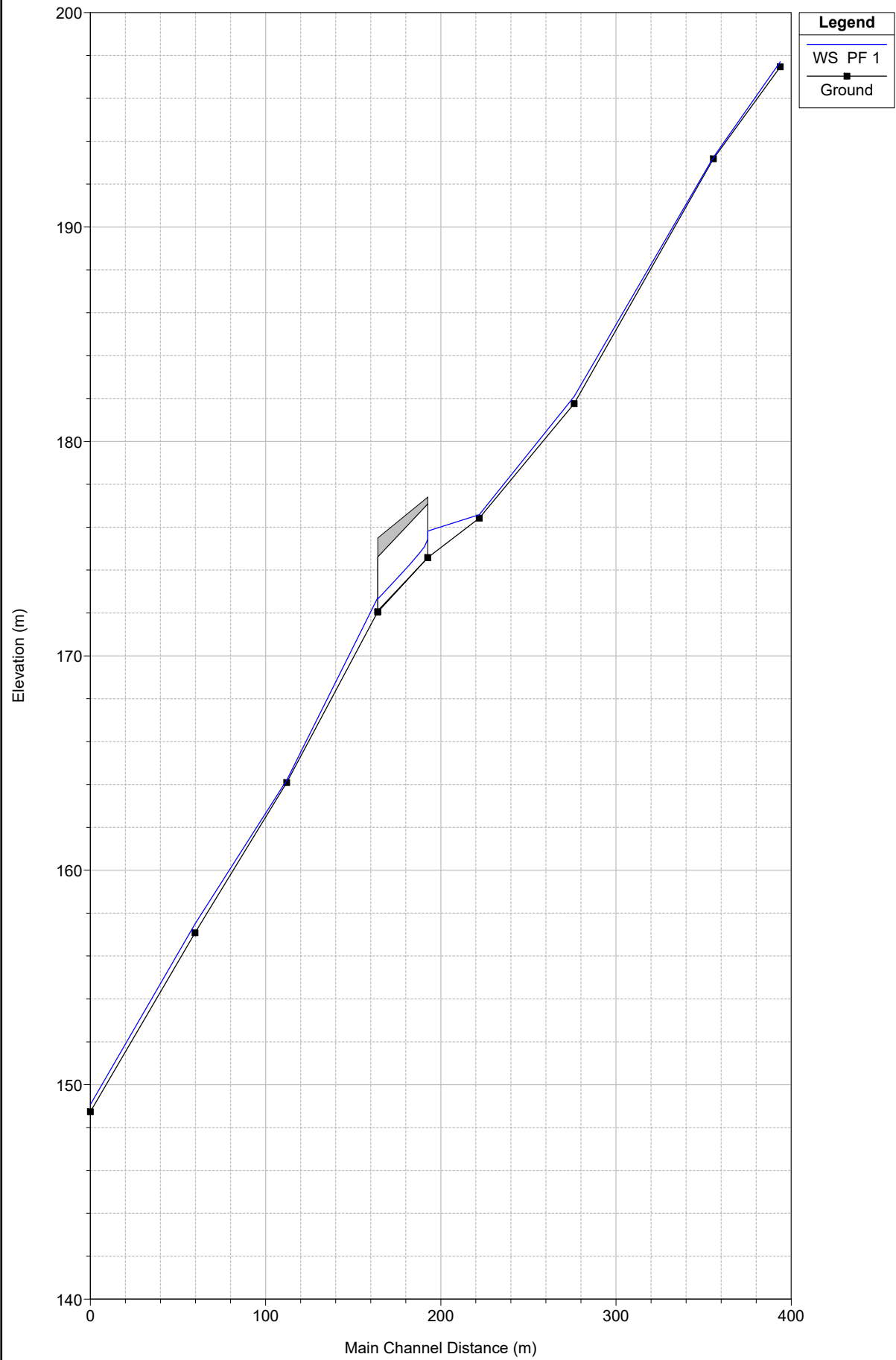
HEC-RAS Plan: Ante River: UNICO Reach: UNICO Profile: PF 1

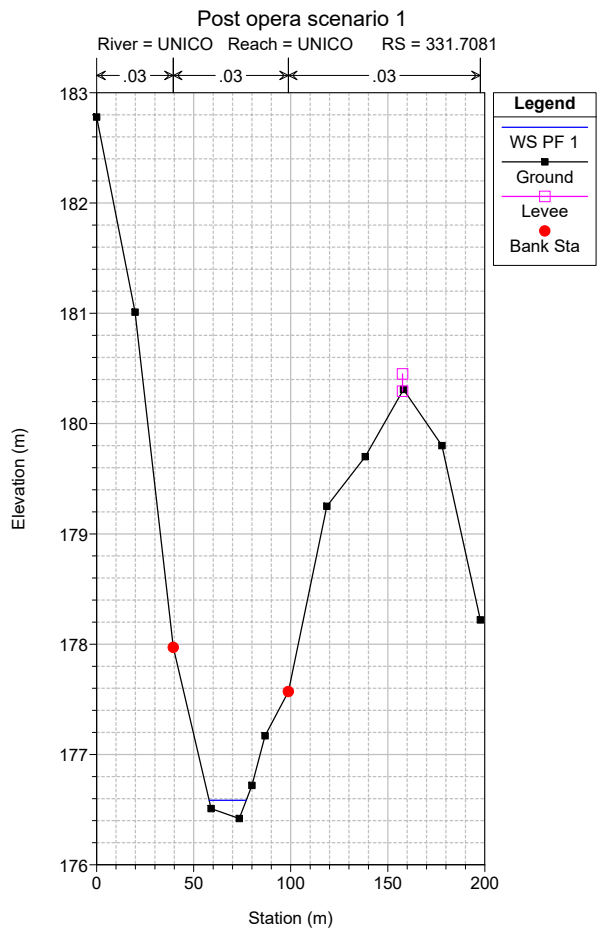
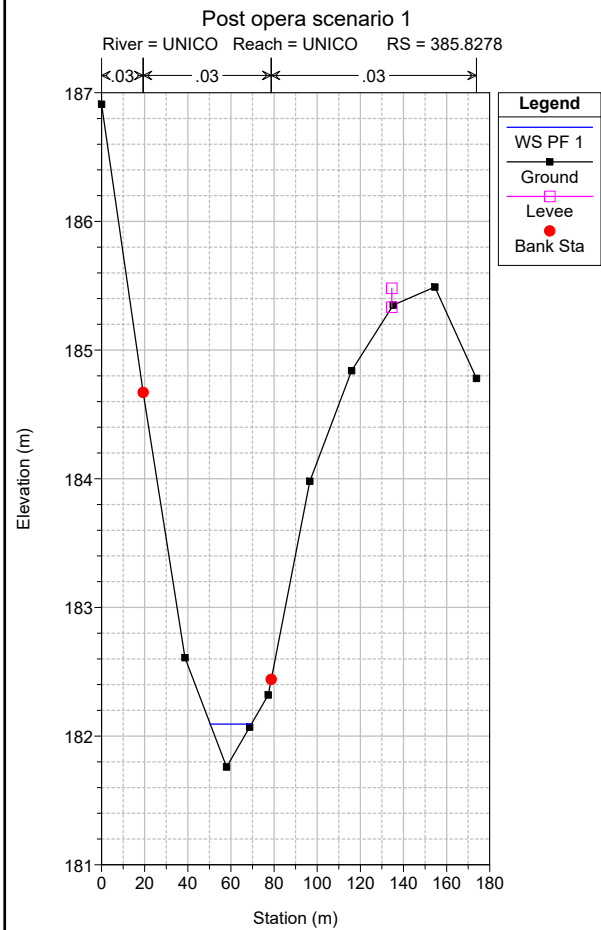
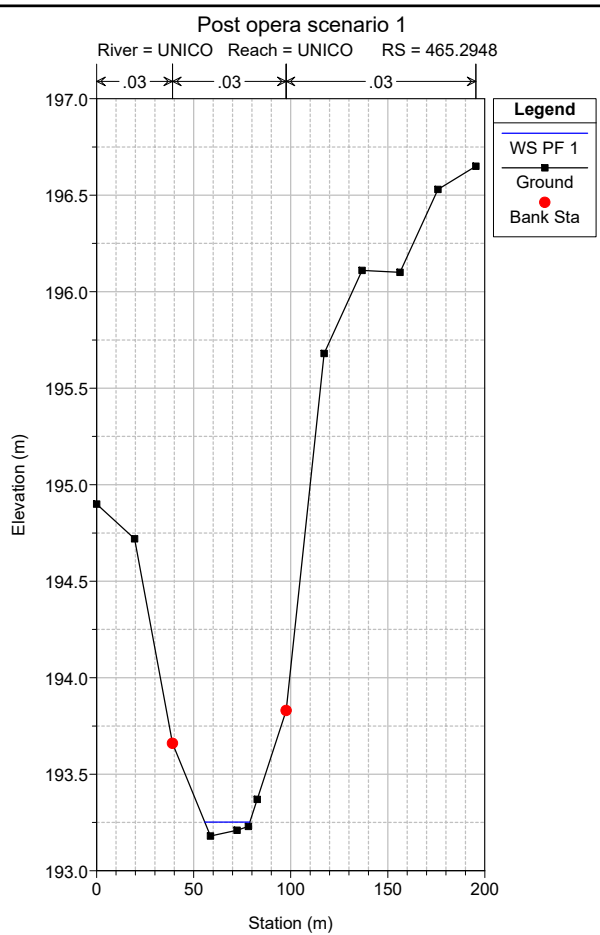
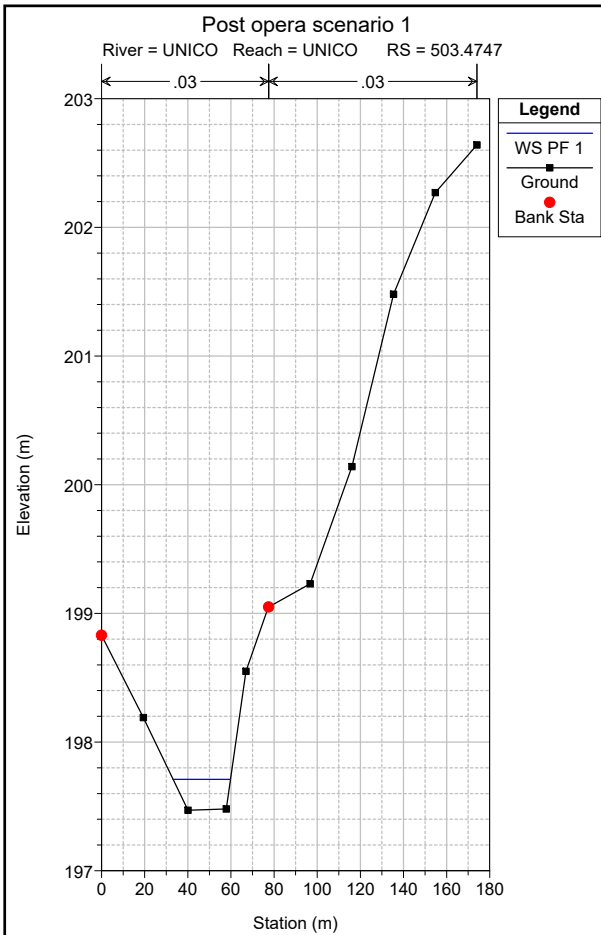
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
UNICO	503.4747	PF 1	7.31	197.47	197.71	197.71	197.81	0.015353	1.40	5.24	26.63	1.00
UNICO	465.2948	PF 1	7.31	193.18	193.25	193.41	195.58	2.443016	6.75	1.08	23.19	9.98
UNICO	385.8278	PF 1	7.31	181.76	182.09	182.18	182.36	0.052053	2.30	3.18	19.08	1.80
UNICO	331.7081	PF 1	7.31	176.42	176.58	176.73	177.23	0.220044	3.55	2.06	19.06	3.44
UNICO	302.2871	PF 1	7.31	174.58	174.93	174.98	175.11	0.032099	1.87	3.90	22.20	1.43
UNICO	273.7007	PF 1	7.31	172.05	172.21	172.34	172.93	0.326413	3.76	1.94	22.16	4.05
UNICO	221.7855	PF 1	7.31	164.09	164.34	164.47	164.78	0.090503	2.92	2.51	15.94	2.35
UNICO	169.5133	PF 1	7.31	157.08	157.43	157.64	158.38	0.171611	4.31	1.70	9.69	3.29
UNICO	109.7486	PF 1	7.31	148.74	149.14	149.33	149.90	0.117801	3.87	1.89	9.53	2.78

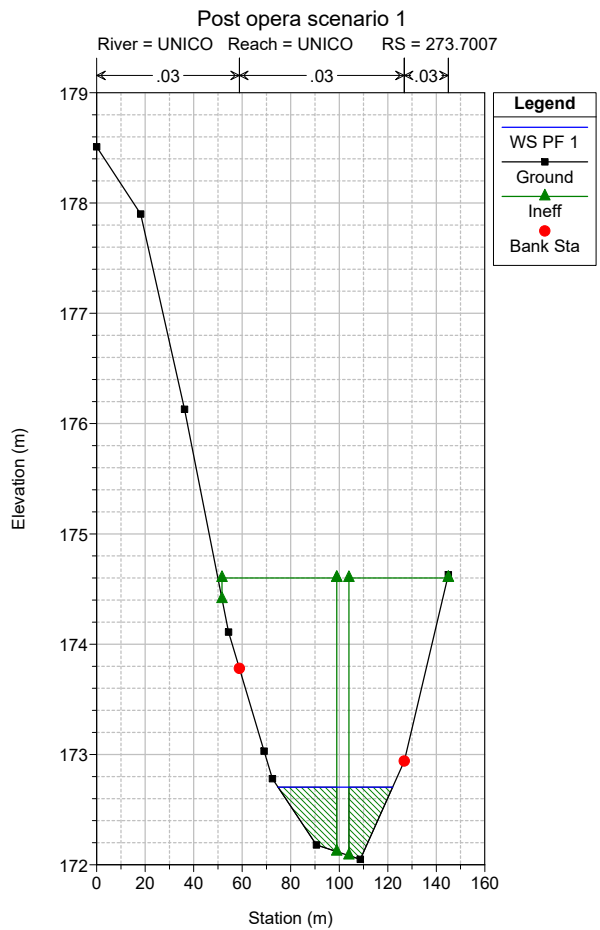
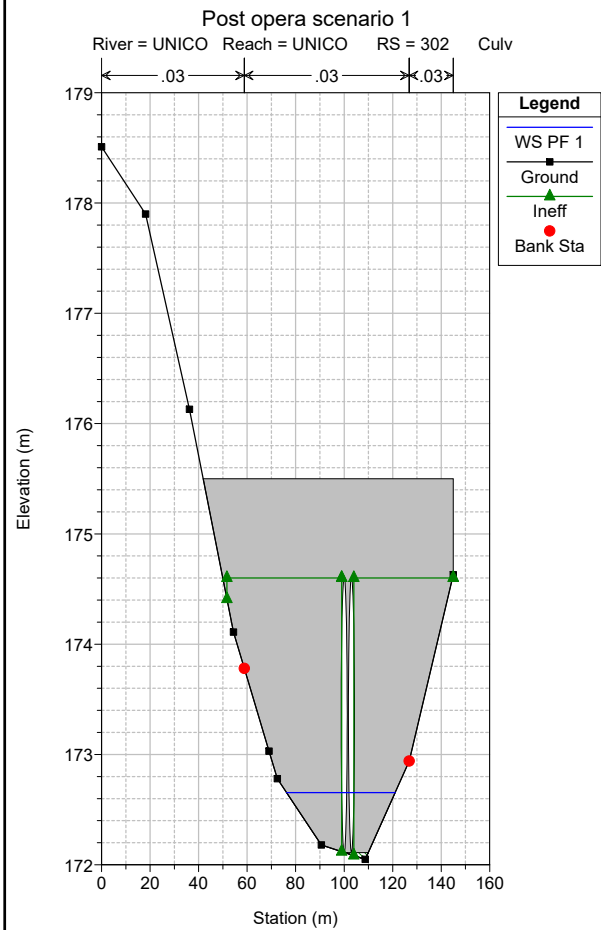
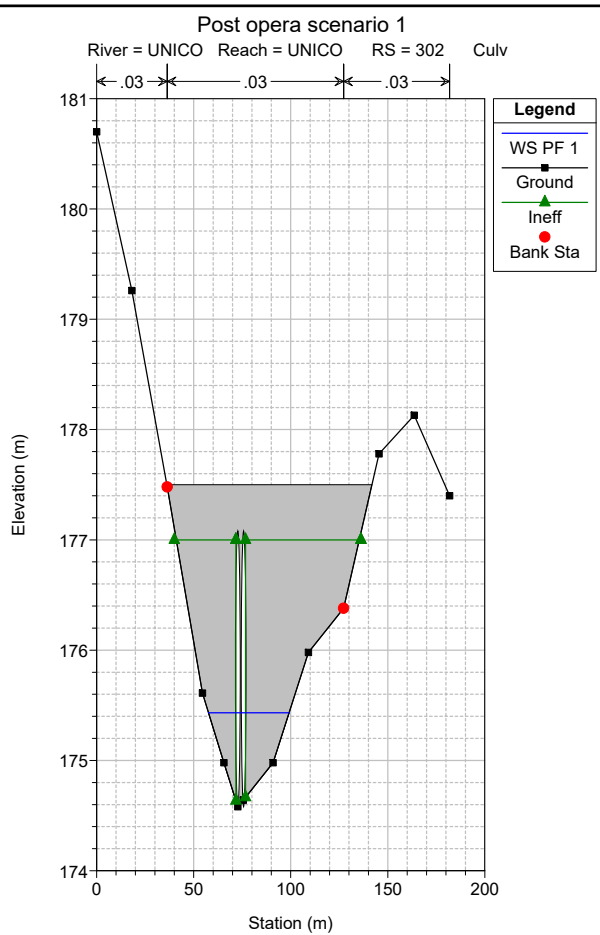
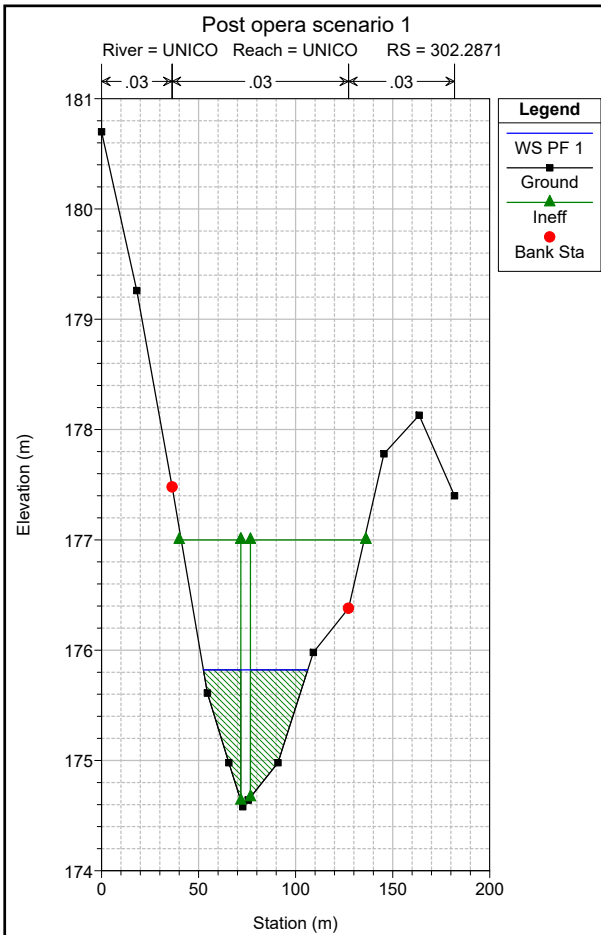


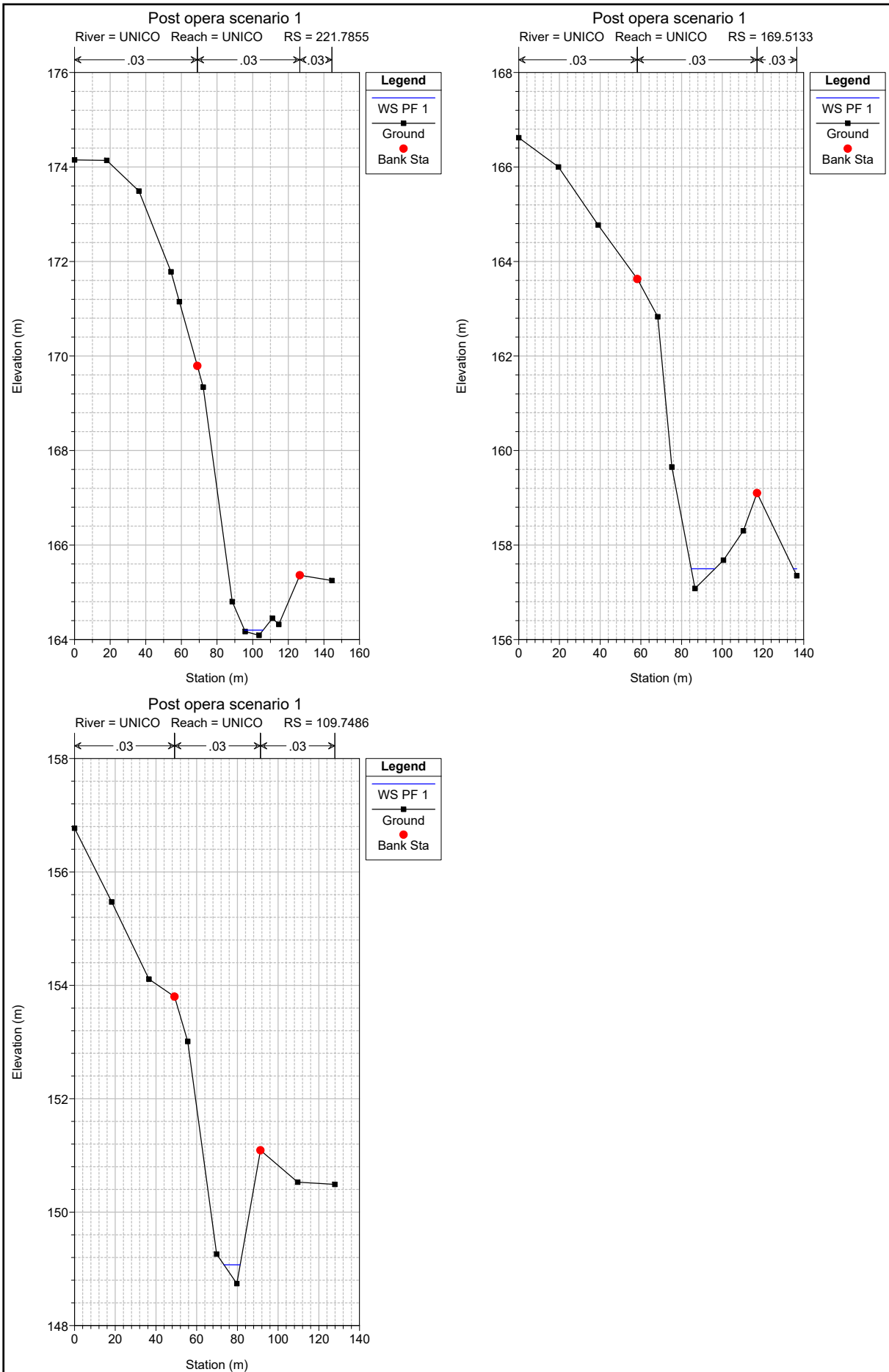
9.2 POST OPERA SCENARIO 1

Post opera scenario 1







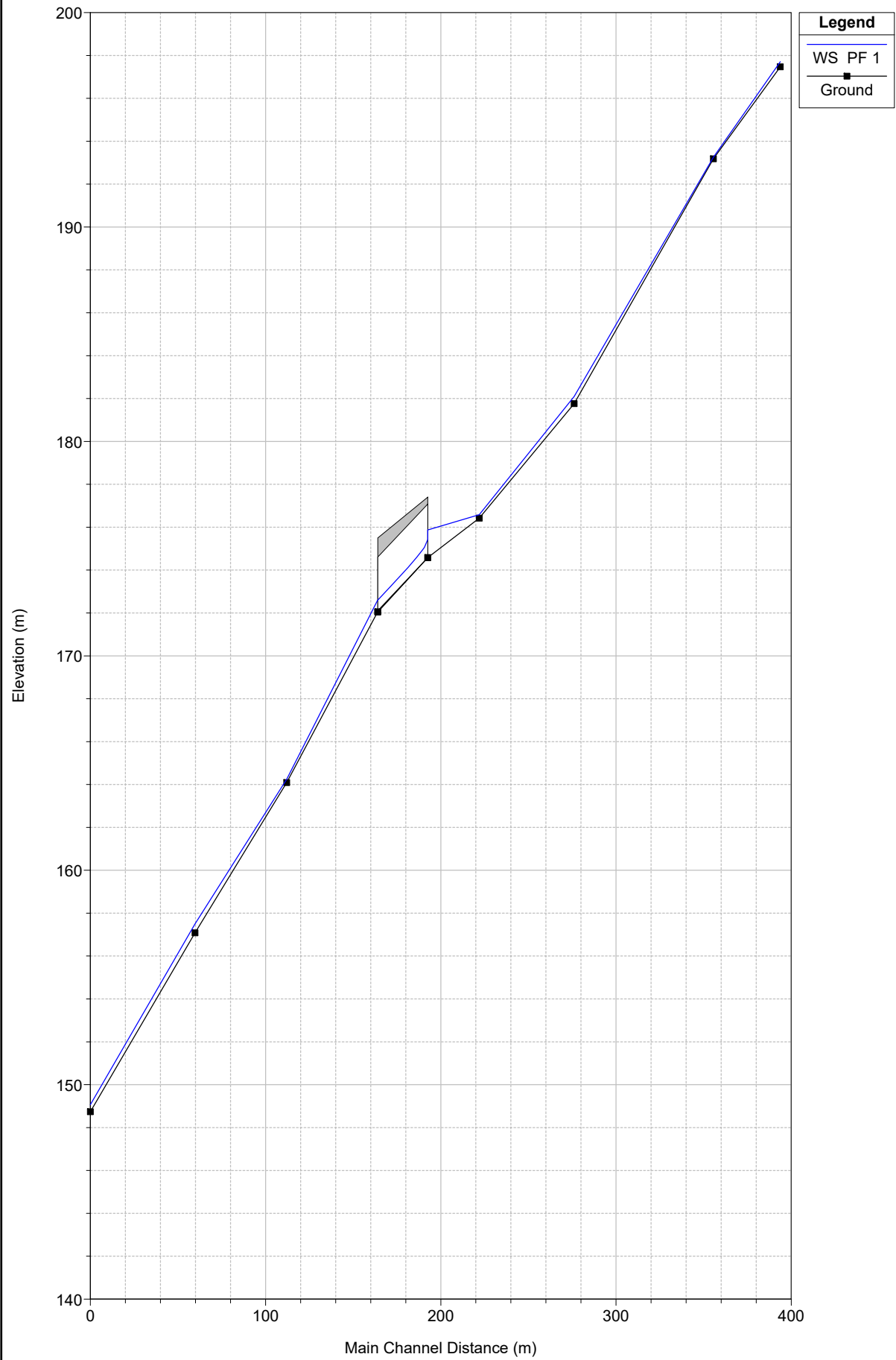


HEC-RAS Plan: Scenario 1 River: UNICO Reach: UNICO Profile: PF 1

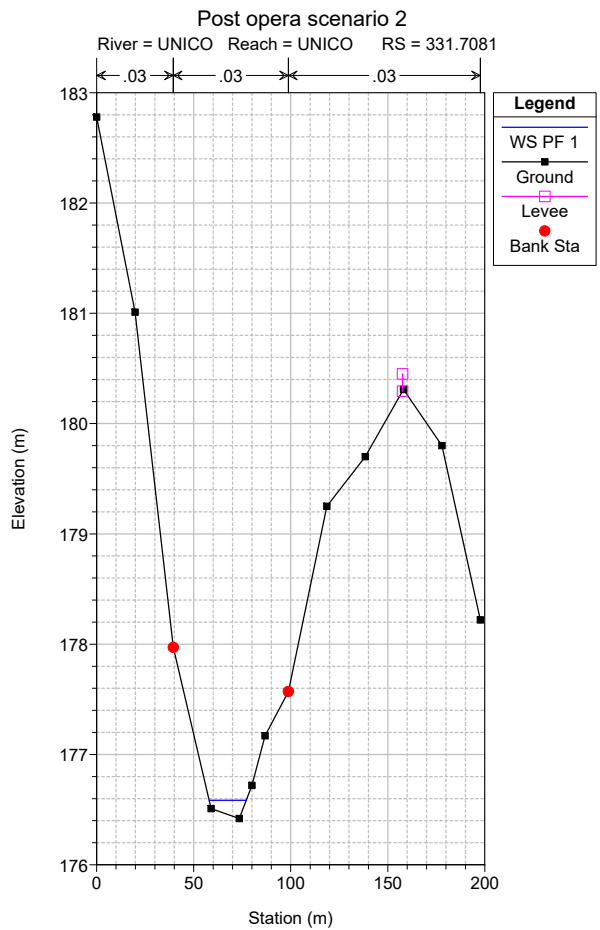
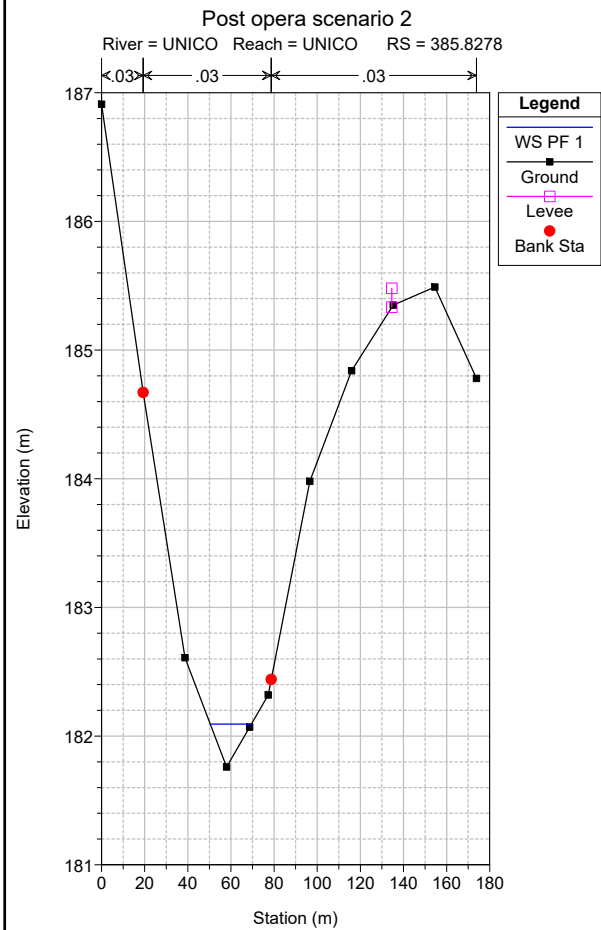
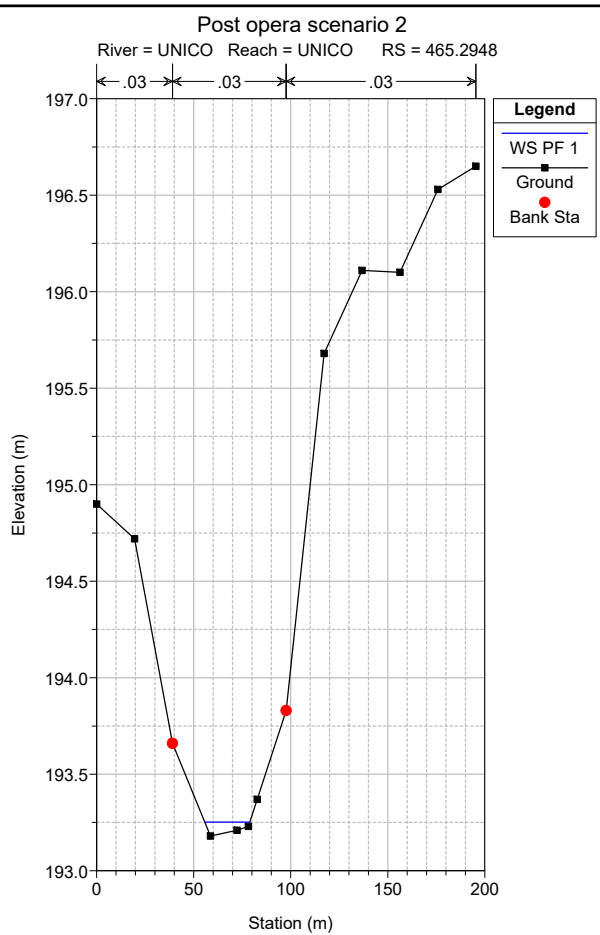
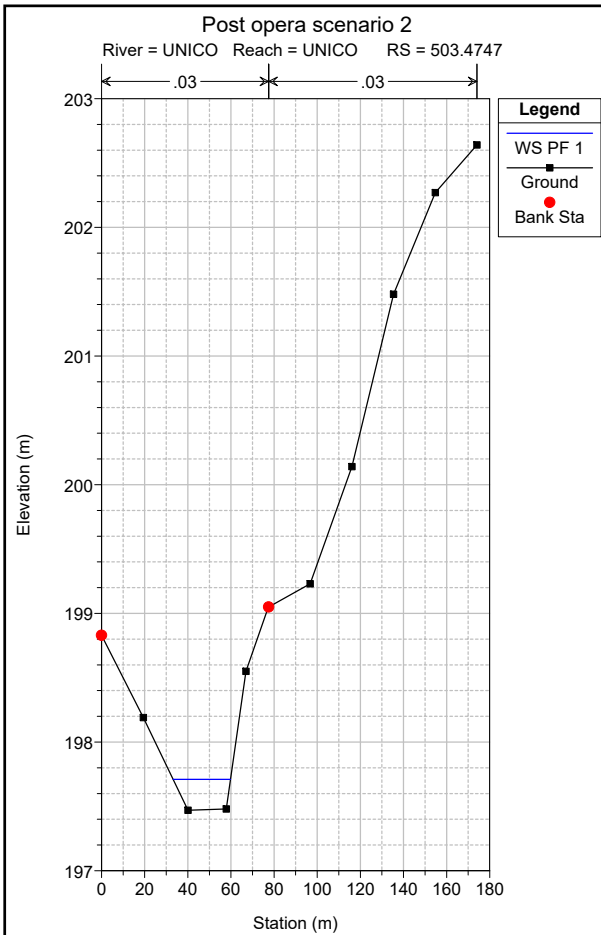
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
UNICO	503.4747	PF 1	7.31	197.47	197.71	197.71	197.81	0.015353	1.40	5.24	26.63	1.00
UNICO	465.2948	PF 1	7.31	193.18	193.25	193.41	195.58	2.443016	6.75	1.08	23.19	9.98
UNICO	385.8278	PF 1	7.31	181.76	182.09	182.18	182.36	0.052053	2.30	3.18	19.08	1.80
UNICO	331.7081	PF 1	7.31	176.42	176.58	176.73	177.23	0.220044	3.55	2.06	19.06	3.44
UNICO	302.2871	PF 1	7.31	174.58	175.82	175.22	175.90	0.001042	1.22	6.01	53.73	0.35
UNICO	302	Culvert										
UNICO	273.7007	PF 1	7.31	172.05	172.70	172.70	173.01	0.010482	2.43	3.00	47.24	1.00
UNICO	221.7855	PF 1	7.31	164.09	164.20	164.47	170.43	4.328610	11.06	0.66	10.37	13.99
UNICO	169.5133	PF 1	7.31	157.08	157.50	157.63	157.94	0.064819	2.97	2.52	13.17	2.08
UNICO	109.7486	PF 1	7.31	148.74	149.07	149.33	150.61	0.299749	5.50	1.33	8.00	4.30

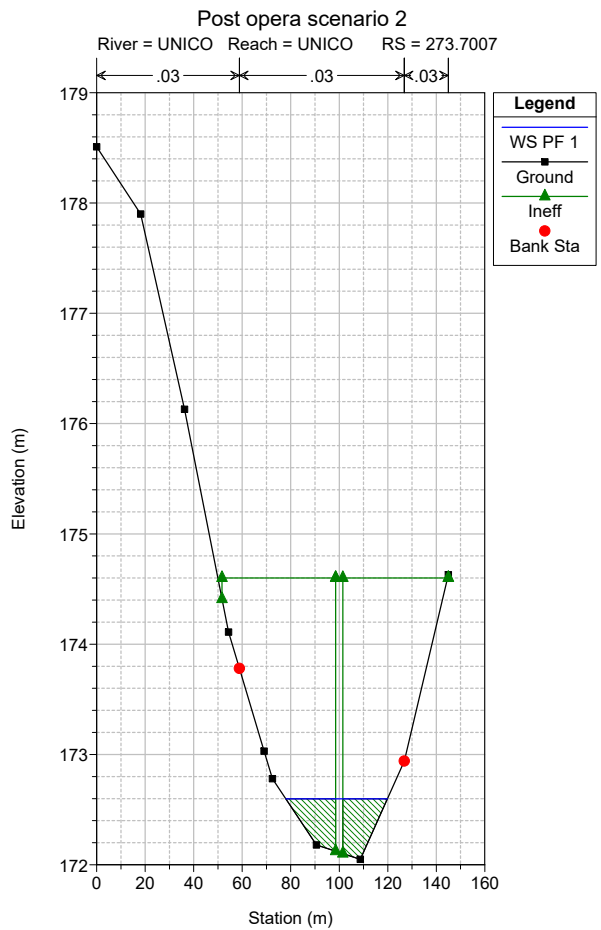
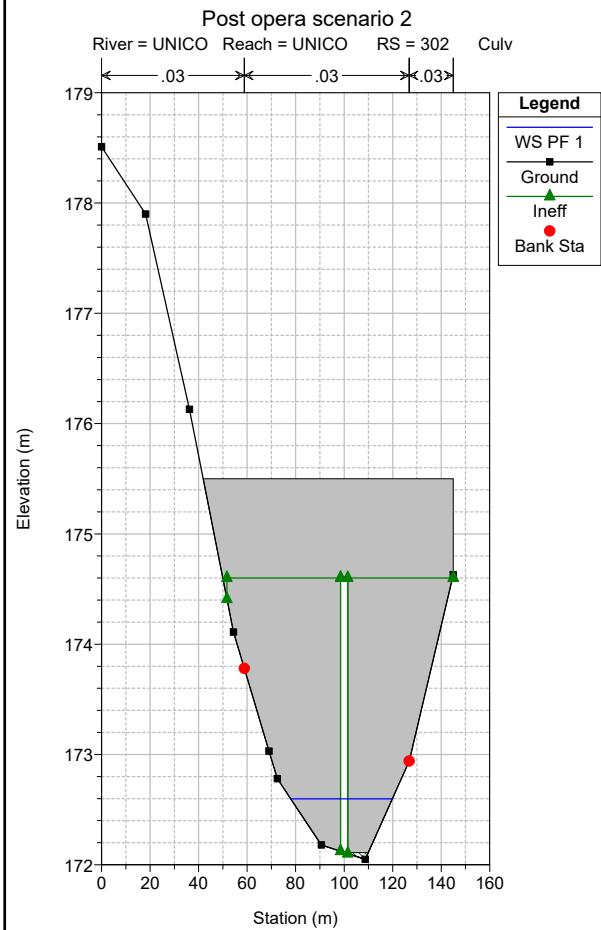
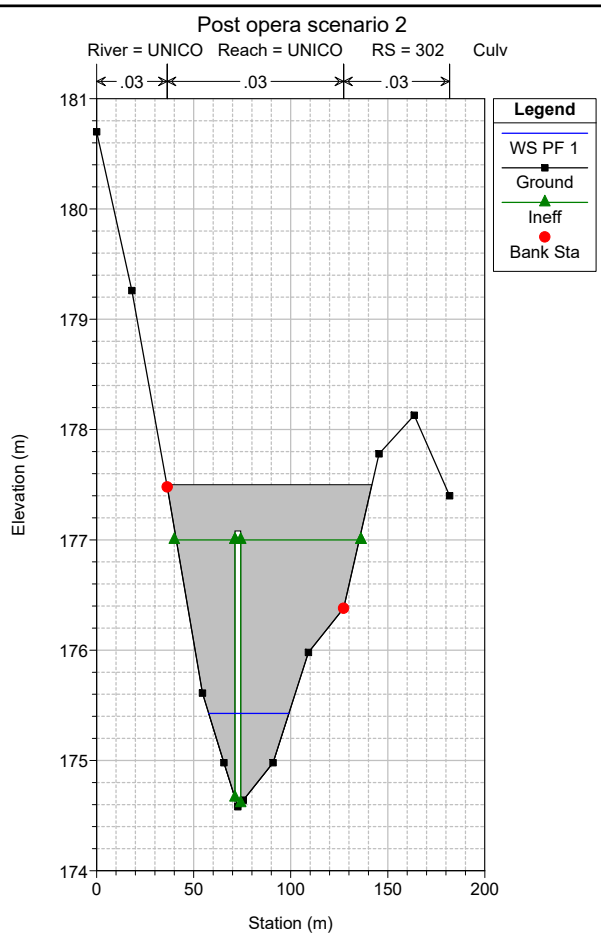
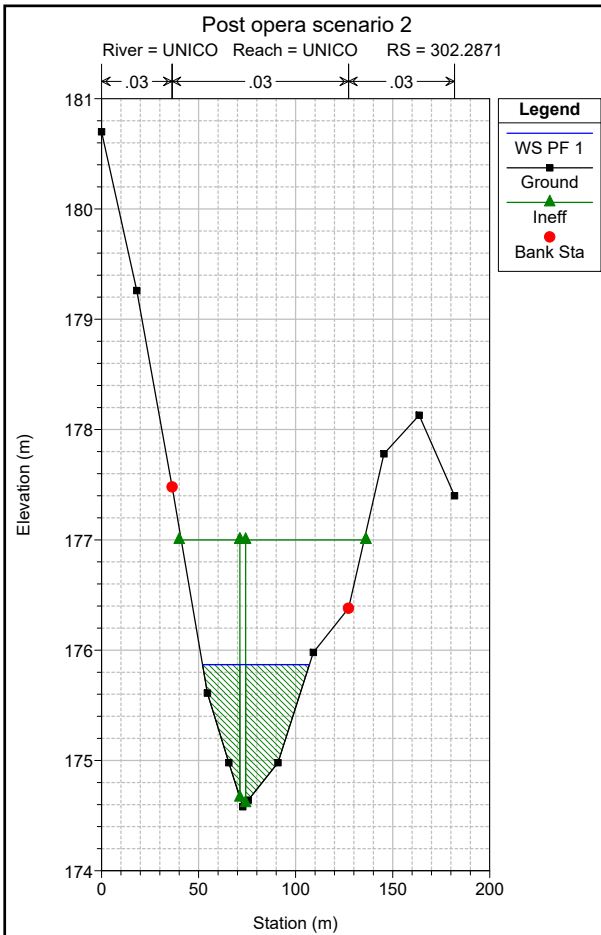
### 9.3 POST OPERA SCENARIO 2

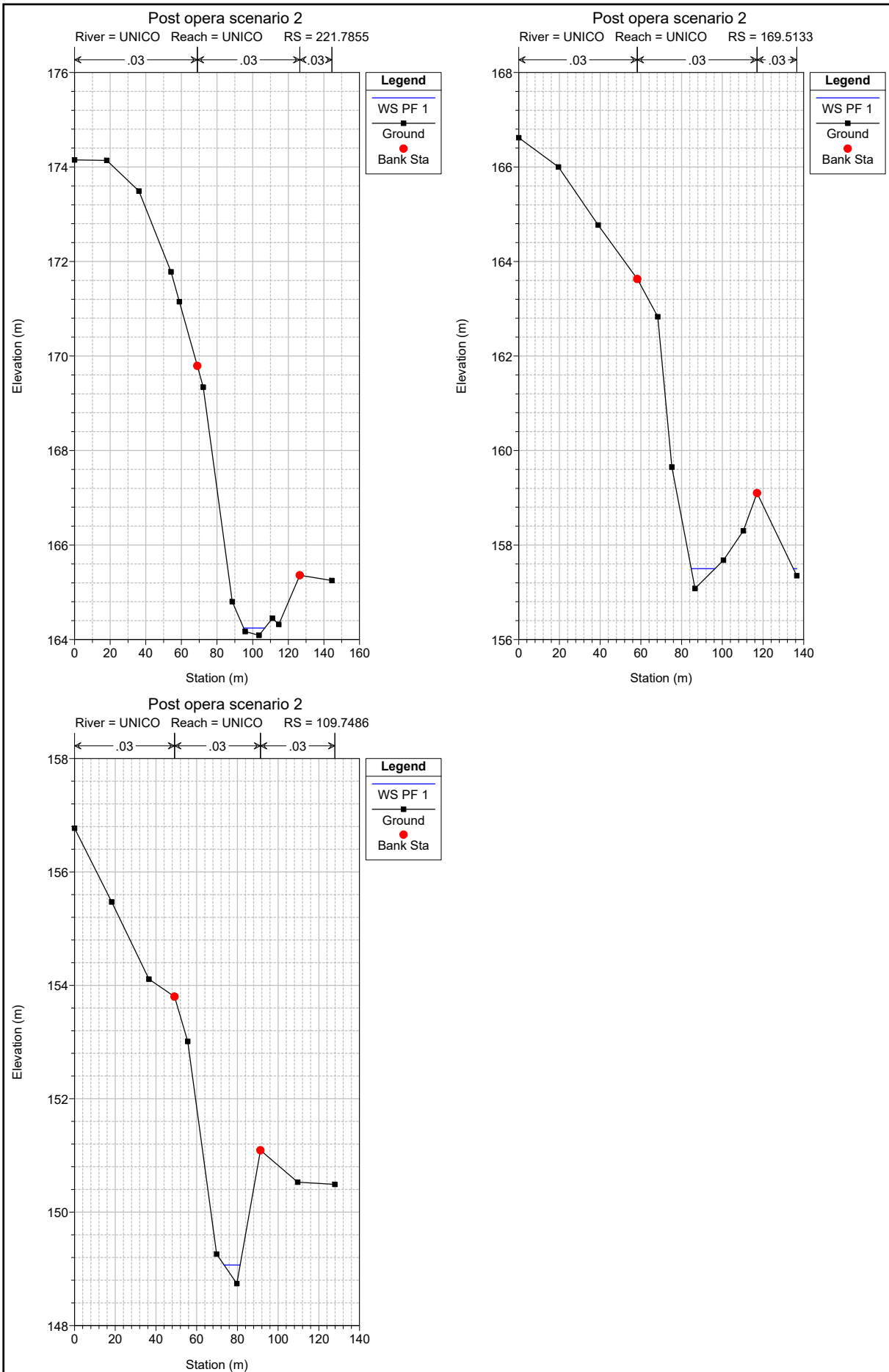
Post opera scenario 2











HEC-RAS Plan: Scenario 2 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	503.4747	PF 1	7.31	197.47	197.71	197.71	197.81	0.015353	1.40	5.24	26.63	1.00
UNICO	465.2948	PF 1	7.31	193.18	193.25	193.41	195.58	2.443016	6.75	1.08	23.19	9.98
UNICO	385.8278	PF 1	7.31	181.76	182.09	182.18	182.36	0.052053	2.30	3.18	19.08	1.80
UNICO	331.7081	PF 1	7.31	176.42	176.58	176.73	177.23	0.220044	3.55	2.06	19.06	3.44
UNICO	302.2871	PF 1	7.31	174.58	175.87	175.45	176.06	0.002474	1.93	3.78	55.06	0.55
UNICO	302	Culvert										
UNICO	273.7007	PF 1	7.31	172.05	172.60	172.95	173.88	0.059520	5.02	1.46	41.87	2.30
UNICO	221.7855	PF 1	7.31	164.09	164.24	164.47	166.24	0.773648	6.25	1.17	11.86	6.36
UNICO	169.5133	PF 1	7.31	157.08	157.50	157.63	157.93	0.061662	2.92	2.57	13.31	2.03
UNICO	109.7486	PF 1	7.31	148.74	149.07	149.33	150.69	0.320316	5.64	1.30	7.90	4.44