

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO ESECUTIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



sinergo

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Massimo Mezzanatica – Società Pro Iter Srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.via Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Dott. ing. Vincenzo Catone

PROTOCOLLO:

DATA:

IL PROGETTISTA:

Ing. Alberto Rinaldi – Società Erre.via. Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 16951



04 - IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica

CODICE PROGETTO			NOME FILE			REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00ID01IDRRE02A.pdf				
L0702M	E	2101	CODICE ELAB.	T00	ID00	IDR	RE02
D							
C							
B							
A	EMISSIONE					FEBBRAIO 2023	GHIARONI
REV.	DESCRIZIONE					DATA	REDATTO
						VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

1. Introduzione	2
2. Normativa di riferimento.....	9
3. Descrizione modello di calcolo utilizzato per la modellazione idraulica	10
3.1. Descrizione della metodologia utilizzata	10
3.2. Fondamenti teorici del deflusso in moto permanente monodimensionale	11
3.3. Teoria del Modello Idraulico Bidimensionale in Moto Vario	16
4. Modellazione idraulica per area di interesse.....	19
4.1. Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Fosso del Casale" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Umbria	19
4.2. Progetto e verifica dell'attraversamento idraulico della rotatoria lato Umbria e risoluzione interferenza con il corso d'acqua "Fosso del Casale"	22
4.3. Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente Lama" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Umbria	31
4.4. Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente S. Antonio" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Marche	37
5. Conclusioni	41

1. INTRODUZIONE

La presente relazione descrive le necessarie verifiche idrauliche condotte in relazione all'intervento che prevede l'adeguamento a 2 corsie del tratto della Galleria 'Guinza' (Lotto 2) e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (Lotto 3) e ricade tra l'abitato di Selci Lama, in provincia di Perugia, e quello di Mercatello sul Metauro, in Provincia di Pesaro-Urbino.

Il 2° Lotto interessa tutto il tratto della Galleria Guinza, parzialmente eseguito e dell'estesa di circa 6000m e si andrà a connettere alla viabilità esistente (SP 200) in prossimità dell'abitato di Parnacciano in Provincia di Perugia al fine di garantire la continuità dell'itinerario di progetto da e per Selci Lama.

Il 3° Lotto, anche esso parzialmente eseguito, si sviluppa a partire dall'imbocco lato Marche della Galleria Guinza, per un'estensione di circa 3.5Km, fino alla piana di Mercatello sul Metauro dove si andrà a connettere alla viabilità esistente in prossimità dell'abitato di Mercatello mediante un'intersezione a rotatoria con Via Cà Lillina.

Nello specifico le rotatorie di nuova realizzazione, ovvero quella di accesso alla galleria Guinza lato Umbria e quella al km 10 al termine dell'intervento lato Marche, di raccordo con Via Cà Lillina, necessitano di una verifica di compatibilità idraulica.

Difatti a valle di un inquadramento cartografico dei luoghi oggetto dei due citati interventi si rileva che:

1. La rotatoria di accesso alla galleria Guinza lato Umbria viene attraversata da un reticolo idrografico denominato “*Fosso del Casale*” e si sviluppa in affiancamento ad un corso d’acqua denominato “*Torrente Lama*”.

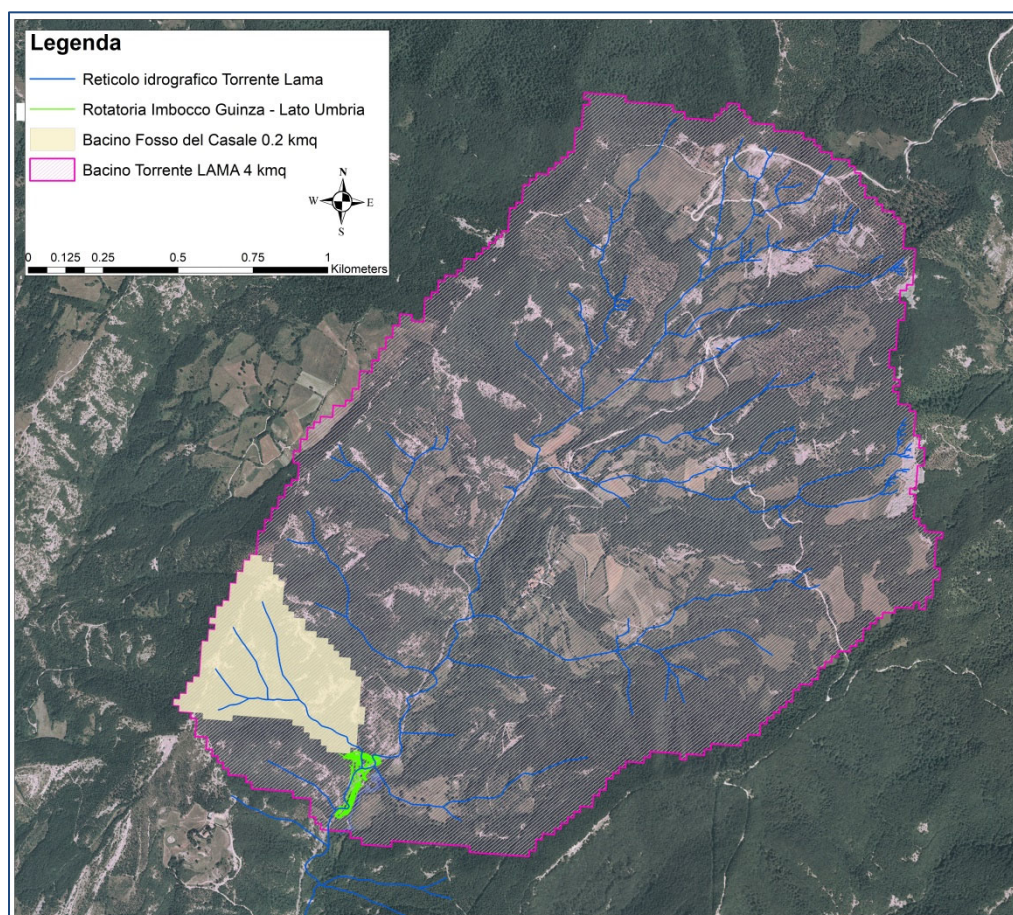


Figura 1 - Inquadramento corsi d’acqua e relativi bacini interferenti con la rotatoria di imbocco della Galleria Guinza lato Umbria

2. La rotatoria di raccordo con Via Cà Lillina al km 10 lato Marche si sviluppa in affiancamento al corso d'acqua "Torrente S. Antonio".

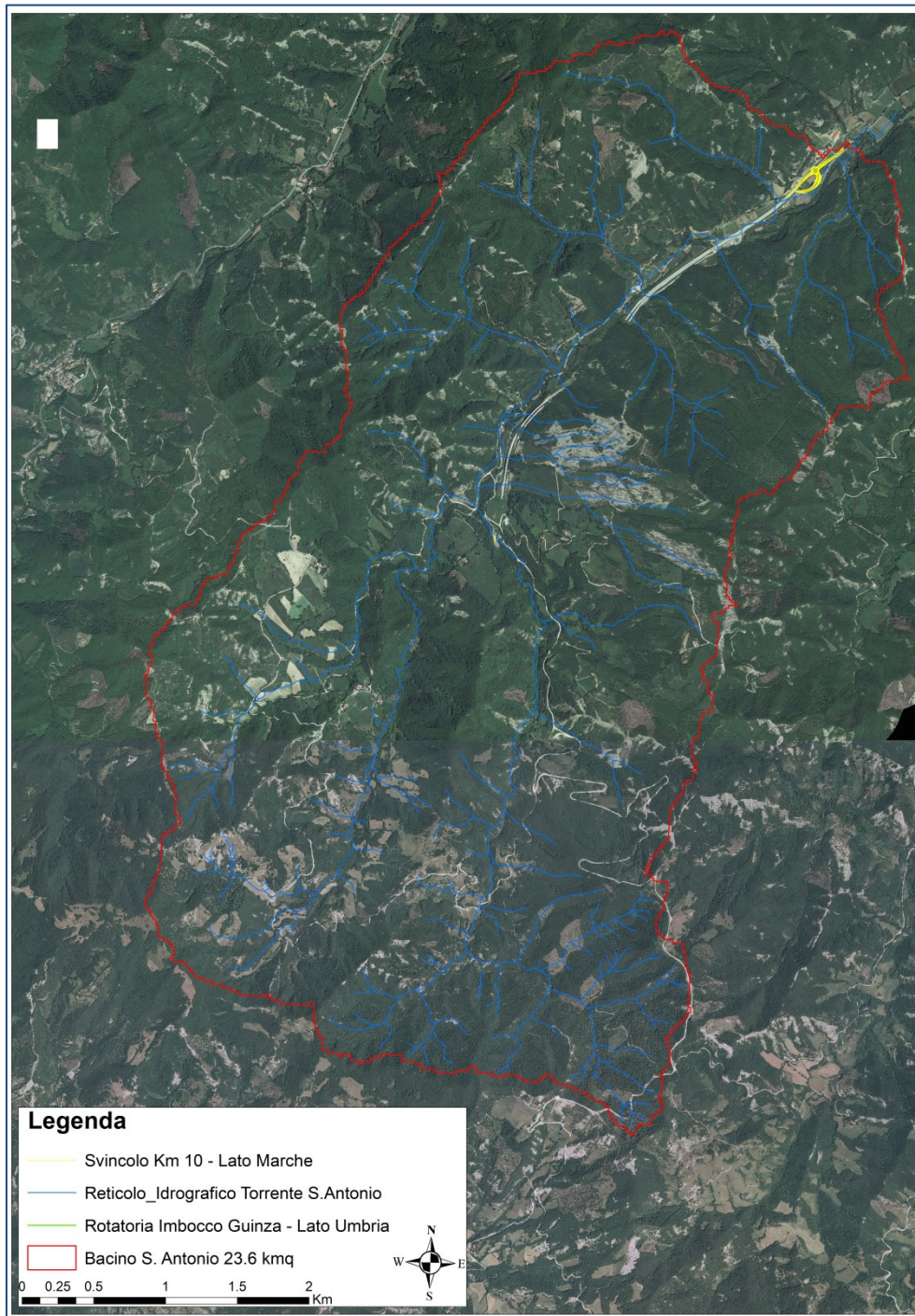


Figura 2 - Inquadramento del corso d'acqua e relativo bacino interferente con la rotatoria di raccordo con Via Cà Lillina lato Marche

L'area di intervento ricade a cavallo dei territori di competenza dell'ex Autorità di bacino nazionale del fiume Tevere e quello dell'ex Autorità di Bacino Regionale delle Marche. Entrambe le Autorità di bacino citate sono attualmente soppresse e sono confluite nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino centrale (DPCM del 04/04/2018 pubblicato in Gazzetta Ufficiale n.135 del 13 Giugno 2018).

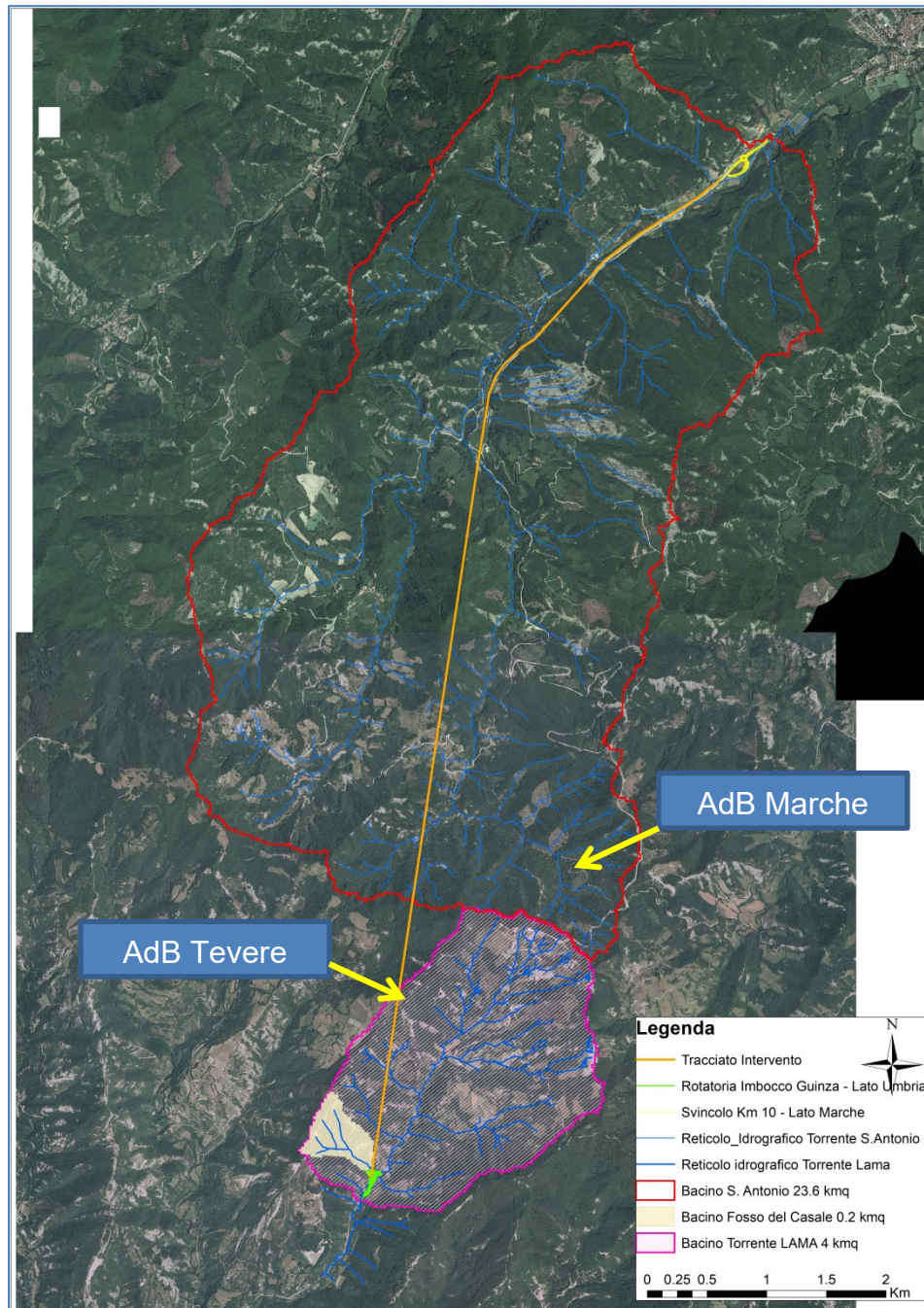


Figura 3 - Inquadramento area di intervento e territori di competenza Autorità di Bacino

Per i corsi d'acqua di interesse non risultano perimetrate le aree a rischio idraulico all'interno dei rispettivi PAI Piani di Assetto Idrogeologici di riferimento.

Il PAI Tevere nella carta di zonazione del reticolo idrografico sotto riportata, classifica come reticolo minore il tratto del Torrente Lama e relativo affluente denominato Fosso del Casale e pertanto non riporta specifiche perimetrazioni di rischio idraulico.

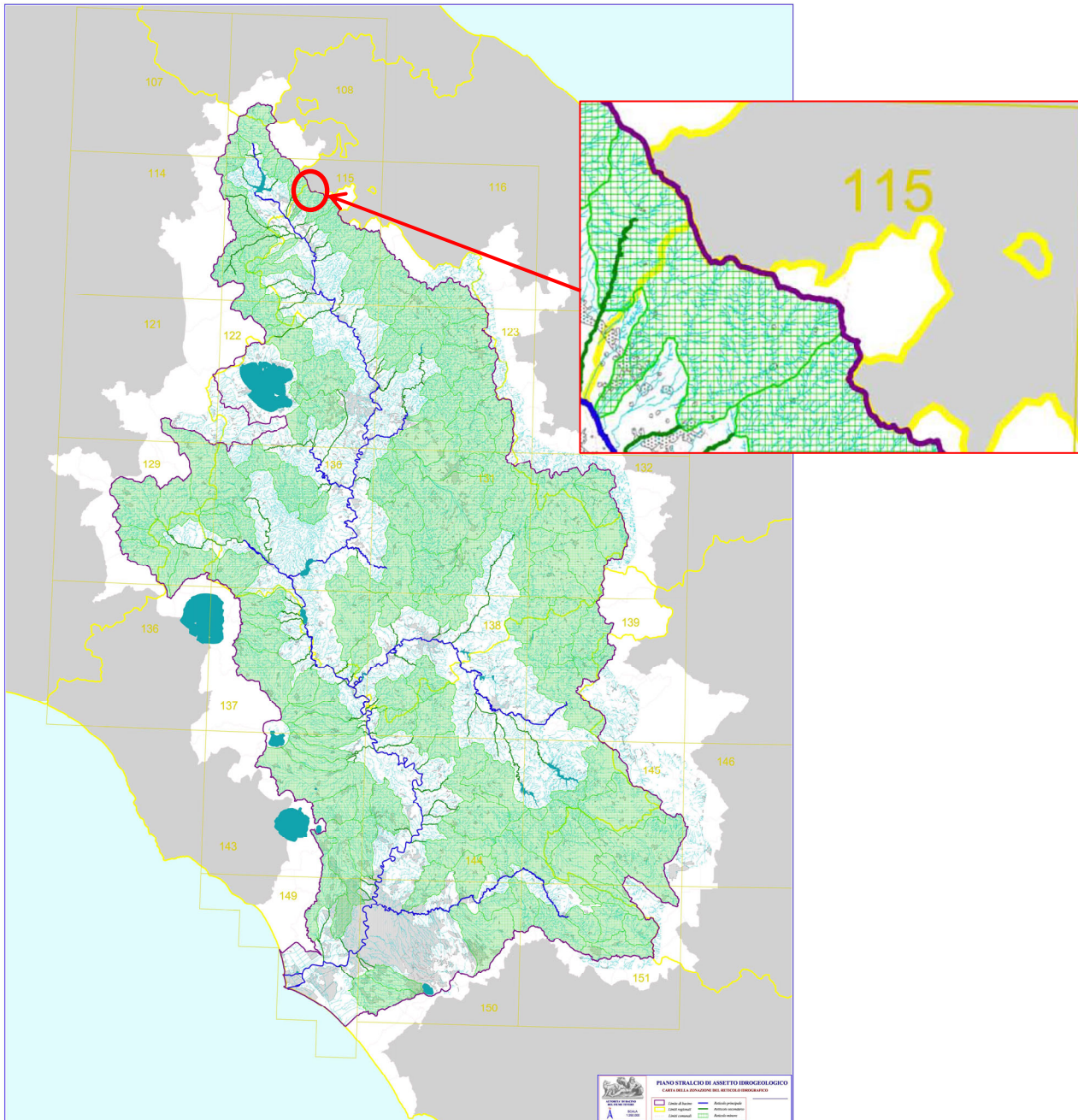


Figura 4 - Carta zonazione del reticolo idrografico AdB Tevere, il tratto del Torrente Lama analizzato (in rosso in figura) è classificato come reticolo minore

Il PAI Marche non riporta perimetrazioni di pericolosità o rischio idraulico per il tratto del torrente S. Antonio esaminato come evidenziato nell'immagine seguente.

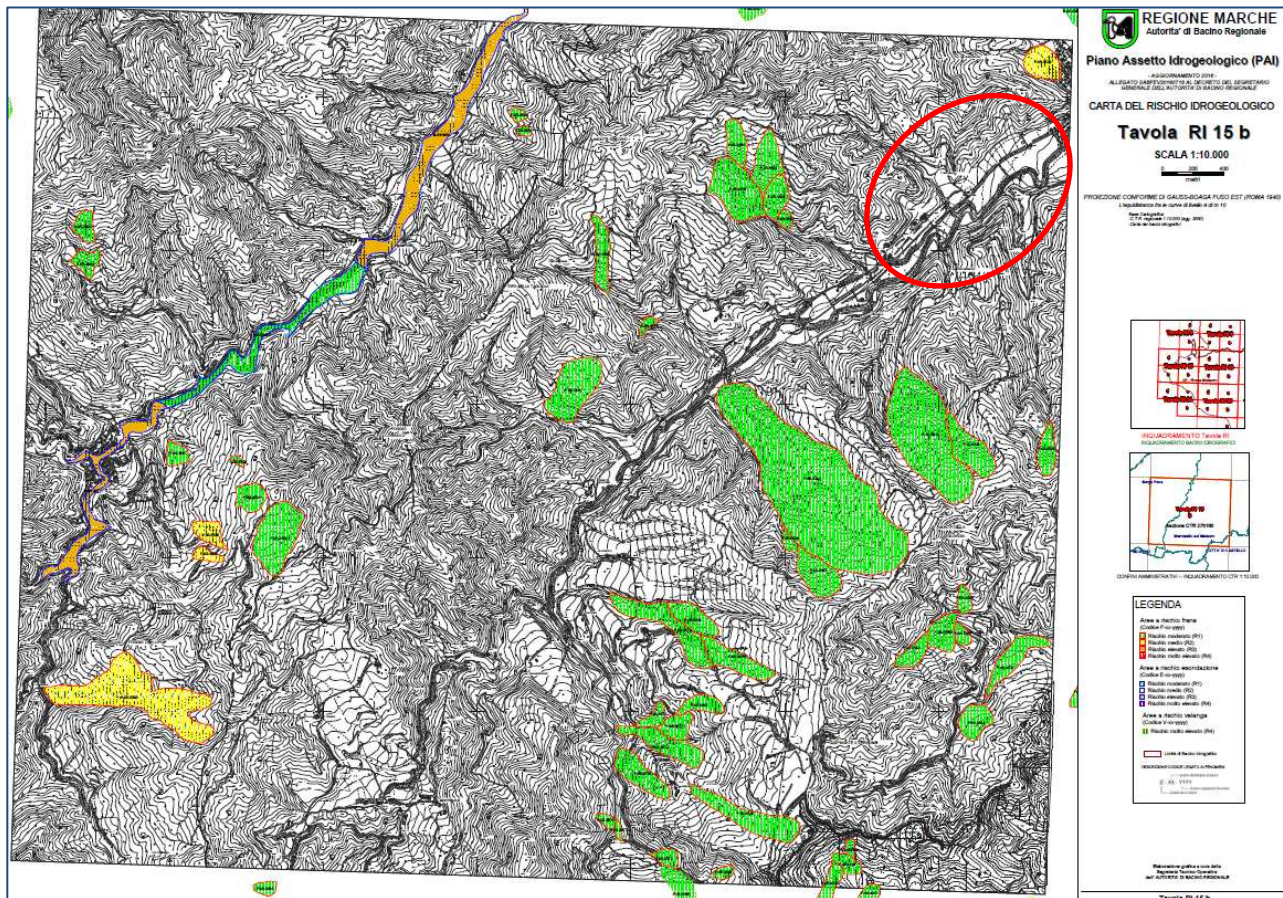


Figura 5 - Inquadramento PAI Marche area di studio, in rosso nell'immagine.

Per quanto riguarda le norme a cui attenersi nello sviluppo delle necessarie verifiche di compatibilità idraulica si è fatto riferimento alle NTA dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Tevere. In particolare l'art. 33 comma 7 delle suddette NTA recita:

“Le nuove infrastrutture a rete e le vie di comunicazione che attraversano i corsi d'acqua debbono essere progettate almeno con riferimento alla piena con tempo di ritorno pari a 200 anni”.

La norma non definisce l'ordine di importanza dei corsi d'acqua soggetti all'applicazione della stessa e si è considerata pertanto applicabile a tutti i corsi d'acqua rilevabili dalla cartografia di riferimento. Per quanto detto le verifiche idrauliche verranno implementate con tempo di ritorno di riferimento di 200 anni.

Si ritiene di estendere tali verifiche non solo al corso d'acqua "Fosso del Casale" che come detto attraversa la rotatoria lato Umbria, ma anche ai corsi d'acqua Torrente Lama lato Umbria e Torrente S. Antonio lato Marche, che si sviluppano in affiancamento alle opere di nuova realizzazione.

Per tali corsi d'acqua risulta necessario stimare possibili interferenze con le opere in progetto che potrebbero costituire per essi sponda o argine in occasione di eventi con tempo di ritorno straordinari quali quello di riferimento per lo studio in esame di TR 200 anni.

Le portate di riferimento per lo sviluppo delle verifiche idrauliche per i corsi d'acqua esaminati sono quelle risultanti dall'elaborato "Relazione idrologica" presentati per sintesi in tabella:

Bacino	Area (km ²)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
Fosso del Casale	0.2	2.7
Torrente Lama	4.13	27.5
Torrente Sant'Antonio	23.6	109

Nella presente relazione di seguito si presentano:

- Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Fosso del Casale" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Umbria;
- Progetto e verifica dell'attraversamento idraulico della rotatoria lato Umbria e risoluzione interferenza con il corso d'acqua "Fosso del Casale";
- Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente Lama" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Umbria;
- Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente S. Antonio" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Marche;

2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- DM 14 gennaio 2008, Nuove norme tecniche per le costruzioni, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 Suppl. Ordinario n. 30.
- D,Lgs 152/06 art. 113 Smaltimento acque di piattaforma e autorizzazione degli scarichi.
- Regolamento del 20 febbraio 2006 n. 1/R “Disciplina delle acque meteoriche di dilavamento e delle b010ID--R0_ rel-idraulica-Tangenziale.doc 3 di 8 acque di lavaggio di aree esterne (Legge regionale 29 dicembre 2000 n. 61)”
- PAI e NTA Autorità di Bacino del Fiume Tevere approvato con D.P.C.M. del 10 Novembre 2006 pubblicato nella G.U. n.33 del 9 Febbraio 2007
- DPCM 4 Aprile 2018, pubblicato n.135 del 13/06/2018.

3. DESCRIZIONE MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

Le verifiche idrauliche sono state condotte con un modello numerico monodimensionale per il calcolo dei profili di corrente in moto permanente sviluppato tra il 1996 ed il 2001 dal Centro di Ingegneria Idraulica del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti USACE-HEC (United States Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center) ed implementato nel programma per elaboratore elettronico HEC-RAS River Analysis System di ampia diffusione e consolidata pratica d'uso. Di tale modello è disponibile un'ampia documentazione nella letteratura scientifica.

Le verifiche sono state condotte al fine di determinare le caratteristiche idrauliche del deflusso in condizioni di piena in modo da avere quante più informazioni possibili circa le interazioni con l'opera di attraversamento in progetto.

3.1. Descrizione della metodologia utilizzata

La ricostruzione del profilo di piena è stata eseguita in moto permanente con l'ausilio del software di calcolo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), sviluppato dall'U.S. Army Corp of Engineers.

Il programma permette la ricostruzione dei tiranti idrici di un corso d'acqua mediante l'integrazione numerica con il metodo dello "standard step" dell'equazione differenziale del moto permanente.

Il modello di calcolo è basato sulle seguenti ipotesi:

- il moto è permanente (le grandezze idrauliche non variano con il tempo);
- la geometria dell'alveo è caratterizzata generalmente da variazioni graduali di sezione dove è applicabile l'equazione del moto; nei tronchi dove si realizzano variazioni brusche di sezione viene adottata l'equazione dinamica in forma globale;
- il moto è monodimensionale, cioè si trascurano le componenti della velocità nelle direzioni ortogonali a quella di avanzamento della corrente; ne discende che: il carico energetico totale è lo stesso per tutti i punti di una sezione trasversale, la velocità ha una sola componente nella direzione della corrente e la superficie dell'acqua è orizzontale per tutta la sezione trasversale;
- la pendenza longitudinale non sia troppo elevata (minore del 10%);

- I dati di base richiesti dal programma di calcolo utilizzato sono sostanzialmente quelli relativi alle caratteristiche geometriche ed idrauliche del corso d'acqua in analisi. I dati necessari sono i profili di fondo (sezioni trasversali), le lunghezze dei tratti e la scabrezza dell'alveo e delle aree golenali.

3.2. **Fondamenti teorici del deflusso in moto permanente monodimensionale**

In ogni sezione normale all'asse della corrente, la pressione varia seguendo la legge idrostatica. La condizione di continuità prevede che la portata sia costante, mentre l'area della sezione “ Ω ” e la velocità media “ V ” variano gradualmente lungo l'asse “ s ” della corrente:

$$Q = \Omega \times V = Cost \quad [1]$$

L'equazione del moto è espressa mediante la formula:

$$J = -\frac{dH}{ds} \quad [2]$$

dove H , che rappresenta il carico totale, è espresso dalla relazione:

$$H = z_f + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \times g} \quad [3]$$

Per quanto concerne la cadente j del carico idraulico totale, essa si valuta assumendo che gli sforzi tangenziali sul contorno dipendano solo dalle condizioni di scabrezza della parete, dalla forma della sezione e dalla velocità media. Si assume quindi:

$$J = \frac{V^2}{\chi^2 \times R} \quad [4]$$

dove “ χ ” è il coefficiente di resistenza di Chèzy, variabile da sezione a sezione, in funzione della variazione dell'area della sezione e del perimetro bagnato (e di conseguenza il raggio idraulico e la scabrezza relativa).

Le due equazioni fondamentali sono risolte mediante la su accennata procedura iterativa (standard step method) allo scopo di calcolare la quota del pelo libero incognita per una sezione:

- equilibrio energetico:

$$h_2 + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} = h_1 + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} + \Delta H \quad [5]$$

- perdite di carico:

$$\Delta H = \lambda \times L + c \times \left| \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} - \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} \right| \quad [6]$$

in cui:

h_1, h_2 = quote del pelo libero nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;

V_1, V_2 = velocità media nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;

α_1, α_2 = coefficienti correttivi dell'energia cinetica nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;

g = accelerazione di gravità;

ΔH = perdite di carico nel tratto;

L = lunghezza del tratto di riferimento (pesata sulle portate nel caso di alveo pluricursale);

λ = coefficiente di attrito per le perdite distribuite nel tratto;

c = coefficiente di perdita di carico localizzata nelle eventuali variazioni di sezioni.

La lunghezza del tratto di riferimento viene pesata sulle portate ed è ricavata dalla relazione:

$$L = \frac{L_{sx} \times Q_{sx} + L_{ch} \times Q_{ch} + L_{dx} \times Q_{dx}}{Q_{sx} + Q_{ch} + Q_{dx}} \quad [7]$$

in cui.

- L_{sx}, L_{ch}, L_{dx} = lunghezza specifica dell'area, interessata al flusso, golena a sinistra, all'interno e a destra delle sponde;
- Q_{sx}, Q_{ch}, Q_{dx} = media aritmetica (sulle due sezioni) delle portate di competenza delle sezioni parziali a sinistra, all'interno ed a destra delle sponde.

Al fine di determinare la portata complessiva in una sezione, il flusso viene diviso in flussi parziali interni a sotto-sezioni per le quali si possa considerare la distribuzione di velocità come uniforme, senza per questo incorrere in approssimazione eccessive.

La conduttanza di competenza di ogni sotto - sezione è ottenuta mediante la seguente equazione:

$$k = \frac{1}{n} \times a \times r^{2/3} \quad [8]$$

in cui:

- k = conduttanza nella sotto-sezione di deflusso;
- n = coefficiente di *Manning* per la sotto-sezione;
- a = area della sotto - sezione interessata al flusso;
- r = raggio idraulico della sotto-sezione.

La conduttanza totale sarà data dalla somma delle conduttanze di competenza di ogni sotto - sezione.

Nei calcoli la sezione naturale è stata divisa in tre aree con diverse caratteristiche rappresentate rispettivamente dal canale e dalle due aree laterali golenali.

Anche il coefficiente correttivo dell'energia cinetica è ricavato tenendo conto della suddivisione della sezione, tramite la seguente equazione:

$$\alpha = A^2 \times \frac{\left(\frac{K_{sx}^3}{A_{sx}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{dx}^3}{A_{dx}^2} \right)}{K^3} \quad [9]$$

in cui:

- A = area totale interessata al flusso;
- K = conduttanza totale nella sezione;
- A_{sx}, A_{ch}, A_{dx} = area, interessata al flusso, rispettivamente per le sotto-sezioni a sinistra, all'interno ed a destra delle sponde;
- K_{sx}, K_{ch}, K_{dx} = conduttanze nelle sotto-sezioni, rispettivamente, a sinistra, all'interno e a destra delle sponde.

Le perdite distribuite nel tronco di corso d'acqua di lunghezza "L" (pesata sulle portate) è data dal prodotto di quest'ultima per il coefficiente di attrito λ

$$\Delta H = \lambda \times L \quad [10]$$

Il programma consente di scegliere l'espressione di λ tra le seguenti alternative:

- coefficiente di attrito media aritmetica:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad [11]$$

- coefficiente di attrito media sulle portate:

$$\lambda = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad [12]$$

- coefficiente di attrito media geomca:

$$\lambda = \sqrt{\lambda_1 \times \lambda_2} \quad [13]$$

- coefficiente di attrito media armonica:

$$\lambda = \frac{2 \times \lambda_1 \times \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad [14]$$

in cui:

- Q_1, Q_2 = portata nelle due sezioni che limitano il tratto;
- K_1, K_2 = conduttanza nelle due sezioni che limitano il tratto;
- λ_1, λ_2 = coefficienti di attrito nelle due sezioni che limitano il tratto.

Il calcolo delle perdite di carico dovute alla contrazione o espansione della corrente si basa sulla seguente relazione:

$$\Delta H = c \times \left| \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} - \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} \right| \quad [15]$$

dove:

- V_1, V_2 = velocità media nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;
- α_1, α_2 = coefficienti correttivi dell'energia cinetica nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;
- g = accelerazione di gravità;
- ΔH = perdite di carico concentrate nel tratto;
- c = coefficiente di perdita di carico localizzata nelle eventuali variazioni di sezioni:

Secondo il programma si verifica una contrazione della corrente ogni volta che il carico cinetico a valle è maggiore di quello a monte; analogamente, quando il carico cinetico a monte è maggiore di quello a valle, il programma assume che vi sia un'espansione.

Il coefficiente c nel caso di espansione varia tra 0,3 e 0,8, mentre nel caso di contrazione varia tra 0,1 e 0,6.

La quota del pelo libero ad una sezione trasversale è determinata risolvendo iterativamente le equazioni [5] e [6] secondo la seguente procedura:

Passo 1: Assunzione di un valore (arbitrario) per la quota del pelo libero nella sezione più a monte, nel caso di corrente veloce, od a valle nel caso di corrente lenta.

Passo 2: Determinazione della portata totale e della velocità della corrente corrispondenti alla quota di cui al passo 1.

Passo 3: Calcolo del valore del coefficiente di attrito λ e determinazione delle perdite energetiche mediante la risoluzione dell'equazione [10].

Passo 4: Calcolo della quota del pelo libero h_2 mediante risoluzione dell'equazione [1] utilizzando i valori ottenuti con i passi 2 e 3.

Passo 5: Comparazione del valore della quota del pelo libero calcolata con il passo 4 con quella assunta al passo 1; ripetizione dell'intera procedura finché la differenza tra le due quantità è minore di quella assunta ammissibile.

Una volta ottenuta la quota del pelo libero "bilanciata" in una sezione, il programma verifica che questa sia in accordo con le ipotesi assunte sul regime della corrente; se ciò non avviene la quota del pelo libero verrà considerata coincidente con la profondità critica.

La profondità critica è la quota per la quale il carico specifico è minimo e viene calcolata con procedura iterativa basata sull'equazione che definisce il carico specifico in una data sezione.

La profondità critica per una sezione trasversale viene determinata ogni volta che si verifica una delle seguenti condizioni:

- La corrente è veloce;
- Il calcolo della profondità critica viene richiesto dall'utente;

La quota del pelo libero iniziale per le sezioni al contorno può essere specificata in uno dei seguenti quattro modi:

- come profondità critica;
- come una elevazione nota;
- come profondità di moto uniforme con pendenza assegnata, ovvero come pendenza della linea dei carichi assegnata;
- da una scala di deflusso.

La portata viene specificata in una apposita variabile nella sezione di monte, ma può essere variata in una qualunque sezione e per tutte le sezioni a valle impostando una seconda variabile.

3.3. Teoria del Modello Idraulico Bidimensionale in Moto Vario

Partendo dalla versione beta di HEC RAS 5.0.0 aggiornata successivamente alla versione 5.0.3, è stata aggiunta la possibilità di effettuare simulazioni idrauliche bidimensionali all'interno dell'analisi in moto vario.

Si possono ora eseguire sia simulazioni con modelli monodimensionali e bidimensionali in moto vario, sia modelli monodimensionali integrati con modelli 2D nelle aree inondabili.

Per la modellazione in moto vario sono adottate le seguenti ipotesi, ottenendo dalle equazioni differenziali di continuità e di conservazione della massa per moto monodimensionale descritta nel paragrafo precedente, le equazioni di De Saint Venant:

- la distribuzione delle pressioni è di tipo idrostatico (ipotesi valida se le linee di flusso non presentano curvatura accentuata);
- la pendenza del fondo alveo è minima, tale che la sezione trasversale normale alla corrente si confonda con la sezione verticale;
- alveo prismatico, laddove le variazioni nella sezione trasversale e nella pendenza fondamentale possono essere prese in considerazione approssimando il corso d'acqua con una serie di tratti prismatici;
- le perdite di carico possono essere espresse tramite una delle classiche formule adottate per il moto uniforme (si utilizza l'equazione di Manning); con questa ipotesi si assume che in regime di moto vario a una data velocità V della corrente si abbiano le stesse perdite di carico che si avrebbero in moto uniforme con la stessa velocità;
- la velocità e le accelerazioni lungo la verticale sono trascurabili rispetto alle analoghe grandezze in direzione del moto;
- le variazioni della densità del fluido sono trascurabili.

Pertanto è possibile scrivere le equazioni di de Saint Venant come di seguito:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_{lat} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

Nel caso di alvei a sezione composta le aree golenali esterne al canale sono considerate come aree di accumulo o di espansione.

La portata che defluisce all'interno del *channel* vale:

$$Q_c = \frac{K_c}{K_c + K_f} Q$$

$$K_c = \frac{1}{n} \cdot A_c \cdot R_c^{2/3}$$

$$K_f = \frac{1}{n} \cdot A_f \cdot R_f^{2/3}$$

I pedici *c* ed *f* indicano rispettivamente l'alveo centrale e l'area golenale.

L'unione delle equazioni per il canale e per le aree golenali è attuata mediante un coefficiente β che mette in relazione i termini convettivi.

$$\beta = \frac{V_c^2 A_c + V_f^2 A_f}{V^2 A} = \frac{V_c Q_c + V_f Q_f}{Q A}$$

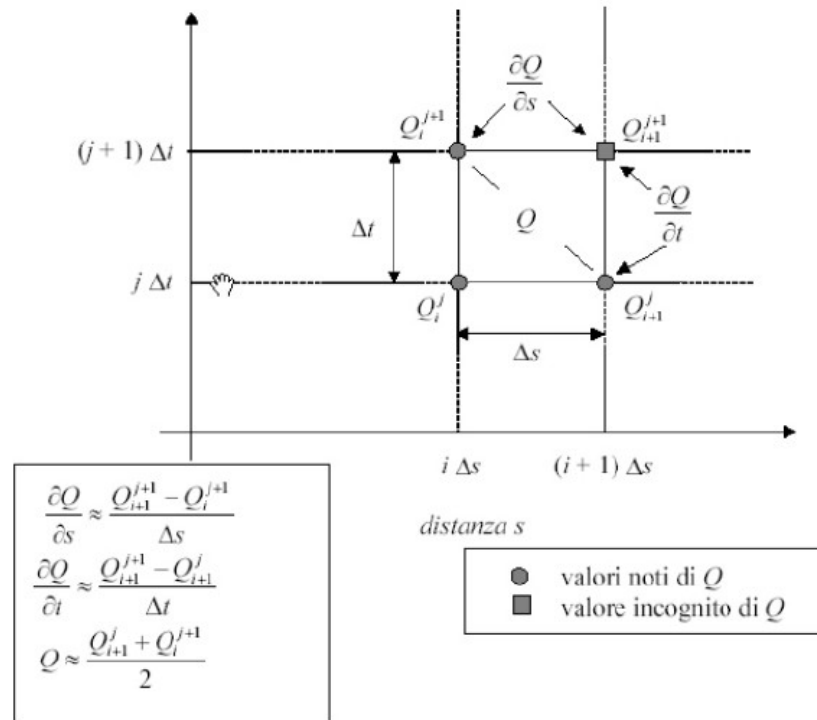
Di seguito sono riportate le equazioni di De Saint Venant in forma differenziale:

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} x_e + \frac{\Delta A_f}{\Delta x_f} x_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} x_f - \bar{Q}_{lat} = 0$$

$$\frac{\Delta(Q_c \Delta x_c + Q_f \Delta x_f)}{\Delta t \Delta x_e} + \frac{\Delta(QV\beta)}{\Delta x_e} + g\bar{A} \left(\frac{\Delta z}{\Delta x_e} + \bar{S}_f \right) = 0$$

dove Δx_e è l'*equivalent flow path* , cioè un contorno bagnato equivalente dove sono considerati i contributi di resistenza generati dalle golene laterali sul flusso.

Nell'ambito del software HEC-RAS, la risoluzione del sistema non lineare di equazioni differenziali è sviluppata mediante la linearizzazione proposta da Preissmann-Cunge-Chen mediante uno schema di calcolo implicito a 4 punti (box scheme), illustrato in figura:



Le equazioni di bilancio della massa e della quantità di moto sono scritte come:

- $CQl_j \Delta Q_j + CZl_j \Delta z_j + CQ2_j \Delta Q_{j+1} + CZ2_j \Delta z_{j+1} = CB_j$
- $MQl_j \Delta Q_j + MZl_j \Delta z_j + MQ2_j \Delta Q_{j+1} + MZ2_j \Delta z_{j+1} = MB_j$

Avendo diviso ogni tronco fluviale in $N-1$ tratti con $2N$ incognite (Q e Z nei N nodi) e $2N-2$ equazioni. L'analisi di stabilità della soluzione con Von Neumann mostra che lo schema implicito è teoricamente incondizionatamente stabile per $0,5 < \theta \leq 1$, condizionatamente stabile per $\theta = 0,5$ e instabile per $\theta < 0,5$. Si rimanda al manuale HEC-RAS (disponibile on-line) per ulteriori approfondimenti.

4. MODELLAZIONE IDRAULICA PER AREA DI INTERESSE

4.1. Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Fosso del Casale" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Umbria

Come descritto nei paragrafi precedenti il corso d'acqua Fosso del Casale interseca il tracciato delle opere in progetto in corrispondenza dell'imbocco della Galleria Guinza lato Umbria. Pertanto è stato necessario stimare gli effetti di interferenza idraulici dovuti ai deflussi del corso d'acqua in esame rispetto al tempo di ritorno di riferimento di 200 anni. Si è dunque implementata una modellazione bidimensionale in moto vario tramite software Hec-Ras 5.0.3 per stimare quantitativamente le interferenze idrauliche con le opere in progetto.

L'idrogramma di Tr 200 anni stimato per il Fosso del Casale viene determinato a partire dalle analisi idrologiche presentate nel relativo elaborato ipotizzando il metodo del CNIII per la stima dei volumi di pioggia netta e l'idrogramma adimensionale di Mockus per la determinazione della forma dell'idrogramma con colmo di $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

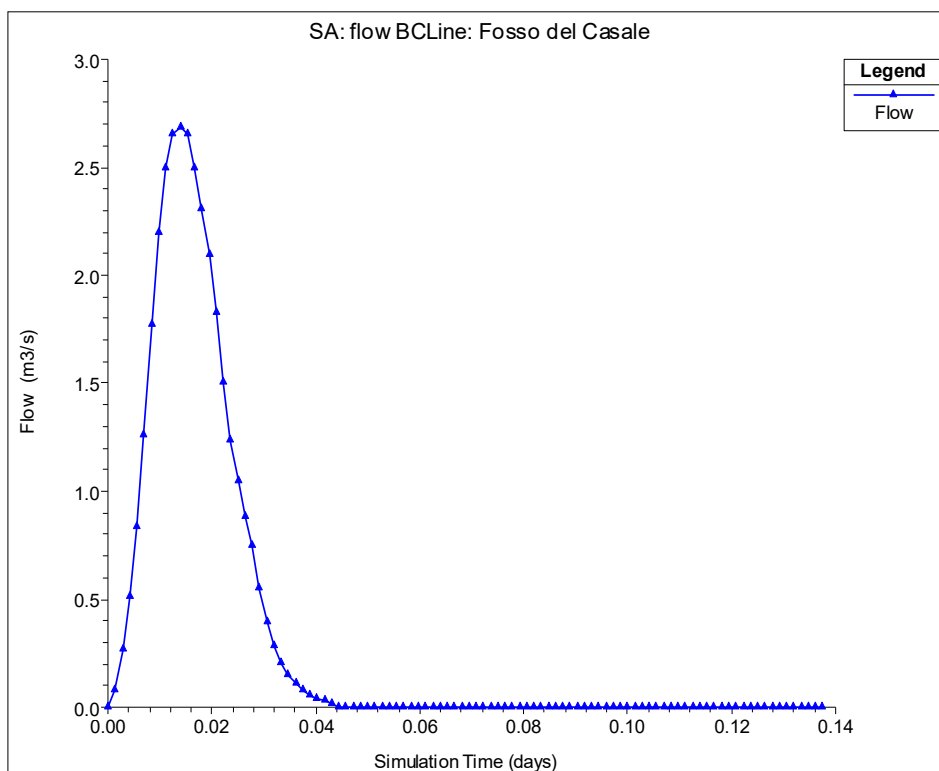


Figura 6 - Idrogramma di Input Fosso del Casale

A partire da linee di livello e punti quotati CTR integrati da rilievi GPS in situ, si è costruito il TIN del DTM dell'area esaminata, successivamente ricampionato con celle quadrate di lato 2m x 2m. Tale DTM si ritiene pertanto rappresentativo dello stato di fatto.

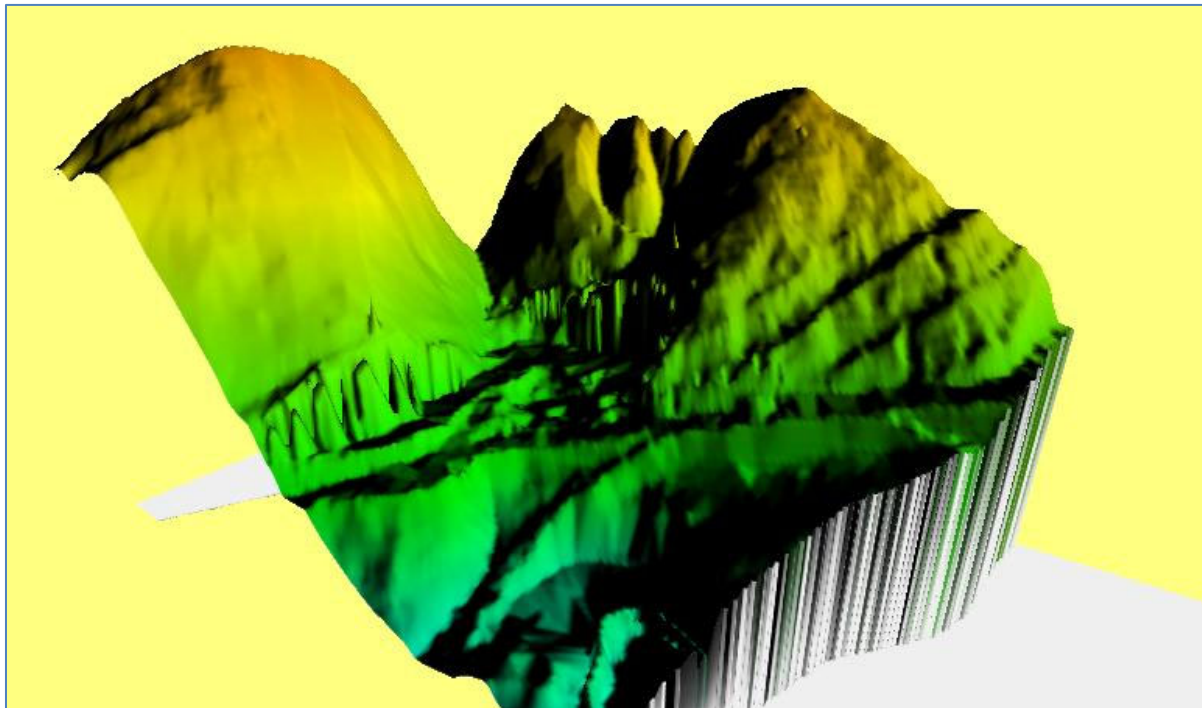


Figura 7 – Particolare del Dtm ricostruito

Il dominio di studio, rappresentato nell'immagine seguente è stato caratterizzato idraulicamente da un unico valore di scabrezza di Manning di $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$.

Nell'immagine sono anche rappresentate le sezioni di input dell'idrogramma del Fosso del Casale e di output del modello con condizioni a contorno definite rispetto alla pendenza di moto uniforme.

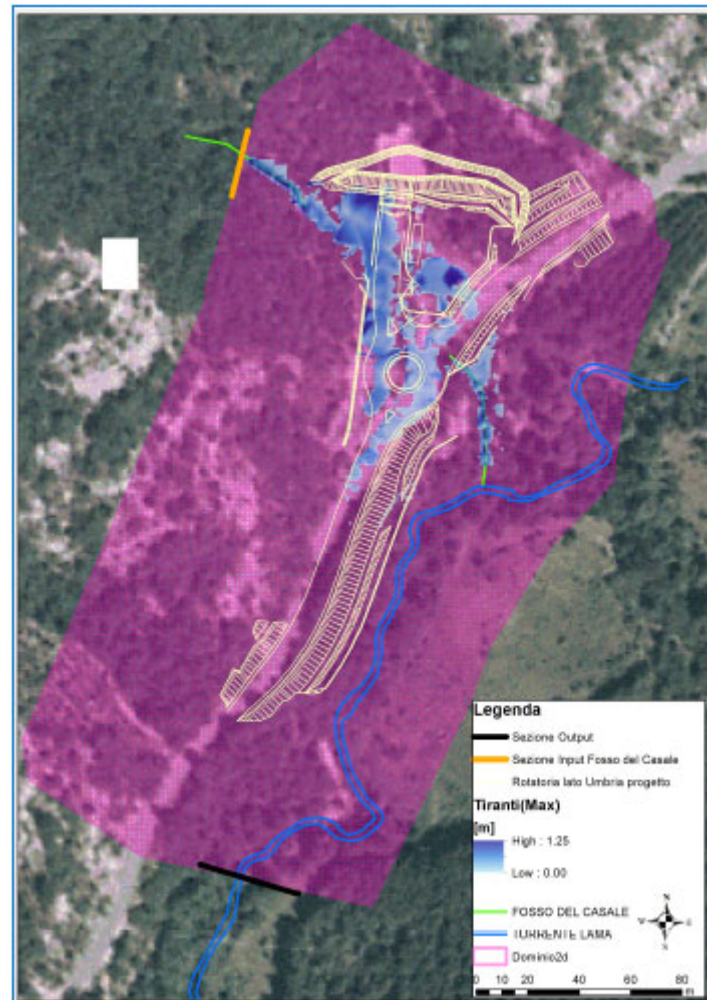


Figura 8 - Geometria e risultati del modello 2d implementato

I risultati del modello evidenziano un interessamento non trascurabile delle opere in progetto che suggerisce la realizzazione di un'opera deputata a risolvere questa interferenza. Nel prossimo paragrafo si descrive la soluzione progettuale proposta e se ne esamina il funzionamento attraverso una modellazione e verifica idraulica dedicata.

4.2. **Progetto e verifica dell'attraversamento idraulico della rotatoria lato Umbria e risoluzione interferenza con il corso d'acqua "Fosso del Casale"**

Il modello idraulico descritto precedentemente ha evidenziato un'interferenza idraulica tra il corso d'acqua Fosso del Casale e l'intersezione di nuova realizzazione all'imbocco della galleria Guinza lato Umbria.

Per la risoluzione di tale interferenza si definisce:

- Realizzazione di una briglia in alveo a monte;
- Inalveazione del corso d'acqua per circa 20 m con pendenza dell'1%, sezione rettangolare 3x2 m e due salti di fondo da circa 4 m;
- Realizzazione di un tombino 3x2 m della lunghezza di circa 90 m e pendenza dell'1%, passi d'uomo per ispezioni, con quota di imbocco fissata a 576.23 m s.l.m. e recapito a quota 571.03 m s.l.m, con un salto di fondo di circa 4 m nella tratta finale.
- Realizzazione di canalizzazione a cielo aperto della restituzione delle portate naturali a valle del tombino, con due scivoli in massi cementati e relativi bacini di dissipazione.

Per ulteriori elementi di dettaglio delle opere in progetto si faccia riferimento all'elaborato denominato TOOTM01STRCP01-02A per quanto riguarda il tombino e l'opera di restituzione e agli elaborati TOOTM01STRDI03A per la briglia a monte del tombino.

Al fine di verificare idraulicamente il sistema delle opere in progetto si è costruito un modello tramite software HEC-RAS in moto permanente dedicato.

Nell'immagine seguente si propone una rappresentazione planimetrica delle descritte opere in progetto in ambiente HEC RAS.

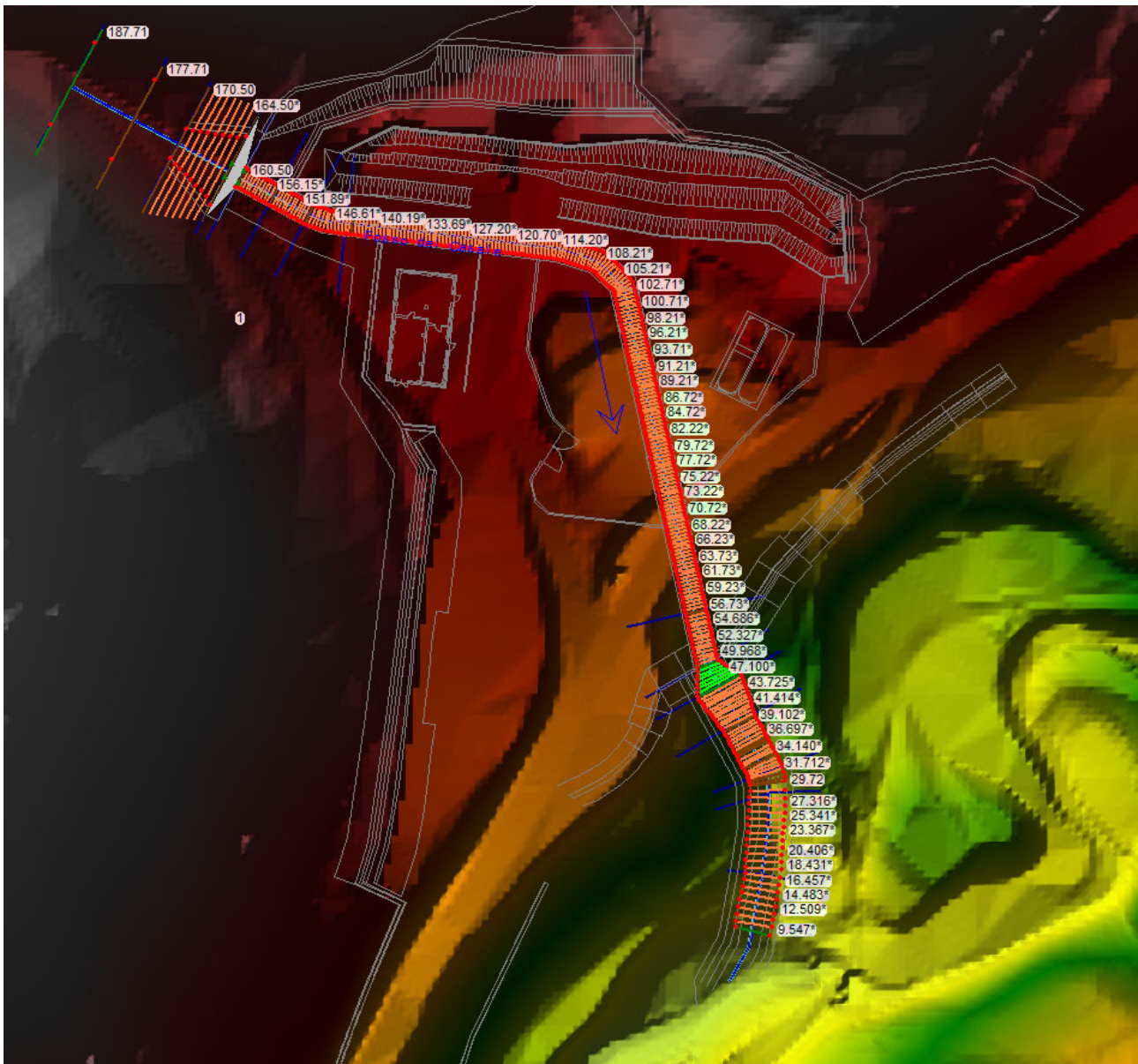


Figura 9 - Planimetria opere idrauliche in progetto per la risoluzione dell'interferenza idraulica rilevata

Di seguito si rappresentano le sezioni tipo geometriche delle opere descritte:

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO - Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (Lotto 2) e del Tratto Guinza - Mercatello Ovest (Lotto 3) - 1° stralcio
Progetto Esecutivo

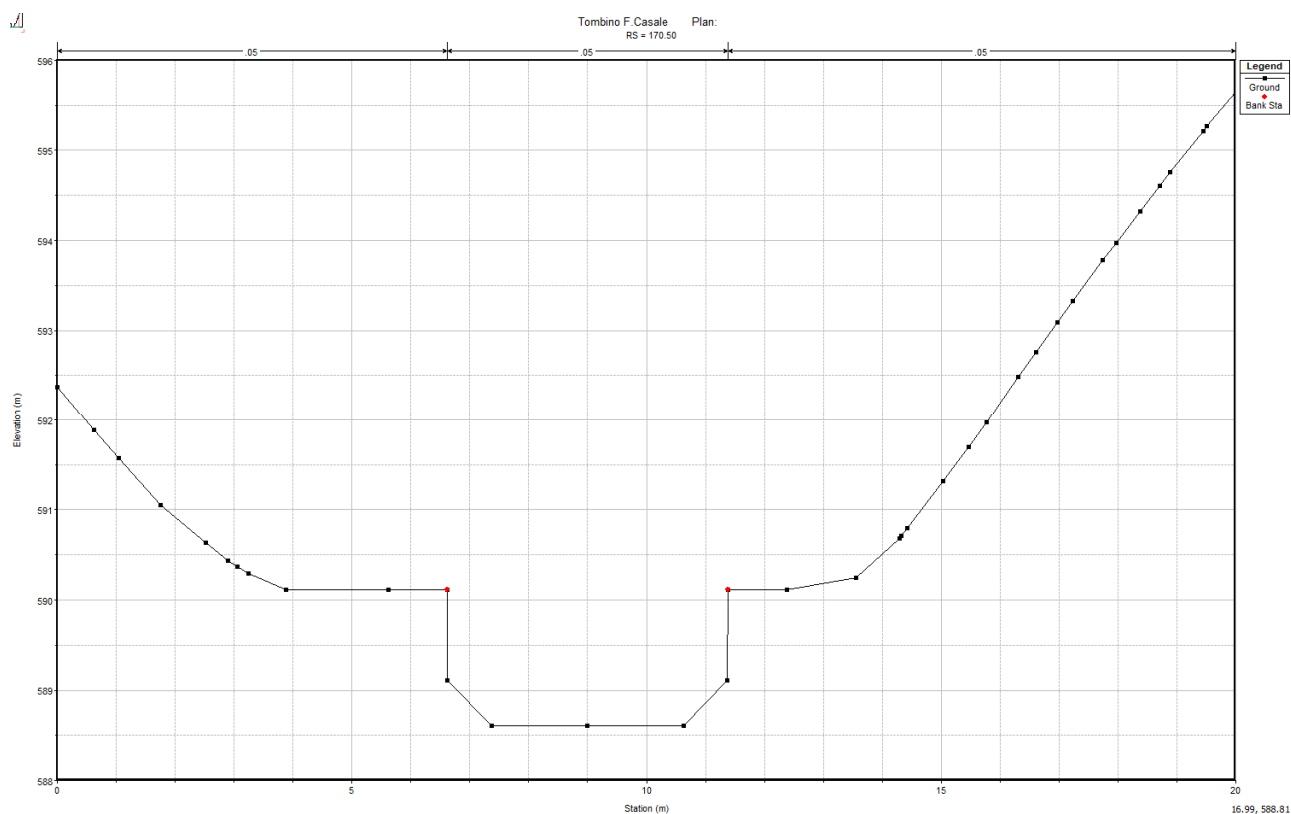


Figura 10 - sezione inizio intervento monte

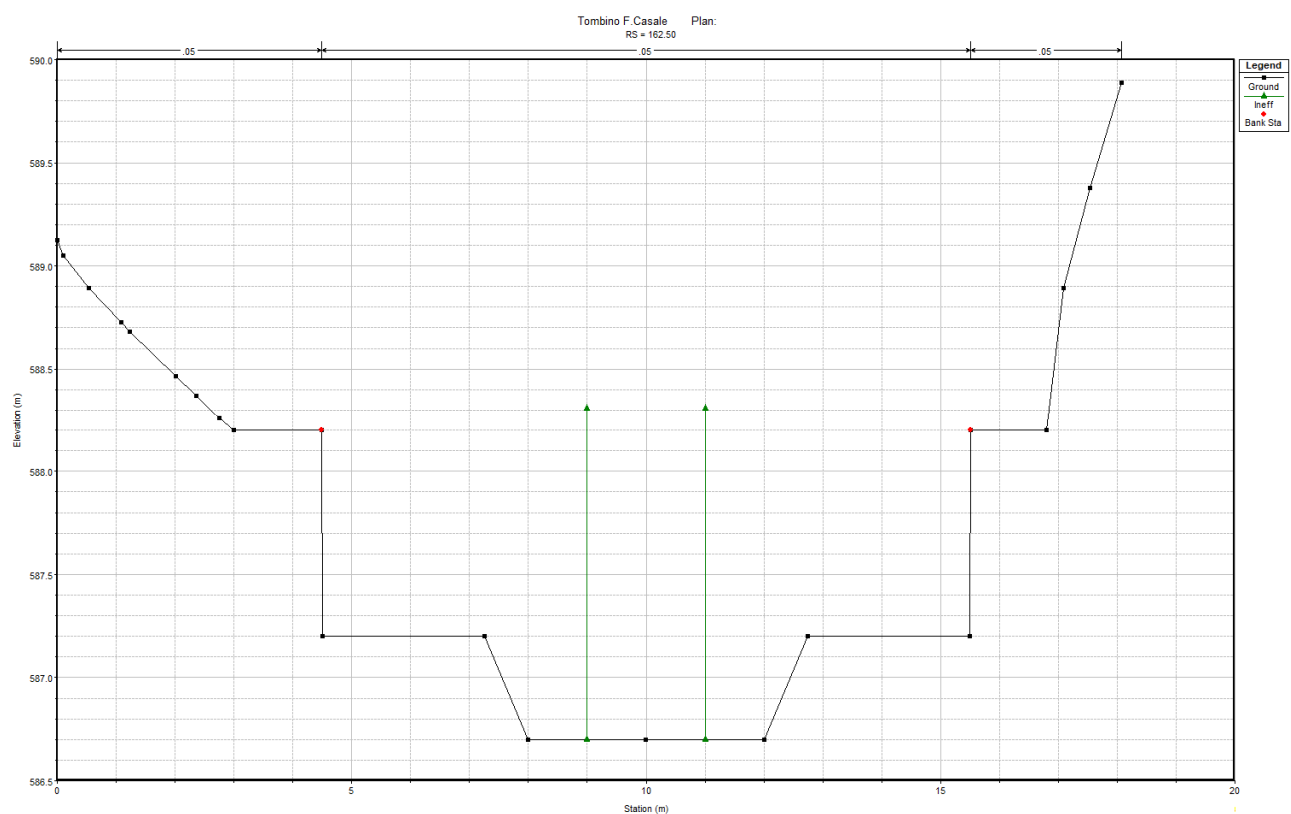


Figura 11 - sezione a monte della briglia

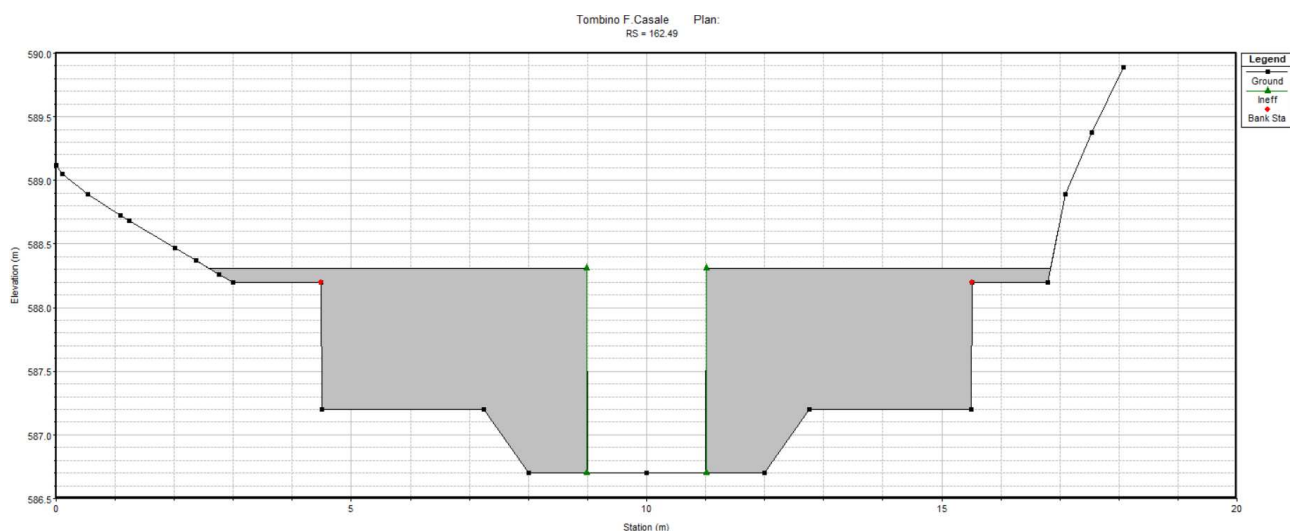


Figura 12 - sezione briglia

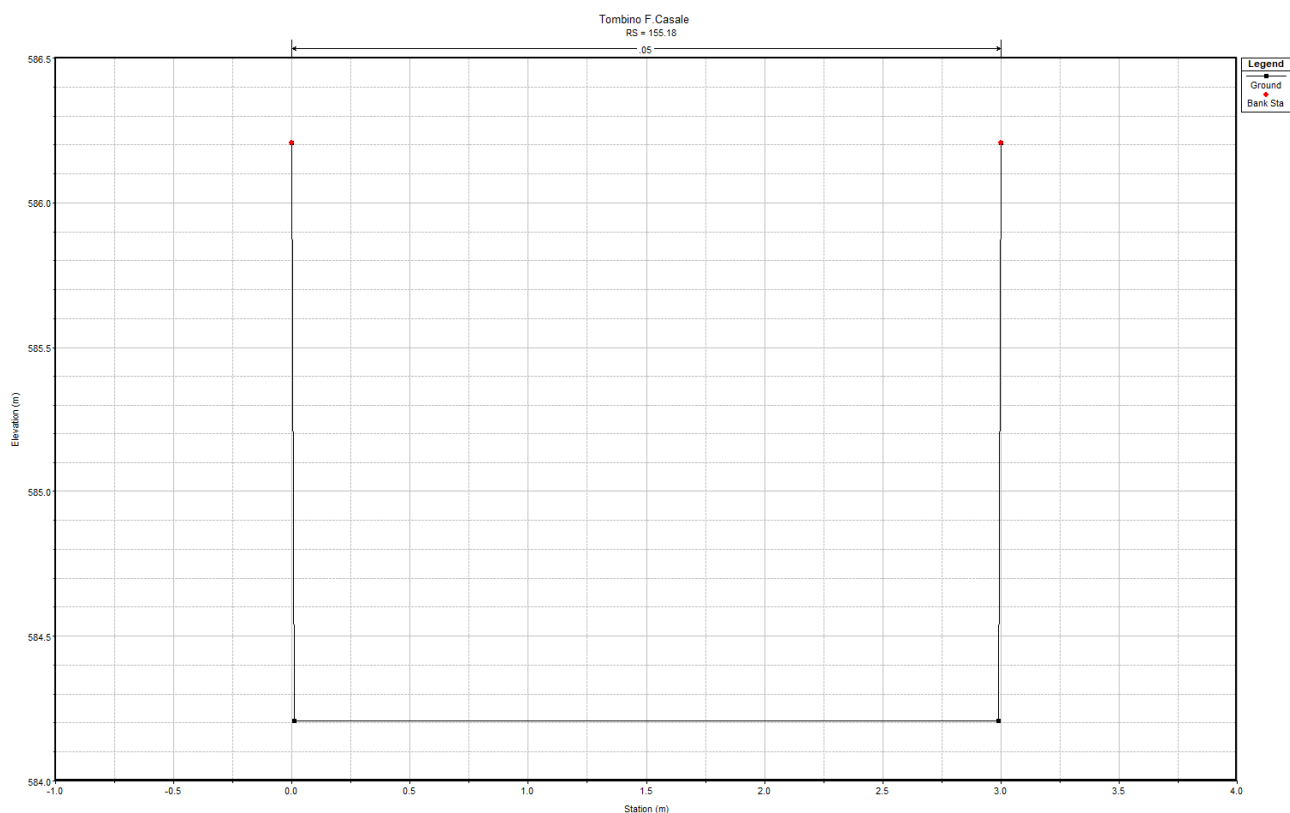


Figura 13 - sezione tipo tombino 3x2 in corrispondenza delle vasche di calma

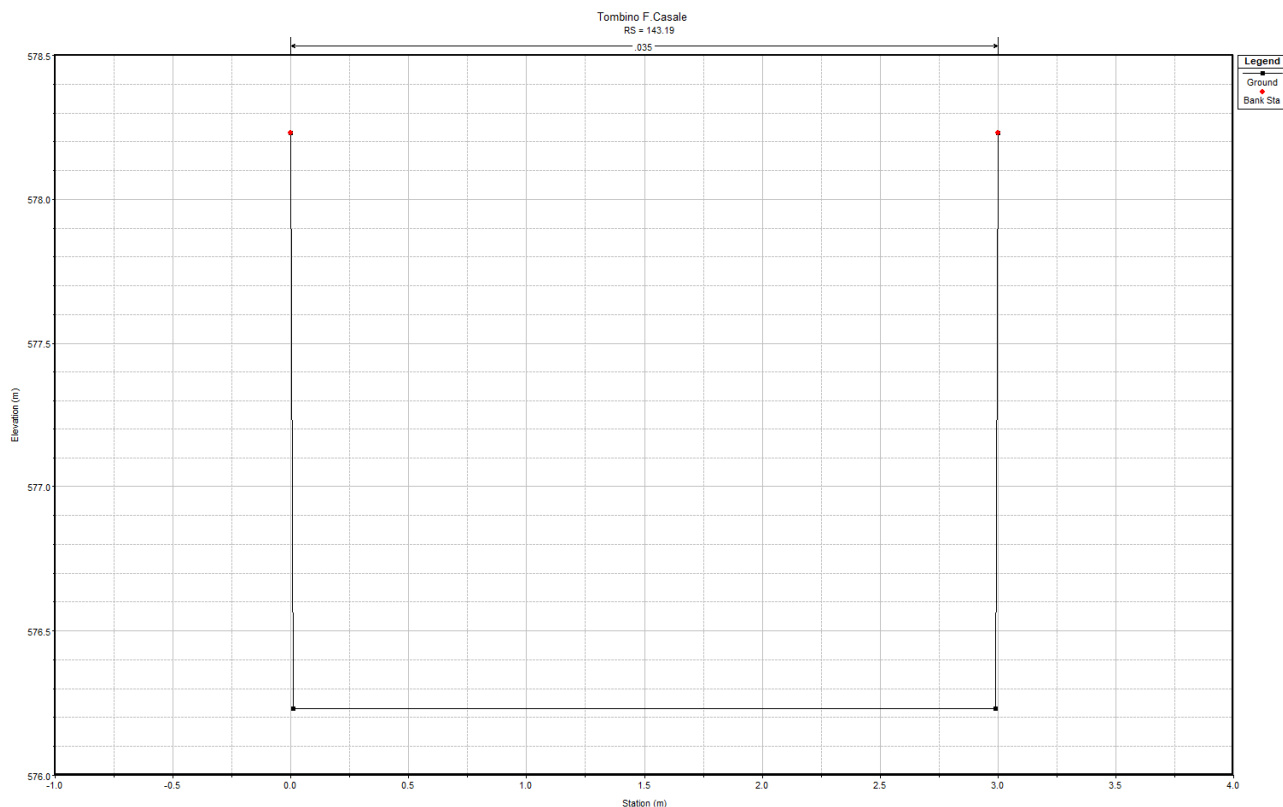


Figura 14 - sezione tipo tombino 3x2

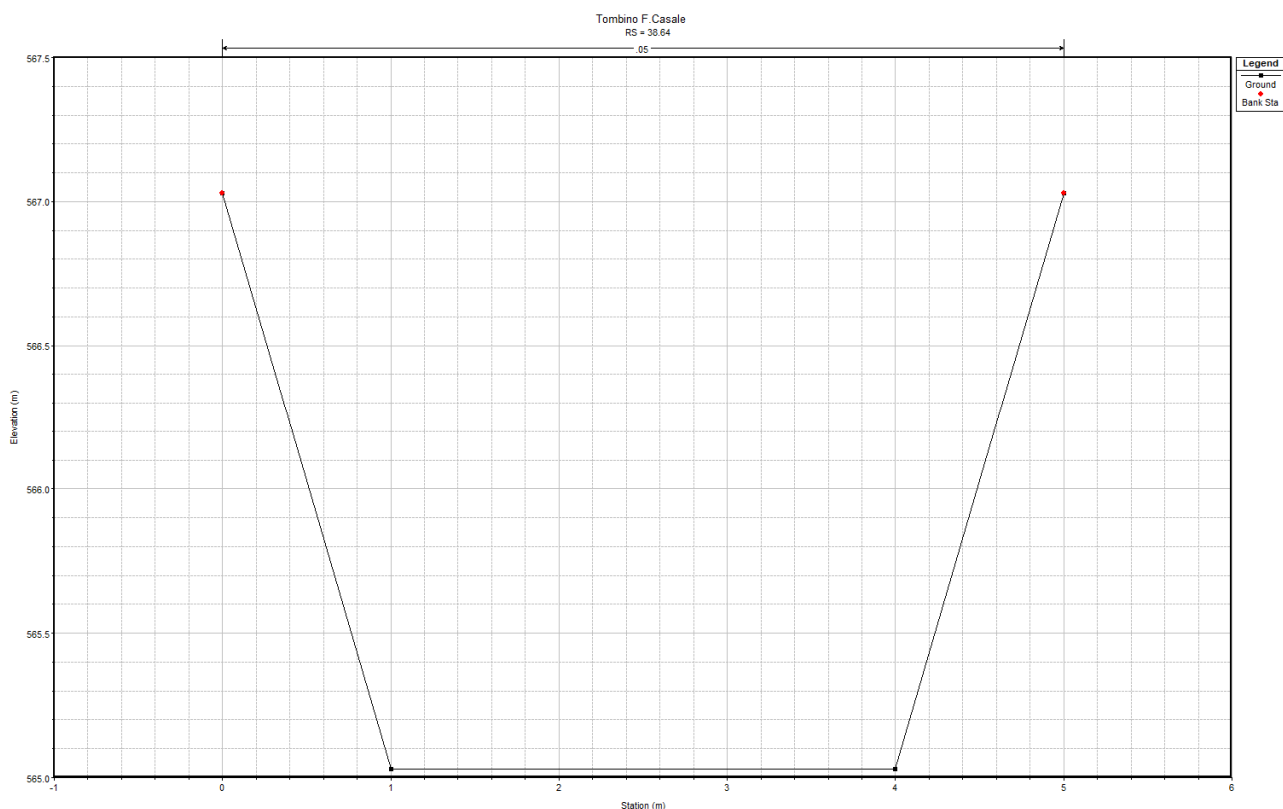


Figura 15 - sezione tipo restituzione vasche di dissipazione

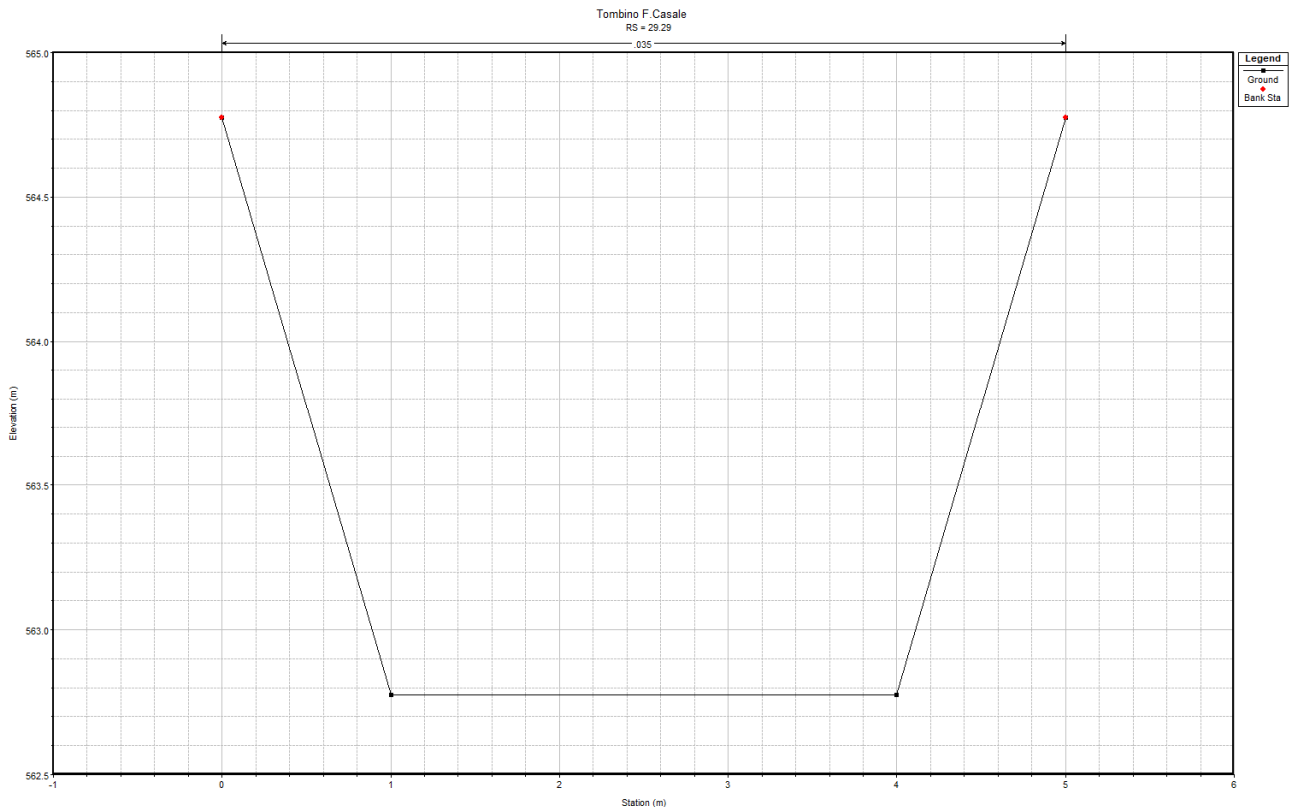


Figura 16 - sezione tipo restituzione

Il modello idraulico implementato è caratterizzato con condizioni a contorno di moto uniforme dettate dalla naturale pendenza del terreno e come input idraulico con il valore di portata al colmo per TR 200 anni stimato nella relazione idrologica per il Fosso del Casale di $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$, incrementato di $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, rappresentativo della massima portata scaricabile dalle opere di drenaggio del piazzale lato Umbria che recapitano nel nuovo tombino in progetto, per una portata totale pari a $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

I valori di scabrezza nel tratto di alveo a monte della sistemazione sono stati impostati con valore di Manning di $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$, mentre nel tratto di inalveazione e nel tombino, a vantaggio di sicurezza è stato impostato un valore di $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ per i tratti di manufatto in calcestruzzo e un valore di $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ nelle porzioni con massi irregolari nelle vasche di dissipazione atti alla dissipazione energetica della corrente idrica.

Nella sezione n°108.21*, nella quale il tombino effettua una curva con raggio di 8 m, si è impostato un aumento di tirante localizzato dedotto dalla formula di Grashof, per la quale per canali a sezione rettangolare e per rapporti raggio/Base $\geq 1,5$ in corrente lenta, il dislivello Δh fra il punto sopraelevato e quello più depresso, in curva è dato dalla formula:

$$\Delta h = \frac{V^2 \cdot B}{g \cdot r_m}$$

I risultati ottenuti da quest'analisi rappresentano che la portata di progetto transita all'interno del tombino con un franco di sicurezza sempre superiore al metro. In particolare il franco minimo risulta di 1,3 m in corrispondenza della sezione in curva dove è stato aggiunto il sovrizzo.

I salti idraulici all'interno del tombino sono stati valutati considerando la pendenza media delle vasche di calma con la quota sommitale dei massi. A valle degli scivoli nel tratto della restituzione invece, a fronte del controsalto terminale della vasca di calma pari a 0.5 m, è stata inserita l'effettiva quota di fondo. La soluzione progettuale consente di ottenere il risalto idraulico all'interno delle vasche di dissipazione e il passaggio dallo stato critico a valle del controsalto.

Dall'analisi effettuata risulta che Il tombino in progetto 3x2m risulta ampiamente sufficiente da un punto di vista idraulico, tuttavia in virtù dello sviluppo lineare di circa 90m si ritiene di conservare tali dimensioni di progetto per consentire ispezioni e eventuali periodiche operazioni di pulizia.

Per quanto riguarda la sistemazione a valle del tombino, si evince che i due scivoli

Tabella 1 - tabella dei parametri idraulici caratteristici della simulazione in moto permanente 1D

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Fr # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	187.71	PF 1	2.8	592.69	593.08	593.29	593.84	0.250406	3.86	0.73	2.9	2.46
1	177.71	PF 1	2.8	590.36	590.77	590.98	591.47	0.221813	3.68	0.76	2.96	2.32
1	170.5	PF 1	2.8	588.61	588.82	589.01	589.54	0.32921	3.75	0.75	3.88	2.73
1	162.5	PF 1	2.8	586.7	587.57	587.28	587.7	0.007701	1.6	1.75	11.01	0.55
1	162.49		Inl Struct									
1	160.5	PF 1	2.8	584.26	584.84	584.84	585.13	0.018459	2.38	1.18	2.98	0.99
1	155.18	PF 1	2.8	584.21	584.65	584.65	584.88	0.046004	2.1	1.33	2.98	1.01
1	155.17	PF 1	2.8	580.58	580.69	581.03	584.52	3.985727	8.66	0.32	2.98	8.4
1	149.55	PF 1	2.8	580.53	580.98	580.98	581.21	0.046109	2.11	1.33	2.98	1.01
1	149.54	PF 1	2.8	576.3	576.4	576.75	580.79	4.972818	9.28	0.3	2.98	9.31
1	143.19	PF 1	2.8	576.23	576.79		576.93	0.011249	1.67	1.68	2.99	0.71
1	55.73	PF 1	2.8	575.23	575.68	575.68	575.9	0.029532	2.11	1.33	2.98	1.01
1	55.63	PF 1	2.8	571.1	571.2	571.54	575.49	4.789522	9.17	0.31	2.98	9.15
1	48.08	PF 1	2.8	571.03	571.51	571.48	571.71	0.017798	1.95	1.44	2.98	0.89
1	44.65	PF 1	2.8	571.03	571.45	571.45	571.64	0.018969	1.94	1.45	3.85	1.01

1	38.64	PF 1	2.8	565.03	566.16	565.46	566.19	0.001836	0.69	4.03	4.13	0.22
1	35.24	PF 1	2.8	565.02	566.15		566.18	0.001827	0.69	4.04	4.13	0.22
1	35.14	PF 1	2.8	565.52	566.03	565.95	566.17	0.023701	1.67	1.68	3.67	0.79
1	34.64	PF 1	2.8	565.52	565.95	565.95	566.15	0.019468	1.98	1.41	3.57	1.01
1	32.64	PF 1	2.8	563.02	564.15	563.46	564.17	0.001856	0.7	4.02	4.13	0.23
1	30.32	PF 1	2.8	563.01	564.15		564.17	0.000893	0.69	4.04	4.13	0.22
1	30.22	PF 1	2.8	563.52	564.01	563.95	564.16	0.012527	1.71	1.64	3.66	0.82
1	29.72	PF 1	2.8	563.52	563.95	563.95	564.15	0.019353	1.98	1.42	3.57	1
1	29.29	PF 1	2.8	562.78	562.97	563.21	564.04	0.255525	4.57	0.61	3.2	3.33
1	8.56	PF 1	2.8	560.76	561.02	561.18	561.58	0.097946	3.32	0.84	3.52	2.16

In aggiunta alla tabella di sintesi dei risultati riportata, per ogni ulteriore dettaglio delle risultanze del modello si faccia riferimento all'allegato in coda alla presente relazione.

Nell'elaborato T00ID00IDRPP01A sono presentate le planimetrie ante e post operam delle aree di esondazione per Tr 200 anni dell'area di studio dell'imbocco della galleria Guinza lato Umbria.

Di seguito si rappresenta un'immagine descrittiva delle componenti del modello Hec-Ras 1d descritto con le risultanze dei tiranti per Tr 200 anni (il tratto del tombino viene rappresentato anche se si sviluppa in sotterraneo e le relative quote dei tiranti rappresentate sono da riferirsi rispetto alle quote di scorrimento di progetto) e il profilo risultante dalla simulazione per Tr 200 anni.

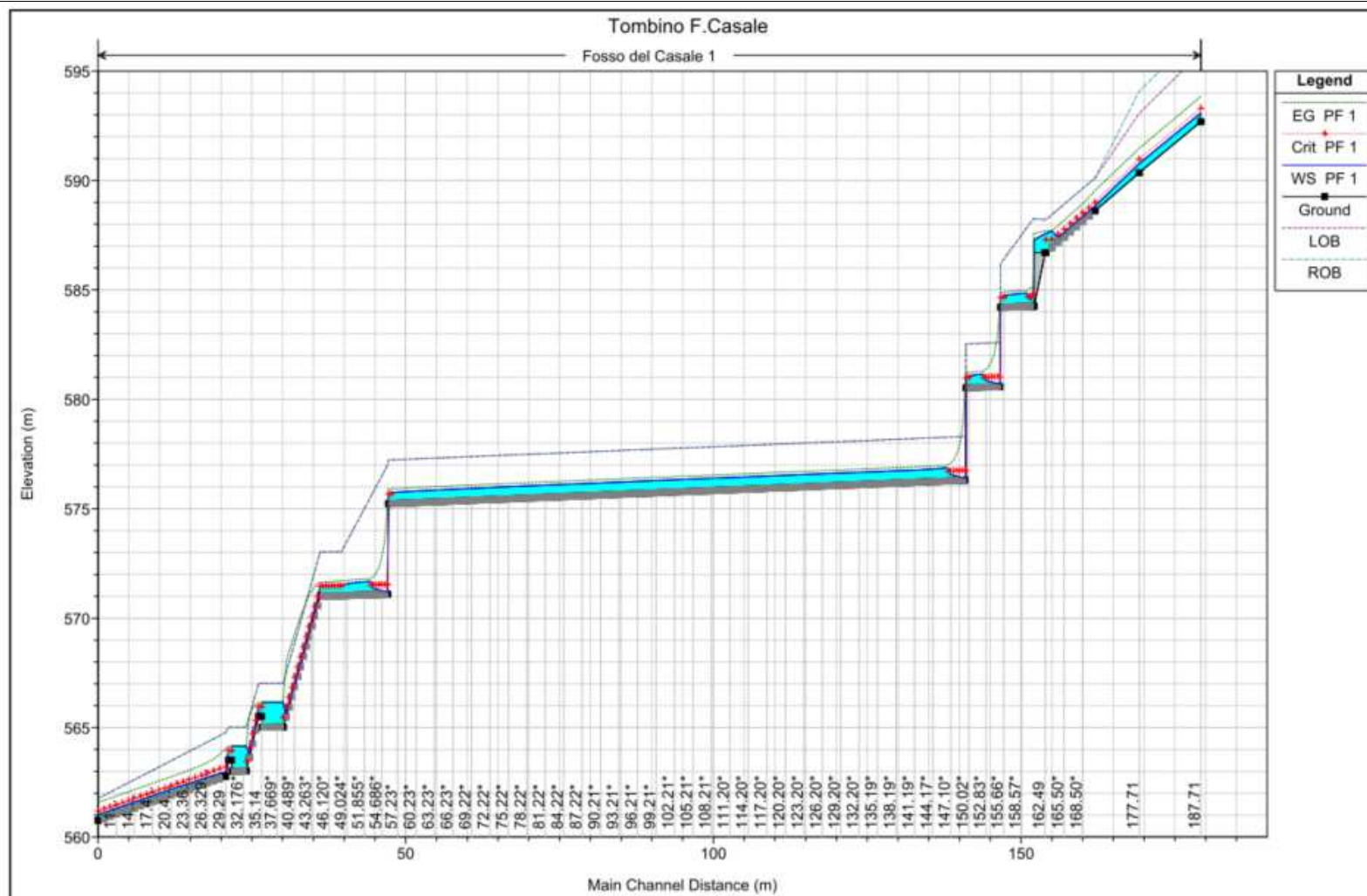


Figura 17 - Profilo della simulazione Hec Ras 1d per Tr 200 anni

4.3. Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente Lama" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Umbria

Rispetto alla compatibilità idraulica dell'intersezione all'imbocco della galleria Guinza lato Umbria, una volta esaminati gli aspetti legati all'assetto idraulico del corso d'acqua intersecante le opere, resta da valutare se le aree di propagazione delle piene di Tr 200 anni del corso d'acqua denominato Torrente Lama non coinvolgano le aree interessate dalle opere in progetto.

Pertanto sempre utilizzando il DTM ricostruito da linee di livello e punti quotati CTR integrati da rilievi GPS in situ, si sono estratte le sezioni ortogonali allo sviluppo del corso d'acqua per un tratto significativamente esteso da monte a valle dell'intersezione.

In tal maniera il DTM si ritiene rappresentativo delle condizioni ante operam.

Da qui si è ricostruito il modello geometrico del corso d'acqua e implementato il modello idraulico Hec-Ras mono dimensionale e in moto permanente.

I valori di scabrezza delle sezioni di calcolo sono stati impostati con valore di Manning di $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$.

Come condizioni a contorno sono state imposte le condizioni di moto uniforme.

Di seguito si rappresentano una tabella di sintesi dei risultati numerici della modellazione e immagini di riproduzione planimetrica delle aree allagabili per Tr 200anni con le relative sezioni di calcolo e raffronto con le opere in progetto.

Per ogni ulteriore dettaglio delle risultanze del modello si faccia riferimento all'allegato in coda alla presente relazione.

Tabella 2 - Risultati numerici modellazione Torrente Lama

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
LAMA			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	331.9603	200	27.5	565	566.57	566.57	567.18	0.029671	3.45	7.98	6.67	1.01
1	328.2396	200	27.5	564.51	565.81	566.15	566.96	0.072572	4.75	5.79	6.17	1.56
1	313.2892	200	27.5	564	565.23	565.42	565.98	0.046426	3.85	7.14	7.77	1.28
1	282.0634	200	27.5	562.37	562.9	563.12	563.63	0.14191	3.78	7.27	20.38	2.02
1	271.4315	200	27.5	562	563.37	562.67	563.4	0.002491	0.84	33.14	45.37	0.3
1	265.4692	200	27.5	562	563.06		563.35	0.020204	2.38	11.56	14.65	0.86
1	253.0828	200	27.5	561.85	562.83		563.1	0.018376	2.31	11.89	14.56	0.82
1	246.4645	200	27.5	561.88	562.7	562.7	562.96	0.023863	2.38	12.93	26.02	0.91
1	232.7964	200	27.5	560.95	561.31	561.54	562.15	0.24058	4.06	6.84	26.86	2.51
1	217.404	200	27.5	559	559.93	560.1	560.59	0.052944	3.6	7.64	10.73	1.36
1	205.303	200	27.5	558	558.98	559.23	559.82	0.074184	4.05	6.78	10.24	1.59
1	188.7657	200	27.5	557.43	558.95	558.72	559.24	0.014465	2.41	11.41	10.61	0.74
1	175.3209	200	27.5	557	558.52	558.52	558.96	0.028538	2.96	9.29	10.55	1.01
1	161.0672	200	27.5	556	558.29	557.79	558.55	0.010524	2.25	12.23	9.22	0.62
1	147.5612	200	27.5	556	557.7	557.7	558.29	0.028818	3.41	8.06	6.79	1
1	128.2117	200	27.5	555	555.97	556.38	557.28	0.099543	5.05	5.44	7.04	1.83
1	114.7476	200	27.5	553.28	554.2	554.63	555.65	0.145596	5.34	5.15	8.39	2.18
1	103.2688	200	27.5	553	554.39	554.39	554.92	0.027488	3.21	8.57	8.16	1
1	91.87	200	27.5	552	553.3	553.63	554.4	0.067409	4.63	5.94	6.15	1.5
1	62.32856	200	27.5	551	551.68	551.85	552.27	0.066113	3.41	8.06	14.65	1.47
1	35.75499	200	27.5	550	551.54	550.95	551.66	0.004766	1.54	17.88	14.42	0.44
1	23.63572	200	27.5	549.72	551.06	551.06	551.51	0.027447	2.97	9.25	10.29	1
1	15.74298	200	27.5	549	550.17	550.46	551.13	0.066246	4.36	6.31	7.47	1.51
1	9.981046	200	27.5	549	549.64	549.94	550.63	0.11693	4.42	6.22	11.79	1.94

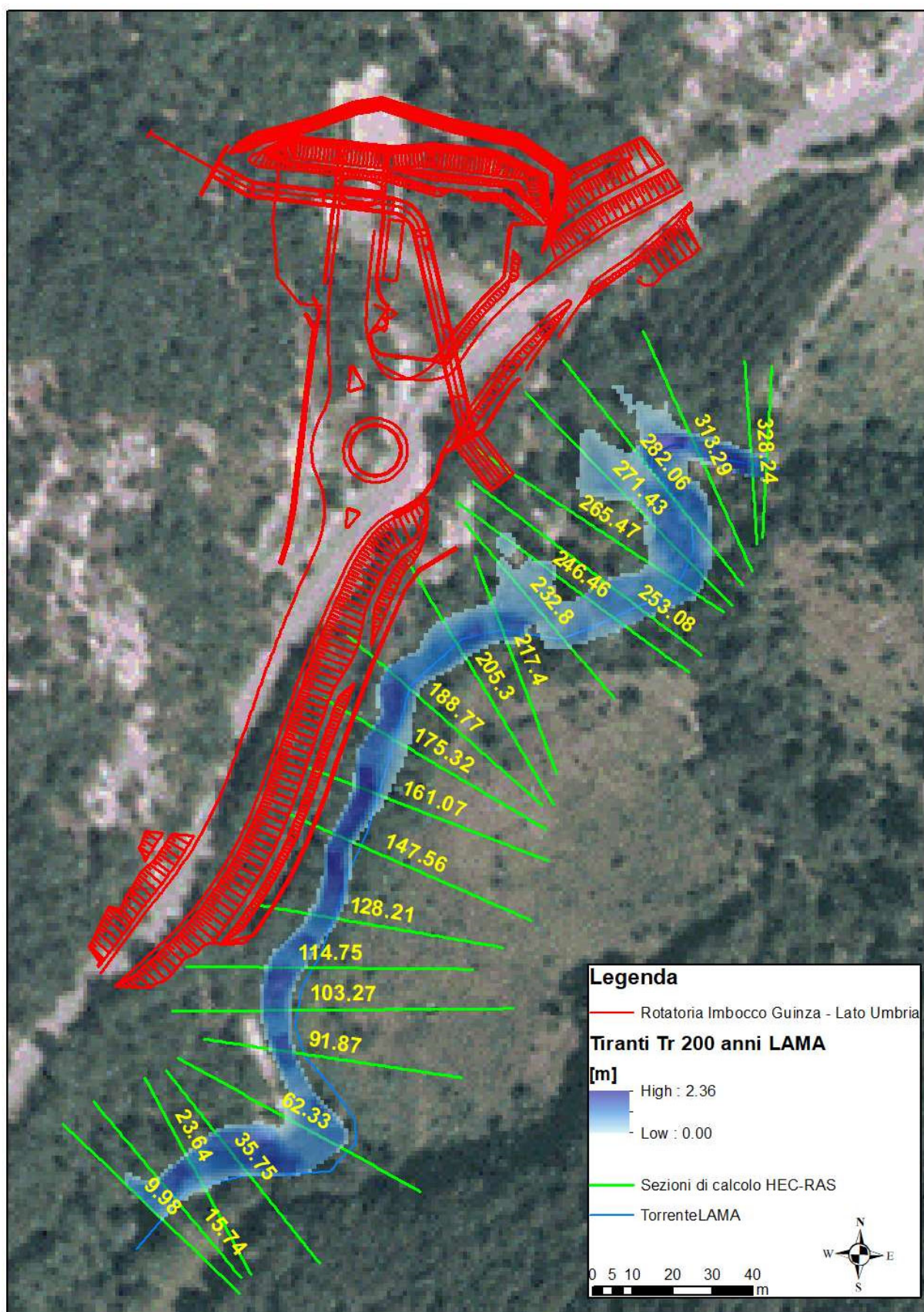


Figura 15 - Sezioni di Calcolo e risultati modello Hec 1d Torrente Lama TR 200 anni

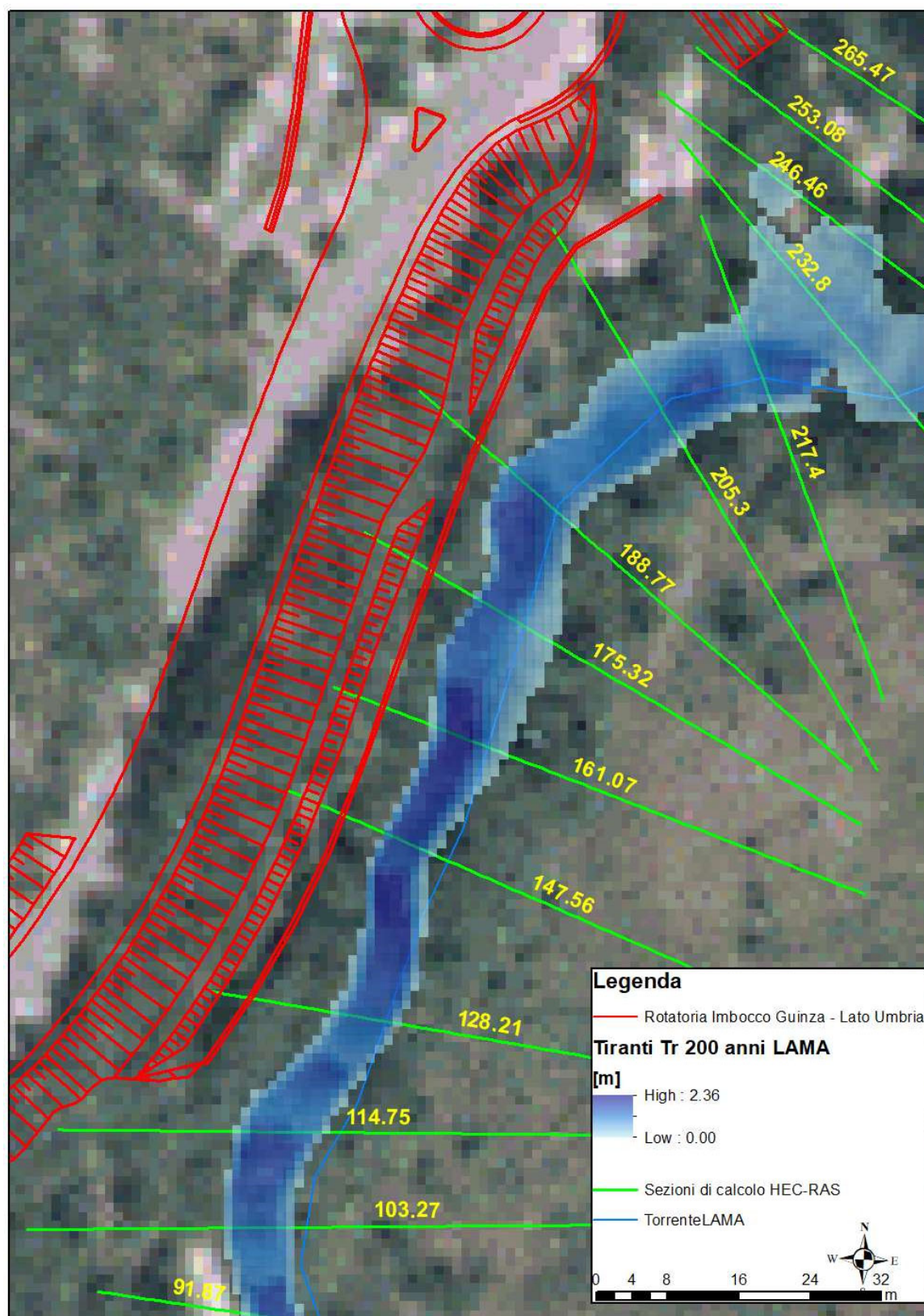


Figura 18 - dettaglio risultati del modello Hec Ras

Planimetricamente non vi è sovrapposizione tra le aree di propagazione della piena e le opere in progetto, tuttavia la distanza misurata planimetricamente risulta di pochi metri dal piede dei muri di sostegno segnato nelle immagini precedenti.

È stato dunque condotto un approfondimento a riguardo del “franco” o scarto altimetrico tra la quota del terreno corrispondente al muro di sostegno segnato in figura e la quota del pelo libero della piena bicentenaria.

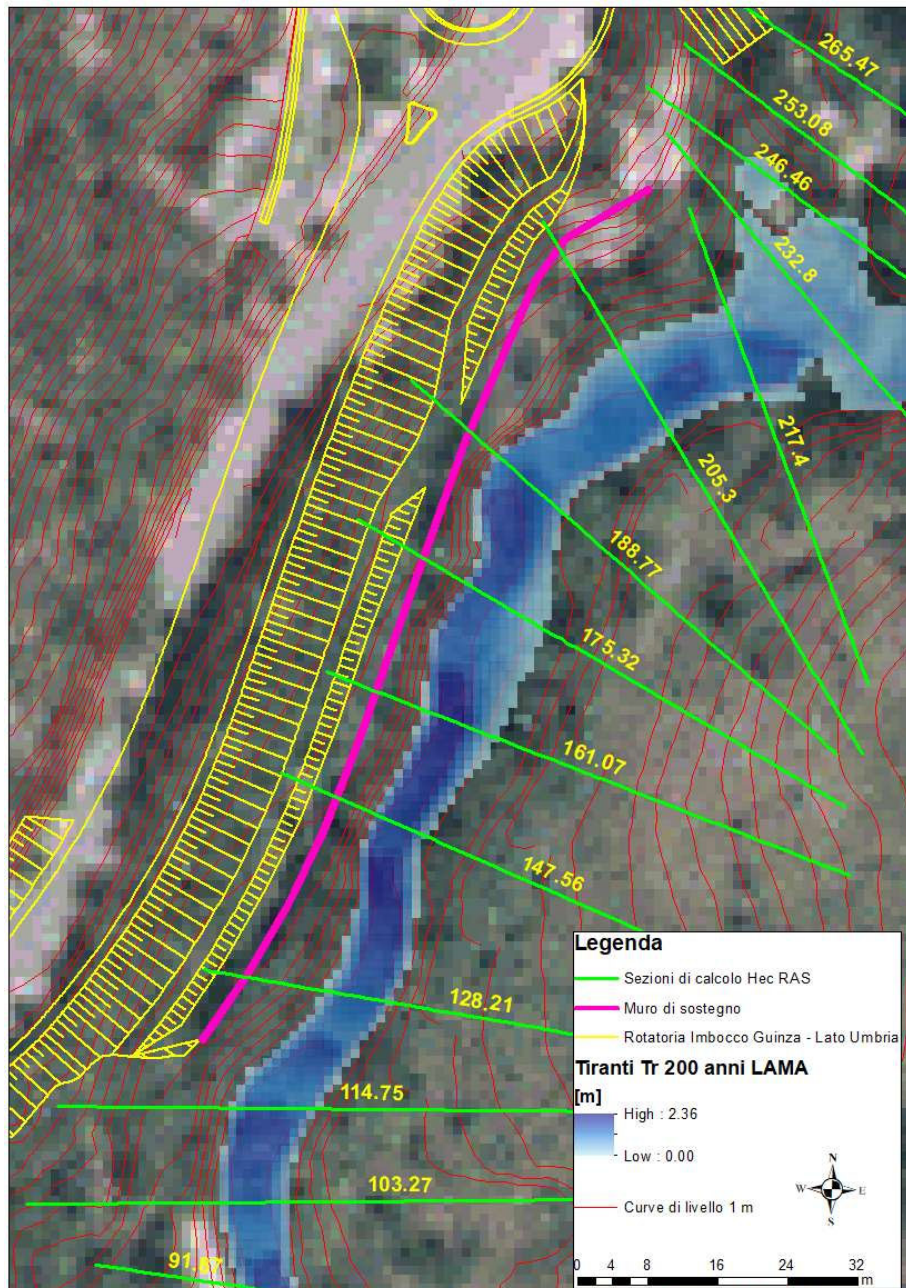


Figura 19 - Sezioni intersecanti il piede del muro di sostegno, e impronta Q200 del Torrente Lama

Tabella 3 - Scarti altimetrici tra quota del terreno di base dei muri di sostegno e pelo libero della piena bicentennaria del Torrente Lama nel tratto di interesse

Id SEZIONE	SCARTO ALTIMETRICO [m]
205.303	7.04
175.3209	4.43
161.06	4.31
147.56	4.26
128.2117	4.96

Per quanto risultante dalle valutazioni condotte ed esposte nei precedenti paragrafi le opere riguardanti l'intersezione lato Umbria risultano compatibili al PAI in quanto esterne alle aree di propagazione delle piene di TR 200 anni dei corsi d'acqua Fosso del Casale e Torrente Lama.

4.4. **Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente S. Antonio" e stima interferenza con opera in progetto rotatoria lato Marche**

Per quanto concerne le opere connesse alla realizzazione dell' intersezione a rotatoria al km 10, lato Marche, come anticipato è stato condotto uno studio idraulico dedicato del Torrente S. Antonio che si sviluppa in prossimità dell'area di intervento.

Si è pertanto costruito un modello idraulico con sezioni rappresentative del corso d'acqua esaminato, estratte da un modello digitale di elevazione del terreno appositamente ricostruito tramite TIN a partire da curve di livello e punti quotati CTR e rilievi GPS in situ.

Il tratto modellato, opportunamente esteso a monte e a valle dell'intervento per garantirne la rappresentatività idraulica, è stato caratterizzato da condizioni a contorno di moto uniforme dettate dalla naturale pendenza del terreno.

I valori di scabrezza delle sezioni di calcolo sono stati impostati con valore di Manning di $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$.

Non si evidenziano interferenze tra l'impronta della piena bicentenaria del Torrente S. Antonio e lo sviluppo delle opere nel tratto in esame.

Di seguito si rappresentano tabella di sintesi dei risultati e planimetria della geometria e risultati del modello in termini di aree allagabili per Tr200 anni rispetto alle opere in progetto per la rotatoria di raccordo con la viabilità esistente lato Marche. Per ogni ulteriore dettaglio delle risultanze del modello si faccia riferimento all'allegato in coda alla presente relazione.

Tabella 4 - Risultati numerici modellazione Hec-Ras Torrente S.ANTONIO

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
S.ANTONIO			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	1374.062	200	109	469.53	471.7	471.81	472.51	0.028025	3.98	27.36	20.53	1.1
1	1328.08	200	109	468.22	469.9	470.17	470.9	0.043761	4.43	24.58	22.18	1.34
1	1284.999	200	109	464.62	469.09	467.45	469.28	0.003593	1.89	57.62	26.94	0.41
1	1250.423	200	109	465.02	468.43	468.28	469	0.018204	3.34	32.61	22.52	0.89
1	1206.863	200	109	465	468.29	467.67	468.44	0.006202	1.75	62.19	52.4	0.51
1	1156.393	200	109	465.1	467.44	467.44	467.85	0.026232	2.83	38.47	46.62	1
1	1114.318	200	109	459.17	464.49	463.25	464.9	0.00702	2.81	38.74	13.65	0.53
1	1071.974	200	109	459.41	463.89	463.26	464.5	0.011829	3.44	31.66	12.94	0.7
1	1000.867	200	109	459.05	462.35	462.35	463.31	0.023411	4.34	25.09	13	1
1	957.925	200	109	458.86	460.68	461.01	461.91	0.046352	4.92	22.15	17.34	1.39
1	913.6931	200	109	456.2	460.22	459.57	460.47	0.007186	2.21	49.42	31.68	0.56
1	891.3821	200	109	456.91	460.02	459.54	460.29	0.009074	2.3	47.32	34.26	0.63
1	825.0514	200	109	456.12	458.96	458.96	459.3	0.028025	2.58	42.27	61.69	0.99
1	756.3113	200	109	454.25	457.03	456.85	457.72	0.017073	3.68	29.61	16.37	0.87
1	737.9132	200	109	453.97	456.72	456.61	457.38	0.019086	3.6	30.26	19.36	0.92
1	662.166	200	109	453.46	456.16	455.58	456.44	0.007163	2.17	47.2	29.15	0.57
1	602.2679	200	109	453.1	455.07	455.07	455.69	0.023021	3.49	31.22	24.9	1
1	566.9946	200	109	449.78	454.38	452.4	454.52	0.002437	1.64	66.31	28.79	0.35
1	534.6506	200	109	450.11	453.69	453.34	454.31	0.015668	3.49	31.24	17.28	0.83
1	501.5135	200	109	449.58	453.55	452.85	453.75	0.011069	1.97	55.32	59.19	0.65
1	458.5211	200	109	448.82	453.19	452.65	453.34	0.007657	1.72	63.45	63.18	0.55
1	430.4578	200	109	449.63	452.67	452.67	452.94	0.030955	2.31	47.18	87.7	1.01
1	391.2014	200	109	449.49	451.94	451.18	451.98	0.001697	0.9	121.57	105.26	0.27
1	296.0451	200	109	448.55	450.88	450.88	451.52	0.023203	3.54	30.77	23.92	1
1	274.5605	200	109	448.26	449.74	450.04	450.78	0.050292	4.51	24.15	23.62	1.42
1	212.1325	200	109	444.43	447.57	447.57	448.69	0.025653	4.69	23.25	10.32	1
1	162.8308	200	109	441.97	447.51	445.31	447.7	0.002502	1.95	55.87	16.58	0.34
1	102.965	200	109	442.86	446.58	446.58	447.31	0.02441	3.79	28.78	19.75	1
1	41.08514	200	109	442.04	445.35	444.98	445.88	0.013004	3.21	33.92	19	0.77

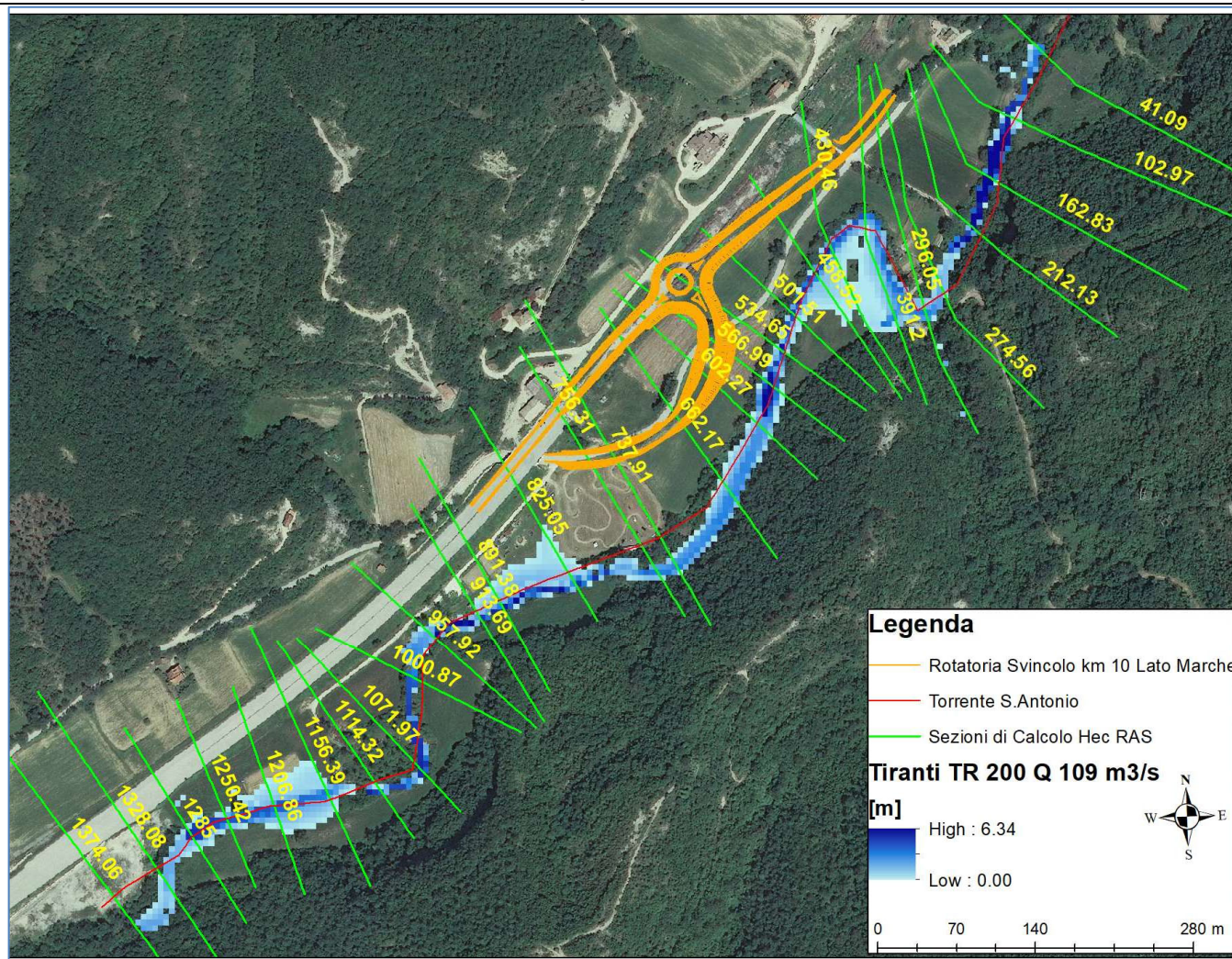


Figura 20 - Geometria e risultati del modello idraulico 1d Hec RAS del Torrente S. Antonio

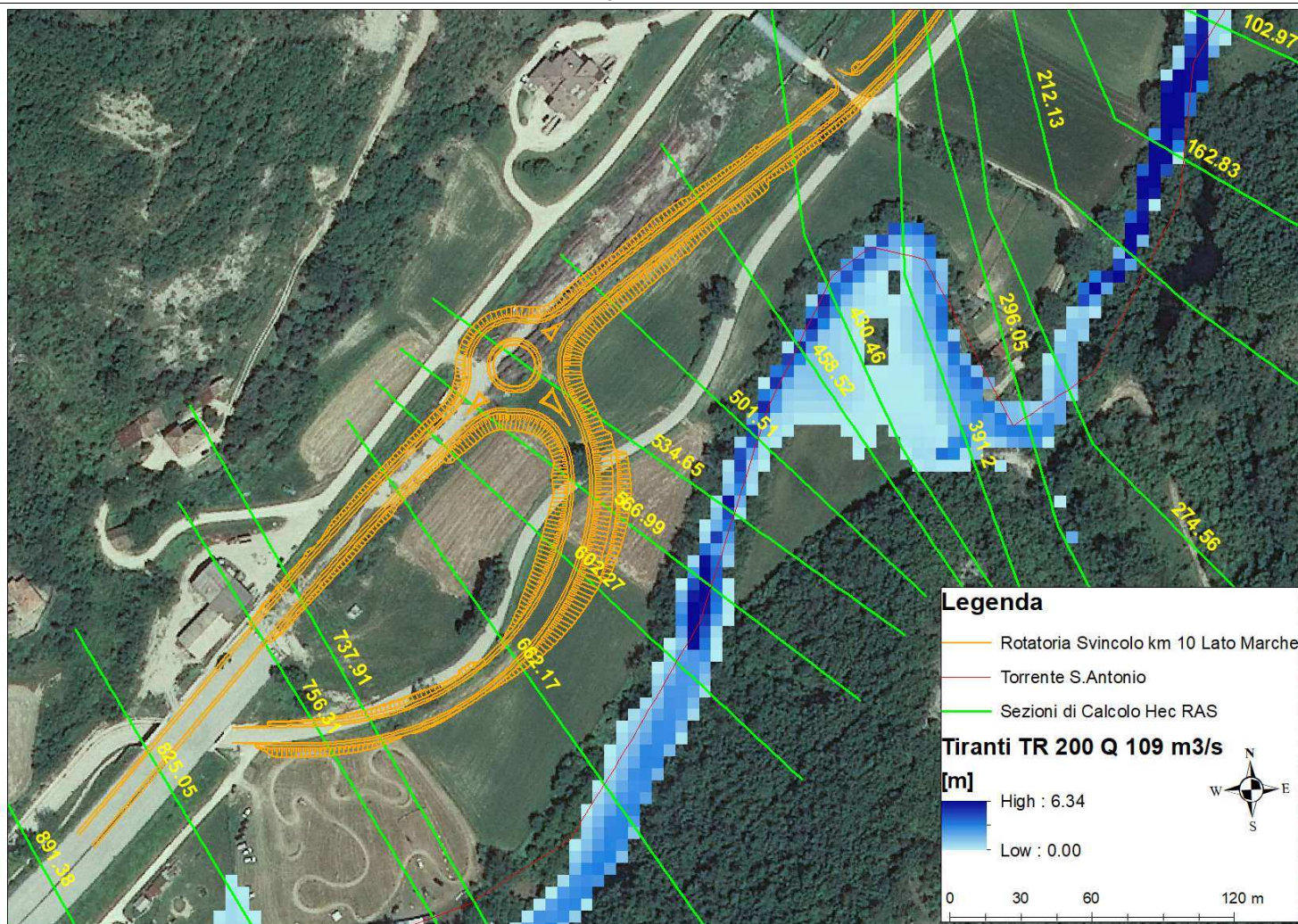


Figura 21 - Dettaglio planimetria area di intervento intersezione lato Marche

5. CONCLUSIONI

Le dettagliate modellazioni idrauliche implementate, a riguardo dei corsi d'acqua ipotizzati come interferenti rispetto alle opere in progetto di nuova realizzazione hanno evidenziato i seguenti aspetti:

- Il Torrente Lama e il Torrente S. Antonio non interferiscono con le aree di interesse per la realizzazione delle intersezioni rispettivamente lato Umbria e lato Marche con riferimento alle relative piene con tempo di ritorno di riferimento di 200 anni;
- Il corso d'acqua Fosso del Casale, allo stato attuale, interferisce con i suoi deflussi con l'area dell'intersezione in progetto all'imbocco della galleria Guinza;
- Le opere di sistemazione idraulica del corso d'acqua Fosso del Casale, briglia e inalveazione a monte del tombino, e attraversamento stradale costituito da un tombino di sezione 3x2m e restituzione a cielo aperto con canale a sezione trapezia in massi cementati, così come descritte nel relativo paragrafo, consentono di risolvere l'interferenza idraulica rispetto ad eventi con tempo di ritorno di 200 anni garantendo idonei franchi di sicurezza.

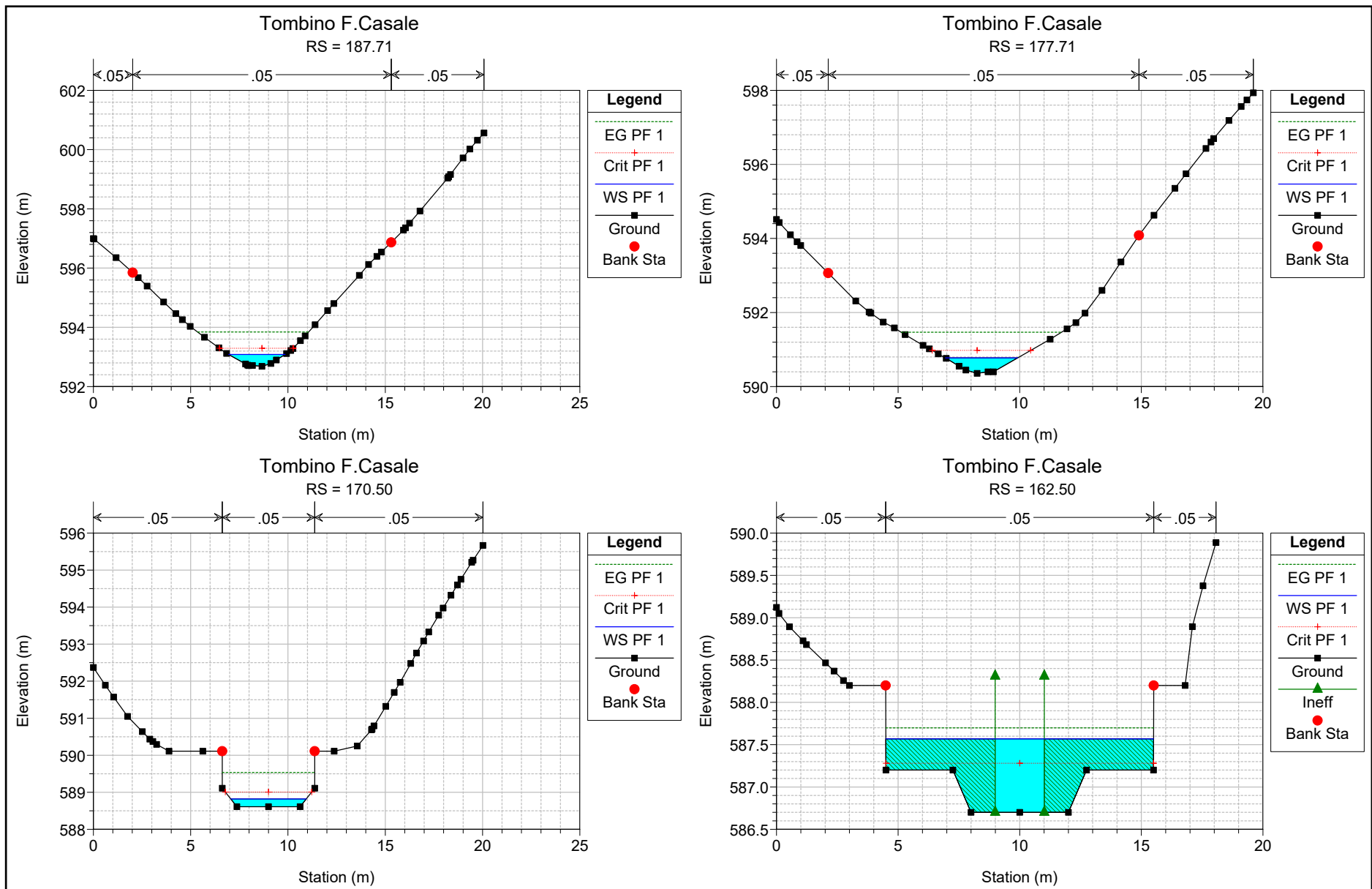
Per quanto detto, le opere in progetto per quanto riguarda la realizzazione delle due intersezioni con la viabilità esistente lato Umbria e lato Marche, risultano compatibili con le NTA del PAI dell'Ex AdB Tevere.

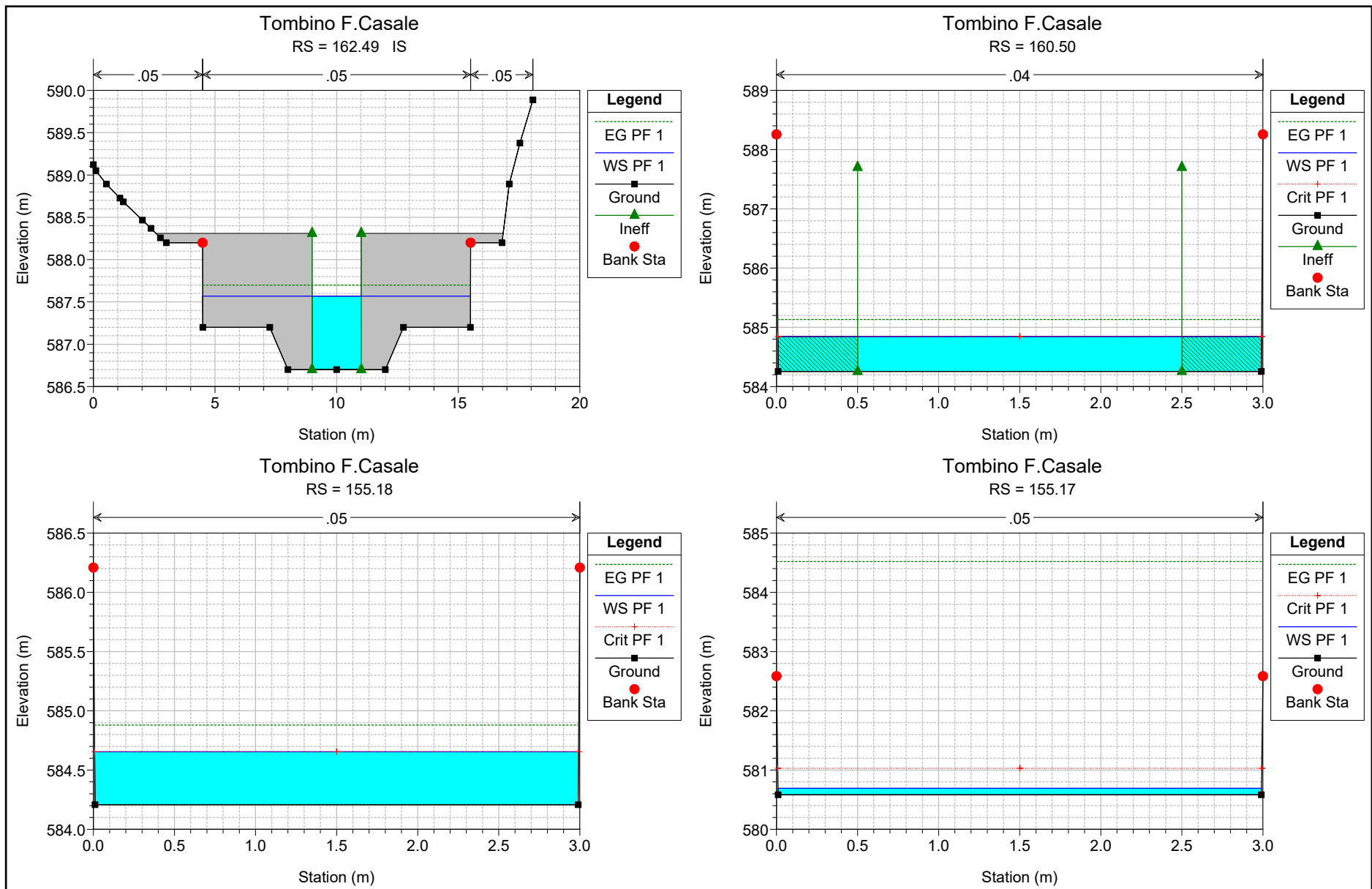
ALLEGATO alla RELAZIONE IDRAULICA N.1:

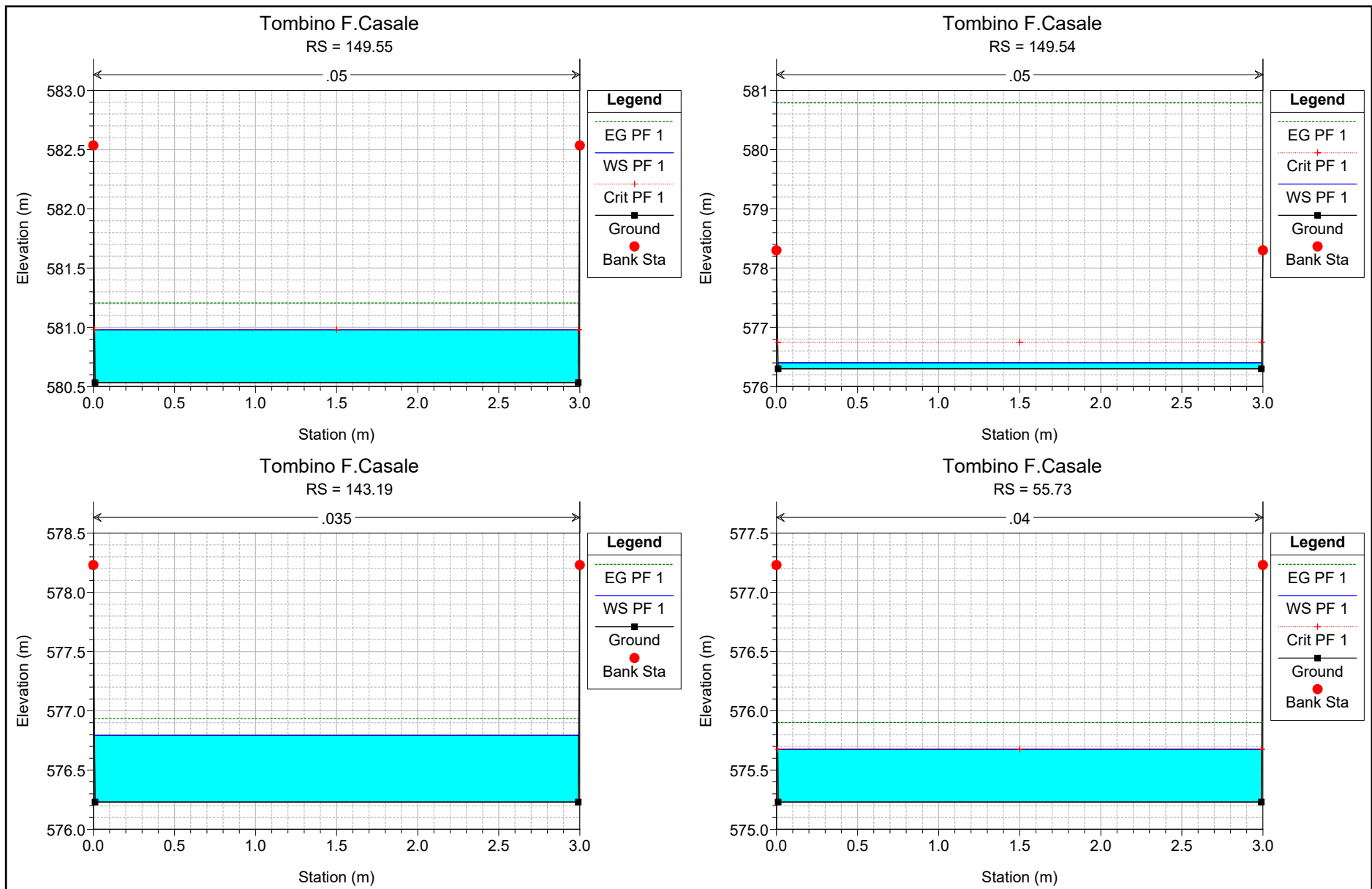
MODELLAZIONE HEC RAS 1D MOTO PERMANENTE

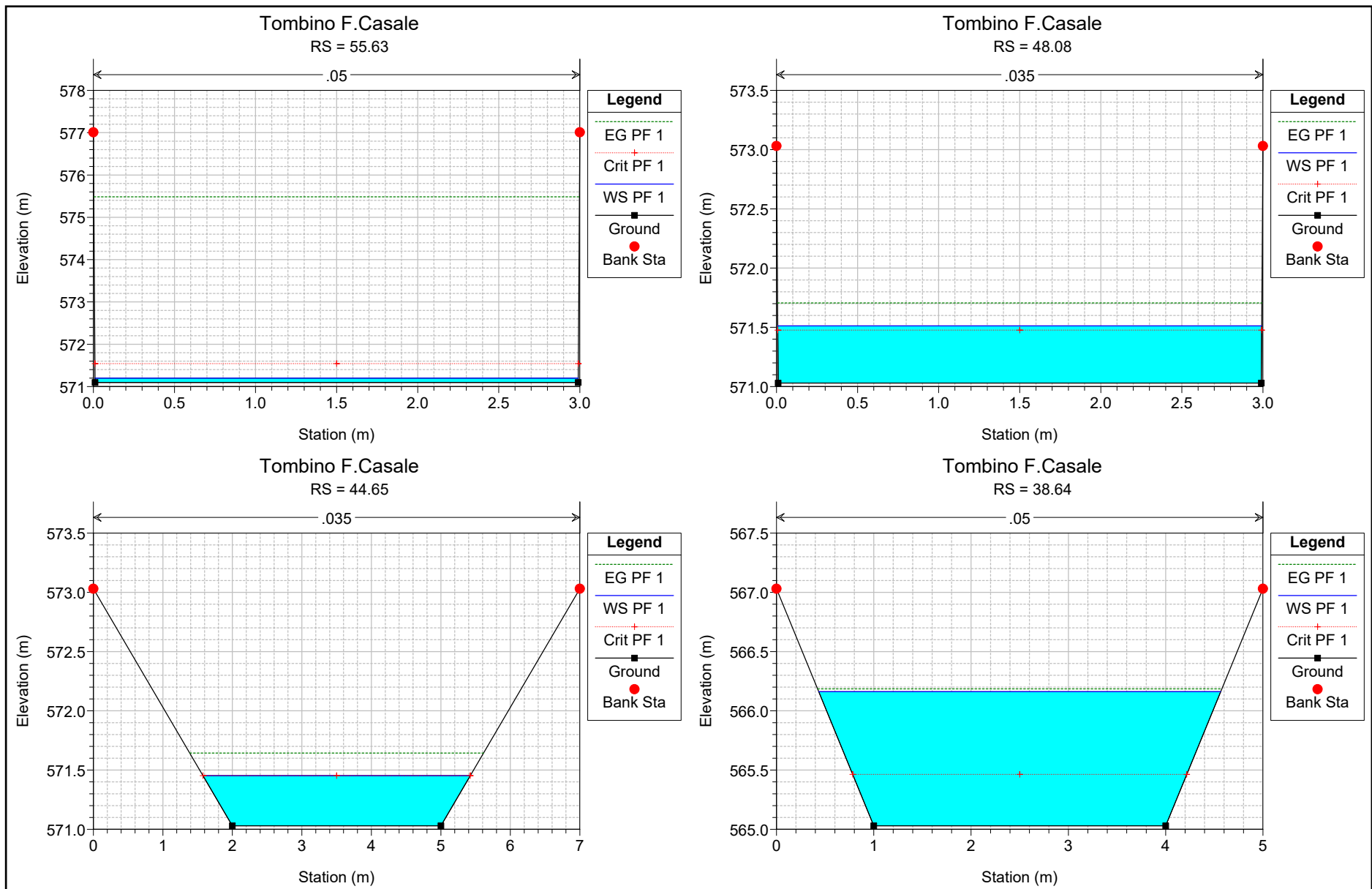
**Progetto e verifica dell' attraversamento idraulico della rotatoria lato
Umbria e risoluzione interferenza con il corso d'acqua**

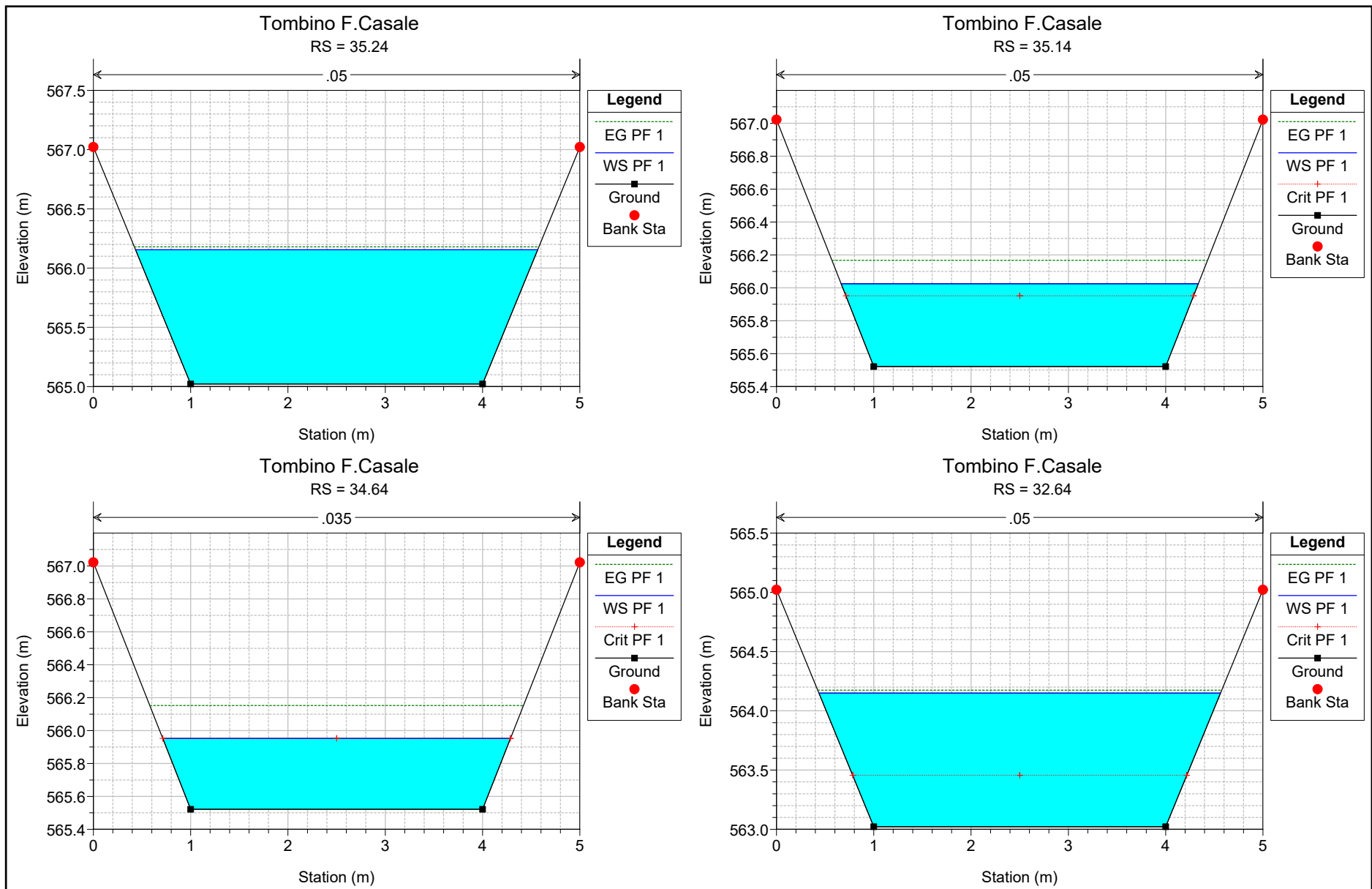
“FOSSO DEL CASALE”

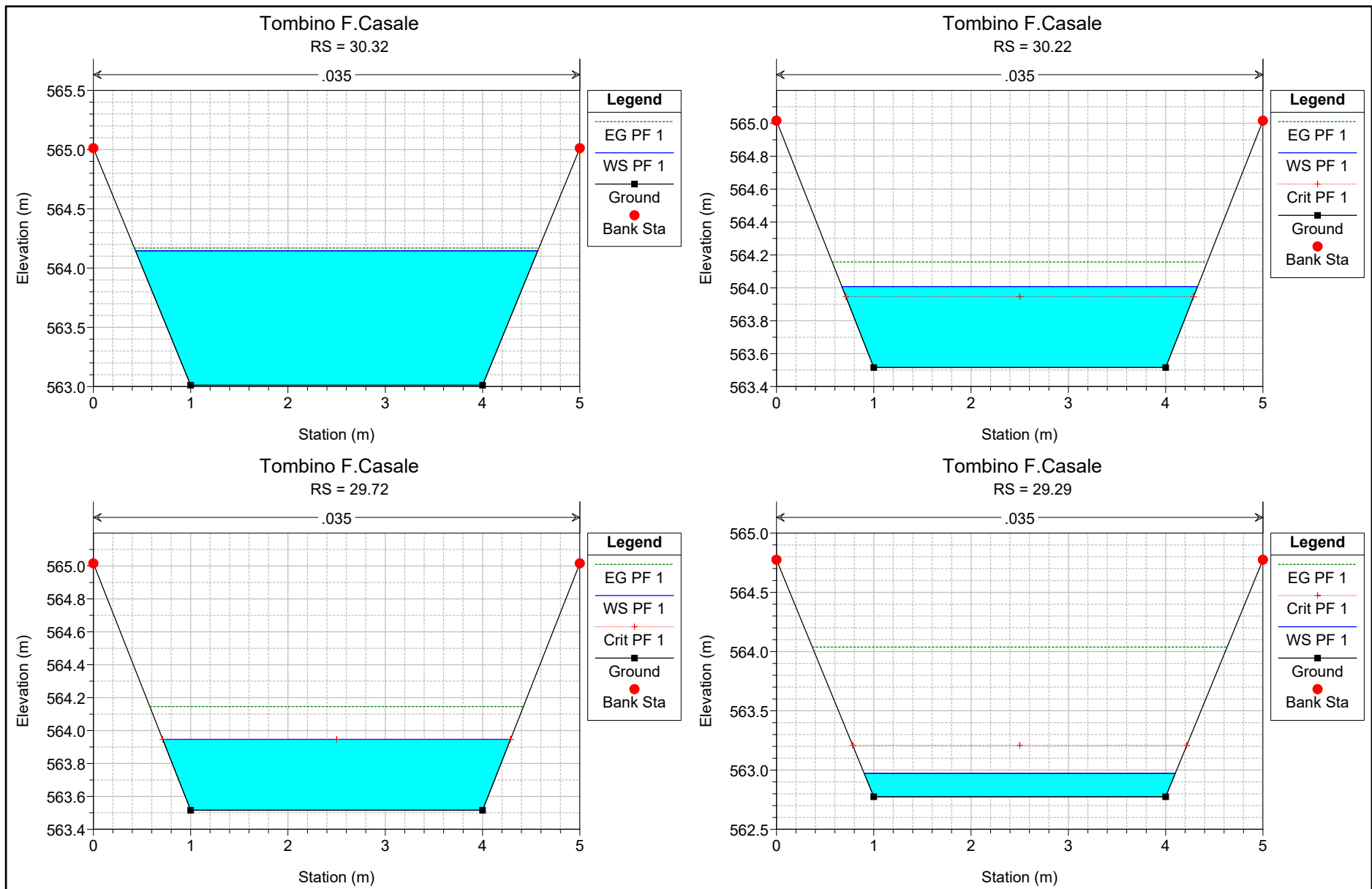


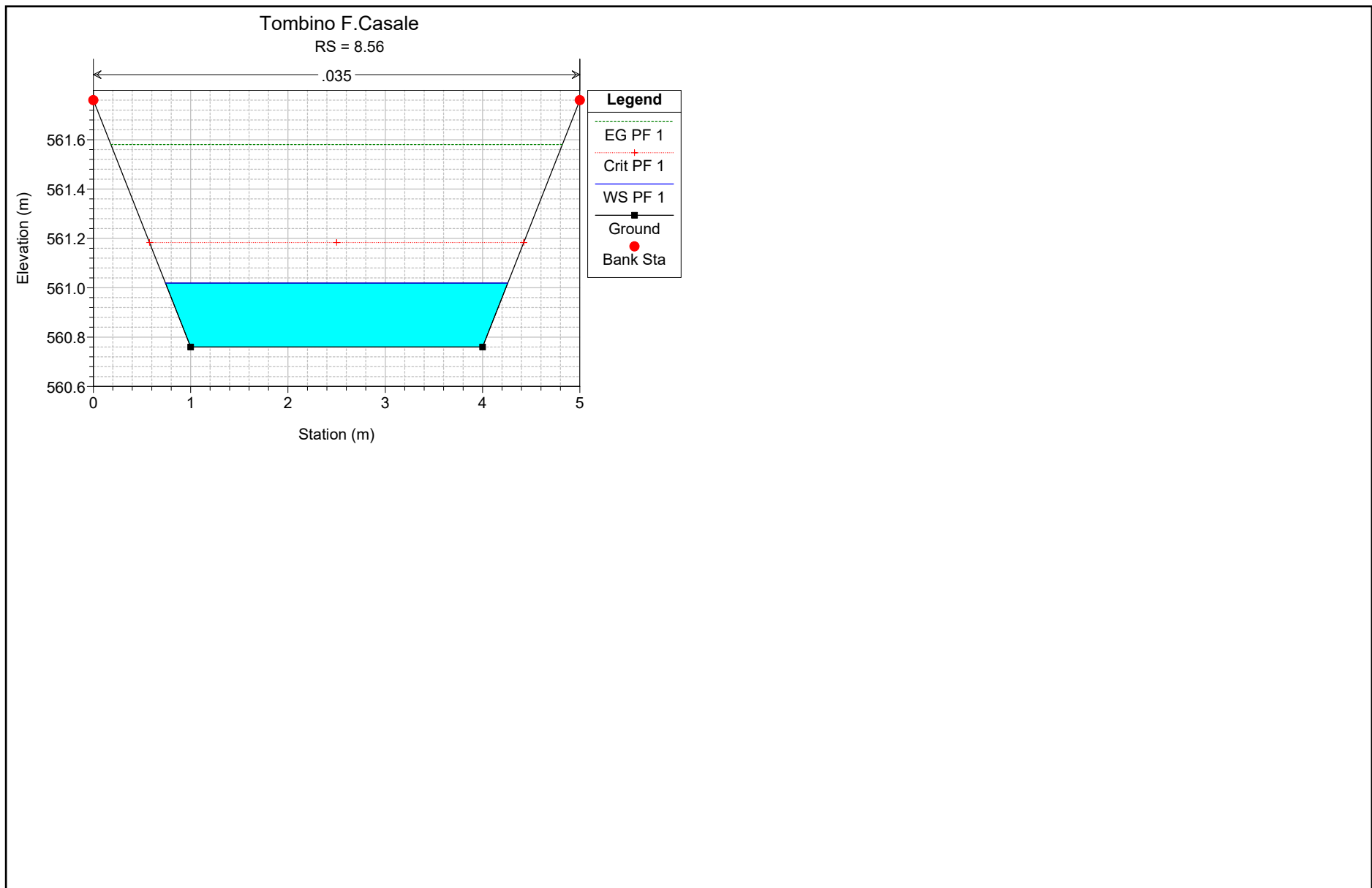










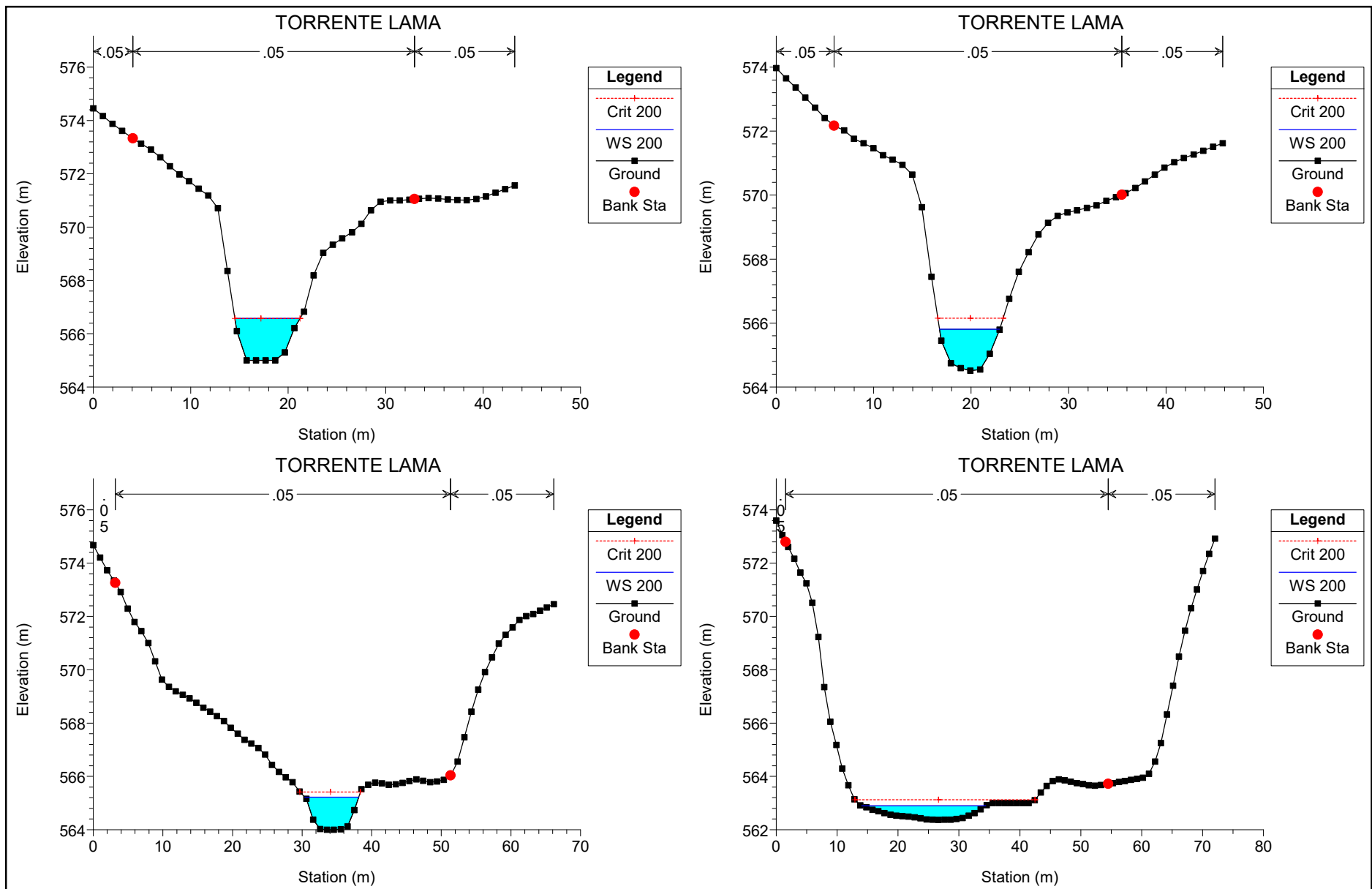


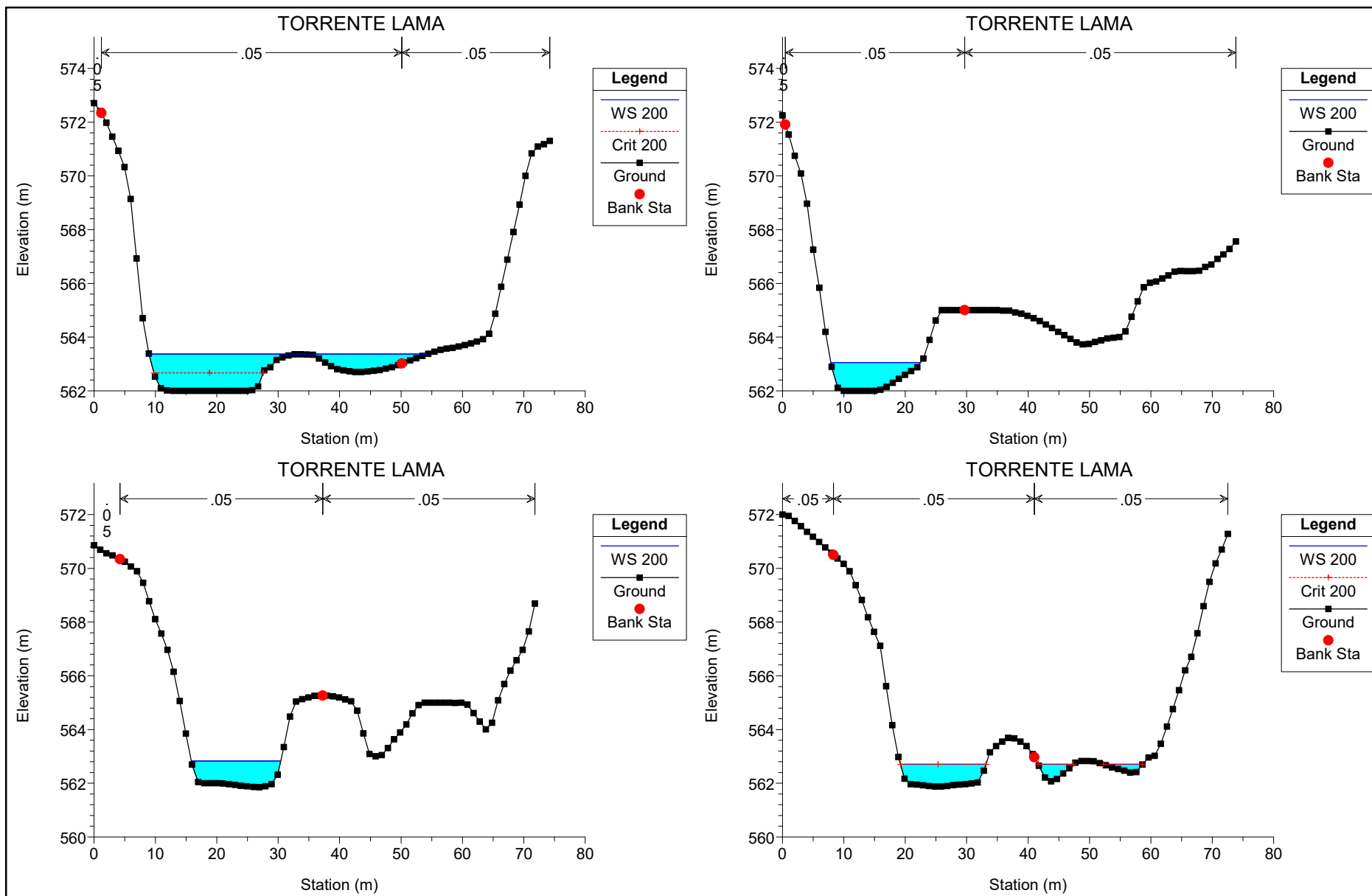
ALLEGATO alla RELAZIONE IDRAULICA N.2:

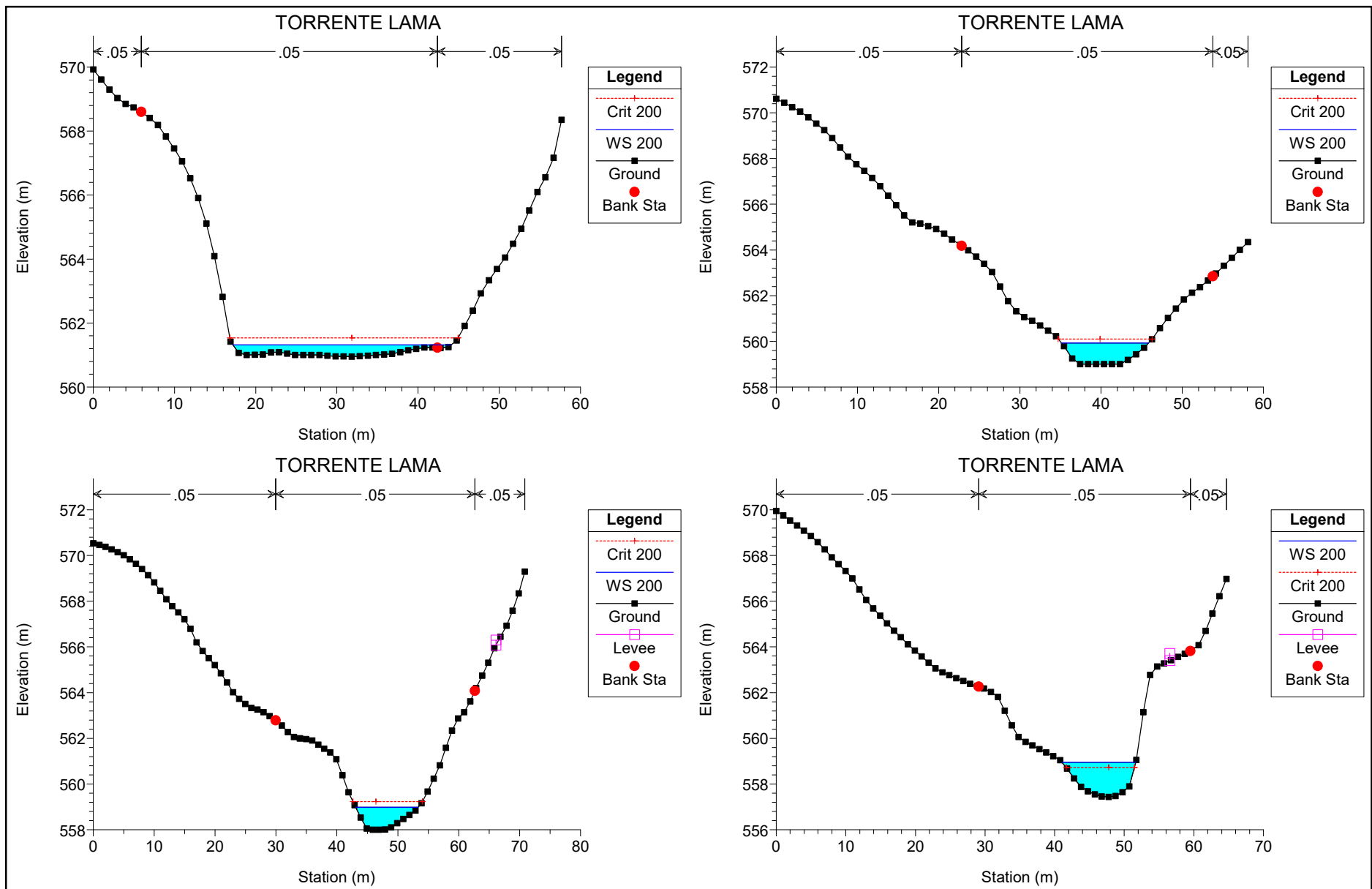
MODELLAZIONE HEC RAS 1D MOTO PERMANENTE

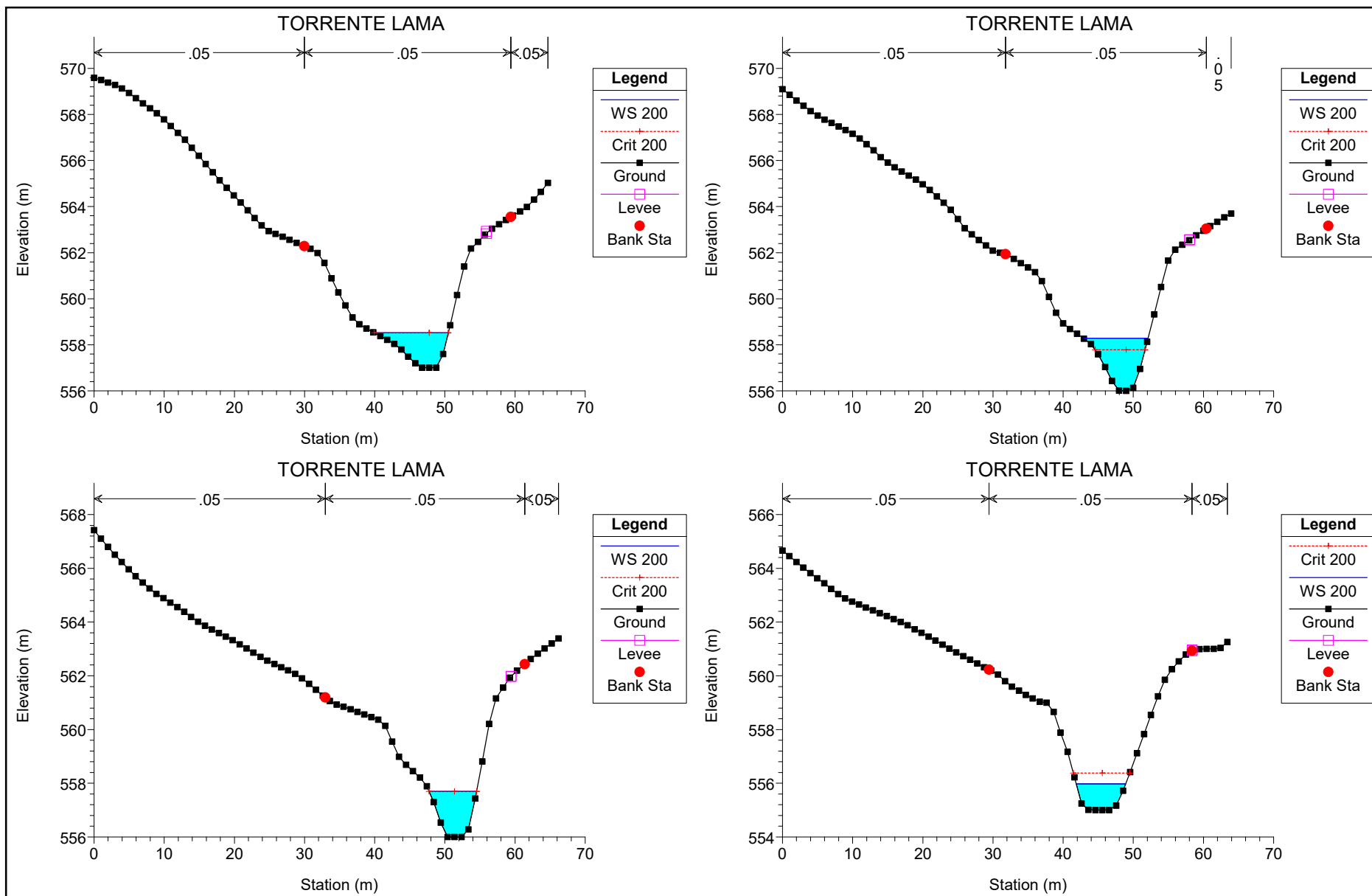
**Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente Lama" e stima
interferenza con opera in progetto rotatoria lato Umbria**

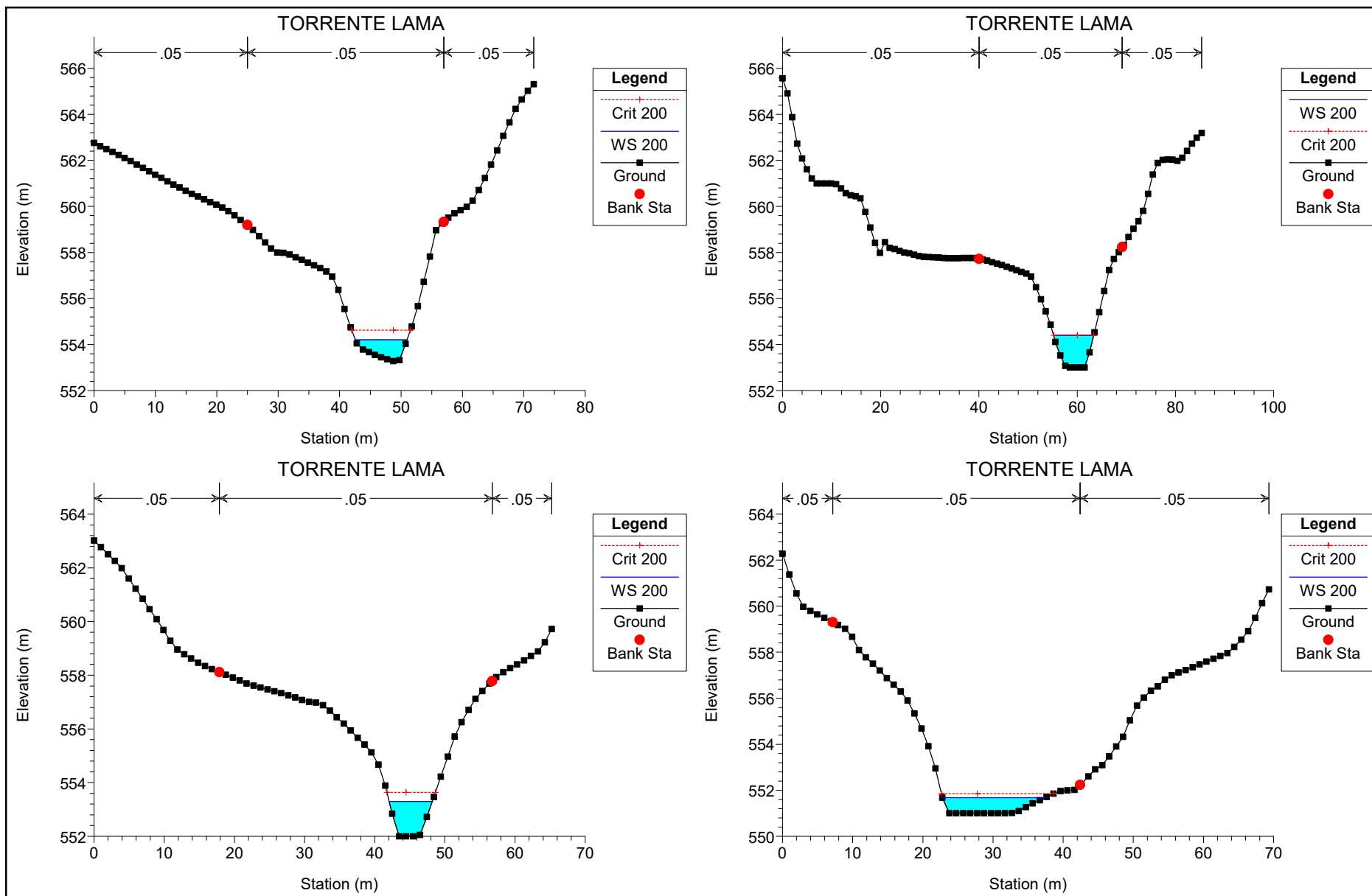
"TORRENTE LAMA"

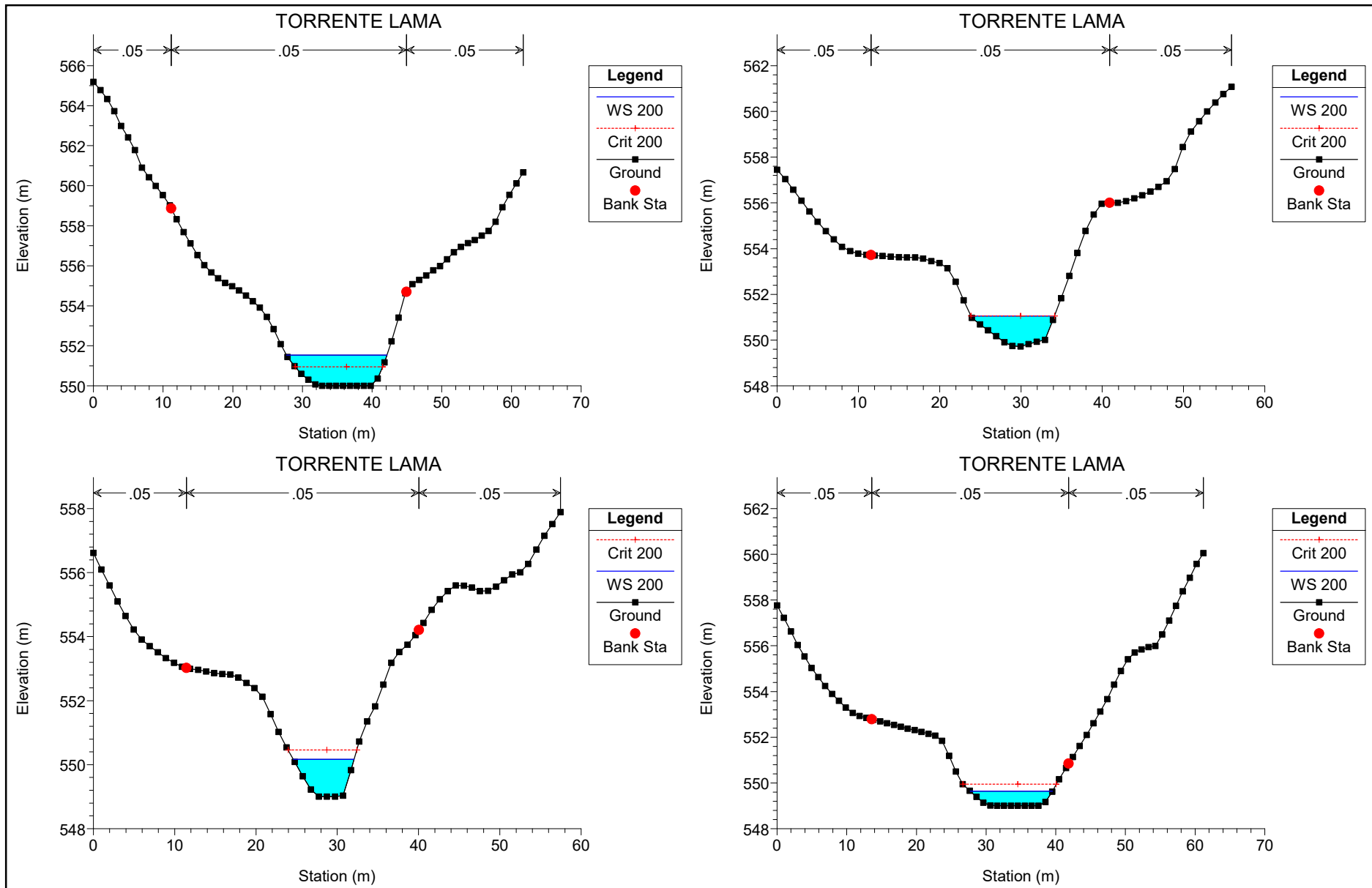












ALLEGATO alla RELAZIONE IDRAULICA N.3:

MODELLAZIONE HEC RAS 1D MOTO PERMANENTE

**Studio idraulico relativo al corso d'acqua "Torrente S. Antonio" e stima
interferenza con opera in progetto rotatoria lato Marche**

"TORRENTE S. ANTONIO"

