

RIQUALIFICAZIONE URBANA DELL'AREA EX DAINELLI,  
SITUATA IN COMUNE DI VAIANO TRA VIALE F.lli ROSSELLI,  
VIA ARTE DELLA LANA E VIA GIORDANO BRUNO  
CUP OPERA: I42J25000000006 - CIG: B72FBC9F4B

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

Titolo elaborato:  
PFTE\_GE\_RS\_04 Relazione Idrologico-Idraulica

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:  
Geom. Mascia Orlando

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

Progettazione architettonica:

Arch. Matteo Pierattini  
Arch. Lorenzo Parrini  
Arch. Francesco Monacci

Progettazione strutturale:

Ing. Braian letto

Progettazione idraulica:

Iridra srl

Progettazione impianto elettrico e videosorveglianza:

Antares consulting srl

Cordinamneto della sicurezza in fase di progettazione:

Ing. Lucia Giaconi



COMUNE DI VAIANO  
Piazza del Comune 4  
59021 Vaiano (PO)  
Tel. 0574 94241

15/11/2025

**INDICE**

|                                                                                  |                                                       |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>                                                                         | <b>PREMESSA .....</b>                                 | <b>3</b>  |
| <b>2</b>                                                                         | <b>AREA DI STUDIO .....</b>                           | <b>3</b>  |
| 2.1                                                                              | AREA DI INTERESSE .....                               | 3         |
| <b>3</b>                                                                         | <b>ACQUISIZIONE DATI TOPOGRAFICI.....</b>             | <b>9</b>  |
| <b>4</b>                                                                         | <b>ANALISI IDROLOGICA.....</b>                        | <b>10</b> |
| 4.1                                                                              | LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA ..... | 10        |
| 4.2                                                                              | ANALISI IDROLOGICA DEL BACINO .....                   | 11        |
| 4.3                                                                              | PORTATE DI PIENA .....                                | 12        |
| <b>5</b>                                                                         | <b>ANALISI IDRAULICA .....</b>                        | <b>13</b> |
| 5.1                                                                              | VERIFICA DELLE SEZIONI CULVERT .....                  | 13        |
| 5.2                                                                              | MODELLO HEC-RAS .....                                 | 15        |
| <b>6</b>                                                                         | <b>ANALISI DEL MODELLO IDRAULICO .....</b>            | <b>16</b> |
| 6.1                                                                              | ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DI 2 ANNI .....          | 17        |
| 6.2                                                                              | ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DI 30 ANNI .....         | 2         |
| 6.3                                                                              | ANALISI DEL TEMPO DI RITORNO DI 200 ANNI .....        | 2         |
| <b>7</b>                                                                         | <b>CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI .....</b>            | <b>2</b>  |
| <b>8</b>                                                                         | <b>RIFERIMENTI .....</b>                              | <b>2</b>  |
| <b>APPENDICE N°1 – DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE.....</b> |                                                       | <b>3</b>  |
| EQUAZIONI PER IL CALCOLO DEL PROFILO IDRAULICO .....                             |                                                       | 4         |
| CALCOLO DELLA PROFONDITÀ DI STATO CRITICO .....                                  |                                                       | 5         |
| CALCOLI IDRAULICI PER SEZIONI CON SINGOLARITÀ.....                               |                                                       | 5         |
| <b>APPENDICE N°2 – OUTPUT MODELLO IDRAULICO .....</b>                            |                                                       | <b>7</b>  |
| TEMPO DI RITORNO 2 ANNI .....                                                    |                                                       | 7         |
| TEMPO DI RITORNO 30 ANNI.....                                                    |                                                       | 12        |
| TEMPO DI RITORNO 200 ANNI.....                                                   |                                                       | 17        |

## 1 PREMESSA

La presente relazione idrologica e idraulica riguarda il fosso Trescelle (o Trescellere) nel tratto di interesse per la riqualificazione urbana dell'area ex Dainelli, situata nel Comune di Vaiano. L'obiettivo dello studio è verificare che la nuova sezione di progetto del fosso Trescelle, all'interno dell'area ex Dainelli, sia in grado di smaltire le portate provenienti dal tratto intubato a monte senza generare allagamenti nella nuova Piazza "Arte della Lana". L'intervento prevede il deambamento del fosso lungo la nuova piazza, con la realizzazione di una sezione allargata, e l'ampliamento dell'attuale imbocco temporaneo sotto la strada di Via Fratelli Rosselli.

Per la costruzione del modello idraulico sono stati presi in considerazione i seguenti aspetti:

- La ricostruzione modellistica del fosso intubato a monte dell'area ex Dainelli non è stata eseguita per l'intero sviluppo, ma si limita al tratto compreso tra Via Giulio Braga e l'area di progetto. Tale scelta è motivata dall'impossibilità di ricostruire in modo accurato l'intero corso d'acqua, a causa della complessità del sistema esistente (presenza di più condotte, camere di ispezione, salti, ecc.) e dei limiti dei rilievi e delle informazioni disponibili.
- La verifica idraulica della sezione di progetto del fosso Trescelle all'interno dell'area ex Dainelli è stata condotta considerando le nuove indicazioni strutturali relative al tratto che attraversa la strada e la sede della misericordia. In particolare, per l'attraversamento stradale il modello è stato aggiornato con l'inserimento di un manufatto prefabbricato scatolare di altezza pari a 1.5 m (luce utile 1.2 m) e larghezza pari a 4.5 m. Nel tratto sottostante la Misericordia è stata invece prevista una riduzione della luce libera di 30 cm per consentire il rinforzo del solaio esistente (proposta progettuale non compresa nell'attuale progetto), mantenendo inalterata la sagoma dell'alveo.
- Infine, a valle della Misericordia, il fosso è stato modellato come un canale a cielo aperto che prosegue in un tratto intubato (culvert in calcestruzzo del diametro di 1.5 m) fino allo scolmatore situato nei pressi di Via Vincenzo Nuti, in corrispondenza del cancello di uscita delle ambulanze della Misericordia. Per questo tratto non sono state previste nel modello modifiche, come l'ampliamento della sezione.

Si ricorda, inoltre, che i risultati esposti nel presente studio sono vincolati alla sussistenza delle attuali condizioni e assetti del reticolo idrografico idraulicamente rilevante: eventuali future modifiche di tali assetti, ovvero la modifica del quadro conoscitivo indotto da futuri eventi meteorologici estremi, imporranno adeguate revisioni dei risultati qui ottenuti ed esposti. Allo stesso modo, in relazione anche alla futura evoluzione del processo di espansione edilizia, a variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo o delle reti idrauliche naturali o artificiali interferenti con le aree investigate, le analisi qui svolte dovranno essere aggiornate.

## 2 AREA di STUDIO

### 2.1 Area di interesse

Il fosso Trescelle (o Trescellere) è un piccolo corso d'acqua situato nel territorio del comune di Vaiano ed è un affluente in destra idrografica del fiume Bisenzio. Il suo bacino si sviluppa dalla località Schignano per poi scendere verso il centro abitato di Vaiano dove, a monte della strada comunale Via nuova per Schignano, è intombato fino all'area ex Dainelli. Il fosso attraversa l'area ex Dainelli, scorre sotto Via Fratelli Rosselli e la sede della misericordia e poi sfocia nel Bisenzio attraversando uno scolmatore. Il fosso attraversava l'area ex Dainelli all'interno di una tubazione in calcestruzzo del diametro di 1.5 m; tuttavia, un intenso evento piovoso ha provocato la rottura della condotta, e attualmente il deflusso avviene sulla parte residua della tubazione. Lo stesso evento ha causato anche il crollo di una porzione della strada di Via Fratelli Rosselli. La posizione, la forma e le caratteristiche del bacino sono riportate in Figura 2.1.

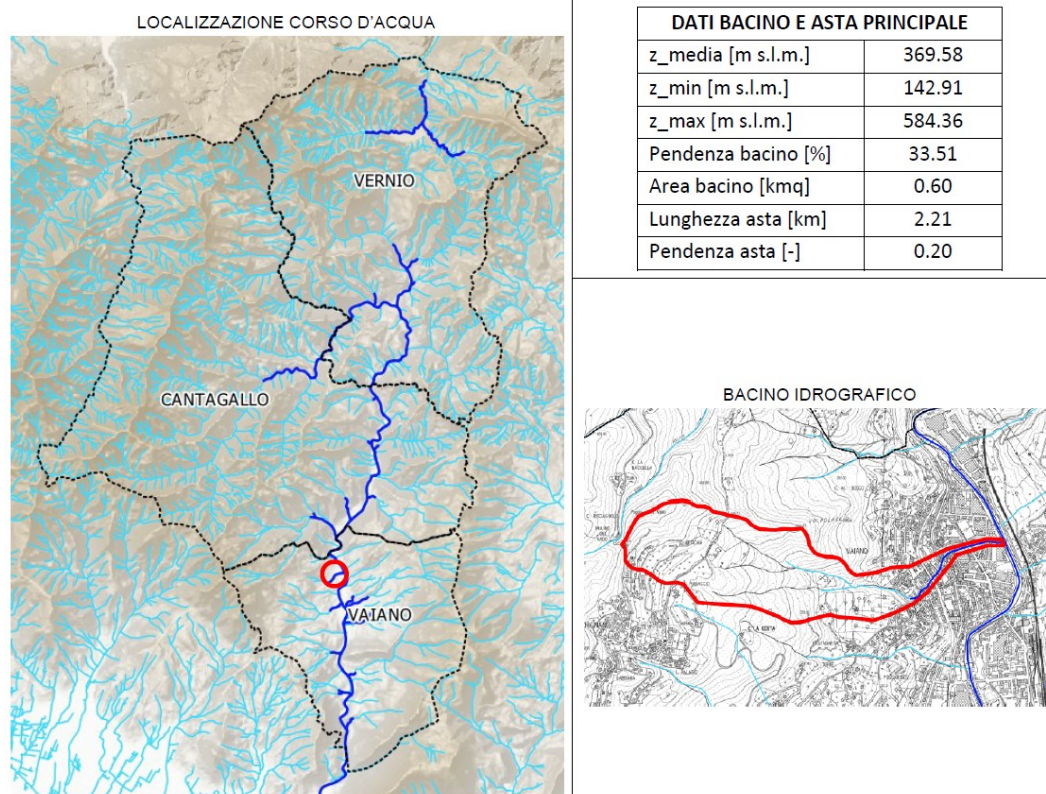


Figura 2.1. Posizione, confini e caratteristiche del bacino del fosso Trescelle (Allegato 5 della Relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria).

La presente relazione idrologica e idraulica analizza il tratto del fosso Trescelle compreso tra Via Giulio Braga e lo scolmatore situato nei pressi di Via Vincenzo Nuti, in corrispondenza del cancello di uscita delle ambulanze della Misericordia. Il tratto oggetto di studio è riportato in Figura 2.2, dove è identificato come "tratto modellato". L'analisi e la modellazione si sono concentrate esclusivamente su questo segmento, in quanto rappresenta l'area di maggiore interesse ai fini della riqualificazione urbana dell'ex area Dainelli. Inoltre, i rilievi topografici disponibili risultano più dettagliati in questa zona, consentendo così una ricostruzione più accurata e affidabile del modello idraulico.

Nel dettaglio, procedendo da monte verso valle, il tratto analizzato può essere suddiviso nelle seguenti sezioni (Figura 2.3):

- **Culvert CLS.** Da Via Giulio Braga fino all'area ex Dainelli è presente una condotta in calcestruzzo del diametro di 1.5 m. Le quote del fondo, stimate dai rilievi disponibili, variano da 156.65 m in prossimità di Via Giulio Braga a 149.35 m all'ingresso dell'area ex Dainelli (Figura 2.4).
- **Canale ex Dainelli.** All'interno dell'area ex Dainelli, la condotta in calcestruzzo risulta danneggiata a causa di un evento di pioggia intenso che ha mandato la tubazione in pressione; attualmente il deflusso avviene sulla parte residua della tubazione che convoglia le acque sotto Via Fratelli Rosselli. Le quote di fondo, rilevate da diverse campagne topografiche, passano da 149.35 m allo sbocco della tubazione in calcestruzzo a 148.62 m immediatamente prima dell'attraversamento di Via Fratelli Rosselli (Figura 2.5).
- **Strada Via Fratelli Rosselli.** Il fosso attraversa Via Fratelli Rosselli mediante un passaggio stretto con sezione rettangolare di altezza pari a 1.10 m e larghezza di 1.60 m (Figura 2.6).
- **Edificio Misericordia.** Dopo l'attraversamento stradale, il fosso scorre sotto la sede della Misericordia all'interno di una sezione a "U" sormontata dall'edificio. La quota di fondo, in uscita dal passaggio sotto la struttura, è pari a 147.89 m (Figura 2.7).
- **Canale e Culvert CLS.** Il tratto compreso tra l'uscita dalla Misericordia e lo scolmatore situato nei pressi di Via Vincenzo Nuti è costituito inizialmente da un canale a cielo aperto, seguito da una sezione mista (parte a cielo

aperto e parte in condotta in calcestruzzo del diametro di 1.5 m). La quota di fondo, in corrispondenza dello scolmatore, risulta pari a 146.23 m (Figura 2.8).



Figura 2.2. Tratto del fosso Trescelle studiato nella seguente relazione.



Figura 2.3. Denominazione dei tratti del fosso Trescelle modellati.



*Figura 2.4. Sbocco del fosso tombato nell'area ex Dainelli, sopralluoghi tra settembre e ottobre 2025*



*Figura 2.5. Parte residua della tubazione lungo l'area ex Dainelli, sopralluoghi tra settembre e ottobre 2025*



*Figura 2.6. Passaggio sotto strada di Via Fratelli Rosselli, sopralluoghi tra settembre e ottobre 2025*



*Figura 2.7. Passaggio sotto l'edificio della misericordia, sopralluoghi tra settembre e ottobre 2025*



*Figura 2.8. Tratto compreso tra l'uscita dalla Misericordia e lo scolmatore situato nei pressi di Via Vincenzo Nuti, sopralluoghi tra settembre e ottobre 2025*

### 3 ACQUISIZIONE DATI TOPOGRAFICI

La geometria del fosso Trescelle per il tratto indagato è stata ricostruita sulla base di diversi rilievi ed elaborati:

- Rilievo “EX DAINELLI VAIANO (PO)” effettuato da SPAZIOTTANTARE (Ing. Ir. Francesco Vezzosi) a luglio del 2025;
- Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali (Docfap) per la sistemazione della rete fognaria zona fosso Trescellere – Vaiano, inclusa la planimetria dello stato attuale: redatto per Publiacqua e il comune di Vaiano dallo studio Ingegnerie Toscane in data Gennaio 2025, coordinato dall’ing. Andrea Massini;
- Fascicolo delle indagini – Videoispezione con drone dello Studio di fattibilità: sistemazione rete fognaria zona fosso Trescellere – Vaiano di Ingegnerie Toscane commissionato da Publiacqua di gennaio 2025;
- Relazione “Estratto Trescelle” con videoispezione lungo il tratto intubato del rio Trescellere (Appendice 02) ricevuta dal Comune di Vaiano ad ottobre 2025.

Gli elementi principali sono stati analizzati durante diversi sopralluoghi effettuati tra settembre e ottobre 2025.

I rilievi, provenienti dalle diverse fonti, sono stati integrati verificando la congruenza tra le diverse quote in punti fissi e verificando quindi che le quote fossero tra loro coerenti.

## 4 RELAZIONE IDROLOGICA

L'analisi idrologica di questo studio adotta estratti di relazioni idrologiche condotte sul bacino del fosso Trescelle:

- Relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria s.t.p. a r.l., David Malossi di luglio 2023.
- Allegato 5 della Relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria s.t.p. a r.l., David Malossi di luglio 2023.
- Relazione tecnica preliminare, stima di massima, elaborato grafico del DOCFAP delle Opere di messa in sicurezza idraulica del fosso di Trescelle in comune di Vaiano (PO) degli Interventi di manutenzione straordinaria del Reticolo Idrico Minore, R.U.P. Arch. Claudio Franco, progettista Ing. Massimo Iannelli, di febbraio 2024.
- Relazione "Estratto Trescelle" con videoispezione lungo il tratto intubato del rio Trescellere (Appendice 02) ricevuta dal Comune di Vaiano ad ottobre 2025.

I risultati, delle diverse relazioni idrologiche, sono stati integrati verificando la congruenza tra le portate per i diversi tempi di ritorno.

### 4.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) sono fornite dal Settore Idrologico Regionale (SIR) della Regione Toscana aggiornate al 2012<sup>1</sup>. Sulla base di tale studio la Regione Toscana ha messo a disposizione le mappe dei parametri  $a$  e  $n$  delle LSPP per tutto il territorio regionale per tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni. Noti tali parametri è possibile determinare l'altezza di pioggia in funzione della durata dell'evento meteorico con la seguente relazione:

$$h = at^n$$

dove  $h$  è l'altezza di pioggia (mm) e  $t$  è la durata dell'evento di pioggia (h).

Nella relazione "Estratto Trescelle" con videoispezione lungo il tratto intubato del rio Trescellere (Appendice 02) ricevuta dal Comune di Vaiano ad ottobre 2025, dalla quale sarà estratta la portata per il tempo di ritorno 2 anni, e nella relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria, dalla quale saranno estratte le portate per il fosso Trescelle per tempo di ritorno 30 e 200 anni, non sono riportati i valori dei parametri  $a$  e  $n$  per i diversi tempi di ritorno. Per completezza si riporta in Tabella 4.1 i valori dei parametri estratti dal sito della Regione Toscana per la stazione TOS11000503 – Vaiano acquedotto per i diversi tempi di ritorno.

Tabella 4.1. Parametri  $a$  e  $n$  LSPP per la stazione TOS11000503 – Vaiano acquedotto (PO).

| TR<br>(anni) | a<br>(mm) | n       |
|--------------|-----------|---------|
| 2            | 23.322    | 0.31822 |
| 5            | 32.103    | 0.31570 |
| 10           | 38.375    | 0.31756 |
| 20           | 44.930    | 0.32451 |
| 30           | 49.112    | 0.32858 |

<sup>1</sup> <http://www.sir.toscana.it/lsp-2012>

| TR<br>(anni) | a<br>(mm) | n       |
|--------------|-----------|---------|
| 50           | 54.671    | 0.33563 |
| 100          | 63.089    | 0.34319 |
| 150          | 68.435    | 0.34659 |
| 200          | 72.481    | 0.34808 |
| 500          | 86.100    | 0.34794 |

## 4.2 Analisi idrologica del bacino

L'analisi idrologica del bacino, per tempi di ritorno 30 e 200 anni, è stata estratta dalla Relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria.

In dettaglio, l'analisi idrogeologica è stata condotta mediante il software HEC-HMS e per la schematizzazione delle perdite dovute all'infiltrazione è stato utilizzato il metodo SCS-CN. Tale metodo permette di calcolare il coefficiente di afflusso utilizzando il Curve Number (CN). Il CN varia tra 100 per corpi idrici e suoli completamente impermeabili e 30 per suoli permeabili con elevati tassi d'infiltrazione. Le condizioni di saturazione del terreno incidono sulla risposta del bacino e sulla portata di picco.

Le condizioni di saturazione del terreno incidono sulla risposta del bacino e sulla portata di picco. Il metodo individua, in relazione al valore di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti l'evento di pioggia, tre condizioni di umidità del terreno (Antecedent Moisture Condition, AMC) e quindi tre classi AMC I, AMC II e AMC III. I valori di CN relativi alle condizioni molto umide antecedenti all'evento (AMC III), o molto asciutte (AMC I), si possono derivare dalla condizione media di umidità (AMC II) usando le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

La Regione Toscana, a seguito della collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze ha messo a disposizione la mappa del CN II valida sul tutto il territorio. Tuttavia, la mappa risale al 2014 e non è stata aggiornata con il nuovo database Pedologico prodotto dalla Regione Toscana nel 2017. Lo studio condotto, dello studio A4 Ingegneria, per il Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione dei Comuni della Val di Bisenzio, ha aggiornato tali mappe e stimato i CN II sul nuovo database Pedologico incrociando l'uso e copertura del suolo con le classi di suolo. Per il fosso Trescelle è stato utilizzato il CN III (condizioni di umidità elevata).

Infine, per la trasformazione da afflussi a deflussi, finalizzata alla determinazione degli idrogrammi di piena è stato utilizzato il metodo dell'idrogramma unitario. Per l'applicazione di tale metodo occorre determinare il tempo di ritardo, generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè dalle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro dello ietogramma di pioggia netto.

Il SCS ha dedotto empiricamente che il tempo di ritardo è pari a 0.6 volte il tempo di corrivazione del bacino in ore,  $t_c$ , che è stato stimato con la seguente formula:

$$t_c = 0.00227 \frac{(1000L)^{0.8}}{s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

dove  $s$  è la pendenza (%), mentre  $L$  è la lunghezza dell'asta principale (km).

Invece, l'analisi idrologica del bacino, per il tempo di ritorno di 2 ore, è stata estratta dalla Relazione "Estratto Trescelle" con videoispezione lungo il tratto intubato del rio Trescellere (Appendice 02) ricevuta dal Comune di Vaiano ad ottobre 2025.

La stima delle portate di piena è stata eseguita utilizzando il programma denominato ALTO. Nello specifico, non essendo disponibile all'interno del database del modello ALTO una caratterizzazione diretta dei parametri del bacino del rio Trescellere, i dati di portata per eventi eccezionali sono stati ottenuti partendo dalla similitudine geografica con il bacino idrografico del fosso delle Spinaie, sostituendo il valore di superficie sottesa e mantenendo invariati gli altri parametri. I bacini idrografici sono infatti geograficamente vicini e presentano caratteristiche simili. Per la quasi totalità sono coperti da vegetazione e solo la parte più prossima allo sbocco nel fiume Bisenzio è fortemente urbanizzata.

### 4.3 Portate di piena

In Figura 4.1 sono riportati gli idrogrammi di piena del fosso Trescelle per tempi di ritorno 30 e 200 anni e durata di pioggia variabile da 1 a 3 ore dai quali sono state scelte le portate di progetto. Per il tempo di ritorno di 30 anni è stato scelto  $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$  (portata di picco con durata di pioggia 1 h) e per il tempo di ritorno di 200 anni è stato scelto  $8.0 \text{ m}^3/\text{s}$  (portata di picco con durata di pioggia di 1 h).

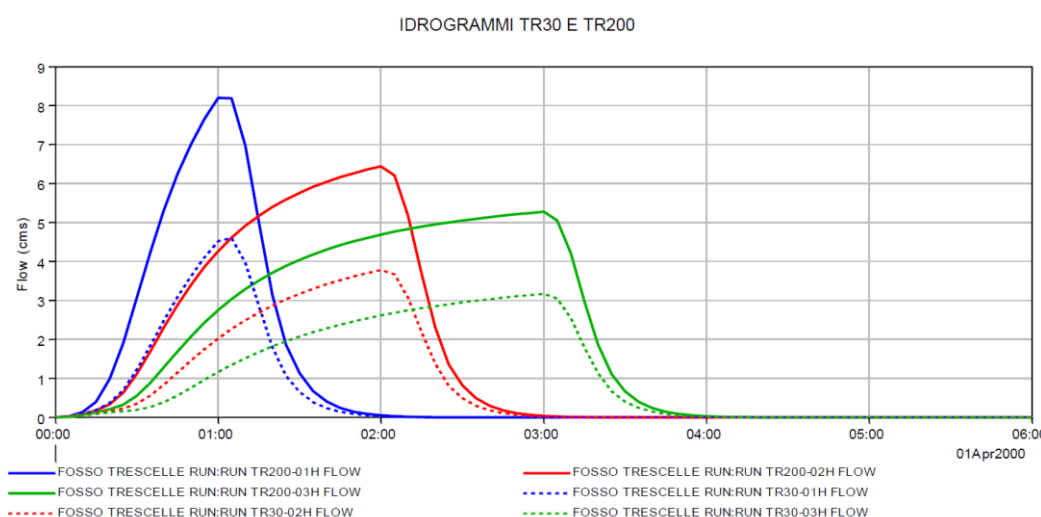


Figura 4.1. Idrogrammi di piena estratti dall'Allegato 5 della Relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria.

La portata di progetto per il tempo di ritorno 2 anni è stata scelta pari a  $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ , riportata nella tabella del capitolo 3.1.2 della relazione "Estratto Trescelle" con videoispezione lungo il tratto intubato del rio Trescellere (Appendice 02) ricevuta dal Comune di Vaiano ad ottobre 2025. In particolare, è stata scelta la portata all'imbocco del tratto intubato.

In Tabella 4.2 sono riportate le portate di progetto scelte per il modello idraulico del fosso Trescelle per la riqualificazione urbana dell'area ex Dainelli.

Tabella 4.2. Portate di progetto scelte per il modello idraulico del fosso Trescelle per la riqualificazione urbana dell'area ex Dainelli

| TR<br>(anni) | Q<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
|--------------|--------------------------------|
| 2            | 2.6                            |
| 30           | 4.5                            |
| 200          | 8.0                            |

## 5 RELAZIONE IDRAULICA

### 5.1 Proposta progettuale

Il progetto prevede la realizzazione di una **nuova sezione allargata nel tratto adiacente alla nuova Piazza “Arte della Lana”**, capace di gestire portate relative a tempi di ritorno di 200 anni e con un alveo di magra dimensionato per convogliare le acque relative a tempi di ritorno fino a 2 anni. Inoltre, è previsto l'**allargamento della sezione sotto Via Fratelli Rosselli**, con una sezione utile di 1.2 m di altezza e 4.5 m di larghezza, in quanto rappresenta un punto critico per il deflusso delle acque del fosso Trescelle e per ripristinare la strada dopo il crollo.

### 5.2 Verifica delle sezioni culvert

In prima battuta, gli attraversamenti (*culvert*) sono stati verificati sulla base della metodologia semplificata proposta dal manuale “*Culvert design and operation guide*”<sup>2</sup>, la quale prevede di calcolare l'intensità di deflusso,  $q_i$ , di utilizzare la seguente relazione:

$$q_i = \frac{1.811Q}{A_b D^{0.5}}$$

dove  $Q$  è la portata ( $m^3/s$ ),  $A_b$  è l'area della sezione ( $m^2$ ), e  $D$  è la l'altezza del culvert, dove:

- se  $q_i$  risulta minore di 3.5 la portata defluisce nel culvert a flusso libero,
- se maggiore di 4 si ha la condizione di flusso sommerso,
- se compreso tra i due valori è presente una condizione di transizione tra flusso libero e flusso sommerso.

In Tabella 5.1 sono riportate le intensità di deflusso e le condizioni di flusso calcolate per ciascuna sezione culvert per le tre portate di progetto per i tre rispettivi tempi di ritorno (2, 30 e 200 anni).

*Tabella 5.1. Intensità di deflusso e condizione di flusso calcolate per ciascuna sezione culvert per le tre portate di progetto.*

| Sezione                                                                     | Portata<br>( $m^3/s$ ) | Area della<br>sezione<br>( $m^2$ ) | Altezza del<br>culvert<br>(m) | Intensità di<br>deflusso<br>(m/s) | Condizione di<br>flusso |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Culvert circolare<br>(diametro 1.5 m)                                       | 2.6                    | 1.8                                | 1.5                           | 2.2                               | Flusso libero           |
|                                                                             | 4.5                    | 1.8                                | 1.5                           | 3.8                               | Transizione             |
|                                                                             | 8.0                    | 1.8                                | 1.5                           | 6.7                               | Flusso sommerso         |
| Culvert sotto strada di Via<br>Fratelli Rosselli<br>(Stato attuale)         | 2.6                    | 1.1                                | 1.8                           | 2.6                               | Flusso libero           |
|                                                                             | 4.5                    | 1.1                                | 1.8                           | 4.4                               | Flusso sommerso         |
|                                                                             | 8.0                    | 1.1                                | 1.8                           | 7.8                               | Flusso sommerso         |
| Culvert sotto strada di Via<br>Fratelli Rosselli<br>Scatolare 1.2 m X 4.5 m | 2.6                    | 1.2                                | 5.4                           | 0.8                               | Flusso libero           |
|                                                                             | 4.5                    | 1.2                                | 5.4                           | 1.4                               | Flusso libero           |

<sup>2</sup> Balkham M., Fosbeary C., Kitchen A., Rickard C., Culvert design and operation guide, CIRIA, 2010.

|                                      |     |     |     |     |                 |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------------|
| (Stato di progetto)                  | 8.0 | 1.2 | 5.4 | 2.4 | Flusso libero   |
| Culvert sotto misericordia           | 2.6 | 1.2 | 3.3 | 1.3 | Flusso libero   |
| Luce ridotta dal rinforzo del solaio | 4.5 | 1.2 | 3.3 | 2.3 | Flusso libero   |
| (Stato di progetto)                  | 8.0 | 1.2 | 3.3 | 4.0 | Flusso sommerso |

La stessa relazione può essere utilizzata per calcolare la portata massima per avere una condizione di flusso libero all'interno del culvert:

$$Q_{max,flusso\ libero} = \frac{3.5A_b D^{0.5}}{1.811}$$

In Tabella 5.2 sono riportate le portate massime per avere una condizione di flusso libero all'interno del culvert per ciascuna sezione (di fatto o di progetto).

Tabella 5.2. Portata massima per avere una condizione di flusso libero all'interno del culvert per ciascuna sezione.

| Sezione                                                                               | Portata massima per garantire il flusso libero (m <sup>3</sup> /s) |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Culvert circolare (diametro 1.5 m)                                                    | 4.2                                                                |
| Culvert sotto strada di Via Fratelli Rosselli (Stato attuale)                         | 3.6                                                                |
| Culvert sotto strada di Via Fratelli Rosselli Scatolare 1.2mX4.5m (Stato di progetto) | 11.4                                                               |
| Culvert sotto misericordia Luce ridotta dal rinforzo del solaio (Stato di progetto)   | 7.0                                                                |

Dalla verifica delle sezioni emerge che il culvert circolare di diametro 1.5 m consente il flusso libero solamente per una portata corrispondente a un tempo di ritorno di 2 anni, 2.6 m<sup>3</sup>/s (Tabella 5.1). Invece, la condizione di flusso libero è garantita fino a una portata di 4.2 m<sup>3</sup>/s (Tabella 5.2), valore prossimo alla portata di 4.5 m<sup>3</sup>/s corrispondente a un tempo di ritorno di 30 anni.

Ciò evidenzia come la parte di fosso intubato in ingresso all'area di progetto ex Dainelli non sia in grado di smaltire portate superiori a quella corrispondente al tempo di ritorno di 30 anni. Tale considerazione risulta coerente con quanto riportato nella Relazione tecnica preliminare, stima di massima, elaborato grafico del DOCFAP delle Opere di messa in sicurezza idraulica del fosso di Trescelle in comune di Vaiano (PO) degli Interventi di manutenzione straordinaria del Reticolo Idrico Minore, R.U.P. Arch. Claudio Franco, progettista Ing. Massimo Iannelli, di febbraio 2024. Nella suddetta relazione si sottolinea infatti che “... la portata massima smaltibile supera di poco i 5 m<sup>3</sup>/s prima che il deflusso avvenga in pressione, con possibili fenomeni di esondazione e rigurgito, o che – in corrispondenza dei salti di fondo e delle brusche variazioni di sezione che presumibilmente sono state realizzate nel tempo – i deflussi non vengano contenuti nelle sponde”.

In conclusione, si ritiene che la portata massima di progetto sia quella con tempo di ritorno 30 anni ( $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), tuttavia nel seguente studio l'assetto di progetto, a favore di sicurezza, viene verificato anche per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni ( $8.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### 5.3 Modello HEC-RAS

Le **sezioni idrauliche** sono state definite sulla base dei dati topografici disponibili provenienti dal rilievo "EX DAINELLI VAIANO (PO)", eseguito da SPAZIOTTANTARE nel luglio 2025. Le sezioni di progetto, che comprendono il canale nell'area ex Dainelli, l'attraversamento sotto Via Fratelli Rosselli e il tratto al di sotto della Misericordia, sono state elaborate utilizzando le quote di fondo del medesimo rilievo. Di conseguenza, le pendenze del fosso risultano invariate rispetto allo stato attuale. Per una migliore simulazione idraulica, sono state aggiunte sezioni d'interpolazione con una distanza pari a 0.2 m.

La **scabrezza** è stata impostata uguale su tutta la sezione senza distinzioni tra alveo principale e golena, mentre è stata diversificata in funzione materiale e dello stato dell'alveo. Sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di Manning ripresi dal manuale di HEC-RAS:

- Calcestruzzo liscio:  $0.013 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Mantellata antierosione, per la nuova sezione di progetto lungo l'area ex Dainelli:  $0.017 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Canale in terra dritto e uniforme, per il canale esistente a valle del passaggio sotto strada e misericordia:  $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Le **tombinature e i culvert** sono modellati col metodo energetico per tutte le portate.

I **settaggi principali** per la risoluzione delle equazioni di moto sono stati mantenuti pari a quelli standard definiti da HEC-RAS.

Le **condizioni al contorno** sono state definite come segue:

- monte: normal depth pari alla pendenza del fosso intubato 7.3%;
- valle: normal depth pari alla pendenza del fosso intubato 2.5%.

## 5.4 Analisi del modello idraulico

Il tratto del fosso Trescelle oggetto dello studio è stato modellato utilizzando 19 sezioni idrauliche. La Figura 5.1 mostra la posizione delle varie sezioni sulla planimetria, evidenziando il tratto del fosso modellato, mentre la Figura 5.2 riporta la geometria ricostruita all'interno del modello HEC-RAS.



Figura 5.1. Planimetria della sezione del fosso Trescelle modellata e la posizione delle sezioni utilizzate nel modello HEC-RAS.

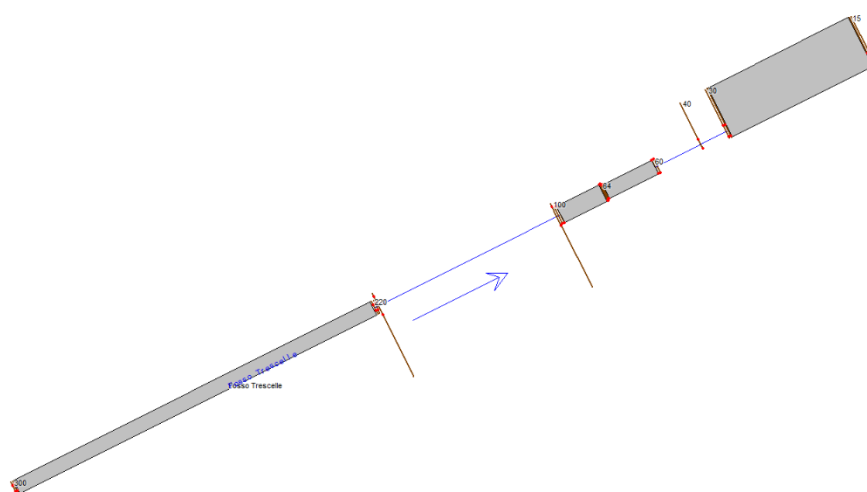


Figura 5.2. Planimetria della sezione del fosso Trescelle modellata con HEC-RAS.

### 5.4.1 Analisi del tempo di ritorno di 2 anni

In Figura 5.3 è riportato il profilo idraulico della sezione del fosso Trescelle modellata per tempo di ritorno 2 anni (2.6 m<sup>3</sup>/s). Per tale portata tutte le sezioni risultano essere verificate secondo la metodologia proposta nel capitolo 5.1 con condizione di flusso a pelo libero. Questo è confermato dai risultati del modello HEC-RAS (Figura 5.3) in cui è evidente che il profilo idraulico non ha criticità, eccetto per il risalto idraulico che si crea all'imbocco del culvert a valle del passaggio sotto la strada di Via Fratelli Rosselli e la misericordia.

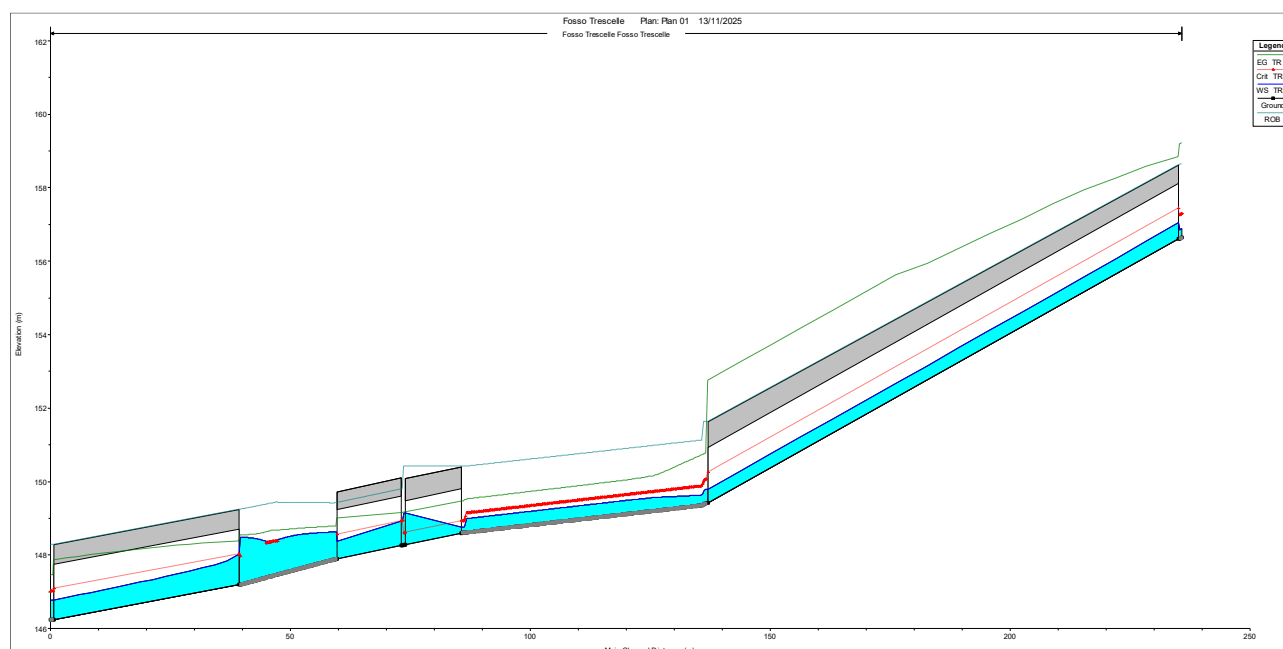


Figura 5.3. Profilo idraulico della sezione del fosso Trescelle modellata per tempo di ritorno 2 anni.

L'alveo di magra della sezione di progetto del canale che costeggia l'area ex Dainelli, nuova Piazza "Arte della Lana", permette di convogliare le acque fino al tempo di ritorno di 2 anni (Figura 5.4 e Figura 5.5), non si riscontrano problemi per la sezione sotto la strada di Via Fratelli Rosselli (Figura 5.6), per la sezione sotto la misericordia (Figura 5.7) e per il culvert a valle del passaggio sotto strada e misericordia (Figura 5.8).

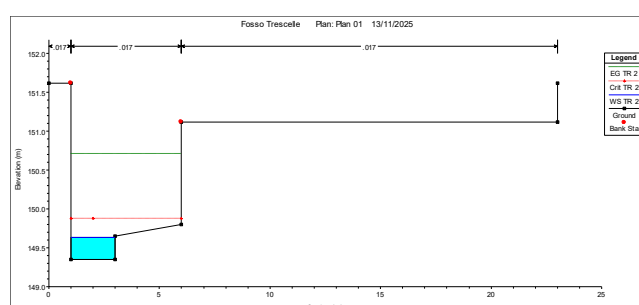


Figura 5.4. Sezione di progetto del canale nell'area ex Dainelli (monte), TR 2 anni.

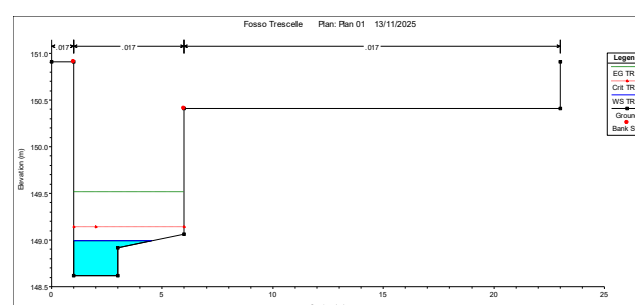


Figura 5.5. Sezione di progetto del canale nell'area ex Dainelli (valle), TR 2 anni.

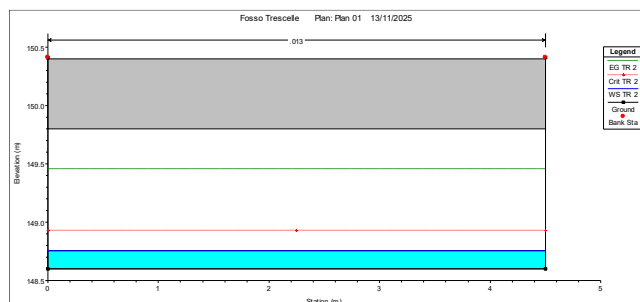


Figura 5.6. Sezione di progetto sotto la strada di Via Fratelli Rosselli (Scatolare 1.2mX4.5m), TR 2 anni.

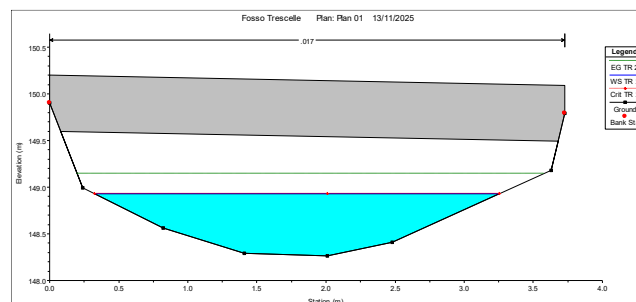


Figura 5.7 Sezione sotto la misericordia con luce ridotta di 30 cm per rinforzo del solaio, TR 2 anni.

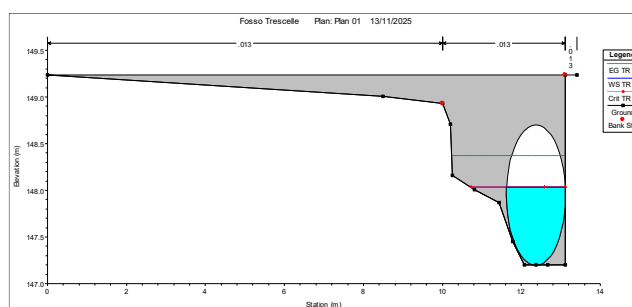


Figura 5.8 Sezione del culvert a valle del passaggio sotto Via Fratelli Rosselli e Misericordia, TR 2 anni.

### 5.4.2 Analisi del tempo di ritorno di 30 anni

In Figura 5.9 è riportato il profilo idraulico della sezione del fosso Trescelle modellata per tempo di ritorno 30 anni (4.5 m<sup>3</sup>/s). Per tale portata le sezioni di progetto sotto la strada di Via Fratelli Rosselli e sotto la misericordia risultano essere verificate secondo la metodologia proposta nel capitolo 5.1 con condizione di flusso a pelo libero. Mentre con tale metodologia si ha una condizione di flusso transitorio per il culvert circolare (diametro 1.5 m).

Tale comportamento è confermato dai risultati del modello HEC-RAS (Figura 5.9), in cui risulta chiaramente visibile l'innalzamento del tirante idraulico generato dal culvert (diametro 1.5 m) a valle del passaggio sotto la strada di Via Fratelli Rosselli e la sede della Misericordia. L'effetto di tale innalzamento si propaga a monte; tuttavia, le sezioni idrauliche risultano ancora in grado di smaltire la portata con tempo di ritorno 30 anni.

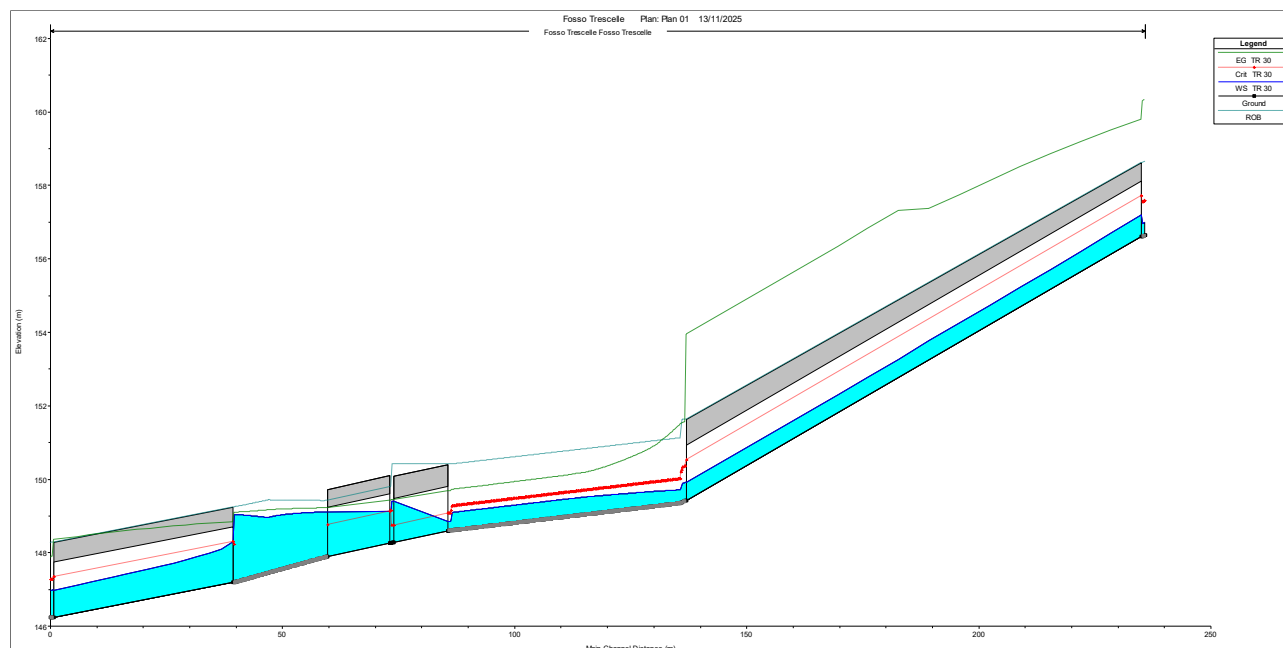


Figura 5.9. Profilo idraulico della sezione del fosso Trescelle modellata per tempo di ritorno 30 anni.

L'alveo di magra della sezione di progetto del canale che costeggia l'area ex Dainelli, nuova Piazza "Arte della Lana", non è in grado di convogliare tutta la portata con tempo di ritorno 30 anni (Figura 5.10 e Figura 5.11), ma la golena permette un corretto deflusso delle acque. Non si riscontrano significativi problemi per la sezione sotto la strada di Via Fratelli Rosselli (Figura 5.12) e per la sezione sotto la misericordia (Figura 5.13). Diversamente il livello all'interno del culvert a valle del passaggio sotto strada e misericordia raggiunge quasi il pieno colmo (Figura 5.14).

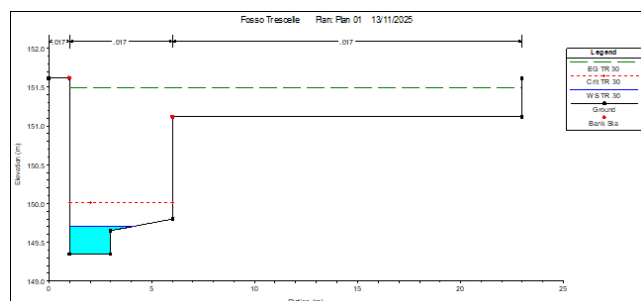


Figura 5.10. Sezione di progetto del canale nell'area ex Dainelli (monte), TR 30 anni.

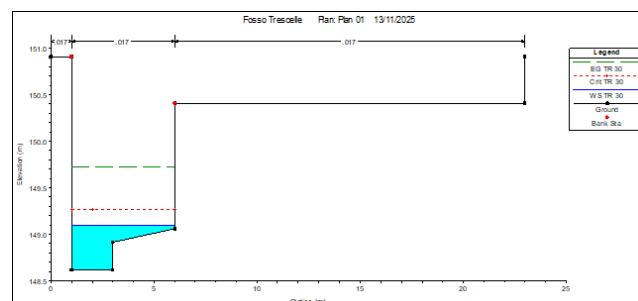


Figura 5.11. Sezione di progetto del canale nell'area ex Dainelli (valle), TR 30 anni.

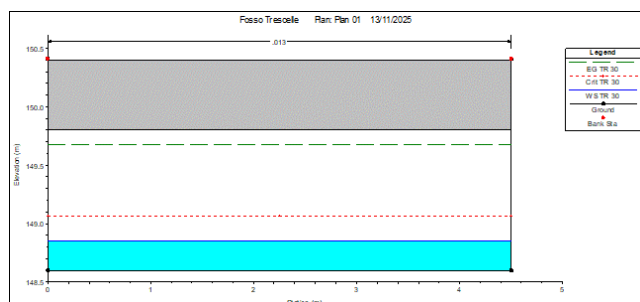


Figura 5.12. Sezione di progetto sotto la strada di Via Fratelli Rosselli (Scatolare 1.2mX4.5m), TR 30 anni.

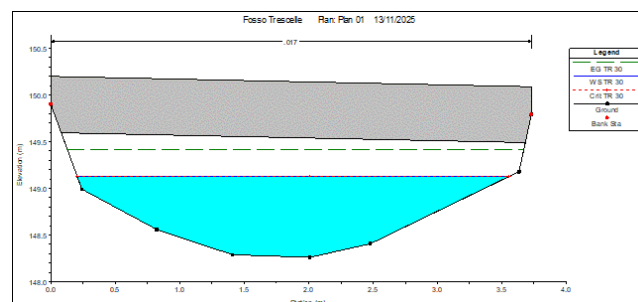


Figura 5.13 Sezione sotto la misericordia con luce ridotta di 30 cm per rinforzo del solaio, TR 30 anni.

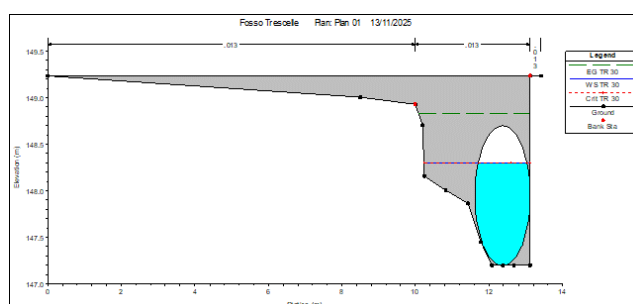


Figura 5.14 Sezione del culvert a valle del passaggio sotto Via Fratelli Rosselli e Misericordia, TR 30 anni.

### 5.4.3 Analisi del tempo di ritorno di 200 anni

In Figura 5.15 è riportato il profilo idraulico della sezione del fosso Trescelle modellata per tempo di ritorno 200 anni ( $8.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Per tale portata la sezione di progetto sotto la strada di Via Fratelli Rosselli risulta essere verificata secondo la metodologia proposta nel capitolo 5.1 con condizione di flusso a pelo libero. Mentre con tale metodologia si ha una condizione di flusso sommerso per il culvert circolare (diametro 1.5 m) e la sezione sotto la misericordia.

Tale comportamento è confermato dai risultati del modello HEC-RAS (Figura 5.15), in cui risulta chiaramente visibile lo stato di flusso sommerso per il culvert (diametro 1.5 m) a valle del passaggio sotto la strada di Via Fratelli Rosselli e la sede della Misericordia. L'effetto si propaga a monte compromettendo la capacità del passaggio sotto strada e sotto la misericordia di smaltire la portata con tempo di ritorno 200 anni.

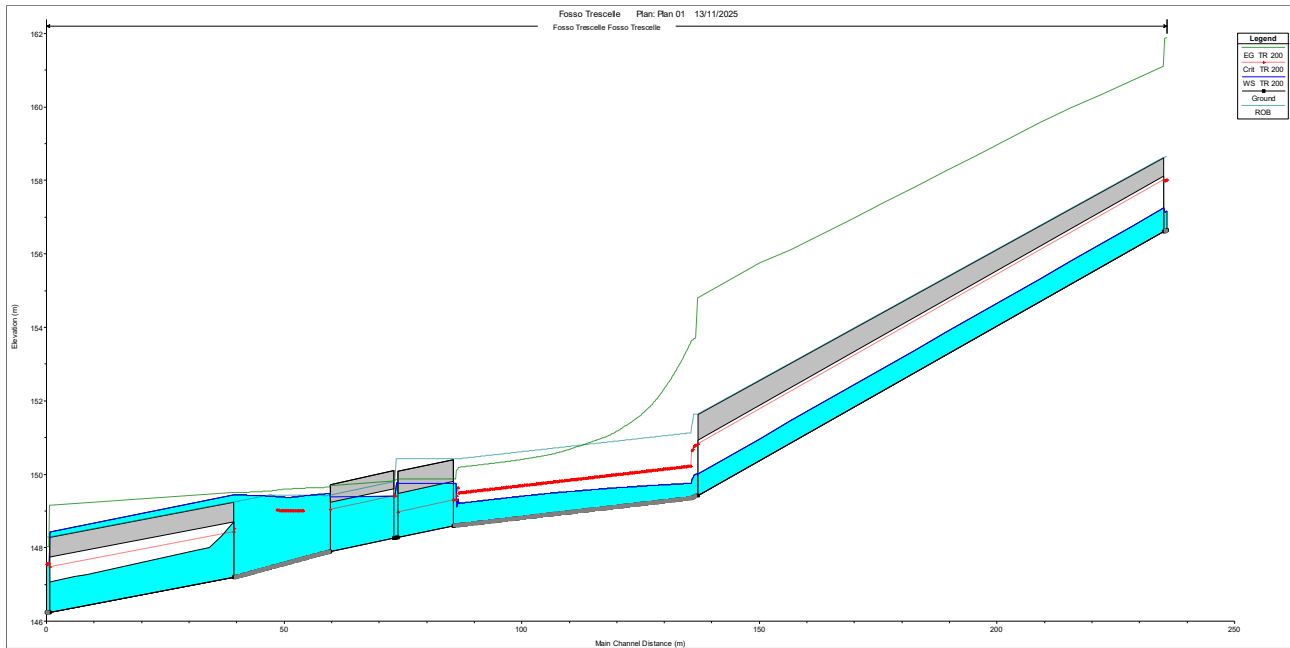


Figura 5.15. Profilo idraulico della sezione del fosso Trescelle modellata per tempo di ritorno 200 anni.

L'alveo di magra della sezione di progetto del canale che costeggia l'area ex Dainelli, nuova Piazza "Arte della Lana", non è in grado di convogliare la portata con tempo di ritorno 200 anni (Figura 5.16 e Figura 5.17), ma la golena permette un corretto deflusso delle acque e il livello risulta essere ancora al di sotto del piano di calpestio della piazza. Il franco tra il piano di calpestio e il pelo libero risulta essere rispettivamente di 1.30 m a monte della piazza e 1.20 m a valle. La sezione sotto la strada di Via Fratelli Rosselli (Figura 5.18) riesce a smaltire la portata, mentre per la sezione sotto la misericordia (Figura 5.19) e il culvert a valle del passaggio sotto strada e misericordia (Figura 5.20) non riescono a smaltire la portata con tempo di ritorno di 200 anni.

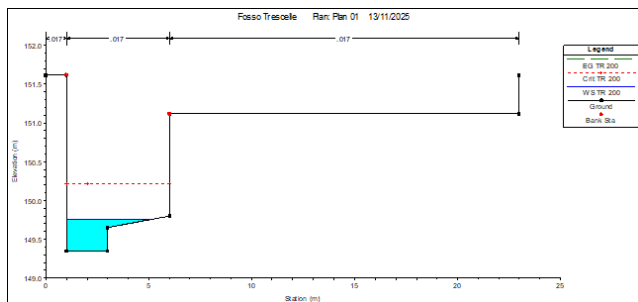


Figura 5.16. Sezione di progetto del canale nell'area ex Dainelli (monte), TR 200 anni.

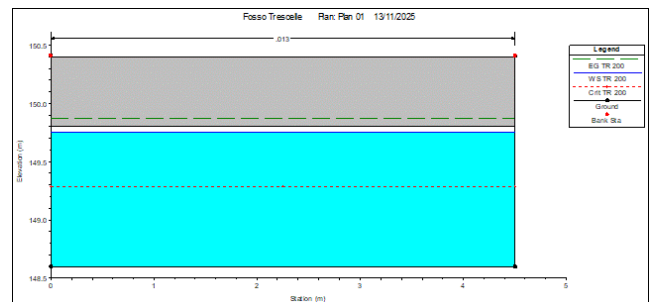


Figura 5.18. Sezione di progetto sotto la strada di Via Fratelli Rosselli (Scatolare 1.2mX4.5m), TR 200 anni.

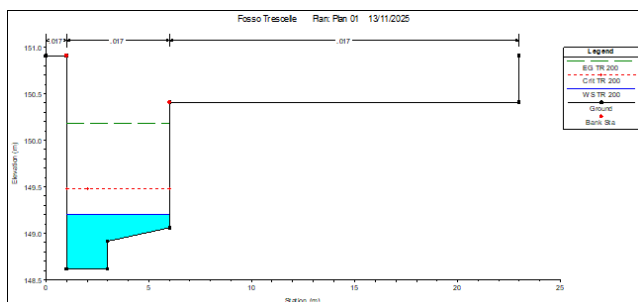


Figura 5.17. Sezione di progetto del canale nell'area ex Dainelli (valle), TR 200 anni.

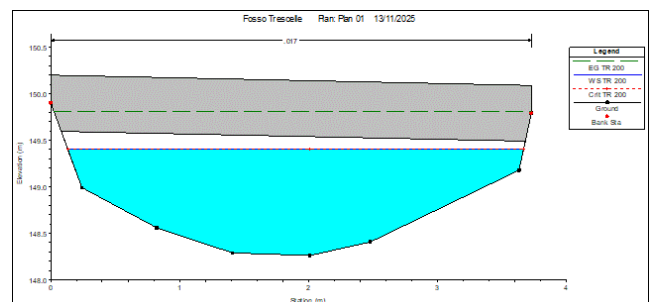


Figura 5.19 Sezione sotto la misericordia con luce ridotta di 30 cm per rinforzo del solaio, TR 200 anni.

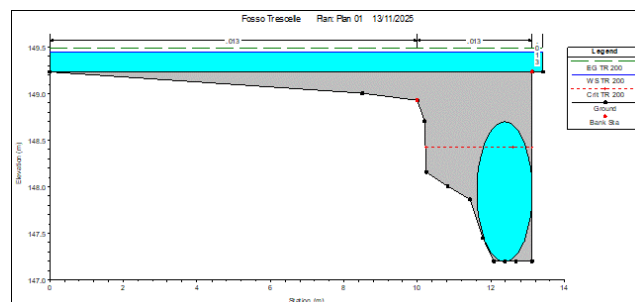


Figura 5.20 Sezione del culvert a valle del passaggio sotto Via Fratelli Rosselli e Misericordia, TR 200 anni.

## 5.5 Conclusioni e sviluppi futuri

- La nuova sezione del fosso, lungo il tratto adiacente alla piazza “Arte della Lana”, consente di regimare nell’alveo di magra portate corrispondenti a un tempo di ritorno di 2 anni. Per tempi di ritorno maggiori (30 e 200 anni), l’acqua si distribuisce nella golena, mantenendo comunque il livello ben al di sotto del piano di calpestio della piazza, con un sufficiente franco idraulico (1.3-1.2 metri con Tr 200); l’alveo di progetto, inoltre, è in grado anche di contenere il livello del carico energetico massimo della corrente, permettendo quindi il deflusso della portata di progetto anche in caso di eventuali occlusioni o depositi sul fondo dell’alveo.
- Il passaggio sotto Via Fratelli Rosselli, che allo stato di fatto rappresenta un ostacolo al deflusso delle acque, risulta efficace nello stato di progetto grazie alla nuova sezione scatolare (larghezza 4 m, altezza 1.2 m). In questa configurazione, il deflusso avviene senza rigurgiti verso la piazza, evitando potenziali allagamenti.
- Il culvert a valle del passaggio sotto la strada e la misericordia si configura come un punto critico a partire da un tempo di ritorno di 30 anni, generando una risalita del tirante idraulico che influisce anche sul deflusso delle acque sotto la strada e la misericordia.
- La sezione sotto la misericordia, che include un ribassamento di 30 cm che ipotizza una riduzione dell’attuale sezione per eventuali lavori futuri di rinforzo della capacità portante della struttura, risulta compromessa a partire da tempi di ritorno di 30 anni, limitando la capacità di deflusso; in caso di lavori futuri sull’edificio della misericordia, quindi, si suggerisce di compensare una eventuale perdita di luce di deflusso data dal rinforzo strutturale superficiale con una risagomatura della sezione sotto la Misericordia e a uno stombamento del culvert a valle, prima dell’immissione delle acque nel fiume Bisenzio, al fine di migliorare la sicurezza idraulica del tratto.

## 6 RIFERIMENTI

- Rilievo “EX DAINELLI VAIANO (PO)” effettuato da SPAZIOTTANTARE (Ing. Ir. Francesco Vezzosi) a luglio del 2025.
- Relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell’Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria s.t.p. a r.l., David Malossi di luglio 2023.
- Allegato 5 della Relazione idrologica e idraulica del Piano Strutturale Intercomunale dell’Unione dei Comuni della Val di Bisenzio dello studio A4 Ingegneria s.t.p. a r.l., David Malossi di luglio 2023.
- Relazione tecnica preliminare, stima di massima, elaborato grafico del DOCFAP delle Opere di messa in sicurezza idraulica del fosso di Trescelle in comune di Vaiano (PO) degli Interventi di manutenzione straordinaria del Reticolo Idrico Minore, R.U.P. Arch. Claudio Franco, progettista Ing. Massimo Iannelli, di febbraio 2024.
- Studio di fattibilità: sistemazione rete fognaria zona fosso Trescellere – Vaiano di Ingegnerie Toscane commissionato da Publiacqua di gennaio 2025.
- Fascicolo delle indagini – Videoispezione con drone dello studio di fattibilità: sistemazione rete fognaria zona fosso Trescellere – Vaiano di Ingegnerie Toscane commissionato da Publiacqua di gennaio 2025.
- Planimetria – Stato attuale dello studio di fattibilità: sistemazione rete fognaria zona fosso Trescellere – Vaiano di Ingegnerie Toscane commissionato da Publiacqua di gennaio 2025.
- Relazione “Estratto Trescelle” con videoispezione lungo il tratto intubato del rio Trescellere (Appendice 02) ricevuta dal Comune di Vaiano ad ottobre 2025.

## APPENDICE N°1 – DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE

Le equazioni che governano il moto permanente sono state risolte applicando il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (vers. 6.6). Tale software è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena sui corsi d'acqua.

La simulazione dei fenomeni di esondazione da alvei fluviali e la relativa inondazione delle aree limitrofe è piuttosto complessa. L'adozione di una schematizzazione semplificata, come la soluzione in condizioni di moto monodimensionale e permanente delle equazioni che governano il moto della corrente, trova giustificazione nella necessità di giungere in maniera speditiva alla perimetrazione delle zone da classificare "a rischio di piena". Tale approccio permette di delineare gli aspetti essenziali dei possibili scenari di piena che possono verificarsi sui tratti di corso d'acqua oggetto dell'analisi, consentendo di definire in maniera fisicamente attendibile i livelli idrometrici nella piana alluvionale, valutando l'ampiezza delle aree allagabili ad assegnata frequenza.

La disponibilità di rilievi affidabili della geometria dell'alveo e della pendenza media dei vari tratti consente di attribuire un buon grado di accuratezza al profilo di moto permanente calcolato per i diversi eventi di piena previsti.

Il modello adottato fornisce come risultato l'altezza del pelo libero, calcolata sotto l'ipotesi di moto permanente. Per giungere alla delimitazione delle aree allagabili per assegnata frequenza è necessario utilizzare dei metodi che permettano di passare dai livelli idrometrici calcolati alla definizione delle aree allagabili.

Il metodo più semplice è rappresentato dal metodo delle curve di livello, che deve la sua denominazione al fatto che la conformazione della linea che delimita le aree soggette al medesimo rischio è del tutto simile a una curva di livello, che raccordi i punti aventi uguale probabilità di esondazione. Alla base di tale metodo vi è l'ipotesi che, in moto permanente e in un tempo potenzialmente infinito, si possa arrivare ad avere il livello del pelo libero orizzontale in tutta la sezione. In moto permanente le caratteristiche del moto sono indipendenti dal tempo e, quindi, si può supporre che la corrente abbia il tempo sufficiente ad inondare tutte le aree circostanti il corso d'acqua fino a giungere ad una condizione di pelo libero orizzontale sezione per sezione.

La valutazione delle portate critiche è stata condotta mediante l'ausilio di un codice per il calcolo dei profili idraulici in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali (o artificiali), che consente anche la valutazione degli effetti della corrente dovuti all'interazione con ponti, briglie, stramazzi, aree golenali. Il software funziona in ambiente Windows® ed è di facile apprendimento e utilizzo, permettendo l'inserimento dei dati attraverso l'apertura di numerose finestre di dialogo.

In primo luogo occorre fornire le informazioni relative alla geometria del corso d'acqua in un'apposita sezione (*geometric data*), all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (*reach*), la geometria delle sezioni (*cross section geometry*), la distanza fra le sezioni (*reach length*) e il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning. In questa sezione sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (*XS Interpolation*), molto utile quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro; inoltre, è possibile definire la quota delle sponde (*left and right elevations*) e degli argini (*levees*) e inserire nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (*ineffective flow areas*) e delle coperture (*lids*).

Il codice di calcolo permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione (*bridge and culvert data*) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (*deck/roadway*), le pile (*piers*), le spalle (*sloping abutments*) e le condizioni di calcolo (*bridge modelling approach*).

Successivamente occorre impostare la sezione relativa alle condizioni di moto (*steady flow data*), definendo la portata di riferimento per le diverse sezioni fluviali e le condizioni al contorno (*boundary conditions*). A questo punto il codice di calcolo è pronto per eseguire i calcoli idraulici nella sezione denominata *steady flow analysis*. I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti attraverso tabelle riepilogative (*cross-section table* e *profile table*) e grafici delle sezioni geometriche (*plot cross-section*) e del profilo longitudinale (*plot profile*) e, infine, tramite una visione prospettica tridimensionale del sistema fluviale (*x, y, z perspective plot*).

## Equazioni per il calcolo del profilo idraulico

L'ipotesi alla base delle formulazioni per la determinazione del profilo idraulico è che il moto dell'acqua nel canale si considera uniforme. Questo significa che tutte le grandezze caratterizzanti la corrente (altezza idrica, velocità media nella sezione, portata, ecc.) risultano costanti nel tempo e nello spazio. Sotto questa ipotesi, la pendenza media disponibile  $i_m$ , definita come il rapporto fra la differenza di quota e la distanza fra la sezione di monte e quella di valle, è esattamente pari alla pendenza piezometrica  $J$ , che rappresenta le dissipazioni energetiche per unità di lunghezza. La relazione  $i_m = J$  costituisce l'equazione fondamentale del moto uniforme.

La determinazione del profilo teorico in moto permanente è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard Step Method*, basato appunto sull'equazione monodimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove  $H_1$  (m) e  $H_2$  (m) sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato,  $h_f$  (m) sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde mentre  $h_e$  (m) è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare,  $h_f$  dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = J \times L$$

con  $J$  pendenza motrice nel tratto di lunghezza  $L$  (m).

Il calcolo di  $J$  è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto. Il calcolo del termine  $J$  nella singola sezione è effettuato mediante la:

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

dove  $Q$  (mc/s) è la portata di calcolo e  $K$  (denominato *conveyance*) rappresenta un parametro di conducibilità, ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove  $A$  (mq) l'area della sezione liquida,  $R$  (m) il raggio idraulico e  $n$  ( $m^{-1/3}$  s) è il parametro rappresentativo della scabrezza, espresso in termini di coefficiente di Manning.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro  $n$  di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Per il calcolo della scabrezza equivalente  $n_c$  il codice di calcolo utilizza la formula

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N \left( P_i \cdot n_i^{\frac{3}{2}} \right)}{P} \right]^{\frac{2}{3}}$$

dove  $P$  (m) rappresenta il perimetro bagnato dell'intera sezione,  $P_i$  e  $n_i$  il perimetro bagnato e il coefficiente di Manning della sezione  $i$ -esima.

Per rappresentare la macro-scabrezza, in particolare nei tratti urbani dove si possono trovare edifici in prossimità del corso d'acqua, il codice di calcolo permette di inserire dei blocchi (denominati *blocked obstruction*), che sono aree

della sezione permanentemente bloccate, le quali diminuiscono l'area della sezione e aggiungono perimetro bagnato quando l'acqua giunge a contatto con esse.

Il termine  $h_e$  dipende, invece, dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left[ \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} \right]$$

dove  $\beta$  è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato,  $V_1$  e  $V_2$  (m/s) sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

### Calcolo della profondità di Stato Critico

Al tirante idrico in condizioni di stato critico corrisponde la massima portata teoricamente smaltibile dalla sezione, indipendentemente dalla natura del fondo e delle pareti, nonché dall'inserimento della sezione stessa in un tronco fluviale. Esso è stato valutato imponendo che il numero di Froude, indicato con  $Fr$ , assuma valore unitario. In termini di portata e per le sezioni in esame, si scrive:

$$Fr = \frac{V \cdot A}{\sqrt{A^2 \cdot g \cdot h_m}}$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $h_m$  il tirante idrico,  $A$  l'area bagnata della sezione, e  $V$  la velocità media della sezione. L'equazione permette la determinazione dell'altezza di stato critico tramite il valore  $h_m$  che soddisfa la relazione in esame tra l'altezza di piene rive e il fondo.

### Calcoli idraulici per sezioni con singolarità

Il codice di calcolo consente la simulazione del deflusso attraverso ponti (*bridge*), tombinature (*culvert*), briglie e traverse (*weir*), mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato dei ponti, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo). In quest'ultimo caso vengono utilizzate le stesse formulazioni usate per la simulazione del comportamento delle traverse e delle briglie.

Per il deflusso a pelo libero il modello utilizza il metodo dei momenti (*Momentum Balance*) che consiste nell'eguagliare i momenti fra la sezione di monte e di valle del manufatto attraverso tre passi successivi:

- 1) tra sezione esterna di valle e sezione interna di valle

$$(my)_D + (mq)_D = (my)_2 - (my)_P + (mq)_2 + \frac{F_f - W_x}{\gamma}$$

- 2) tra sezione interna di valle e sezione interna di monte

$$(my)_D + (mq)_D = (my)_U - (my)_U + (mq)_2 + \frac{F_f - W_x}{\gamma}$$

- 3) tra sezione interna di monte e sezione esterna di monte

$$(my)_1 + (mq)_1 = (my)_U + (mq)_U + (my)_P + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \left( \frac{A_p}{A_1} \right) \cdot (mq)_1 + \frac{F_f - W_x}{\gamma}$$

avendo indicato con:  $my = A \times Y$  prodotto dell'area per la distanza verticale tra il pelo libero e il centro di gravità delle sezioni di deflusso;

$$mq = \frac{Q^2}{g \cdot A}$$

dove:

- $C_D$  coefficiente di “drag” variabile in funzione della forma delle pile
- $F_f$  forza dovuta all’attrito sul fondo e sulle pareti
- $W_x$  forza peso nella direzione del flusso
- $g$  peso specifico dell’acqua
- $p$  pedice di riferimento della sola sezione bagnata delle pile

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell’efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2gH}$$

dove  $Q$  (mc/s) è la portata defluita attraverso la luce di area  $A$  (mq),  $H$  (m) è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e  $C$  è il cosiddetto coefficiente di efflusso. Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell’utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell’intradosso dell’impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove  $Q$  (mc/s) è la portata defluita sulla soglia di larghezza  $L$  (m) e  $H$  (m) è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e  $C$  è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia. Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l’entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell’impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Nella verifica di sezioni particolari, quali, ad esempio, le zone di confluenza, dove non sono applicabili le relazioni precedenti, è stato applicato il teorema della quantità di moto.

In particolare, è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione:

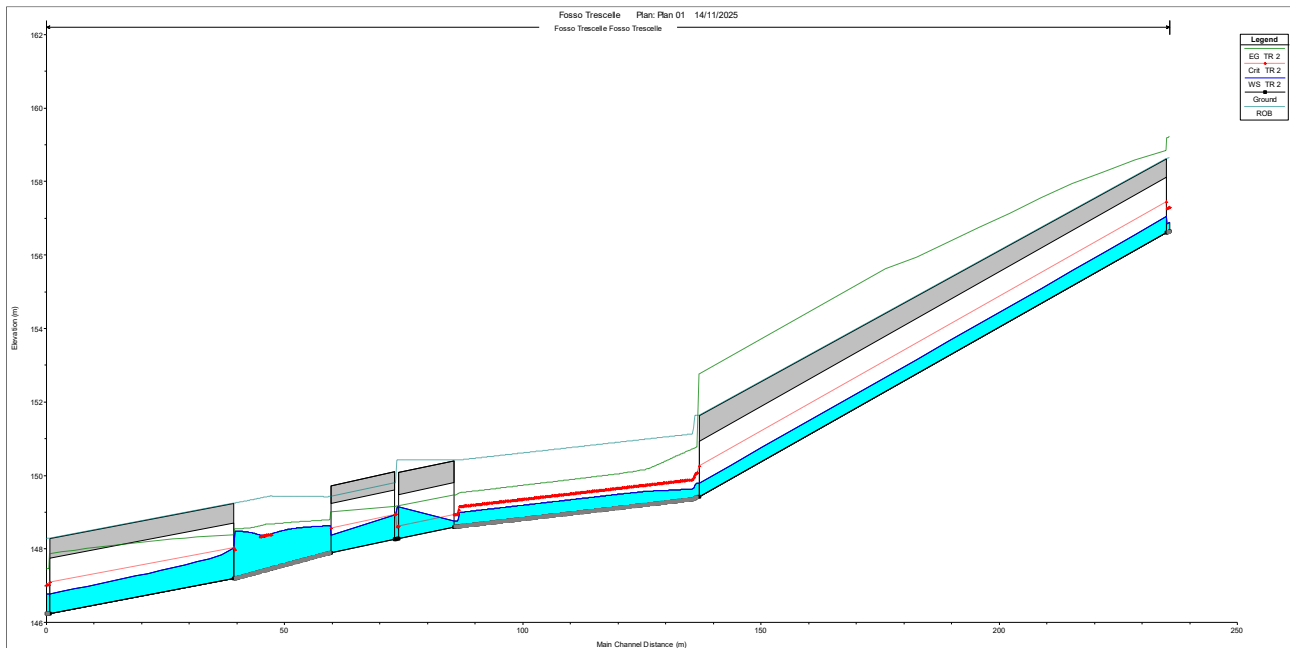
$$F_s + G = I + M_u - M_e$$

dove  $F_s$  è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall’esterno sul volume di controllo,  $G$  è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso),  $I$  la risultante delle inerzie locali  $M_u$  e  $M_e$  le quantità di moto delle masse che nell’unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

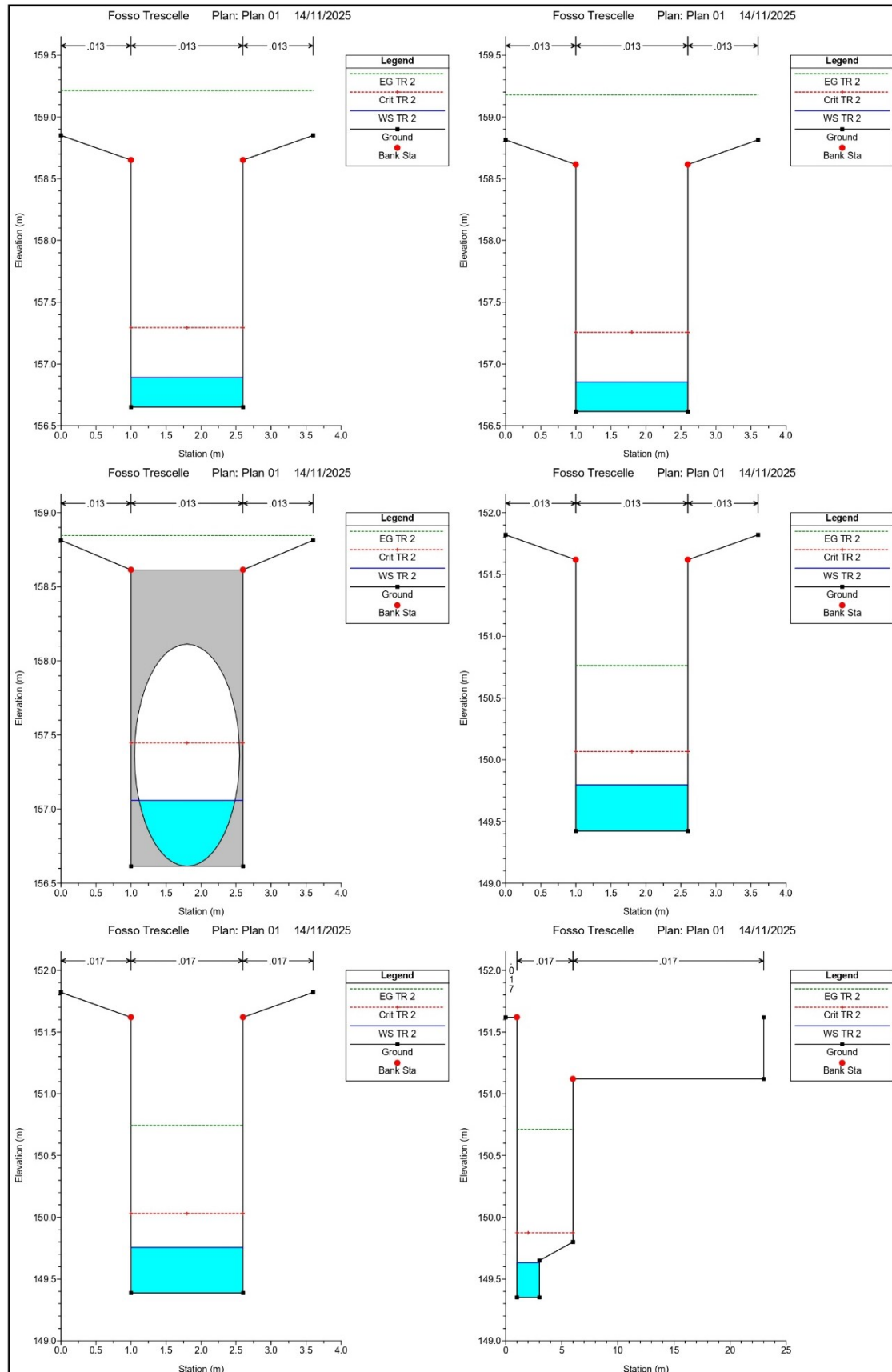
Il codice di calcolo permette di considerare anche gli effetti di ostruzione delle pile dei ponti durante gli eventi particolarmente intensi.

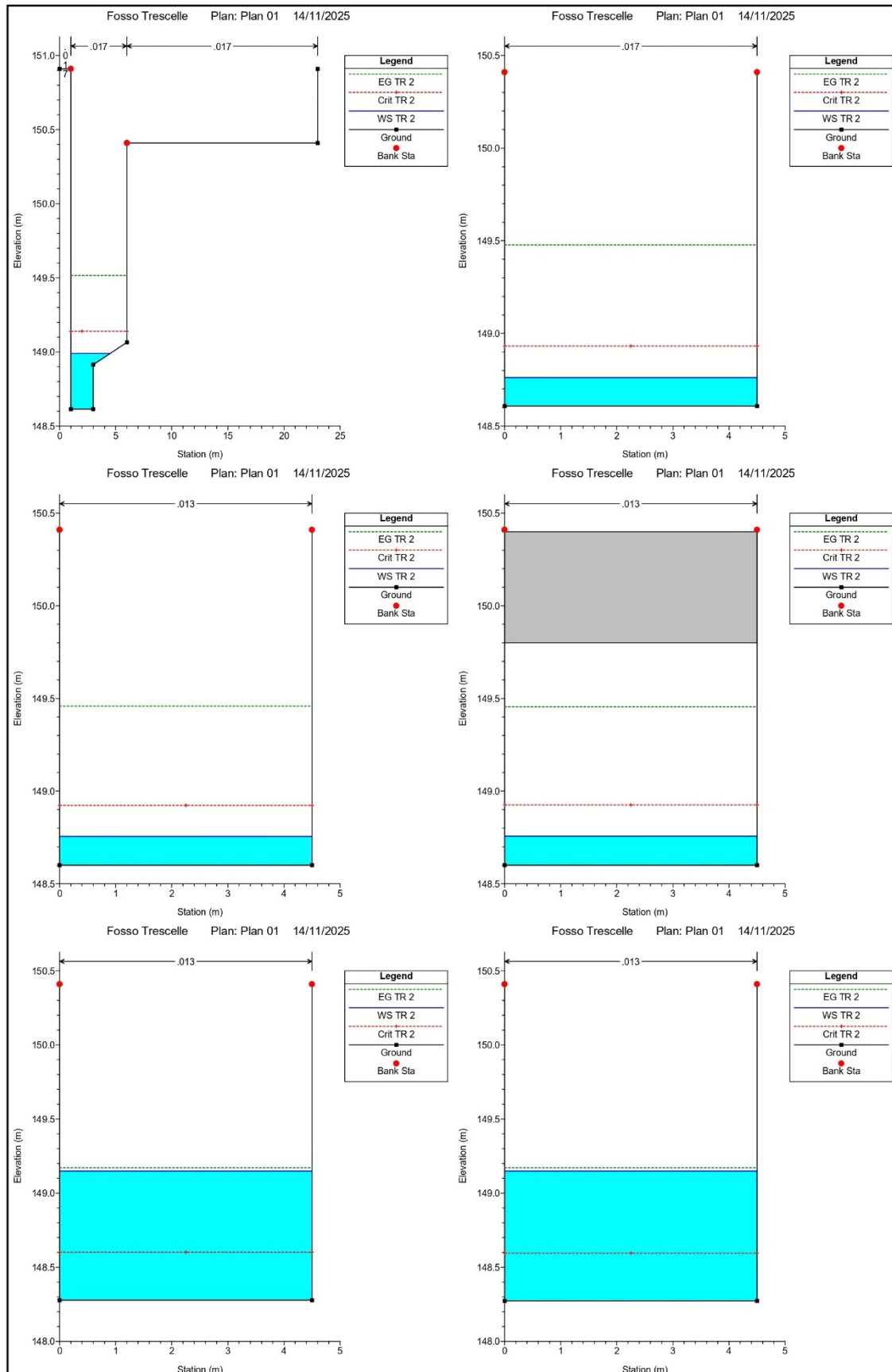
## APPENDICE N°2 – OUTPUT MODELLO IDRAULICO

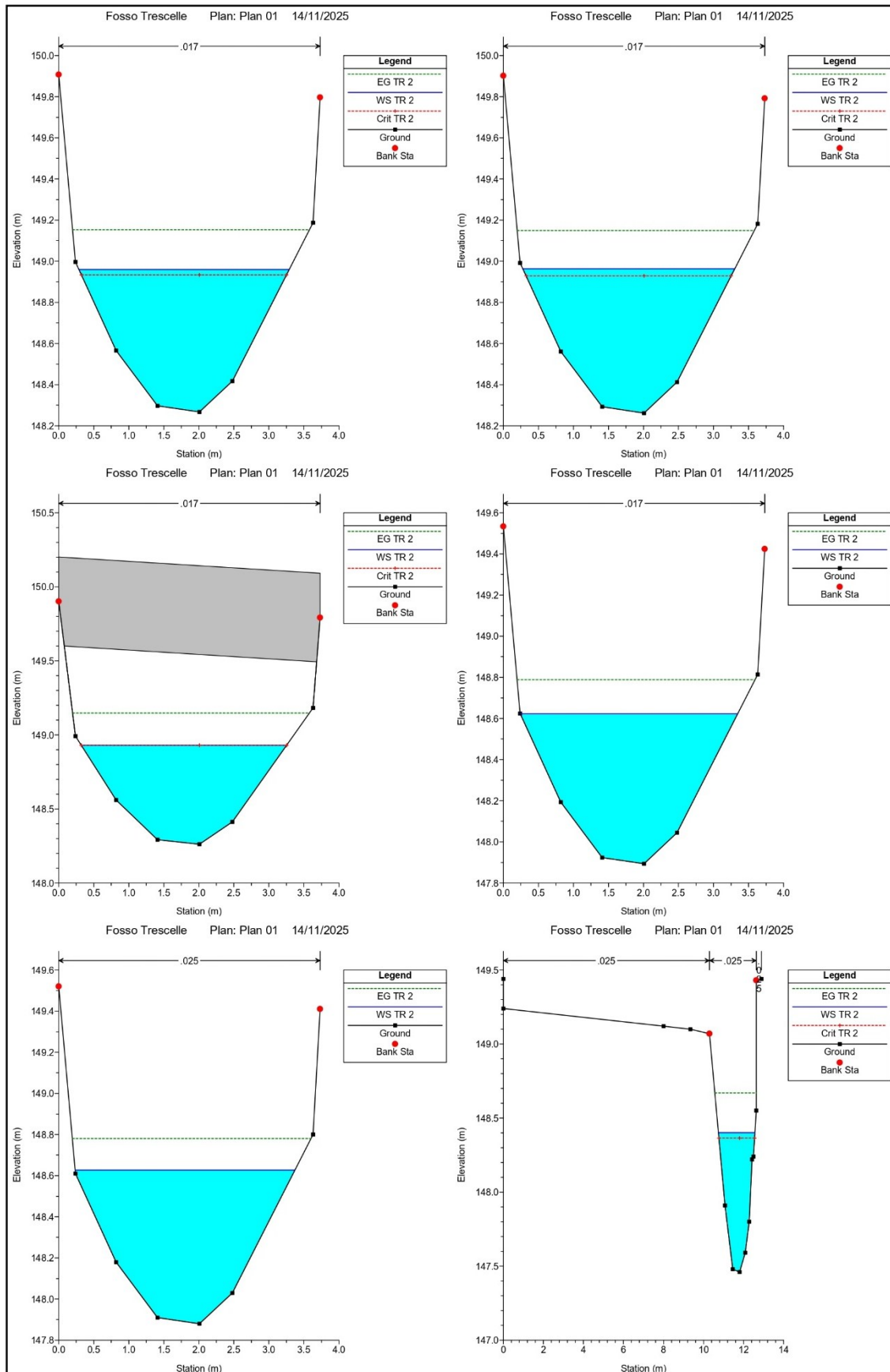
### Tempo di ritorno 2 anni

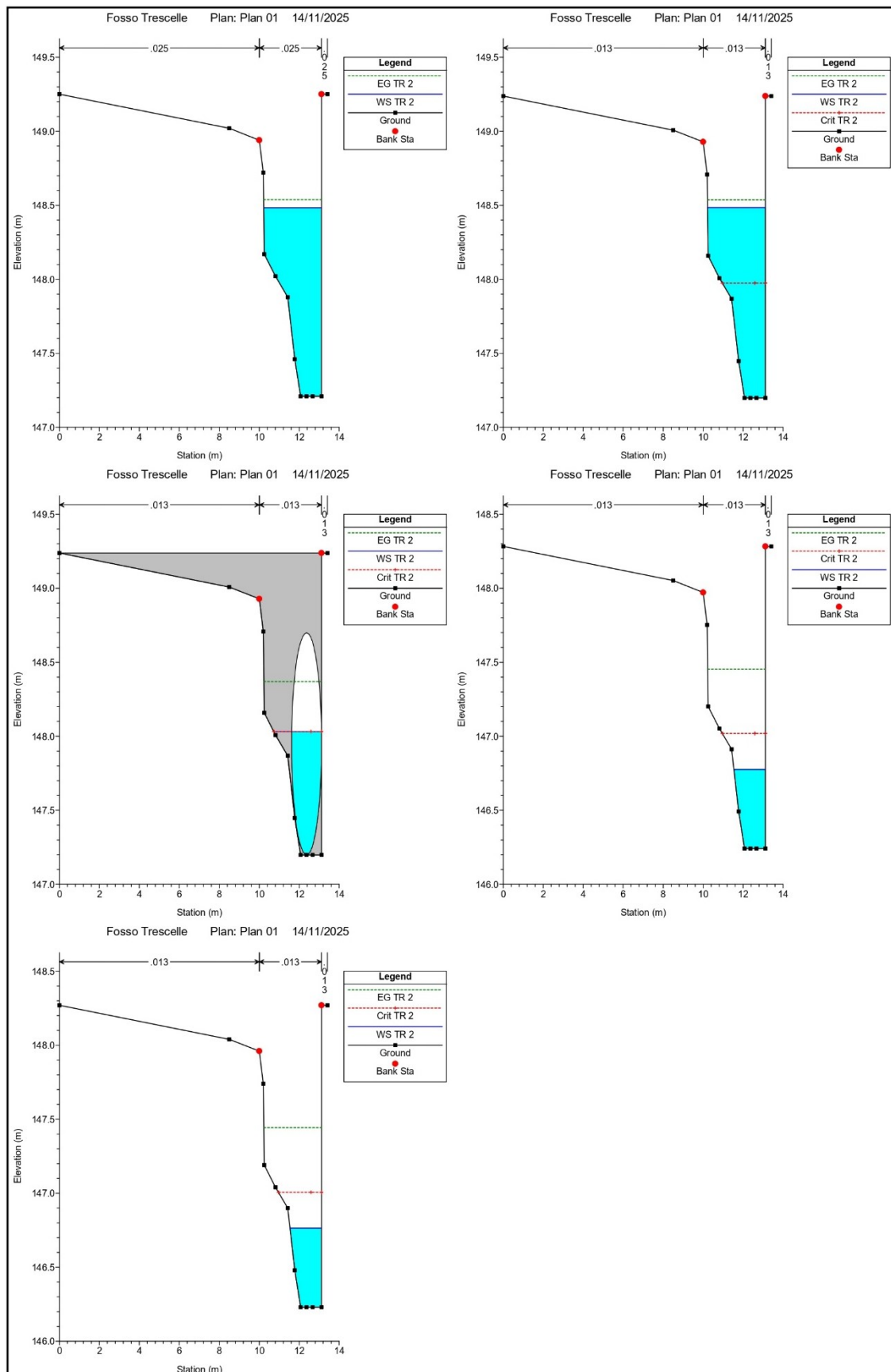


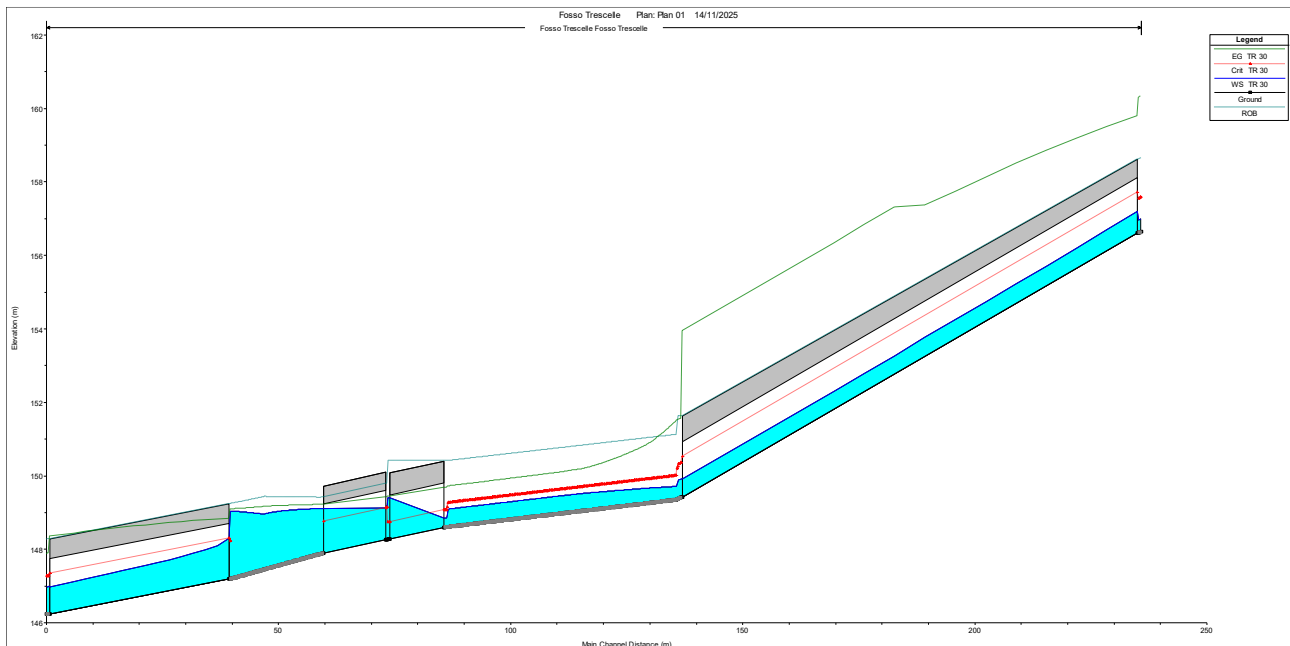
| HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Fosso Trescelle Reach: Fosso Trescelle Profile: TR 2 |           |         |                   |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| Reach                                                                             | River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
| Fosso Trescelle                                                                   | 300       | TR 2    | 2.60              | 156.65           | 156.89           | 157.29           | 159.21           | 0.073022            | 6.75              | 0.39              | 1.60             | 4.39         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 290       | TR 2    | 2.60              | 156.61           | 156.85           | 157.26           | 159.18           | 0.073125            | 6.75              | 0.38              | 1.60             | 4.40         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 250       |         | Culvert           |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                   | 220       | TR 2    | 2.60              | 149.42           | 149.80           | 150.07           | 150.76           | 0.019864            | 4.35              | 0.60              | 1.60             | 2.28         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 210       | TR 2    | 2.60              | 149.39           | 149.76           | 150.03           | 150.74           | 0.035073            | 4.40              | 0.59              | 1.60             | 2.31         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 200       | TR 2    | 2.60              | 149.35           | 149.63           | 149.87           | 150.71           | 0.045984            | 4.60              | 0.57              | 2.00             | 2.76         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 100       | TR 2    | 2.60              | 148.62           | 148.99           | 149.14           | 149.52           | 0.026742            | 3.21              | 0.81              | 3.52             | 2.14         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 90        | TR 2    | 2.60              | 148.61           | 148.76           | 148.93           | 149.48           | 0.053596            | 3.75              | 0.69              | 4.50             | 3.05         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 80        | TR 2    | 2.60              | 148.60           | 148.76           | 148.92           | 149.46           | 0.030403            | 3.71              | 0.70              | 4.50             | 3.00         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 75        |         | Bridge            |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                   | 64        | TR 2    | 2.60              | 148.28           | 149.15           | 148.60           | 149.17           | 0.000138            | 0.66              | 3.92              | 4.50             | 0.23         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 63        | TR 2    | 2.60              | 148.27           | 149.15           | 148.60           | 149.17           | 0.000136            | 0.66              | 3.94              | 4.50             | 0.23         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 62        | TR 2    | 2.60              | 148.27           | 148.96           | 148.93           | 149.15           | 0.003801            | 1.95              | 1.33              | 3.00             | 0.93         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 61        | TR 2    | 2.60              | 148.26           | 148.96           | 148.93           | 149.15           | 0.003616            | 1.92              | 1.36              | 3.02             | 0.91         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 60.5      |         | Bridge            |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                   | 60        | TR 2    | 2.60              | 147.89           | 148.62           |                  | 148.79           | 0.003061            | 1.80              | 1.44              | 3.10             | 0.84         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 50        | TR 2    | 2.60              | 147.88           | 148.63           |                  | 148.78           | 0.005931            | 1.73              | 1.50              | 3.14             | 0.80         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 40        | TR 2    | 2.60              | 147.46           | 148.40           | 148.37           | 148.67           | 0.011024            | 2.29              | 1.13              | 1.82             | 0.93         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 30        | TR 2    | 2.60              | 147.21           | 148.48           |                  | 148.54           | 0.001594            | 1.04              | 2.51              | 2.90             | 0.36         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 25        | TR 2    | 2.60              | 147.20           | 148.48           | 147.97           | 148.54           | 0.000414            | 1.02              | 2.54              | 2.90             | 0.35         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 20        |         | Culvert           |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                   | 15        | TR 2    | 2.60              | 146.24           | 146.78           | 147.02           | 147.45           | 0.010926            | 3.64              | 0.71              | 1.58             | 1.73         |
| Fosso Trescelle                                                                   | 10        | TR 2    | 2.60              | 146.23           | 146.76           | 147.01           | 147.44           | 0.010969            | 3.65              | 0.71              | 1.58             | 1.73         |



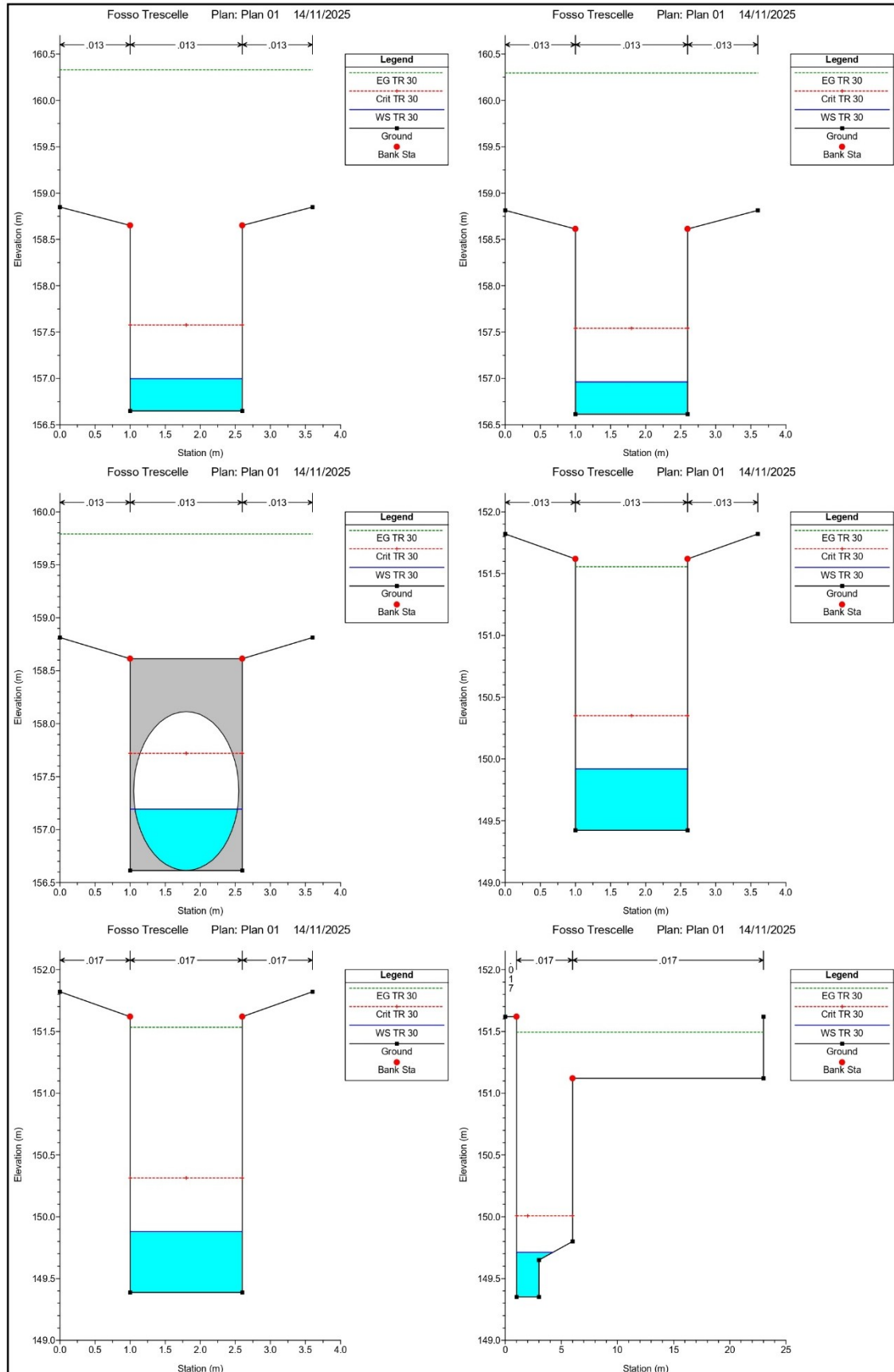


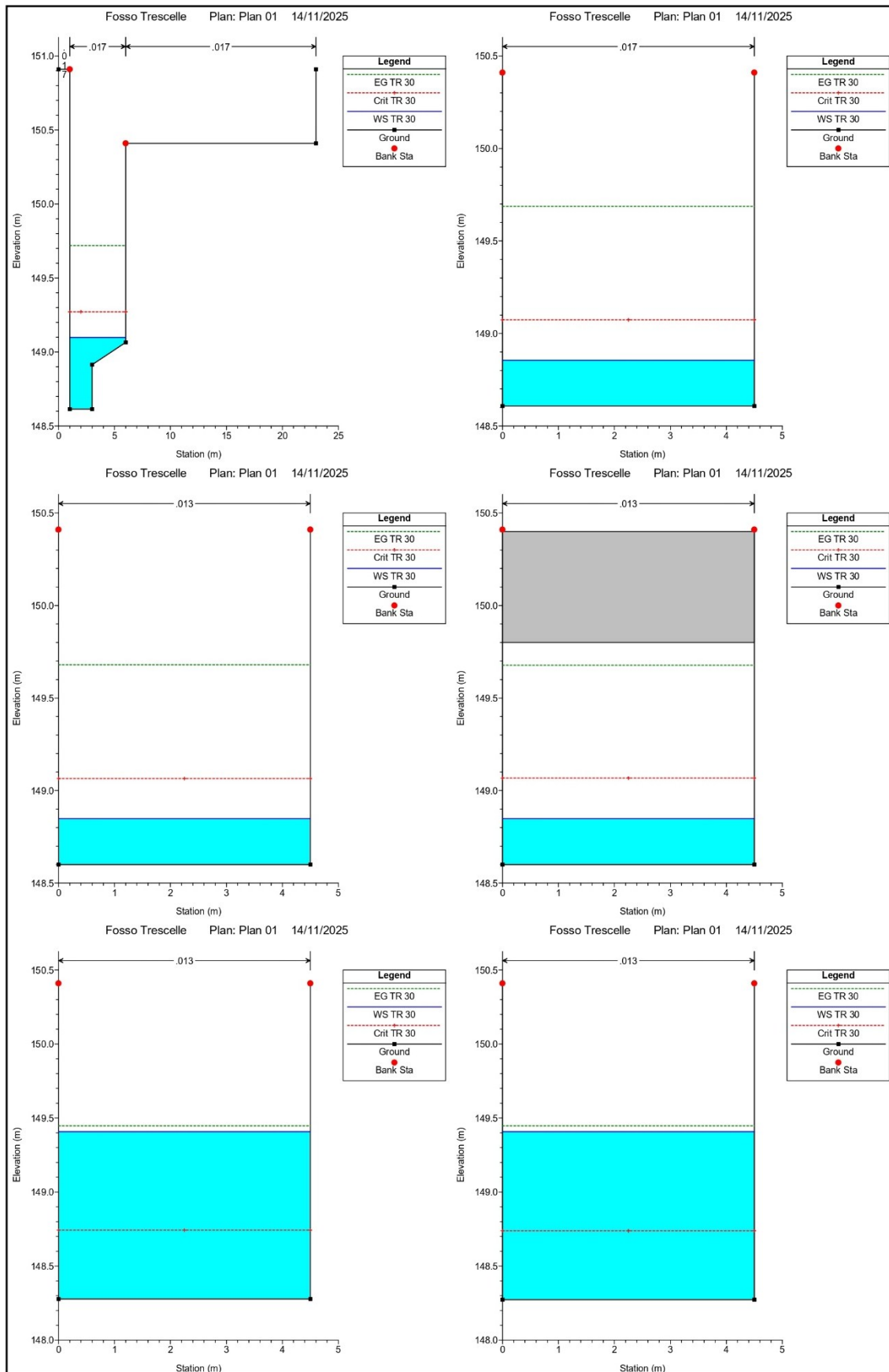


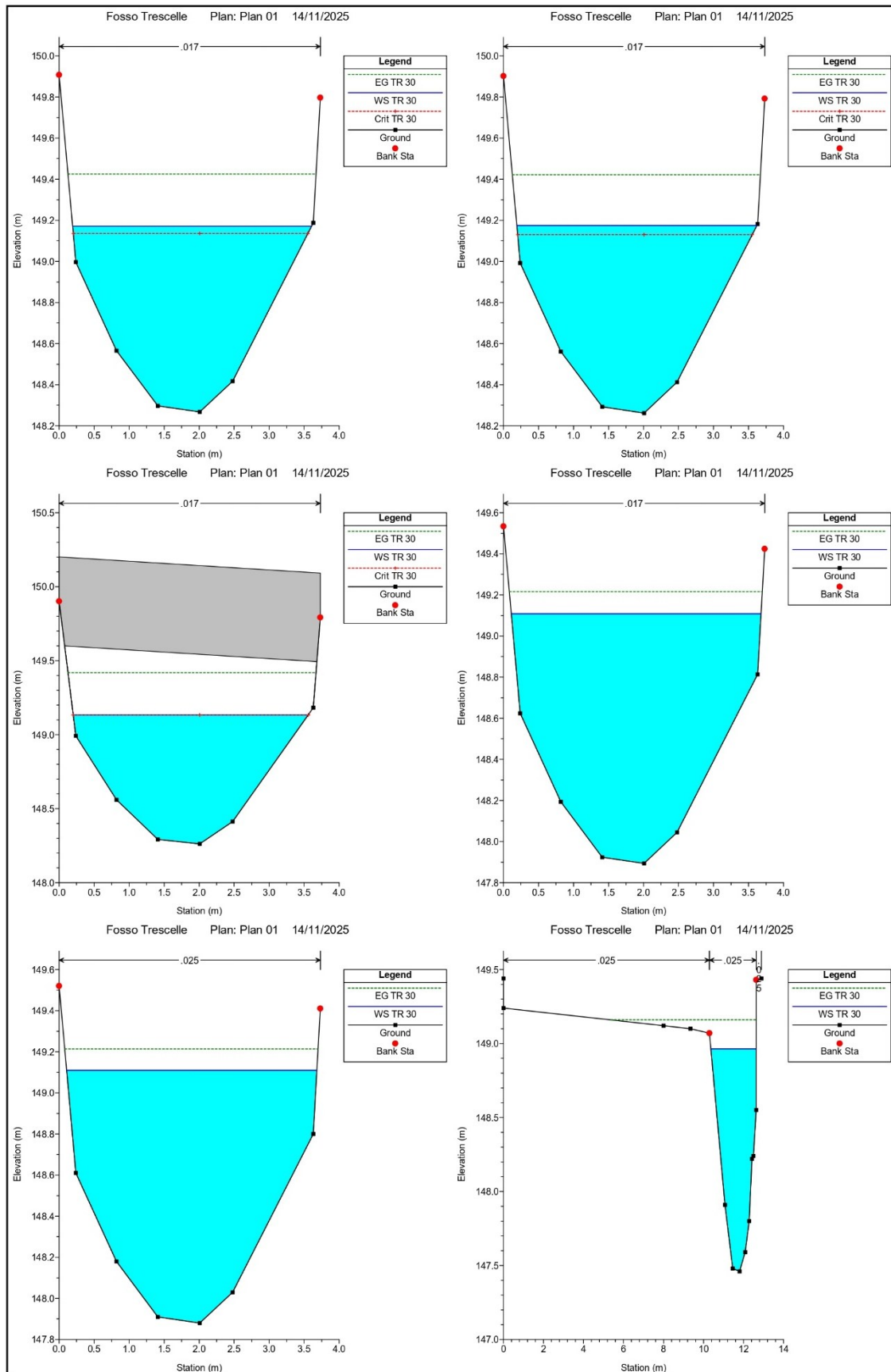


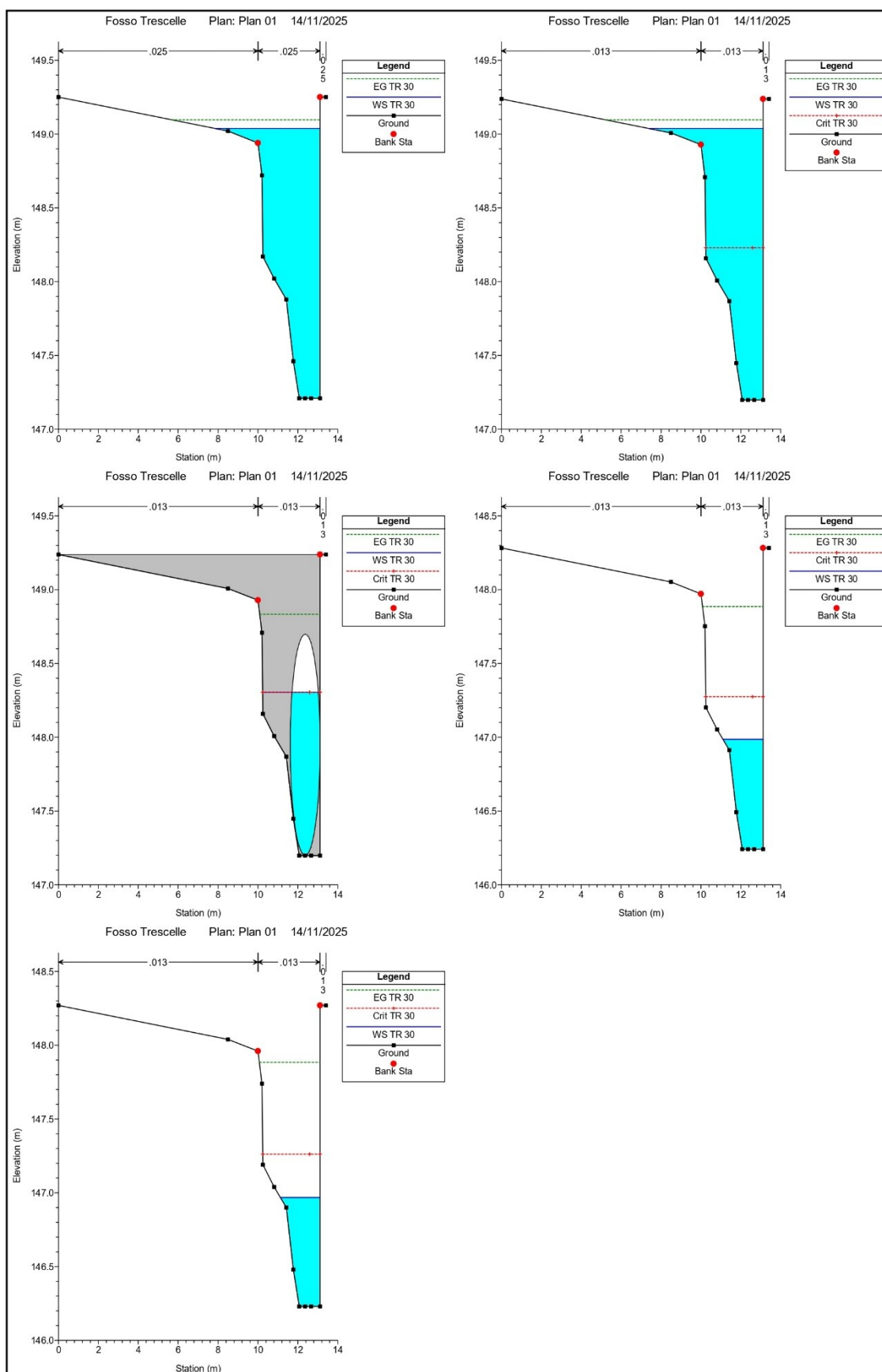
**Tempo di ritorno 30 anni**

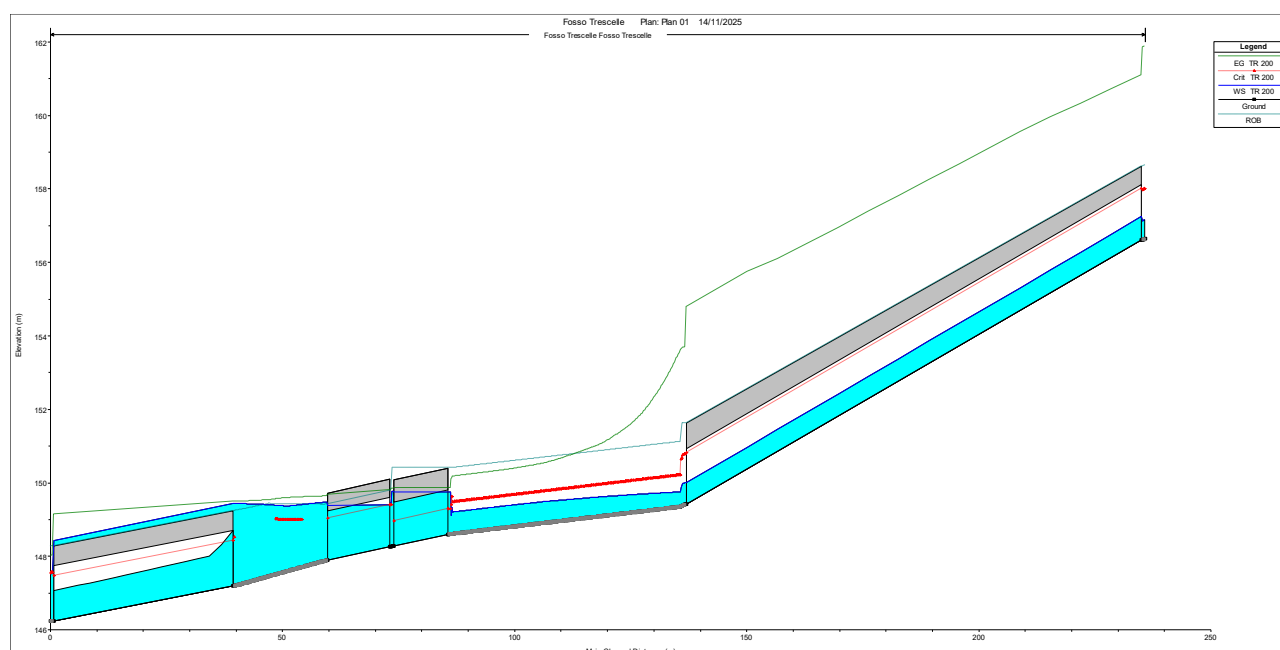
| HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Fosso Trescelle Reach: Fosso Trescelle Profile: TR 30 |           |         |                   |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| Reach                                                                              | River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
| Fosso Trescelle                                                                    | 300       | TR 30   | 4.50              | 156.65           | 157.00           | 157.58           | 160.33           | 0.073017            | 8.08              | 0.56              | 1.60             | 4.38         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 290       | TR 30   | 4.50              | 156.61           | 156.96           | 157.54           | 160.30           | 0.073131            | 8.09              | 0.56              | 1.60             | 4.38         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 250       |         | Culvert           |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                    | 220       | TR 30   | 4.50              | 149.42           | 149.92           | 150.35           | 151.56           | 0.026292            | 5.67              | 0.79              | 1.60             | 2.57         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 210       | TR 30   | 4.50              | 149.39           | 149.88           | 150.31           | 151.53           | 0.045566            | 5.69              | 0.79              | 1.60             | 2.59         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 200       | TR 30   | 4.50              | 149.35           | 149.71           | 150.01           | 151.49           | 0.089010            | 5.91              | 0.76              | 3.23             | 3.89         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 100       | TR 30   | 4.50              | 148.62           | 149.10           | 149.27           | 149.72           | 0.026309            | 3.49              | 1.29              | 5.00             | 2.20         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 90        | TR 30   | 4.50              | 148.61           | 148.86           | 149.07           | 149.69           | 0.034833            | 4.04              | 1.11              | 4.50             | 2.59         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 80        | TR 30   | 4.50              | 148.60           | 148.85           | 149.07           | 149.68           | 0.020370            | 4.04              | 1.11              | 4.50             | 2.59         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 75        |         | Bridge            |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                    | 64        | TR 30   | 4.50              | 148.28           | 149.41           | 148.74           | 149.45           | 0.000194            | 0.89              | 5.08              | 4.50             | 0.27         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 63        | TR 30   | 4.50              | 148.27           | 149.41           | 148.74           | 149.45           | 0.000191            | 0.88              | 5.11              | 4.50             | 0.26         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 62        | TR 30   | 4.50              | 148.27           | 149.17           | 149.14           | 149.43           | 0.003594            | 2.23              | 2.02              | 3.41             | 0.93         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 61        | TR 30   | 4.50              | 148.26           | 149.17           | 149.13           | 149.42           | 0.003459            | 2.20              | 2.04              | 3.43             | 0.91         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 60.5      |         | Bridge            |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                    | 60        | TR 30   | 4.50              | 147.89           | 149.11           |                  | 149.22           | 0.001047            | 1.45              | 3.10              | 3.57             | 0.50         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 50        | TR 30   | 4.50              | 147.88           | 149.11           |                  | 149.21           | 0.002154            | 1.43              | 3.15              | 3.57             | 0.48         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 40        | TR 30   | 4.50              | 147.46           | 148.96           |                  | 149.16           | 0.005109            | 1.96              | 2.30              | 2.27             | 0.62         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 30        | TR 30   | 4.50              | 147.21           | 149.04           |                  | 149.10           | 0.001146            | 1.08              | 4.26              | 5.28             | 0.30         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 25        | TR 30   | 4.50              | 147.20           | 149.04           | 148.23           | 149.10           | 0.000300            | 1.07              | 4.33              | 5.75             | 0.29         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 20        |         | Culvert           |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                    | 15        | TR 30   | 4.50              | 146.24           | 146.99           | 147.28           | 147.89           | 0.012049            | 4.20              | 1.07              | 2.01             | 1.84         |
| Fosso Trescelle                                                                    | 10        | TR 30   | 4.50              | 146.23           | 146.97           | 147.26           | 147.88           | 0.012267            | 4.24              | 1.06              | 1.99             | 1.85         |









**Tempo di ritorno 200 anni**

| HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Fosso Trescelle Reach: Fosso Trescelle Profile: TR 200 |           |         |                   |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| Reach                                                                               | River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
| Fosso Trescelle                                                                     | 300       | TR 200  | 8.00              | 156.65           | 157.17           | 158.01           | 161.89           | 0.073034            | 9.62              | 0.83              | 1.60             | 4.26         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 290       | TR 200  | 8.00              | 156.61           | 157.13           | 157.98           | 161.86           | 0.073048            | 9.62              | 0.83              | 1.60             | 4.26         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 250       |         | Culvert           |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                     | 220       | TR 200  | 8.00              | 149.42           | 150.01           | 150.78           | 153.70           | 0.051825            | 8.51              | 0.94              | 1.60             | 3.55         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 210       | TR 200  | 8.00              | 149.39           | 149.97           | 150.75           | 153.67           | 0.088725            | 8.51              | 0.94              | 1.60             | 3.55         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 200       | TR 200  | 8.00              | 149.35           | 149.76           | 150.21           | 153.60           | 0.197593            | 8.69              | 0.92              | 4.10             | 5.85         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 100       | TR 200  | 8.00              | 148.62           | 149.21           | 149.48           | 150.18           | 0.026951            | 4.36              | 1.83              | 5.00             | 2.30         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 90        | TR 200  | 8.00              | 148.61           | 149.75           | 149.29           | 149.87           | 0.001023            | 1.56              | 5.12              | 4.50             | 0.47         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 80        | TR 200  | 8.00              | 148.60           | 149.75           | 149.28           | 149.87           | 0.000585            | 1.55              | 5.16              | 4.50             | 0.46         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 75        |         | Bridge            |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                     | 64        | TR 200  | 8.00              | 148.28           | 149.77           |                  | 149.85           | 0.000275            | 1.19              | 6.73              | 4.50             | 0.31         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 63        | TR 200  | 8.00              | 148.27           | 149.77           |                  | 149.85           | 0.000273            | 1.18              | 6.75              | 4.50             | 0.31         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 62        | TR 200  | 8.00              | 148.27           | 149.46           | 149.41           | 149.82           | 0.003557            | 2.65              | 3.02              | 3.56             | 0.92         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 61        | TR 200  | 8.00              | 148.26           | 149.46           | 149.40           | 149.81           | 0.003462            | 2.62              | 3.05              | 3.56             | 0.91         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 60.5      |         | Bridge            |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                     | 60        | TR 200  | 8.00              | 147.89           | 149.47           |                  | 149.64           | 0.001239            | 1.81              | 4.41              | 3.71             | 0.53         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 50        | TR 200  | 8.00              | 147.88           | 149.47           |                  | 149.63           | 0.002584            | 1.79              | 4.47              | 3.72             | 0.52         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 40        | TR 200  | 8.00              | 147.46           | 149.41           |                  | 149.53           | 0.002976            | 1.75              | 5.87              | 12.64            | 0.47         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 30        | TR 200  | 8.00              | 147.21           | 149.44           |                  | 149.49           | 0.000926            | 1.13              | 8.76              | 13.41            | 0.27         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 25        | TR 200  | 8.00              | 147.20           | 149.44           | 148.52           | 149.49           | 0.000238            | 1.10              | 8.94              | 13.41            | 0.27         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 20        |         | Culvert           |                  |                  |                  |                  |                     |                   |                   |                  |              |
| Fosso Trescelle                                                                     | 15        | TR 200  | 8.00              | 146.24           | 147.56           | 147.56           | 148.03           | 0.003481            | 3.02              | 2.65              | 2.90             | 1.01         |
| Fosso Trescelle                                                                     | 10        | TR 200  | 8.00              | 146.23           | 147.53           | 147.55           | 148.02           | 0.003713            | 3.09              | 2.59              | 2.90             | 1.04         |

