

**A90 Svincolo Tiburtina:
Intervento di potenziamento dallo svincolo
"Centrale del Latte" allo svincolo A24
2ª fase funzionale**

PROGETTO DEFINITIVO

COD. RM105

PROGETTAZIONE:

R.T.I.: PROGIN S.p.A. (capogruppo mandataria)
CREW Cremonesi Workshop S.r.l - TECNOSISTEM S.p.A
ART Risorse Ambiente Territorio S.r.l - ECOPLAME S.r.l.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



Direttore Tecnico:

Dott. Ing. Lorenzo INFANTE

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giovanni CARRA (ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l.)

MANDANTI:



Direttore Tecnico:
Dott. Arch. Claudio TURRINI



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Andrea AVETA

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Ivo FRESIA



Direttore Tecnico:
Dott. Arch. Pasquale PISANO

PROTOCOLLO

DATA

_____ 202_

IDROLOGIA ED IDRAULICA

IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA

Relazione idraulica

CODICE PROGETTO

D P R M 1 0 5 D 2 0

NOME FILE

T00ID01IDRRE01_A

REVISIONE

SCALA:

CODICE
ELAB.

T 0 0 I D 0 1 I D R R E 0 1

A

-

A

Prima emissione

06/2021

Benassi

Malcotti

Infante

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	1
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
2.1	Il Piano di Stralcio per l’assetto Idrogeologico (PSAI)	3
2.2	Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni	5
2.3	Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni -II ciclo 2016-2021	7
3	FOSSO DI PRATOLUNGO: ANALISI IDRAULICA MONODIMENSIONALE	9
3.1	Inquadramento idraulico del territorio	9
3.2	Modellazione monodimensionale	10
3.2.1	Allestimento e calibrazione dei modelli idraulici	10
3.2.2	Condizioni al contorno e definizione della scabrezza	13
3.2.3	Scenari di verifica idraulica	15
3.3	Analisi dei risultati	17
3.3.1	Scenario “Stato di fatto in assenza di laminazione”	17
3.3.2	Scenario “Stato di fatto con laminazione”	18
3.3.3	Scenario “Progetto con laminazione”	20
3.3.4	Sintesi numerica dei risultati	22
4	FIUME ANIENE: ANALISI IDRAULICA BIDIMENSIONALE	23
4.1	Inquadramento idraulico del territorio	23
4.2	Modellazione bidimensionale	24
4.2.1	Allestimento del modello idrodinamico	24
4.2.1.1	Definizione del tratto di corso d’acqua simulato	24
4.2.1.2	Costruzione della griglia di calcolo	25
4.2.1.3	Condizioni al contorno	31
4.2.1.4	Definizione della scabrezza	32
4.2.2	Scenari di verifica idraulica	32
4.2.2.1	Analisi degli scenari simulati	33
4.2.3	Analisi delle iterazioni tra corrente e strutture	39

4.2.3.1	Franco idraulico	39
4.2.3.2	Fenomeni di scalzamento	40

5 CONCLUSIONI **44**

ALLEGATO I Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS

ALLEGATO II Risultati delle simulazioni idrodinamiche monodimensionali

1 PREMESSA

La presente relazione illustra lo studio idraulico dei corsi d'acqua redatto nell'ambito del Progetto Definitivo di potenziamento dell'Autostrada A90 (Grande Raccordo Anulare - GRA) dallo svincolo Centrale del Latte allo svincolo A24, in Roma.

Il tracciato, avente circa 2.5 km di estensione, ripercorre l'attuale sede stradale, andando ad allargare il corpo rilevato esistente secondo le necessità trasportistiche previste in un ambito territoriale già densamente antropizzato.

Le interferenze idrografiche del tracciato sono pertanto corrispondenti a quelle già individuate dagli attuali attraversamenti esistenti: il fiume Aniene e il Fosso di Pratolungo. Oltre ai due corsi d'acque principali, non sono presenti altri rii, se non dei fossi nella piana di Pratolungo riconducibili al sistema di bonifica del territorio, a cui nel progetto si garantirà necessaria continuità.

Le caratteristiche dei fiumi e fossi interessati sono tipici dei corsi d'acqua che scorrono in zone pianeggianti a velocità relativamente modeste, tuttavia, a causa di una generalizzata disorganizzazione antropica, il territorio interessato dal presenta un elevato rischio idraulico: il quartiere tra San Basilio e via Tiburtina è infatti soggetto a frequenti allagamenti, riconducibili sia all'inefficienza della rete di drenaggio fognaria sia alle portate defluite dal Fosso di Pratolungo o per innalzamento dei livelli dell'Aniene.

Questo grado di rischio idraulico è in parte mitigato dalla presenza di un argine lungo l'Aniene integrato, presso la confluenza Pratolungo-Aniene, da un impianto di sollevamento con paratoie: tali opere non sono state ritenute sufficienti a salvaguardare il territorio, tanto che è prevista la costruzione di una cassa di laminazione proprio sul Fosso di Pratolungo. La cassa di laminazione è un intervento di messa in sicurezza del territorio posto a valle di essa, garantendo portate defluite, e quindi allagamenti conseguenti, ampiamente ridotte rispetto alle attuali. Di tale intervento ne beneficerà pertanto anche il GRA, essendo la strada posta circa 600 m a valle del manufatto di laminazione.

L'inquadramento normativo connesso alle attività idrauliche consente di poter delimitare i vincoli attorno ai quali costruire/inserire il progetto: nel quadro complessivo, si pone particolare attenzione alle norme definite dal Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale (PAI e Direttiva Alluvioni), nonché alle norme tecniche delle costruzioni NTC2018.

Lo studio idrologico ha previsto la preliminare definizione del reticolo idrografico: il reticolo ufficiale è stato acquisito attraverso i sistemi informativi territoriali della regione Lazio e verificato sia con carta IGM 25.000 che mediante CTR 10.000. Alla data di stesura del presente documento l'area stradale e le fasce adiacenti risultano interamente coperta dal rilievo Lidar ministeriale MATTM DTM 1x1 m, appositamente acquisito.

Definito il reticolo, sono state individuate le interferenze con le opere stradali esistenti e in progetto, oltre ai bacini ad esse sottesi (Corografia). Il progetto di potenziamento prevede la realizzazione di tre nuove opere d'arte principali:

- il ponte sul fiume Aniene per lo scavalco della complanare esterna;

- il ponte sul fiume Aniene per lo scavalco della complanare interna;
- il prolungamento del ponte sul Fosso di Pratolungo.

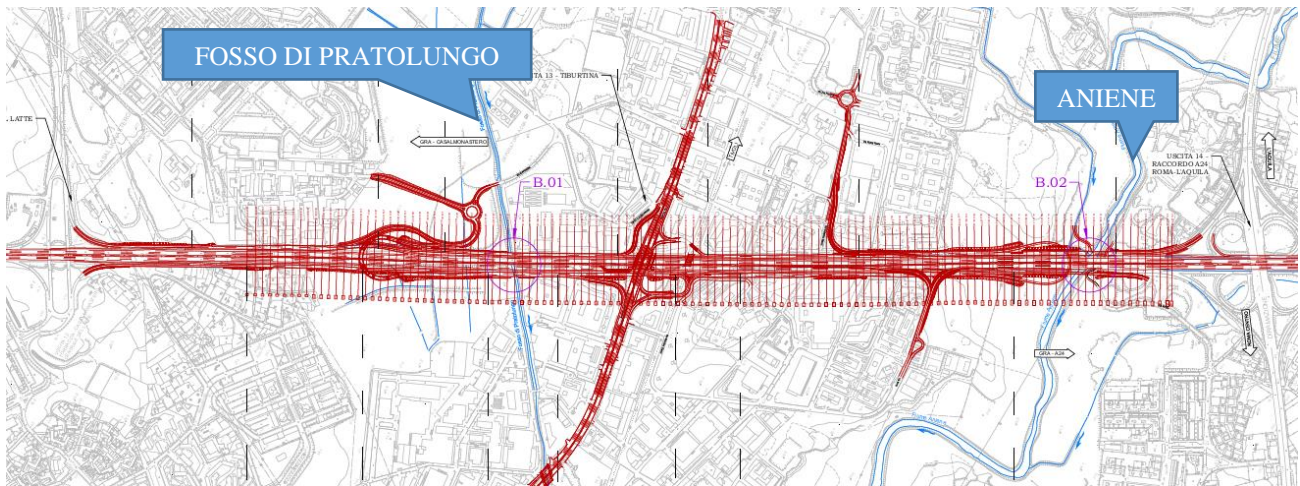


Figura 1: Interferenze idrografiche: Aniene e Fosso di Pratolungo

Tabella 1: Corsi d’acqua interferenti.

Bacino ID	NOME	Progr.	Note
B01	Fosso di Pratolungo	29+500	
<i>B01</i>	<i>Fosso di Pratolungo</i>	29+500	<ol style="list-style-type: none"> 1. - Valore di portata al colmo in uscita dal manufatto regolatore della cassa di laminazione 2. Allungamento del ponte esistente a valle
B02 -	Fiume Aniene	31+040	Due nuovi ponti: uno su complanare esterna e uno su complanare interna. Il ponte esistente sul GRA viene mantenuto.

La relazione, accompagnata dagli allegati tabellari e cartografici, sviluppa pertanto le verifiche idrauliche dei due corsi d’acqua principali mediante modellistica numerica in configurazione ANTE e POST OPERAM.

Preme evidenziare che il Fosso di Pratolungo è stato idraulicamente verificato anche in condizione di assenza/presenza dello strategico intervento di difesa del territorio, ovvero la Cassa di Laminazione prevista dalla Regione Lazio: l’intervento metterà in sicurezza la vasta zona antropica di S. Basilio, nonché il sistema viabilistico presente, tra cui il GRA stesso.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le analisi sono state svolte nel rispetto della seguente normativa regionale e nazionale:

- R.D. n. 523 del 1904 e ss.mm.ii.
- D.Lgs. n. 152 del 2006
- D.M. 11.03.1988 e Circolare 9.1.1996 n.218/24/3 del Ministero LL.PP.
- Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 06/06/2001 - "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"
- D.M. 14.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni e successive circolari

Per quanto riguarda la pianificazione vigente, i riferimenti sono costituiti da:

- Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere (approvato il 10 novembre 2006)
- Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere – Primo Aggiornamento PAI bis (approvato con DPCM il 10 aprile 2013)
- Aggiornamento del PAI bis con Decreto Segretariale ai sensi dell'art. 43, comma 5 delle NTA: Decreto Segretariale n. 32/2015 dell'8 giugno 2015 - Definizione aree a rischio territorio della provincia di Roma - fiumi Tevere, Aniene e corsi d'acqua secondari ("Studio idrologico ed idraulico bidimensionale per l'aggiornamento del Piano di Assetto Idrogeologico del reticolo principale e secondario per l'area di Roma Capitale". - Prof. Remedia, prof. Nardi. – 2014). Tale studio è stato condotto nell'ambito della convenzione stipulata il 27/06/2011 tra Roma Capitale e l'Autorità di bacino del fiume Tevere finalizzato all'aggiornamento del Piano Stralcio dell'Area Metropolitana - PS5.)
- Piano Stralcio per il tratto metropolitano del Tevere da Castel Giubileo alla foce – PS5 (approvato con D. P. C. M. del 3 Marzo 2009)
- Primo Aggiornamento del Piano Stralcio per il tratto metropolitano del Tevere da Castel Giubileo alla foce – PS5 (approvato con D. P. C. M. del 10 aprile 2013)
- Piano di Gestione Rischio di Alluvioni del Distretto idrografico Appennino Centrale PGRA DAC (adottato il 17 dicembre 2015 con deliberazione n. 6 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, e approvato con Delibera n°9 del Comitato Istituzionale Integrato del 3 marzo 2016)
- Il ciclo Piano di Gestione Rischio Alluvioni. Primo aggiornamento. (Adottato con delibera n. 24 del 29 dicembre 2020, ai sensi degli artt. 65 e 66 del D. Lgs. 152 del 2006).

2.1 Il Piano di Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PSAI)

Il territorio in cui ricade il progetto in esame è collocato nel bacino idrografico competente all'ex Autorità di Bacino del fiume Tevere, che ha redatto la prima elaborazione del Piano di Bacino, adottato dal Comitato istituzionale con Delibera n. 80 del 28/9/1999.

Lo strumento pianificatore del Piano di Bacino viene introdotto nel nostro ordinamento con la legge n. 183/89 e costituisce il primo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Il PAI si configura come lo strumento di pianificazione territoriale attraverso il quale l’Autorità di Bacino si propone di determinare un assetto territoriale che assicuri condizioni di equilibrio e compatibilità tra le dinamiche idrogeologiche e la crescente antropizzazione del territorio, e di ottenere la messa in sicurezza degli insediamenti ed infrastrutture esistenti e lo sviluppo compatibile delle attività future.

Costituendo una premessa alle scelte di pianificazione territoriale, il Piano individua i meccanismi di azione, l’intensità, la localizzazione dei fenomeni estremi e la loro interazione con il territorio classificati in livelli di pericolosità e di rischio. Il PAI persegue il miglioramento dell’assetto idrogeologico del bacino attraverso interventi strutturali (a carattere preventivo e per la riduzione del rischio) e disposizioni normative per la corretta gestione del territorio, la prevenzione di nuove situazioni di rischio, l’applicazione di misure di salvaguardia in casi di rischio accertato. Ciò secondo tre linee di attività:

- il rischio idraulico (aree inondabili delle piane alluvionali),
- il rischio geologico (dissesti di versante e movimenti gravitativi),
- l’efficienza dei bacini montani in termini di difesa idrogeologica.

La pianificazione di bacino, inizialmente svolta dalle ex Autorità di Bacino, con l’avvento della Direttiva 2007/60/CE è stata ripresa ed integrata dall’Autorità di Distretto. Pertanto, le azioni intraprese per la stesura delle “mappe di pericolosità e rischio” in fase di PGRA sono state finalizzate all’aggiornamento, omogeneizzazione e valorizzazione dei PAI vigenti (parte alluvioni) al fine di raggiungere un primo livello comune in ambito nazionale.

Nella Figura 2 seguente è riportato, per la zona d’interesse progettuale, un estratto cartografico delle fasce fluviali e zone di rischio definite dal primo aggiornamento PAI approvato.

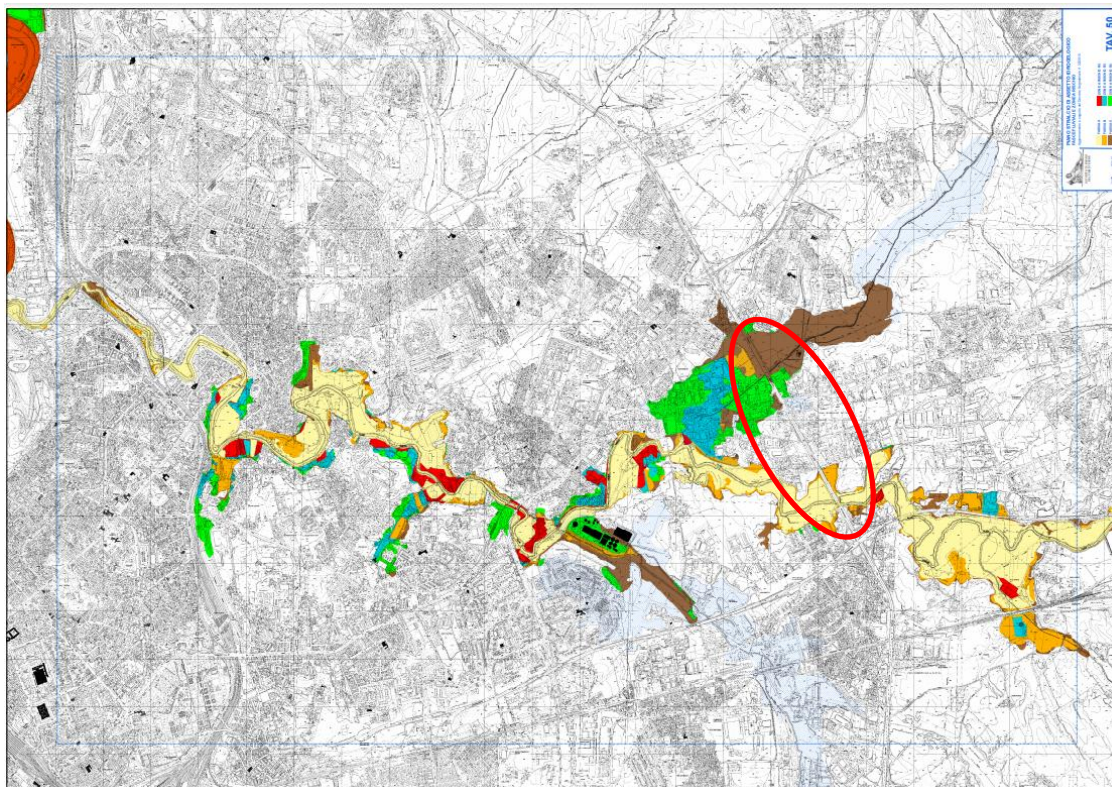


Figura 2: Carta delle fasce fluviali e zone a rischio dell’aggiornamento PSAI; in rosso l’ubicazione degli interventi

2.2 Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni

Il territorio interessato dal progetto ricade all'interno del perimetro di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.

Le Autorità di Bacino Distrettuali, dalla data di entrata in vigore del D.M. n. 294/2016, a seguito della soppressione delle Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali, esercitano le funzioni e i compiti in materia di difesa del suolo, tutela delle acque e gestione delle risorse idriche previsti in capo alle stesse dalla normativa vigente.

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, in base alle nuove norme, ha fatto proprie le attività di pianificazione e programmazione a scala di Bacino e di Distretto idrografico.

Attraverso il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (di seguito PGRA), adottato il 17 dicembre 2015 ai sensi dell'art. 4 c. 3 del D. Lgs 219/2010, sono stati recepiti gli indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE, relativi appunto alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni.

La Direttiva Alluvioni stabilisce che le mappe di pericolosità mostrino l'area geografica che può essere inondata in corrispondenza di tre diversi scenari di probabilità:

- a) scarsa probabilità o scenari di eventi estremi;
- b) media probabilità di alluvioni (tempo di ritorno ≥ 100 anni);
- c) elevata probabilità di alluvioni.

In corrispondenza di ciascuno scenario, gli stati membri devono fornire le informazioni sull'estensione delle alluvioni e sulla profondità o livello delle acque e dove opportuno sulle velocità del flusso o sulle portate.

Agli stati membri è, dunque, consentita una flessibilità nell'assegnazione dei valori di probabilità d'inondazione ai diversi scenari. A tale proposito il D.Lgs. 49/2010, attuativo della Direttiva Alluvioni, stabilisce che siano da considerarsi scenari di elevata probabilità o alluvioni frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 20 e 50 anni, mentre sono da considerarsi scenari di probabilità media o alluvioni poco frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 100 e 200 anni. Ne consegue che siano da considerarsi scenari di scarsa probabilità o scenari di eventi estremi, quelli corrispondenti a tempi di ritorno superiori a 200 anni.

Tabella 2: Definizione degli scenari alluvionali secondo il D.Lgs. 49/2010.

	T (anni)	PROBABILITÀ ACCADIMENTO	ALLUVIONI
P3	20-50	elevata	frequenti
P2	100-200	media	poco frequenti
P1	200-500	bassa	rare

In corrispondenza dei tratti in cui il reticolo presenta pericolosità, sono quindi stati definiti gli elementi soggetti a rischio (E) di essere colpiti da eventi calamitosi; tali elementi sono stati suddivisi in coerenza con la normativa vigente, secondo le seguenti classi:

Tabella 3: PGRA classi elementi a rischio (E).

Classe	Descrizione
E1	Case sparse - Impianti sportivi e ricreativi - Cimiteri - Insediamenti agricoli a bassa tecnologia - Insediamenti zootecnici.
E2	Reti e infrastrutture tecnologiche di secondaria importanza e/o a servizio di ambiti territoriali ristretti (acquedotti, fognature, reti elettriche, telefoniche, depuratori,...) - Viabilità secondaria (strade provinciali e comunali che non rappresentino vie di fuga) - Insediamenti agricoli ad alta tecnologia - Aree naturali protette, aree sottoposte a vincolo ai sensi del D. L.vo 490/99.
E3	Nuclei abitati - Ferrovie - Viabilità primaria e vie di fuga – Aree di protezione civile (attesa, ricovero e ammassamento) - Reti e infrastrutture tecnologiche di primaria importanza (reti elettriche e gasdotti) - Beni culturali, architettonici e archeologici sottoposti a vincolo - Insediamenti industriali e artigianali - Impianti D.P.R. 175/88.
E4	Centri abitati - Edifici pubblici di rilevante importanza (es. scuole, chiese, ospedali, ecc.).

In questo modo, posta cautelativamente la Vulnerabilità al massimo valore pari a 1, è stato possibile definire le diverse classi di rischio secondo l'usuale formula di Varnes:

$$R_i = P_i \cdot E \cdot V = P \cdot D_p$$

Dove:

- P (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
- E (elementi esposti): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
- V (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;
- D_p (danno potenziale): grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;
- R (rischio): numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

Le classi di rischio adottate nel PGRA conformi alla normativa in materia sono descritte nella seguente Tabella 4.

Tabella 4: PAI classi di rischio idraulico (R_i).

R1	RISCHIO MODERATO: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.
R2	RISCHIO MEDIO: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
R3	RISCHIO ELEVATO: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
R4	RISCHIO MOLTO ELEVATO: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

La redazione delle mappe di pericolosità del I ciclo di pianificazione (2011-2016) si è basata, essenzialmente, su quanto precedentemente svolto dall’Autorità di Bacino del fiume Tevere, aggiornando, integrando e omogenizzando i contenuti del Piano di Assetto Idrogeologico e nei suoi aggiornamenti.

Le fasce fluviali determinate dal PAI e dagli studi di aggiornamento sono state convertite, per raggiungere una rappresentazione coerente con quanto previsto nell’art. 6 del D.Lgs. 49/2010, attraverso il seguente criterio:

- fascia A - P3 (pericolosità elevata);
- fascia B -P2 (pericolosità media);
- fascia C - P1 (pericolosità bassa).

2.3 Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni -II ciclo 2016-2021

In data 29 dicembre 2020 è stato adottato il “progetto del primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni dell’Autorità di bacino distrettuale dell’Appennino Centrale – II ciclo (2016-2021)”, di cui all’art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e all’art. 7 del D.Lgs. 49/2010 del distretto idrografico, predisposto al fine degli adempimenti previsti dal comma 3 dell’art. 14, della Direttiva medesima.

In questa fase sono state definite nuove aree a potenziale rischio significativo sulla base degli esiti della precedente Valutazione Preliminare. Sono state quindi raccolte informazioni sulla localizzazione e sulle conseguenze avverse di eventi del passato, intercorsi a partire da dicembre 2011, e sono state integrate le informazioni già disponibili sugli scenari di eventi futuri, con quanto fornito da più recenti studi e analisi realizzati e/o acquisiti nel periodo successivo alla pubblicazione delle mappe di pericolosità del I ciclo di gestione.

Ai fini della mappatura di questo secondo ciclo di gestione sono state prese in considerazione le seguenti aree a potenziale rischio di alluvione:

1. Inviluppo delle aree a rischio idraulico derivanti dal primo ciclo di gestione;
2. Aree interessate da *past o future flood* qualora non ricomprese nelle aree di cui al punto 1;
3. Aree interessate da *past o future flood* che seppure ricomprese nelle aree di cui al punto 1 sono associate a scenari di evento di particolare interesse;
4. Aree coincidenti con bacini che mostrano una propensione al verificarsi di eventi alluvionali intensi ed improvvisi (*flash flood*);
5. Aree costiere.

Partendo dalle indicazioni fornite dal D.Lgs. 49/2010, nel Bacino del fiume Tevere per le alluvioni di origine fluviale, i tempi di ritorno attribuiti agli scenari di probabilità variano tra 50 anni e 100 anni per P3, tra 100 anni e 200 anni per P2 e tra 200 anni e 500 anni per P1.

Le mappe di inondazione sono elaborate in scala 1:10.000 e contengono il limite che raggiungerebbero le acque dei fiumi in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno.

Dalla consultazione delle cartografie del Piano, di cui si riporta in Figura 3 l’ultima versione dell’aggiornamento, si osserva come gli interventi progettuali ricadano all’interno di aree a cui sono associate le perimetrazioni di pericolosità idraulica definite per il fiume Aniene e per il Fosso di Pratolungo.

Oltre alle fasce P1, P2 e P3, già presenti nelle cartografie del I ciclo PGRA, in seguito a questo aggiornamento sono state individuate nuove aree di alta vulnerabilità alle *flash flood* (campite con un tratteggio rosso in figura).

Attraverso l’analisi alla propensione del verificarsi di *flash flood* sono stati presi in considerazione gli effetti che i cambiamenti climatici producono. Infatti, tra le principali conseguenze, vi è l’aumento di frequenza di eventi brevi e intensi, con innesco di piene di tipo impulsivo spesso accompagnate da elevato trasporto solido.

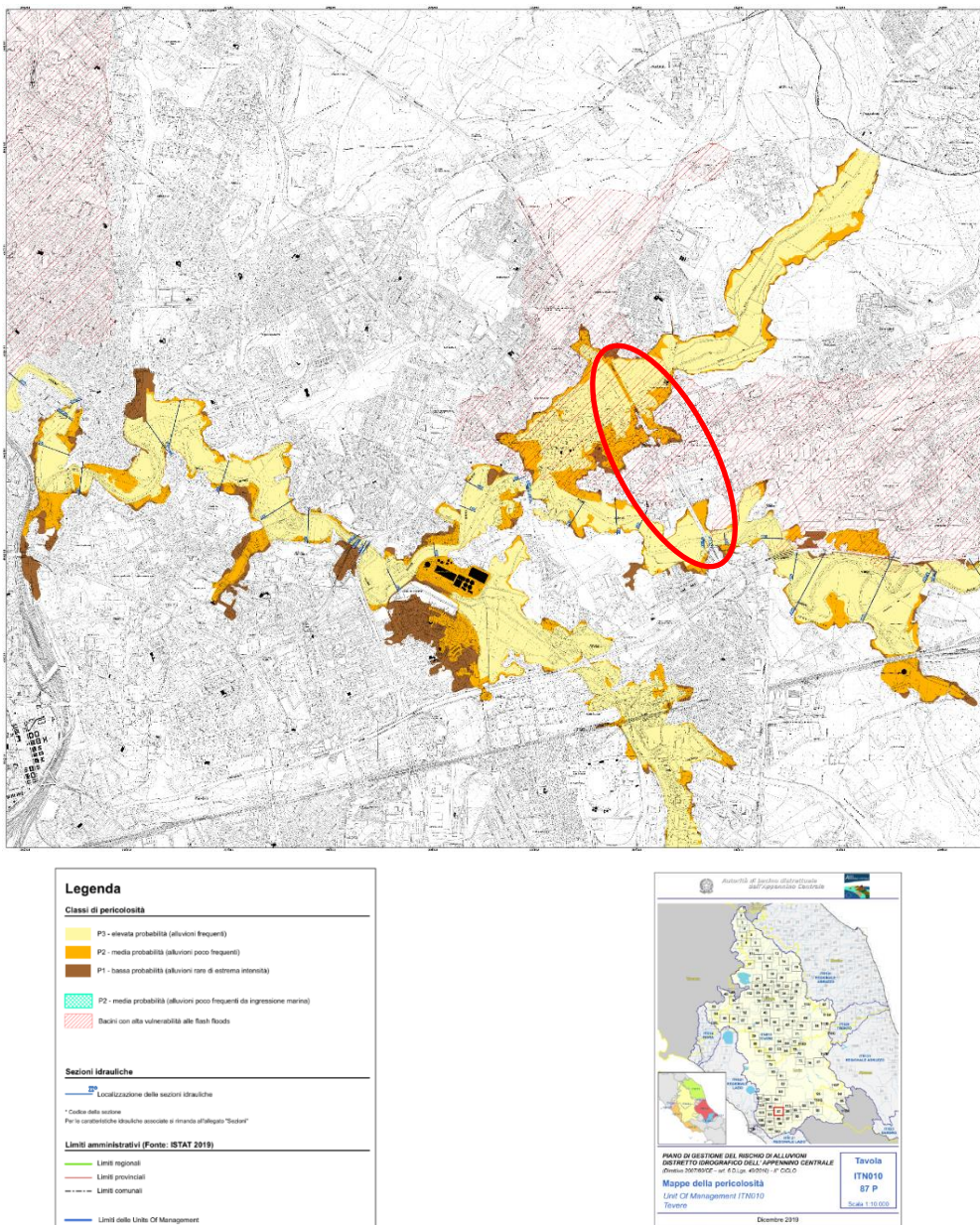


Figura 3: Carta della pericolosità idraulica PGRA II ciclo; in rosso è evidenziata l’interferenza col tracciato G.R.A.

3 FOSSO DI PRATOLUNGO: ANALISI IDRAULICA MONODIMENSIONALE

3.1 Inquadramento idraulico del territorio

L'intervento relativo alla rampa Nord di inversione del G.R.A. rientra nell'area di esondazione, classificata Fascia P3, pertinente al Fosso di Pratolungo. L'interferenza è dovuta, in parte, ai rilevati di approccio al cavalcavia, che si discostano per il tratto terminale dal sedime dell'attuale strada, in parte alla rilocalizzazione della strada complanare al G.R.A. in affiancamento all'impronta planimetrica del nuovo cavalcavia ed in ultimo alla viabilità di collegamento con via Acuto, per ripristino accesso a Casalmonastero.

L'area a monte della confluenza del Fosso di Pratolungo nel fiume Aniene, in cui si colloca il quartiere San Basilio, è caratterizzata da una pendenza longitudinale molto ridotta. Nel corso degli anni, in occasione delle piene del fiume Aniene, si sono verificate rilevanti inondazioni da rigurgito che interessavano il territorio fino a monte del G.R.A.

Per ridurre la vulnerabilità di queste zone, sono stati recentemente realizzati interventi di protezione del territorio che hanno riguardato:

- la realizzazione in sponda destra dell'Aniene di un argine longitudinale, adeguato al contenimento delle piene con tempo di ritorno inferiore a 200 anni;
- la realizzazione di un impianto idrovoro, con capacità di emungimento di 10,5 m³/s (incrementata a 13,5 m³/s con appositi lavori di potenziamento), per consentire l'immissione delle acque provenienti dal Fosso di Pratolungo in caso di contemporanea piena del Fiume Aniene.

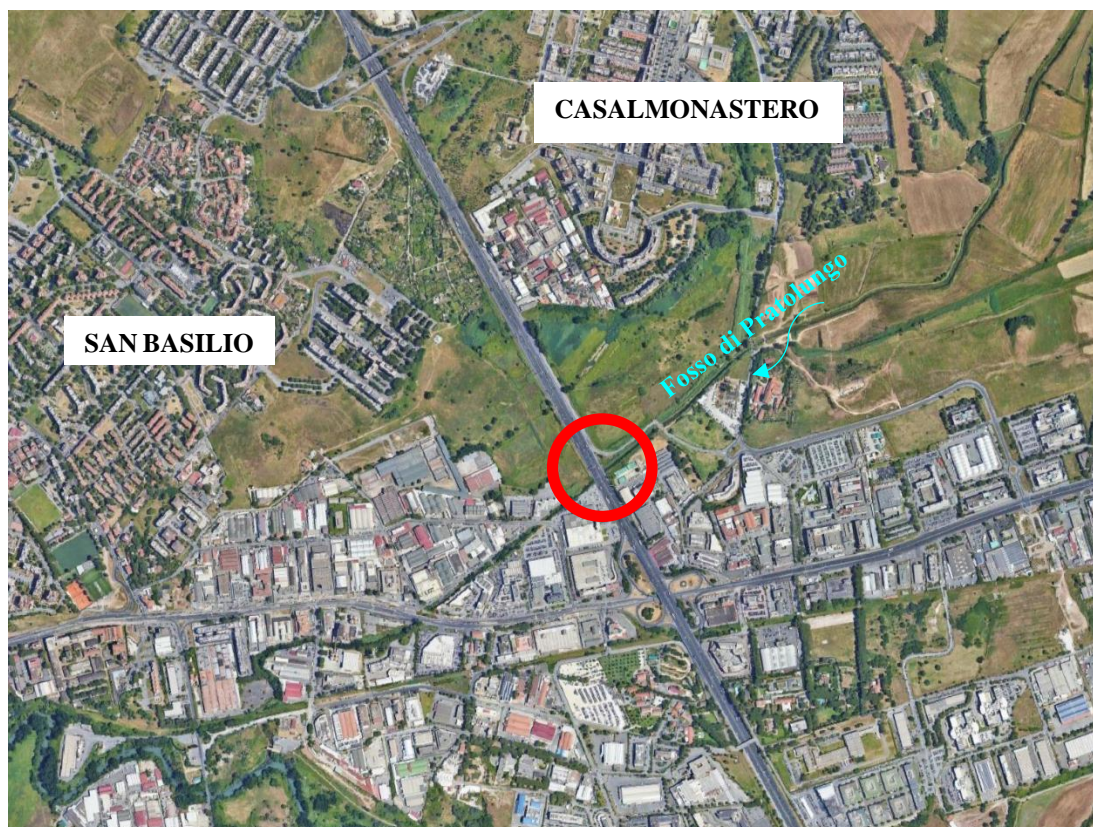


Figura 4: Inquadramento da ortofoto dell'attraversamento sul G.R.A. del Fosso di Pratolungo.

Queste opere, a difesa dalle inondazioni da piene dell'Aniene (per TR < 200 anni), non hanno tuttavia risolto le criticità dovute alle piene del Fosso di Pratolungo per proprio deflusso.

Per una messa in sicurezza idraulica più significativa, è in corso d'opera la realizzazione di una vasca di accumulo in linea con funzione, in caso di eventi meteorologici intensi, di laminazione e regolazione dei deflussi.

In occasione di piene con tempo di ritorno fino a 100 anni, attraverso la regolazione delle paratoie del manufatto di scarico, l'opera ridurrà il valore della portata idrica in uscita a 10 m³/s. Questo valore, incrementato del contributo residuo del bacino idrografico del Fosso di Pratolungo, pari a circa 3,5 m³/s, coincide con il massimo valore di emungimento dell'impianto idrovoro.

Per tempi di ritorno superiori a 100 anni, le portate idriche rilasciate a valle dell'invaso saranno superiori a 10 m³/s, ma vi sarà un miglioramento significativo grazie all'abbattimento dei colmi di piena in ingresso.

3.2 Modellazione monodimensionale

Per la verifica idraulica della compatibilità delle strutture stradali con il corso d'acqua Fosso Pratolungo, è stato utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS ver. 5.0.7, sviluppato dalla Hydrologic Engineering Center della U.S. Army, che consente il calcolo dell'andamento dei profili di corrente in moto gradualmente variato oppure in moto vario in alvei naturali o canali artificiali includendo anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinate, briglie, stramazzi, aree golenali, ecc.

3.2.1 Allestimento e calibrazione dei modelli idraulici

La schematizzazione geometrica del corso d'acqua studiato è stata effettuata in modo da ottenere una buona e realistica rappresentazione del deflusso di piena, definendo le sezioni trasversali principalmente sulla base del modello digitale del terreno con risoluzione a terra 1 metro acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, derivante da scansione LiDAR su piattaforma aerea. Ad integrazione sono stati utilizzati anche i risultati del rilievo topografico appositamente condotto per l'attività in oggetto e quelli del DTM passo 5 m fornito dal Geoportale della Regione Lazio.

Il modello monodimensionale sviluppato si estende dalla confluenza con il fiume Aniene per un tratto di circa 6 Km a monte di questa, in cui ricadono le interferenze con i tracciati stradali del Grande Raccordo Anulare e di Via Giovanni Armenise.

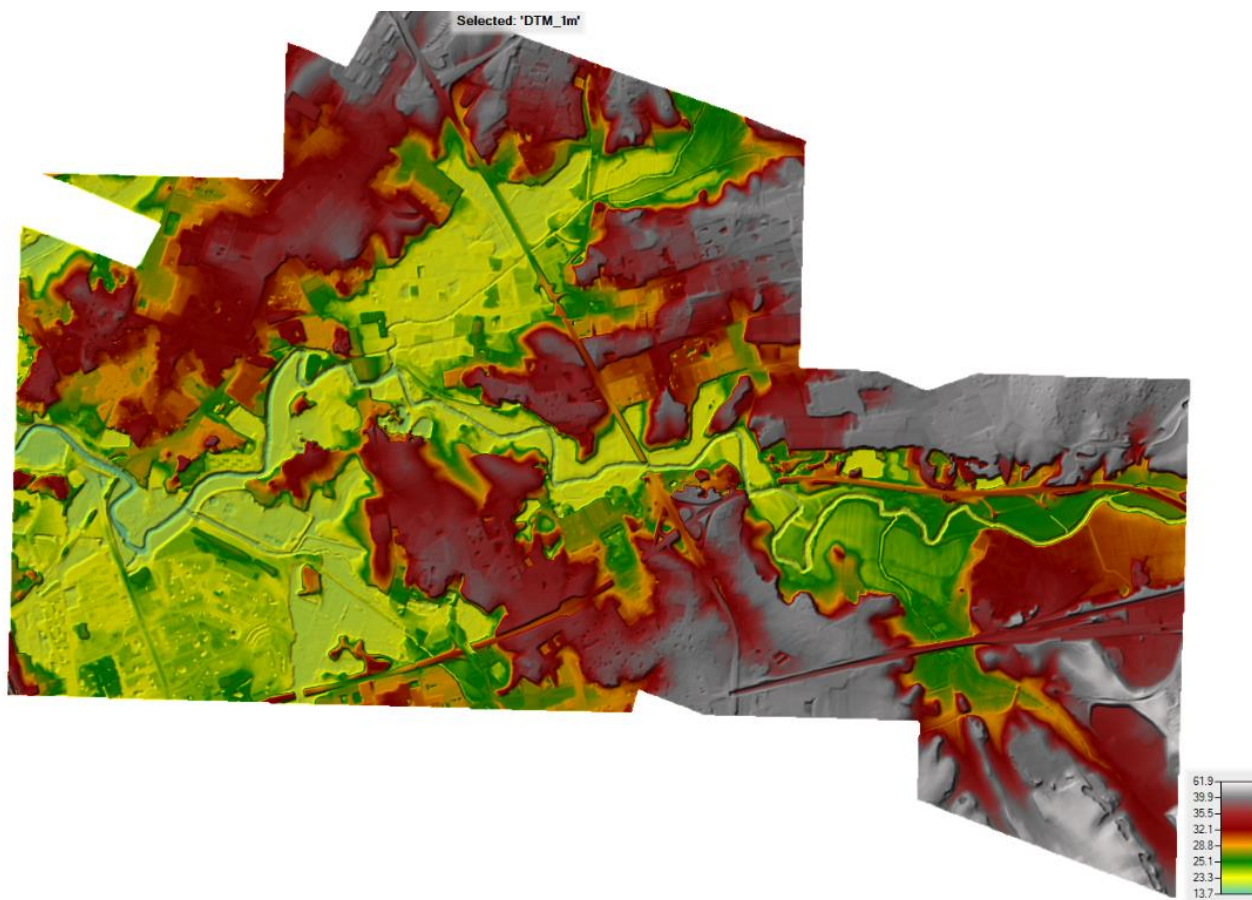


Figura 5: Estratto del modello digitale del terreno a passo 1 metro (Fonte MATTM).

Il tronco fluviale è stato schematizzato attraverso 31 sezioni trasversali, ridotte a 21 per lo scenario che considera l’invaso di laminazione, con inizio del modello all’uscita del manufatto di regolazione (sez. 2356).

Tabella 5: Elenco delle sezioni di calcolo e relativa progressiva da valle. Sono indicati il codice della sezione di calcolo e la relativa progressiva lungo l’asse dell’alveo.

ID Sezione Idraulica	Progressiva [m]	ID Sezione Idraulica	Progressiva [m]
6151	5898,65	1820	1751,50
5895	5642,45	1687	1619,00
5720	5468,05	1589	1520,50
5553	5300,95	1556	1488,00
5346	5094,25	1544	1475,50
5289	5036,45	1518	1449,50
4898	4645,45	1461	1392,50
4650	4398,25	1400	1331,80
4254	4002,15	1372	1303,60
3719	3466,55	1321	1252,70
3361	3108,55	1280	1211,50

ID Sezione Idraulica	Progressiva [m]	ID Sezione Idraulica	Progressiva [m]
2993	2924,60	1082	1014,20
2757	2689,10	730	661,70
2356	2287,60	384	315,50
2104	2035,60	59	10,50
1908	1839,80		

In Figura 6 è possibile osservare la planimetria del tratto analizzato e l’ubicazione delle sezioni inserite.

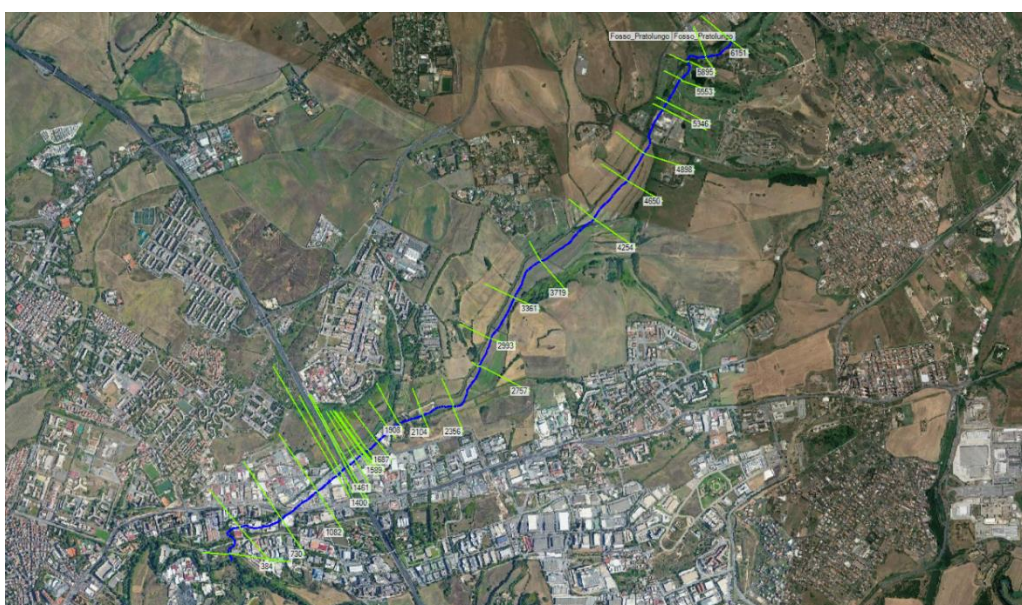


Figura 6: Dettaglio planimetrico del tratto d’interesse del Fosso Pratolungo.

La schematizzazione dei tombini idraulici nei modelli di calcolo numerico è stata effettuata mediante la funzione “*Bridge and culverts*” del codice di calcolo in questione.

Per il calcolo del profilo di corrente in corrispondenza delle strutture, tra le diverse opzioni offerte dal codice di calcolo, sono state selezionate le equazioni di bilancio dell’energia ed il metodo dei momenti, tra le quali il software seleziona in automatico la formulazione caratterizzata dalla maggiore dissipazione energetica. Finché il livello idrico rimane al di sotto dell’impalcato (*low flow*), viene assunta la schematizzazione di deflusso non in pressione ovvero a superficie libera; viene invece assunta la schematizzazione con deflusso in pressione e stramazzo al di sopra dell’impalcato (*pressure and weir*), per le situazioni con livello della corrente tale da interessare l’intradosso del ponte (*high flow*). Le condizioni limite per il deflusso in pressione sono definite dal programma in base al livello di corrente registrato a monte.

L’attraversamento del Fosso Pratolungo con il tracciato del Grande raccordo anulare è costituito da un ponte di larghezza 13 metri, con quota all’intradosso di 22,98 m slm, di 24,4 m slm all’estradosso in corrispondenza del piano stradale e un’altezza dal fondo alveo di 2,7 m, misurata a lato monte.

L’attraversamento di via G. Armenise, situato a monte del raccordo di circa 170 metri, presenta anch’esso una larghezza di 13 m, una quota d’intradosso pari a 23.8 m slm ed estradosso a 24.8 m slm.

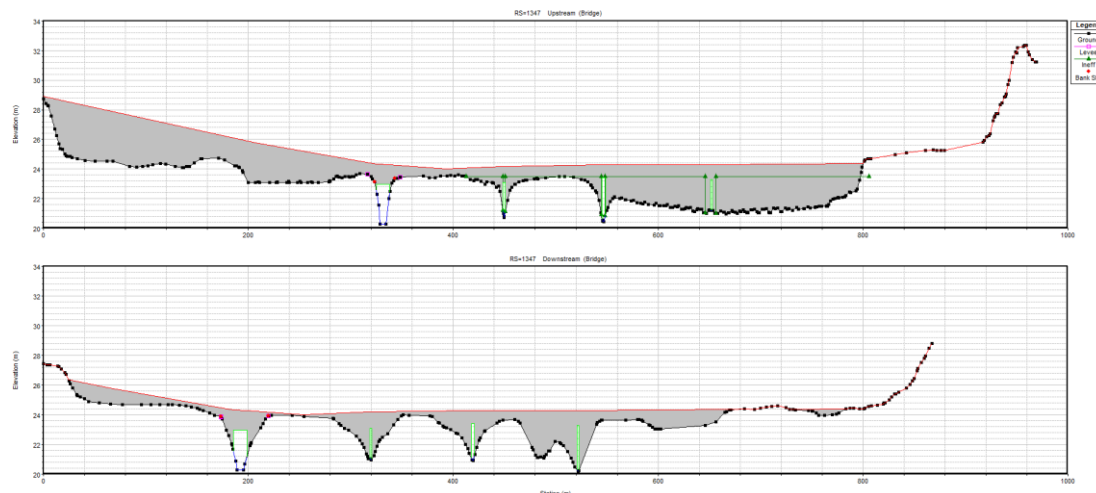


Figura 7: Schematizzazione degli attraversamenti idraulici presenti lungo il rilevato del GRA.

Nelle tavole dedicate degli allagamenti sono rappresentati, in configurazione ante e post-intervento, sia il tracciato planimetrico del modello allestito, che l'ubicazione e la codifica delle sezioni di calcolo.

3.2.2 Condizioni al contorno e definizione della scabrezza

Per le diverse simulazioni ante e post operam, sono state imposte al modello differenti condizioni al contorno, a seconda dello scenario analizzato e del tipo di calcolo (moto permanente o moto vario). Nel caso del moto permanente, sono state imposte una condizione al contorno di monte, definita in termini di livello idrico di moto uniforme, determinato automaticamente dal programma in base al valore di portata di progetto assegnato, pendenza e scabrezza del tratto di fiume, ed una condizione al contorno di valle determinata dal livello idrico del Fiume Aniene in corrispondenza della sezione di confluenza¹.

Nel caso delle analisi in moto vario, invece, sono stati assegnati:

- a monte l'idrogramma di portata dell'evento da simulare, ovvero l'idrogramma di piena TR=200 determinato dall'analisi idrologica, con portata al colmo definita in 160 m³/s, oppure l'idrogramma in uscita dalla cassa di laminazione in occasione di un evento duecentennale, con un colmo pari a 29,5m³/s;
- a valle ancora la condizione di livello definita per il fiume Aniene determinata in 25,05 m s.l.m per la piena duecentennale del fiume, oppure in 20,39 m s.l.m. per il deflusso di magra del fiume.

¹ “Allegato – Caratteristiche del deflusso” – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni - Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale, Marzo 2016

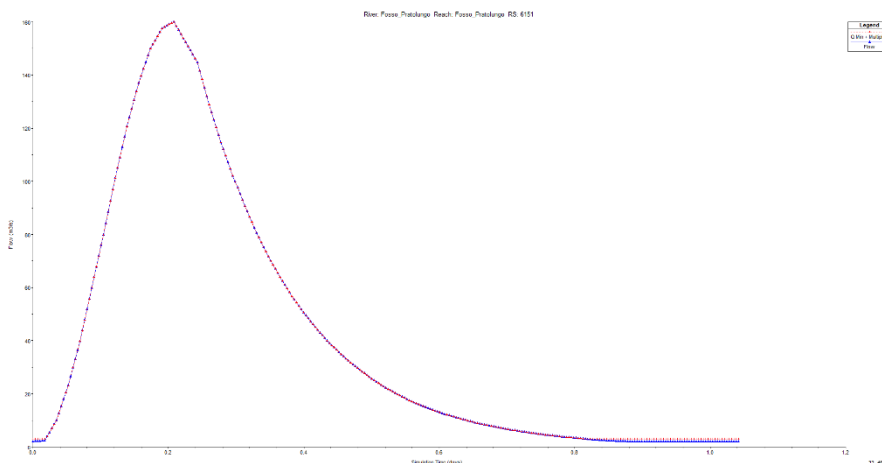


Figura 8: Idrogramma di piena Fosso di Pratolungo, evento TR 200 anni, $Q_c=160 \text{ m}^3/\text{s}$.

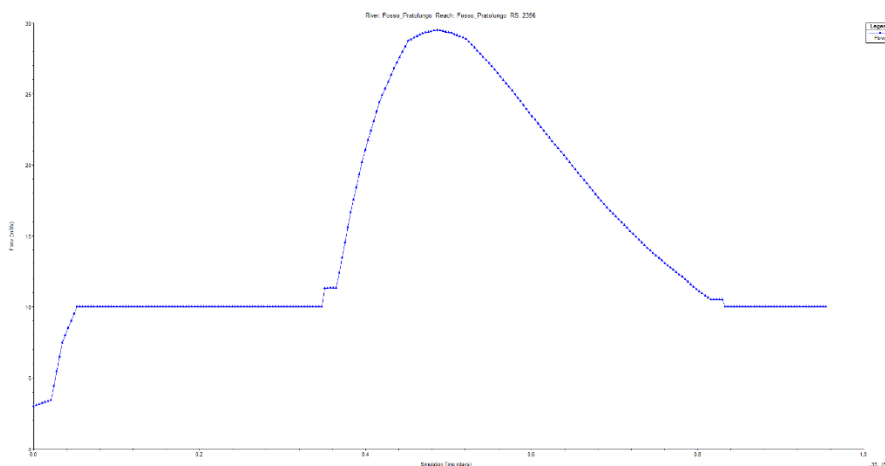


Figura 9: Idrogramma in uscita dalla cassa di laminazione per TR=200 anni, $Q_c=29,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per quanto concerne la scabrezza, la valutazione dei coefficienti da inserire nel modello è stata basata su dati di letteratura, sull’esperienza acquisita nel campo della modellistica idraulica e sull’osservazione della documentazione fotografica a disposizione.

Per l’asta analizzata si è assunto un valore del coefficiente di Strickler (k) pari a $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n=0,033$), uniforme lungo il contorno bagnato dell’alveo di magra, mentre per le aree golenali allagabili è stato considerato un valore medio di $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n= 0,055$).

2. Excavated or Dredged Channels			
a. Earth, Straight, and Uniform:			
1. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
b. Earth Winding and Sluggish:			
1. No vegetation	0.023	0.025	0.030
2. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. Earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
c. Dragline-Excavated or Dredged:			
1. No vegetation	0.025	0.028	0.033
2. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
d. Rock Cuts:			
1. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
e. Channels not Maintained, Weeds and Brush Uncut:			
1. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. Same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140
3. Main Channels			
a. Clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective	0.040	0.048	0.055
f. Same as (d) with more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150
4. Mountain Streams, No Vegetation in Channel, Banks usually Steep, Trees and Brush along Banks Submerged at High Stages			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Source:
(1) ASCE, (1982), Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY.
(2) Chow, V.T., (1959), Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York, NY.

Figura 10: Valori dell'indice di scabrezza di Strickler ($m^{1/3}/s$).

Nella precedente Figura 10 è riportata un'indicazione per la determinazione del coefficiente di Strickler per i corsi d'acqua naturali fornita da V. T. Chow.

3.2.3 Scenari di verifica idraulica

Le analisi idrauliche effettuate, in moto permanente e in moto vario, hanno lo scopo di analizzare il comportamento idraulico in piena del corso d'acqua di Pratolungo, nel tratto d'interesse in corrispondenza del GRA. In particolare, le simulazioni sono state condotte per determinare, in occasione di deflusso di piene significative, le possibili esondazioni e le interazioni con l'attraversamento stradale. Inoltre, il funzionamento idraulico è stato valutato sia allo stato attuale, sia in prospettiva degli interventi di miglioramento idraulico del territorio, in fase di realizzazione e precedentemente descritti.

Le analisi hanno riguardato differenti configurazioni, differenti per situazione progettuale (ante o post-operam) e per condizioni al contorno:

1. Scenario “**Stato di fatto in assenza di laminazione**” – In questa analisi è stata considerata l'attuale configurazione del corso d'acqua e delle opere presenti. Pertanto, lo scenario prevede come input la portata duecentennale determinata per il Fosso di Pratolungo ($T_{200}=160 \text{ m}^3/s$), unitamente alla presenza di livelli idrici elevati nell'Aniene (corrispondenti alla $TR=200$) come condizione al contorno di valle, per simulare una condizione di concomitanza di eventi di piena nei due corsi d'acqua. Questo scenario è stato modellato sia in moto permanente che in moto vario.

2. Scenario **“Stato di fatto con laminazione”** – In questa configurazione vengono considerati nel deflusso gli effetti dell’invaso di laminazione in fase di realizzazione, con la geometria stradale che è ancora quella attuale ante-operam. In questo scenario viene utilizzato come input la scala di deflusso in uscita dal manufatto regolatore della cassa in occasione di una piena duecentennale nel Fosso di Pratolungo (Figura 9), mentre a valle è imposto un livello idrico di magra nell’Aniene. In queste condizioni, alla confluenza dei corsi d’acqua lo scarico è libero e non è necessaria l’entrata in funzione dell’impianto di sollevamento. La modellazione di questo scenario è stata effettuata in moto vario.
3. Scenario **“Progetto con laminazione”** – Rispetto alla configurazione precedente vengono qui inseriti gli interventi progettuali definiti per il potenziamento del GRA, con l’impalcato stradale che risulta ampliato sul lato di valle per la realizzazione di nuove corsie di marcia. Le condizioni al contorno non variano rispetto allo scenario di “Stato di fatto con laminazione”, con il medesimo idrogramma in uscita dalla cassa di laminazione e livelli idrici di magra nell’Aniene.

Preme sottolineare che gli interventi idraulici previsti dal progetto riguardano sostanzialmente prolungamenti di tombini esistenti. Queste nuove opere si inseriscono in ogni caso a valle dell’attraversamento idraulico presente, non andando ad interferire negativamente sulle condizioni di deflusso attualmente riscontrate.

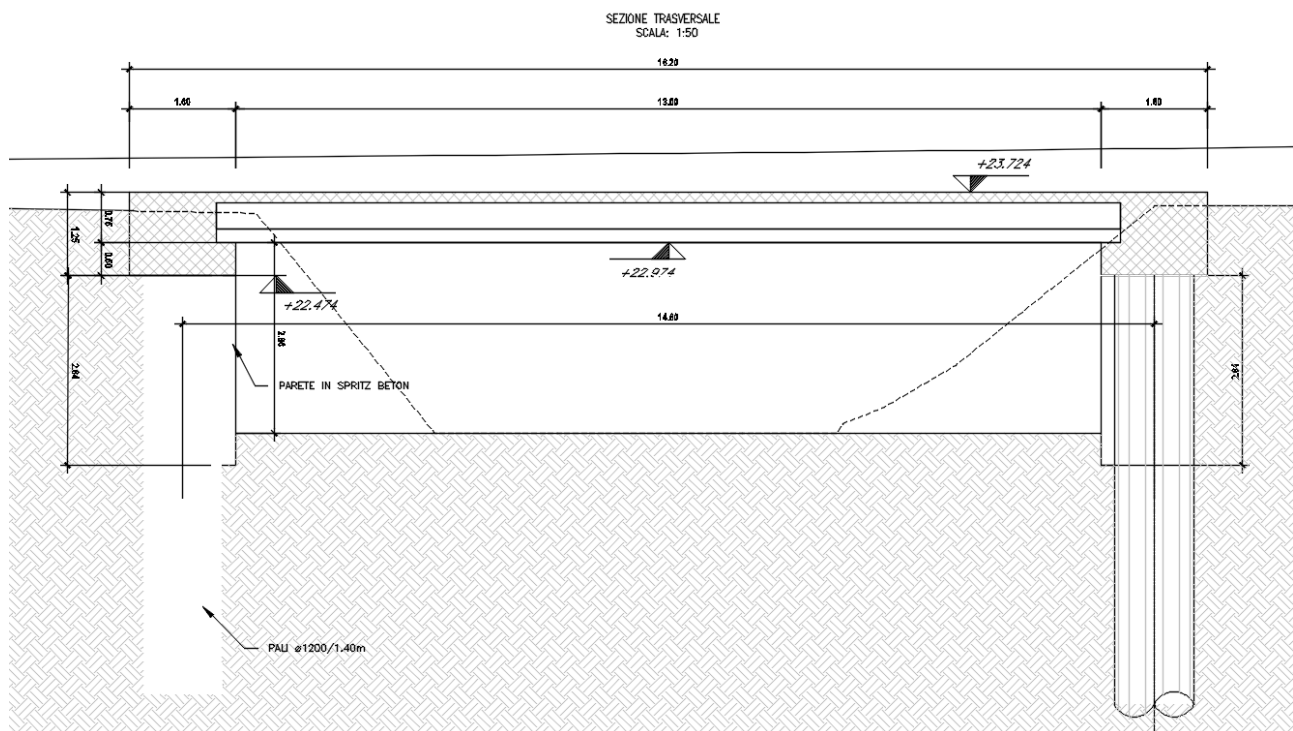


Figura 11: Attraversamento Pratolungo: sezione trasversale del tombino in progetto di prolungamento.

3.3 Analisi dei risultati

Di seguito si descrivono le principali considerazioni e risultati evidenziati dalle modellazioni degli scenari indicati.

Per il dettaglio dei risultati delle simulazioni si rimanda all’Allegato II, in cui sono riportati in forma tabellare, di profili, e di sezioni trasversali per le varie configurazioni modellate. Nella documentazione grafica del progetto vengono, invece, riportate le planimetrie di allagamento determinate per gli scenari analizzati.

3.3.1 Scenario “Stato di fatto in assenza di laminazione”

Allo stato attuale, la quota di intradosso del tombino di attraversamento del Fosso di Pratolungo è posizionata a 23,0 m s.l.m., mentre la quota di livelletta stradale è circa alla quota di 24,3 m s.l.m.

Le condizioni al contorno imposte per questo scenario determinano una situazione molto sfavorevole, con una concomitanza di eventi di piena sia per il Fosso di Pratolungo, sia per il fiume Aniene in cui confluisce.

Nella seguente Figura 12 sono riportati i profili di piena per lo scenario analizzato in moto vario (profilo campito di azzurro) e in moto permanente (profilo evidenziato in rosso). È evidente come la condizione al contorno di valle, costituita dal livello di piena duecentennale dell’Aniene alla confluenza, pari a 25,05 m s.l.m., sia vincolante in termini di deflusso, determinando un profilo di rigurgito esteso fino a monte del GRA.

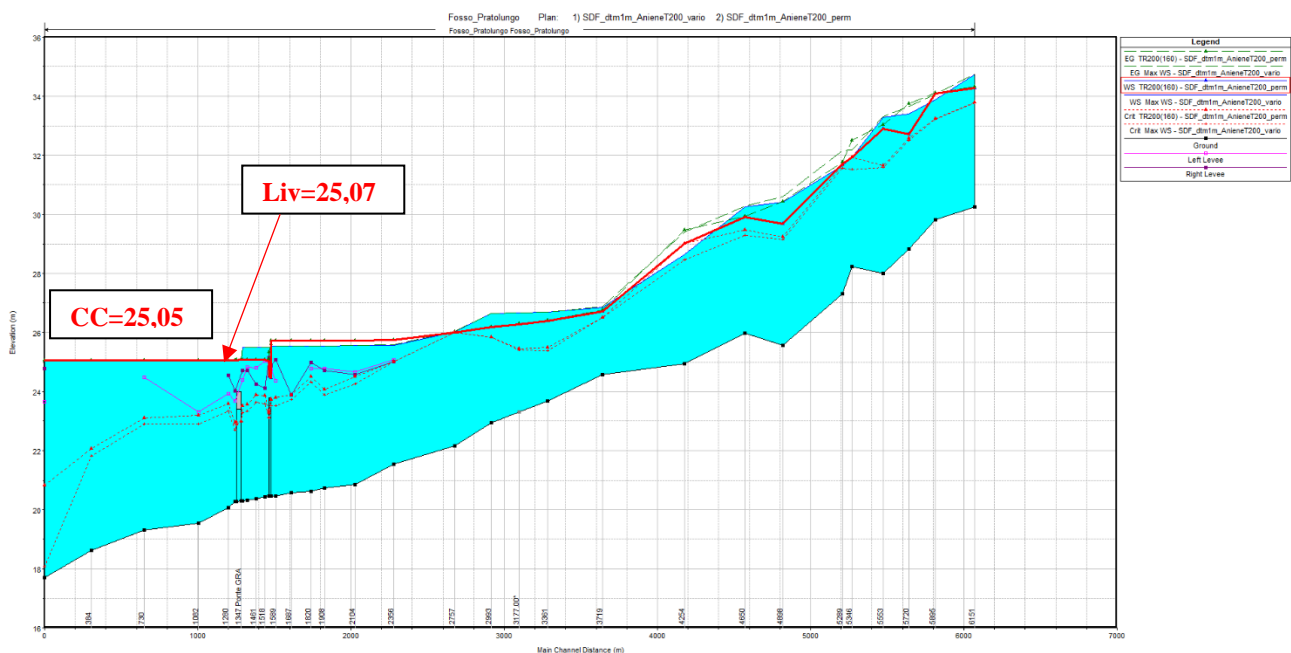


Figura 12: Scenario SDF in assenza di laminazione: in azzurro il profilo di piena TR=200 in moto vario, in rosso il profilo TR=200 in moto permanente.

Allo stato attuale non vi è una disconnessione idraulica alla confluenza dei due corsi d’acqua, pertanto, in occasione delle piene dell’Aniene con tempi di ritorno superiori a 100 anni, l’area terminale in cui defluisce il Fosso di Pratolungo risulta inondabile per rigurgito.

In corrispondenza del GRA, il livello determinato risulta essere pari a 25,07 m s.l.m., con una situazione di sormonto del rilevato stradale per un tirante di circa 0,8 m e funzionamento in pressione del tombino di attraversamento del Fosso di Pratolungo.

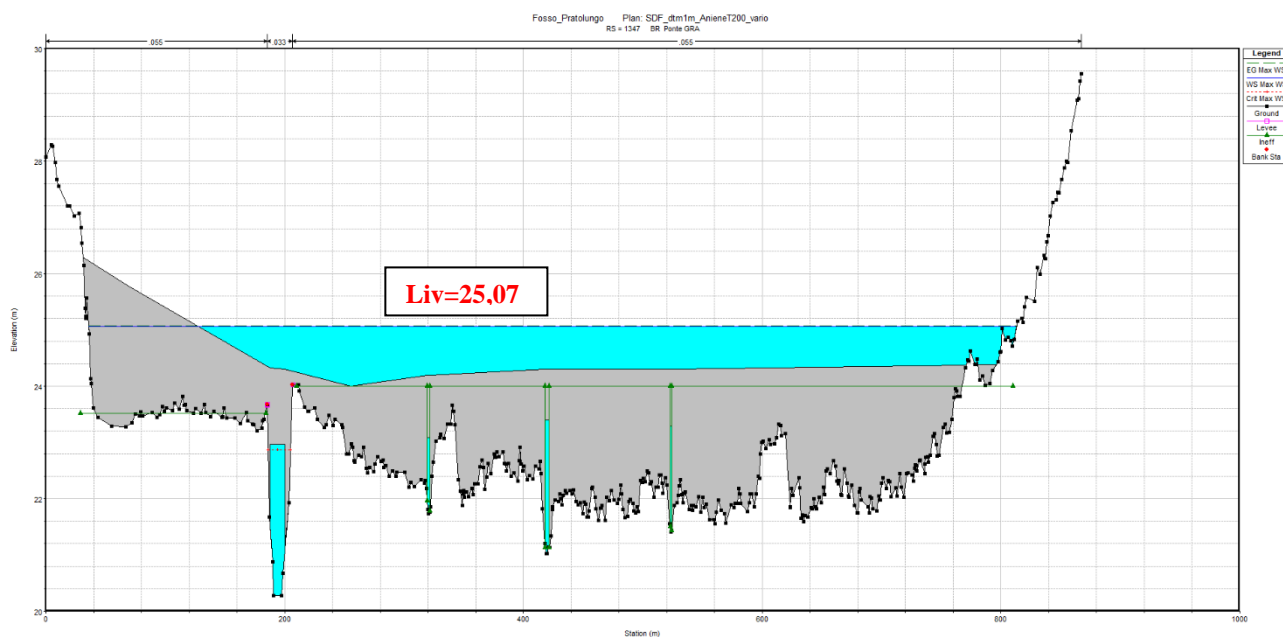


Figura 13: Scenario SDF in assenza di laminazione: attraversamento di Fosso di Pratolungo al GRA.

3.3.2 Scenario “Stato di fatto con laminazione”

Rispetto allo scenario precedente, qui viene simulata la presenza della cassa di laminazione (ad oggi in fase di realizzazione), che determina un abbassamento del colmo di piena defluente nel corso d’acqua. Secondo quanto definito dal progetto esecutivo dell’opera, per il tempo di ritorno duecentennale, la portata massima scaricata dalle paratoie si attesta pari a 29,5 m³/s. Inoltre, alla confluenza con il fiume Aniene è stata imposta la condizione di livello idrico pari a 20,39 m s.l.m. che rappresenta una situazione di magra del fiume, con apertura degli scarichi del Fosso di Pratolungo e impianto idrovoro di sollevamento non in funzione.

Osservando in Figura 14 il profilo idrico derivante dall’analisi in moto vario, non vi è più la presenza rilevante del rigurgito generato dall’Aniene, con un profilo di corrente lenta per tutto il tronco analizzato. Il deflusso di piena è contenuto in alveo per tutte le sezioni del corso d’acqua e la piattaforma stradale del GRA non è sormontata.

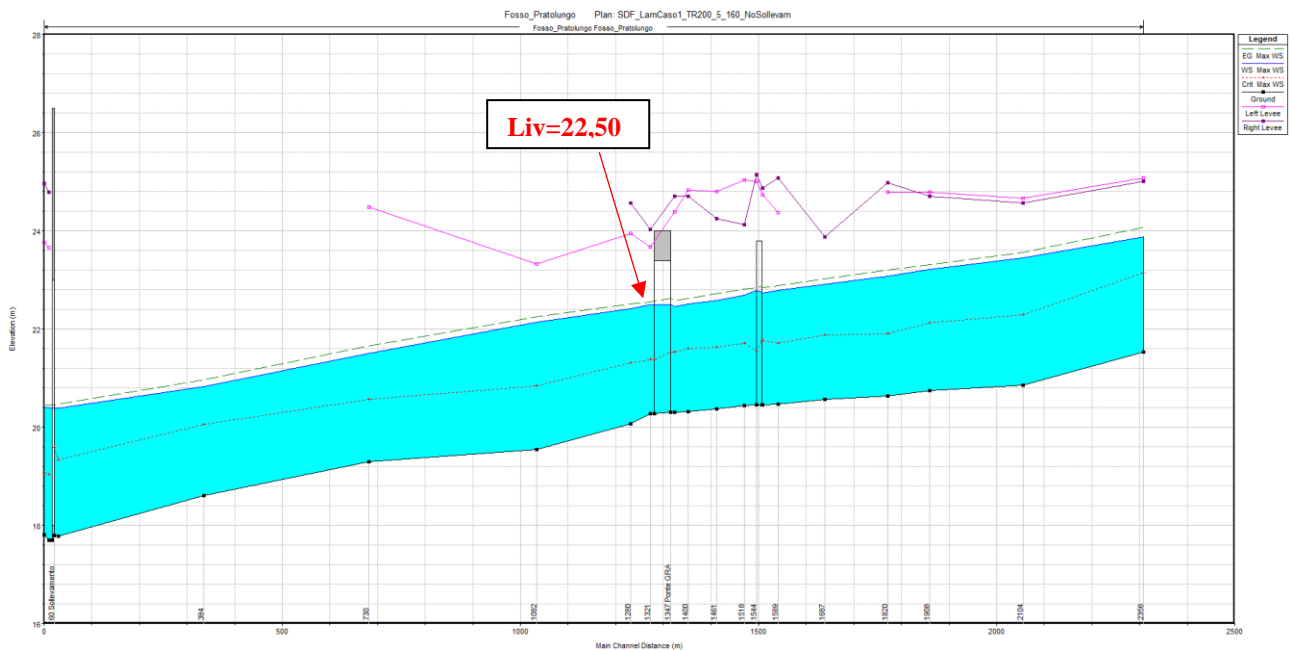


Figura 14: Scenario SDF con laminazione: profilo idrico in moto vario.

Per quanto riguarda il tombino idraulico di attraversamento del Fosso di Pratolungo, con un livello idrico nella sezione di sbocco pari a 22,50 m s.l.m., si ha in questo scenario un funzionamento a pelo libero. Tuttavia, a fronte di un'altezza dello scatolare pari a 2,70 m rispetto al fondo alveo, il franco idraulico sul manufatto è pari a 0,5 m.

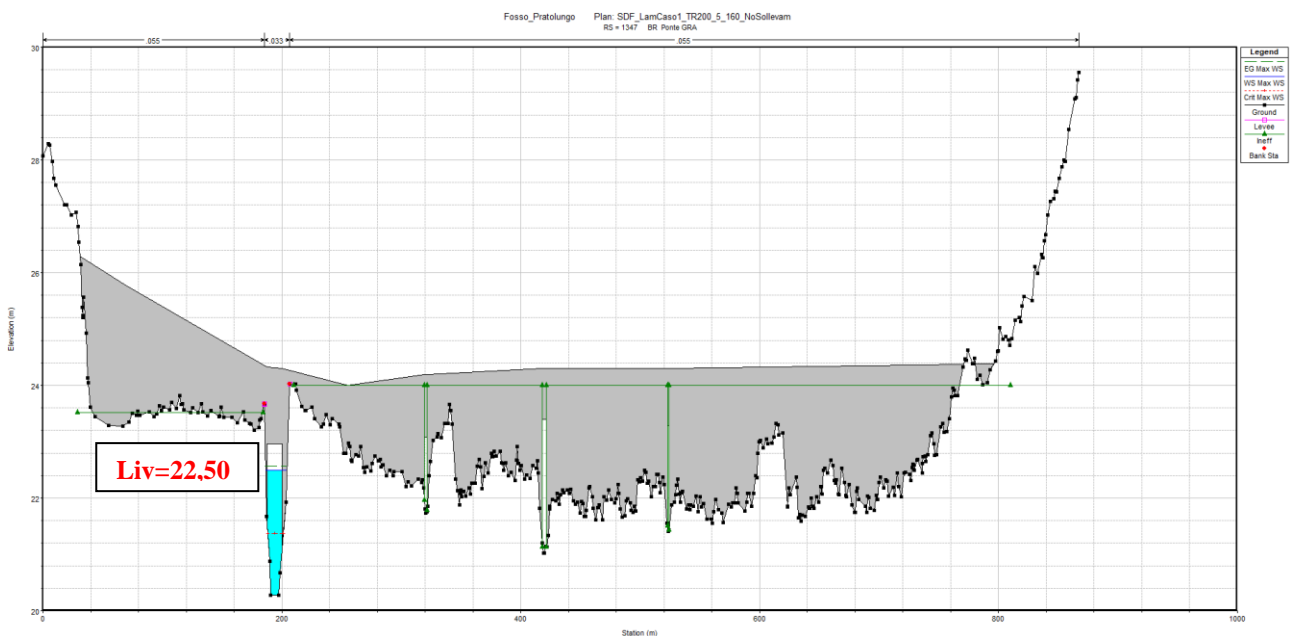


Figura 15: Scenario SDF con laminazione: attraversamento di Fosso di Pratolungo al GRA

3.3.3 Scenario “Progetto con laminazione”

In questo scenario sono stati inseriti gli interventi progettuali previsti, sia stradali che di difesa del territorio mediante la realizzazione della cassa di laminazione.

Le condizioni al contorno imposte sono mantenute identiche a quelle del precedente scenario “Stato di fatto con laminazione”, ovvero portata duecentennale di 29,5 m³/s in uscita dalla cassa e livelli idrici di magra nell’Aniene.

La realizzazione degli interventi stradali, con il raddoppio della carreggiata autostradale, necessitano del prolungamento dei manufatti idraulici: si evidenzia come i nuovi scotolari di prolungamento siano inseriti idraulicamente a valle dei manufatti esistenti, non andando ad alterare il quadro complessivo di funzionalità idraulica dell’opera a monte, che NON viene modificata.

Nella geometria sono stati inoltre inseriti gli ingombri dovuti alla realizzazione delle rampe di collegamento alla viabilità esistente, presenti a monte del GRA in destra idraulica rispetto al Fosso di Pratolungo. Per schematizzare questi interventi, in alcune sezioni del modello sono state aggiunte apposite ostruzioni.

La seguente Figura 16 riporta il profilo idrico di moto vario determinato per la nuova configurazione geometrica con la struttura stradale di lunghezza incrementata a 68 m. Si osserva come il profilo rimanga sostanzialmente invariato, non rigurgitato dall’Aniene e contenuto in tutte le sezioni di deflusso.

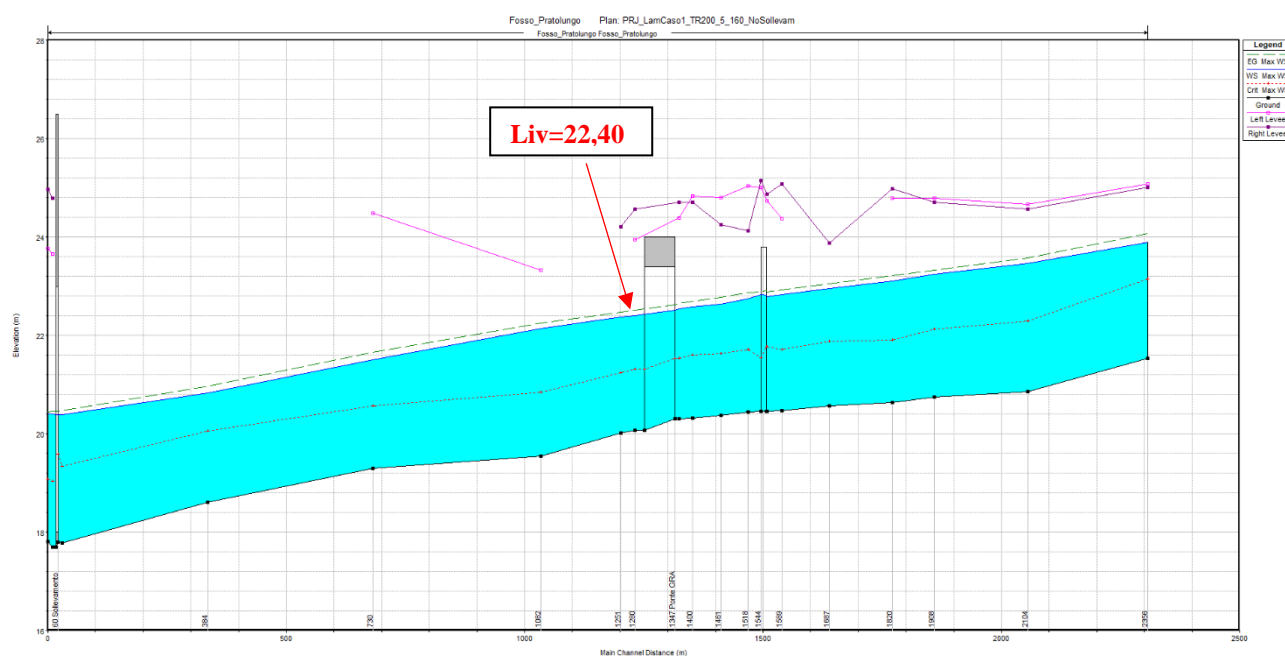


Figura 16: Scenario Progetto con laminazione: profilo idrico in moto vario.

Il livello idrico alla sezione di sbocco del nuovo manufatto si attesta alla quota di 20,40 m s.l.m, e il tombino ha un funzionamento a pelo libero.

Le velocità sono molto basse, inferiori a 1.5 m/s: sono da escludersi problemi di erosione per azioni di trascinamento idrodinamiche.

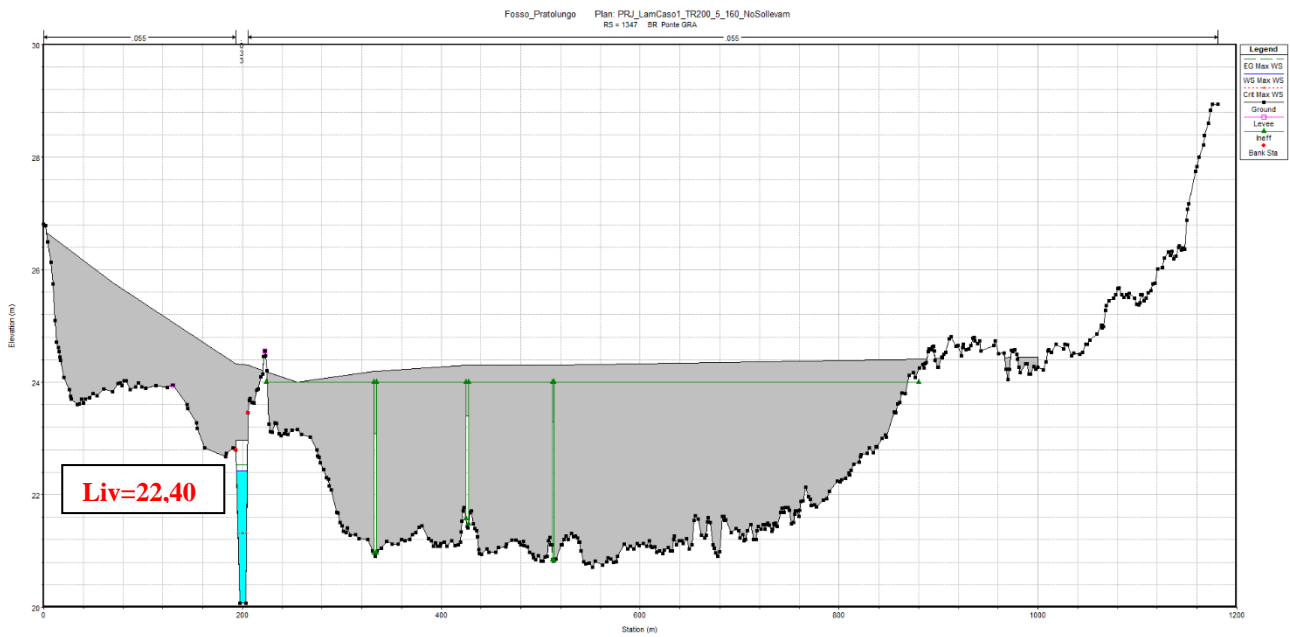


Figura 17: Scenario Progetto con laminazione: attraversamento di Fosso di Pratolungo al GRA

3.3.4 Sintesi numerica dei risultati

Tabella 6: Sintesi dei risultati delle modellazioni monodimensionali per i differenti scenari.

Scenario	Interferenza idraulica	Progr. Asse stradale	Tipologico verificato	Geometria		Portata Q (m ³ /s)	Tirante h media (m)	Tirante h max (m)	Velocità V (m/s)	Livello idrico (m s.l.m.)	Intradosso minimo attravers. (m s.l.m.)	Fr (calcolato) (m)
				B	H							
				(m)	(m)							
SDF TR=200 assenza laminazione Moto permanente	Pratolungo - GRA	Pk 29+500	Tombino idraulico	13,0	2,7	160,0	2,37	4,79	0,18	25,07	23,0	-2,07
SDF TR=200 assenza laminazione Moto vario	Pratolungo - GRA	Pk 29+500	Tombino idraulico	13,0	2,7	132,4	2,37	4,79	0,15	25,07	23,0	-2,07
SDF TR=200 con laminazione Moto vario	Pratolungo - GRA	Pk 29+500	Tombino idraulico	13,0	2,7	29,4	1,60	2,22	1,02	22,50	23,0	0,50
PROG TR=200 con laminazione Moto vario	Pratolungo - GRA	Pk 29+500	Tombino idraulico	13,0	2,7	29,4	1,79	2,33	1,47	22,40	23,0	0,60

4 FIUME ANIENE: ANALISI IDRAULICA BIDIMENSIONALE

4.1 Inquadramento idraulico del territorio

L'area oggetto del presente studio è situata nella zona Nord-Est di Roma denominata Monti Tiburtini, essa è collocata nella prima periferia della capitale ed è stata soggetta ad un forte sviluppo urbano che, in particolar modo negli ultimi decenni, si è distribuito lungo l'asse viario della S.S. 5 Tiburtina. In quest'ambito territoriale, l'intervento in progetto si inserisce in un contesto ambientale già fortemente antropizzato. Il reticolo idrografico superficiale, in considerazione dei fattori sopra menzionati, svolge anche la funzione di drenaggio delle aree urbanizzate limitrofe, anche se l'attuale stato degli alvei incisi presenta una rigogliosa copertura vegetale talora caratterizzata anche da arbusti di grosse dimensioni.

L'area in esame è rappresentata nel F.150 (Roma) della Carta d'Italia dell'I.G.M.I. e nella Sezione n. 374080 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

I caratteri originali della zona sono stati in gran parte alterati dallo sviluppo sia del tessuto urbano e sia delle relative infrastrutture necessarie per un adeguata connessione dell'area con il territorio circostante, rappresentate dalla rete viaria; a queste opere si aggiungono numerosi edifici, soprattutto di carattere industriale (capannoni, uffici); più marginalmente, verso i settori nord-orientale e nord-occidentale, sono diffusi insediamenti di carattere residenziale.

L'intervento relativo al potenziamento dell'Autostrada A90 (GRA) dallo svincolo Centrale del Latte allo svincolo A24 prevede lo scavalco del fiume Aniene sia per la complanare interna sia per quella esterna. Tale configurazione progettuale prevede quindi la realizzazione di due nuovi attraversamenti sul fiume Aniene a monte e a valle del ponte esistente del GRA.



Figura 18: Inquadramento da ortofoto dell'attraversamento sul G.R.A. del fiume Aniene.

4.2 Modellazione bidimensionale

Per la verifica idraulica della compatibilità delle strutture stradali con il fiume Aniene è stato implementato un modello numerico bidimensionale, utilizzando anche in questo caso il codice di calcolo HEC-RAS nella versione 6.0.

Gli scenari studiati mediante il modello numerico bidimensionale sono:

- Configurazione di stato di fatto – Evento di progetto con tempo di ritorno di 200 anni;
- Configurazione di progetto – Evento di progetto con tempo di ritorno di 200 anni.

4.2.1 Allestimento del modello idrodinamico

4.2.1.1 Definizione del tratto di corso d'acqua simulato

Il modello bidimensionale è stato implementato per un tratto di fiume adeguatamente esteso a monte e a valle dell'area in prossimità dell'attraversamento del GRA sul fiume Aniene per consentire la corretta applicazione delle condizioni al contorno e, quindi, la rappresentazione affidabile dei fenomeni idrodinamici.

La schematizzazione bidimensionale comprende un tratto di fiume di circa 10,5 km, di cui 5 km si estendono a monte dell'attraversamento ed i restanti 5,5 km a valle.

L'ampiezza del perimetro di computazione è stata estesa in modo da poter schematizzare al meglio le dinamiche di deflusso della piena indagata.

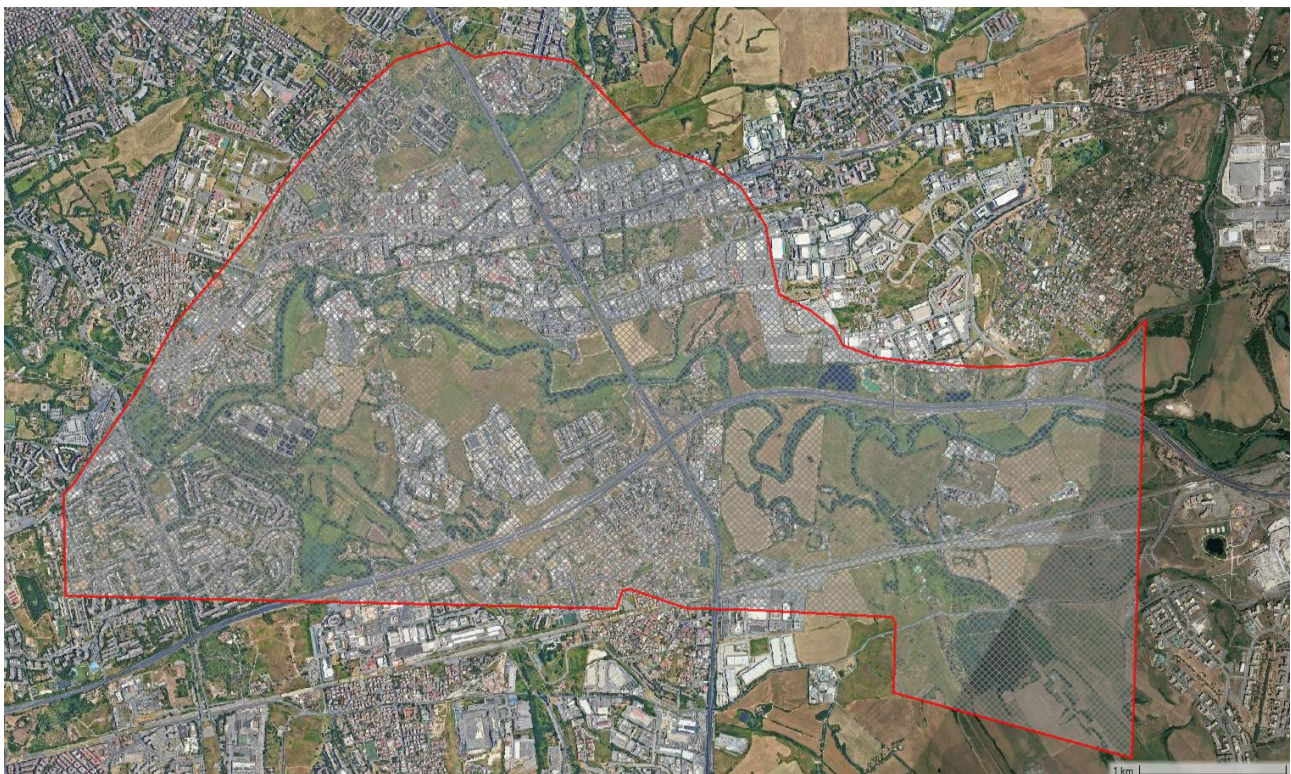


Figura 19: Estensione dell'area di implementazione del modello bidimensionale.

4.2.1.2 Costruzione della griglia di calcolo

Il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D nella configurazione geometrica di stato di fatto è di 53131, mentre nella schematizzazione della soluzione di progetto il numero di celle adottate è di 53417. La schematizzazione 2D è stata implementata mediante l'utilizzo di maglie di calcolo del tipo flexible mesh, configurazione adatta a discretizzare in maniera dettagliata le varie geometrie del tratto bidimensionale di interesse. La dimensione della maglia maggiore è costituita da celle 20X20 m; con l'inserimento di breakline di dettaglio, il dominio di calcolo è passato da celle 10x10 m a celle di dettaglio aventi limite 1 m per lato: il dettaglio puntuale è stato ricreato nei punti più delicati, quali sponde, rilevati e spalle.

Il modello numerico è stato ricostruito utilizzando i dati topografici del modello digitale del terreno con risoluzione a terra 1 metro derivante da scansione LiDAR su piattaforma aerea acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale.

Ad integrazione sono stati utilizzati anche i risultati del rilievo celerimetrico appositamente condotto per l'attività in oggetto e le analisi in campo. Nell'analisi dei dati geometrici a disposizione è stato riscontrato che il fondo alveo rilevato dal Lidar riporta la quota del pelo libero dell'acqua che all'incirca è stimabile intorno ad un valore medio di circa 1,5 m nel tratto d'asta fluviale studiata. A tal proposito nelle analisi numeriche è stato tenuto conto di un abbassamento del fondo alveo di circa 1,5 m rispetto alle quote del DTM.

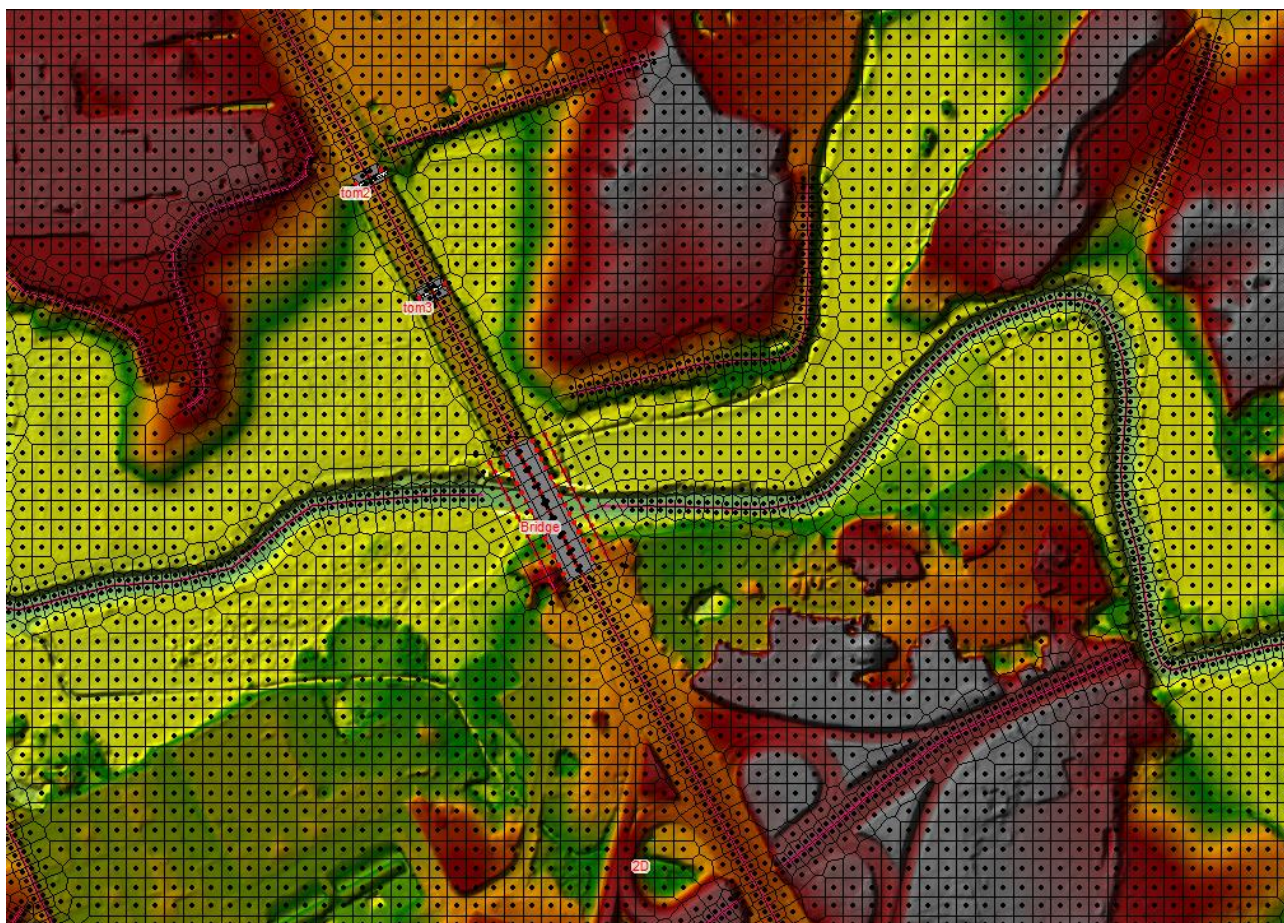


Figura 20: Estratto della discretizzazione della maglia di calcolo nella configurazione di stato di fatto.

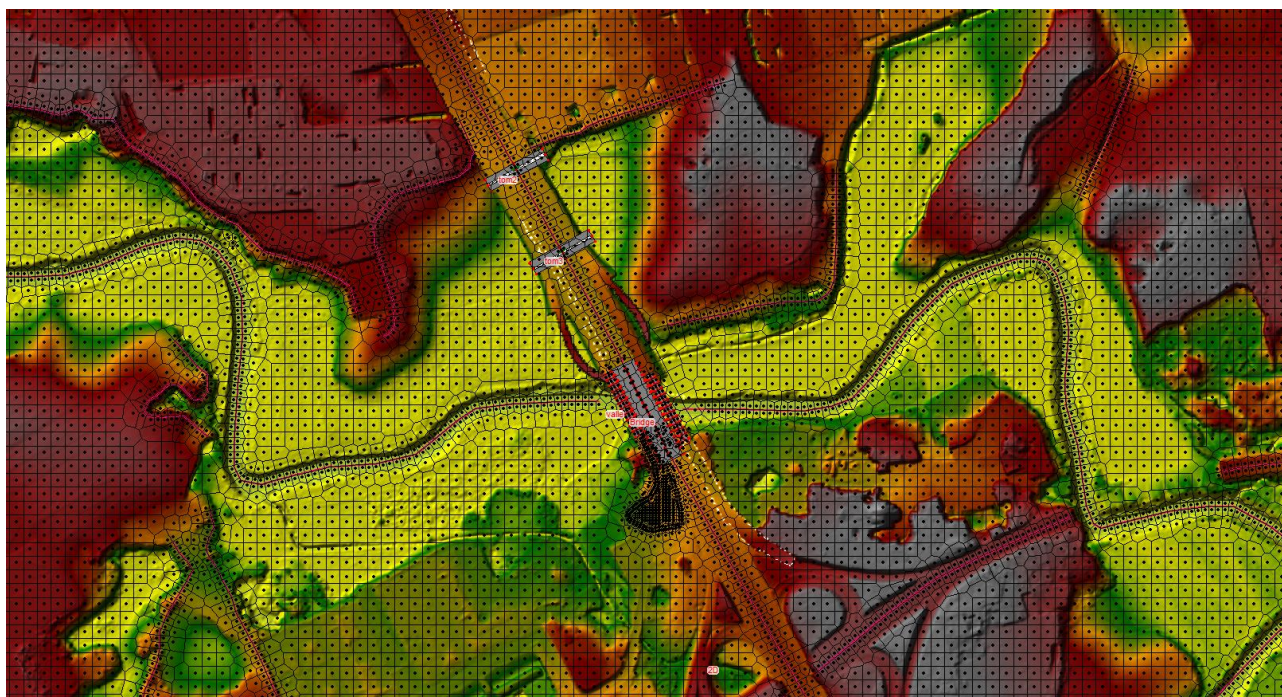


Figura 21: Estratto della discretizzazione della maglia di calcolo nella configurazione di progetto.

La schematizzazione dei tombini idraulici nei modelli di calcolo numerico è stata effettuata mediante la funzione “Bridge and culverts – Internal to 2D Flow Area” del codice di calcolo disponibile nella versione 6.0. Questa applicazione ha permesso di inserire nella schematizzazione bidimensionale l’effettiva geometria delle opere e quindi spalle, impalcati e pile esattamente come nell’implementazione modellistica monodimensionale.

Per il calcolo del profilo di corrente in corrispondenza delle strutture, tra le diverse opzioni offerte dal codice di calcolo, sono state selezionate le equazioni di bilancio dell’energia ed il metodo dei momenti, tra le quali il software seleziona in automatico la formulazione caratterizzata dalla maggiore dissipazione energetica. Finché il livello idrico rimane al di sotto dell’impalcato (low flow), viene assunta la schematizzazione di deflusso non in pressione ovvero a superficie libera; viene invece assunta la schematizzazione con deflusso in pressione e stramazzo al di sopra dell’impalcato (pressure and weir), per le situazioni con livello della corrente tale da interessare l’intradosso del ponte (high flow). Le condizioni limite per il deflusso in pressione sono definite dal programma in base al livello di corrente registrato a monte.

L’attraversamento del fiume Aniene con il tracciato del Grande raccordo anulare allo stato attuale è costituito da un’unica campata ad arco di larghezza netta pari a circa 40 m. La quota di intradosso in chiave dell’arco è a 26,52 m s.m., in imposta è a quota 21,92 m s.m. mentre la quota di estradosso dell’impalcato è a 28,04 m s.m..

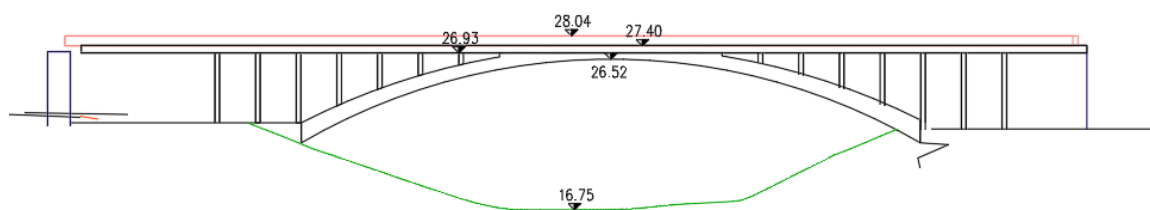


Figura 22: Prospetto dell’attraversamento sul fiume Aniene del GRA.

La struttura dell’impalcato appoggia sull’arco in chiave mentre la restante porzione della soletta dell’impalcato è sorretta da un reticolato di pilastrini. In sinistra idraulica, in area golenale passa al di sotto del ponte una strada di servizio, via Mirtillo. Tale passaggio avviene tra la spalla e l’arco, in uno spazio largo circa 9 m.

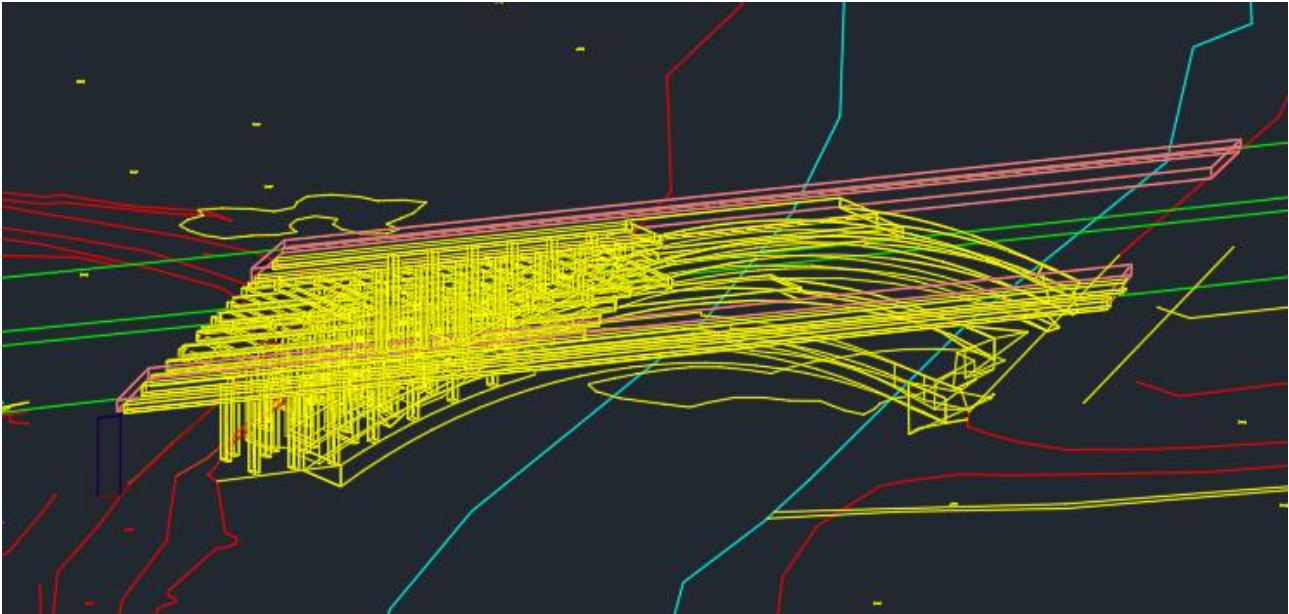


Figura 23: Vista prospettica del ponte del GRA sul fiume Aniene (fonte: rilievo celerimetrico).



Figura 24: Vista da valle, dalla sponda sinistra del ponte esistente del GRA sul fiume Aniene

Per la schematizzazione modellistica, vista la geometria dell’attraversamento, si è ritenuto cautelativo considerare come unica sezione utile al deflusso quella al di sotto dell’arco. Tale scelta è motivata dal fatto che la struttura di sostegno dell’impalcato costituito dai pilastrini determina un reticolato che al passaggio di materiale flottante trascinato dalla corrente, trattiene il materiale (come ramaglie e tronchi) provocando un’ostruzione totale delle comunque ridotte porzioni di deflusso libere tra un pilastro e l’altro. Inoltre, essendo il ponte non ortogonale alla direzione della corrente in piena, ma obliquo, è opportuno considerare una ulteriore diminuzione della sezione utile al deflusso dovuta appunto al

disallineamento tra la sezione di imbocco e di sbocco dell'attraversamento rispetto alla direzione in piena della corrente, lo si evince nella **Figura 23** in cui si riporta la vista prospettica del ponte.

Rispetto alle configurazioni di progetto, l'intervento relativo al potenziamento dell'Autostrada A90 (GRA) dallo svincolo Centrale del Latte allo svincolo A24 prevede lo scavalco del fiume Aniene sia per la complanare interna sia per quella interna. Tale configurazione progettuale prevede quindi la realizzazione di due nuovi attraversamenti sul fiume Aniene a monte e a valle del ponte esistente del GRA (**Figura 25**). L'ubicazione dei due attraversamenti è stata studiata in modo tale da rendere le due nuove opere in ombra rispetto al ponte esistente in modo tale non creare un aggravio per il deflusso delle piene del fiume. Le spalle dei ponti in progetto sono in ombra e seguono l'allineamento delle geometrie dell'infrastruttura del ponte esistente.

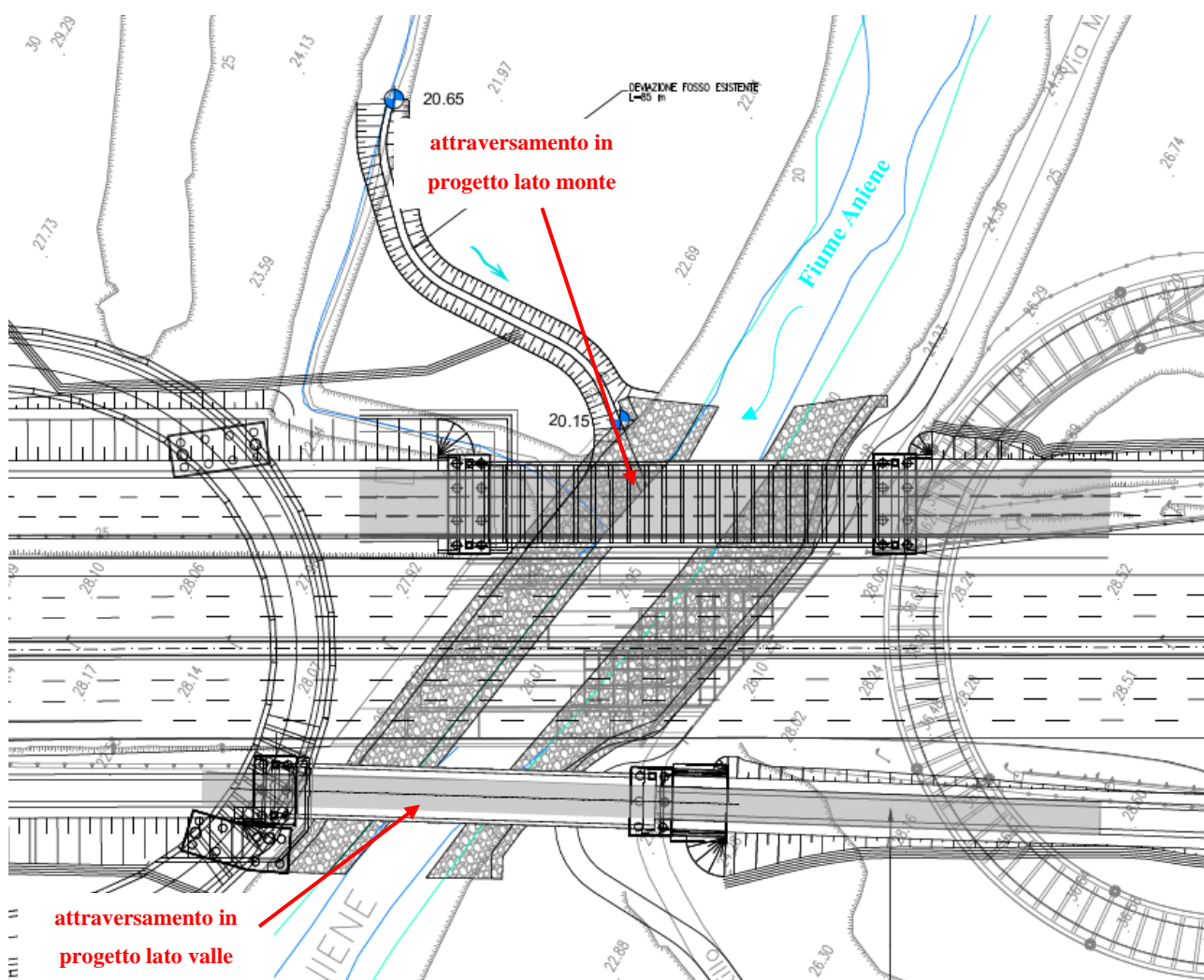


Figura 25: Planimetria di progetto degli attraversamenti sul fiume Aniene

L'attraversamento di monte è costituito da una unica campata di larghezza pari a 76,5 m circa. L'impalcato ha una quota di intradosso sulla spalla destra a 27,74 m s.m. mentre sulla spalla opposta la quota di intradosso è a 29,20 m s.m..

1 - SCALA 1:100

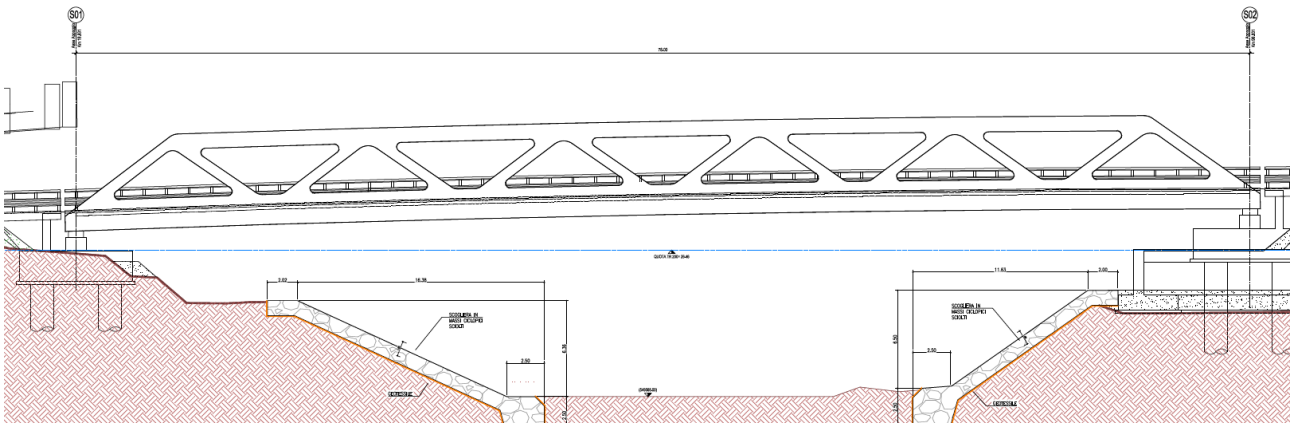


Figura 26: Prospetto del ponte di progetto della complanare lato monte

Anche l'attraversamento di valle è costituito da una unica campata di larghezza pari a 68 m circa. L'impalcato ha una quota di intradosso sulla spalla destra a 27,64 m s.m. mentre sulla spalla opposta la quota di intradosso è a 28,19 m s.m..

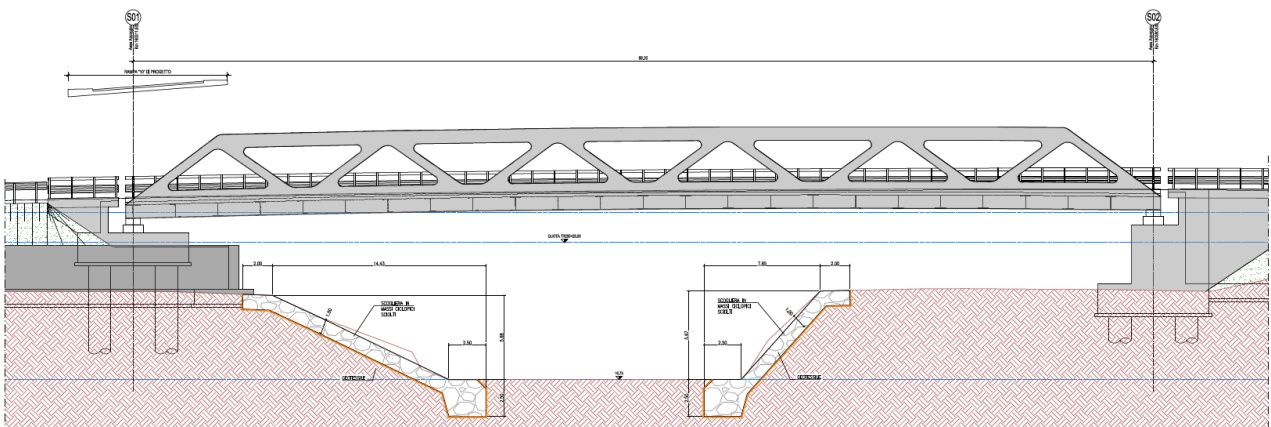


Figura 27: Prospetto del ponte di progetto della complanare lato valle

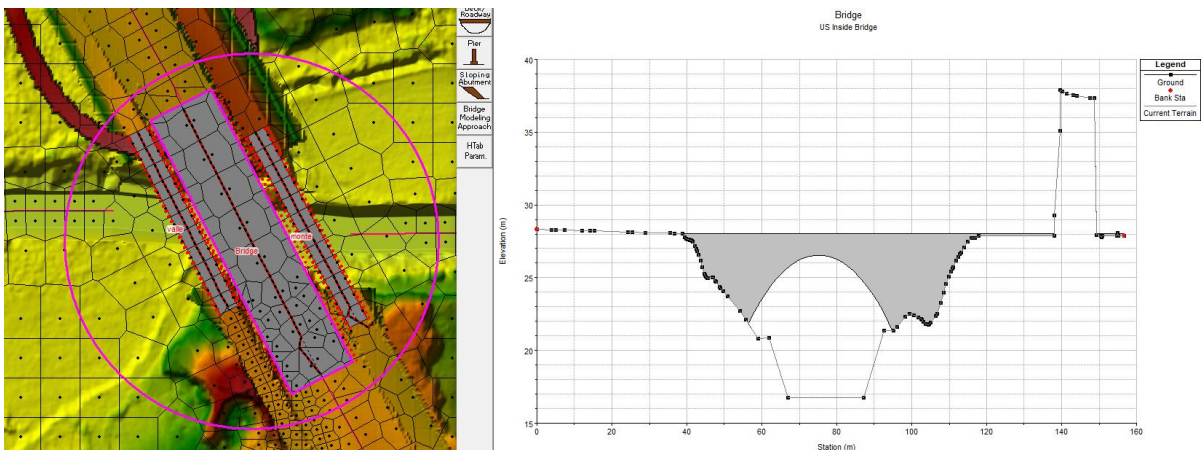


Figura 28: Schematizzazione modellistica del ponte esistente del GRA sul fiume Aniene.

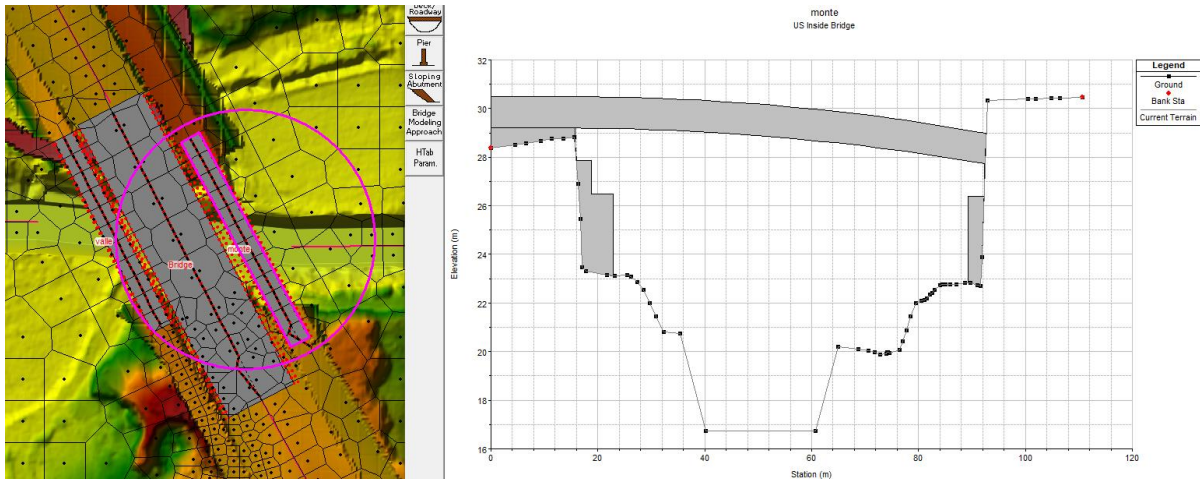


Figura 29: Schematizzazione modellistica del ponte in progetto della complanare lato monte del GRA sul fiume Aniene.

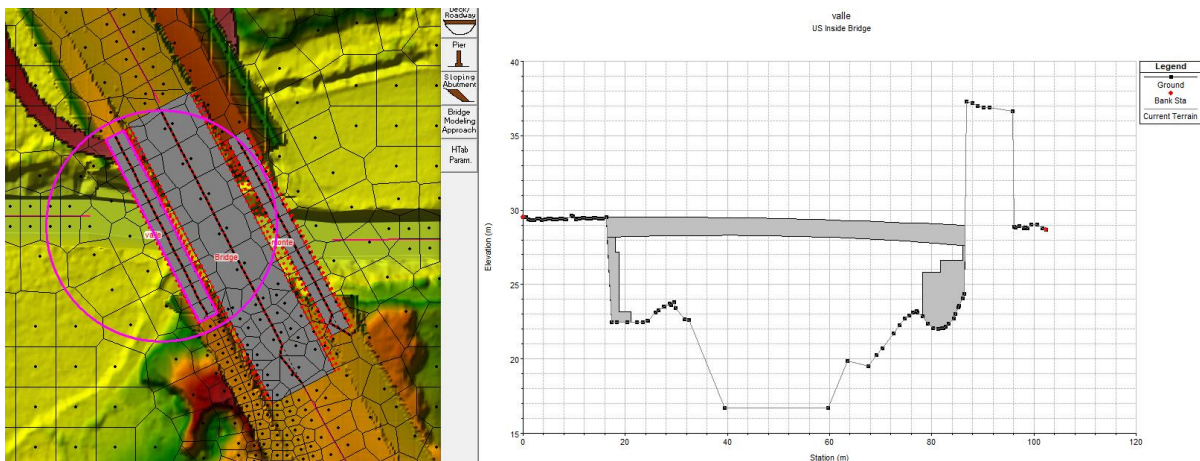


Figura 30: Schematizzazione modellistica del ponte in progetto della complanare lato valle del GRA sul fiume Aniene.

Infine, sono stati inseriti i tombini idraulici presenti sul rilevato del GRA in sponda destra, le cui geometrie sono state recuperate dal rilievo celerimetrico.

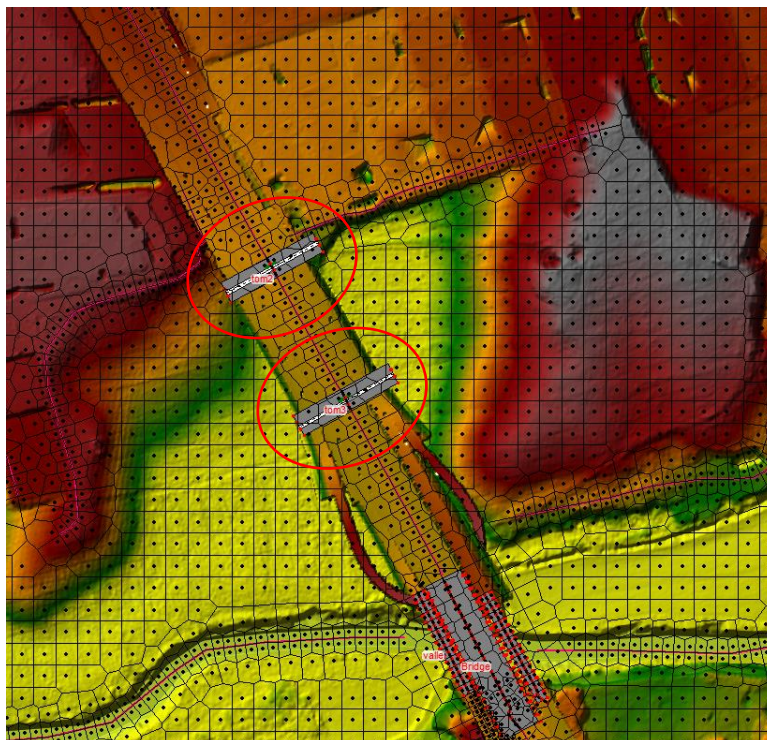


Figura 31: Tombini idraulici nel rilevato in sponda destra del GRA

4.2.1.3 Condizioni al contorno

Rimandando alla relazione idrologica per la descrizione dettagliata degli input idrologici utilizzate nelle analisi idrauliche finalizzate alla verifica di compatibilità degli attraversamenti, di seguito si elencano in forma le condizioni al contorno assegnate al modello bidimensionale per l’esecuzione delle simulazioni idrodinamiche:

- condizione al contorno di monte: idrogramma di portata della piena con tempo di ritorno di 200 anni (portata al colmo 689 m³/s);

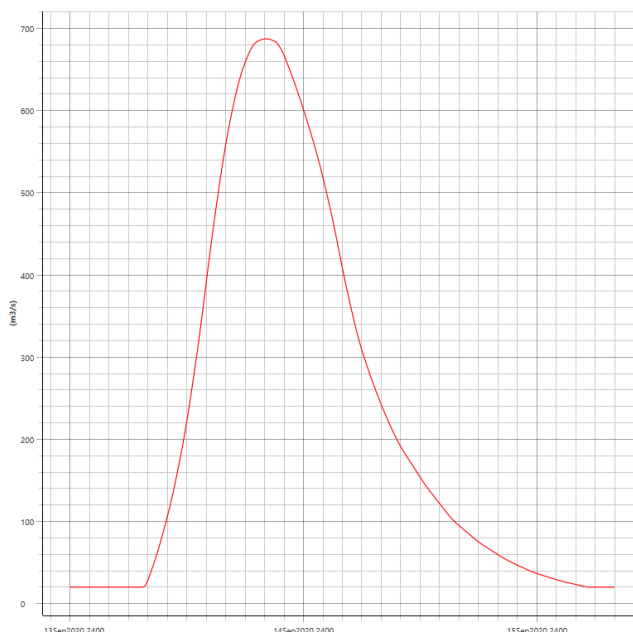


Figura 32: Idrogramma di piena - evento TR 200 anni.

- condizione al contorno di valle: condizione di moto uniforme.

4.2.1.4 Definizione della scabrezza

Per quanto concerne la scabrezza, la valutazione dei coefficienti da inserire nel modello è stata basata su dati di letteratura (coefficiente di Strickler per i corsi d’acqua naturali fornita da V. T. Chow), sull’esperienza acquisita nel campo della modellistica idraulica e sull’osservazione in loco e della documentazione fotografica a disposizione.

Per l’asta analizzata si è assunto un valore del coefficiente di Strickler (k) pari a $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n=0,04$), uniforme lungo il contorno bagnato dell’alveo di magra, mentre per le aree golenali allagabili è stato considerato un valore medio di $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n= 0,055$).

2. Excavated or Dredged Channels			
a. Earth, Straight, and Uniform:			
1. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
b. Earth Winding and Sluggish:			
1. No vegetation	0.023	0.025	0.030
2. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. Earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
c. Dragline-Excavated or Dredged:			
1. No vegetation	0.025	0.028	0.033
2. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
d. Rock Cuts:			
1. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
e. Channels not Maintained, Weeds and Brush Uncut:			
1. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. Same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140
3. Main Channels			
a. Clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective	0.040	0.048	0.055
f. Same as (d) with more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150
4. Mountain Streams, No Vegetation in Channel, Banks usually Steep, Trees and Brush along Banks Submerged at High Stages			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070
<small>Sources: (1) ASCE, (1982), Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY. (2) Chow, V.T., (1959), Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York, NY.</small>			

Figura 33: Valori dell’indice di scabrezza di Strickler ($\text{m}^{1/3}/\text{s}$).

4.2.2 Scenari di verifica idraulica

Le analisi idrauliche effettuate mediante modellazione numerica bidimensionale sono state condotte in regime di moto vario e hanno permesso di analizzare il comportamento idraulico in piena del fiume Aniene, nel tratto d’interesse in corrispondenza del GRA. In particolare, le simulazioni sono state condotte per determinare, in occasione di deflusso di piene significative, le possibili esondazioni e le interazioni con gli attraversamenti stradali nella configurazione ante e post Operam.

Le analisi hanno riguardato due differenti configurazioni, stato di fatto (ante Operam) e di progetto (post Operam), durante il transito della piena di riferimento per le analisi di compatibilità idraulica corrispondente all’evento con tempo di ritorno di 200 anni.

4.2.2.1 Analisi degli scenari simulati

Configurazione di stato di fatto – Evento TR200 anni

Lo scenario definisce il livello di riferimento per la verifica di compatibilità del ponte nella configurazione di stato di fatto.

Gli elementi principali che caratterizzano il comportamento in piena del ponte per la piena duecentennale sono sintetizzabili nei punti di seguito esposti.

- Le velocità massime puntuali raggiunte in prossimità del ponte sono prossime ai 3 m/s nella sezione in mezzeria al ponte. In corrispondenza dei rilevati di approccio alle spalle del ponte si notano delle velocità molto ridotte prossime a 0,2 – 0,5 m/s nelle zone più distanti all’alveo, poi man mano che ci si avvicina alla spalla per l’effetto di richiamo della corrente le velocità aumentano fino a raggiungere i valori massimi sopra esposti, in particolare in corrispondenza delle spalle le velocità massime riscontrate nel modello sono di circa 2 m/s. Un ulteriore aspetto che si nota grazie alla modellazione bidimensionale è il dettaglio dei vettori che indicano la direzione del moto. Per l’impatto con l’infrastruttura, durante l’evento di piena la corrente si rende ortogonale all’attraversamento e quindi devia rispetto alla direzione dell’alveo di magra di circa 20°.

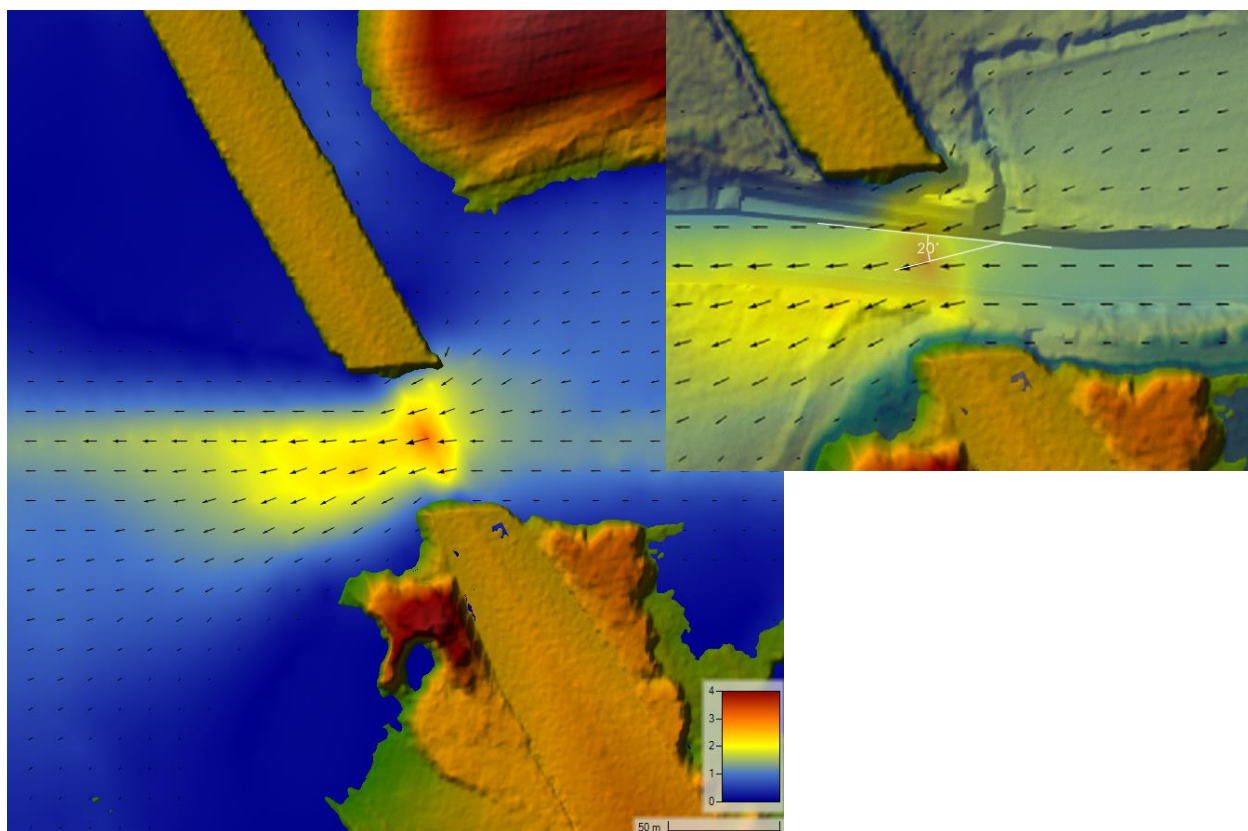


Figura 34: Andamento delle velocità massime in corrispondenza del ponte del GRA sul fiume Aniene nella configurazione di stato di fatto (evento di piena TR 200 anni)

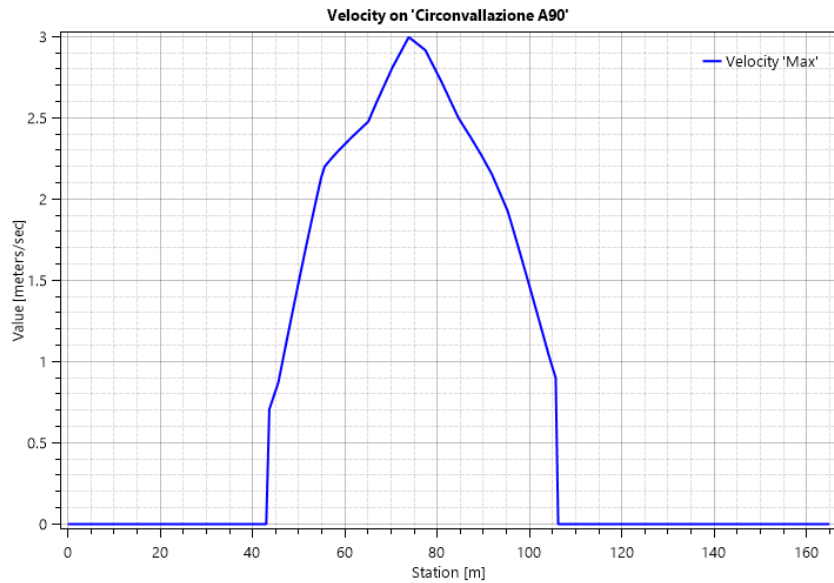


Figura 35: Andamento delle velocità nella sezione in mezzeria del ponte del GRA sul fiume Aniene (evento TR 200 anni)

- Analizzando i livelli idrici in corrispondenza dell’attraversamento si riscontra che nella sezione di imbocco al ponte il livello massimo è di 26,46 m s.m., in mezzeria è di 28,18 m s.m. mentre nella sezione appena a valle dell’attraversamento si ha un livello di 26,18 m s.m.. Quindi rispetto al livello di piena si percepisce che la corrente transita attraverso l’arco del ponte in pressione, pur garantendo un franco minimo rispetto al piano viabile di circa 1,5 m.

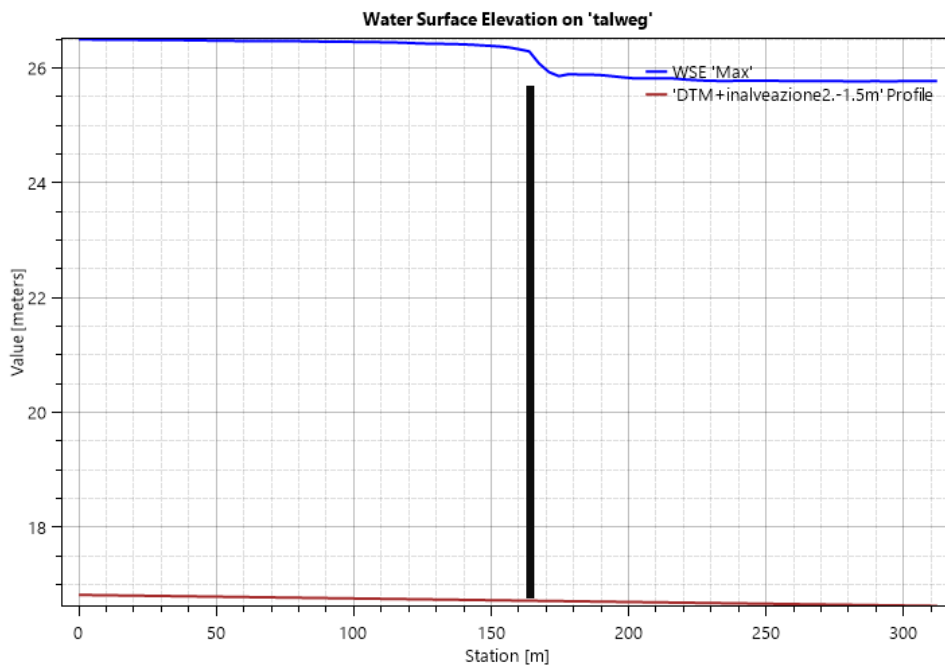


Figura 36: Profilo idraulico in corrispondenza del ponte del GRA sul fiume Aniene (configurazione di stato di fatto – Evento TR200 anni)

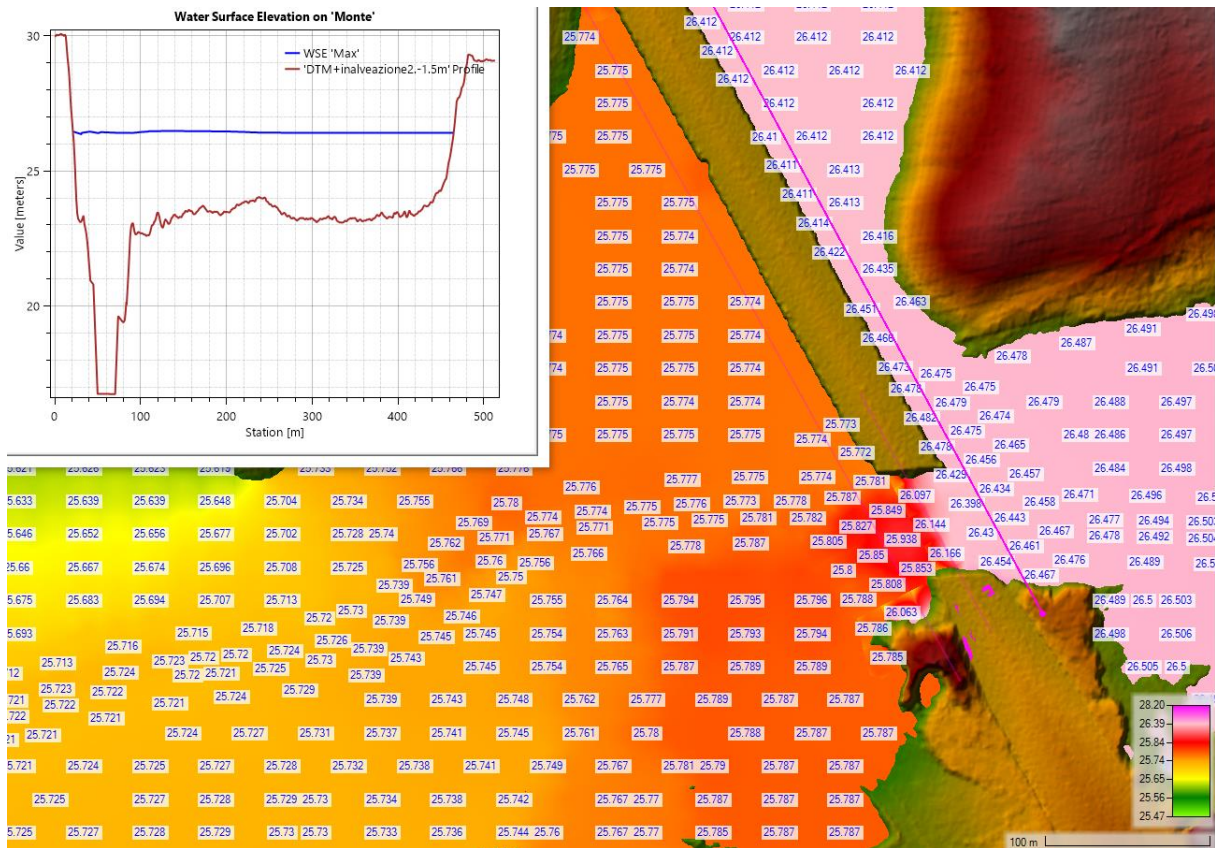


Figura 37: Involuppo dei massimi livelli idrici nella configurazione ante Operam (evento TR200 anni)

Configurazione di stato di progetto – Evento TR200 anni

Lo scenario definisce il livello di riferimento per la verifica di compatibilità dei ponti in progetto.

Preme evidenziare come in termini di volumi l’occupazione della viabilità in progetto è del tutto irrilevante rispetto ai volumi potenziali di piena e alle aree golenali allagate. L’allargamento del rilevato stradale, dovuto sia alla rilocalizzazione della strada sia ai rilevati d’approccio, comporta una diminuzione del volume di invaso, che si può ritenere tuttavia ininfluente ai fini della capacità d’invaso complessiva dell’area che è dell’ordine delle migliaia di metri cubi. Tale aspetto lo si riscontra sia dai profili idraulici sia dalle aree di allagamento riportate negli elaborati grafici del progetto.

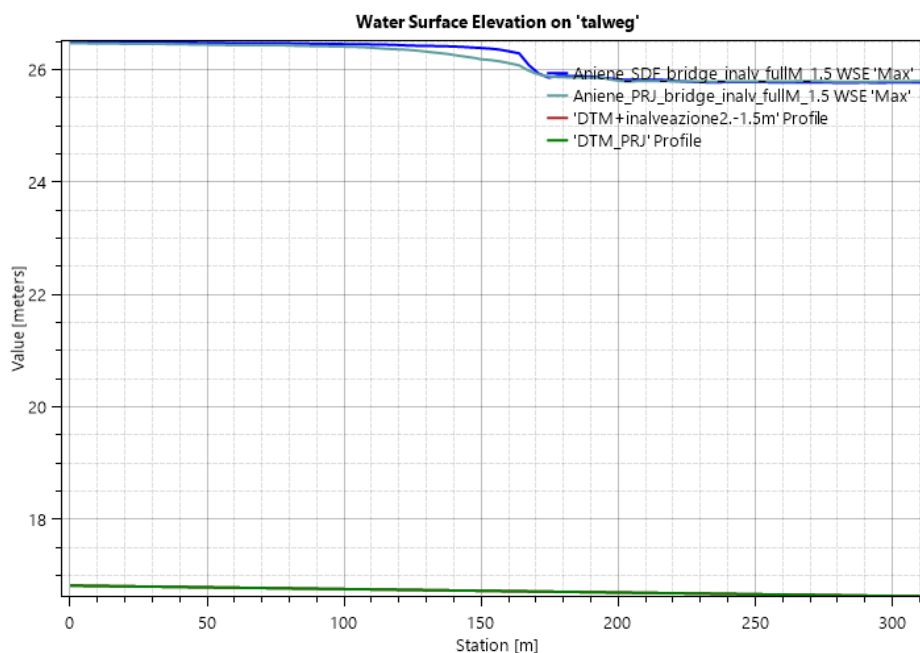


Figura 38: Confronto dei profili di piena in corrispondenza dell'attraversamento del GRA sul fiume Aniene nella configurazione di ante Operam (linea blu) e post Operam (linea azzurra)

Rispetto quindi alle condizioni idrauliche, l'intervento di progetto non è peggiorativo rispetto le attuali condizioni idrauliche.

Gli elementi principali che caratterizzano il comportamento in piena del ponte per la piena duecentennale sono sintetizzabili nei punti di seguito esposti.

- Le velocità massime puntuali raggiunte in prossimità dei tre ponti consecutive rimangono di circa 3 m/s. In corrispondenza dei rilevati di approccio alle spalle del ponte si notano delle velocità molto ridotte prossime a 0,2 – 0,5 m/s nelle zone più distanti all'alveo, poi man mano che ci si avvicina alla spalla per l'effetto di richiamo della corrente le velocità aumentano fino a raggiungere i valori massimi sopra esposti, in particolare in corrispondenza delle spalle le velocità massime riscontrate nel modello sono di circa 2 m/s. Per l'effetto dell'allungamento dell'attraversamento sul fiume Aniene si riscontra un bulbo delle velocità più esteso rispetto alla condizione ante Operam, questo effetto comporta quindi una minima riduzione dei livelli lato monte poichè in corrispondenza dell'attraversamento è aumentato il campo delle velocità.

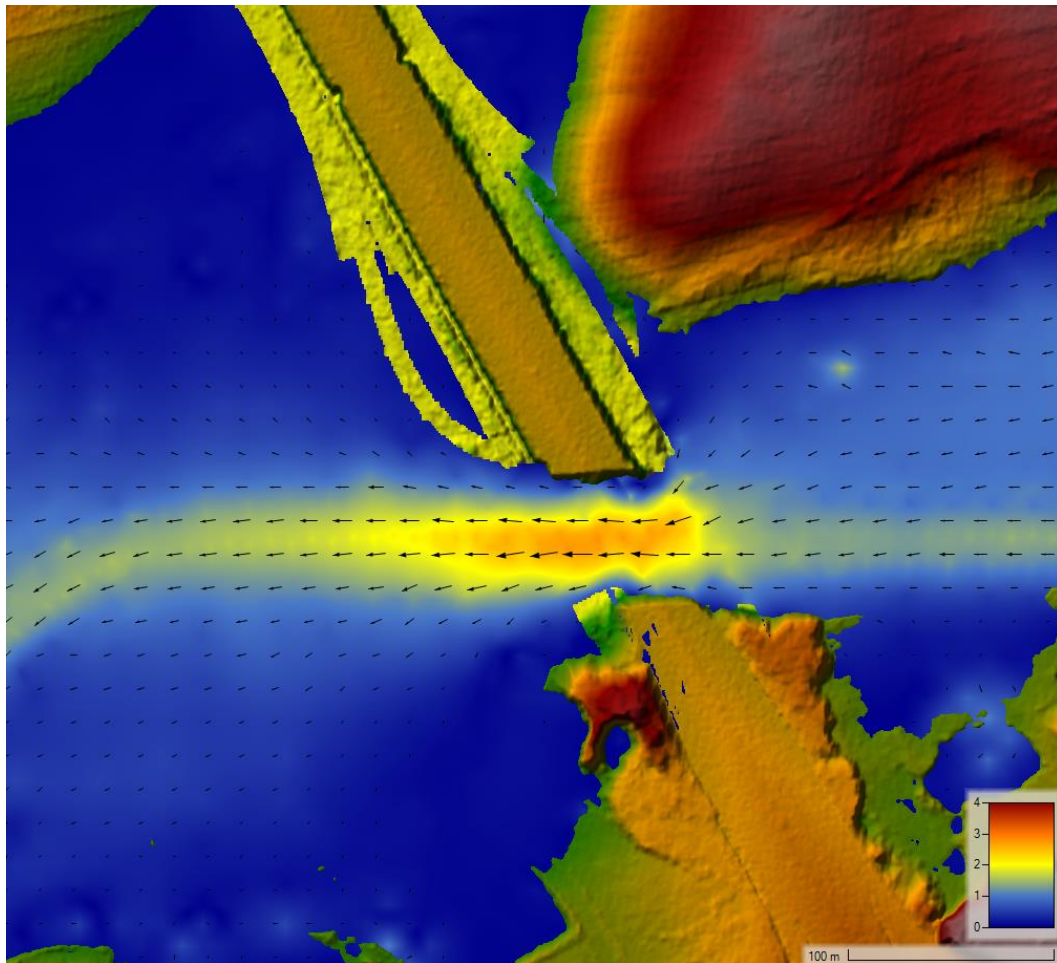


Figura 39: Andamento delle velocità massime in corrispondenza del ponte del GRA sul fiume Aniene nella configurazione di progetto (evento di piena TR 200 anni)

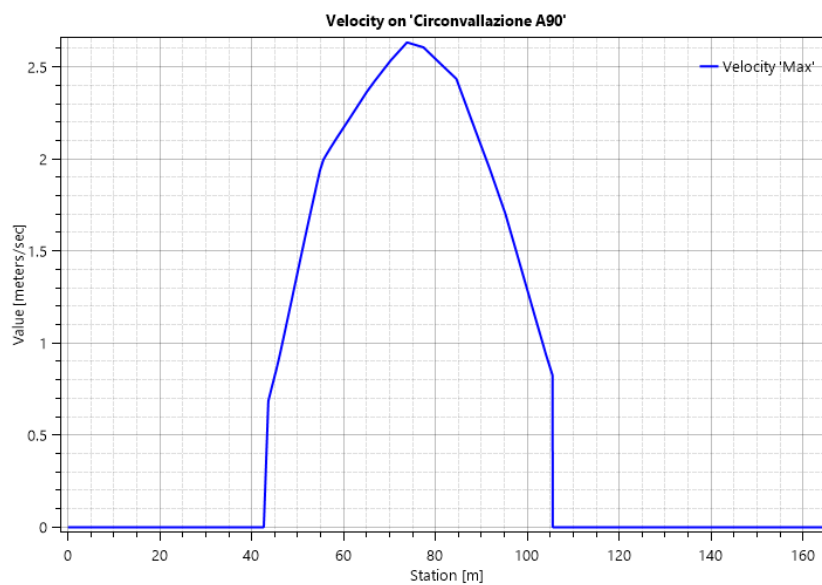


Figura 40: Andamento delle velocità nella sezione in mezzzeria del ponte del GRA sul fiume Aniene nella configurazione con i ponti di progetto (evento TR 200 anni)

- Analizzando i livelli idrici in corrispondenza dell’attraversamento in progetto di monte si riscontra che nella sezione di imbocco al ponte il livello risente del maggior effetto di richiamo della corrente rispetto alla configurazione ante Operam, con un livello di circa 26,43 m s.m., ma in corrispondenza della spalla destra il livello torna ad essere di 26,46 m s.m., a dimostrazione che le opere in progetto non determinano un aggravio rispetto alla condizione ante Operam pertanto è plausibile constatare l’invarianza idraulica dell’intervento rispetto all’impatto sul profilo della piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella sezione di imbocco dell’attraversamento in progetto della complanare di valle il livello è di 25,90 m s.m. mentre nella sezione a valle dell’attraversamento si registra un valore di livello pari a 25,80 m s.m.. E’ evidente che il profilo idrico rimane influenzato dal rigurgito dettato dal ponte esistente che continua ad avere un funzionamento in pressione dell’arco.

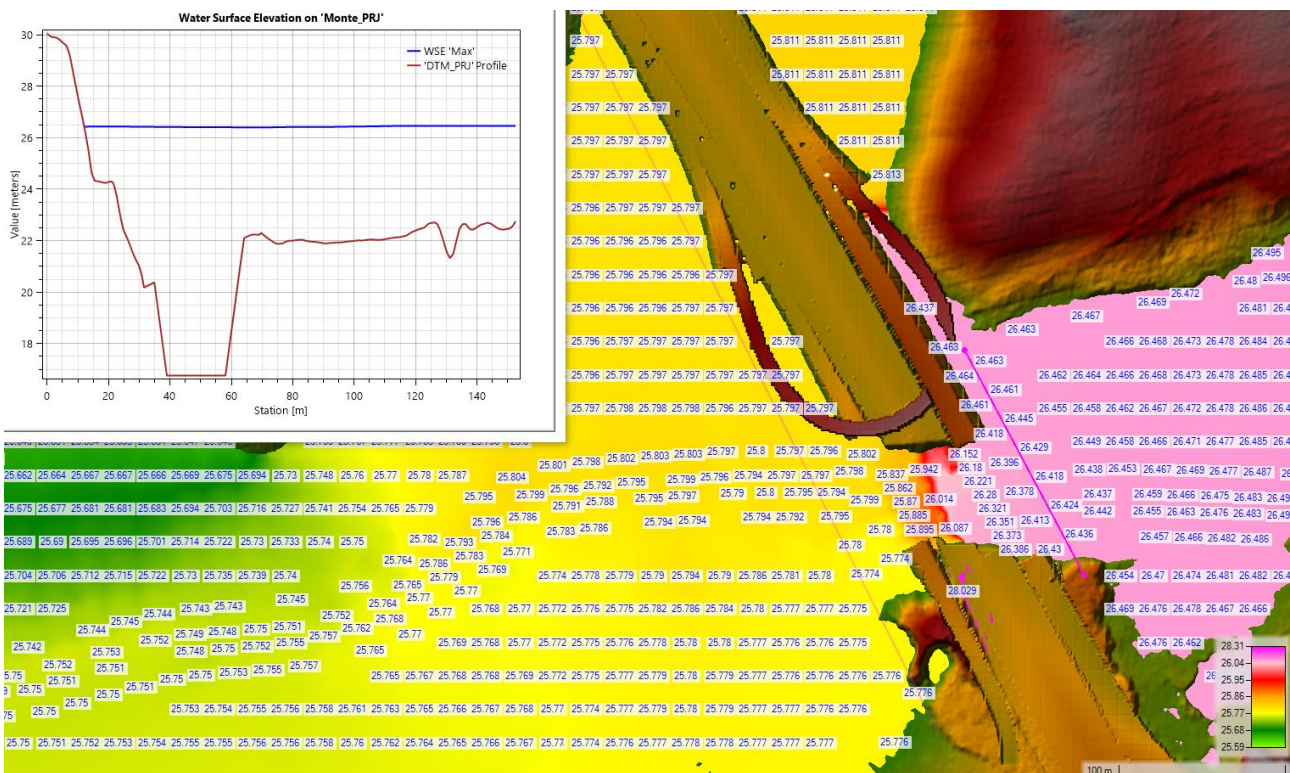


Figura 41: Involuppo dei massimi livelli idrici nella configurazione ante Operam (evento TR200 anni)

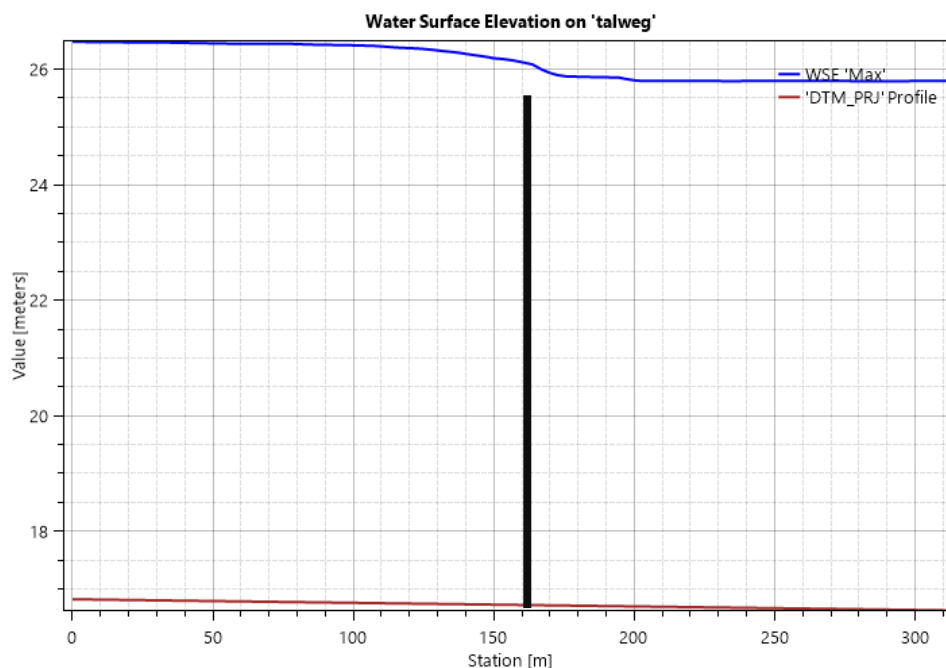


Figura 42: Profilo idraulico in corrispondenza del ponte del GRA sul fiume Aniene (configurazione di progetto – Evento TR200 anni)

4.2.3 Analisi delle iterazioni tra corrente e strutture

Le simulazioni idrauliche condotte permettono di analizzare le diverse grandezze che descrivono le interazioni tra il ponte e le condizioni di deflusso in piena lungo l'alveo ai fini della valutazione della compatibilità idraulica.

Nel seguito vengono presi in considerazione i seguenti temi:

- franco idraulico sul ponte;
- scalzamento sulle fondazioni in alveo del ponte.

4.2.3.1 Franco idraulico

Per quanto concerne la verifica del franco idraulico, si riporta di seguito una tabella riassuntiva (Tabella 7) in cui emerge la verifica imposta dalle normative vigenti.

In particolare, il franco è stato calcolato con riferimento alle NTC2018.

A tal proposito le strutture in esame sia quelle in progetto sia quella di stato di fatto, non avendo un implacato orizzontale possono essere paragonate a strutture ad arco rispetto al quale, secondo normativa, il franco idraulico deve essere calcolato rispetto ai 2/3 della luce netta della campata (fonte NTC2018_cap.5.1.2.3 “Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m). Quindi la quota di riferimento per il calcolo del franco idraulico per il ponte esistente risulta essere 24,21 m s.m., per il ponte della complanare di valle la quota di riferimento è di 28,11 m s.m. infine, per il ponte in progetto della complanare di monte la quota di riferimento per il calcolo del franco idraulico è di 28,52 m s.m..

Tabella 7: Sintesi dei risultati delle modellazioni monodimensionali per i differenti scenari.

Evento di piena	Attraversamento	Quota di intradosso di riferimento	Livello di piena	Fr (NTC)	Fr (calcolato)
		(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)	(m)
TR200	Ponte esistente	24,21	26,46	1,5	-2,24
TR200	Ponte in progetto (monte)	28,52	26,46	1,5	2,06
TR200	Ponte in progetto (valle)	28,11	25,90	1,5	2,21

4.2.3.2 Fenomeni di scalzamento

I fenomeni di scalzamento sulle fondazioni dei ponti sono la conseguenza dell’azione erosiva della corrente, che scava e trasporta a valle il materiale che costituisce il fondo dell’alveo.

La dimensione del fenomeno dipende dalla capacità erosiva della corrente, della resistenza all’erosione del materiale d’alveo e dal bilancio del trasporto solido entrante e uscente nella sezione del ponte.

Lo scalzamento totale relativo ai due attraversamenti in progetto è sostanzialmente riconducibile alla combinazione delle seguenti due componenti (Figura 36):

- abbassamento generalizzato dell’alveo;
- scalzamento da contrazione della sezione trasversale;
- scalzamento locale per effetto della pila e/o della spalla.

Le componenti devono essere sommate per ottenere il valore complessivo sulle fondazioni della struttura; questo equivale ad assumere che ciascuna componente si manifesti in modo indipendente rispetto alle altre e costituisce un criterio in qualche misura cautelativo.

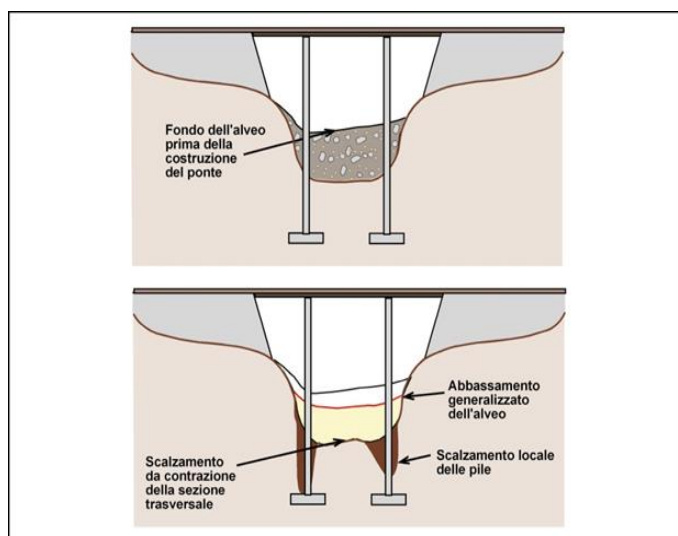


Figura 43: Componenti dello scalzamento nella sezione di un ponte generico.

In questo studio, i fenomeni di scalzamento sono stati valutati in riferimento ai soli interventi di progetto.

Abbassamento generalizzato dell'alveo

L'abbassamento generalizzato è un fenomeno di lungo termine dovuto all'evoluzione naturale dell'alveo o indotto da interventi antropici sullo stesso. Tale fenomeno, assieme al fenomeno inverso di interrimento del fondo alveo, è caratterizzabile analiticamente solo dal confronto storico multi-temporale di rilievi topografici eseguiti lungo il corso d'acqua all'altezza delle stesse sezioni trasversali, oppure è caratterizzabile mediante analisi geomorfologica e ricognizione dedicata.

Nel caso in esame non si hanno a disposizione dati utili per poter stimare tale contributo. Dall'analisi geomorfologica non si percepiscono evidenti segni di modifiche morfometriche dell'alveo da cui attendersi anche eventuali mutamenti rilevanti del fondo. Anche in prossimità delle opere di sostegno del ponte sul GRA esistente non sono evidenti particolari segni di abbassamento dei fondali del corso d'acqua.



Figura 44: Vista delle spalle del ponte esistente sul fiume Aniene.

Erosione per contrazione della sezione di deflusso

Il fenomeno si manifesta quando il ponte provoca una riduzione della larghezza della sezione trasversale dell'alveo di piena; ciò comporta un aumento della velocità media e dell'azione erosiva della corrente. Si ha quindi localmente un aumento del trasporto del materiale dal fondo che provoca un abbassamento del medesimo e un aumento dell'area della sezione fino al conseguimento di una condizione di equilibrio del bilancio del trasporto solido del tronco.

Il fenomeno è tipicamente ciclico, con il fondo alveo che si abbassa in fase crescente della piena e che si rialza parzialmente in fase decrescente. I fattori principali sono:

- Il restringimento dell'alveo attivo del corso d'acqua ad opera delle spalle del ponte;
- Il restringimento dell'alveo per effetto delle pile;
- Riduzione della porzione golenale dell'alveo di piena a causa dei rilevati di approccio al ponte.

L'intervento non prevede un'alterazione della sezione di deflusso rispetto alla configurazione ante Operam, pertanto, si ritiene plausibile trascurare dall'analisi questa componente di scalzamento.

Scalzamento locale per effetto delle spalle

Lo scalzamento al piede delle spalle è normalmente causato dalla turbolenza e dai vortici che si generano per effetto del convogliamento del deflusso golenale all'interno delle campate del ponte, in relazione all'azione di indirizzamento della corrente esercitata dai rilevati di approccio che si collegano alle spalle.

Il massimo valore dello scalzamento di solito si verifica sul lato di monte della spalla ed è funzione del grado di contrazione, della profondità di corrente e della quota della portata complessiva che defluisce sul piano golenale.

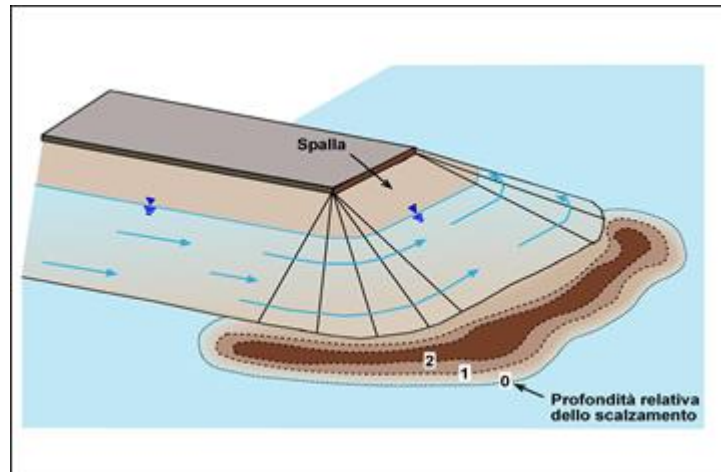


Figura 45: Schema del fenomeno di scalzamento in corrispondenza di una spalla.

La maggiore esposizione allo scalzamento riguarda le spalle posizionate in prossimità delle sponde incise dell'alveo; in molti casi, particolarmente con piani golenali molto ampi che sono sede di deflussi consistenti, sono state osservate profondità di scalzamento dell'ordine di grandezza di 3/4 volte la profondità di corrente sul piano golenale.

L'ostruzione al deflusso provocata dalla spalla e dai rilevati dà origine a un vortice orizzontale, che parte dal lato di monte e corre lungo la fondazione, e a un vortice verticale sul lato di valle della spalla.

Come descritto sopra, l'entità massima di scalzamento la si riscontra nella sezione di monte della spalla in impatto con la corrente ed è funzione del grado di contrazione, per tale motivo l'analisi di tale fenomenologia è stata studiata rispetto all'attraversamento in progetto della complanare di monte. Cautelativamente poi tali valori sono stati considerati anche per il dimensionamento delle fondazioni dell'attraversamento di valle che per la conformazione geometrica, essendo in allineamento con l'esistente, subirà un minor interessamento degli effetti erosivi della corrente. La fenomenologia in esame è stata valutata mediante l'applicativo “Bridge Scour” del codice di calcolo HEC-RAS.

Dai risultati ottenuti dalle formulazioni teoriche si osserva che rispetto alla spalla destra si ha una escavazione di circa 4,4 m, mentre rispetto alla spalla sinistra si raggiunge un valore prossimo ai 5 m (4,7 m per esattezza).

Con l'inserimento delle scogliere l'effetto di tale fenomenologia verrà contrastato in modo da salvaguardare il più possibile anche le opere fondazionali del ponte esistente.

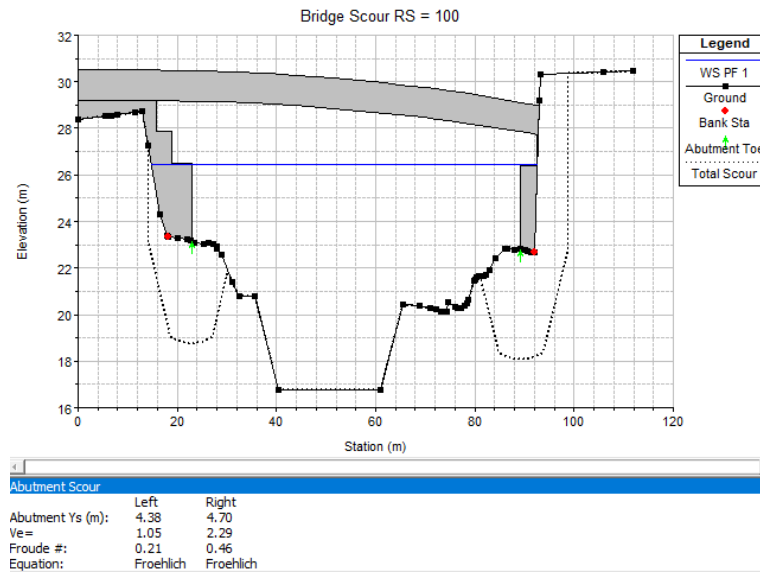


Figura 46: Risultati del calcolo dello scalzamento delle spalle (codice di calcolo Hec-Ras).

5 CONCLUSIONI

L'intervento progettuale è di potenziamento e raccordo con la viabilità esistente: la presenza di svincoli e sovrappassi è elemento di vincolo che limita a livello “sartoriale” qualsiasi intervento di rialzo dell'attuale livelletta altimetrica del G.R.A.

L'inquadramento di compatibilità idraulica progettuale è pertanto da intendersi con riferimento ad un miglioramento, o quantomeno NON peggioramento delle attuali condizioni di deflusso, stante le necessarie ed approfondite verifiche modellistiche sia in termini di allagamenti, sia in termini di azioni idrodinamiche e quindi di scalzamento sulle opere esistenti.

Le condizioni attuali di criticità idrauliche evidenziate nel PAI sono qui confermate, tuttavia preme evidenziare che:

- gli allagamenti del Pratolungo sono condizionati da valle dai livelli idrometrici dell'Aniene: viste le caratteristiche idromorfometriche dei due corsi d'acqua, la concomitanza idrologica tra la piena dell'Aniene e del Pratolungo è certamente evento raro avente tempo di ritorno superiore a TR=200 anni;
- gli allagamenti del Pratolungo sono condizionati da monte dalla costruzione della cassa di laminazione, intervento di difesa del territorio altamente strategico per ampi quartieri urbani posti a valle del GRA;
- i flussi sia dell'Aniene che del Pratolungo avvengono attualmente in corrispondenza del GRA con velocità modeste e tali da non instaurare condizioni gravose di erosione.

L'intervento progettuale ha le seguenti peculiarità:

Aniene

- i due nuovi ponti sull'Aniene hanno luce superiore a 40 m, senza pile in alveo e corpo spalla allineato con l'esistente (ponte esistente che presenta un sistema articolato ed ingombrante tra l'arco e i pilastini di sostegno con l'impalcato);
- i due nuovi ponti sull'Aniene garantiscono un franco di almeno 1.5 m;
- le azioni di erosione presso i due nuovi ponti sull'Aniene risultano contenute: sono previste in ogni modo delle scogliere in massi ciclopici ad azione antiscalzamento;
- le condizioni progettuali di pericolosità idraulica NON sono peggiorative rispetto all'attuale quadro conoscitivo;

Fosso di Pratolungo

- l'intervento è di prolungamento verso valle del ponte esistente, lato carreggiata interna: per tale motivo non vengono certamente alterate le attuali condizioni di deflusso del corso d'acqua in termini di allagamento o velocità;
- le azioni di erosione risultano pressoché nulle;
- le condizioni progettuali di pericolosità idraulica NON sono peggiorative rispetto all'attuale quadro conoscitivo;
- **per la sicurezza del GRA (e del quartiere limitrofo) risulta strategica la realizzazione della cassa di laminazione prevista dalla Regione Lazio.**

ALLEGATI

Indice

- 1** ALLEGATO I - DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS
- 2** ALLEGATO II - RISULTATI SIMULAZIONI IDRODINAMICHE MONODIMENSIONALI
 - 2.1 SCENARIO DI STATO DI FATTO IN ASSENZA DI LAMINAZIONE
 - 2.1.1. Fosso di Pratolungo TR=200 anni e livello Aniene TR=200 Moto permanente
 - 2.1.2. Fosso di Pratolungo TR=200 anni e livello Aniene TR=200 Moto vario
 - 2.2 SCENARIO DI STATO DI FATTO CON LAMINAZIONE
 - 2.2.1. Fosso di Pratolungo TR=200 anni e livello Aniene di magra Moto vario
 - 2.3 SCENARIO DI PROGETTO CON LAMINAZIONE
 - 2.3.1. Fosso di Pratolungo TR=200 anni e livello Aniene di magra Moto vario

1 ALLEGATO I -
DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS

1. DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

Il modello di simulazione implementato da HEC-RAS (River Analysis System) presso l'Hydrologic Engineering Center dell'United States Army Corps of Engineers, consente il calcolo dei profili idraulici di moto permanente gradualmente vario in reti di canali naturali o artificiali.

Con tale modello possono essere simulate condizioni di moto subcritico, supercritico e misto e possono essere valutati gli effetti di immissioni o emissioni laterali di portata, opere in alveo, ostacoli al flusso e costruzioni presenti lungo le sponde.

Come noto, le equazioni utilizzate per valutare le perdite di carico e quindi il profilo di rigurgito di una corrente variano a seconda del tipo di corrente. Per correnti che si mantengono o sempre lente o sempre veloci in un determinato tratto, si è utilizzata l'equazione della conservazione dell'energia totale.

1.1 CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA TOTALE

Isolando un tratto di corrente e indicando con 1 e 2 le sezioni a monte e a valle del tratto, si è definita l'equazione dell'energia, in riferimento alla Figura 1, nel modo seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

dove

h_e , perdite di energia;

V_i , velocità media nella sezione, pari al rapporto tra portata totale ed area totale;

α_i , coefficienti legati alla distribuzione della velocità nella sezione

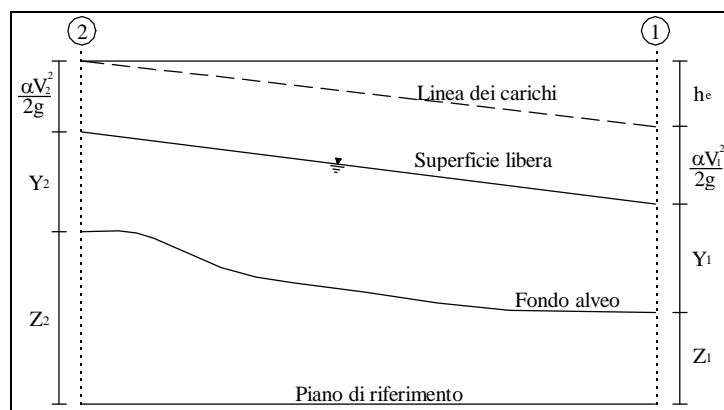


Figura 1 Schema di calcolo

La perdita di carico h_e presente tra due sezioni è causata prevalentemente dalla perdita per attrito o per le variazioni di velocità intrinseche nelle zone di espansione o contrazione della corrente. Indicando con J la cadente piezometrica e con C un coefficiente che tiene conto del fenomeno dell'espansione o contrazione, le perdite di pressione sono state pertanto calcolate nel modo seguente:

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

Il coefficiente C di espansione o contrazione è stato valutato, in funzione del tipo di transizione che si determina, in accordo alla seguente tabella.

Tabella 1 - Coefficiente di contrazione o espansione

C	Contrazione	Espansione
Nessuna transizione	0,0	0,0
Transizione graduale	0,1	0,3
Sezione tipica di un ponte	0,3	0,5
Rapida transizione	0,6	0,8

La presenza di una espansione o di una contrazione è valutata confrontando la velocità a monte e a valle della sezione considerata. In particolare, se la velocità a monte risulta maggiore della velocità a valle, nella sezione si attesta un'espansione del canale; viceversa una contrazione.

La cadente piezometrica J e il coefficiente di ragguglio dell'energia cinetica adimensionale α_i , che compaiono nelle equazioni (1) e (2), vengono espresse in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della corrente nel seguente modo.

La pendenza d'attrito J viene calcolata come rapporto tra la portata media Q ed il coefficiente medio di resistenza K .

$$J = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad \text{con} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (3)$$

dove

n , coefficiente di scabrezza di Manning;

A , area della sezione;

R , raggio idraulico.

Per portare adeguatamente in conto la frequente circostanza di sezione caratterizzata da zone a differente scabrezza (tipica in particolare degli alvei a banchina e savanella), i valori della conveyance per ciascuna area golenale sono ottenuti come somma dei rispettivi valori parziali (Figura 2). Il canale principale è invece trattato come un unico elemento dotato di un solo valore

di conveyance. Il valore finale ragguagliato di K per l'intera sezione è ottenuto come somma dei tre contributi parziali (sinistra, canale, destra).

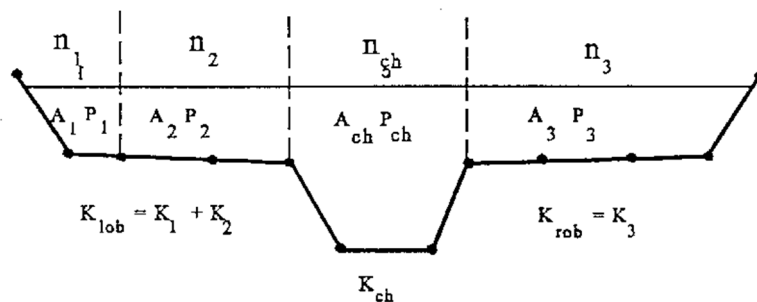


Figura 2 Procedura di calcolo della conveyance

Per ciò che concerne invece il coefficiente di ragguaglio α , poiché coerentemente con la citata ipotesi di corrente monodimensionale, ad ogni sezione resterà associata una sola superficie libera e di conseguenza una sola altezza cinetica. In particolare, per un dato valore del tirante idrico nella sezione, l'altezza cinetica viene calcolata come valor medio pesato alla portata fra quelli associati alle tre sottosezioni: golenia sinistra, canale, golenia destra. Una semplice schematizzazione del modello, nel caso di assenza di golenia sinistra è riportato in Figura 3. In pratica l'altezza cinetica è calcolata mediante la relazione:

$$\alpha \cdot \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot \left(\frac{V_i^2}{2g} \right)}{Q_{tot}} \quad (4)$$

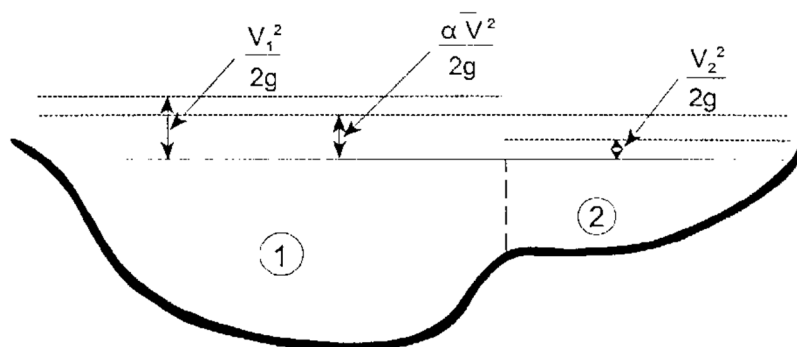


Figura 3 Suddivisione in sottosezione con eguale velocità della corrente

Dalla precedente relazione pertanto il coefficiente di ragguglio risulta quindi:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot V_i^2}{Q \cdot V^2} \quad (5)$$

L'incognita della (1) è la quota idrometrica (Y+Z), che il programma di calcolo determina con il metodo della secante applicato all'equazione del bilancio energetico.

La procedura risulta iterativa e si svolge attraverso i seguenti passi:

- Si assume una quota idrica $(Y+Z)_{ass.2}^1$ di primo tentativo per la sezione incognita, di monte nel caso di moto lento o di valle per corrente rapida;
- Basandosi sull'assunzione della quota idrica si determinano i corrispondenti termini cinetici;
- Valutata la pendenza J, si risolve l'equazione per calcolare le perdite h_e nel tratto;
- Dai valori ottenuti viene effettuato il calcolo della corrispondente quota idrica da confrontare con la quota assunta all'inizio del processo iterativo determinando l'errore commesso.

Il programma ripeterà i passaggi descritti fino al momento in cui l'errore risulterà minore della tolleranza, imposta di default come 0.003 m.

Le equazioni utilizzate per i primi due tentativi sono:

$$(Y + Z)_{calc.2}^1 = E_1 + h_e - \left(\alpha \frac{V^2}{2g} \right)_2 \quad (6)$$

Equazione per la determinazione della quota calcolata:

$$err^1 = (Y + Z)_{ass.2}^1 - (Y + Z)_{calc.2}^1 = E_2 - (E_1 + h_e) \quad (7)$$

Errore della prima iterazione:

$$(Y + Z)_{ass.2}^2 = (Y + Z)_{ass.2}^1 - 0.70 \cdot err^1 \quad (8)$$

Valore assunto per la seconda iterazione:

$$err^2 = (Y + Z)_{ass.2}^2 - (Y + Z)_{calc.2}^2 = E_2 - (E_1 - h_e) \quad (9)$$

Errore della seconda iterazione.

Mentre per il calcolo dei tentativi successivi viene applicata la formula del metodo della secante, nella forma:

$$(Y+Z)_{ass.2}^I = (Y+Z)_{ass.2}^{I-1} - err^{I-1} \cdot \frac{(Y+Z)_{ass.2}^{I-1} - (Y+Z)_{ass.2}^{I-2}}{err^{I-1} - err^{I-2}} \quad (10)$$

Nel caso in cui il numero delle iterazioni necessarie raggiunga il valore massimo impostato (20 di default) senza soddisfare la tolleranza, si confronterà con la quota $(Y+Z)_{crit}$, corrispondente alle condizioni critiche della sezione, il valore della quota al quale nelle varie iterazioni compiute corrisponde il valore minimo di errore, $(Y+Z)_{min_err}$.

Se da tale confronto risulta un corretto posizionamento della quota rispetto la quota critica ($(Y+Z)_{min_err} > (Y+Z)_{crit}$ per profili in corrente lenta e $(Y+Z)_{min_err} < (Y+Z)_{crit}$ per profili in corrente veloce) e l'errore associato a $(Y+Z)_{min_err}$ sia inferiore ad una seconda tolleranza impostata maggiore della precedente (0.1 di default), il valore $(Y+Z)_{min_err}$ è assunto come soluzione; nel caso in cui, invece, l'errore corrispondente non soddisfi la seconda tolleranza oppure la posizione risulti non corretta rispetto alla quota critica, la soluzione assunta è l'altezza critica.

Si osserva dunque che indipendentemente dal tipo di condizione imposta per la risoluzione del moto del profilo, moto subcritico o moto supercritico, il profilo può risultare costituito da tratti validi con il pelo libero superiore alla quota critica, intervallati da altri tratti in cui il profilo coincide con quest'ultima.

1.2 EQUAZIONE DELLA CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO

L'equazione della conservazione dell'energia totale (1) ha validità solo nel caso di correnti gradualmente variate all'interno del ramo in esame. In particolare viene applicata nel caso di corrente ovunque subcritiche o supercritiche. Qualora all'interno di un ramo si verificasse il passaggio da corrente veloce a lenta, con perdita della gradualità del movimento, è necessario impostare una risoluzione del codice di calcolo tramite un regime di corrente mista. Per tale metodo di calcolo è necessario assegnare due condizioni al contorno: una a monte ed una a valle. In tal caso la determinazione del profilo avviene secondo un procedimento nel quale si utilizza il teorema della quantità di moto per la localizzazione dell'eventuale risalto idraulico.

La grandezza che regola il regime di corrente mista è la spinta totale composta dalla spinta idrostatica (P_i) e idrodinamica della corrente ($Q\rho\Delta V$).

$$S_{tot} = \gamma \bar{A} Y \cos \theta + Q\rho V_x \quad (10)$$

Applicando l'equazione globale dell'equilibrio dinamico al volume di controllo compreso tra le sezioni 1-2, in cui la corrente si suppone gradualmente variata, (Figura 4) e proiettandola lungo l'asse x, si ottiene

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (11)$$

dove si è indicato con

P_i , spinta idrostatica sulla sezione i ;

W_x , componente della forza peso nella direzione del moto;

F_f , forza d'attrito lungo la superficie di contorno del volume di controllo;

Q , portata complessiva (supposta costante);

ρ , densità del fluido;

ΔV_x , variazione della velocità tra le due sezioni.

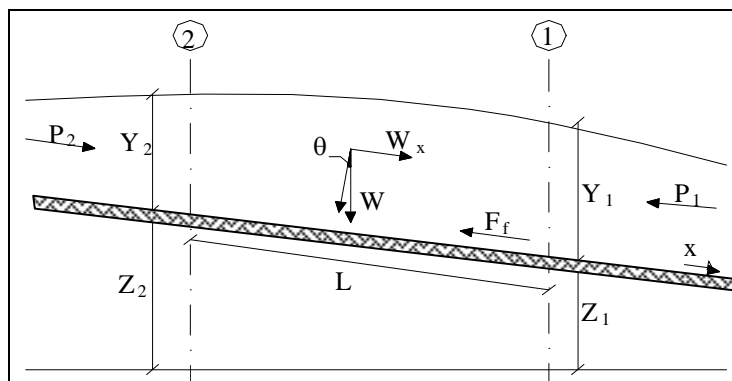


Figura 4 Schema di calcolo

I termini idrostatici per pendenze dell'ordine di 1 a 10 sono valutabili come

$$P = \gamma \bar{A} \bar{Y} \cos \theta \cong \gamma \bar{A} \bar{Y} \quad (12)$$

potendo porre, per le pendenze in esame, $\cos \theta = 1$.

Nella relazione (12) γ corrisponde al peso specifico del fluido, A l'area della sezione ed \bar{Y} l'altezza del pelo libero nel baricentro della sezione.

La componente della forza peso, noto il peso specifico del fluido, la lunghezza L del tronco e l'area totale di fluido presente, è stata valutata nel modo seguente:

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \Rightarrow W_x = W \cdot \sin \theta \quad (13)$$

La forza d'attrito F_f è funzione delle caratteristiche del fluido come la densità dell'acqua, l'azione tangenziale che si esplica sul letto del fiume e la cadente piezometrica J .

In particolare:

$$F_f = \tau PL$$

$$\tau = \gamma R J \Rightarrow F_f = \gamma \frac{A}{P} J PL = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot JL \quad (14)$$

dove P ed R sono rispettivamente il perimetro bagnato ed il raggio idraulico della sezione.

La soluzione dell'equazione (10) avviene per iterazioni successive. Vengono quindi calcolati tutti i profili sia in regime di corrente subcritica, partendo dalla sezione di valle e procedendo a ritroso fino alla sezione di monte, sia in regime supercritico partendo dalla sezione di monte con la condizione imposta, determinando nel primo caso $S_{tot,sub}$ e nel secondo $S_{tot,super}$. Le sezioni in cui la soluzione è posta uguale alla quota critica $(Y+Z)_{crit}$ vengono salvate in memoria.

Successivamente si controlla che $S_{tot,super}$ sia maggiore della $S_{tot,sub}$. Se risulta $S_{tot,super} > S_{tot,sub}$ allora è valida la condizione supercritica ed inizia il calcolo del profilo di corrente veloce verso valle controllando che in ogni sezione permanga verificata la disuguaglianza.

Se invece nella sezione di monte è $S_{tot,super} < S_{tot,sub}$, è valida la soluzione subcritica, e il programma ricerca la prima sezione verso valle, conservata in memoria, in cui la soluzione in regime subcritico era stata posta uguale alla quota critica. Da qui ha inizio il calcolo di un profilo di corrente rapida verso valle che è valido finché non si arriva ad una sezione con una soluzione subcritica alla quale corrisponde una $S_{tot,super} < S_{tot,sub}$.

Si assume quindi che, fra questa sezione e quella precedente si verifichi un risalto idraulico, con transizione da corrente veloce a corrente lenta e si prosegue con lo stesso criterio fino ad arrivare alla sezione di valle.

Nella Figura 5 è rappresentata una parte del profilo dove si verifica il passaggio dal regime supercritico a quello subcritico, che può verificarsi in regime di corrente mista.

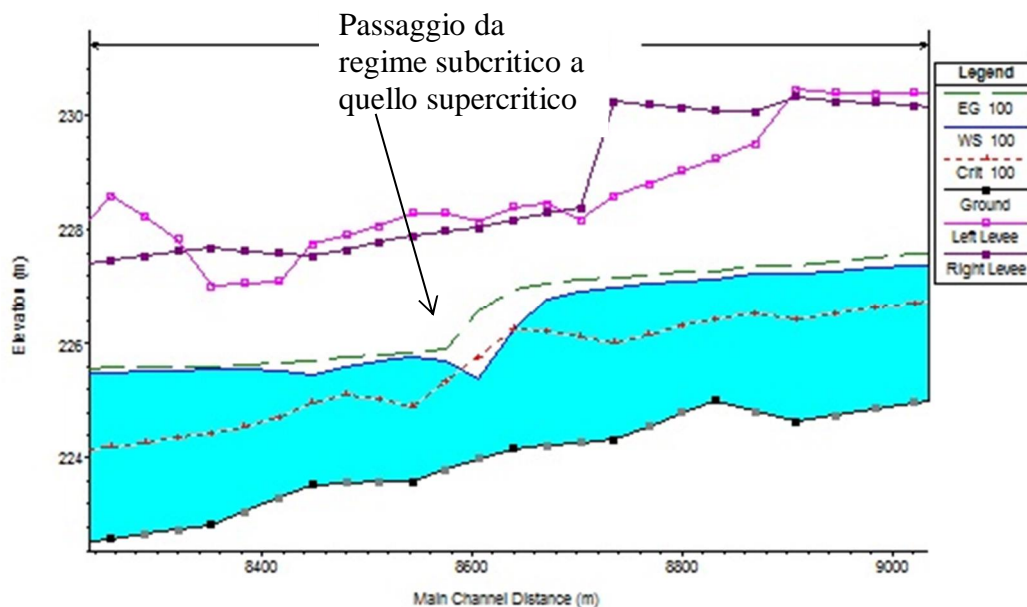


Figura 5 Profilo calcolato in regime di corrente mista

Le equazioni (1) e (11) sono state applicate anche alle sezioni caratterizzate dalla presenza di un ponte. E' stato sufficiente suddividere il tratto interessato in più sezioni e ripetere per la successione di esse l'analisi svolta per il tratto delimitato da sole due sezioni.

Prendendo un tratto caratterizzato dalla presenza di un ponte, Figura 4 e Figura 5, si evidenziano 3 zone:

- una zona di contrazione;
- una zona intermedia interessata dalla presenza del ponte;
- una zona di espansione.

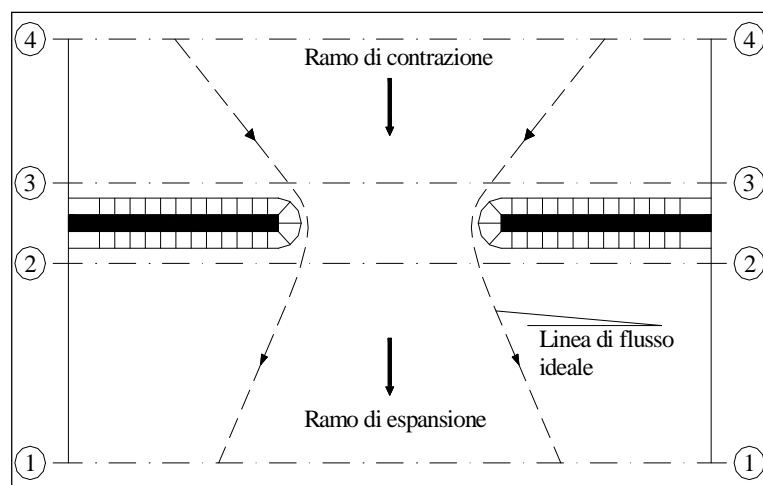


Figura 5 Pianta schematica di un attraversamento fluviale

L'applicazione dell'equazione della conservazione della quantità di moto tra le sezioni 1-2 e 3-4 è del tutto analoga alla situazione vista in precedenza mentre la presenza del ponte comporta termini nuovi nella valutazione dell'equilibrio tra le sezioni 2-BD (Step 1), BD-BU (Step 2) ed BU-3 (Step 3).

Step 1; definendo con A_{pi} l'area ostruita ed con Y_{pi} la distanza verticale che intercorre tra il baricentro delle pile e la superficie libera nella zona di valle, l'espressione del bilancio è la seguente:

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{g A_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} = \frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 Y_2 - A_{P_{BD}} Y_{P_{BD}} + F_f - W_x \quad (15)$$

Step 2; equilibrio tra BU e BD:

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{g A_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} + F_f - W_x = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{g A_{BU}} + A_{BU} Y_{BU} \quad (16)$$

Step 3 ; equilibrio tra BU e 3:

$$\frac{Q_3^2 \beta_3}{g A_3} + A_3 Y_3 = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{g A_{BU}} + A_{BU} Y_{BU} - A_{P_{BU}} Y_{P_{BU}} + F_f - W_x + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{P_{BU}} Q_3^2}{g A_3^2} \quad (17)$$

con C_D coefficiente di resistenza idrodinamica intorno alla pila ricavabile dalla tab. 2 in funzione del tipo di pila presente.

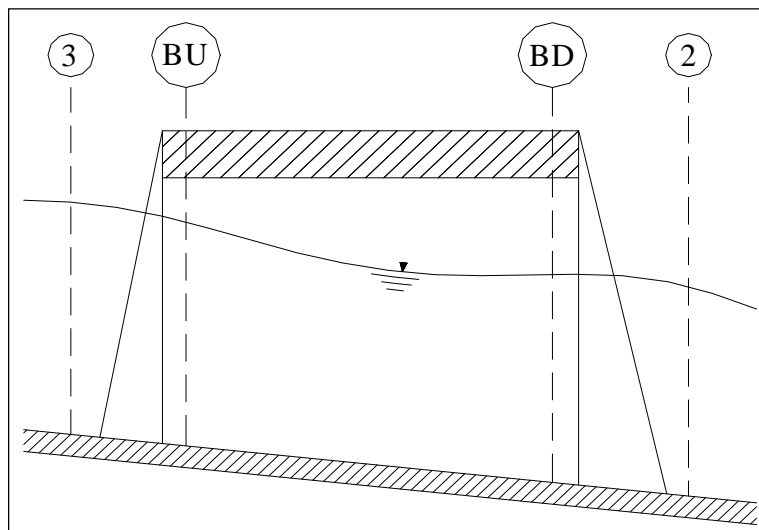


Figura 6 Sezione schematica di un attraversamento fluviale

Tabella 2 - Coefficiente di resistenza idrodinamico C_D

TIPO DI PILA	C_D
Pila circolare	1.2
Pila allungata con punta semicircolare	1.33
Pila ellittica con rapporto assi 2 :1	0.6
Pila ellittica con rapporto assi 4 :1	0.32
Pila ellittica con rapporto assi 8 :1	0.29
Pila rettangolare	2.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 30^\circ$	1.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 60^\circ$	1.39
Pila triangolare con apertura $\alpha = 90^\circ$	1.60
Pila triangolare con apertura $\alpha = 120^\circ$	1.72

In alternativa all'equazione della conservazione della quantità di moto il software permette anche di utilizzare l'equazione di Yarnell (non utilizzata per i casi specifici) che permette di valutare le perdite di energia localizzate in corrispondenza di un ponte.

Con riferimento alle Figura 4 e Figura 5, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono state valutate nel modo seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6) \cdot (\alpha + 15\alpha^4) \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (18)$$

dove H_{i-j} rappresenta appunto la perdita di energia nel passaggio della corrente attraverso la sezione ostruita e K , coefficiente di Yarnell, tiene conto delle differenti sagome di pila esistenti, tabella 3;

Tabella 3 - Coefficiente di Yarnell

TIPO DI PILA	K
Pila semicircolare in punta	0.9
Pila cilindrica doppia collegata con diaframma	0.95
Pila cilindrica doppia senza diaframma	1.05
Pila con punta triangolare $\alpha = 90^\circ$	1.05
Pile rettangolari	1.25
Dieci pile a cavalletto inclinate	2.5

ω rappresenta il rapporto tra l'altezza ed il tirante della sezione 2; α il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine V_2 la velocità a valle della sezione.

Il modello elaborato prevede una corrente con un'altezza idrica minore dell'altezza di intradosso del ponte. Nel caso di correnti con altezza idrica superiore o eguale alla quota di intradosso dell'attraversamento fluviale, la valutazione delle perdite di energia è effettuata attraverso il calcolo della portata che attraversa la sezione. In particolare, in riferimento ad un caso generico, Figura 6, la portata è calcolata nel modo seguente:

$$Q = C_d A_1 \left[2g \left(Y_1 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \quad (19)$$

dove

C_d , coefficiente di deflusso il cui andamento è riportato nel grafico di Figura 7, assumendo valori tra 0,27 e 0,5;

A_1 , area della luce nella sezione di monte;

Y_1 , altezza idrica della sezione di monte;

α , coefficiente correttivo cinetico;

V_1 , velocità della corrente a monte.

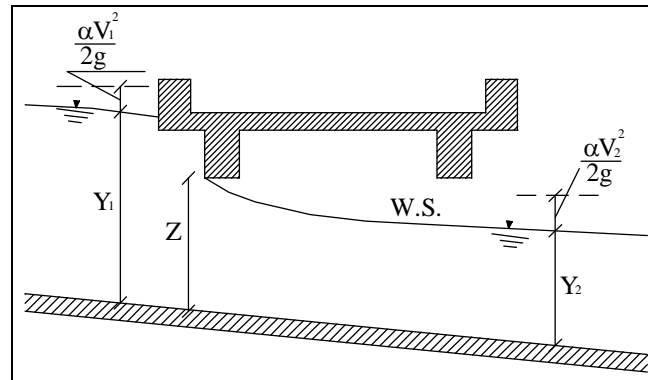


Figura 7 Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

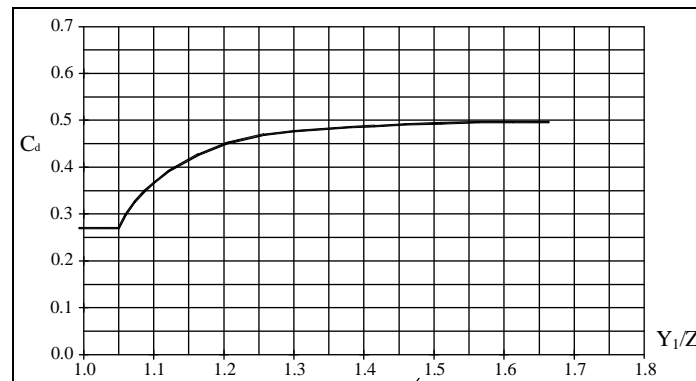


Figura 8 Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso C_d

Se il ponte è in pressione sia a monte che a valle l'equazione (19) è corretta nel modo seguente:

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad (20)$$

dove C assume il valore di 0.8 ed H coincide con la perdita di energia totale tra la sezione di monte e di valle del ponte come indicato in Figura 9.

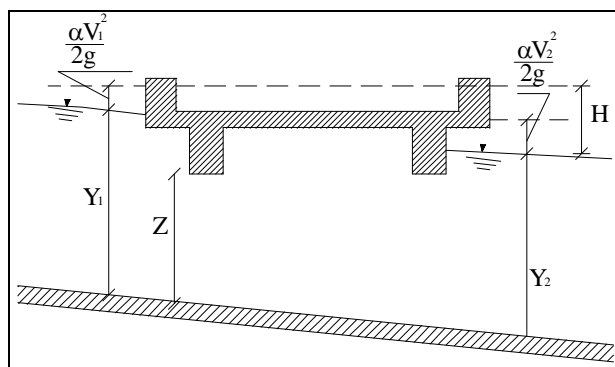


Figura 9 Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 10, la portata si calcola nel modo seguente:

$$Q = CLH^{2/3} \quad (21)$$

con C si indica un coefficiente correttivo della portata, L la lunghezza del ponte ed H la differenza di energia tra monte e valle.

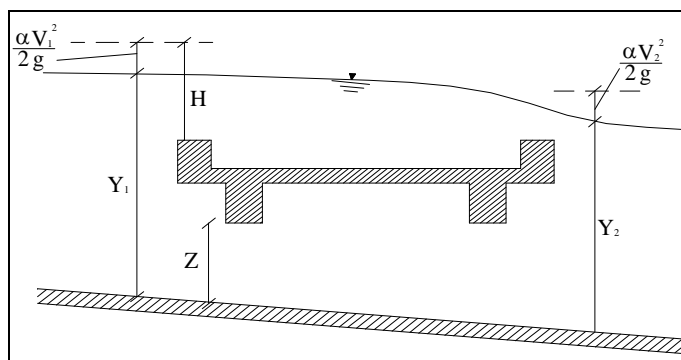


Figura 10 Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

2 ALLEGATO II -
RISULTATI SIMULAZIONI IDRODINAMICHE MONODIMENSIONALI

2.1 SCENARIO DI STATO DI FATTO IN ASSENZA DI LAMINAZIONE

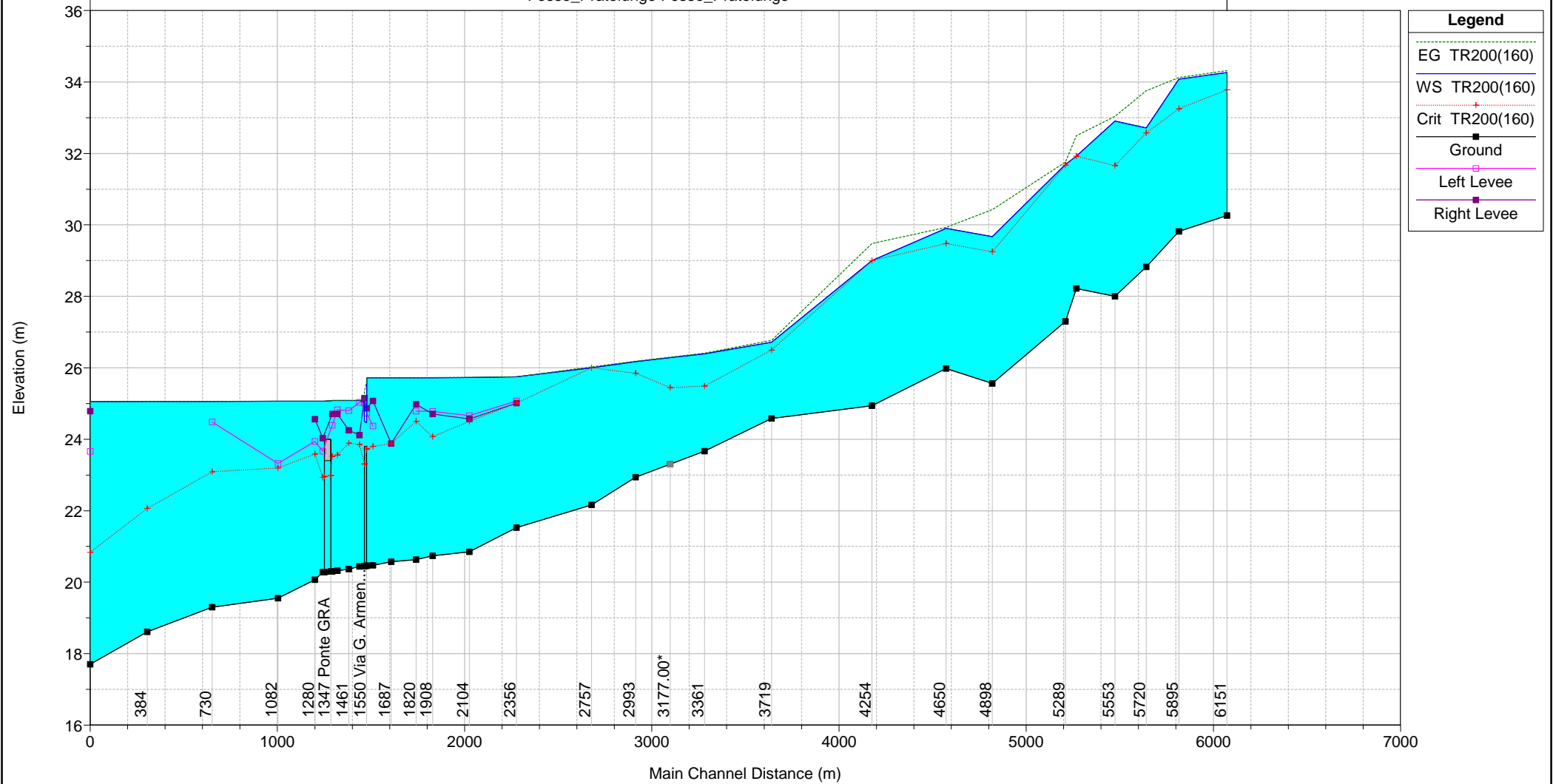
2.1.1. Fosso di Pratolungo
TR=200 anni e livello Aniene TR=200
Moto permanente

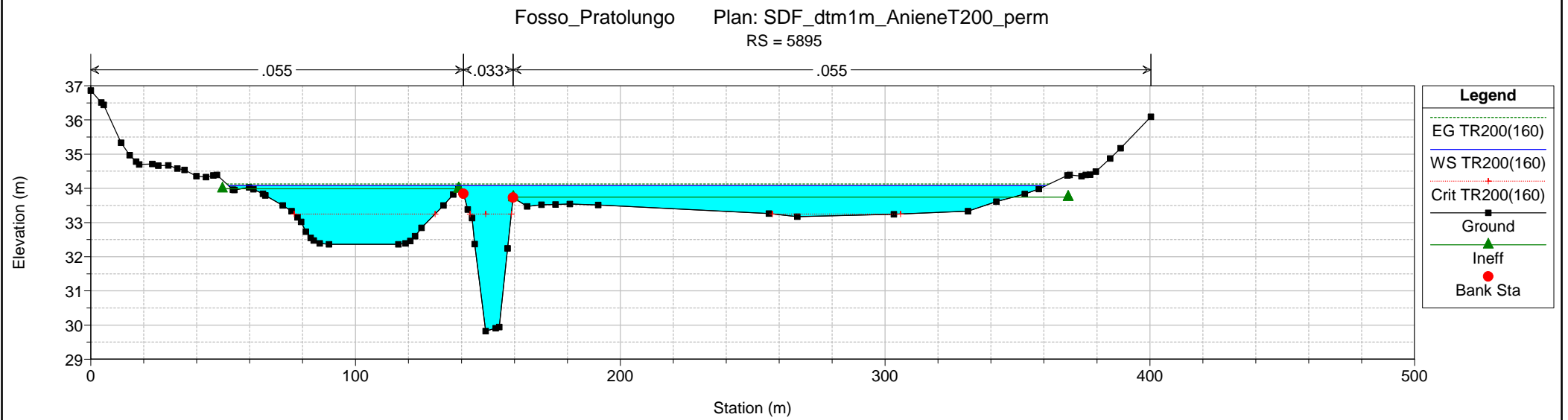
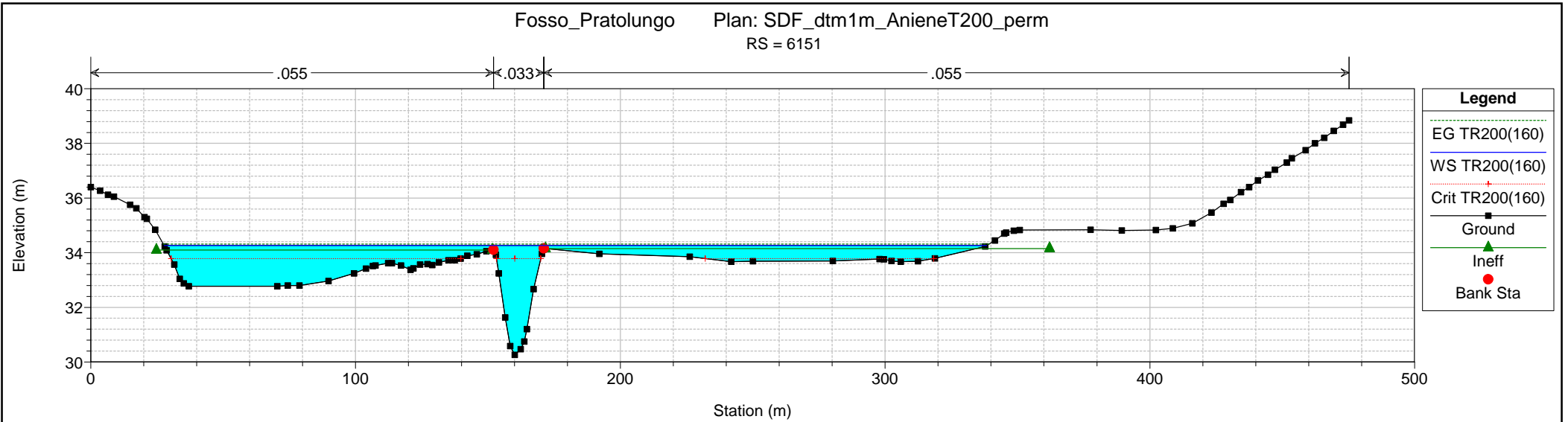
HEC-RAS Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_perm River: Fosso_Pratolungo Reach: Fosso_Pratolungo Profile: TR200(160)

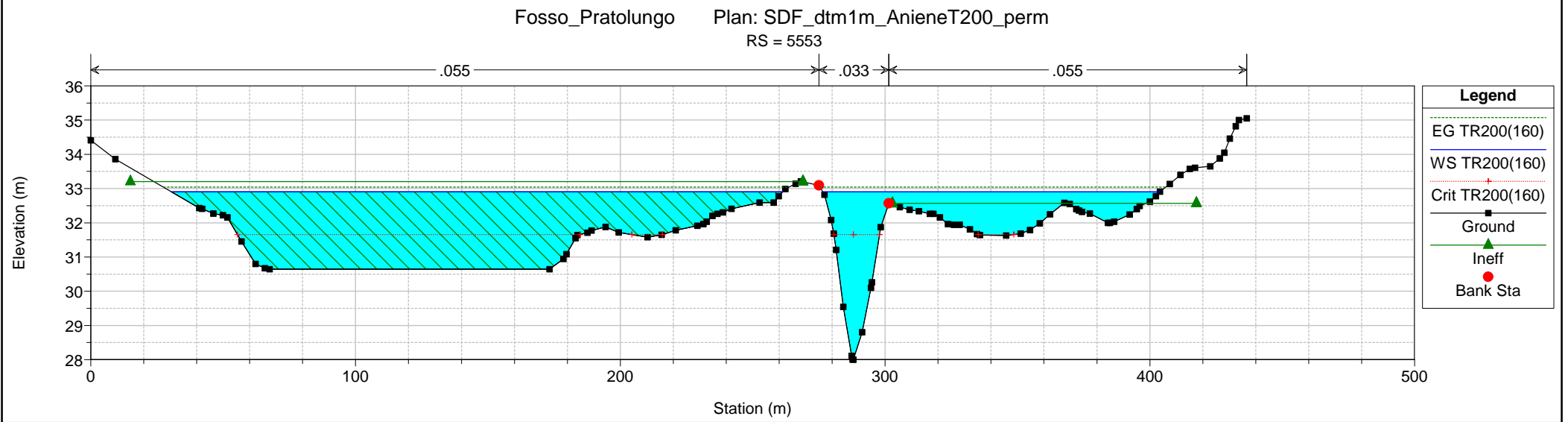
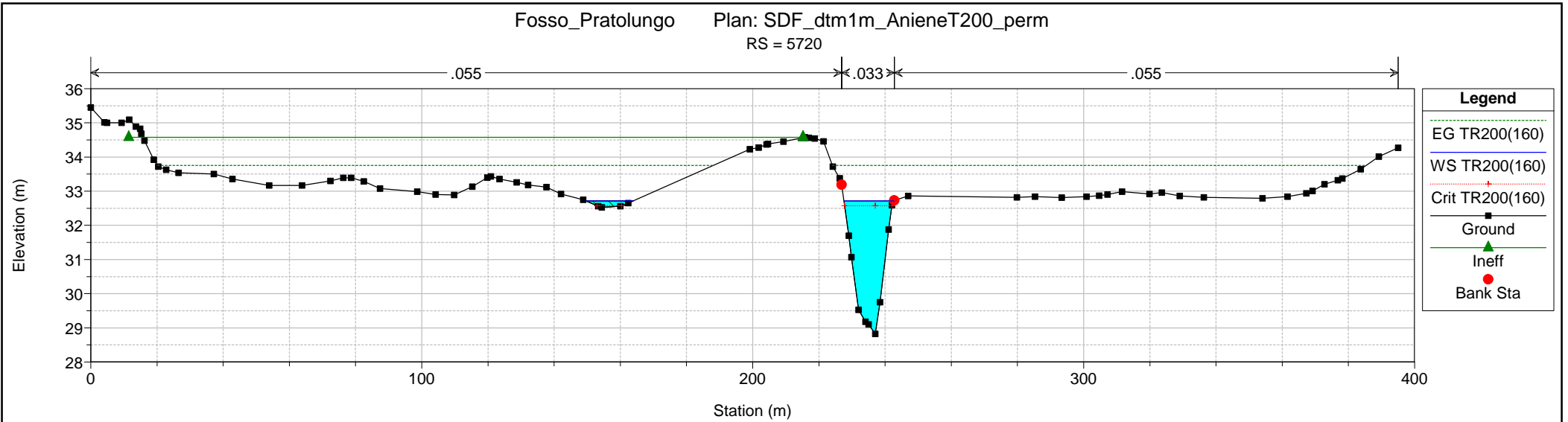
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	Max Chl Dpth (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	Diff	Froude # Chl	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Vel Total (m/s)	Hydr Radius C (m)	Shear Chan (N/m2)	Hydr Depth (m)
Fosso_Pratolungo	6151	TR200(160)	160.00	30.26	4.00	34.26	33.78	0.48	0.31	34.32	1.49	0.65	2.11	18	0.79
Fosso_Pratolungo	5895	TR200(160)	160.00	29.82	4.26	34.08	33.25	0.83	0.26	34.12	1.34	0.57	2.34	15	0.91
Fosso_Pratolungo	5720	TR200(160)	160.00	28.82	3.90	32.72	32.58	0.14	0.94	33.75	4.51	4.51	2.03	171	2.34
Fosso_Pratolungo	5553	TR200(160)	160.00	28.00	4.90	32.90	31.66	1.24	0.38	33.04	1.88	1.13	2.31	29	1.11
Fosso_Pratolungo	5346	TR200(160)	160.00	28.22	3.70	31.92	31.92	0.00	0.82	32.50	3.55	2.70	1.77	111	1.06
Fosso_Pratolungo	5289	TR200(160)	160.00	27.30	4.39	31.69	31.67	0.02	0.28	31.76	1.23	1.11	1.86	37	0.77
Fosso_Pratolungo	4898	TR200(160)	160.00	25.56	4.11	29.67	29.25	0.42	0.80	30.43	3.84	3.84	2.09	124	2.34
Fosso_Pratolungo	4650	TR200(160)	160.00	25.98	3.93	29.91	29.48	0.43	0.23	29.93	1.08	0.47	2.14	10	0.97
Fosso_Pratolungo	4254	TR200(160)	160.00	24.94	4.06	29.00	29.00	0.00	0.68	29.48	3.20	2.12	2.11	85	0.60
Fosso_Pratolungo	3719	TR200(160)	160.00	24.58	2.13	26.71	26.50	0.21	0.44	26.77	1.62	0.92	1.28	26	1.05
Fosso_Pratolungo	3361	TR200(160)	160.00	23.67	2.72	26.39	25.49	0.90	0.24	26.41	0.98	0.48	1.58	9	1.04
Fosso_Pratolungo	3177.00*	TR200(160)	160.00	23.31	2.98	26.28	25.44	0.84	0.25	26.30	1.00	0.47	1.50	9	0.95
Fosso_Pratolungo	2993	TR200(160)	160.00	22.94	3.23	26.17	25.85	0.32	0.23	26.19	0.89	0.46	1.38	8	1.00
Fosso_Pratolungo	2757	TR200(160)	160.00	22.16	3.84	26.00	26.00	0.00	0.27	26.02	1.21	0.57	1.59	13	0.90
Fosso_Pratolungo	2356	TR200(160)	160.00	21.53	4.22	25.75	25.01	0.74	0.08	25.75	0.44	0.23	2.50	2	1.85
Fosso_Pratolungo	2104	TR200(160)	160.00	20.85	4.88	25.73	24.50	1.23	0.08	25.73	0.48	0.23	3.16	2	2.06
Fosso_Pratolungo	1908	TR200(160)	160.00	20.74	4.98	25.72	24.07	1.65	0.06	25.73	0.37	0.19	3.28	1	2.29
Fosso_Pratolungo	1820	TR200(160)	160.00	20.63	5.09	25.72	24.50	1.22	0.06	25.72	0.37	0.19	3.33	1	2.43
Fosso_Pratolungo	1687	TR200(160)	160.00	20.57	5.15	25.72	23.88	1.84	0.04	25.72	0.26	0.15	3.65	0	2.46
Fosso_Pratolungo	1589	TR200(160)	160.00	20.47	5.25	25.72	23.80	1.92	0.03	25.72	0.19	0.10	3.61	0	2.86
Fosso_Pratolungo	1556	TR200(160)	160.00	20.46	5.26	25.72	23.74	1.98	0.02	25.72	0.16	0.09	3.75	0	3.09
Fosso_Pratolungo	1550		Bridge												
Fosso_Pratolungo	1544	TR200(160)	160.00	20.45	4.59	25.04	23.32	1.72	0.25	25.11	1.47	0.72	3.05	16	1.16
Fosso_Pratolungo	1518	TR200(160)	160.00	20.44	4.65	25.09	23.85	1.24	0.03	25.09	0.15	0.10	2.79	0	2.81
Fosso_Pratolungo	1461	TR200(160)	160.00	20.37	4.71	25.09	23.89	1.20	0.02	25.09	0.14	0.09	2.88	0	2.66
Fosso_Pratolungo	1400	TR200(160)	160.00	20.32	4.76	25.08	23.56	1.52	0.02	25.09	0.14	0.08	3.04	0	2.39
Fosso_Pratolungo	1372	TR200(160)	160.00	20.30	4.78	25.08	23.52	1.56	0.03	25.08	0.18	0.09	3.23	0	2.29
Fosso_Pratolungo	1347		Bridge												
Fosso_Pratolungo	1321	TR200(160)	160.00	20.28	4.79	25.07	22.93	2.14	0.03	25.07	0.18	0.09	3.47	0	2.37
Fosso_Pratolungo	1280	TR200(160)	160.00	20.07	5.00	25.07	23.59	1.48	0.02	25.07	0.12	0.06	3.50	0	2.54
Fosso_Pratolungo	1082	TR200(160)	160.00	19.55	5.52	25.07	23.19	1.88	0.04	25.07	0.24	0.10	3.42	0	1.85
Fosso_Pratolungo	730	TR200(160)	160.00	19.30	5.76	25.06	23.09	1.97	0.04	25.06	0.29	0.12	3.72	1	1.85
Fosso_Pratolungo	384	TR200(160)	160.00	18.61	6.45	25.06	22.06	3.00	0.04	25.06	0.27	0.11	4.31	0	2.01
Fosso_Pratolungo	59	TR200(160)	160.00	17.70	7.35	25.05	20.84	4.21	0.05	25.05	0.37	0.15	4.52	1	1.76

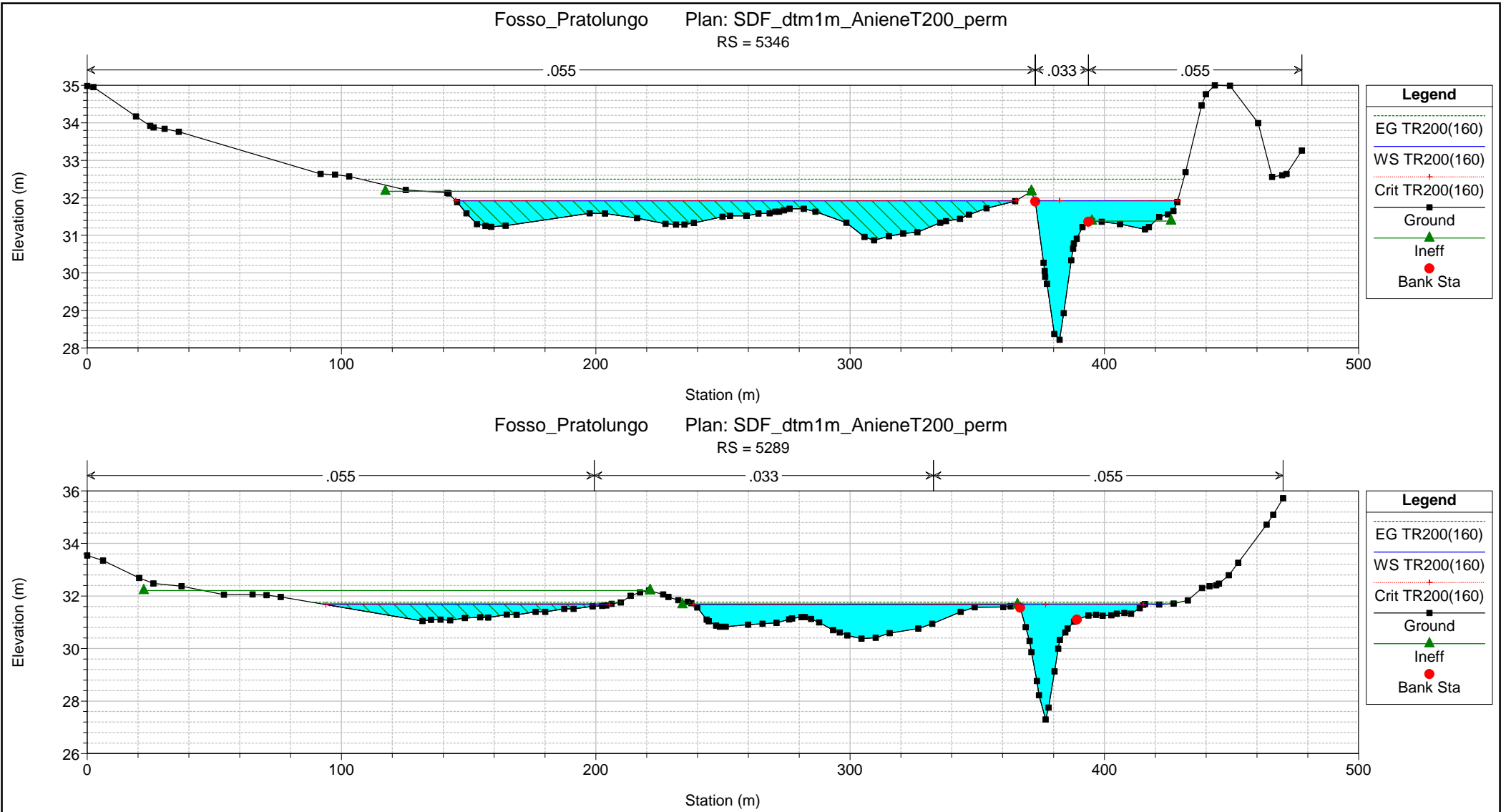
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_perm

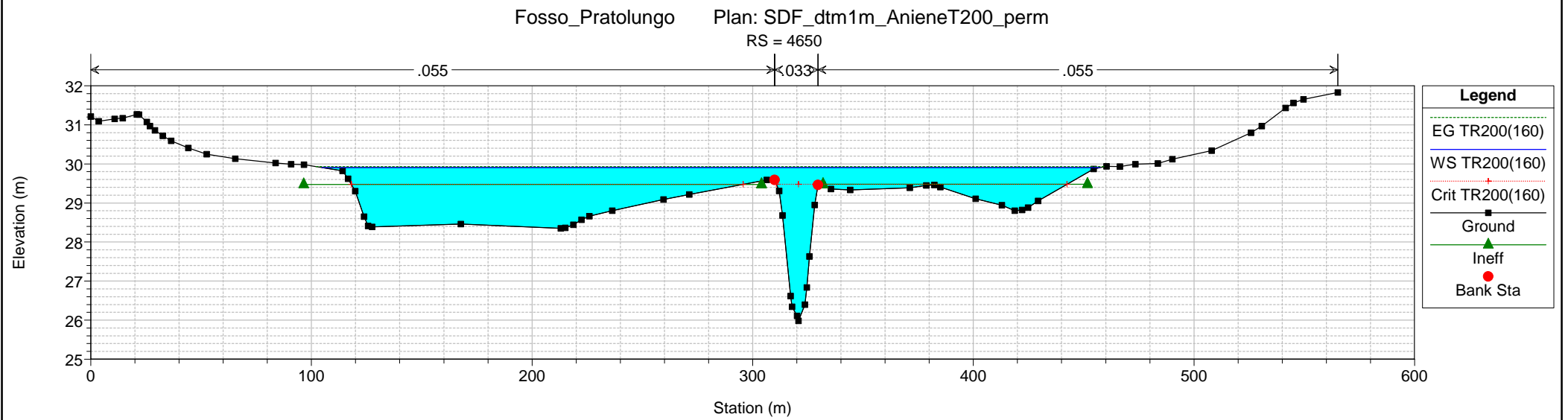
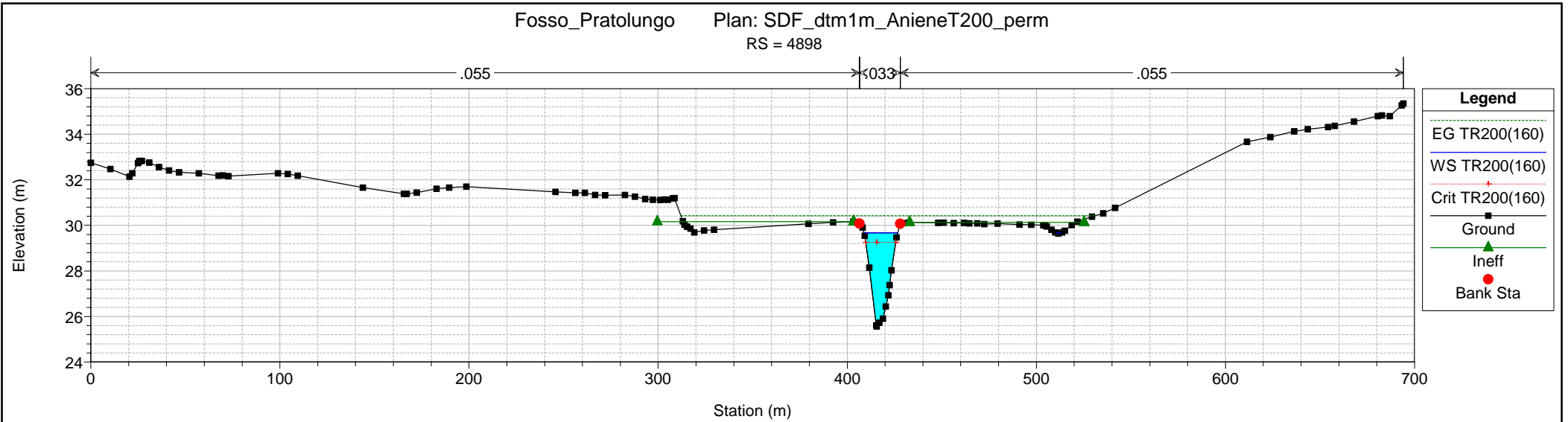
Fosso_Pratolungo Fosso_Pratolungo

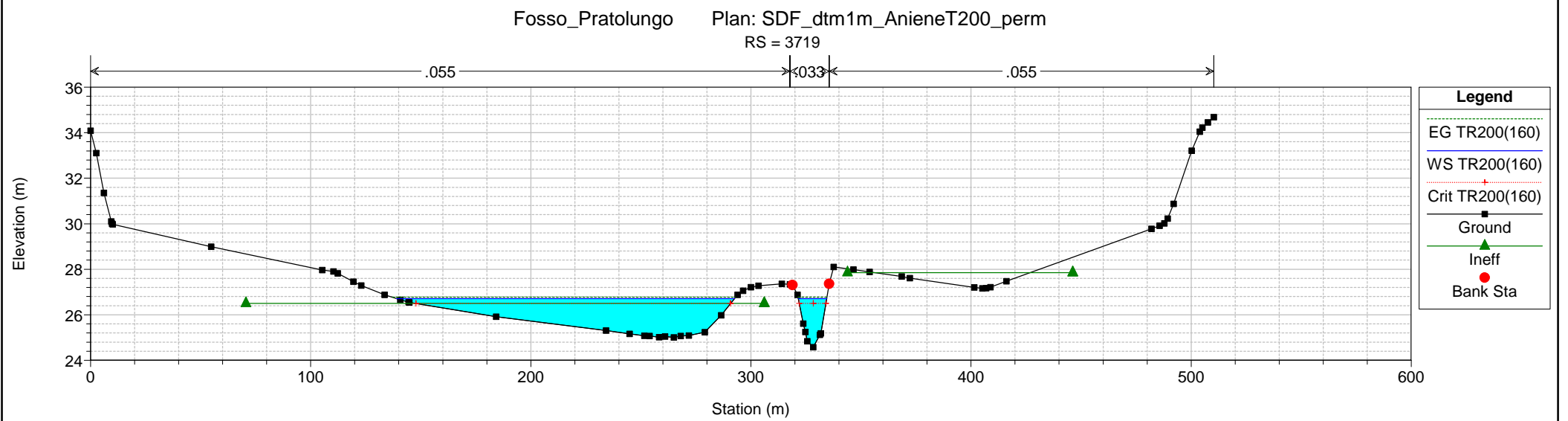
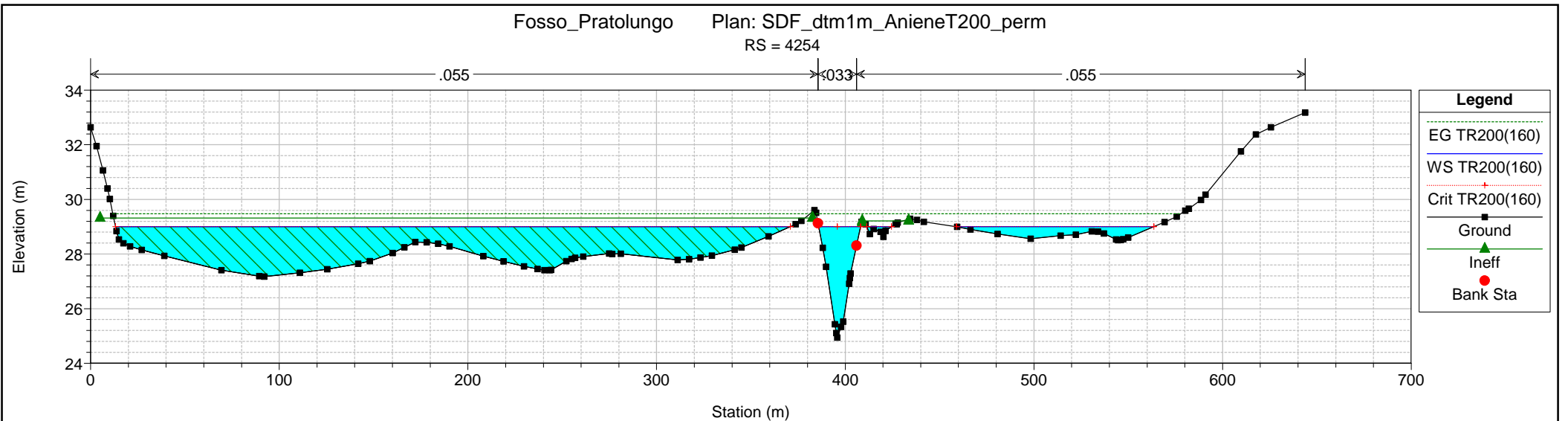


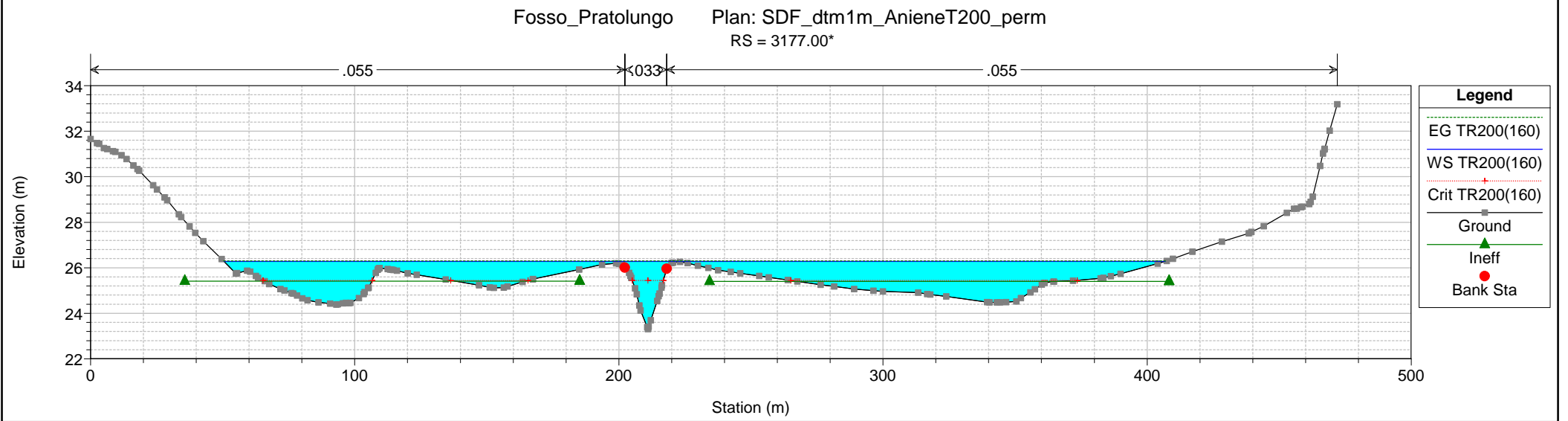
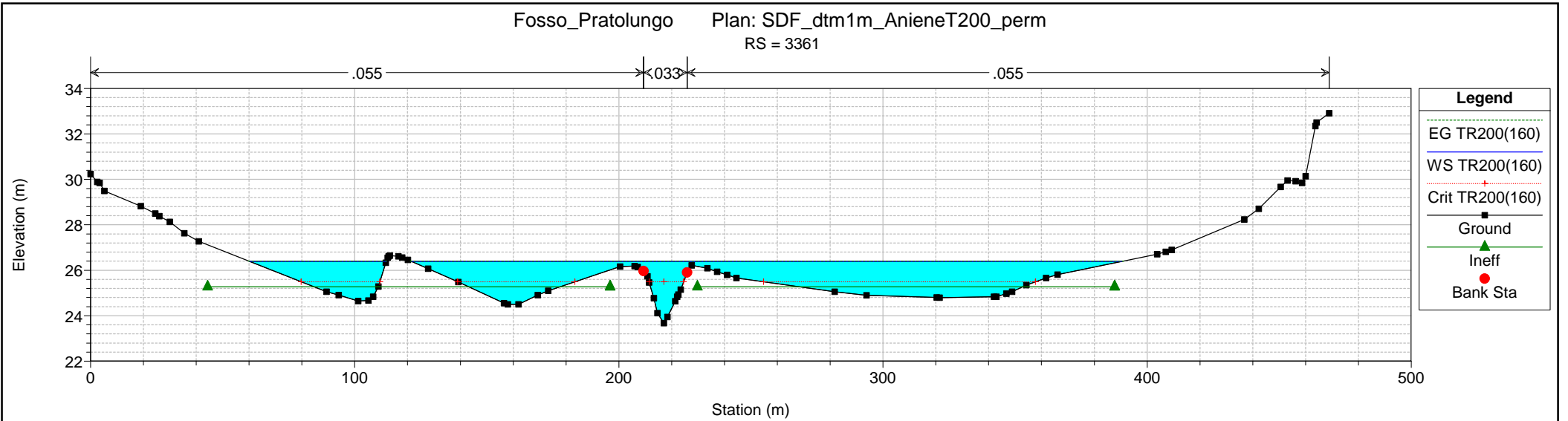


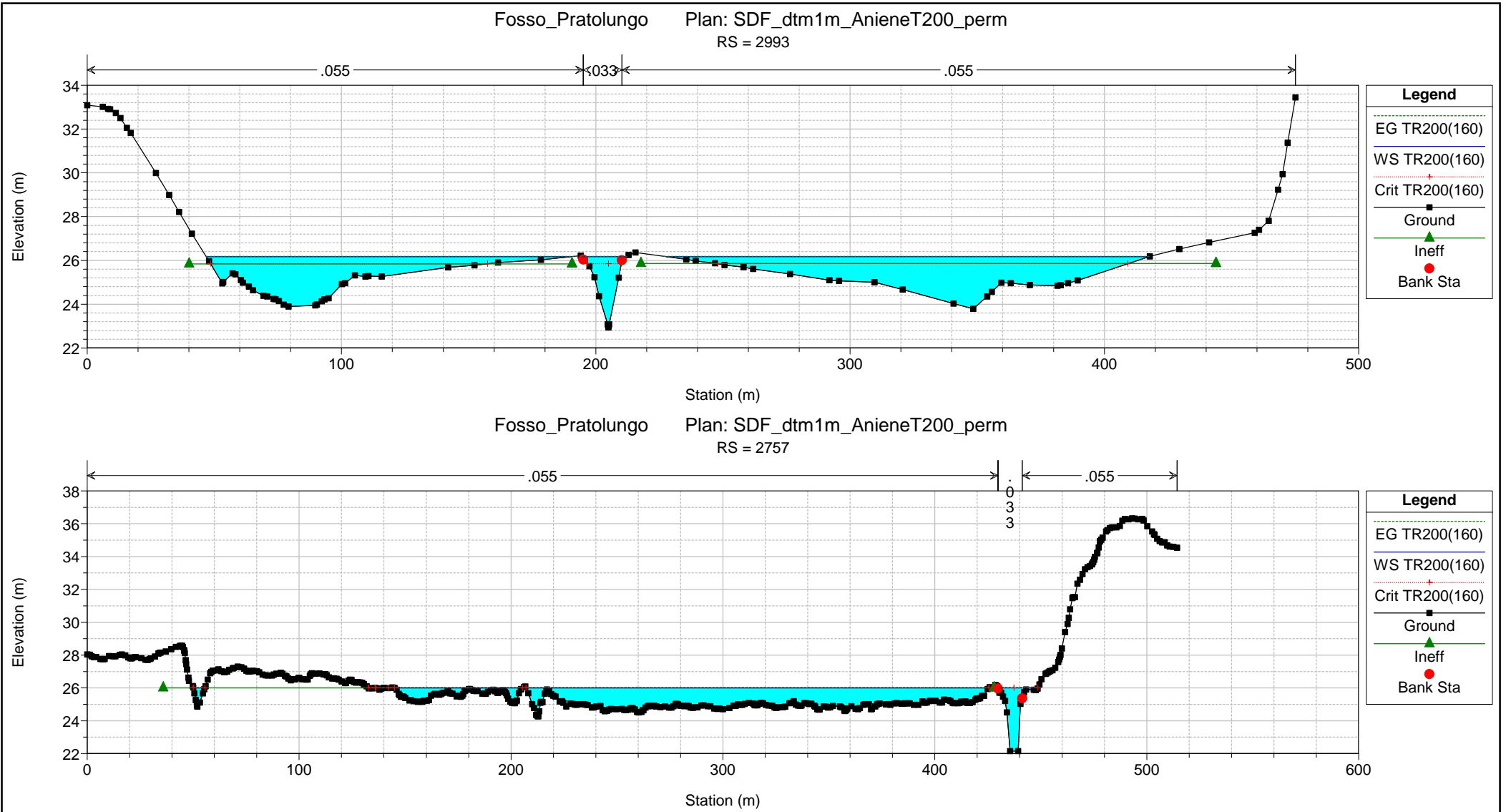


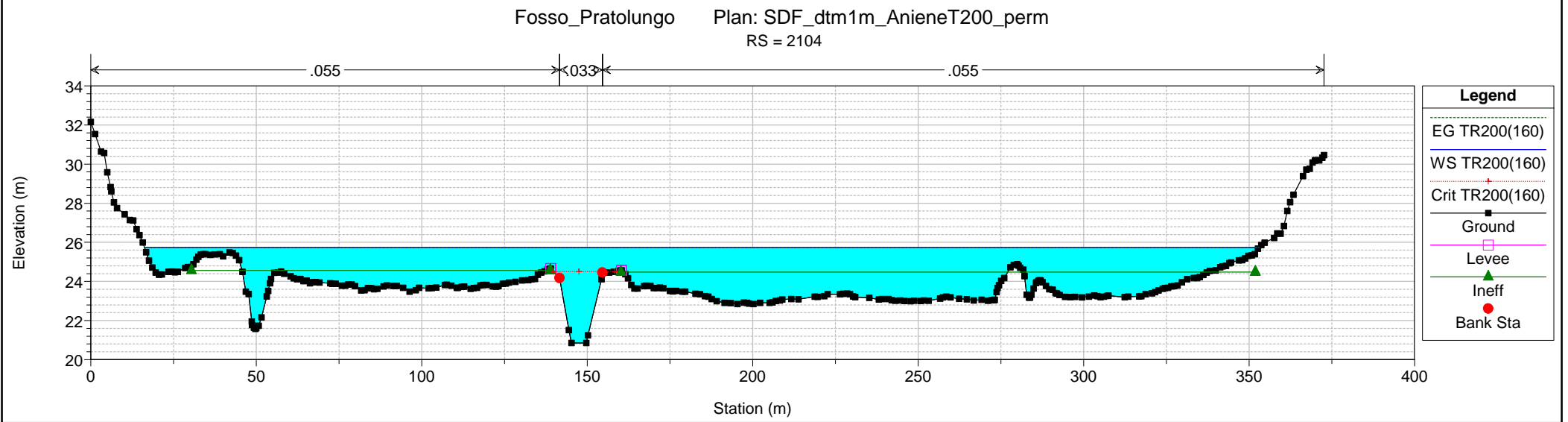
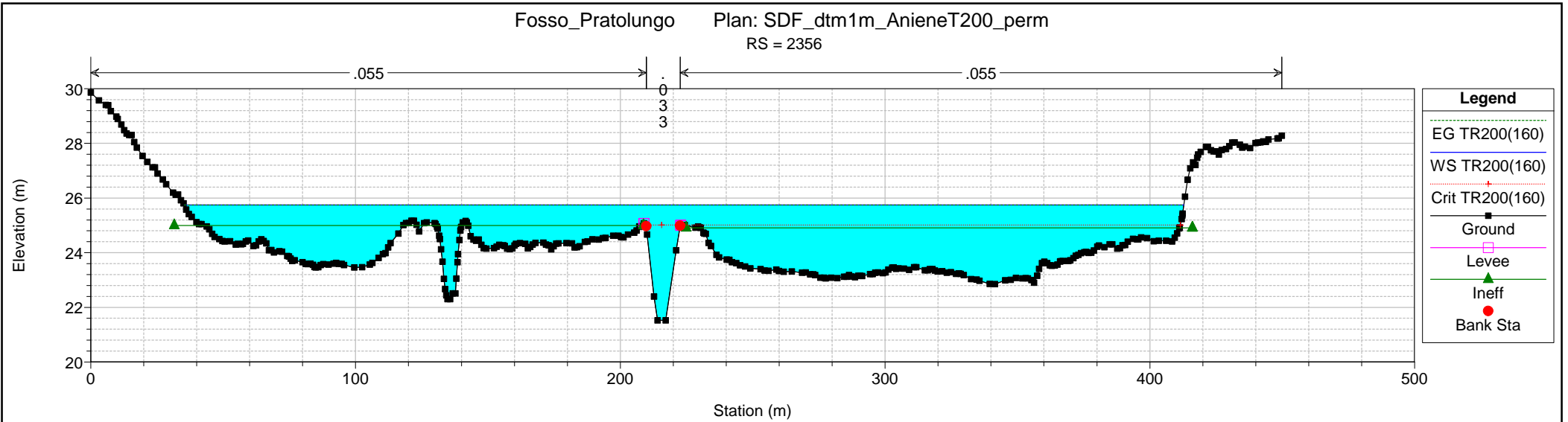


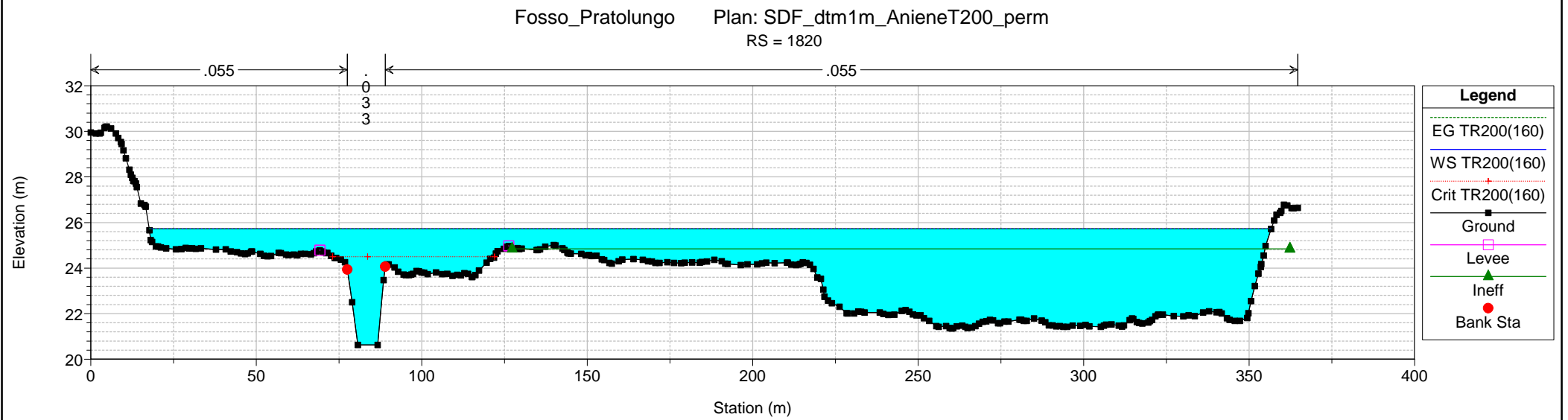
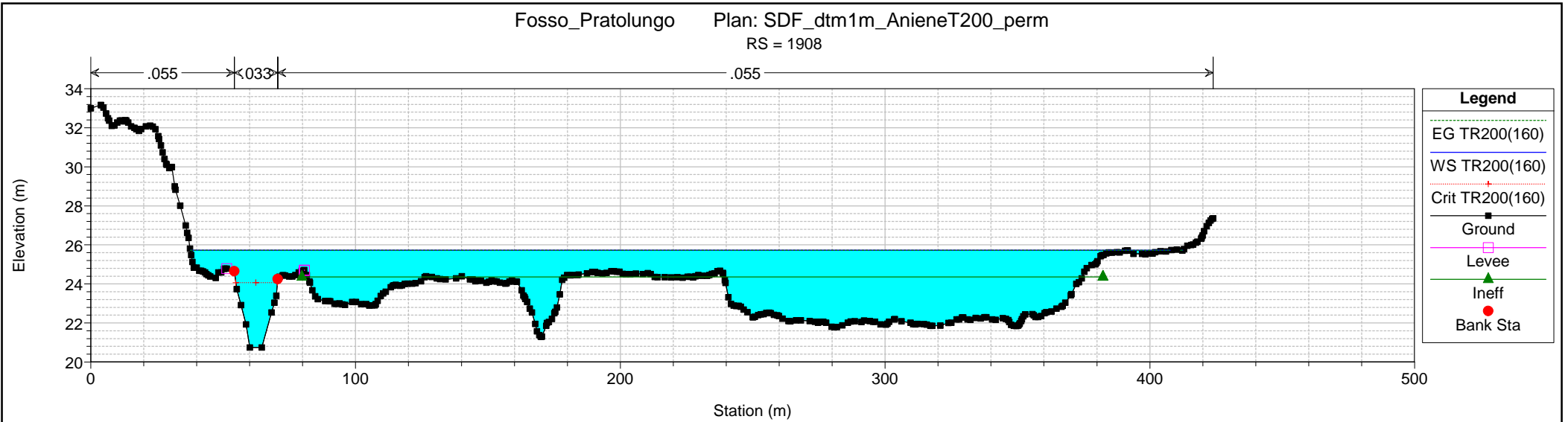


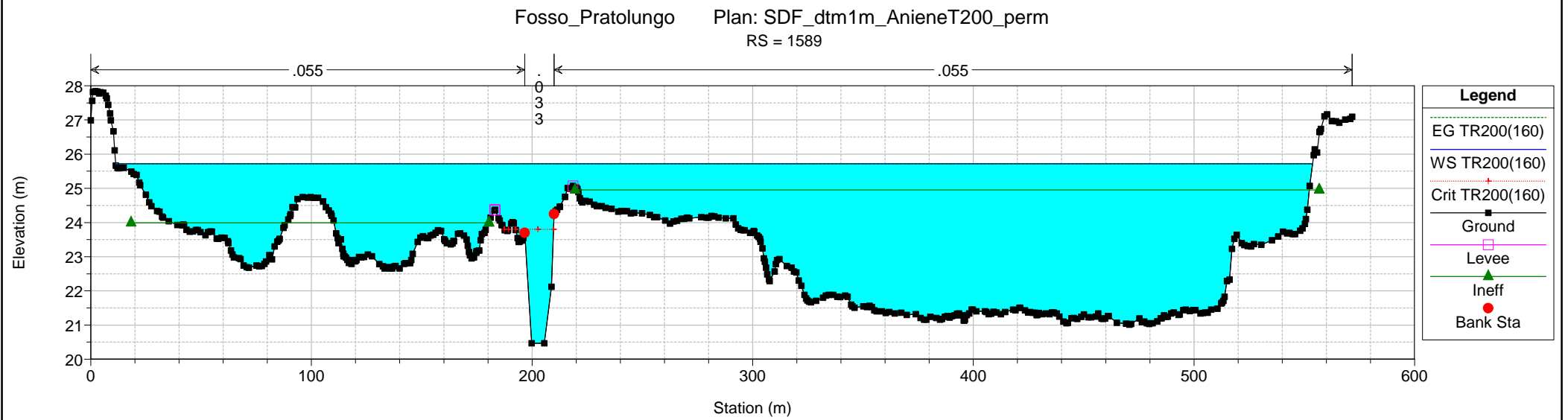
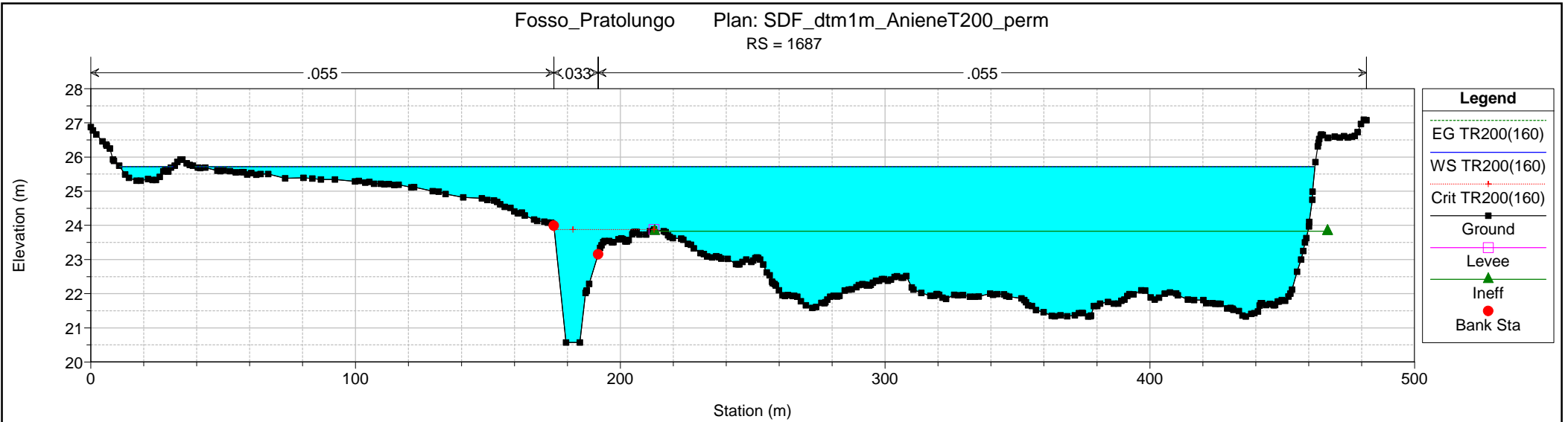


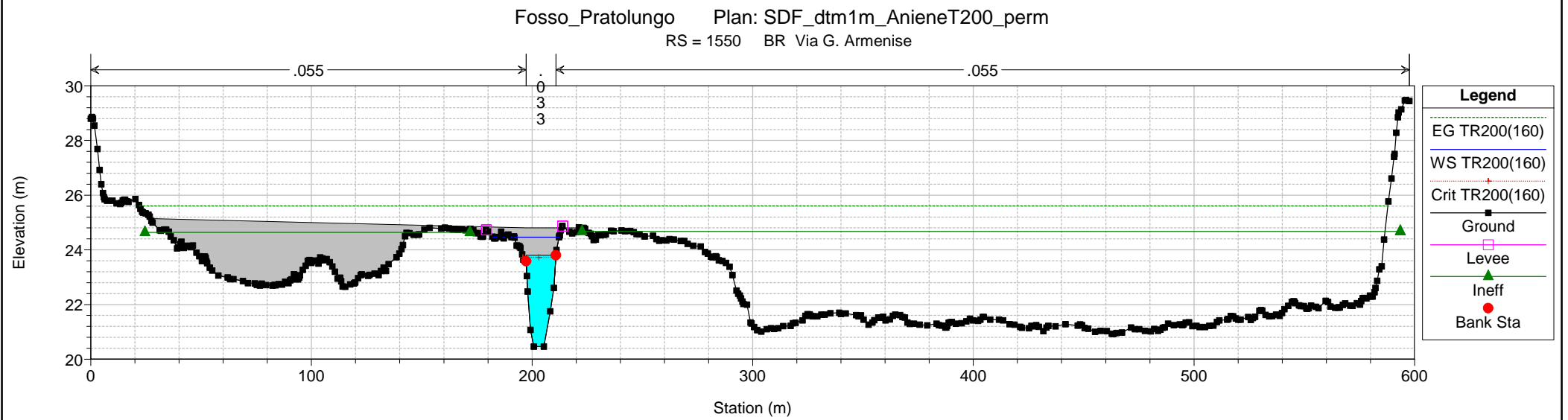
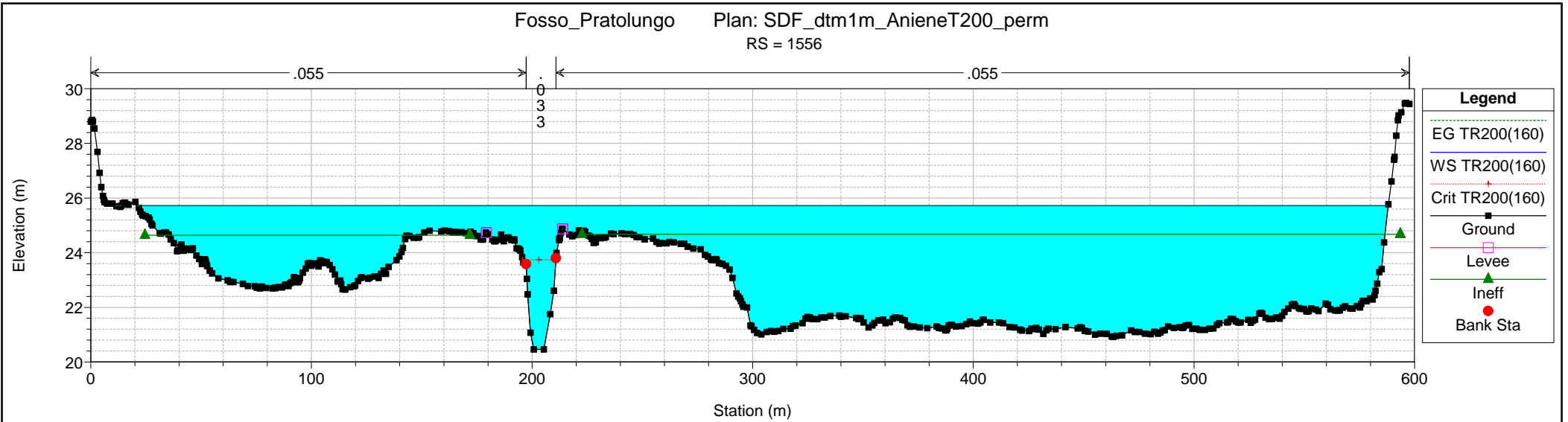




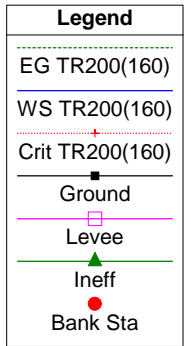
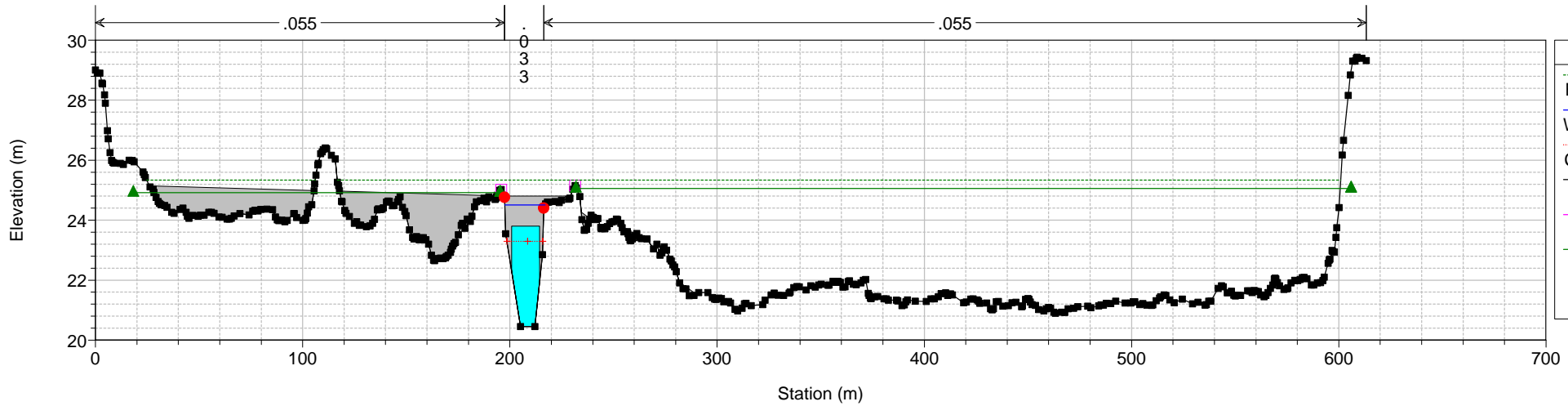




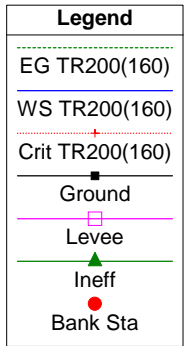
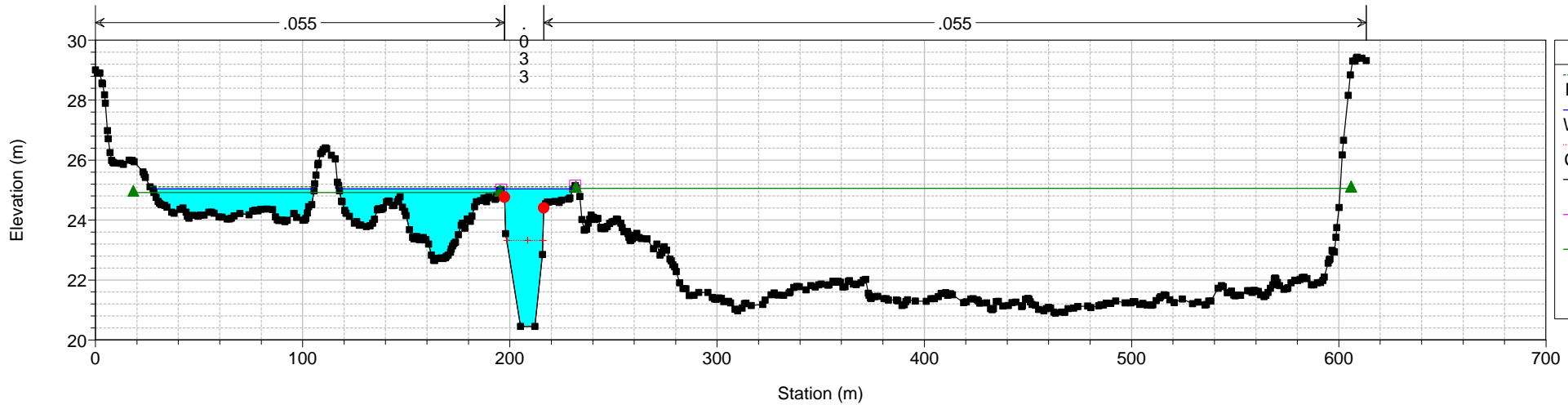


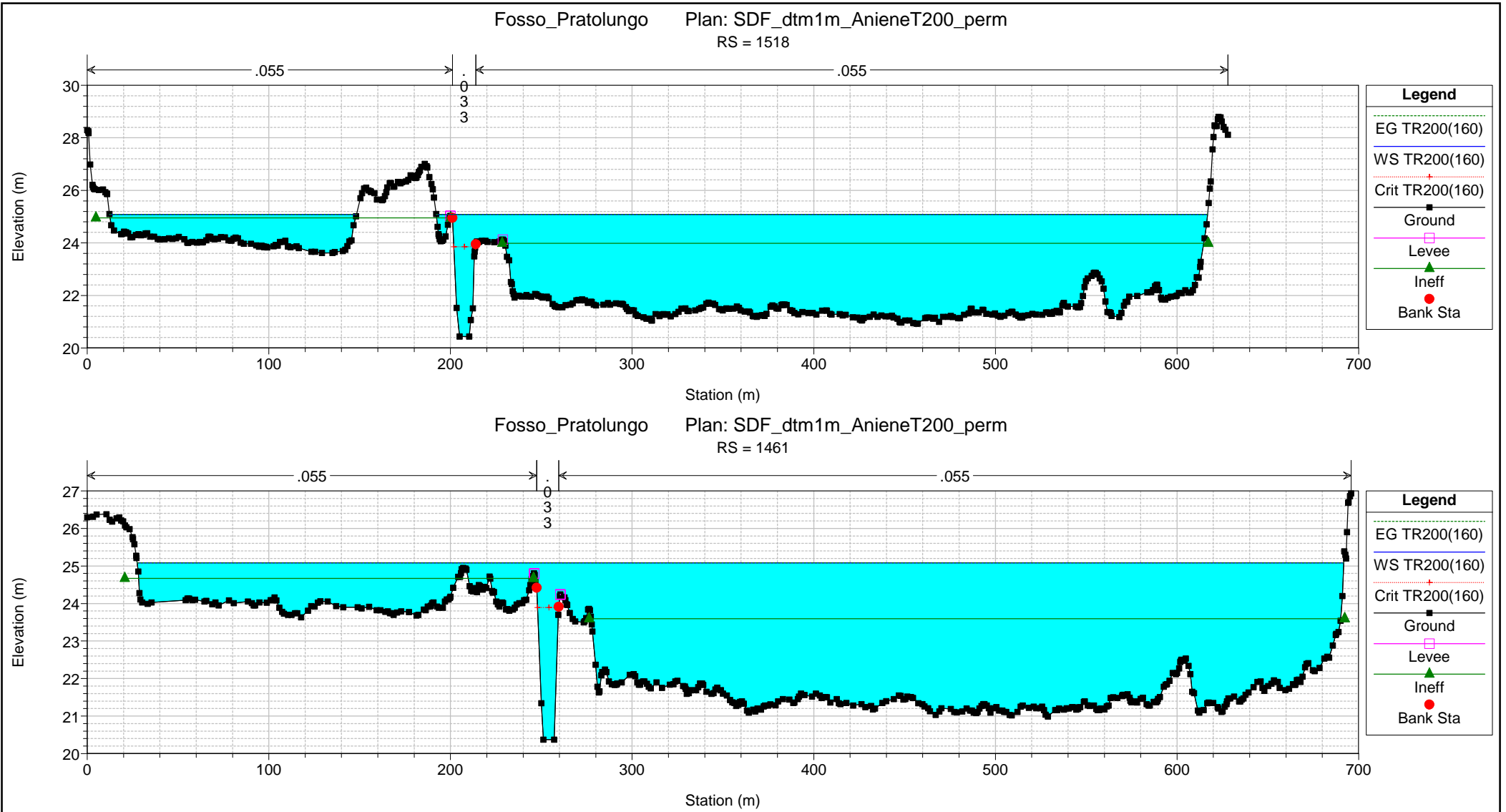


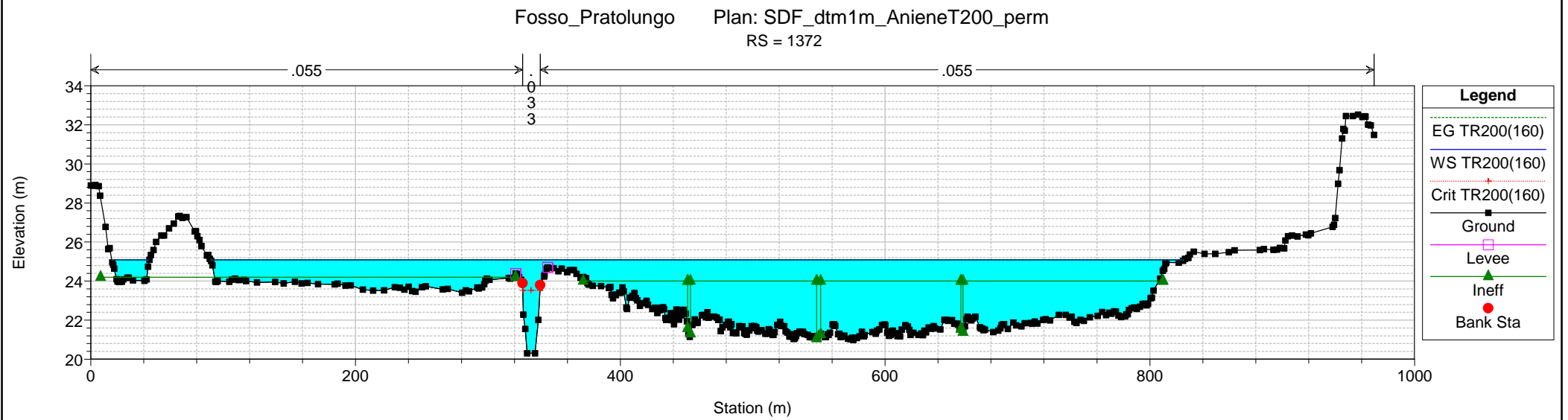
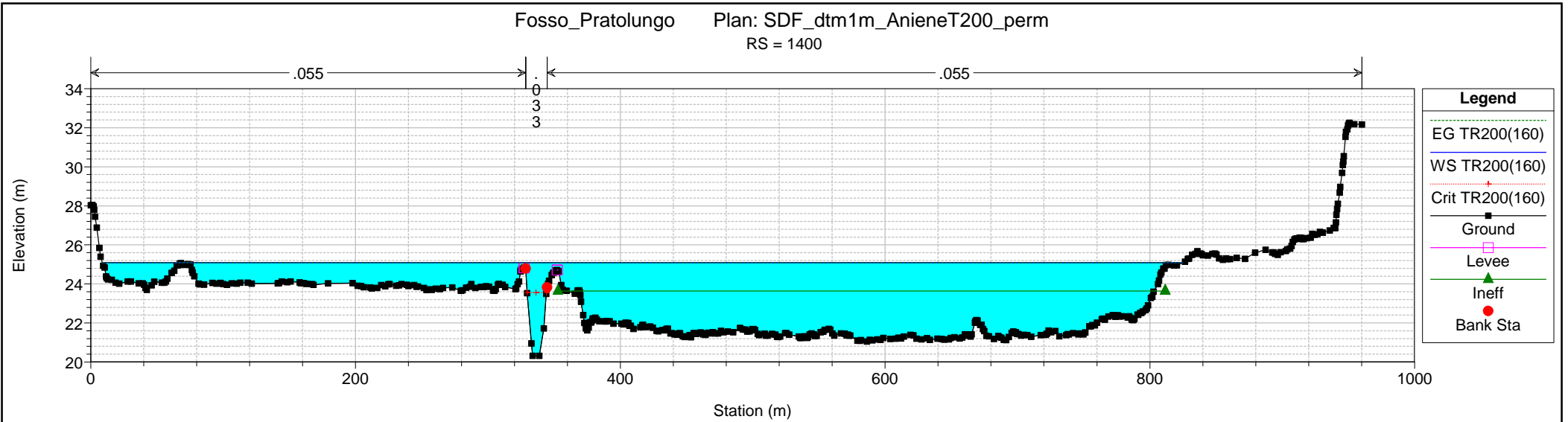
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_perm
 RS = 1550 BR Via G. Armenise

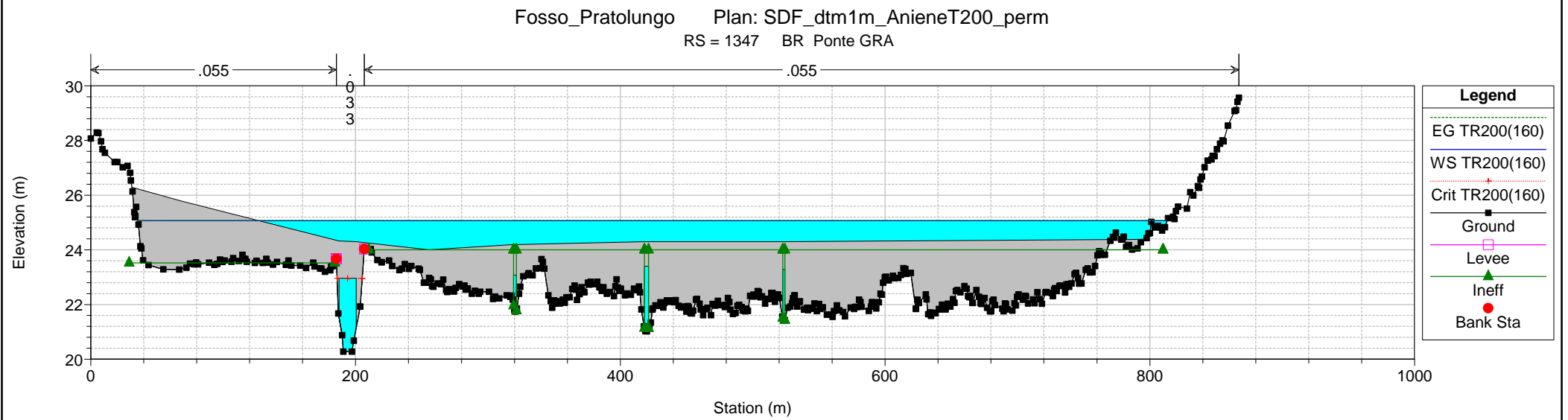
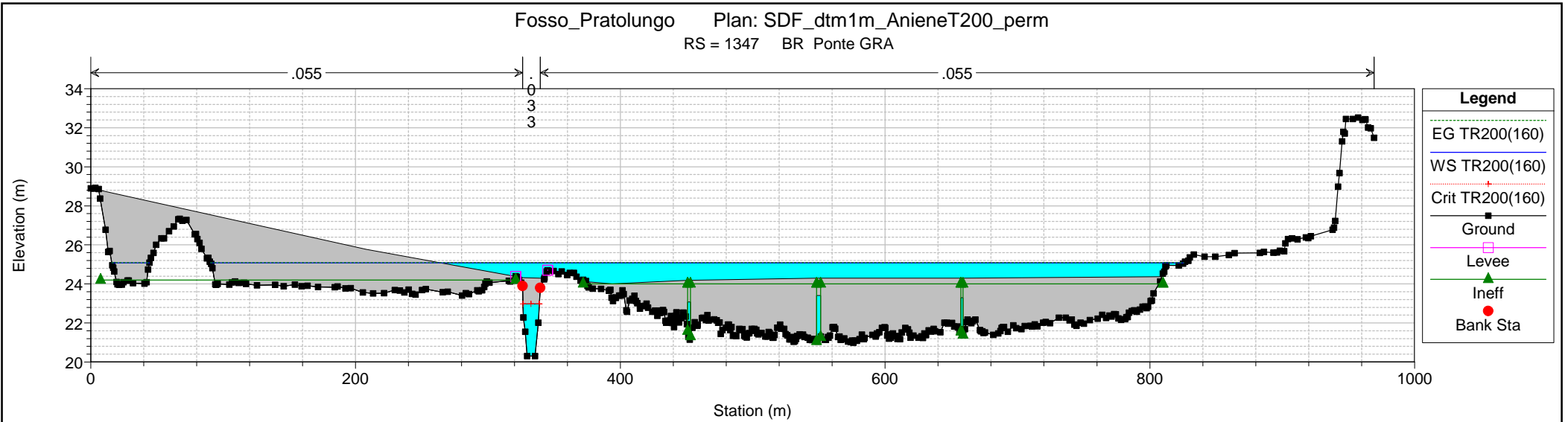


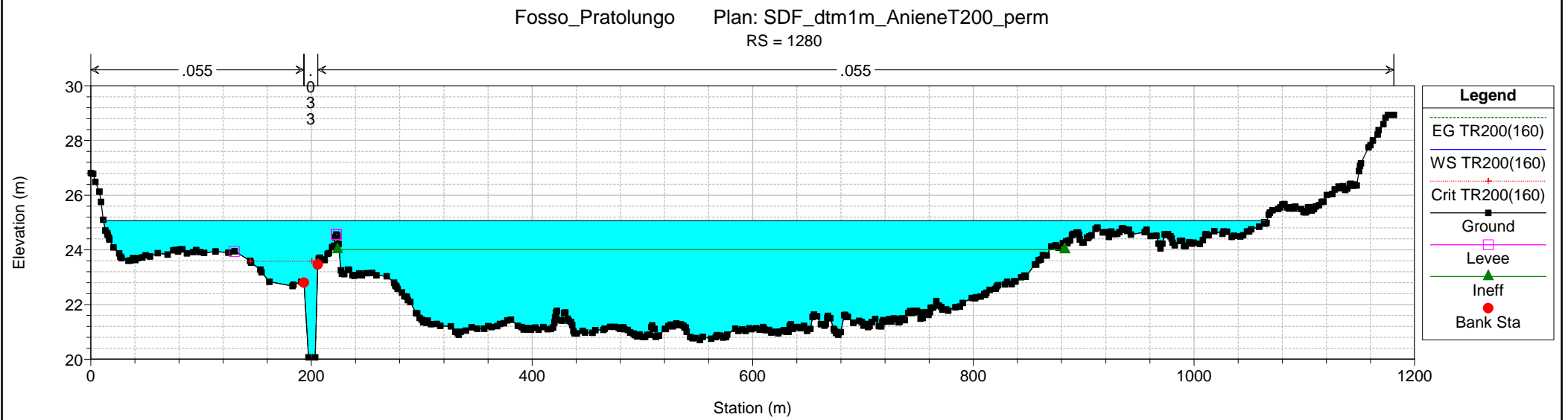
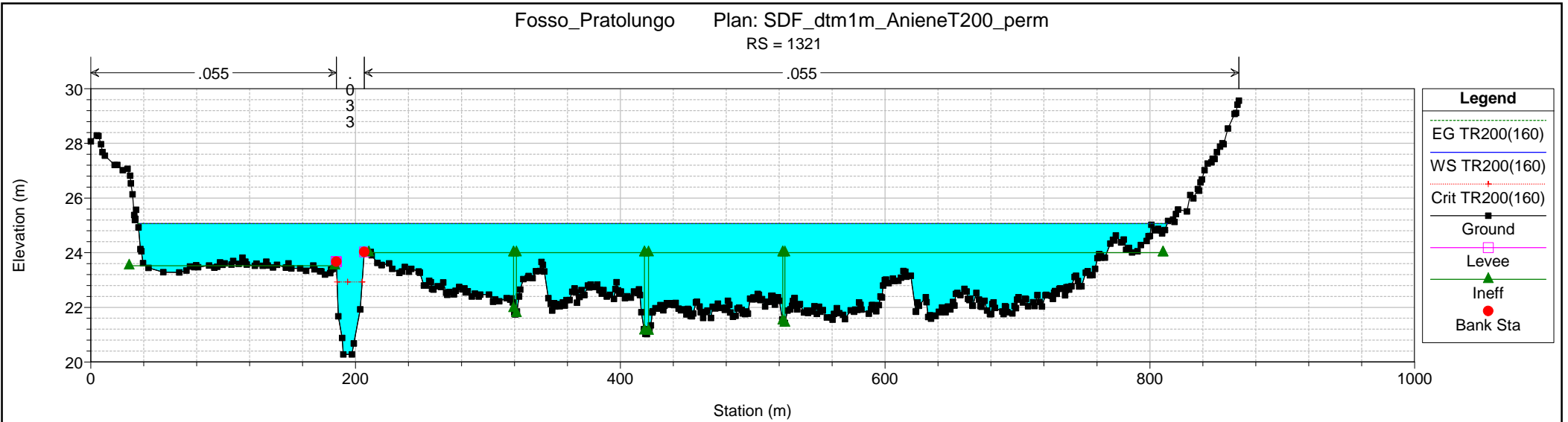
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_perm
 RS = 1544

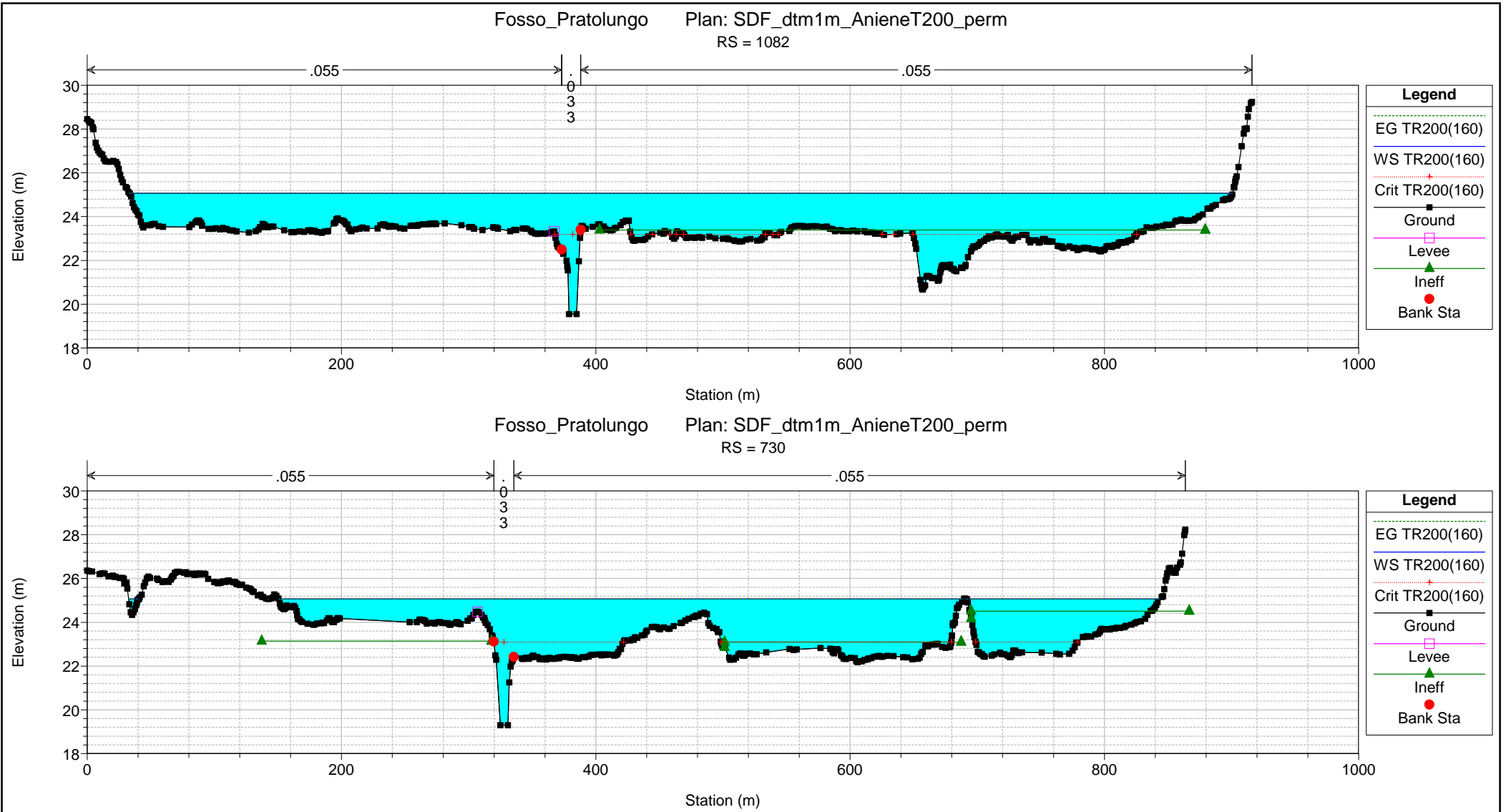


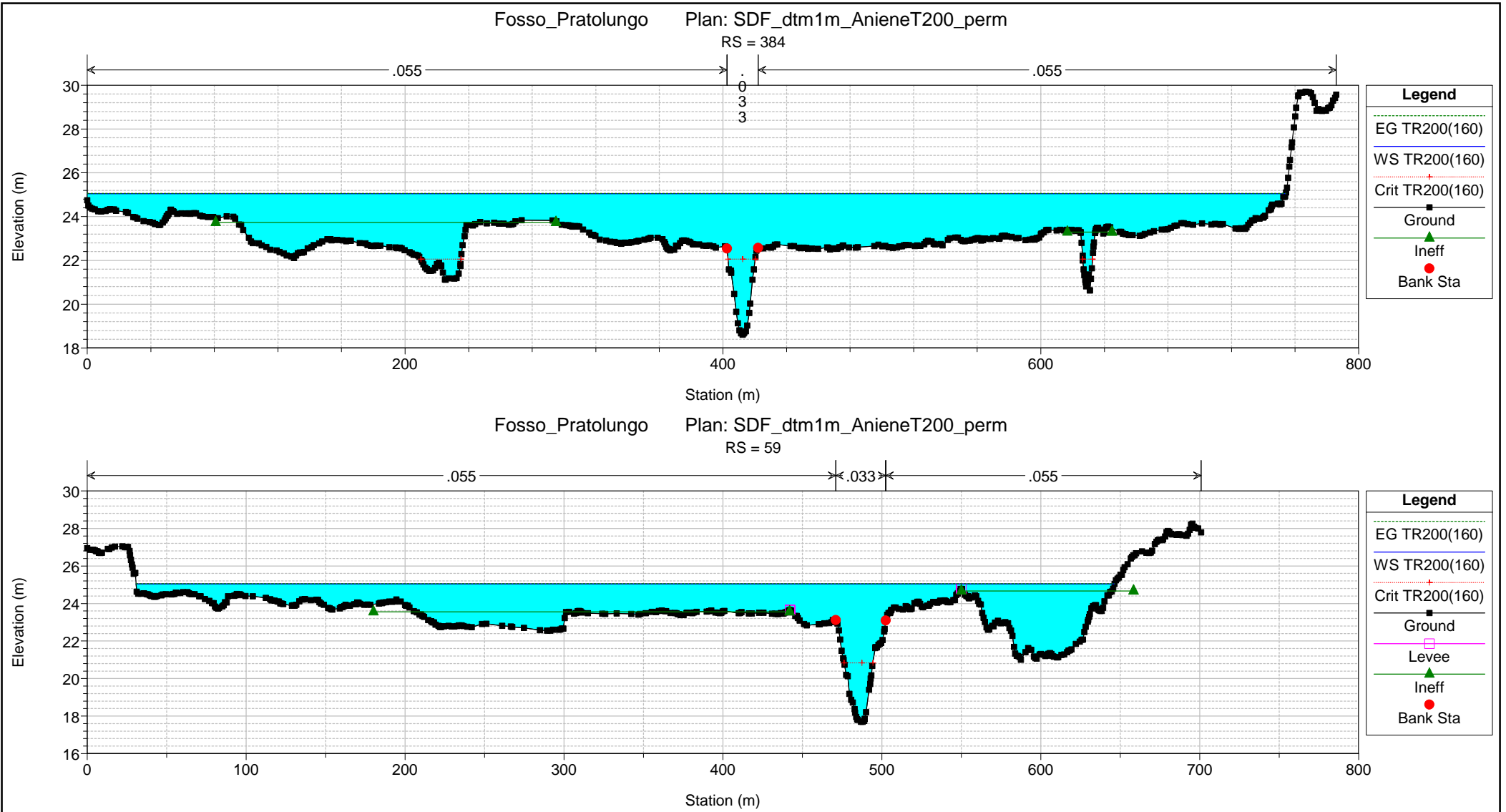












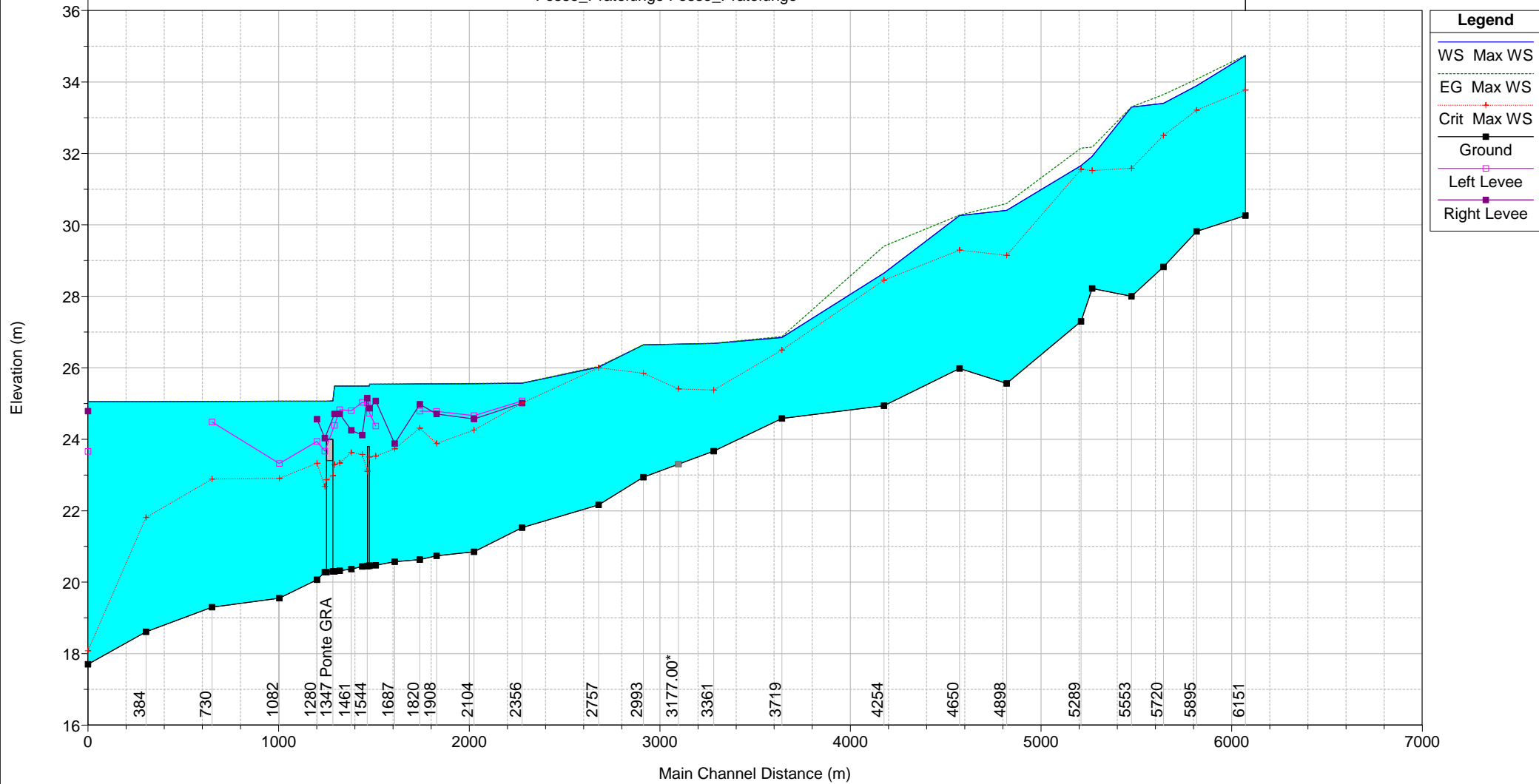
2.1.2. Fosso di Pratolungo
TR=200 anni e livello Aniene TR=200
Moto vario

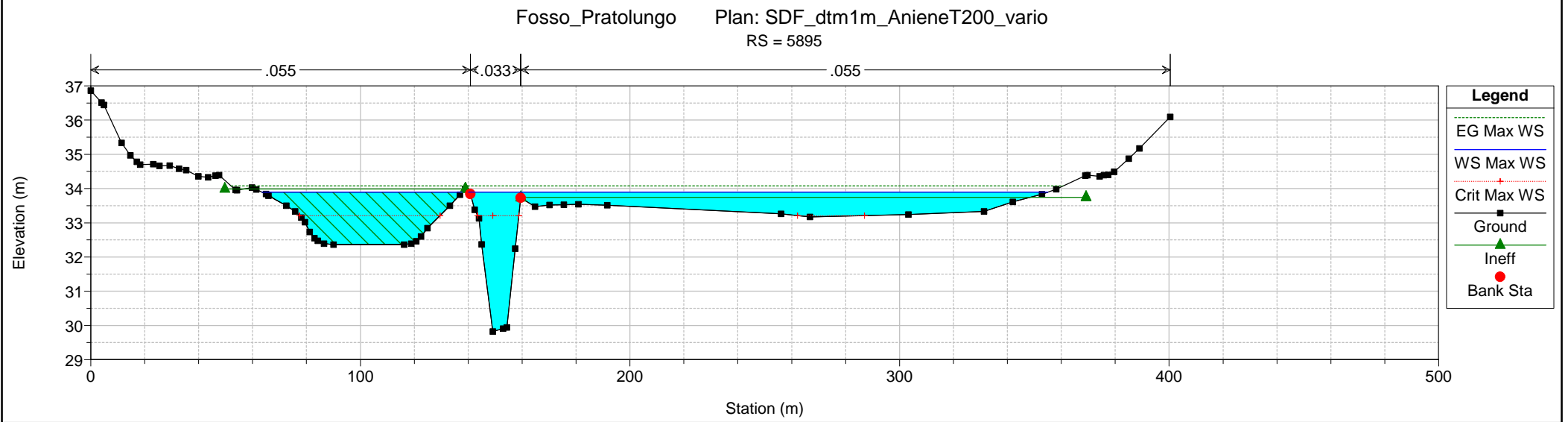
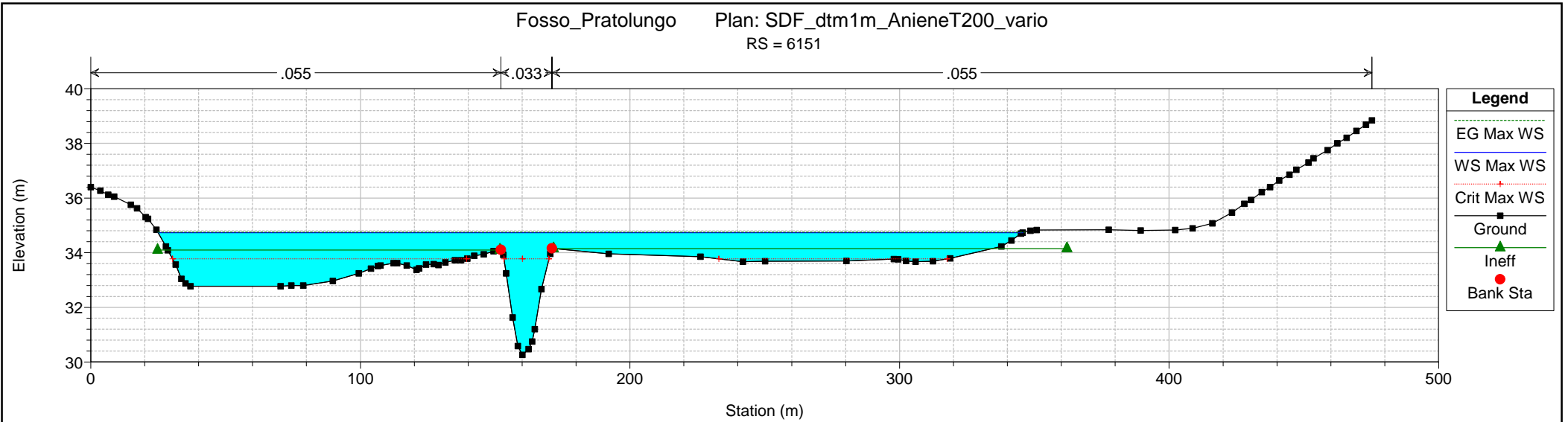
HEC-RAS Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario River: Fosso_Pratolungo Reach: Fosso_Pratolungo Profile: Max WS

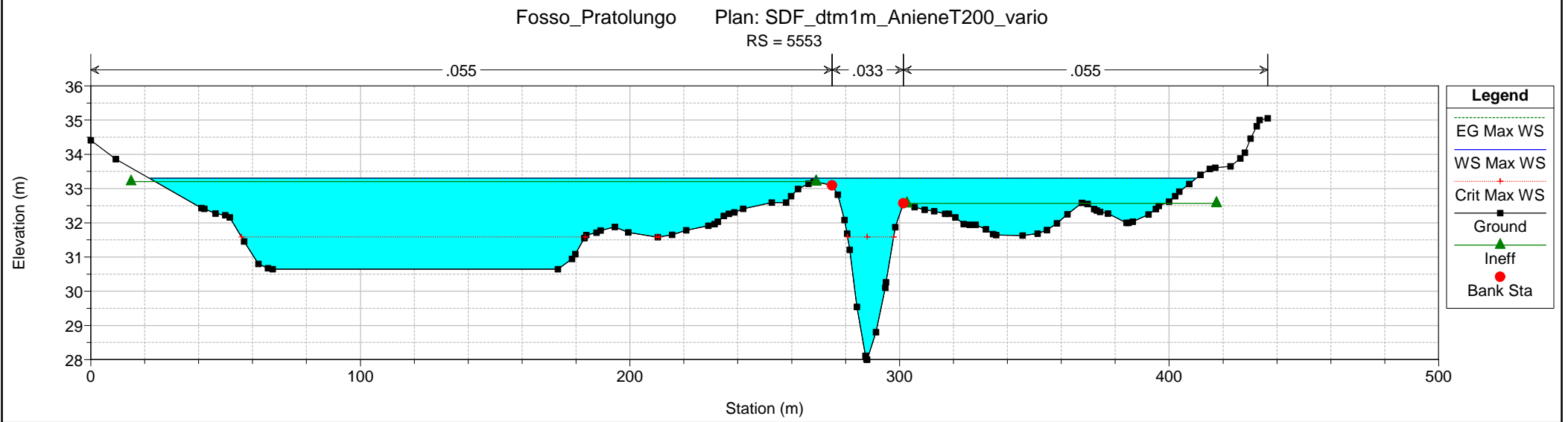
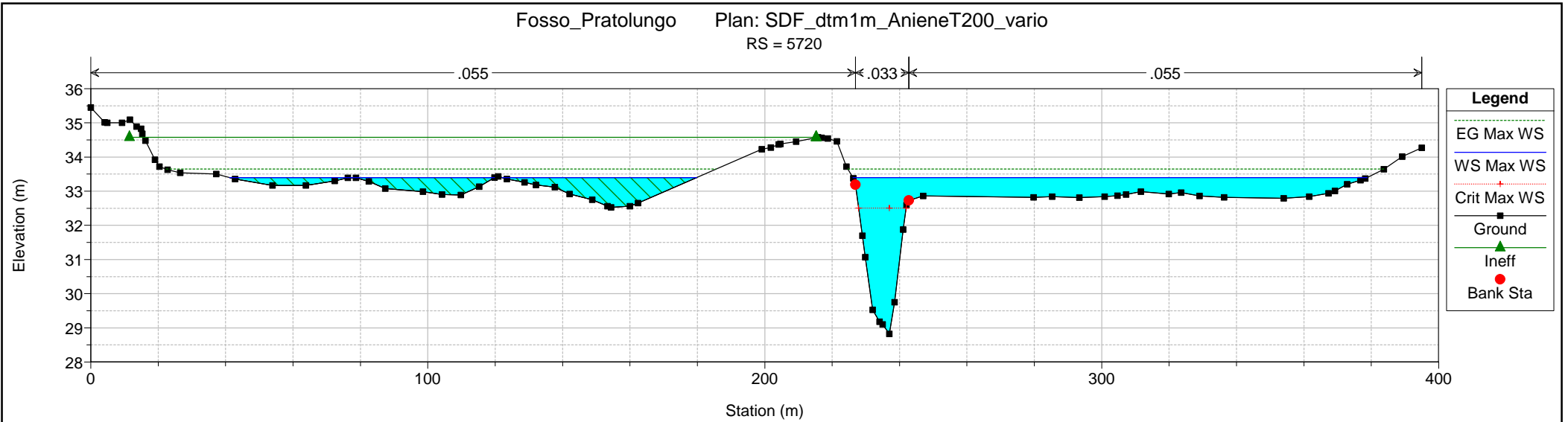
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	Max Chl Dpth (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	Diff	Froude # Chl	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Vel Total (m/s)	Hydr Radius C (m)	Shear Chan (N/m2)	Hydr Depth (m)
Fosso_Pratolungo	6151	Max WS	158.93	30.26	4.47	34.73	33.77	0.96	0.17	34.75	0.90	0.40	2.54	6	1.22
Fosso_Pratolungo	5895	Max WS	157.33	29.82	4.07	33.89	33.21	0.68	0.47	34.08	2.29	1.08	2.17	43	0.68
Fosso_Pratolungo	5720	Max WS	153.76	28.82	4.58	33.40	32.50	0.90	0.47	33.65	2.52	1.31	2.51	50	0.77
Fosso_Pratolungo	5553	Max WS	153.48	28.00	5.30	33.30	31.59	1.71	0.09	33.30	0.46	0.24	2.55	2	1.68
Fosso_Pratolungo	5346	Max WS	107.45	28.22	3.70	31.92	31.52	0.40	0.56	32.18	2.39	1.82	1.77	51	1.05
Fosso_Pratolungo	5289	Max WS	150.80	27.30	4.36	31.66	31.55	0.11	0.73	32.15	3.20	2.83	1.83	249	1.08
Fosso_Pratolungo	4898	Max WS	150.58	25.56	4.85	30.41	29.15	1.26	0.42	30.60	2.14	1.13	2.38	37	0.61
Fosso_Pratolungo	4650	Max WS	148.98	25.98	4.28	30.26	29.30	0.96	0.15	30.27	0.74	0.31	2.47	4	1.09
Fosso_Pratolungo	4254	Max WS	148.49	24.94	3.71	28.65	28.45	0.20	0.87	29.40	3.85	3.66	1.88	128	0.75
Fosso_Pratolungo	3719	Max WS	122.85	24.58	2.27	26.85	26.50	0.35	0.29	26.88	1.08	0.62	1.35	11	1.15
Fosso_Pratolungo	3361	Max WS	112.41	23.67	3.01	26.68	25.38	1.30	0.12	26.69	0.53	0.26	1.86	2	1.24
Fosso_Pratolungo	3177.00*	Max WS	110.94	23.31	3.36	26.66	25.41	1.25	0.11	26.66	0.47	0.23	1.86	2	1.29
Fosso_Pratolungo	2993	Max WS	109.63	22.94	3.70	26.64	25.85	0.79	0.09	26.64	0.40	0.21	1.81	1	1.35
Fosso_Pratolungo	2757	Max WS	151.20	22.16	3.86	26.02	26.00	0.02	0.24	26.04	1.12	0.53	1.60	11	0.91
Fosso_Pratolungo	2356	Max WS	141.58	21.53	4.04	25.57	25.01	0.56	0.08	25.58	0.44	0.22	2.35	2	1.68
Fosso_Pratolungo	2104	Max WS	141.31	20.85	4.71	25.56	24.26	1.30	0.08	25.56	0.47	0.22	3.01	2	1.90
Fosso_Pratolungo	1908	Max WS	141.23	20.74	4.81	25.55	23.88	1.67	0.06	25.55	0.35	0.18	3.13	1	2.24
Fosso_Pratolungo	1820	Max WS	141.17	20.63	4.92	25.55	24.31	1.24	0.06	25.55	0.36	0.18	3.19	1	2.26
Fosso_Pratolungo	1687	Max WS	141.18	20.57	4.97	25.54	23.73	1.81	0.04	25.55	0.24	0.14	3.49	0	2.43
Fosso_Pratolungo	1589	Max WS	141.15	20.47	5.07	25.54	23.53	2.01	0.03	25.55	0.18	0.10	3.46	0	2.71
Fosso_Pratolungo	1556	Max WS	141.16	20.46	5.08	25.54	23.51	2.03	0.02	25.55	0.15	0.09	3.61	0	2.93
Fosso_Pratolungo	1550	Bridge													
Fosso_Pratolungo	1544	Max WS	140.58	20.45	5.04	25.49	23.13	2.36	0.02	25.49	0.14	0.08	3.43	0	2.98
Fosso_Pratolungo	1518	Max WS	140.61	20.44	5.05	25.49	23.58	1.91	0.02	25.49	0.12	0.08	3.10	0	3.19
Fosso_Pratolungo	1461	Max WS	140.59	20.37	5.12	25.49	23.63	1.86	0.02	25.49	0.11	0.07	3.19	0	3.05
Fosso_Pratolungo	1400	Max WS	140.60	20.32	5.17	25.49	23.34	2.15	0.02	25.49	0.11	0.06	3.39	0	2.67
Fosso_Pratolungo	1372	Max WS	140.59	20.30	5.19	25.49	23.30	2.19	0.02	25.49	0.13	0.07	3.56	0	2.57
Fosso_Pratolungo	1347	Bridge													
Fosso_Pratolungo	1321	Max WS	132.38	20.28	4.79	25.07	22.68	2.39	0.02	25.07	0.15	0.07	3.46	0	2.37
Fosso_Pratolungo	1280	Max WS	132.36	20.07	5.00	25.07	23.33	1.74	0.02	25.07	0.10	0.05	3.50	0	2.54
Fosso_Pratolungo	1082	Max WS	132.30	19.55	5.51	25.06	22.90	2.16	0.03	25.06	0.20	0.08	3.42	0	1.85
Fosso_Pratolungo	730	Max WS	133.04	19.30	5.76	25.06	22.89	2.17	0.04	25.06	0.24	0.10	3.71	0	1.85
Fosso_Pratolungo	384	Max WS	135.14	18.61	6.44	25.05	21.81	3.24	0.03	25.06	0.23	0.09	4.31	0	2.01
Fosso_Pratolungo	59	Max WS	3.00	17.70	7.35	25.05	18.08	6.97	0.00	25.05	0.01	0.00	4.52	0	1.76

Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario

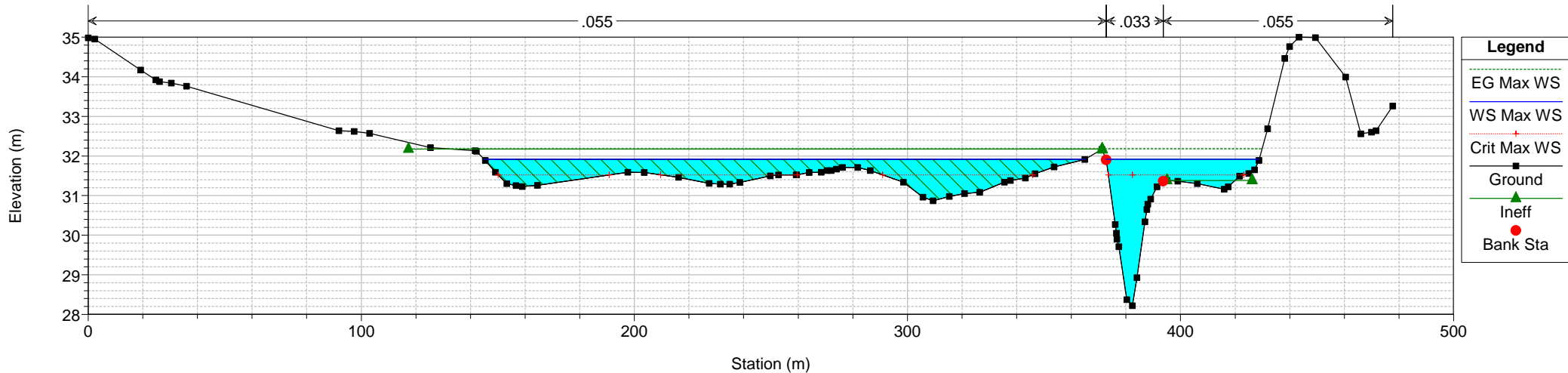
Fosso_Prato Lungo Fosso_Prato Lungo



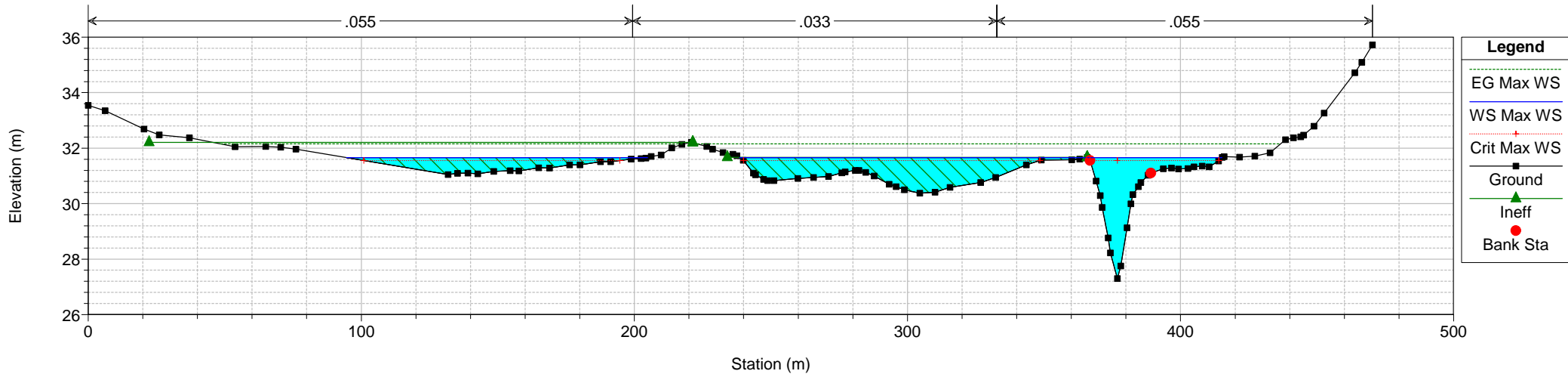


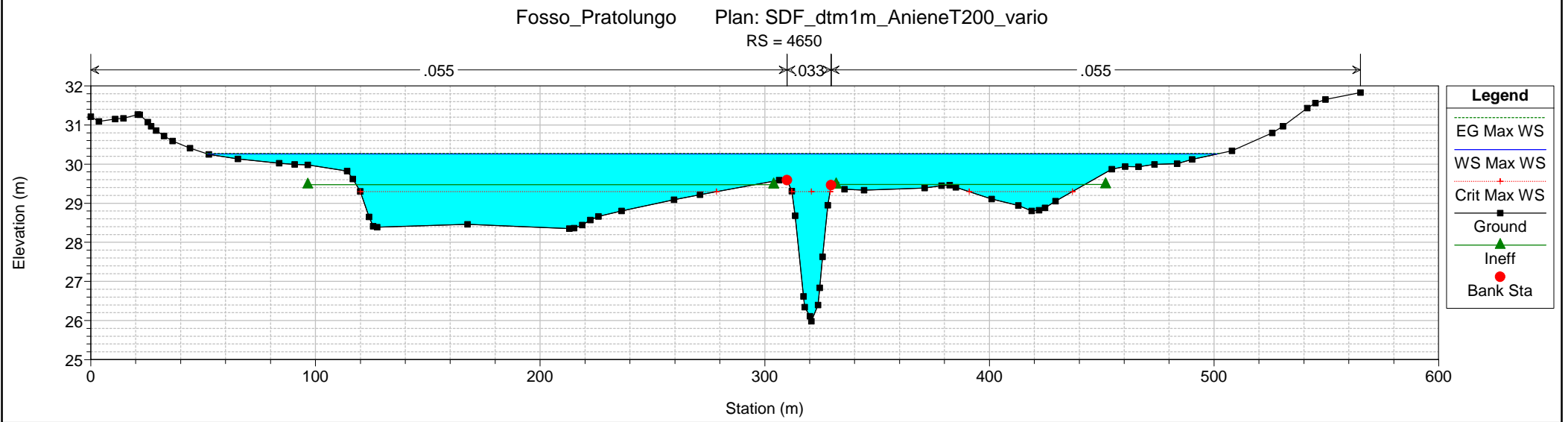
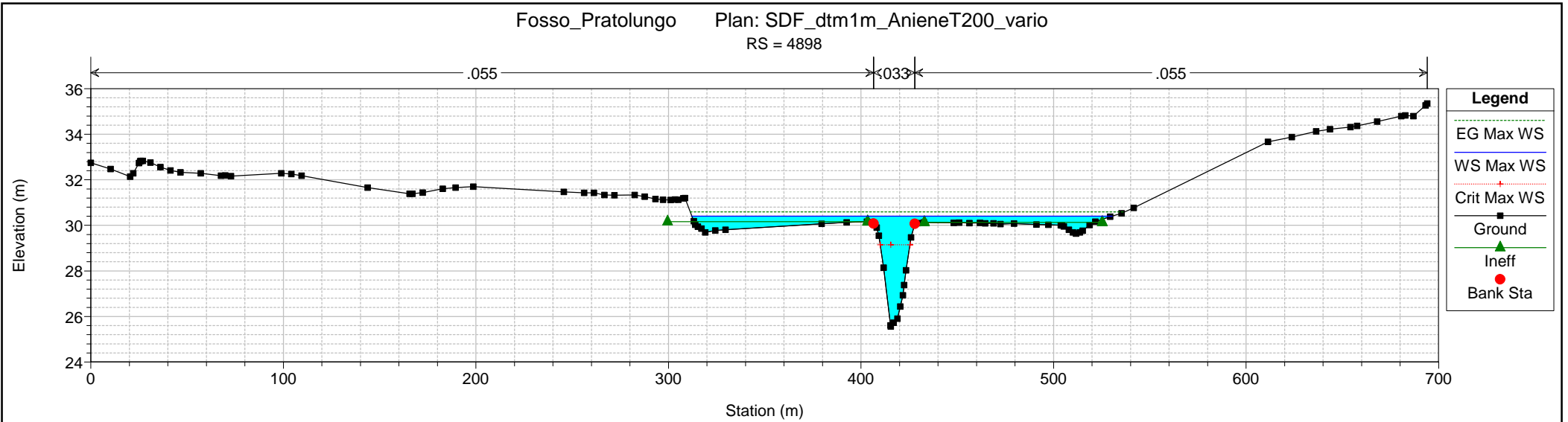


Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 5346

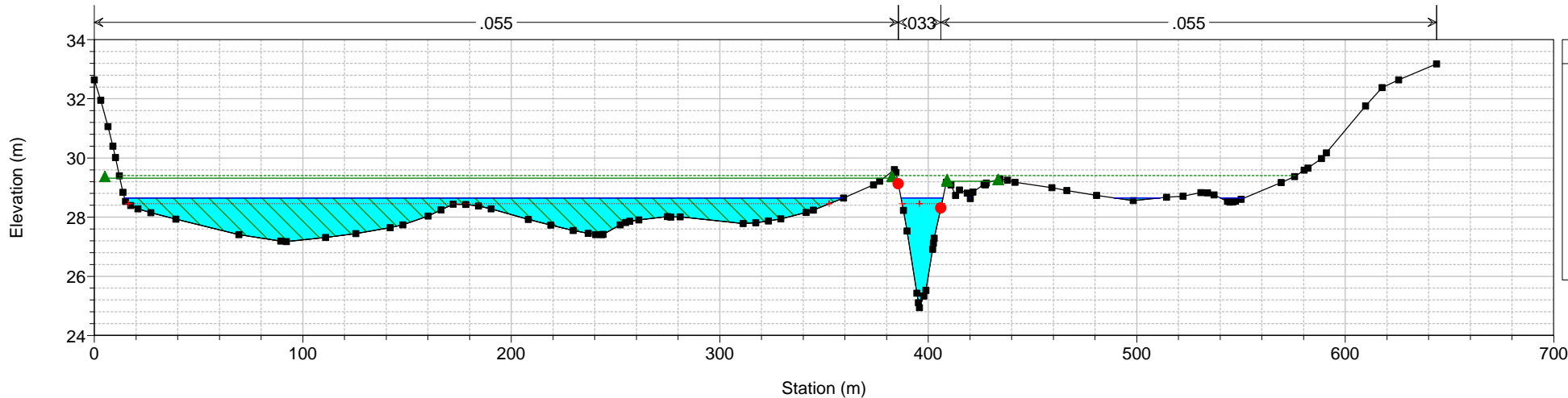


Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 5289



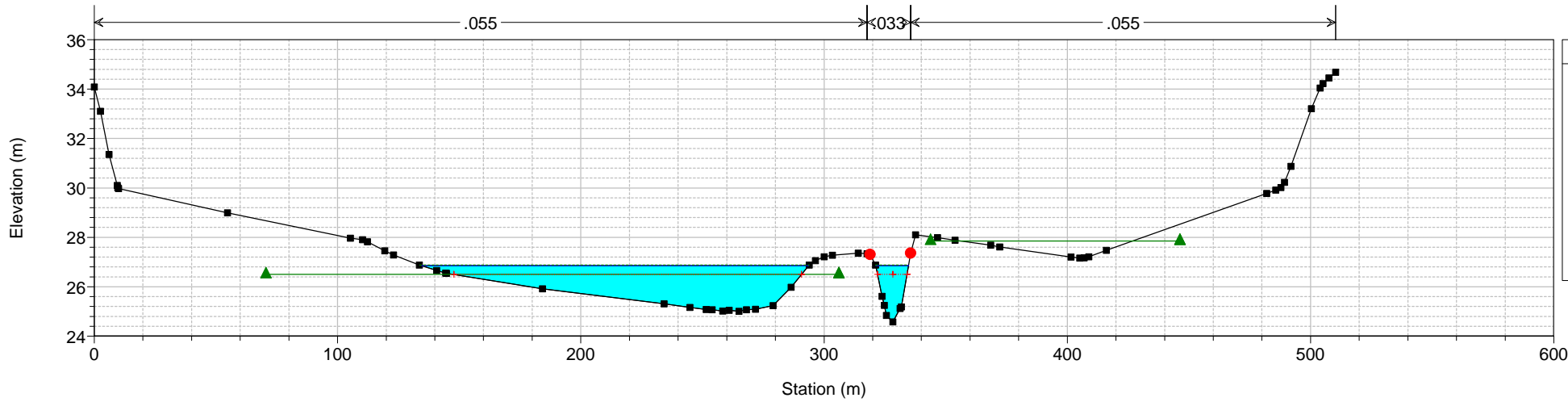


Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 4254



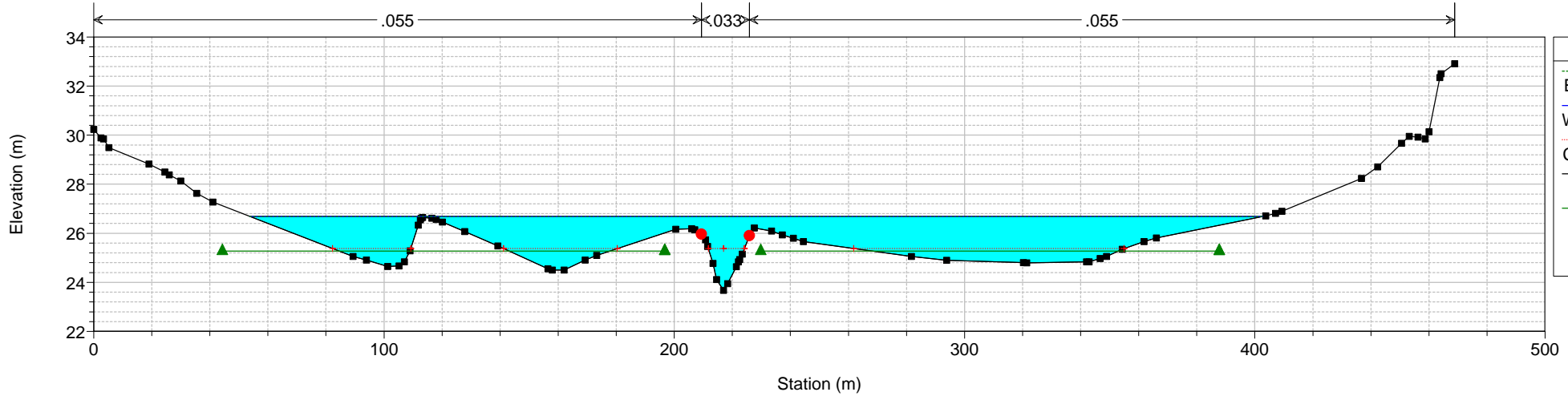
Legend	
EG Max WS	— (dotted green line)
WS Max WS	— (solid blue line)
Crit Max WS	— (dotted red line with cross)
Ground	— (black line with square)
Ineff	▲ (green triangle)
Bank Sta	● (red circle)

Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 3719

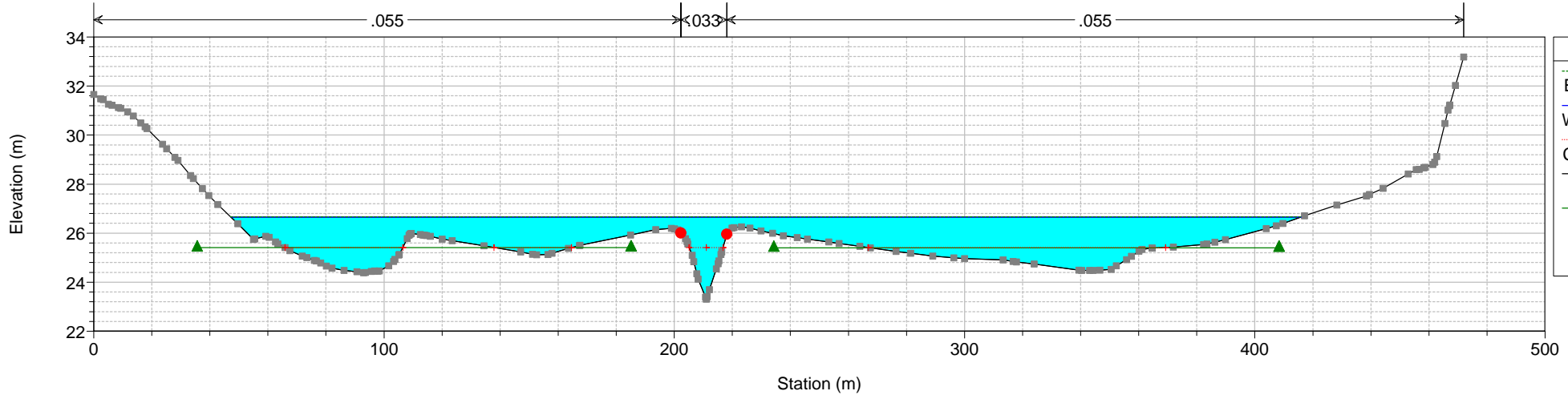


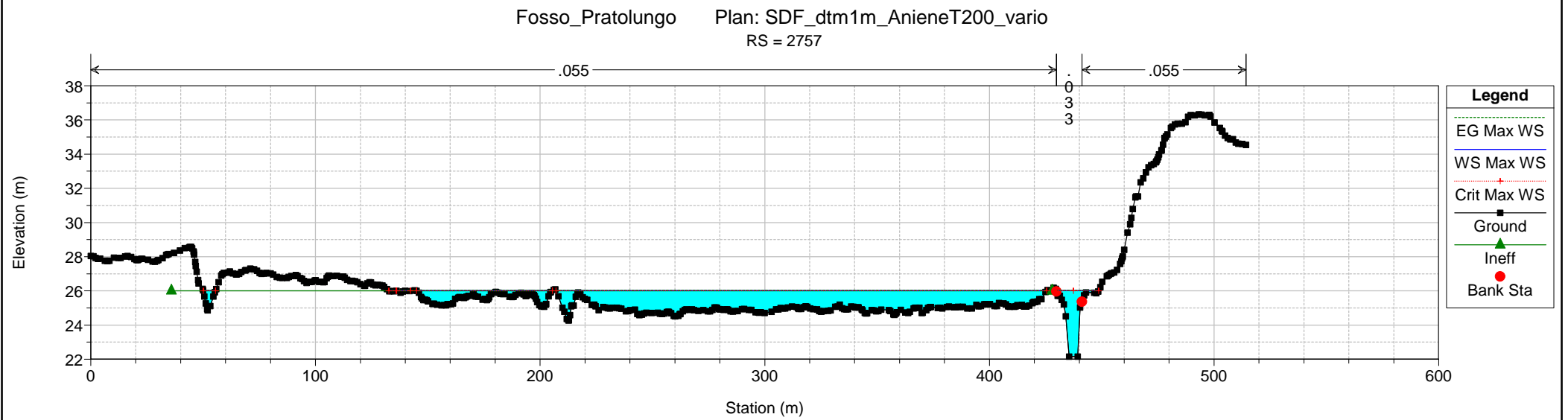
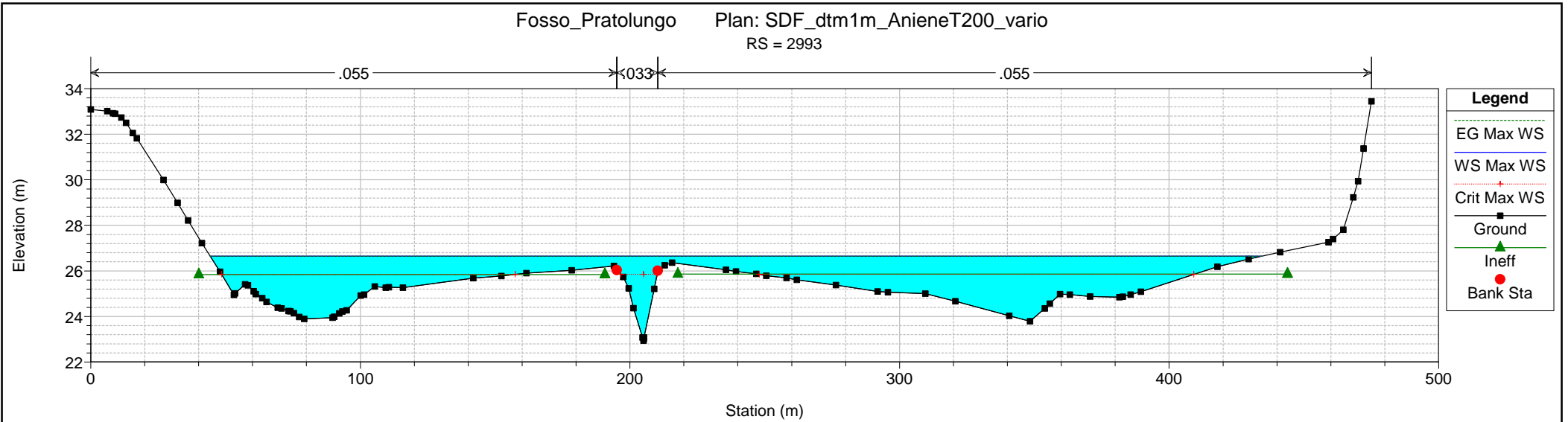
Legend	
EG Max WS	— (dotted green line)
WS Max WS	— (solid blue line)
Crit Max WS	— (dotted red line with cross)
Ground	— (black line with square)
Ineff	▲ (green triangle)
Bank Sta	● (red circle)

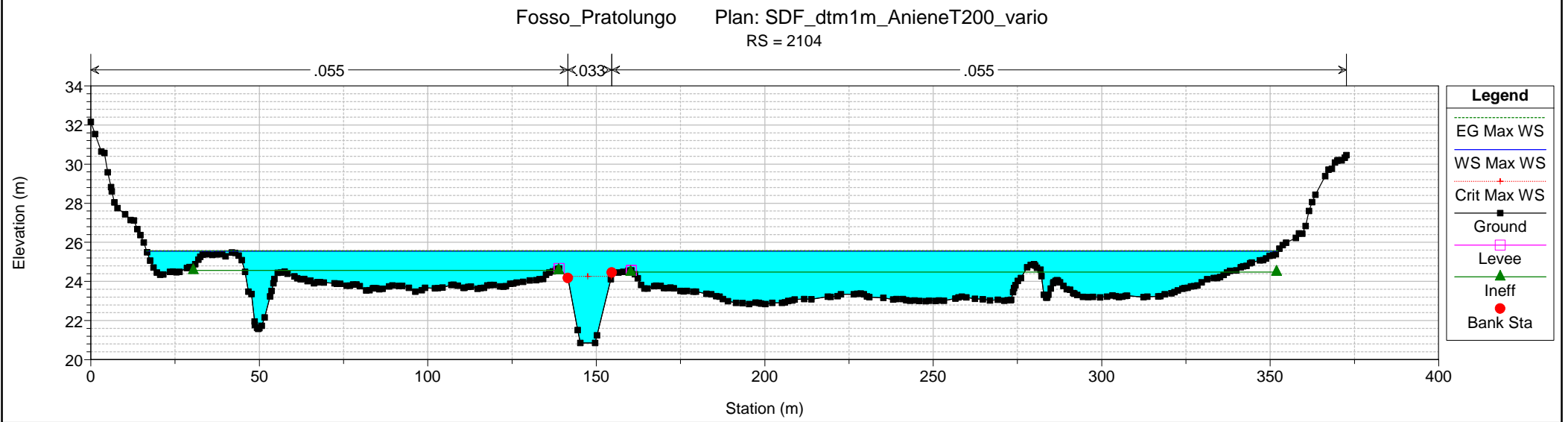
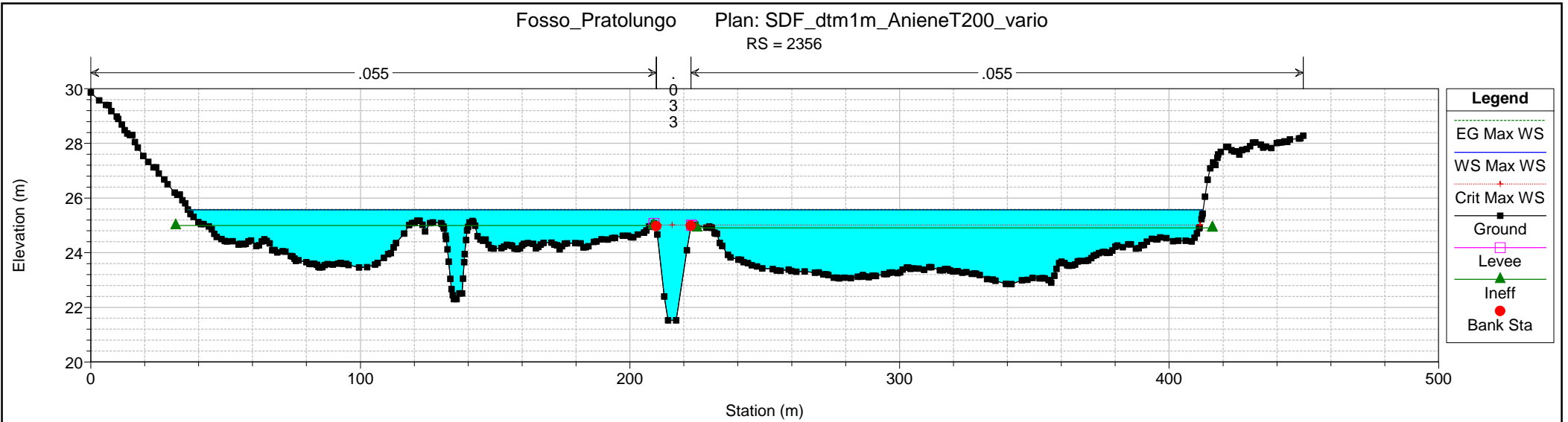
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 3361



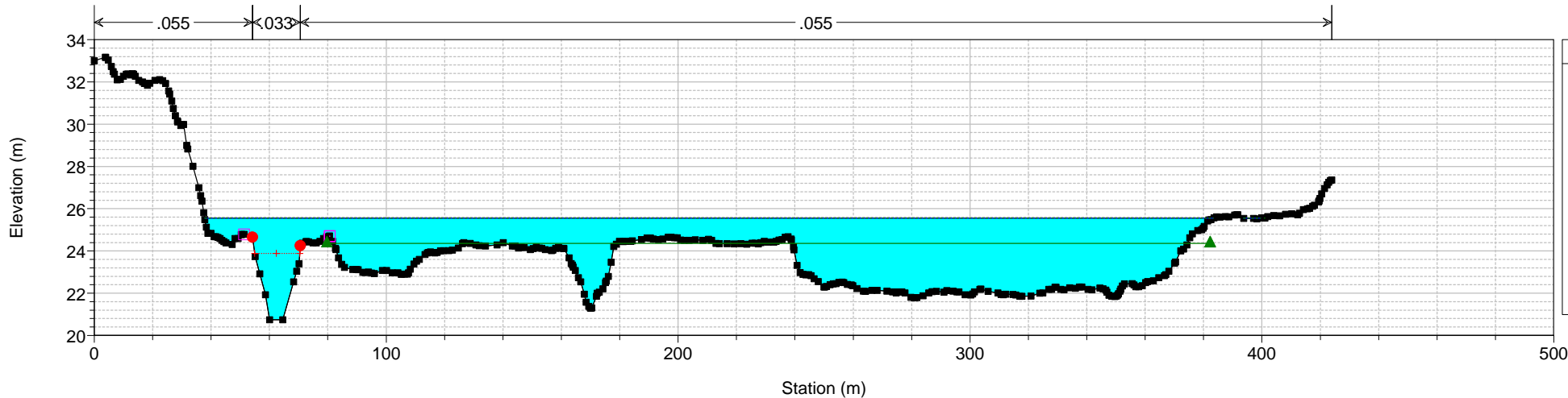
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 3177.00*





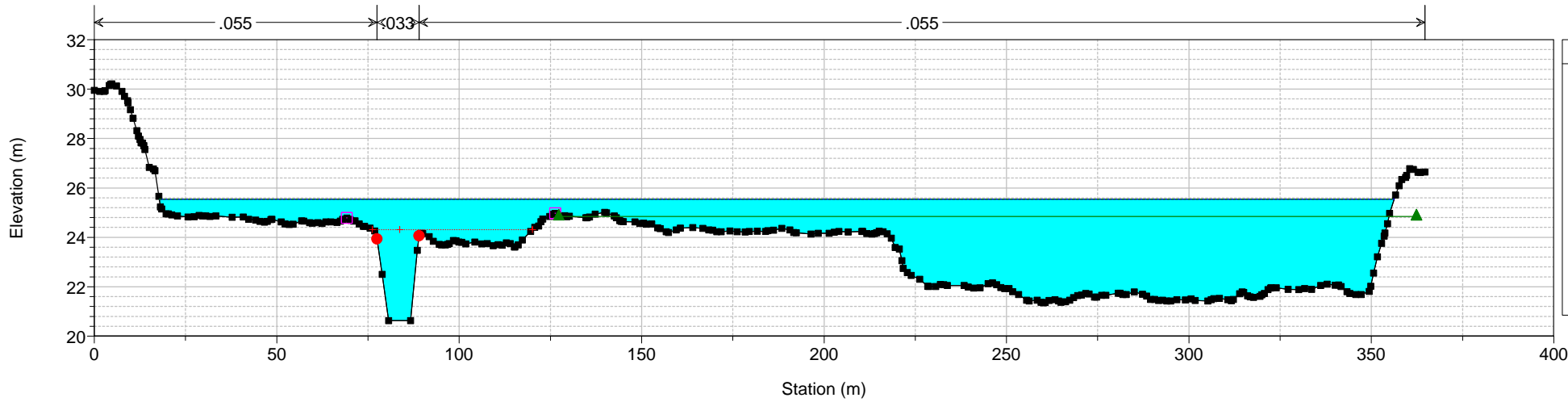


Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1908

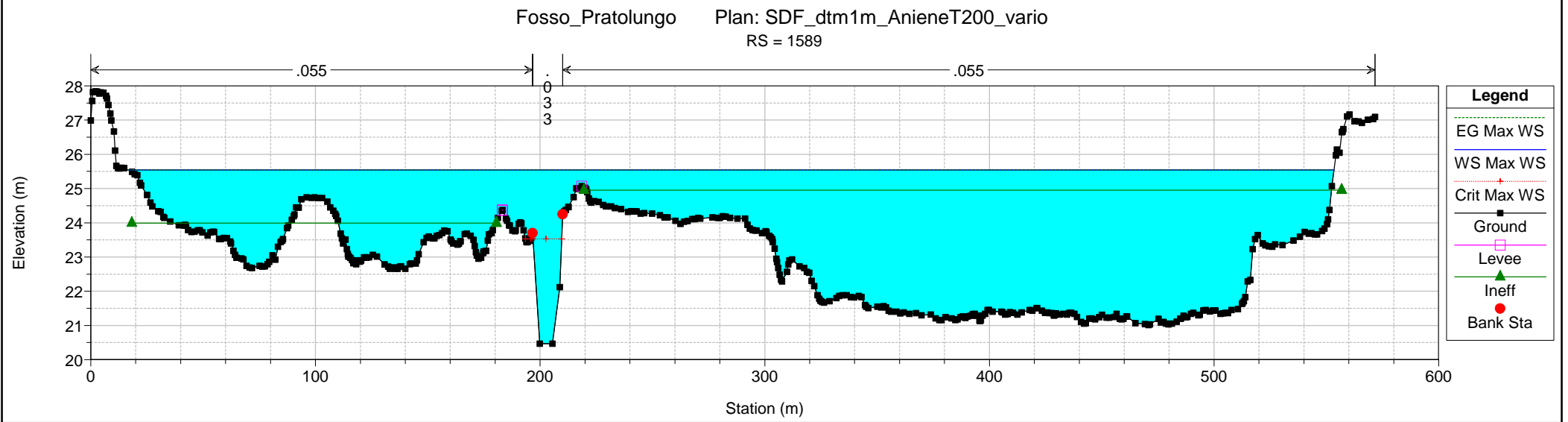
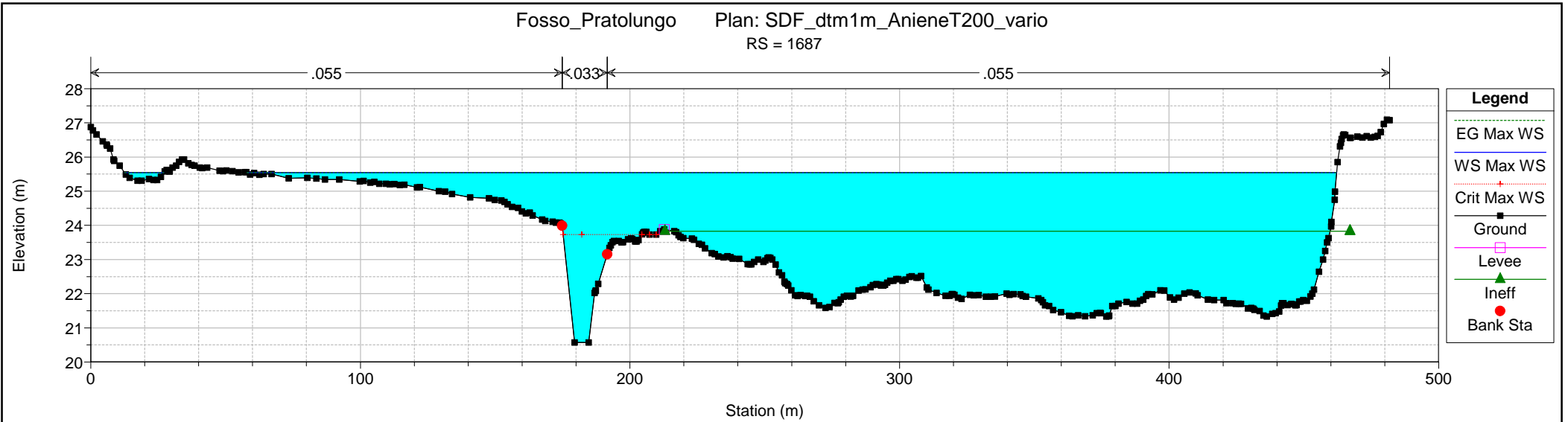


Legend	
EG Max WS	(Dotted line)
WS Max WS	(Solid line)
Crit Max WS	(Dotted line with cross)
Ground	(Dashed line)
Levee	(Pink square)
Ineff	(Green triangle)
Bank Sta	(Red circle)

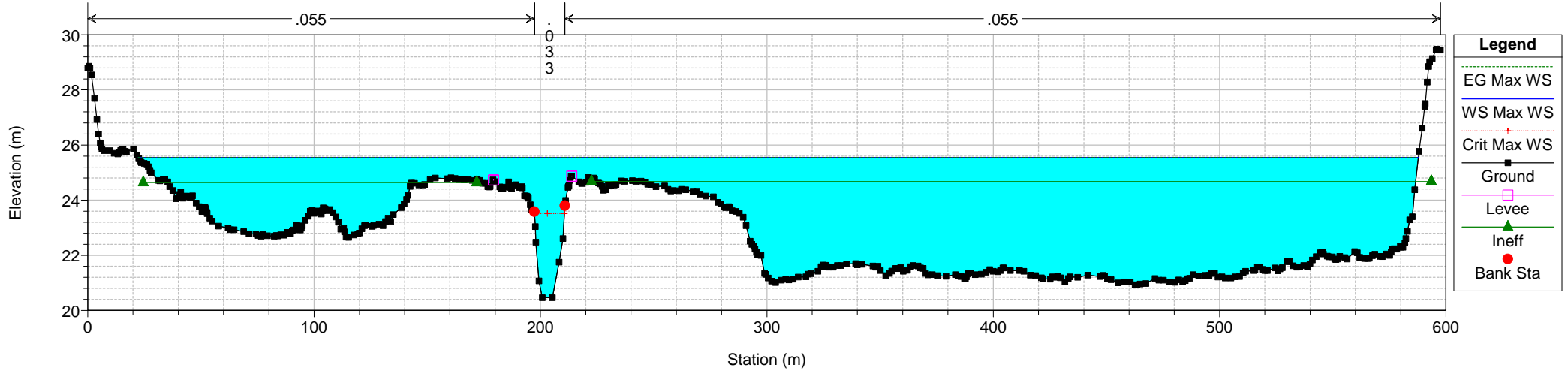
Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1820



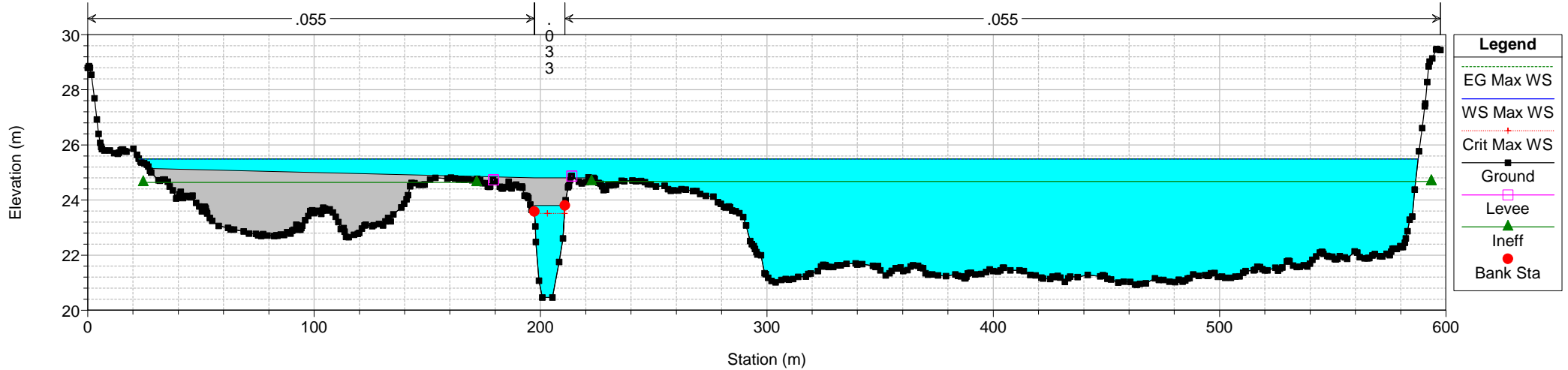
Legend	
EG Max WS	(Dotted line)
WS Max WS	(Solid line)
Crit Max WS	(Dotted line with cross)
Ground	(Dashed line)
Levee	(Pink square)
Ineff	(Green triangle)
Bank Sta	(Red circle)



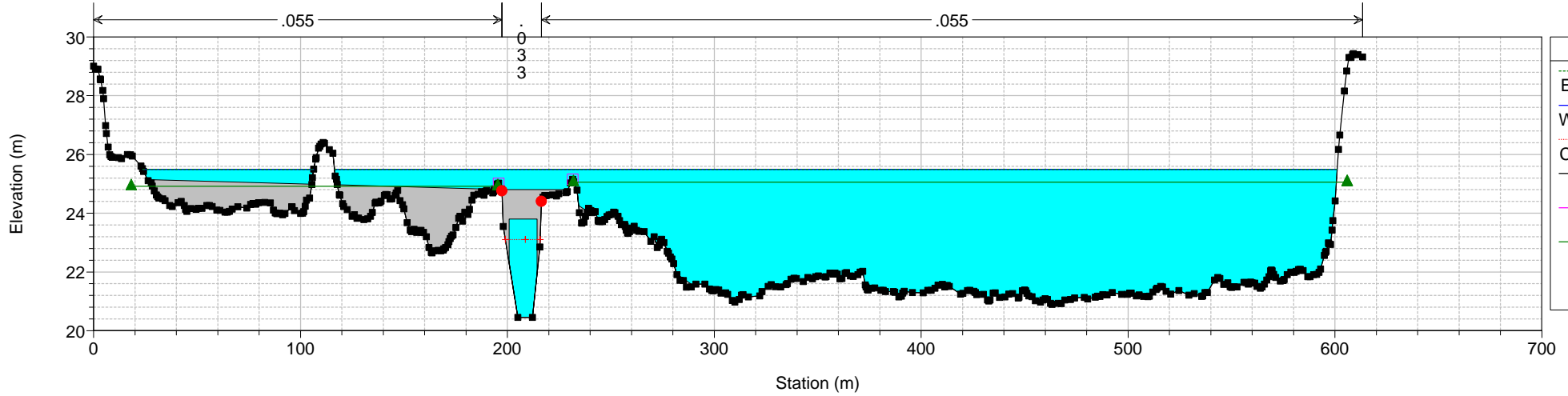
Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_Anienet200_vario
RS = 1556



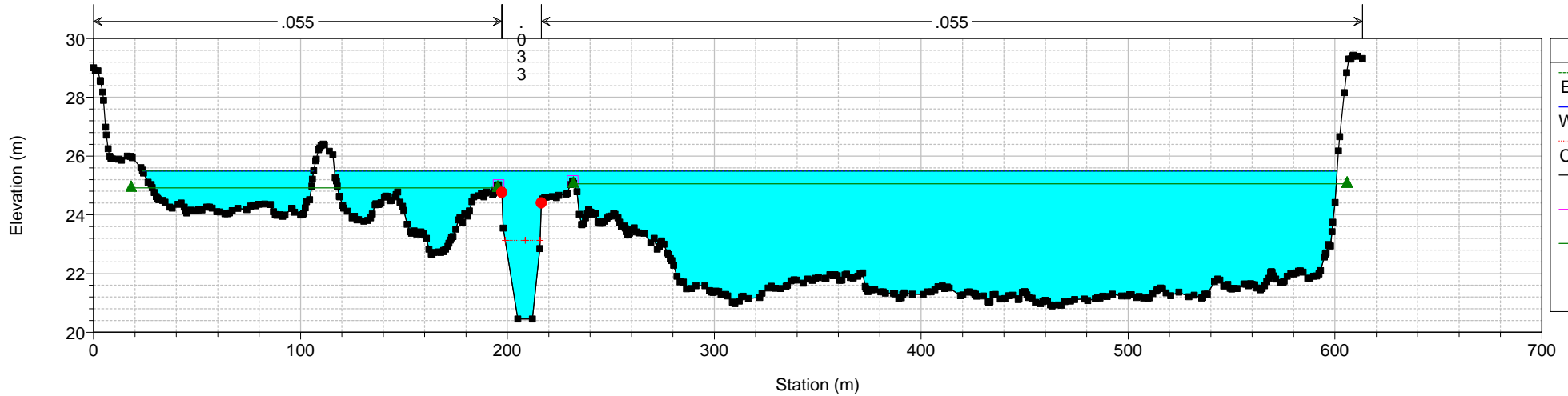
Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_Anienet200_vario
RS = 1550 BR Via G. Armenise

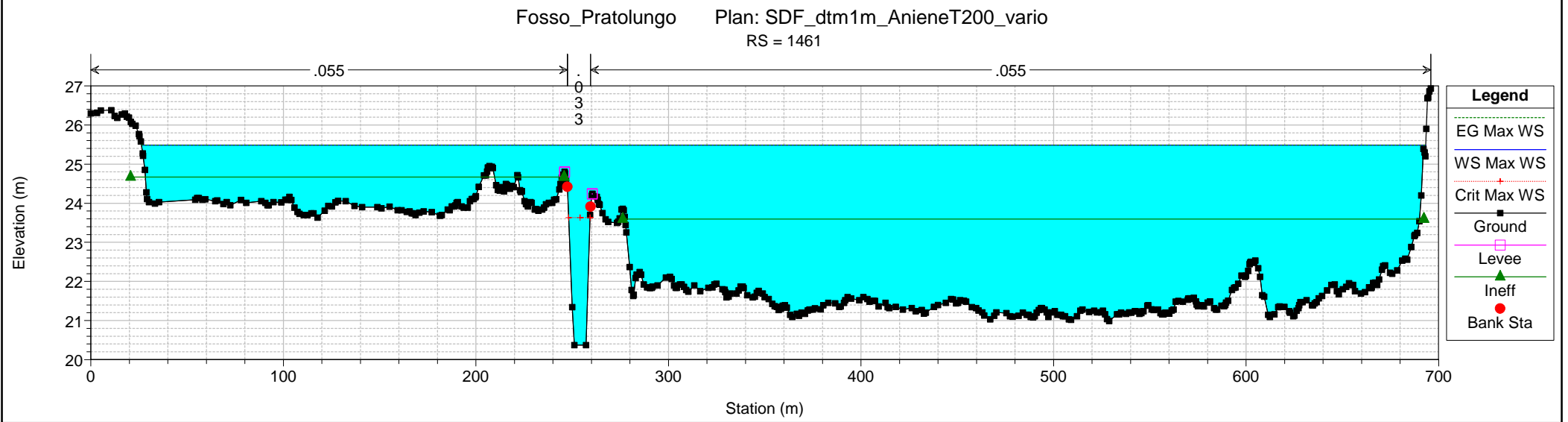
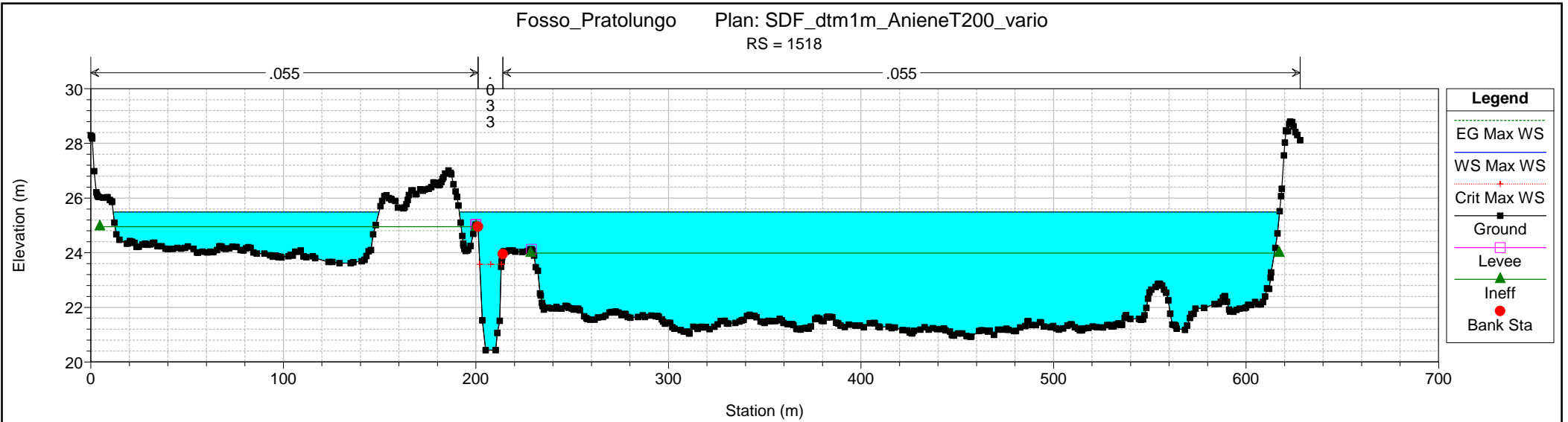


Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1550 BR Via G. Armenise

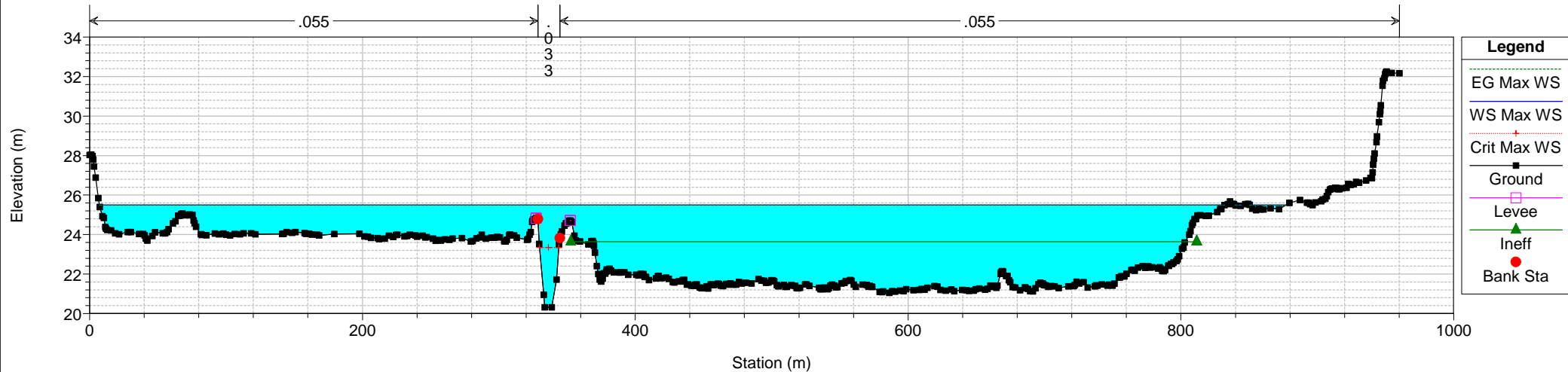


Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1544

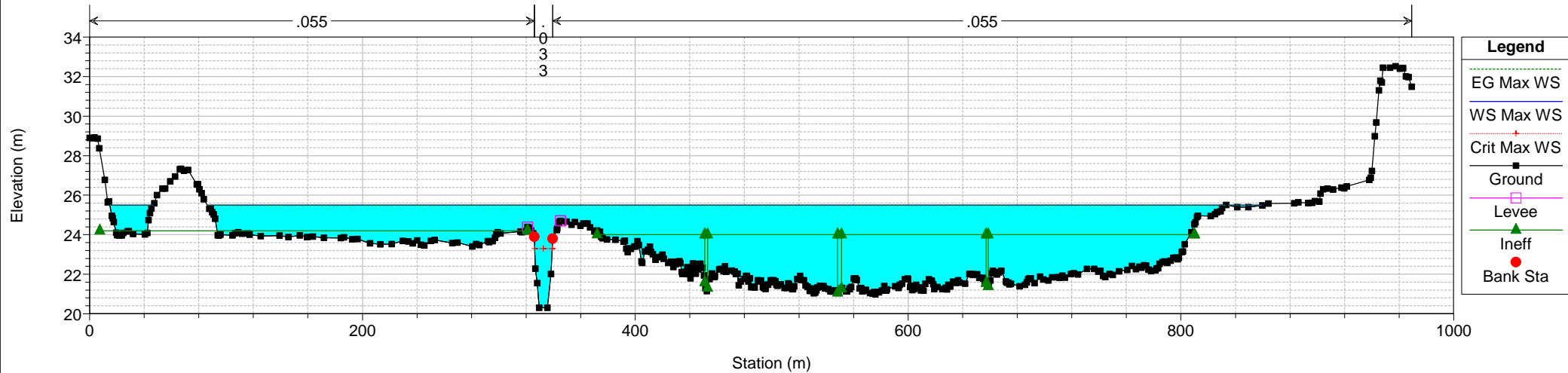




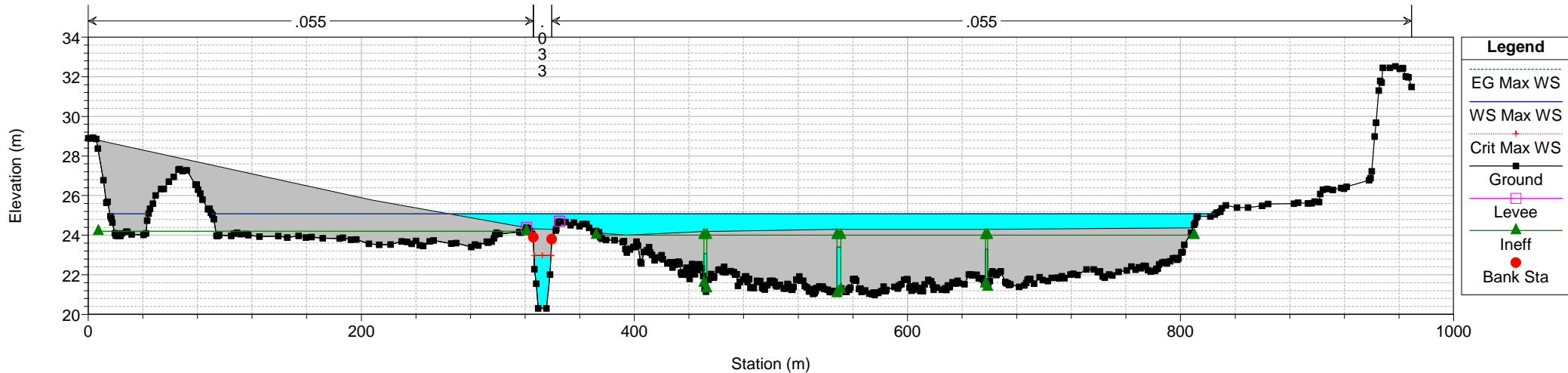
Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1400



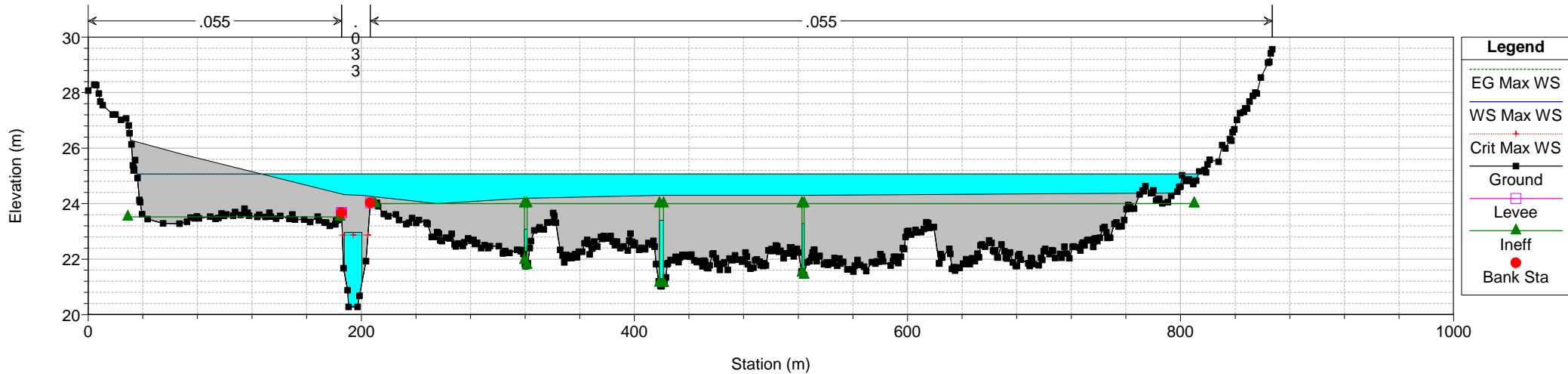
Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1372



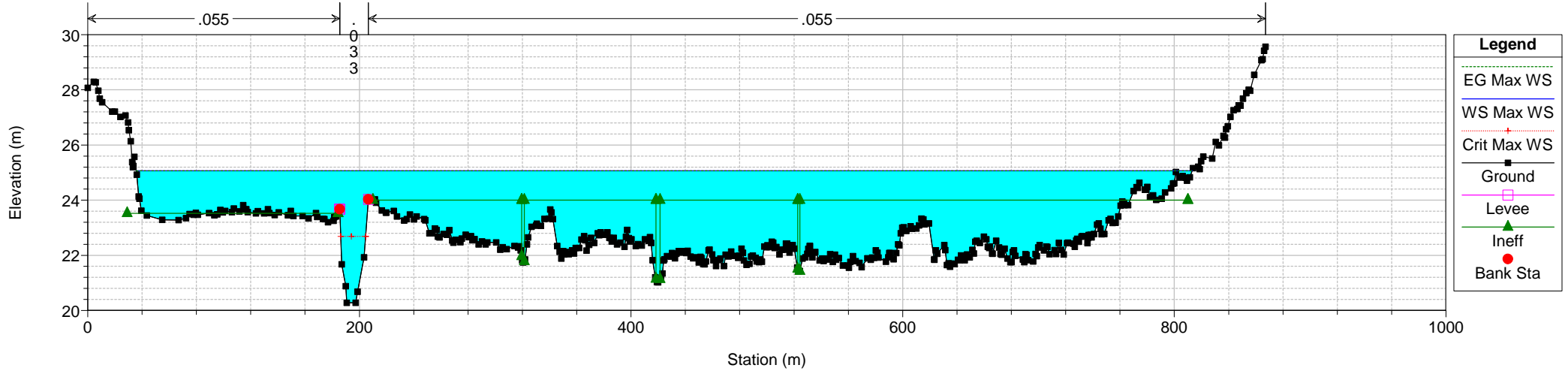
Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
 RS = 1347 BR Ponte GRA



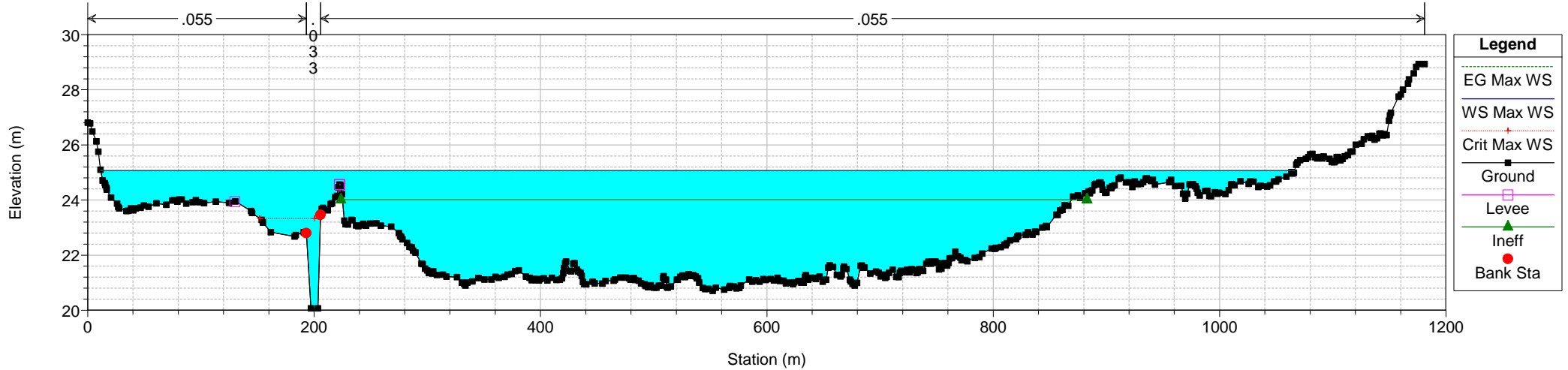
Fosso_Pratalungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
 RS = 1347 BR Ponte GRA

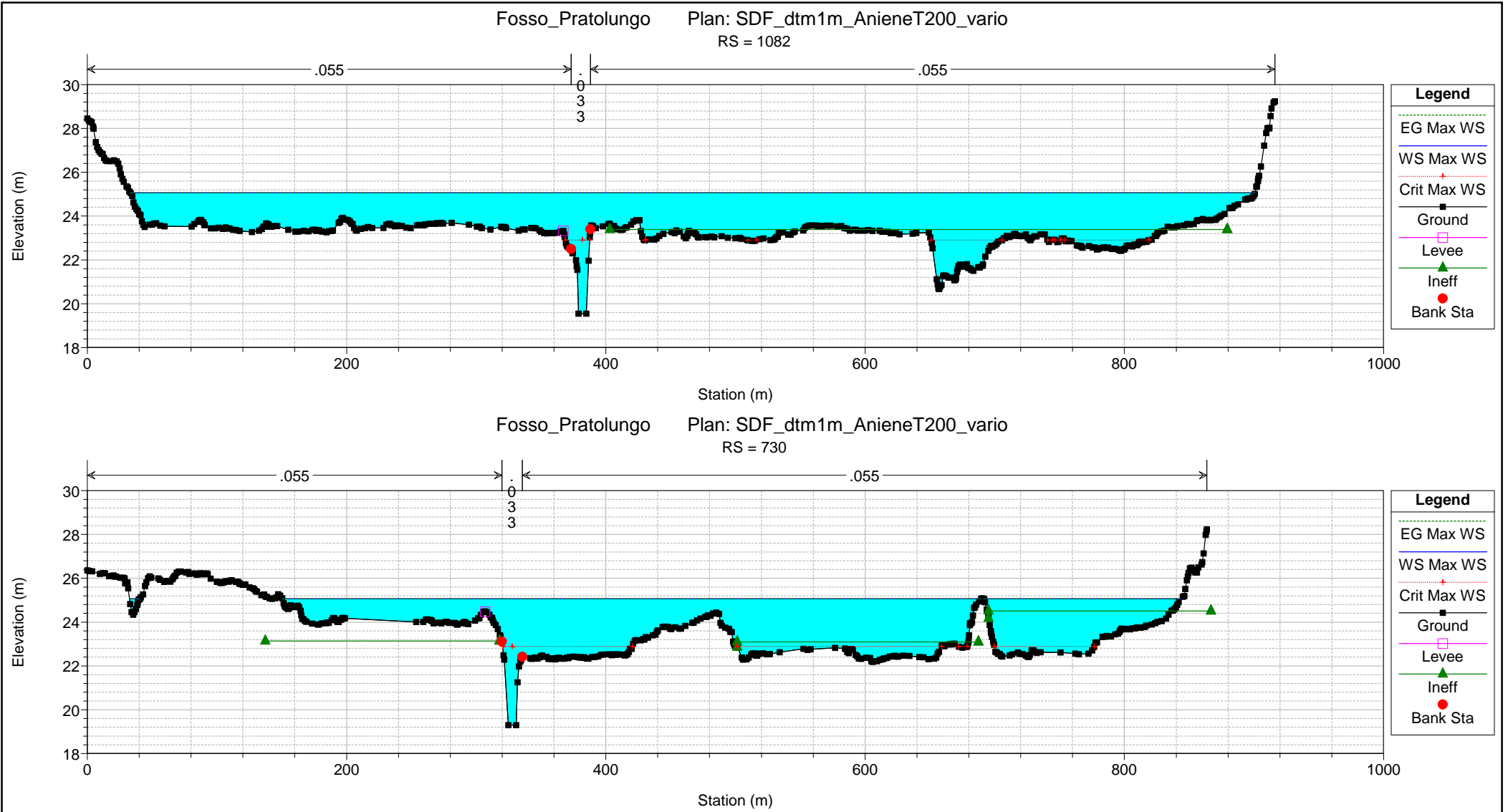


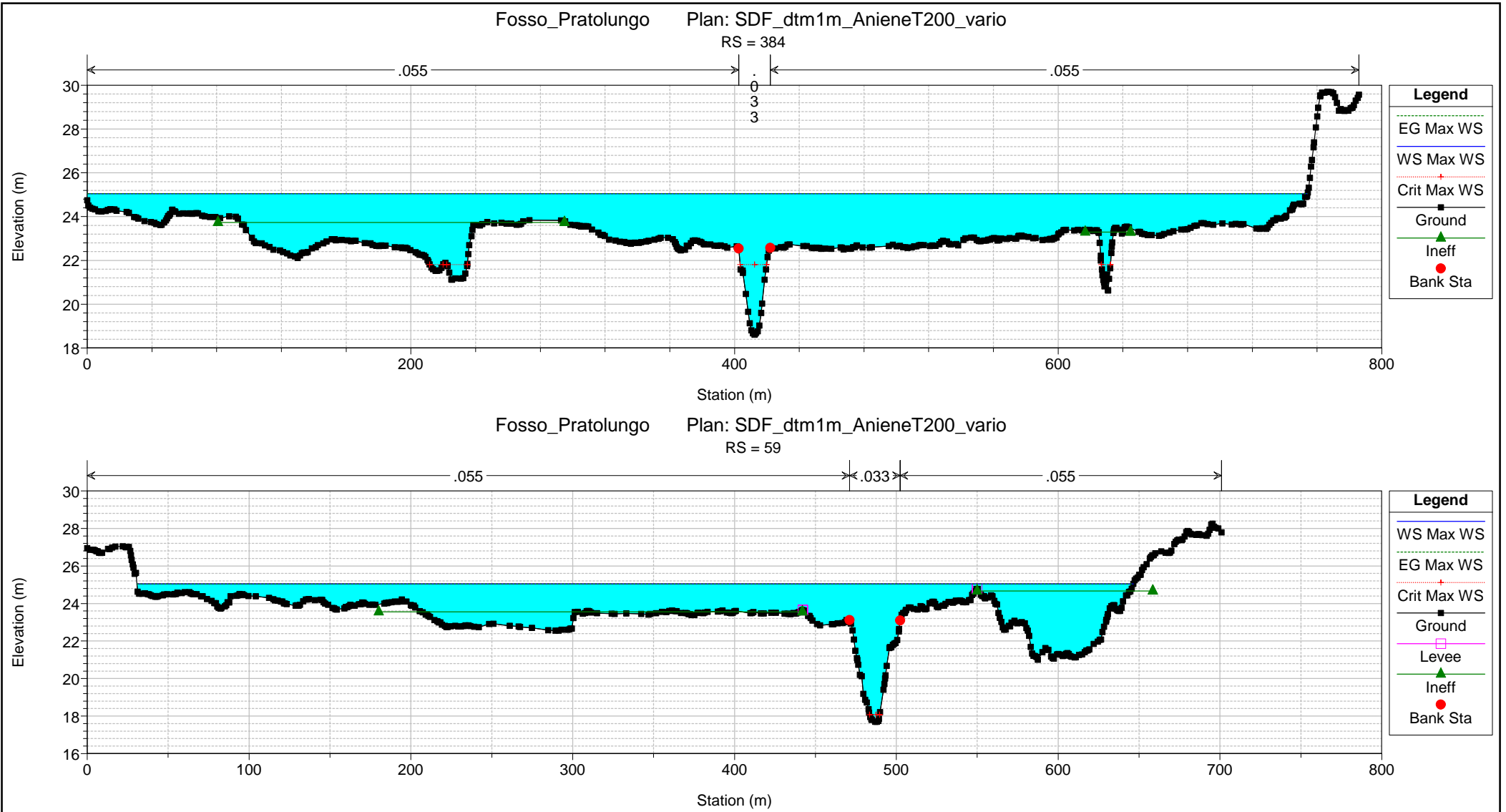
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1321



Fosso_Pratolungo Plan: SDF_dtm1m_AnieneT200_vario
RS = 1280







2.2 SCENARIO DI STATO DI FATTO CON LAMINAZIONE

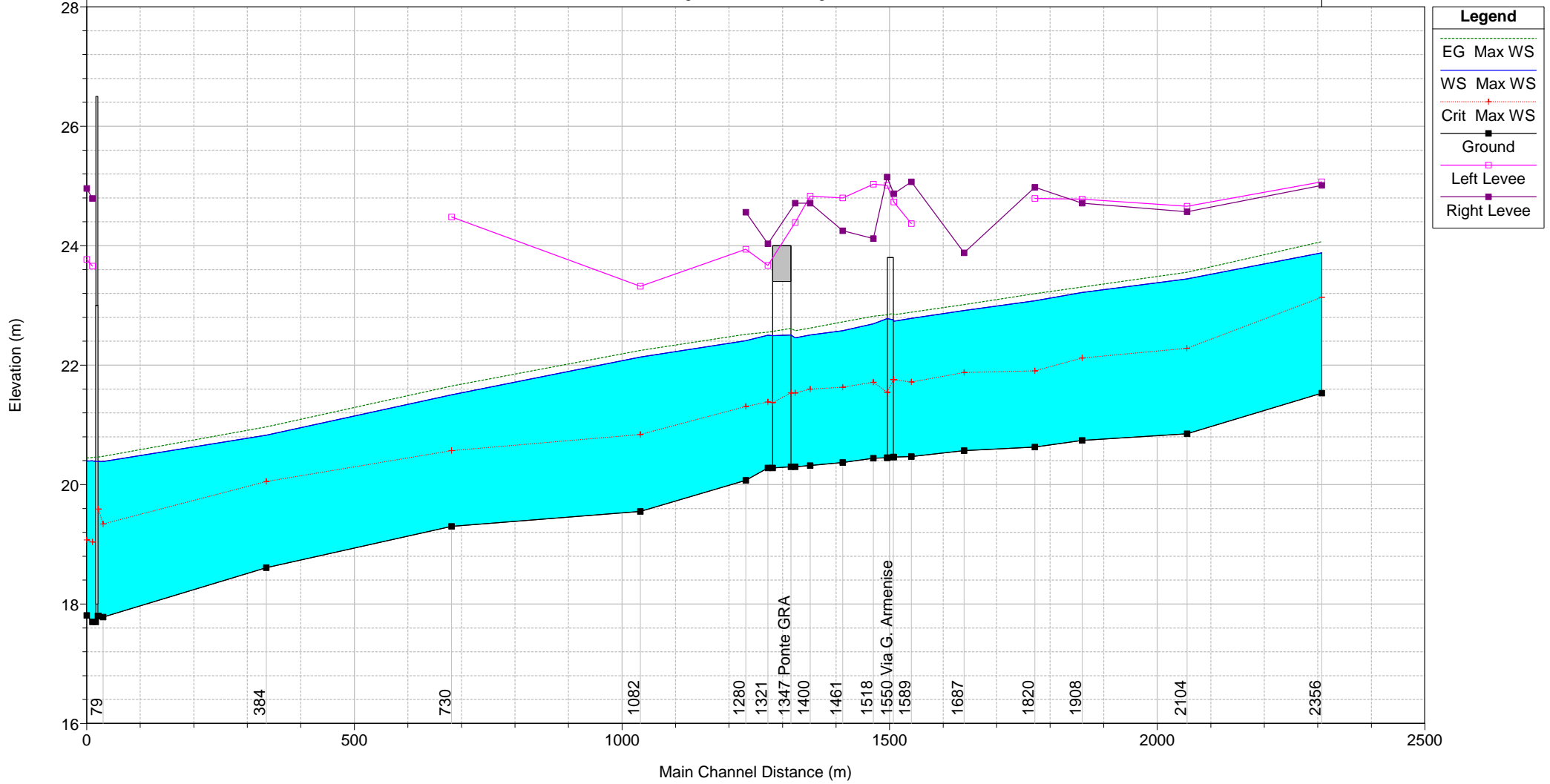
2.2.1. Fosso di Pratolungo
TR=200 anni e livello Aniene di magra
Moto vario

HEC-RAS Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollev River: Fosso_Pratolungo Reach: Fosso_Pratolungo Profile: Max WS

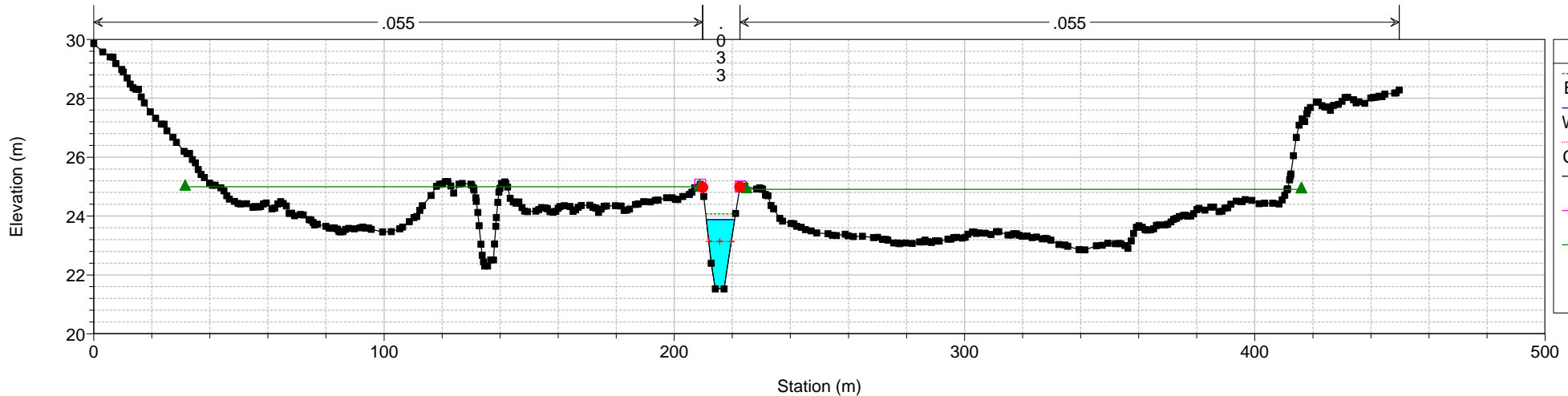
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	Max Chl Dpth (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	Diff	Froude # Chl	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Vel Total (m/s)	Hydr Radius C (m)	Shear Chan (N/m2)	Hydr Depth (m)
Fosso_Pratolungo	2356	Max WS	29.49	21.53	2.35	23.88	23.14	0.74	0.49	24.07	1.93	1.93	1.36	36	1.57
Fosso_Pratolungo	2104	Max WS	29.47	20.85	2.59	23.44	22.28	1.16	0.35	23.55	1.48	1.48	1.56	20	1.82
Fosso_Pratolungo	1908	Max WS	29.45	20.74	2.47	23.21	22.12	1.09	0.34	23.31	1.35	1.35	1.46	17	1.60
Fosso_Pratolungo	1820	Max WS	29.45	20.63	2.45	23.08	21.90	1.18	0.35	23.20	1.51	1.51	1.58	21	1.96
Fosso_Pratolungo	1687	Max WS	29.43	20.57	2.35	22.92	21.88	1.04	0.36	23.01	1.38	1.38	1.36	18	1.48
Fosso_Pratolungo	1589	Max WS	29.42	20.47	2.31	22.78	21.72	1.06	0.34	22.89	1.42	1.42	1.56	19	1.79
Fosso_Pratolungo	1556	Max WS	29.41	20.46	2.28	22.74	21.76	0.98	0.36	22.84	1.46	1.46	1.49	20	1.66
Fosso_Pratolungo	1550		Bridge												
Fosso_Pratolungo	1544	Max WS	29.42	20.45	2.33	22.78	21.55	1.23	0.27	22.84	1.11	1.11	1.56	11	1.68
Fosso_Pratolungo	1518	Max WS	29.41	20.44	2.25	22.69	21.71	0.98	0.37	22.82	1.56	1.56	1.54	23	1.84
Fosso_Pratolungo	1461	Max WS	29.40	20.37	2.21	22.58	21.63	0.95	0.40	22.72	1.70	1.70	1.48	27	1.82
Fosso_Pratolungo	1400	Max WS	29.38	20.32	2.18	22.50	21.60	0.90	0.38	22.62	1.50	1.50	1.45	21	1.62
Fosso_Pratolungo	1372	Max WS	29.38	20.30	2.16	22.46	21.54	0.92	0.38	22.58	1.53	1.53	1.45	22	1.63
Fosso_Pratolungo	1347		Bridge												
Fosso_Pratolungo	1321	Max WS	29.38	20.28	2.22	22.50	21.38	1.12	0.26	22.55	1.02	1.02	1.51	10	1.60
Fosso_Pratolungo	1280	Max WS	29.37	20.07	2.34	22.41	21.31	1.10	0.35	22.52	1.46	1.46	1.54	20	1.80
Fosso_Pratolungo	1082	Max WS	29.36	19.55	2.59	22.13	20.84	1.29	0.35	22.25	1.47	1.47	1.45	20	1.80
Fosso_Pratolungo	730	Max WS	29.35	19.30	2.20	21.50	20.57	0.93	0.41	21.65	1.71	1.71	1.44	28	1.75
Fosso_Pratolungo	384	Max WS	29.35	18.61	2.22	20.83	20.05	0.78	0.44	20.97	1.67	1.67	1.36	27	1.49
Fosso_Pratolungo	79	Max WS	29.35	17.78	2.60	20.38	19.34	1.04	0.34	20.47	1.31	1.31	1.38	16	1.49
Fosso_Pratolungo	70	Max WS	29.35	17.80	2.59	20.39	19.59	0.80	0.36	20.46	1.19	1.19	1.04	15	1.11
Fosso_Pratolungo	60		Inl Struct												
Fosso_Pratolungo	59	Max WS	29.35	17.70	2.70	20.40	19.04	1.36	0.25	20.45	1.03	1.03	1.60	10	1.73
Fosso_Pratolungo	48	Max WS	29.35	17.81	2.58	20.39	19.07	1.32	0.25	20.45	1.01	1.01	1.58	9	1.69

Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam

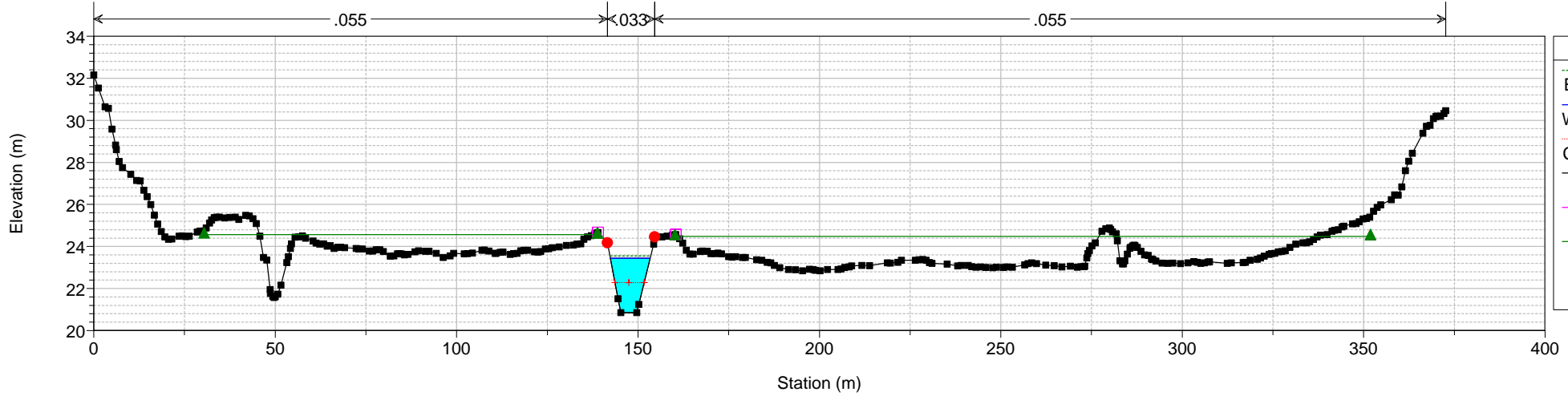
Fosso_Prato Lungo Fosso_Prato Lungo



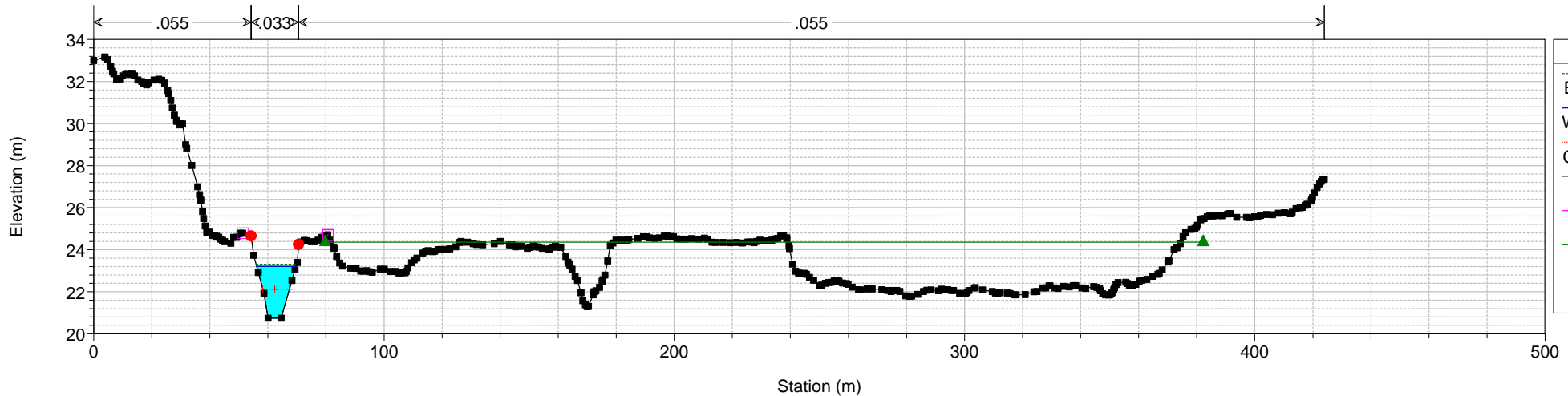
Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 2356



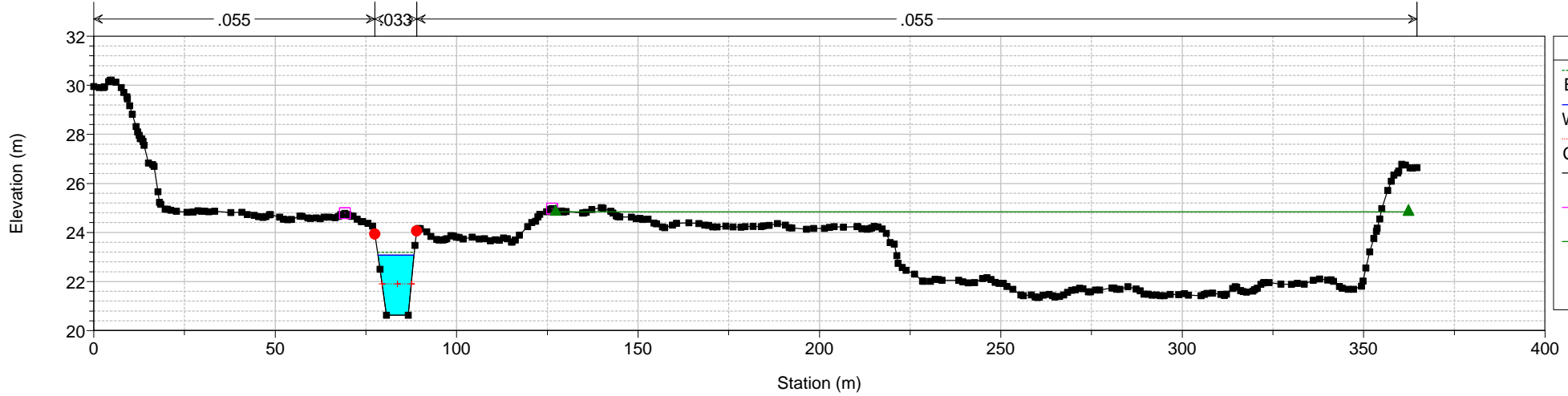
Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 2104



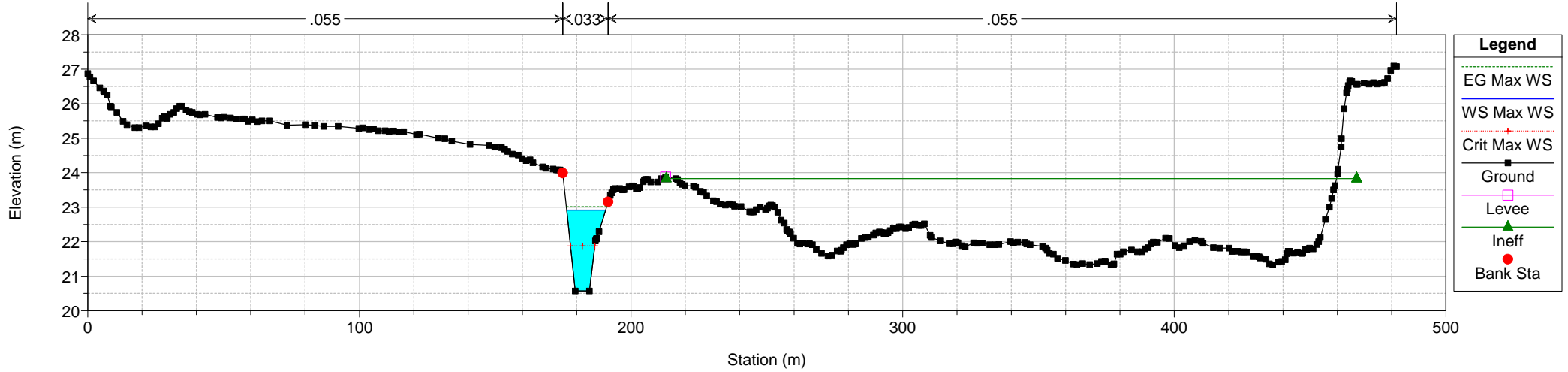
Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1908



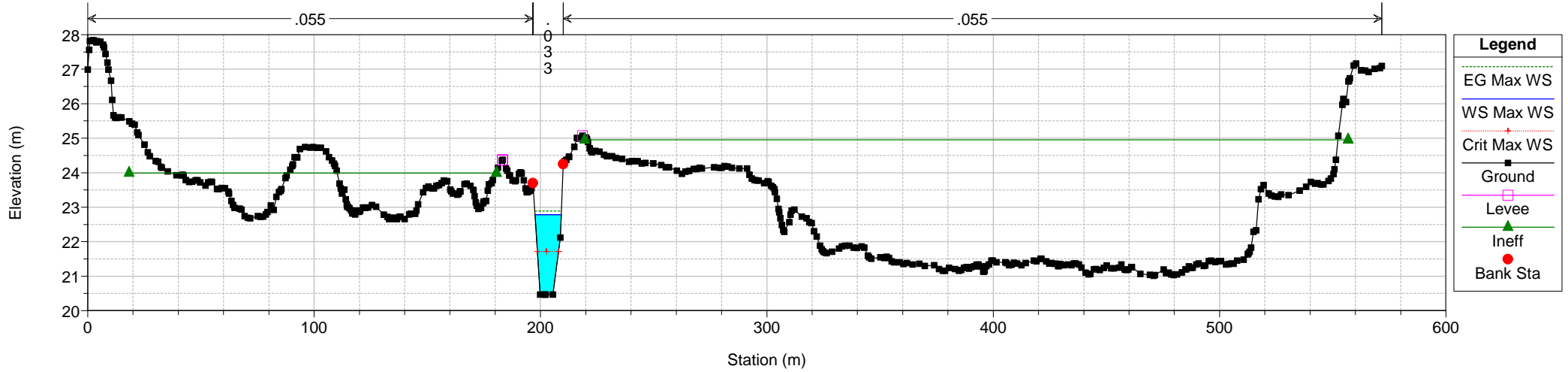
Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1820



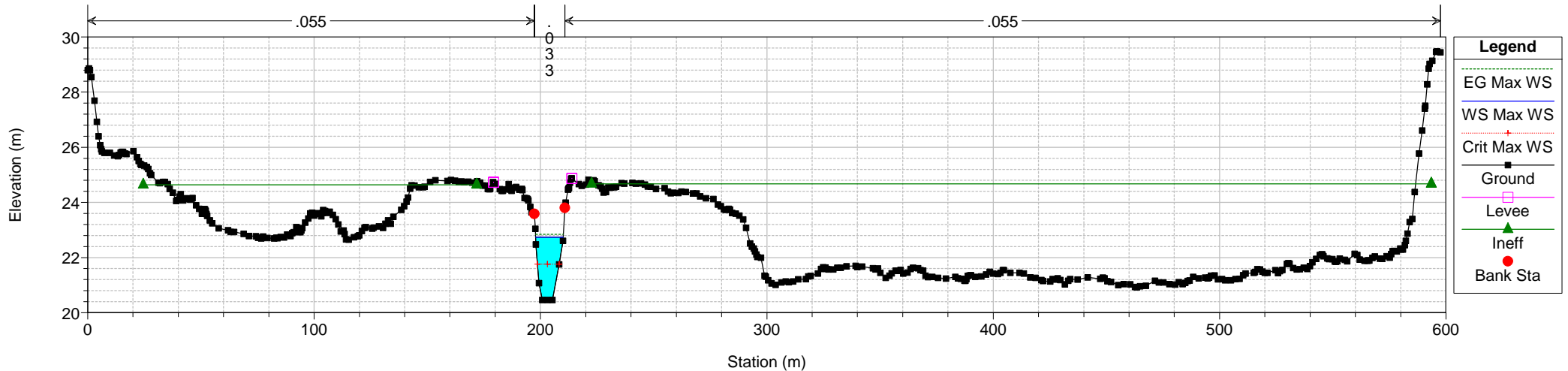
Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1687



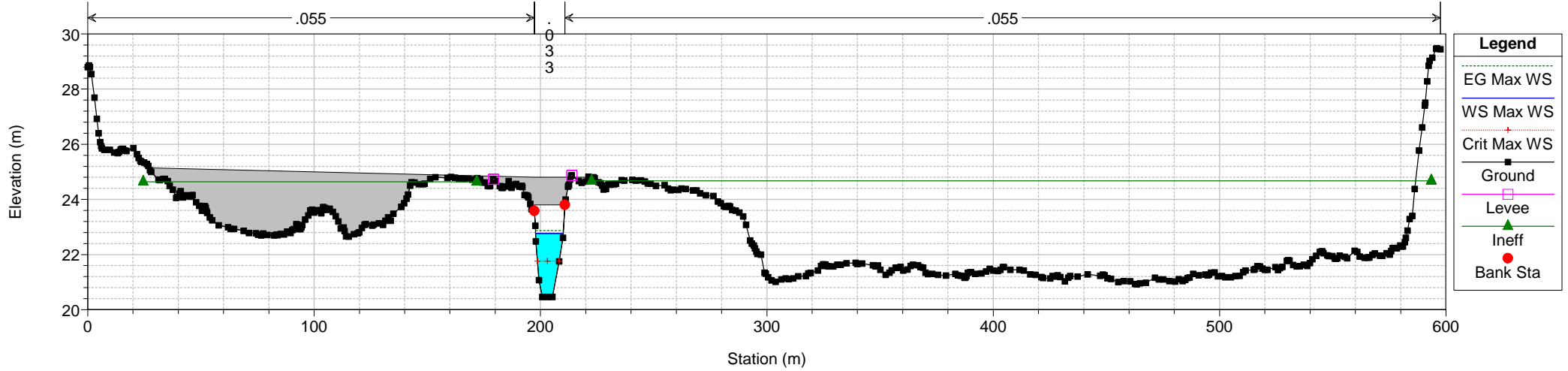
Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1589



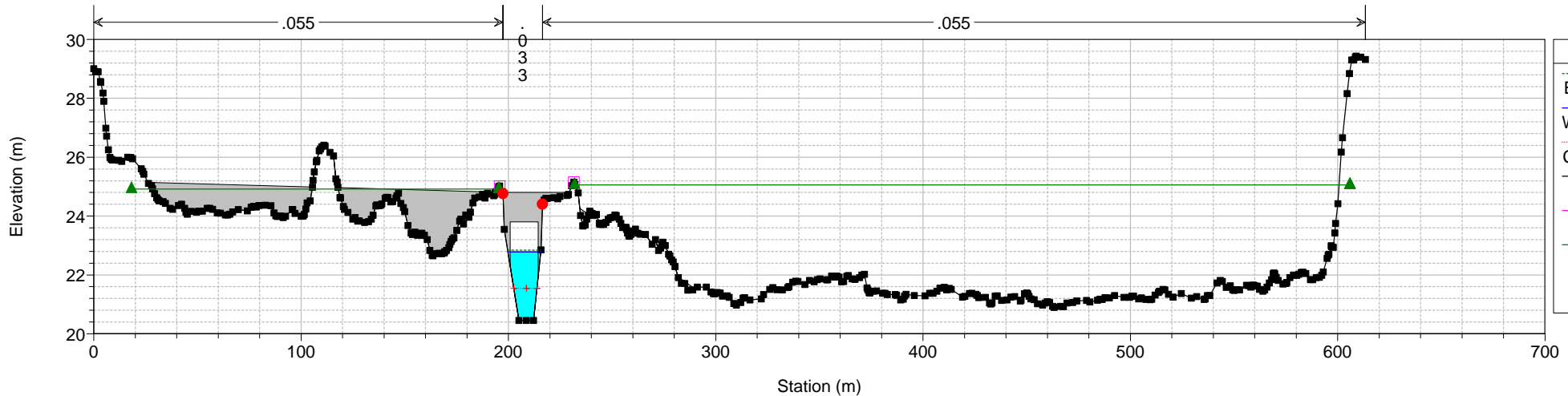
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1556



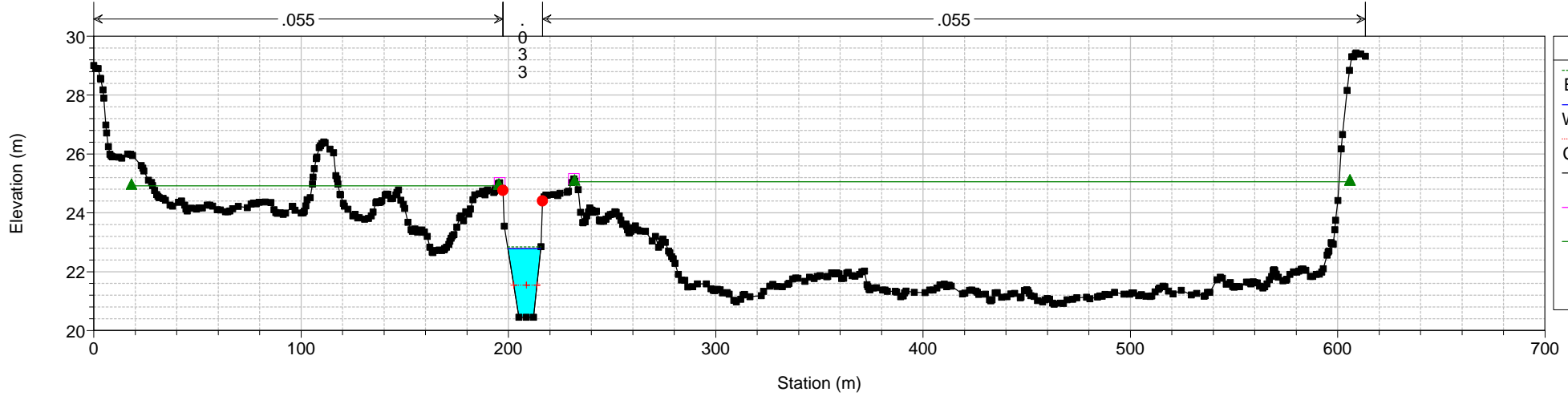
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1550 BR Via G. Armenise



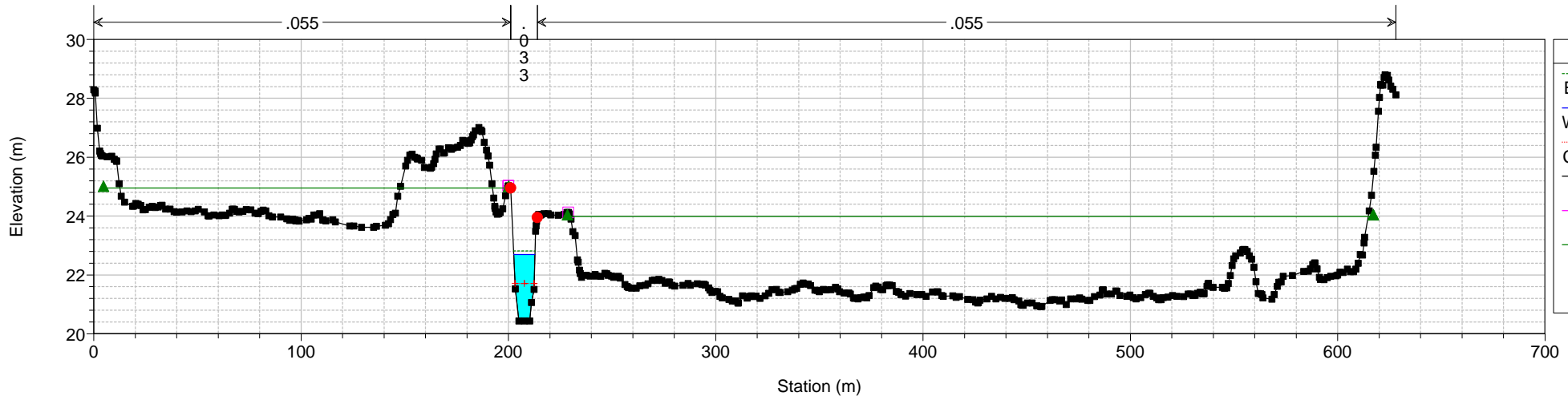
Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1550 BR Via G. Armenise



Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1544



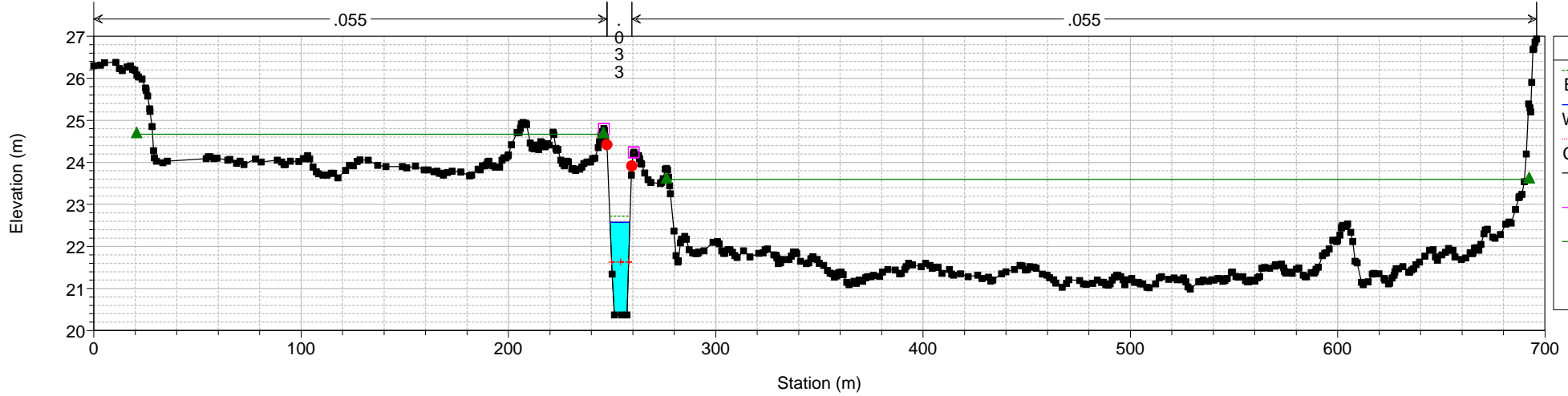
Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1518



Legend

- EG Max WS
- WS Max WS
- Crit Max WS
- Ground
- Levee
- Ineff
- Bank Sta

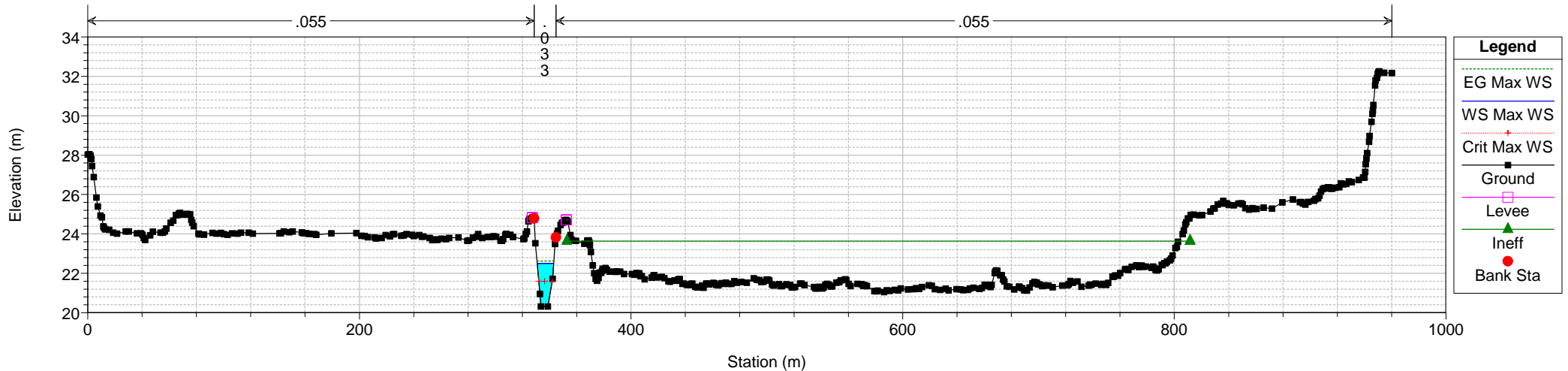
Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1461



Legend

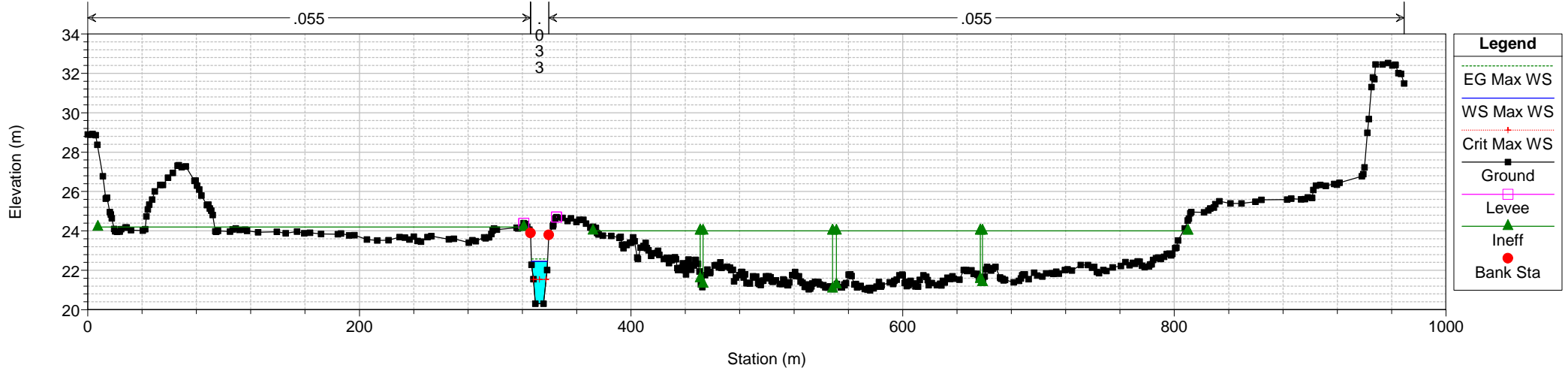
- EG Max WS
- WS Max WS
- Crit Max WS
- Ground
- Levee
- Ineff
- Bank Sta

Fosso_Pratolungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1400



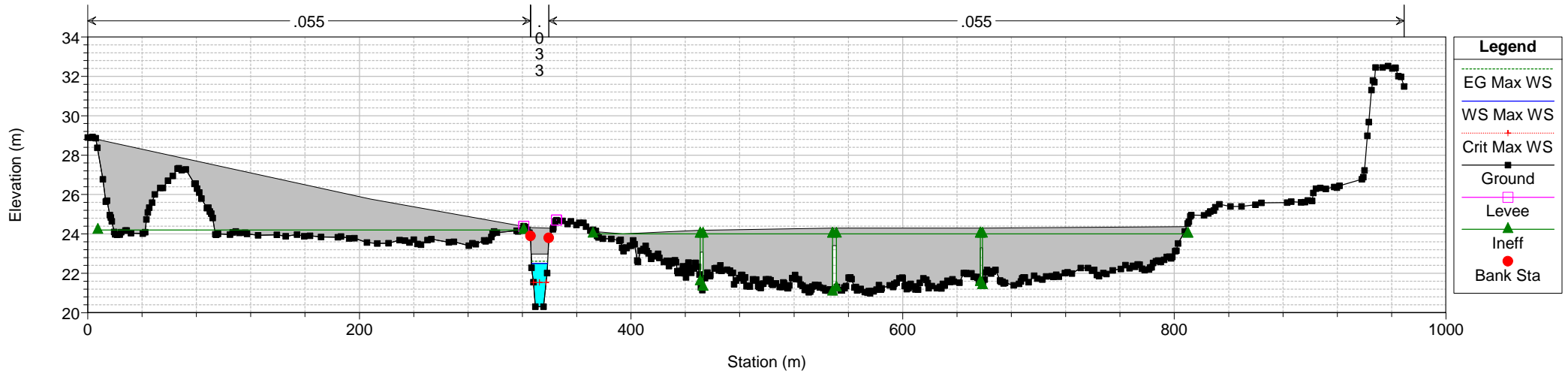
- Legend**
- EG Max WS
 - WS Max WS
 - Crit Max WS
 - Ground
 - Levee
 - Ineff
 - Bank Sta

Fosso_Pratolungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1372

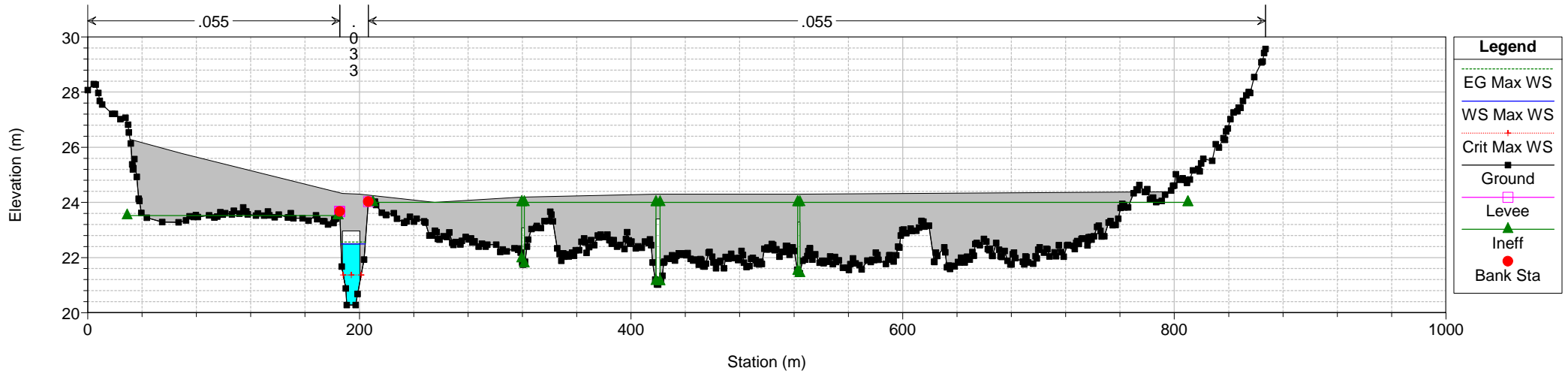


- Legend**
- EG Max WS
 - WS Max WS
 - Crit Max WS
 - Ground
 - Levee
 - Ineff
 - Bank Sta

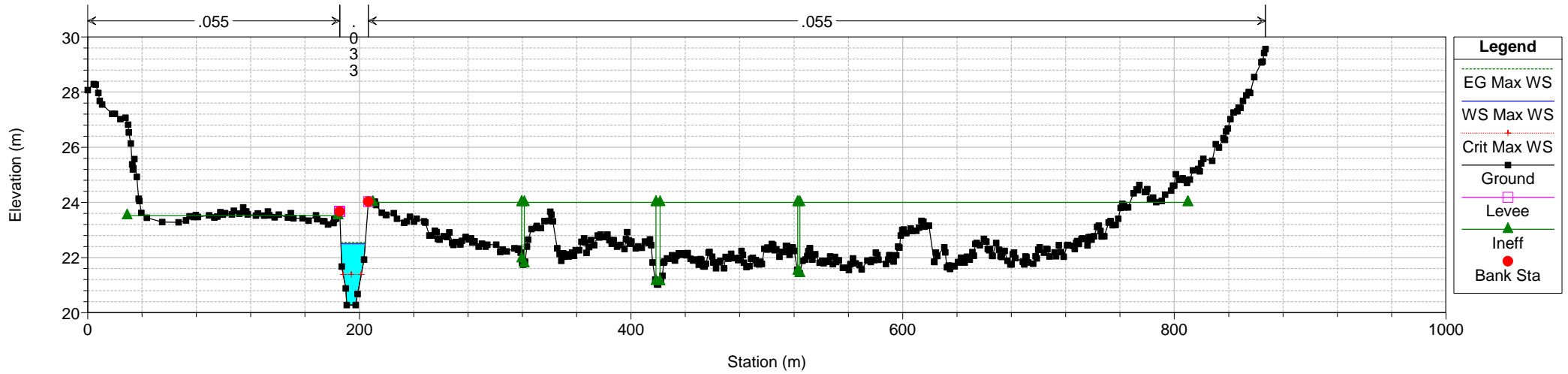
Fosso_Pratolungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1347 BR Ponte GRA



Fosso_Pratolungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1347 BR Ponte GRA

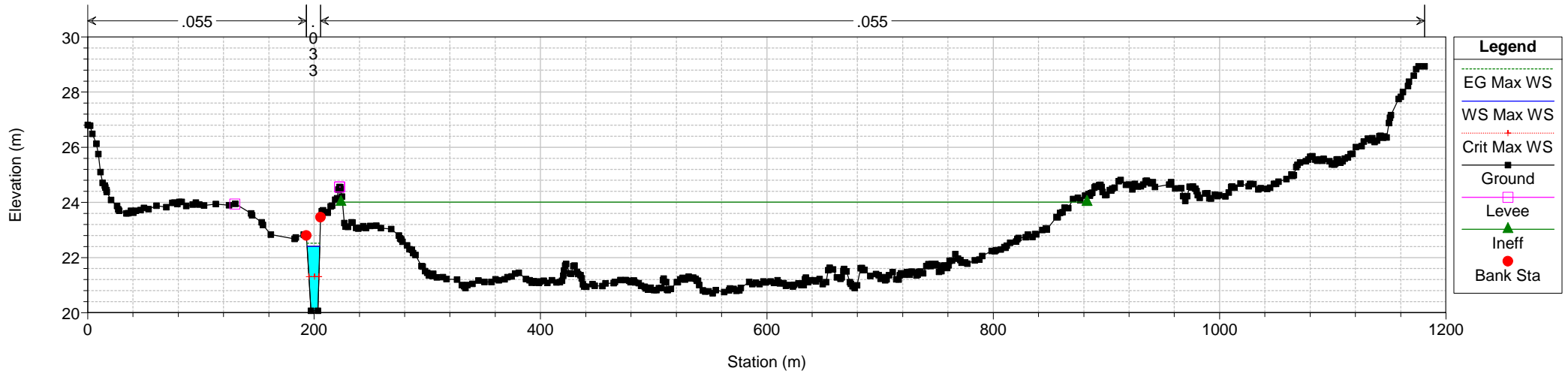


Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1321



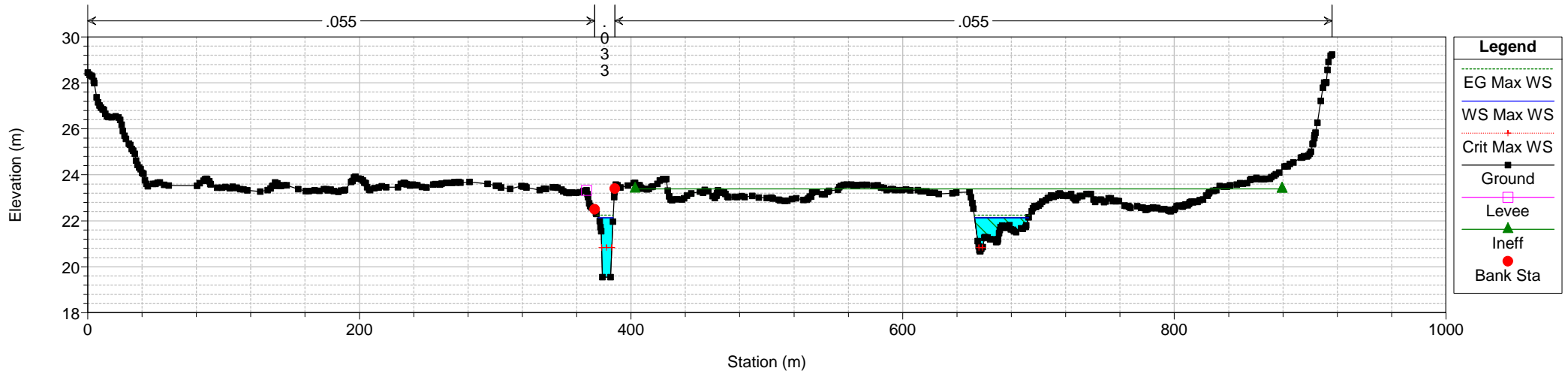
- Legend**
- EG Max WS
 - WS Max WS
 - Crit Max WS
 - Ground
 - Levee
 - Ineff
 - Bank Sta

Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1280

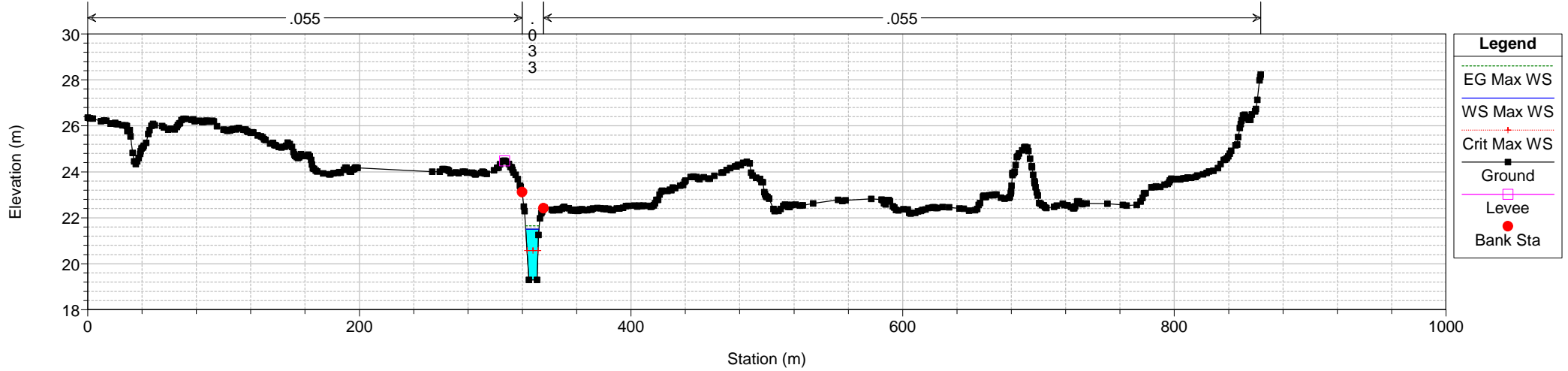


- Legend**
- EG Max WS
 - WS Max WS
 - Crit Max WS
 - Ground
 - Levee
 - Ineff
 - Bank Sta

Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1082

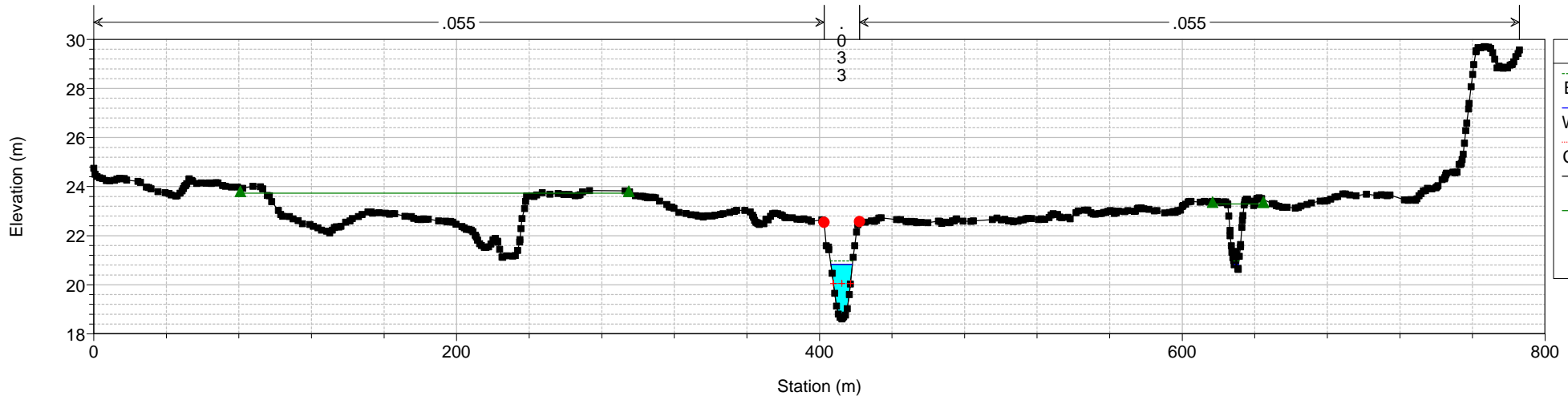


Fosso_PratoLungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 730



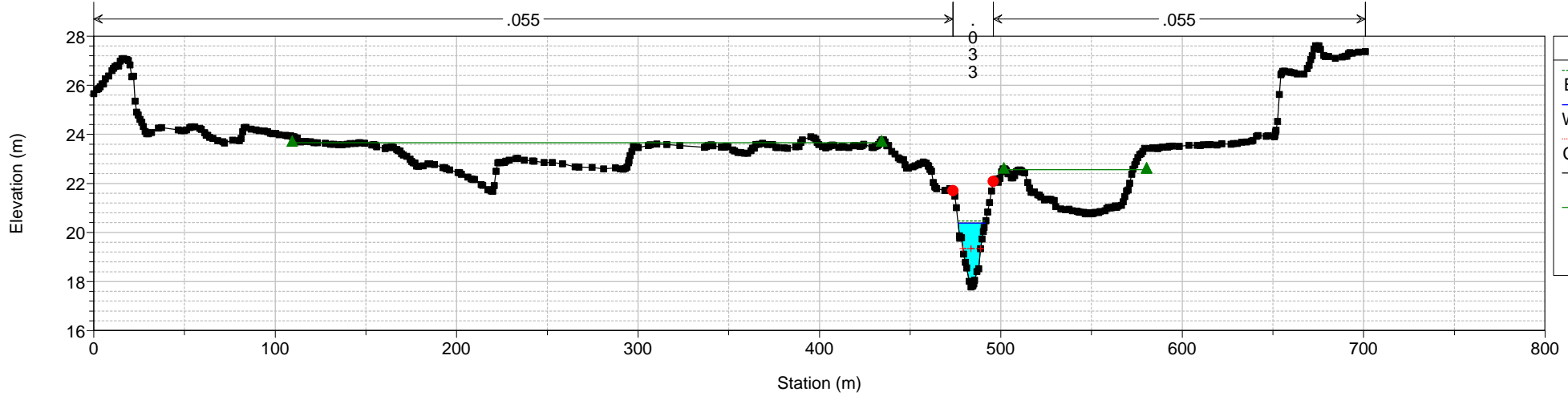
Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam

RS = 384

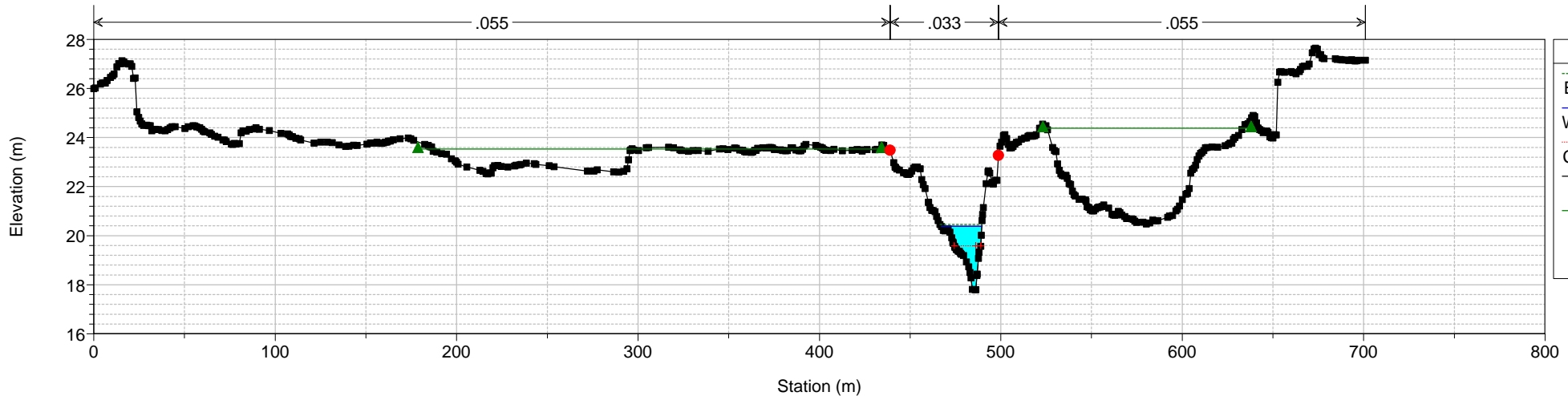


Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam

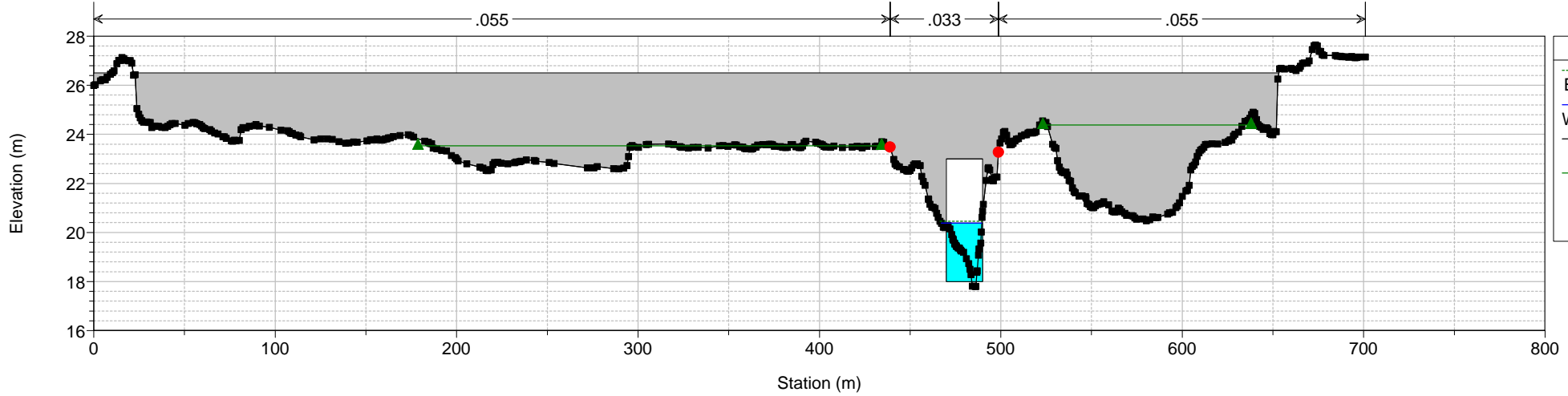
RS = 79



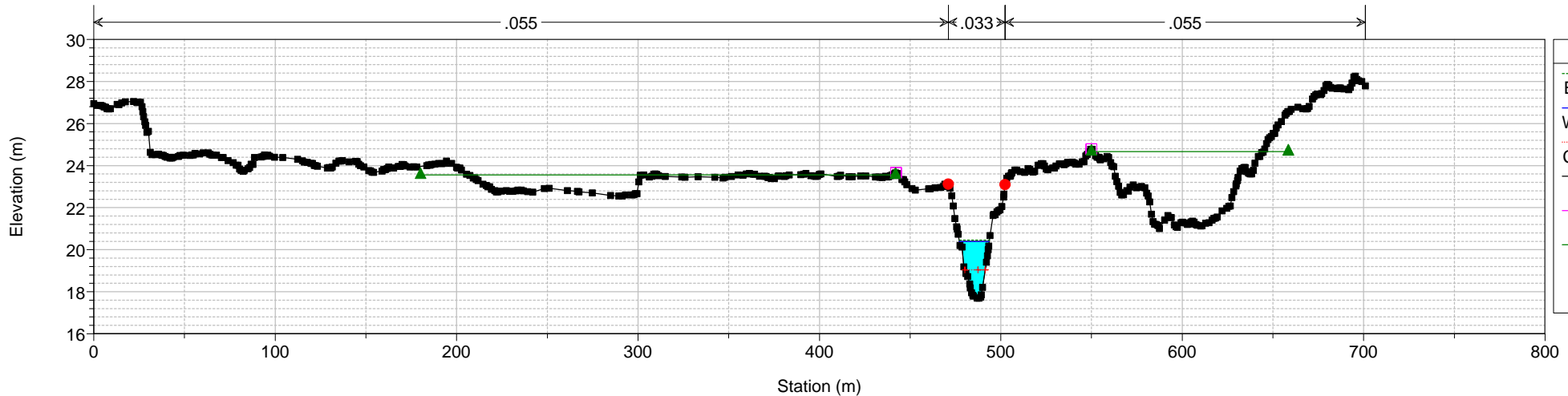
Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 70



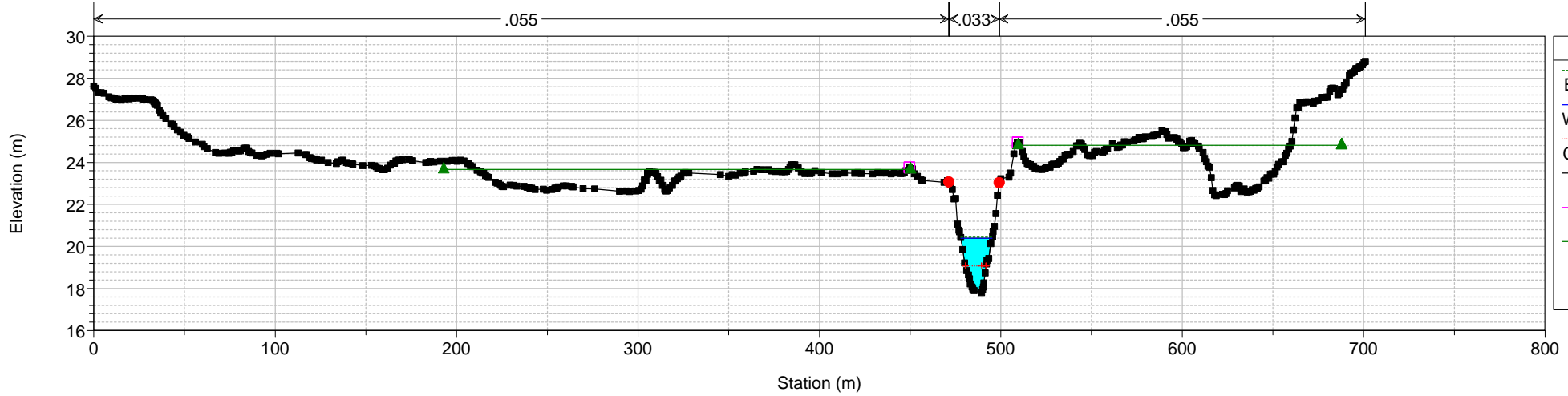
Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 60 IS Sollevamento



Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 59



Fosso_Prato Lungo Plan: SDF_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 48



2.3 SCENARIO DI PROGETTO CON LAMINAZIONE

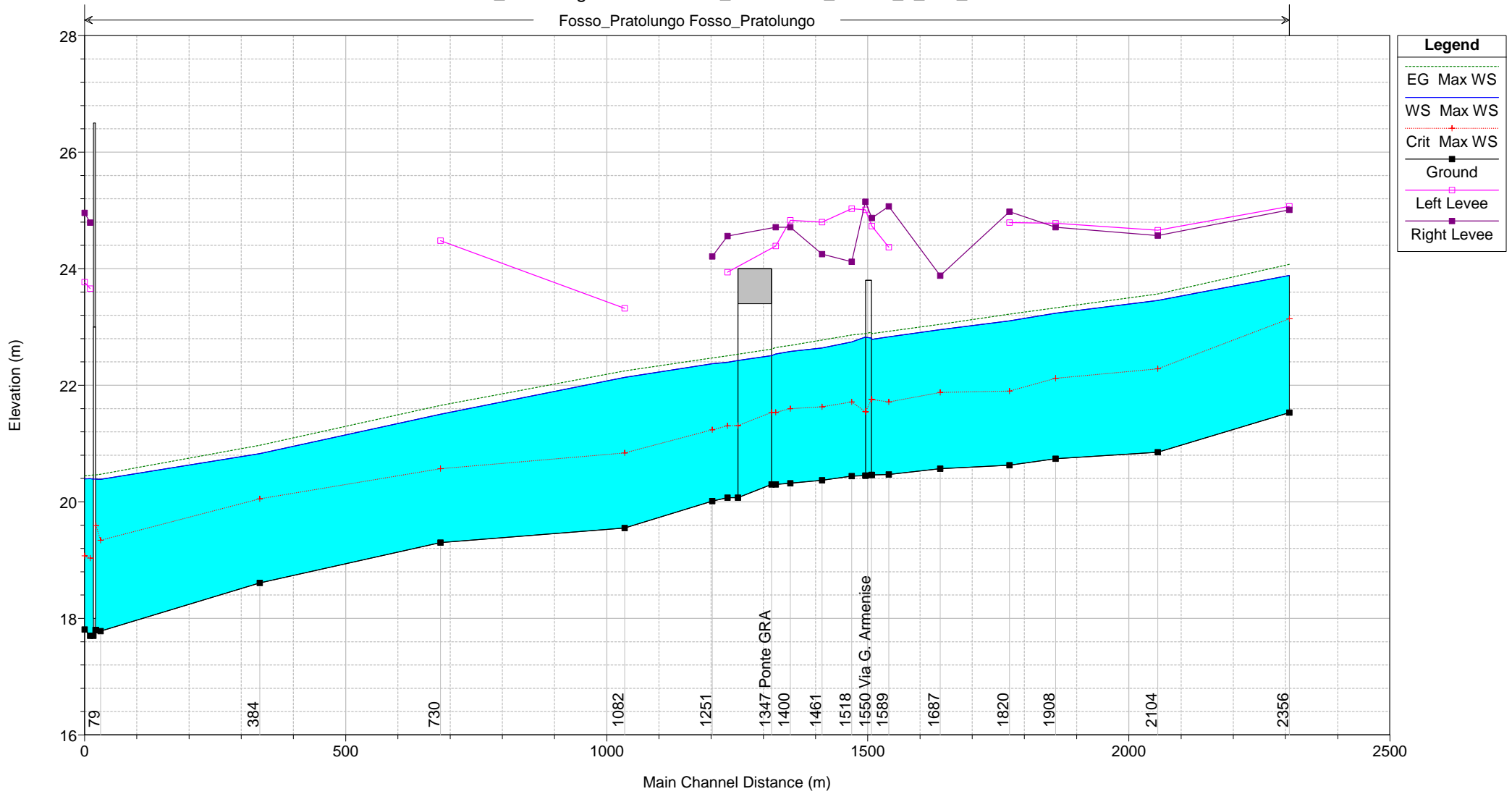
2.3.1. Fosso di Pratolungo
TR=200 anni e livello Aniene di magra
Moto vario

HEC-RAS Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollev River: Fosso_Prato Lungo Reach: Fosso_Prato Lungo Profile: Max WS

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	Max Chl Dpth (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	Diff	Froude # Chl	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Vel Total (m/s)	Hydr Radius C (m)	Shear Chan (N/m2)	Hydr Depth (m)
Fosso_Prato Lungo	2356	Max WS	29.49	21.53	2.36	23.89	23.14	0.75	0.49	24.07	1.92	1.92	1.36	35	1.57
Fosso_Prato Lungo	2104	Max WS	29.47	20.85	2.61	23.46	22.28	1.18	0.35	23.57	1.47	1.47	1.57	20	1.83
Fosso_Prato Lungo	1908	Max WS	29.45	20.74	2.50	23.24	22.12	1.12	0.34	23.33	1.33	1.33	1.47	17	1.62
Fosso_Prato Lungo	1820	Max WS	29.45	20.63	2.48	23.11	21.90	1.21	0.34	23.22	1.49	1.49	1.59	20	1.98
Fosso_Prato Lungo	1687	Max WS	29.44	20.57	2.38	22.95	21.88	1.07	0.35	23.05	1.35	1.35	1.37	17	1.50
Fosso_Prato Lungo	1589	Max WS	29.43	20.47	2.36	22.83	21.72	1.11	0.33	22.93	1.38	1.38	1.58	18	1.83
Fosso_Prato Lungo	1556	Max WS	29.42	20.46	2.33	22.79	21.76	1.03	0.35	22.89	1.42	1.42	1.52	19	1.70
Fosso_Prato Lungo	1550		Bridge												
Fosso_Prato Lungo	1544	Max WS	29.43	20.45	2.38	22.83	21.55	1.28	0.26	22.89	1.08	1.08	1.59	11	1.71
Fosso_Prato Lungo	1518	Max WS	29.42	20.44	2.31	22.75	21.72	1.03	0.35	22.86	1.52	1.52	1.56	21	1.88
Fosso_Prato Lungo	1461	Max WS	29.41	20.37	2.27	22.64	21.63	1.01	0.38	22.78	1.64	1.64	1.51	25	1.86
Fosso_Prato Lungo	1400	Max WS	29.41	20.32	2.26	22.58	21.60	0.98	0.36	22.68	1.44	1.44	1.50	19	1.67
Fosso_Prato Lungo	1372	Max WS	29.40	20.30	2.24	22.54	21.54	1.00	0.36	22.65	1.46	1.46	1.50	20	1.70
Fosso_Prato Lungo	1347		Bridge												
Fosso_Prato Lungo	1280	Max WS	29.38	20.07	2.33	22.40	21.31	1.09	0.35	22.51	1.47	1.47	1.53	20	1.79
Fosso_Prato Lungo	1251	Max WS	29.38	20.01	2.36	22.37	21.24	1.13	0.33	22.47	1.39	1.39	1.53	18	1.78
Fosso_Prato Lungo	1082	Max WS	29.37	19.55	2.59	22.14	20.84	1.30	0.35	22.25	1.47	1.47	1.45	20	1.80
Fosso_Prato Lungo	730	Max WS	29.36	19.30	2.20	21.50	20.57	0.93	0.41	21.65	1.71	1.71	1.44	28	1.75
Fosso_Prato Lungo	384	Max WS	29.36	18.61	2.22	20.83	20.05	0.78	0.44	20.97	1.67	1.67	1.36	27	1.49
Fosso_Prato Lungo	79	Max WS	29.36	17.78	2.61	20.39	19.34	1.05	0.34	20.47	1.31	1.31	1.38	16	1.49
Fosso_Prato Lungo	70	Max WS	29.36	17.80	2.59	20.39	19.59	0.80	0.36	20.46	1.19	1.19	1.04	15	1.11
Fosso_Prato Lungo	60		Inl Struct												
Fosso_Prato Lungo	59	Max WS	29.36	17.70	2.70	20.40	19.04	1.36	0.25	20.45	1.03	1.03	1.60	10	1.73
Fosso_Prato Lungo	48	Max WS	29.36	17.81	2.58	20.39	19.07	1.32	0.25	20.45	1.01	1.01	1.58	9	1.69

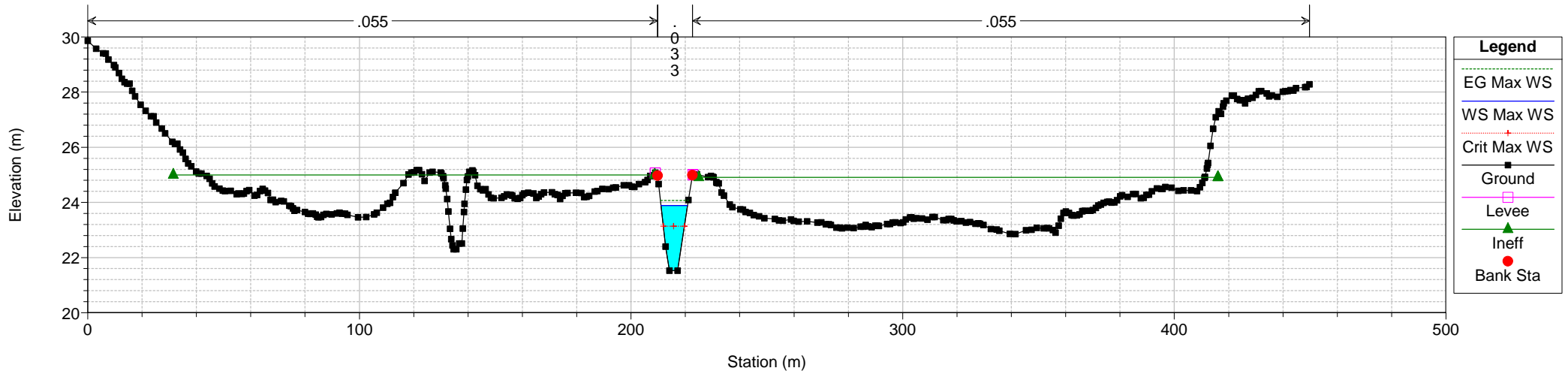
Fosso_Pratalungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam

Fosso_Pratalungo Fosso_Pratalungo

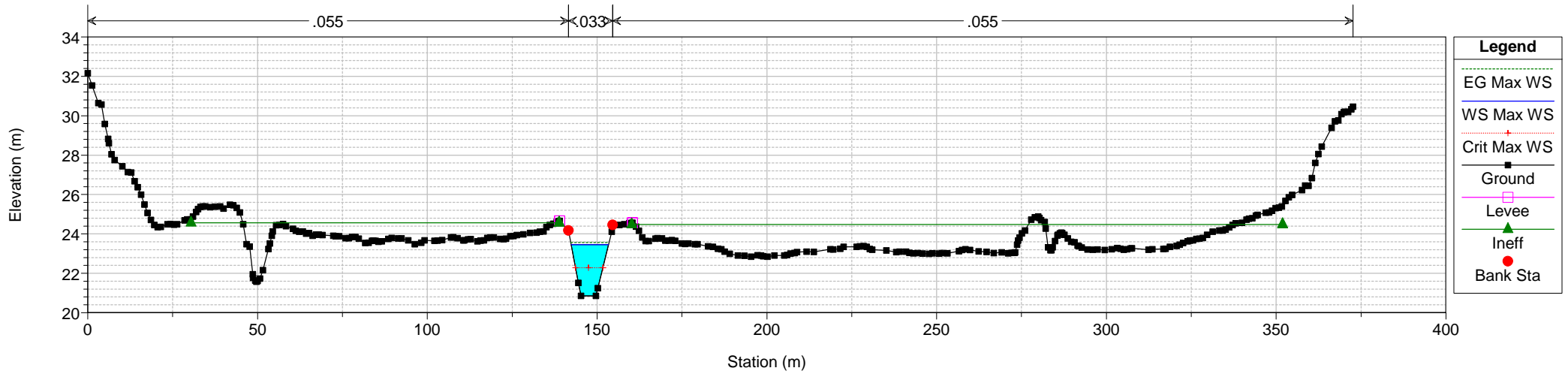


- Legend**
- EG Max WS
 - WS Max WS
 - Crit Max WS
 - Ground
 - Left Levee
 - Right Levee

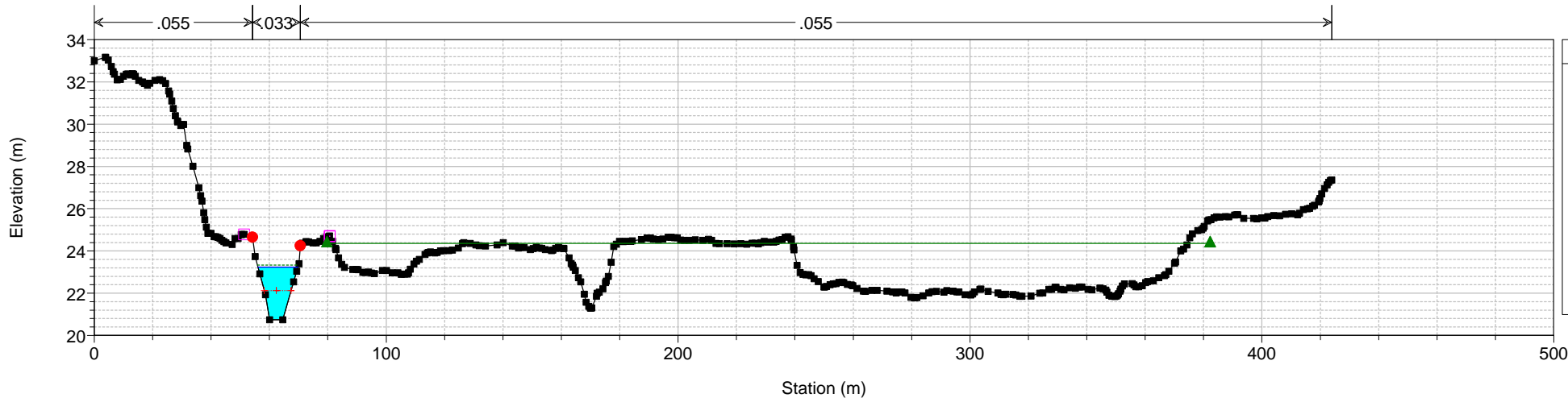
Fosso_PratoLungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 2356



Fosso_PratoLungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 2104

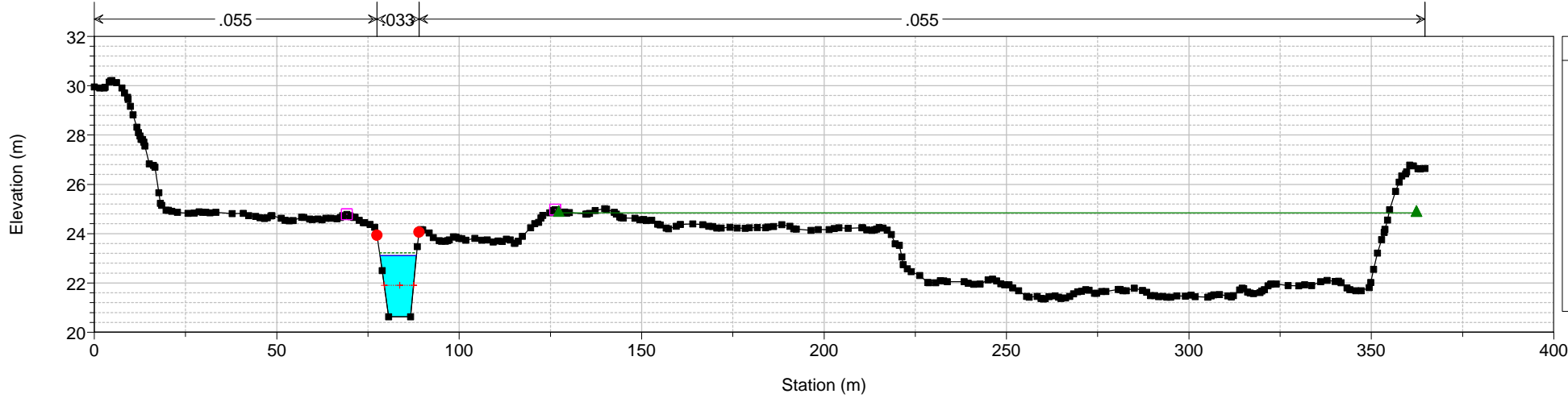


Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1908



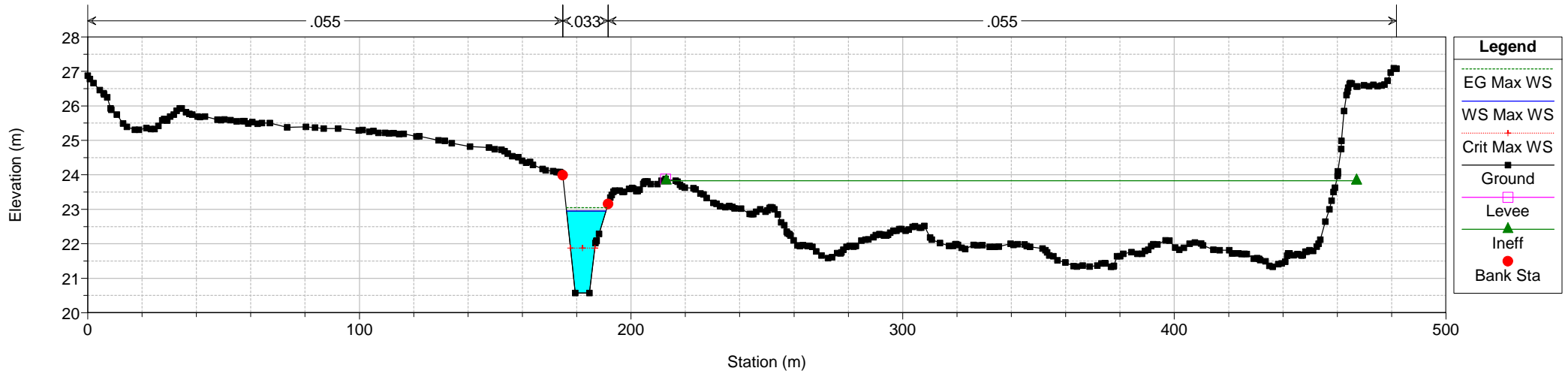
Legend	
EG Max WS	(Dotted green line)
WS Max WS	(Solid blue line)
Crit Max WS	(Dotted red line)
Ground	(Thick black dashed line)
Levee	(Pink square)
Ineff	(Green triangle)
Bank Sta	(Red circle)

Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1820

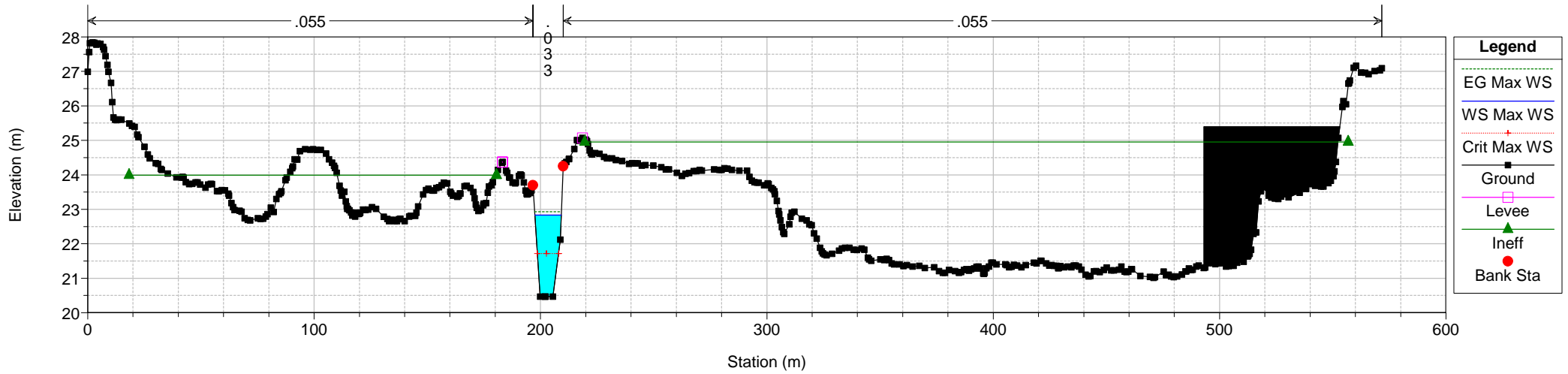


Legend	
EG Max WS	(Dotted green line)
WS Max WS	(Solid blue line)
Crit Max WS	(Dotted red line)
Ground	(Thick black dashed line)
Levee	(Pink square)
Ineff	(Green triangle)
Bank Sta	(Red circle)

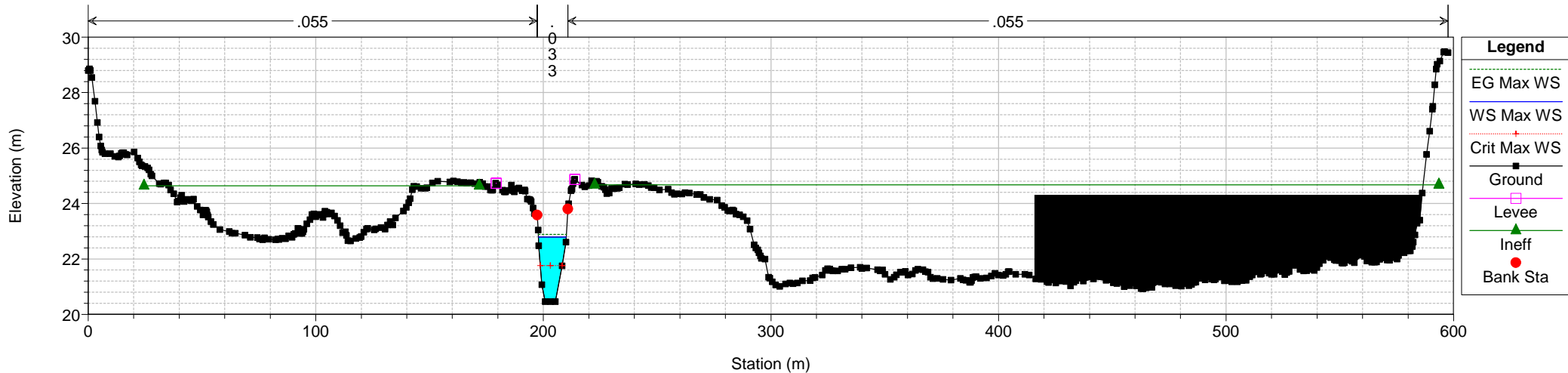
Fosso_Pratalungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1687



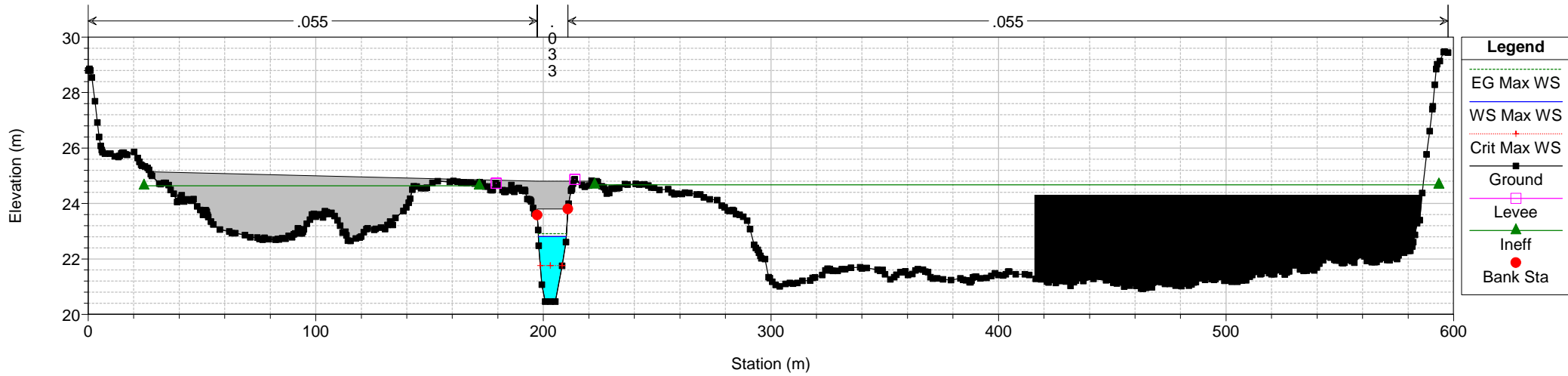
Fosso_Pratalungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1589



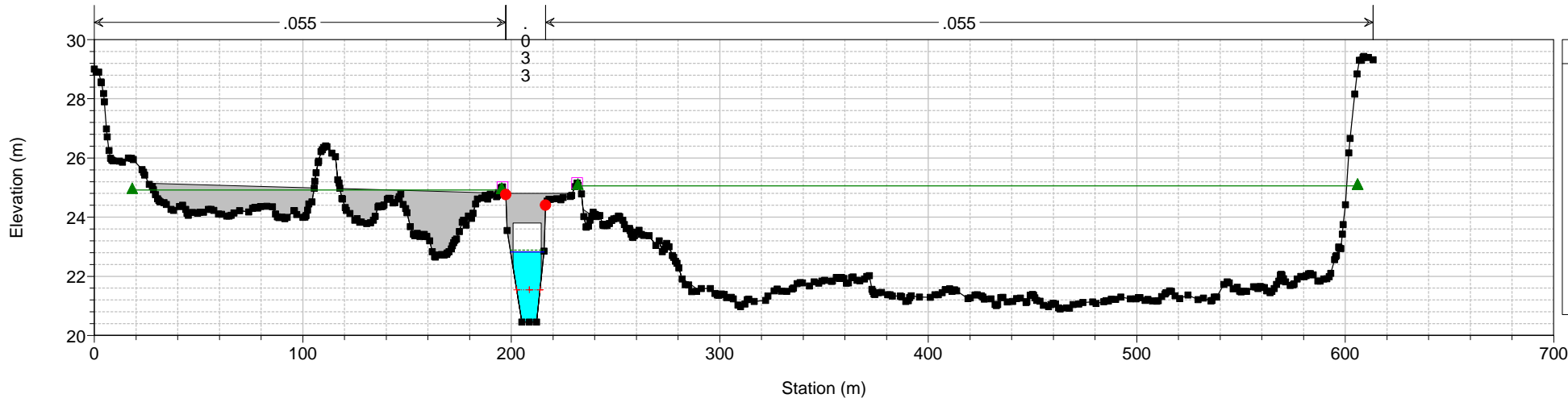
Fosso_Pratolungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1556



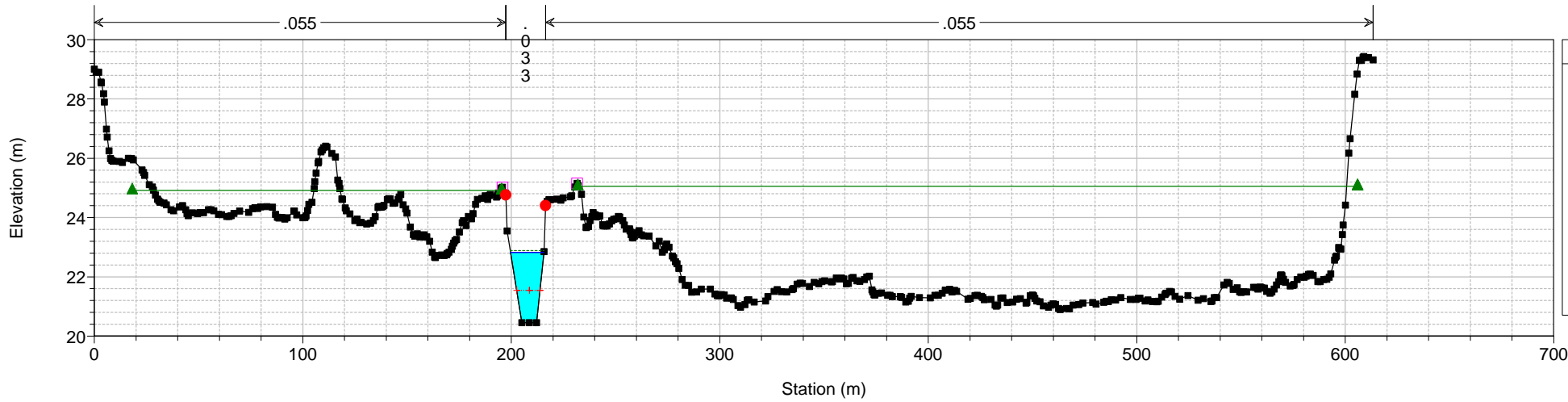
Fosso_Pratolungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1550 BR Via G. Armenise



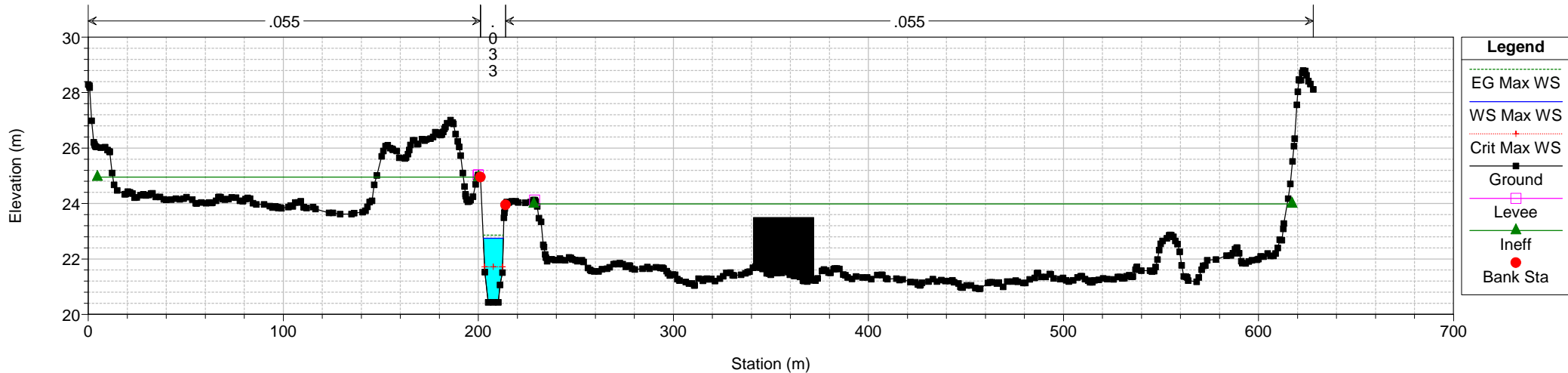
Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1550 BR Via G. Armenise



Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1544

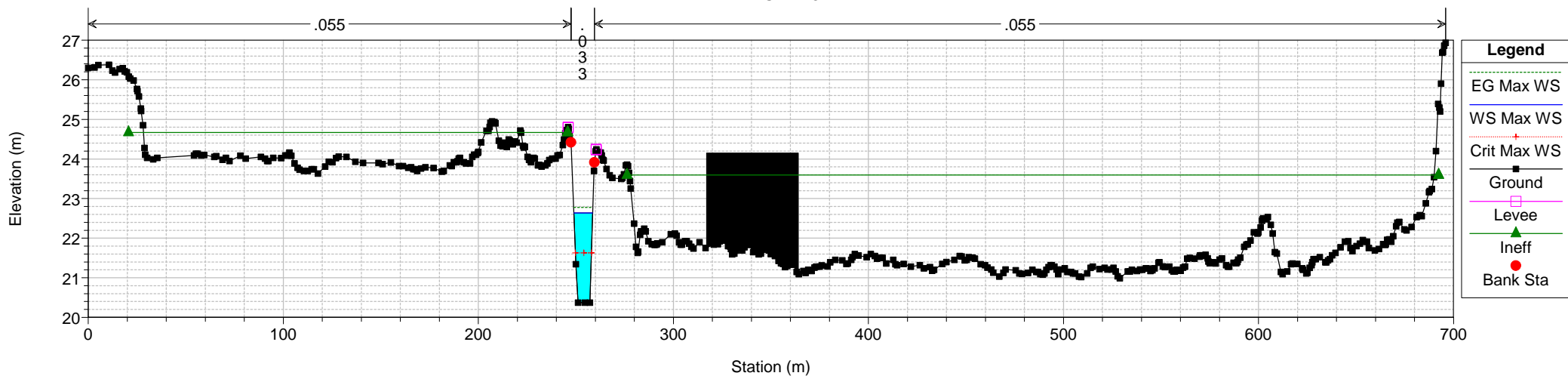


Fosso_PratoLungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1518



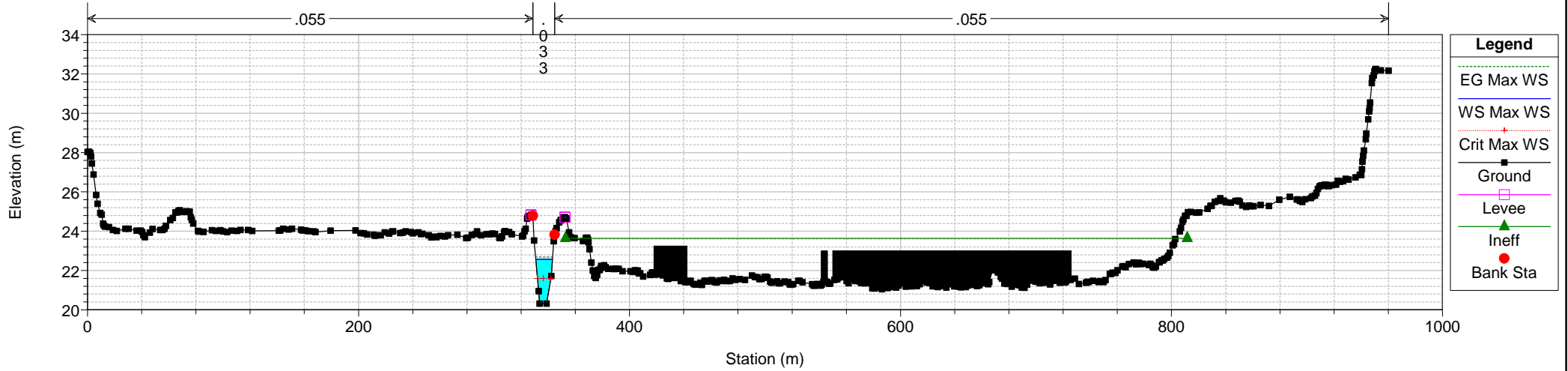
- Legend**
- EG Max WS
 - WS Max WS
 - Crit Max WS
 - Ground
 - Levee
 - Ineff
 - Bank Sta

Fosso_PratoLungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1461

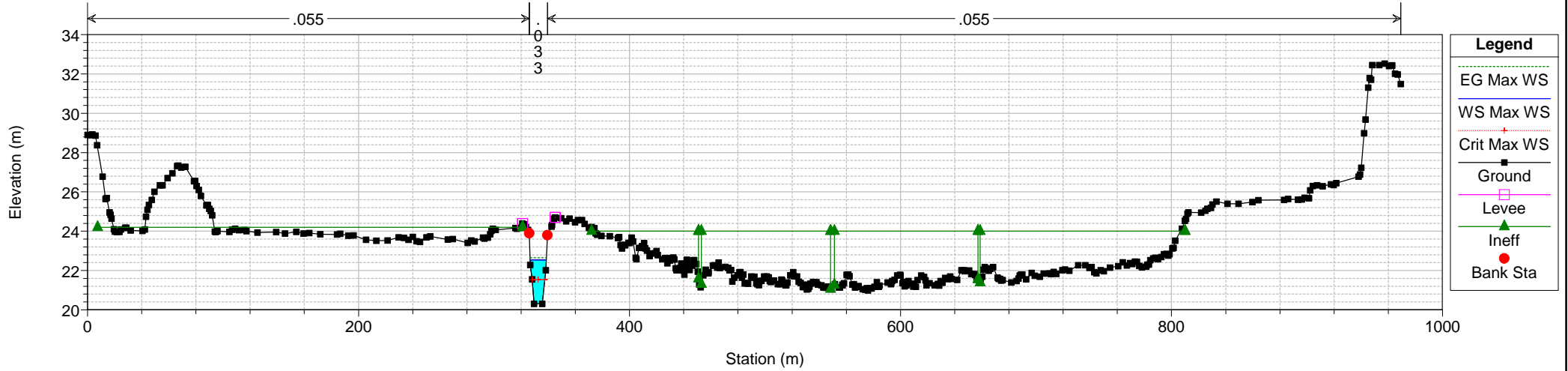


- Legend**
- EG Max WS
 - WS Max WS
 - Crit Max WS
 - Ground
 - Levee
 - Ineff
 - Bank Sta

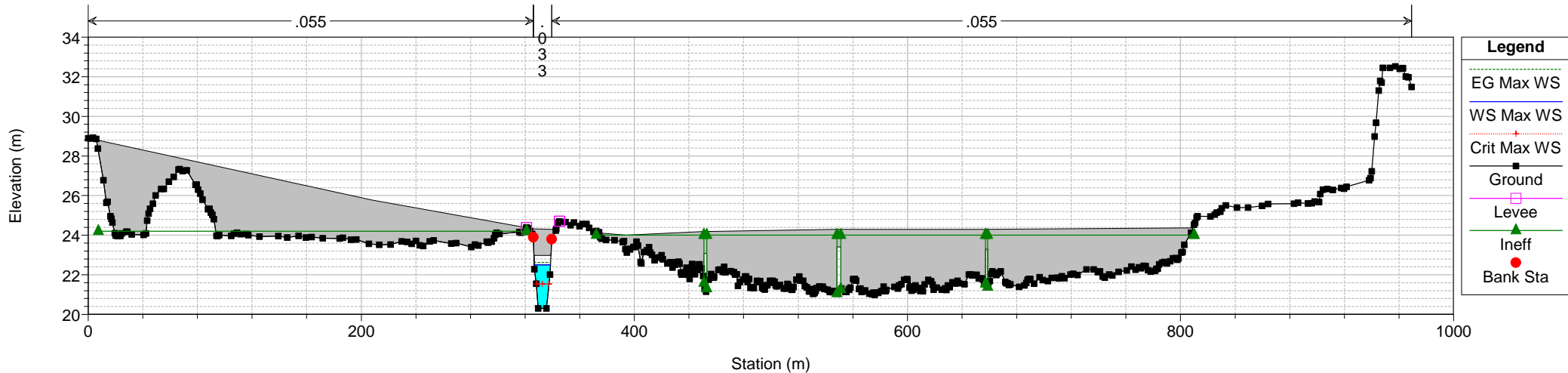
Fosso_Pratolungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1400



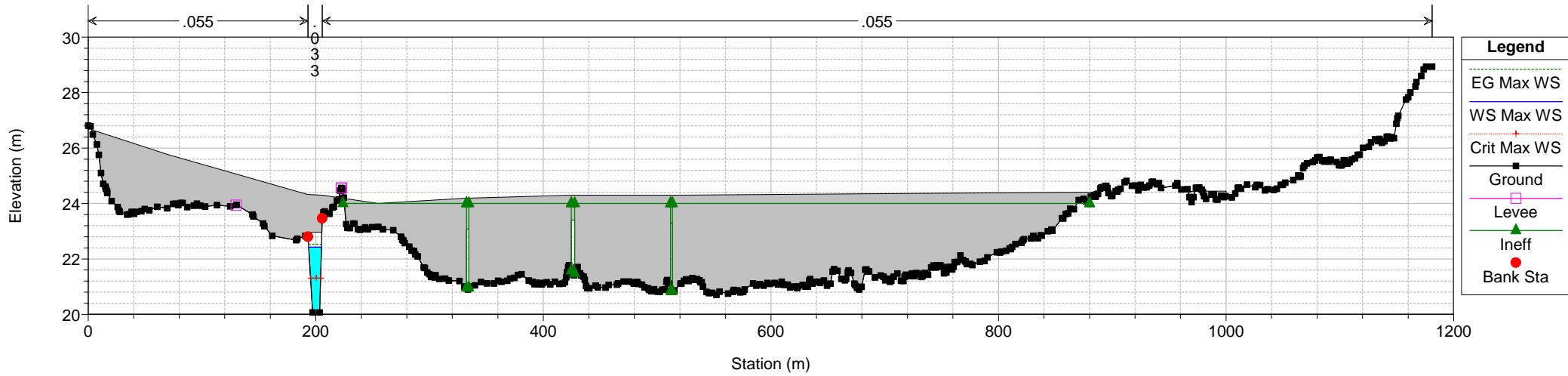
Fosso_Pratolungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1372



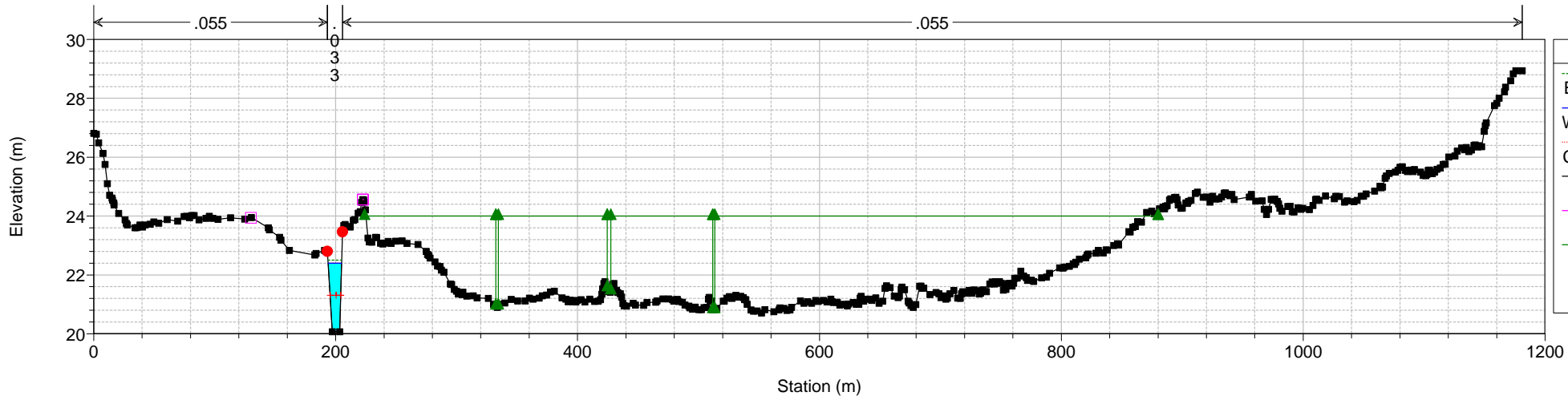
Fosso_Pratolungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1347 BR Ponte GRA



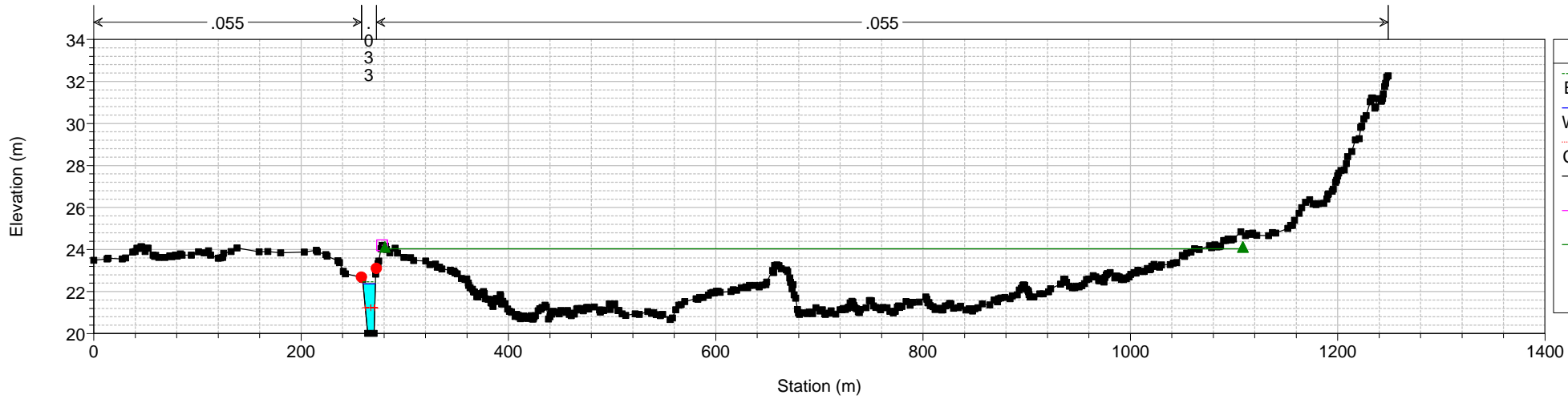
Fosso_Pratolungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
 RS = 1347 BR Ponte GRA



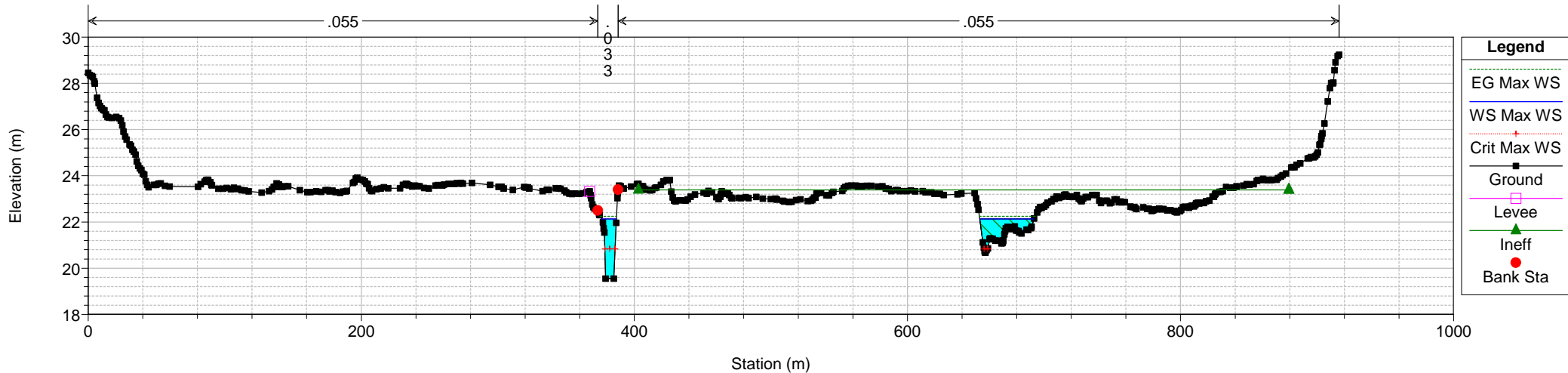
Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1280



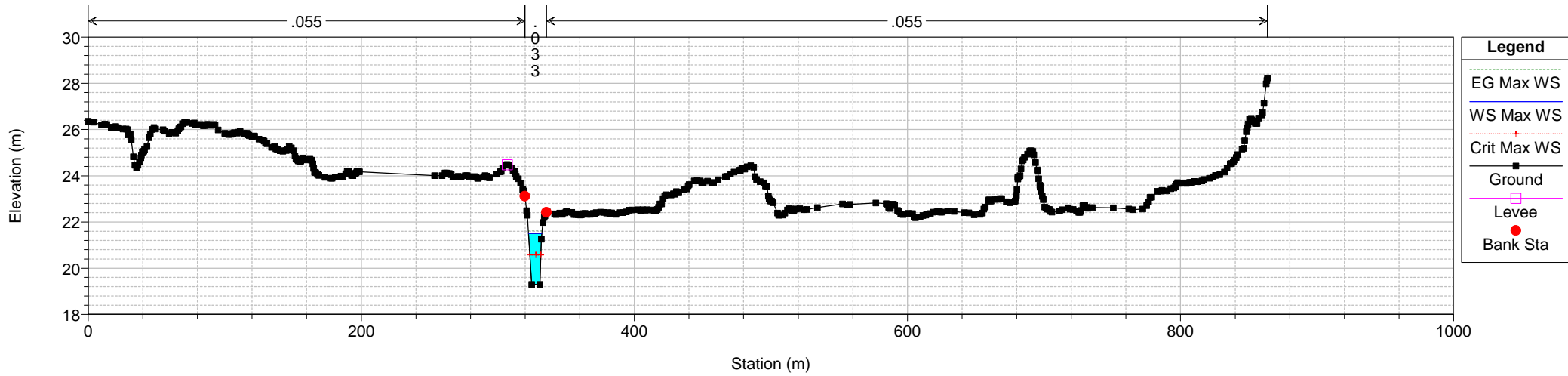
Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1251



Fosso_PratoLungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 1082

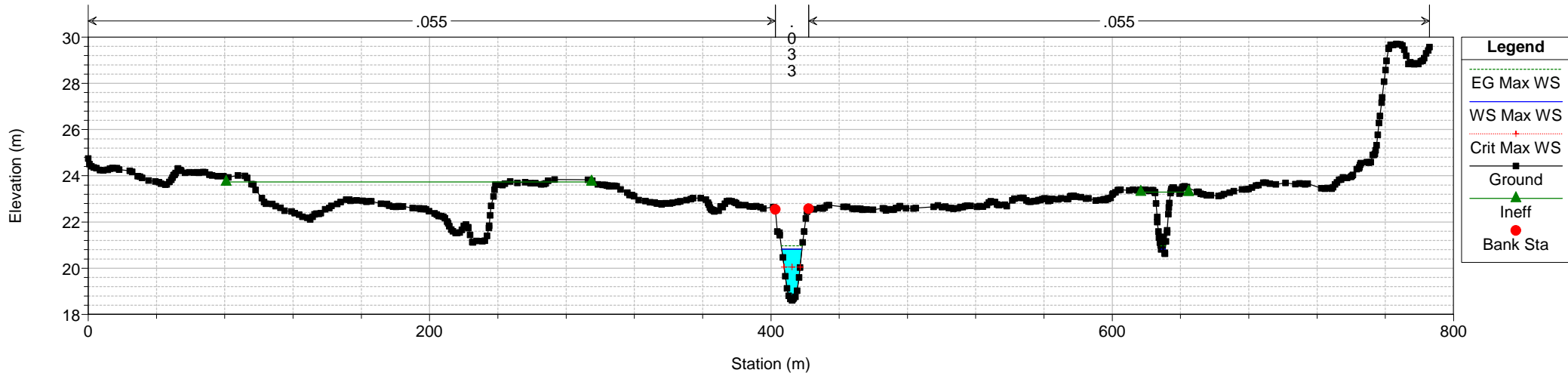


Fosso_PratoLungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 730



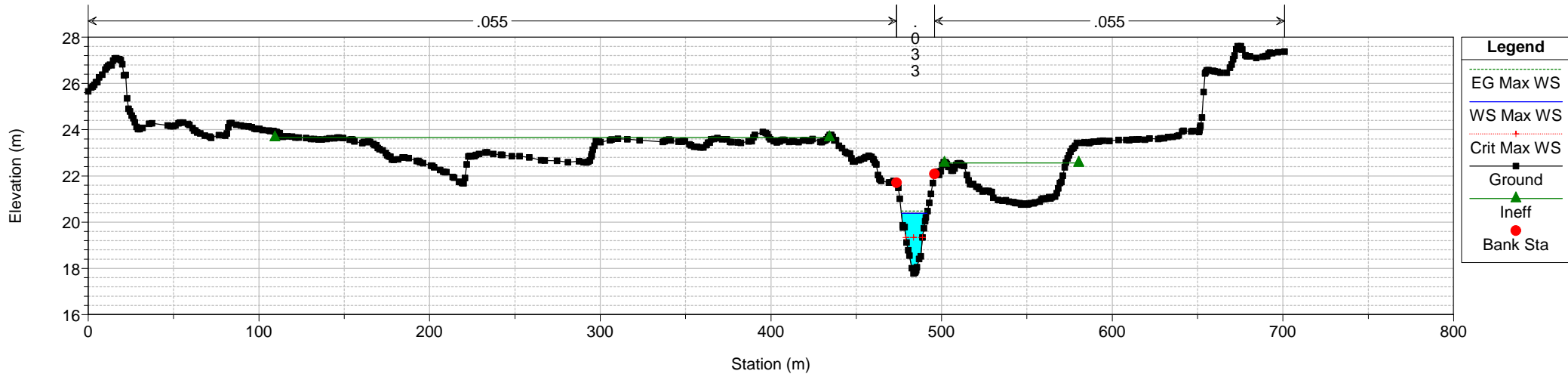
Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam

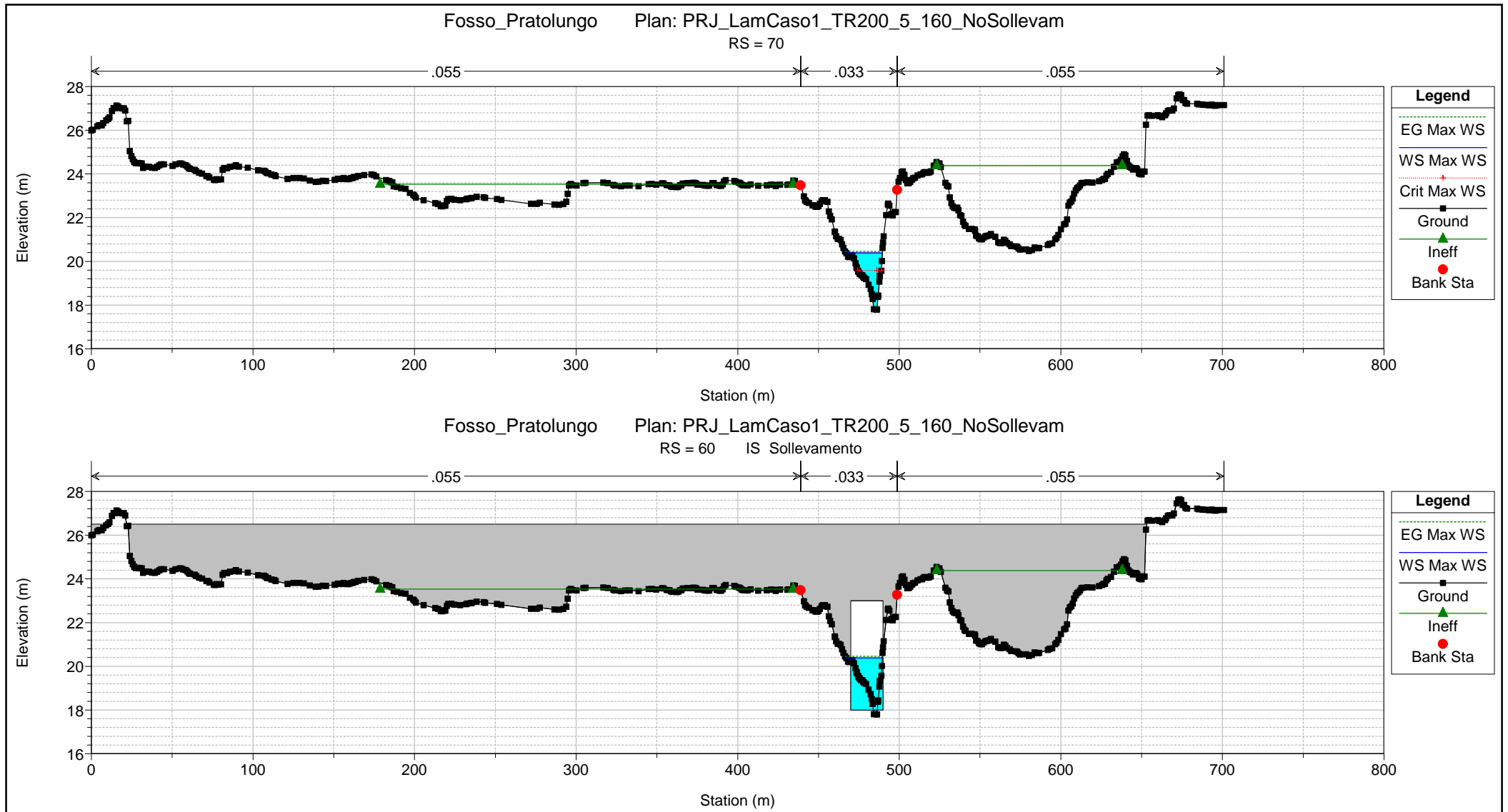
RS = 384



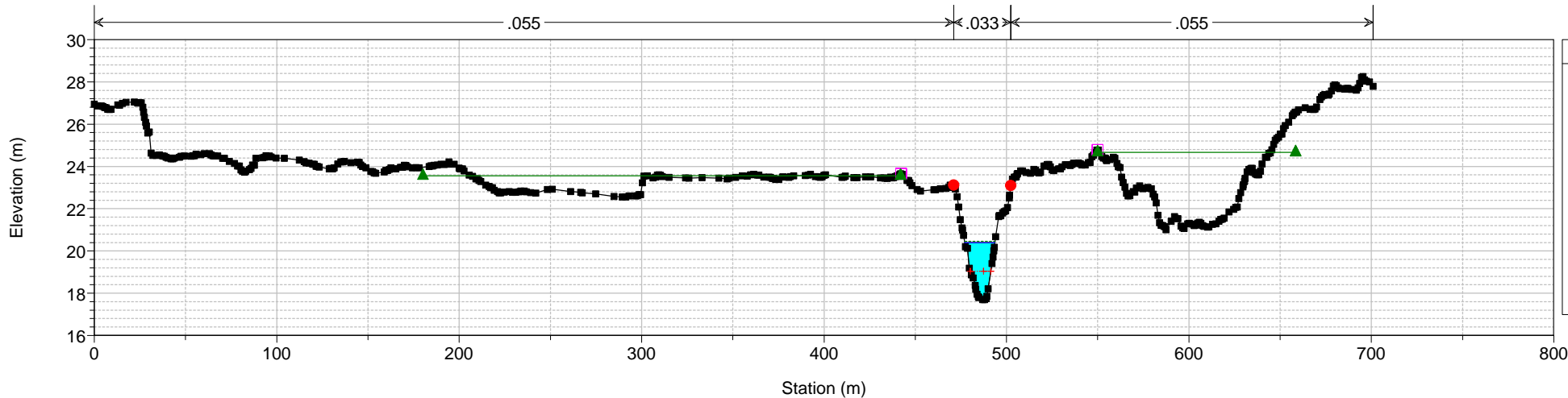
Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam

RS = 79





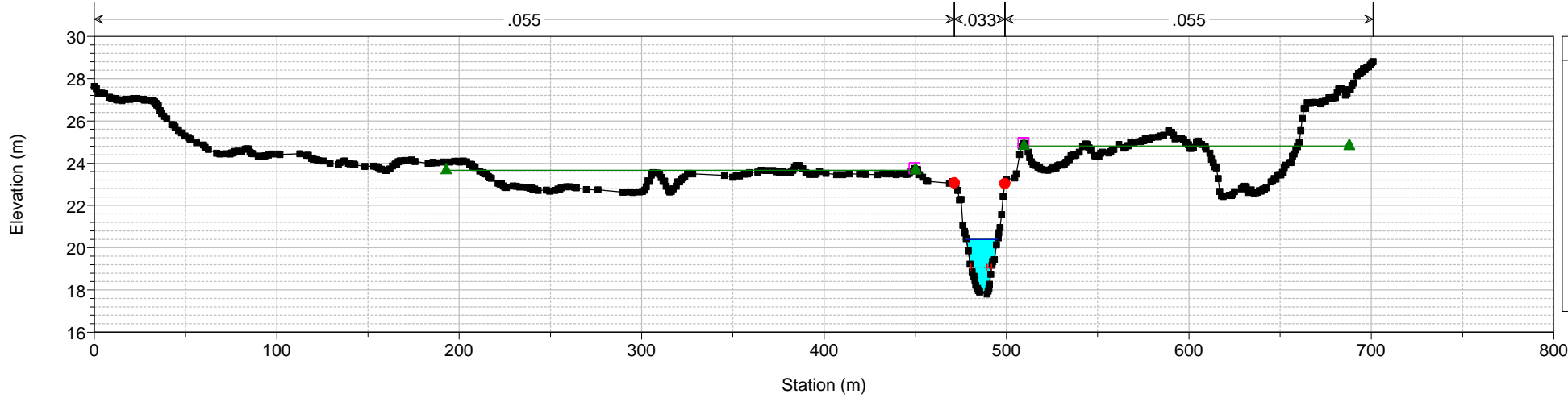
Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 59



Legend

- EG Max WS
- WS Max WS
- Crit Max WS
- Ground
- Levee
- Ineff
- Bank Sta

Fosso_Prato Lungo Plan: PRJ_LamCaso1_TR200_5_160_NoSollevam
RS = 48



Legend

- EG Max WS
- WS Max WS
- Crit Max WS
- Ground
- Levee
- Ineff
- Bank Sta