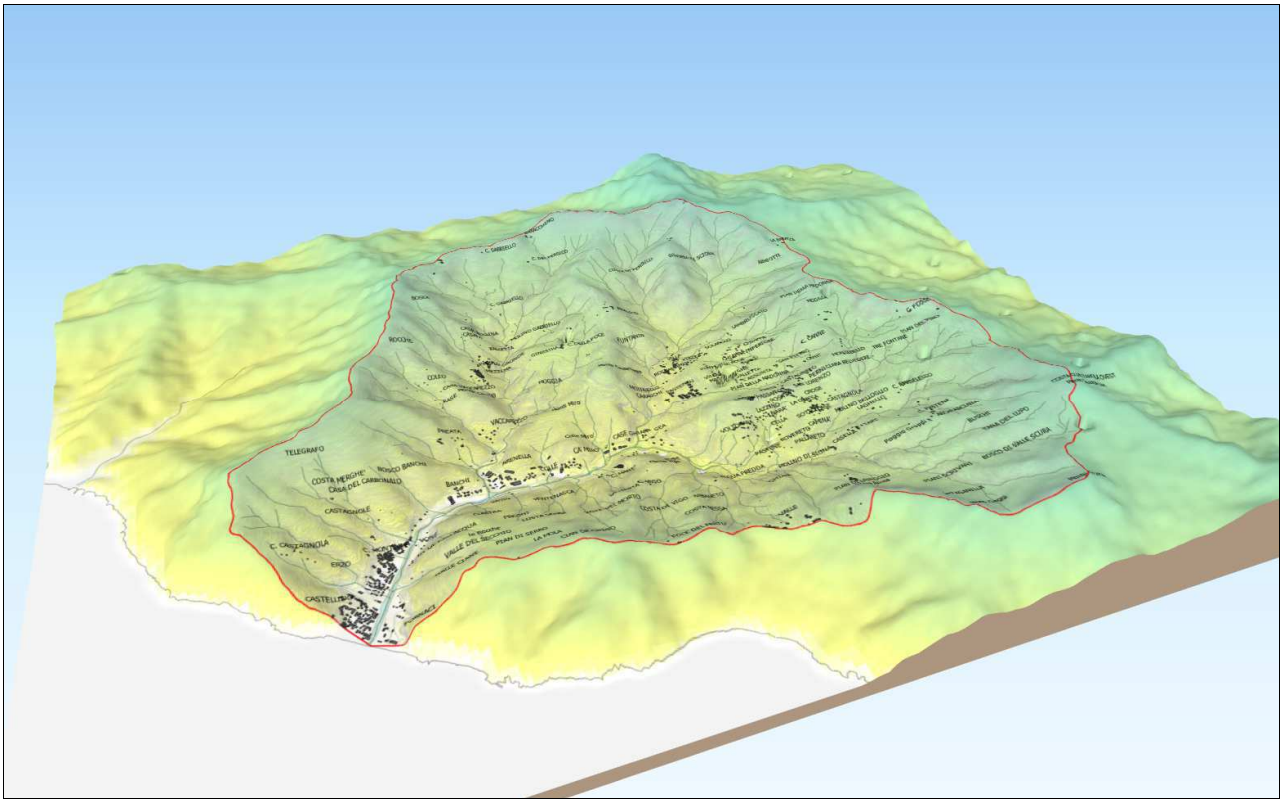
VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA RELATIVA ALL'AMBITO URBANO DEL TORRENTE CASTAGNOLA, A SUPPORTO DEGLI INTERVENTI DI SISTEMAZIONE PREVISTI

Comune di FRAMURA – Provincia della Spezia.



Sestri Levante, 30/07/2020

Dott. Geol. Giovanni DEBELLIS

Geologia tecnica e geomorfologia
Tel./fax: (+39) 0185 43496 Iscr. Albo Geologi prov. Genova n. 592
Cell.: (+39) 338 6079760 e-mail: gvdebellis@gmail.com
c.f.: DBL GNN 82B25C621C p.iva: 01870030994

INDICE:

1) PREMESSA 3

2) INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DEL SITO DI INTERVENTO 4

3) ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEL BACINO SCOLANTE 6

1.1 Introduzione
1.2 Il Modello Digitale del Terreno

4) ANALISI IDRAULICA 8

2.1 Teoria del modello idraulico
2.2 Implementazione del modello idraulico relativo al caso esaminato nel presente studio

5) EFFETTI AL SUOLO DELLA SIMULAZIONE CONDOTTA – STATO ATTUALE 17

6) EFFETTI AL SUOLO DELLA SIMULAZIONE CONDOTTA – STATO DI PROGETTO 20

6) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 22

ALLEGATO 1 – SEZIONI IDRAULICHE DI STATO ATTUALE

ALLEGATO 2 – PROFILO IDRAULICO DI STATO ATTUALE

ALLEGATO 3 – SEZIONI IDRAULICHE DI INTERVENTO

ALLEGATO 4 – PROFILO IDRAULICO DI INTERVENTO

ALLEGATO 5 - TABELLA DEI PARAMETRI IDRODINAMICI_STATO ATTUALE

ALLEGATO 6 - TABELLA DEI PARAMETRI IDRODINAMICI_INTERVENTO

1) PREMESSA

Il presente studio ha lo scopo di verificare le condizioni idrauliche di deflusso relative allo stato attuale e nella configurazione di progetto di fattibilità tecnico-economica del tratto terminale del Torrente Castagnola rispetto ad eventi di piena caratterizzati da Tr = 50 anni e Tr = 200 anni.
Il tratto in esame è stato oggetto di rilievo topografico di dettaglio svolto successivamente agli interventi di pulizia e riprofilatura, mediante rimozione dei volumi di sovralluvionamento, svolti nell'autunno 2019.
Quanto di seguito rappresentato, costituisce elaborato di riferimento per le successive fasi di progettazione necessarie alla mitigazione idraulica del territorio presso cui il tratto di reticolo in oggetto insiste, permettendo di contenere, con adeguato franco idraulico, eventi di piena aventi Tr = 200 anni. Questa condizione permetterà, inoltre, la ridefinizione delle Fasce di Inondabilità ad oggi insistenti presso la sponda sinistra orografica (Fascia B).

L'elaborato si compone delle seguenti fasi:

Fase Preliminare

- Descrizione sintetica delle caratteristiche dell'ambito in oggetto
- Prescrizioni della Regione Liguria - Direzione Pianificazione generale e di bacino;
- Caratteristiche del bacino idrografico;
- Verifica di congruenza dei dati topografici disponibili

Analisi Idrologica

- Valutazione idrologica stimata dalla Pianificazione di Bacino-Ambito 18, Torrente Ghiararo;

Analisi Idraulica

- Implementazione del modello idraulico;
- modellazione idraulica e valutazione delle grandezze idrodinamiche della piena di riferimento nello stato di fatto e nelle condizioni di progetto;
- descrizione delle criticità individuate;
- valutazione degli effetti a seguito interventi di progetto proposti.

2) INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO DEL SITO DI INTERVENTO

Il comprensorio oggetto di studio costituisce il tratto terminale del Torrente Castagnola, in particolare gli ultimi 690 metri circa dell'asta idrografica, le cui sponde interessano i comuni di Framura (sinistra orografica) e Deiva Marina (destra orografica).

Il baricentro dell'area, riferito in Gauss – Boaga, è individuabile alle seguenti coordinate:

- Longitudine: 1541521,378 E
- Latitudine: 4896064.806 N

L'intero bacino è individuabile all'interno del Foglio 232150 della Carta Tecnica Regionale.

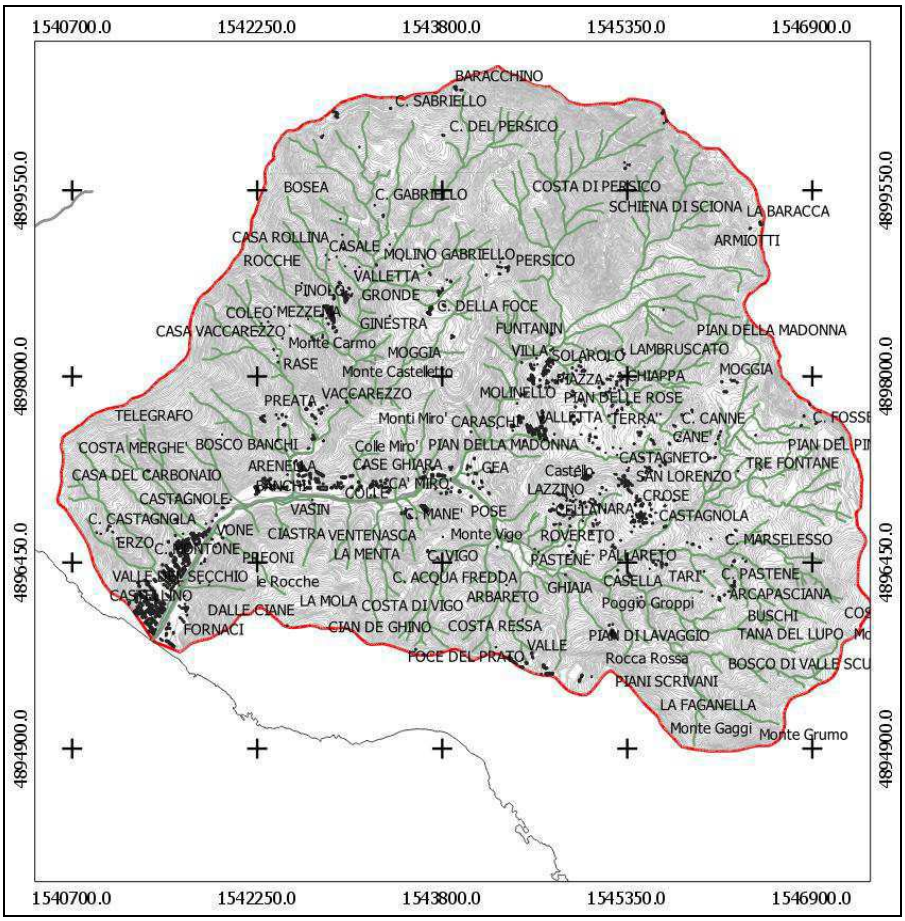
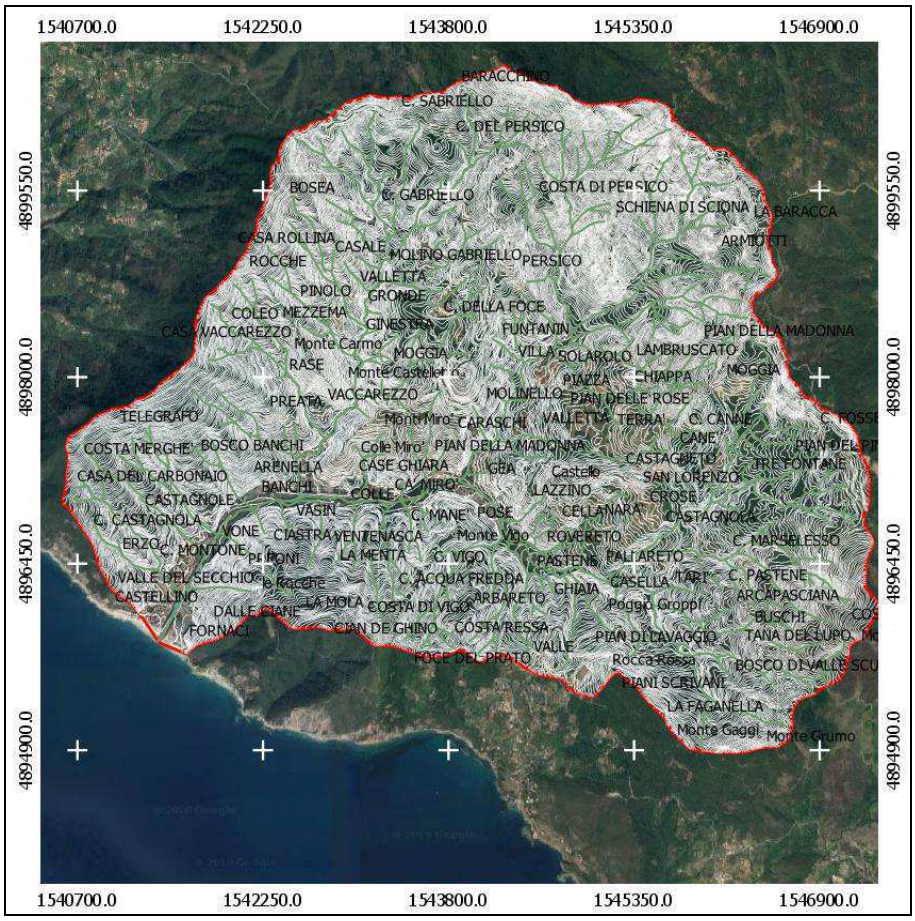


Figura 1: inquadramento cartografico tagliato sul bacino idrografico del Torrente Castagnola – Carta Tecnica Regionale - scala 1:70.000. Sistema di riferimento Gauss - Boaga.



<u>Figura 2</u>: il bacino idrografico del Torrente Castagnola su ortofoto – Fonte I.G.M. Scala 1:70.000; sistema di riferimento Gauss - Boaga.

Il presente studio fa parte della documentazione progettuale di sistemazione dell'ambito cittadino del Torrente Castagnola, volta, in particolare alla mitigazione idraulica del comparto sotto l'aspetto delle potenziali criticità idrauliche che possano coinvolgere l'ambito della Loc. Fornaci, presso la sponda sinistra orografica del Torrente Castagnola, nel territorio comunale di Framura.

Le analisi condotte, riferite alle massime portate stimate per eventi di piena cinquantennale, duecentennale e cinquecentennale, permetteranno la definizione delle tipologie di interventi necessari alla messa in sicurezza idraulica del tratto terminale e focivo del reticolo in oggetto, nonché la verifica delle rispondenze della pianificazione di bacino per questo ambito e la possibilità di proporre istanza di riperimetrazione.

3) ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEL BACINO SCOLANTE

3.1 Introduzione

L'approccio utilizzato per ricostruire le problematiche idrauliche oggetto del presente studio parte da un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi. Gli effetti al suolo che tali eventi provocano, dipendono fortemente dallo stato dei luoghi, ovvero dai caratteri geomorfologia degli stessi e soprattutto dalla loro destinazione d'uso.
Al fine di giungere a determinazioni che abbiano un riscontro in linea con la realtà dei luoghi è evidentemente necessario ricostruire, nella maniera quanto più dettagliata possibile, la conformazione degli scenari stessi partendo da un esame a scala di macrobacino, per poi aumentare sempre più il dettaglio dell'indagine.

3.2 Il Modello Digitale del Terreno

La ricostruzione del contesto in analisi ha previsto il calcolo di un modello digitale del terreno sufficientemente dettagliato, basato sui seguenti dati cartografici disponibili:

- Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5000;
- Rilievo di dettaglio dell'area di interesse realizzato per il presente studio;
- Ortofoto
- Modello digitale di dettaglio – Progetto LiDAR Regione Liguria
- Cartografia IGM in scala 1:25000.

La ricostruzione morfometrica dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente agevolata dalla creazione del modello digitale del terreno. Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più simile alle situazioni reali saranno le situazioni determinate dall'analisi morfologica.
Il livello di dettaglio del modello digitale del terreno è strettamente legato al tipo di "dato grezzo" di partenza, ovvero, maggiore è il livello di dettaglio della cartografia disponibile, migliore sarà la qualità del modello digitale del terreno da essa derivato.
Il Modello Digitale del Terreno (DEM) è una rappresentazione tridimensionale georeferenziata della regione oggetto di studio.
I DEM possono essere di tipo Grid o di tipo TIN (Triangulated Irregular Network). I DEM sotto forma di Grid, grazie alla distribuzione uniforme di informazioni e alla possibilità che essi danno di trattare i dati direttamente in forma matriciale, sono preferibili rispetto ai TIN.

In tutti i modi, al fine di generare una procedura standard di acquisizione dei dati e della loro elaborazione, si rende necessario un controllo preliminare sulla qualità delle informazioni di partenza per la loro utilizzazione successiva.

Per un'analisi geomorfologica del territorio, i dati di base relativi alle altimetrie possono essere elaborati per la generazione di un modello tridimensionale del territorio, tale da consentire analisi sulla morfologia della superficie.

In molti software commerciali come ArcINFO, sono disponibili varie procedure per la generazione del modello tridimensionale del terreno, che costituirà la base per successive elaborazioni ed analisi che prendano in considerazione non solo la localizzazione topografica dei punti, ma anche la loro elevazione altimetrica: viene così generato un modello digitale del terreno che contiene una nuova informazione relativa alla quota.

La realizzazione del TIN parte dall'analisi dei punti quotati, delle curve di livello in possesso e soprattutto dei dati da rilievo LiDAR di ambito.

Grazie all'ausilio di specifici software, è possibile elaborare i dati in modo da ottenere una superficie data da un interpolazione di tipo lineare delle quote dei punti e delle curve di livello. Risulta ovvio come l'elaborazione effettuata su un numero di dati più fitti riduce sensibilmente l'approssimazione dovuta al tipo di interpolazione.

Ottenuto il TIN, utilizzando algoritmi di conversione, si è passati al formato di rappresentazione matriciale o Grid.

La modalità Grid permette di analizzare la superficie topografica in modo radicalmente più complesso rispetto alla modalità TIN. Come per ogni modulo di ArcInfo, viene utilizzata una modalità georelazionale per l'elaborazione dei dati geografici. La peculiarità sta nel fatto che nei Grid l'elaborazione dei dati è basata sulla combinazione di un modello spaziale basato sulla suddivisione del territorio in porzioni quadrate di dimensioni che possono essere scelte in base alle necessita di dettaglio richieste, dette celle, e un modello correlato di attributi associati.

Le celle sono posizionate nello spazio in base all'andamento della superficie topografica, e contengono un valore che descrive le caratteristiche del territorio secondo tematismi scelti in base alle necessita di analisi. Tali valori costituiscono un vero e proprio database associato alle singole celle, permettendo di analizzare la variazione dei parametri in modo continuo lungo la superficie topografica.

I valori degli attributi delle celle di un grid possono essere quindi elaborati in modo matematico o

statistico, o ancora raggruppati in classi di valori discreti, garantendo comunque in ogni elaborazione la corretta georeferenziazione dei valori.

4) ANALISI IDRAULICA

Lo studio che verrà di seguito illustrato presenterà i risultati di un modello di deflusso e propagazione dell'onda di piena corrispondente al valore di portata di picco relativa ad eventi di piena con Tr = 50 anni, Tr = 200 anni e Tr = 500 anni. Secondo quanto previsto per legge, i riferimenti per la sicurezza idraulica del comparto in oggetto sono rappresentati dai livelli di piena duecentennale.

I valori di portata assunti per questa verifica sono stati desunti dalla Relazione Generale del Piano di Bacino – Ambito 18, Torrente Ghiararo.

Nel testo della Relazione di Piano si riporta quanto segue:

	Q (Tr = 50 anni)	**Q (Tr = 200 anni)**	**Q (Tr = 500 anni)**
Torrente Castagnola (valle)	284 m^3/sec	428 m^3/sec	587 m^3/sec

Secondo le parametrizzazioni di riferimento di Piano di Bacino, viste le caratteristiche attuali dell'asta fluviale in studio, è stato assunto nel modello di calcolo un valore di scabrezza, definito da un *coefficiente di Manning, pari a*: **n = 0.033** .

Per pervenire in maniera oggettiva e completa all'analisi in oggetto è stato utilizzato un programma di calcolo e modellazione molto diffuso, HEC RAS, nella sua versione 5.0.3.

La sigla è un acronimo di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System; il software è prodotto dallo US ARMY engineering corps, ed è gratuitamente scaricabile da internet.

Di seguito si illustrano brevemente i contenuti del modello, rimandando ogni approfondimento ai documenti presenti sul sito ufficiale (www.hec.usace.army.mil).

HEC-RAS 5.0.3 è un programma realizzato per simulare la propagazione delle piene attraverso uno schema di calcolo *sia monodimensionale, sia bidimensionale*; il software può lavorare in moto permanente o vario, e, oltre ad analizzare una singola asta fluviale (come nel caso in studio), è possibile studiare reticoli più complessi. Inoltre è possibile valutare le condizioni di trasporto solido, stazioni di pompaggio e celle di accumulo (nel caso di modellazione in moto vario).

Il software dispone di un'interfaccia grafica attraverso cui inserire i dati fisici necessari (caratteristiche geometriche dell'asta), idraulici (condizioni al contorno e portate di verifica), ed applicare le differenti routine di modellazione, ovvero scegliere le metodologie di calcolo.

Nel caso in studio si è inoltre utilizzato un applicativo di interfaccia che lavora in ambiente GIS (*GEO RAS*), attraverso cui e possibile realizzare le attività di pre e post-processing delle applicazioni dell'HEC RAS, sino alla individuazione delle aree inondate e relativi tiranti idrici. Tale valutazione contempla, oltre alla predisposizione di un modello digitale del terreno, la costruzione di una *shapefile* di correlazione relativo alle caratteristiche di uso del suolo, in modo tale da ottenere una ricostruzione areale dell'andamento del coefficiente di Manning.

4.1 Teoria del modello idraulico

- ***Verifica monodimesionale***

Essendo stato stabilito di impostare il modello secondo le condizioni di moto permanente, si fa un breve cenno alle routine di calcolo utilizzate dal software.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili sia di correnti lente che veloci, ed è inoltre possibile valutare profili misti, con passaggio attraverso lo stato critico.

Il profilo idraulico è calcolato normalmente (standard step method) attraverso la soluzione iterativa dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive. Le perdite relative al termine cinetico dell'equazione sono calcolate aggiungendo alle perdite continue per attrito, "J" un coefficiente di contrazione/espansione, che viene moltiplicato per la differenza delle altezze cinetiche medie tra due sezioni successive.

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

$$he = LJ' + C\left(\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \cdot \frac{\alpha_1 V_1^1}{2g}\right)$$

dove:

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

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

C = coefficiente di contrazione o di espansione.

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

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

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q1\ \frac{V_1^2}{2g} + \ Q2\ \frac{V_2^2}{2g}}{Q1 + Q2}$$

In generale si ottiene, per Q = Q1 + Q2 + ……+ QN:

$$\alpha = \frac{Q_1\ V_1^2 + Q_2\ V_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ Q_n\ V_n^n}{Q\bar{V}^2}$$

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

$$J'f\ x\ L$$

dove *J'f* è la pendenza media della linee dell'energia tra due sezioni consecutive distanti tra loro *L* (pesate in funzione delle "portate trasversali").

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

$$Jf = (\frac{Q}{K})^2$$

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

In particolare l'espressione

$$Jf = \left(\frac{Q1+Q2}{K1+K2}\right)^2$$

è quella di default nel programma.

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

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

dove C rappresenta il coefficiente di contrazione o espansione.

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

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

1- viene assunta una altezza del pelo libero nella sezione a monte di quella ritenuta nota (o a valle, a seconda se la corrente fosse lenta o veloce);

2- su questo valore ipotetico si stimano i valori di K e dell' altezza cinetica;

3- viene calcolato il termine *Jf* e quindi è poi possibile valutare *he*;

4- con i valori ricavati si calcola l'altezza del pelo libero nella sezione di monte;

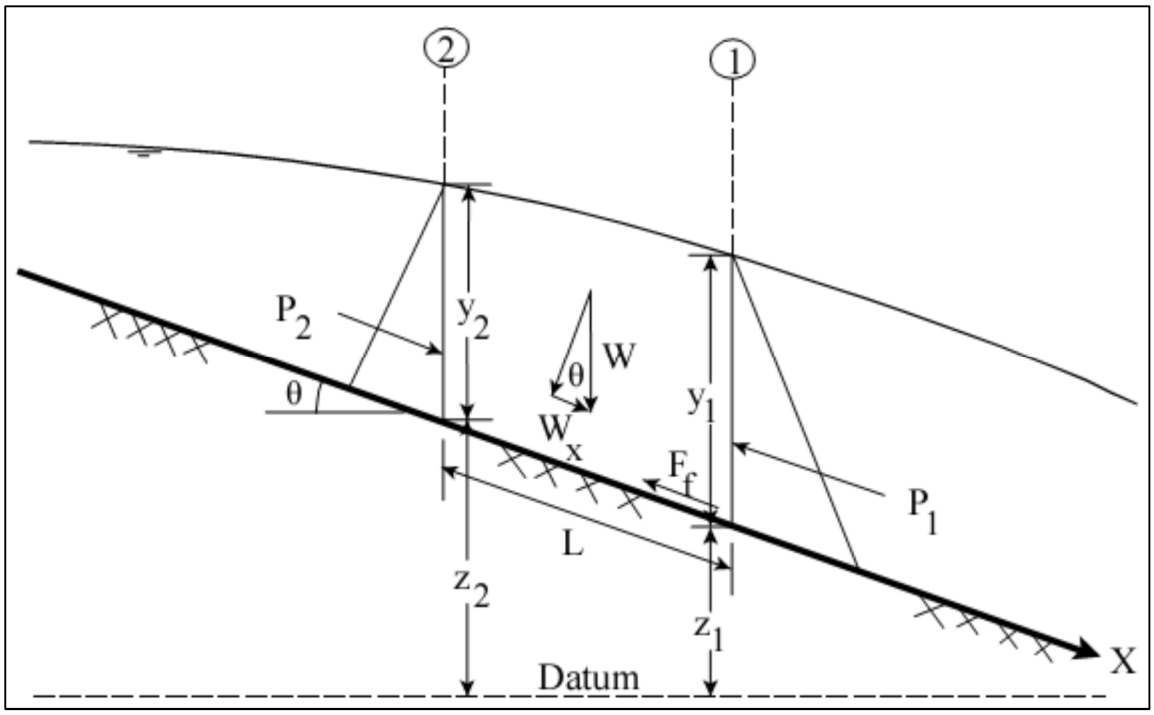
5- si confronta il valore appena ricavato con quello assunto al punto 1 e si reitera il calcolo fino ad una tolleranza di 0.003 m (valore predefinito, modificabile dall'utente).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di un'altezza iniziale del tirante varia nell'ambito della procedura, man mano seguendo passaggi successivi. Nel primo passaggio, relativo ai 5 punti descritti, il tirante si basa sulla proiezione di quello della sezione precedente nella sezione in studio. Nel secondo passaggio, invece, è utilizzato il tirante del primo passaggio incrementato del 70% dell'errore risultante al primo passaggio (altezza calcolata – altezza assunta). Il terzo passaggio e i successivi sono invece basati su un metodo di proiezione "secante", tendente a limitare la discrepanza evidenziata.

In tutte le situazioni in cui non vi sia un profilo di corrente gradualmente variato, ma che preveda risalti idraulici o passaggi attraverso lo stato critico (per bruschi cambi di pendenza, restringimenti, attraversamenti, ponti), e che quindi si generino profili di corrente rapidamente variati, il programma utilizza nei diversi settori l'equazione dell'energia, l'equazione del momento, o dell'equilibrio dinamico.

L'equazione deriva dalla seconda legge di Newton (F = m*a, ovvero Forza = massa*accelerazione) applicata ad una massa d'acqua compresa tra due sezioni; l'espressione della differenza dei momenti nell'unita temporale tra le sezioni 1 e 2 si esprime con la seguente equazione:

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



azioni esercitate sulla massa d'acqua

dove:

P = spinta sulle sezioni 1 e 2

Wx = forza peso nella direzione del moto

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

Q = portata

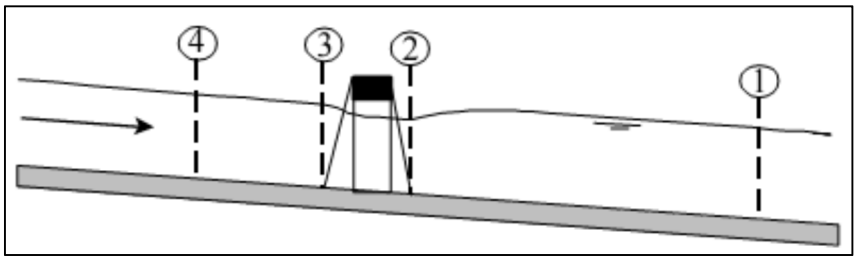
r = densita dell'acqua

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

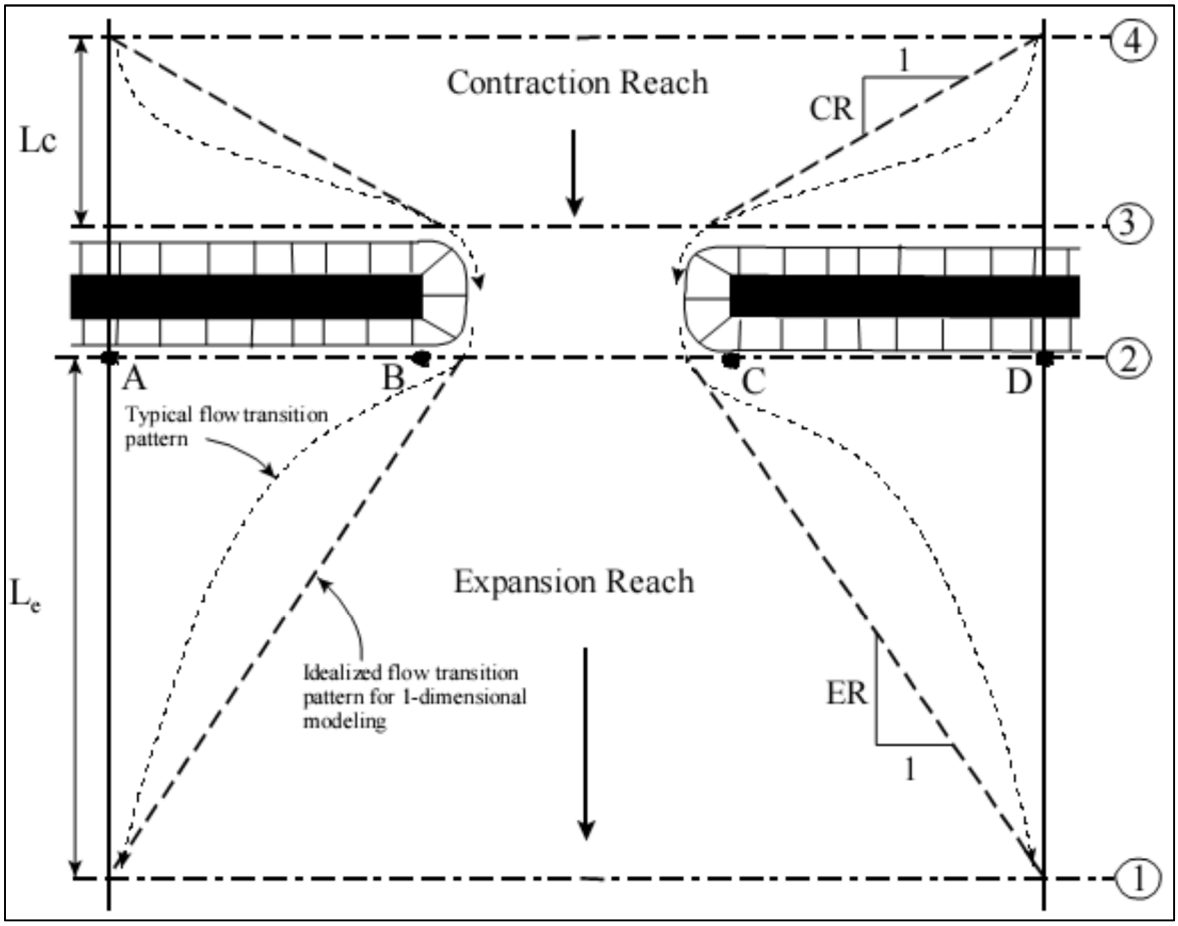
Risolvendo le varie componenti dell'equazione base, si perviene alla formulazione usata dal modello come soluzione dell'equazione dei momenti:

$$\frac{Q_2 b_2}{g A_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) L \bar{S} f = \frac{Q_1 b_1}{g A_1} + A_1 \bar{Y}_1$$

Nel caso di presenza di attraversamenti dei fiumi da parte si infrastrutture a rete, la procedura di calcolo individua 4 sezioni a cavallo di ognuna di esse (2 a monte e 2 a valle) influenzate dalla presenza dello stesso.



sezioni interessate dall'interferenza di un attraversamento con il moto a pelo libero dell'acqua



sezioni interessate dall'interferenza di un attraversamento con il moto a pelo libero dell'acqua

Le sezioni 3 e 2 (figure precedenti) sono quelle adiacenti all'attraversamento; in esse va inserita la porzione di sezione non interessata dal deflusso idrico (ineffective flow areas) a causa del restringimento (a monte) e dell'allargamento (a valle) dei filetti idrici che, pertanto, non impegnano l'intera sezione.

Il manuale del software indica la possibilità di considerare un rapporto 1 a 1 di contrazione ed espansione fra le sezioni dell'attraversamento e quelle immediatamente a monte o valle (sezioni 3 e 2), a patto che venga impostata la minor distanza possibile di queste dall'impalcato del ponte.

La sezione 4 è posta a monte della 3, ove si ipotizza che immediatamente a valle i filetti fluidi tendano a convergere perdendo la condizione di parallelismo.

Per questa sezione il rapporto di contrazione diventa CR = 1, dove CR e il coefficiente di contrazione.

Dal manuale del software si evince che la sezione 4 dovrebbe trovarsi ad una distanza "Lc" pari alla media delle distanze AB e CD, ovvero quella misurata in corrispondenza delle spalle dell'attraversamento che provoca la contrazione dei filetti.

La sezione 1 è posta a valle della 2, dove si ipotizza che i filetti fluidi ritornino ad essere paralleli; il rapporto di espansione è ER = 1, dove ER è il coefficiente di espansione. Questa sezione dev'essere posta sufficientemente a valle dell'attraversamento, in modo da non risentire dell'effetto di questo elemento.

Dal punto di vista numerico, questa distanza dipende dalla luce dell'attraversamento, dalla sua larghezza, dalla sua forma, nonché dalla pendenza, dalla scabrezza e dalla velocità della corrente.

Nella pratica non esiste un metodo univoco per la sua determinazione, ma essa va valutata caso per caso; generalmente questo valore non può essere inferiore a quattro volte la larghezza della strozzatura.

In conclusione di questa panoramica sulla modellizzazione mediante software HEC-RAS, si rammenta la possibilità di inserire nella geometria del sistema aree di accumulo e rilascio, di esondazione al di fuori del canale principale e di deposito temporaneo o definitivo (ovvero zone in cui la componente cinetica si annulla).

- ***Verifica bidimensionale***

Come prima anticipato, la nuova versione di Hec Ras consente la modellizzazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso setup.

Teoricamente, il programma applica la risoluzione delle equazioni idrodinamiche tramite il metodo degli elementi finiti sia in condizioni stazionarie (steady state conditions) che in simulazioni dinamiche (time-dependent conditions). L'uso di tale modello risulta appropriato in simulazioni in cui le variazioni della componenti della velocità risultano in direzione verticale (z) trascurabile rispetto alle variazioni nelle direzioni orizzontali (x e y).

Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda, sia quelle complete di Saint Venant; questa opzione può essere selezionata direttamente, offrendo, quindi, una maggiore flessibilità all'utente.

In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente, garantendo, inoltre, una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili ad una gamma sempre più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellizzata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.

La modellazione bidimensionale fornisce sostanzialmente il valore numerico del livello d'acqua e la distribuzione del flusso di corrente (componenti della velocità nelle direzioni x e y) nel dominio di calcolo, una volta definite da parte dell'utente la geometria del modello e le condizioni idrodinamiche al contorno.

In HEC-RAS 5.0.3 l'esecuzione di un modello in moto combinato 1D/2D non è diverso rispetto all'utilizzo di un modello a moto vario con schema 1D: il modulo di calcolo a moto vario 2D è integrato direttamente nel motore di calcolo; in questo modo le simulazioni vengono svolte contemporaneamente per ogni step temporale, mantenendo un alto grado di coerenza.

All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM).

Ogni cella della maglia computazionale viene, infatti, pre-elaborata per ricostruire delle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante da utilizzare nella modellazione.

La simulazione avviene rappresentando il flusso attraverso tutta la faccia (tra le celle): questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molto grandi, senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.

4.2 Implementazione del modello idraulico relativo al caso esaminato nel presente studio

L'implementazione del modello idraulico ha riguardato le seguenti parti:

1) GEOMETRIA DEL MODELLO:

Allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici descritti nel paragrafo precedente rispetto alle condizioni di stato attuale e di progetto del tratto in studio, si è reso necessario implementare il modello altimetrico del settore in studio inserendo nel modello tridimensionale del terreno il rilievo realizzato dal Comune di Framura nel Marzo/Aprile 2020.

Con i dati topografici acquisiti, unitamente a quelli cartografici, quelli derivanti da ortofoto, ed ai modelli 3D LidaR ad alta precisione (passo = 1 metro), è stato costruito, mediante software ArcInfo

della ESRI, un modello Grid 3D dell'area in oggetto, a partire da circa 330 metri a monte della linea ferroviaria Genova - La Spezia, fino alla foce estuarina nel Mar Ligure.

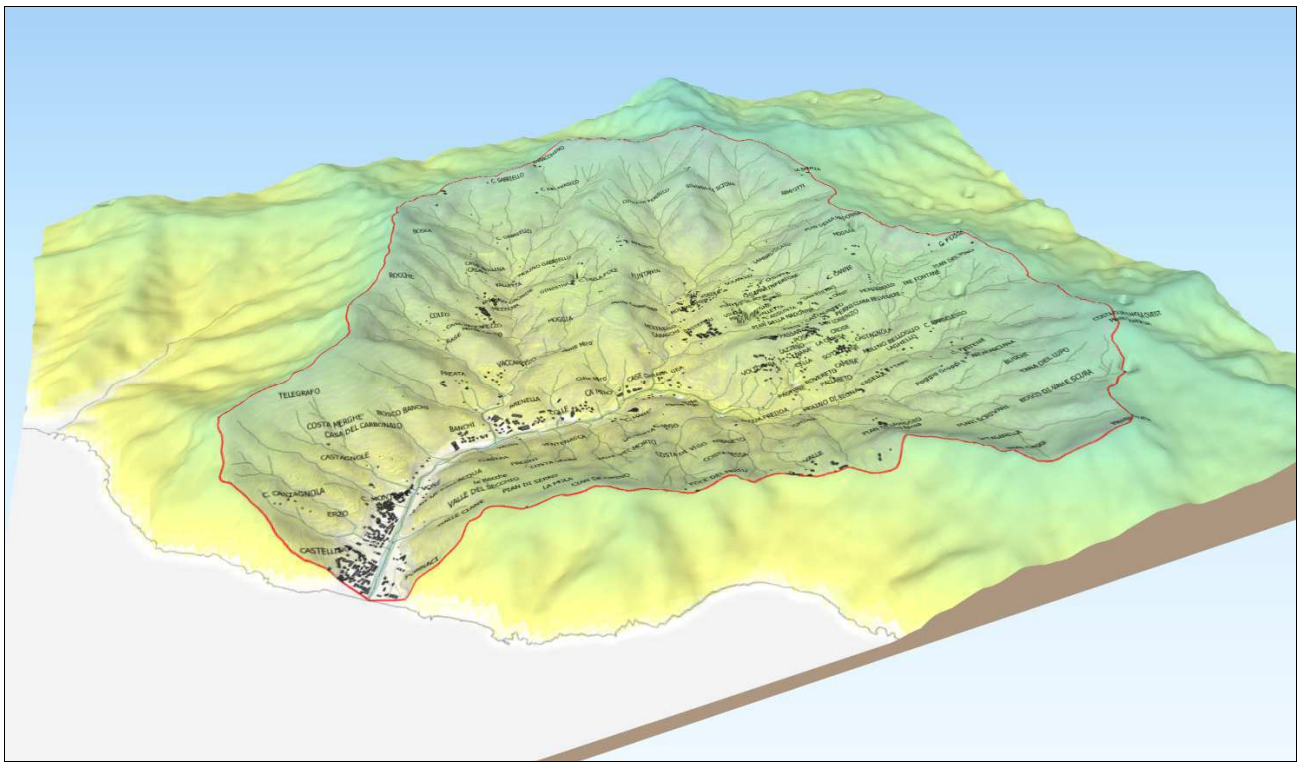


Figura 3: DTM 3D dell'intero bacino del Torrente Castagnola. La proiezione in figura è stata editata mediante software ArcScene ESRI; la base è costituita dal Foglio 232150 della Carta Tecnica Regionale.

Ricostruita, quindi, la morfologia dell'area in esame, sono stati editati su di essa gli elementi dell'asta idrografica del T. Castagnola, ovvero il centro del deflusso ("Steam Centerline"), gli argini ("River Banks"), impostato il "Flowpath" (ovvero il pattern di deflusso), le sezioni da analizzare, e le interferenze attualmente presenti (due ponti carrabili ed il viadotto ferroviario).

2) CONDIZIONI AL CONTORNO DEL MODELLO IDRAULICO:

Modellazione Idraulica:

La modellazione idraulica e stata condotta secondo i seguenti criteri:

- sono stati inseriti nel calcolo i valori di portata di eventi di piena con Tr = 50 anni, Tr = 200 e Tr = 500 anni, valutati per il Torrente Castagnola dalla Regione Liguria e riportati nella relazione Generale del Piano di Bacino – Ambito 18, Torrente Ghiararo;

- la simulazione è stata condotta in moto permanente (ipotesi ovviamente cautelativa);

- E' stato inserito un livello idrico di 50 cm presso la sezione di spiaggia, simulando la confluenza in mare.

Il valori di portata utilizzati sono qui di seguito riportati:

	Q (Tr = 50 anni)	Q (Tr = 200 anni)	Q (Tr = 500 anni)
Torrente Castagnola (valle)	284 m^3/sec	428 m^3/sec	587 m^3/sec

5) EFFETTI AL SUOLO DELLA SIMULAZIONE CONDOTTA – STATO ATTUALE

Il modello di calcolo applicato ha consentito di determinare gli effetti al suolo delle simulazioni impostate.

La verifica è stata sviluppata in modalità monodimensionale e predisposta in ambiente bidimensionale: quest'ultimo passaggio è stato implementato mediante interpolazione del rilievo topografico a disposizione con un modello tridimensionale del terreno creato a partire dai dati disponibili (C.T.R. e immagini di derivazione Lidar). L'approccio bidimensionale consente di ricostruire l'andamento più probabile delle acque di esondazione e potrà essere prodotto come maggior dettaglio in fase di presentazione del progetto definitivo-esecutivo del tratto indagato, al fine di riperimetrare le aree inondabili ad oggi cartografate sul Piano di Bacino Ambito 18.

Dalle verifiche svolte, le criticità idrauliche del Torrente Castagnola ad oggi ancora rilevabili dopo gli interventi di pulizia ed asportazione del sovralluvionamento svolti vengono di seguito schematizzate:

- insufficenza del franco minimo di sicurezza (sia relativi al pelo libero, sia ai livelli di carico cinetico) relativi a tutte le portate di verifica presso il ponte carrabile localizzato nel tratto di monte ricompreso in questo studio;

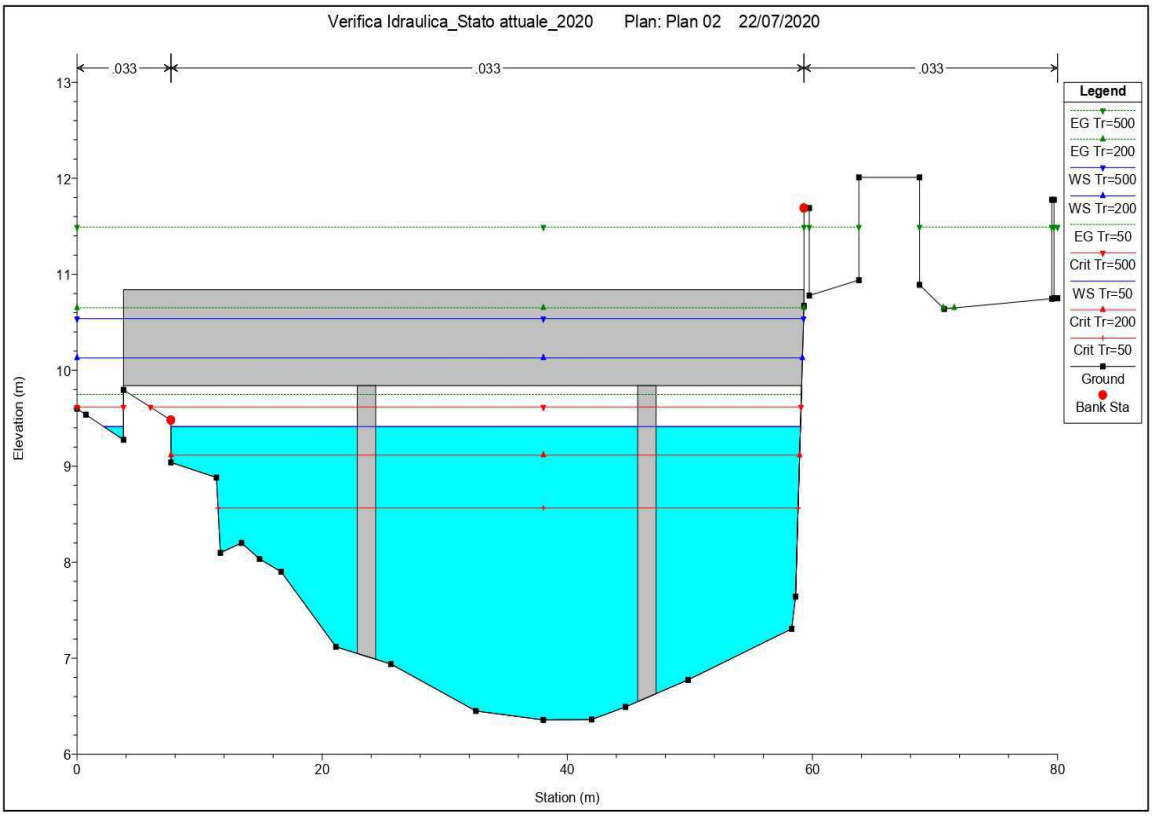
- limitata insufficienza del franco arginale in sinistra orografica nelle sezioni a monte del ponte ferroviario (deficit arginale pari a circa 27 cm, migliorato comunque rispetto al passato di circa 30 cm)

I risultati ottenuti sono riportati nelle figure seguenti.

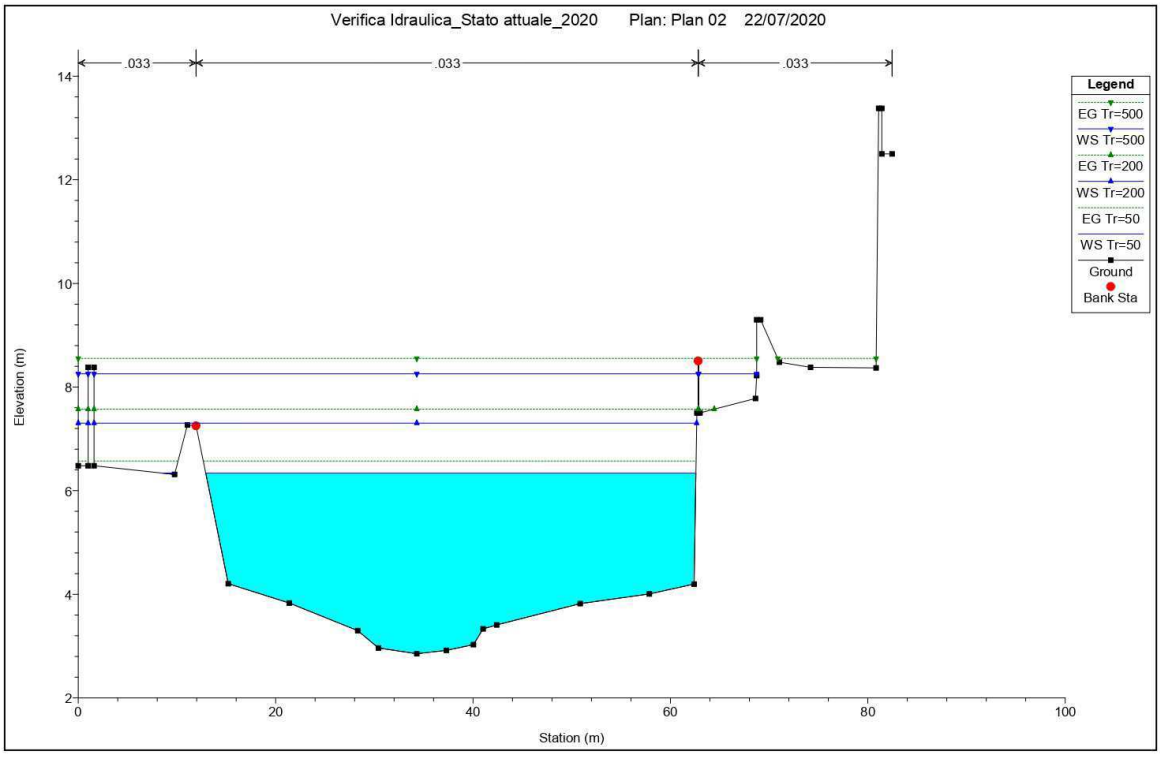


Figura 4: modello Hec GeoRAS del tratto terminale del Torrente Castagnola, creato in ambiente ArcGis. La base è costituita dal modello digitale del terreno in trasparenza, il cui dato altimetrico è stato conferito anche allo stralcio ortofotografico dell'ambito, al fine di implementare la verifica bidimensionale. Sistema di Riferimento Gauss - Boaga.

Come detto, la modellazione condotta ha evidenziato specifici settori, nel tratto indagato, aventi criticità idrauliche ascrivibili soprattutto al carico cinetico di riferimento, ovvero con Tr = 200 anni. Partendo da monte, le residue problematiche idrauliche risultano a carico sostanzialmente della sponda framurese del Torrente, in particolare nell'intorno del ponte carrabile situato a monte della linea ferroviaria e, molto limitatamente, presso le strutture arginali a ridosso del viadotto ferroviario stesso. In quest'ultimo caso, tuttavia, si tratta di un deficit di 27 cm relativo al carico cinetico duecentennale, facilmente compensabile con una modesta ulteriore riprofilatura dell'alveo; i battenti calcolati per il pelo libero cinquantennale e duecentennale restano compresi all'interno delle sezioni studiate (tranne, ovviamente, in corrispondenza del ponte carrabile di monte).



<u>Sezione n° 21</u>: l'impalcato del ponte carrabile di raccordo fra Loc. Fornaci e il centro di Deiva Marina, a monte della linea ferroviaria.



<u>Sezione n° 15</u>: sezione idraulica appena a monte dell'impalcato ferroviario. Si noti l'innalzamento dei livelli provocati dall'interferenza dei livelli di piena con la struttura stessa. Nonostante ciò, la pulizia effettuata ha permesso di ridurre a 27 cm il sormonto arginale.

6) EFFETTI AL SUOLO DELLA SIMULAZIONE CONDOTTA – STATO DI PROGETTO

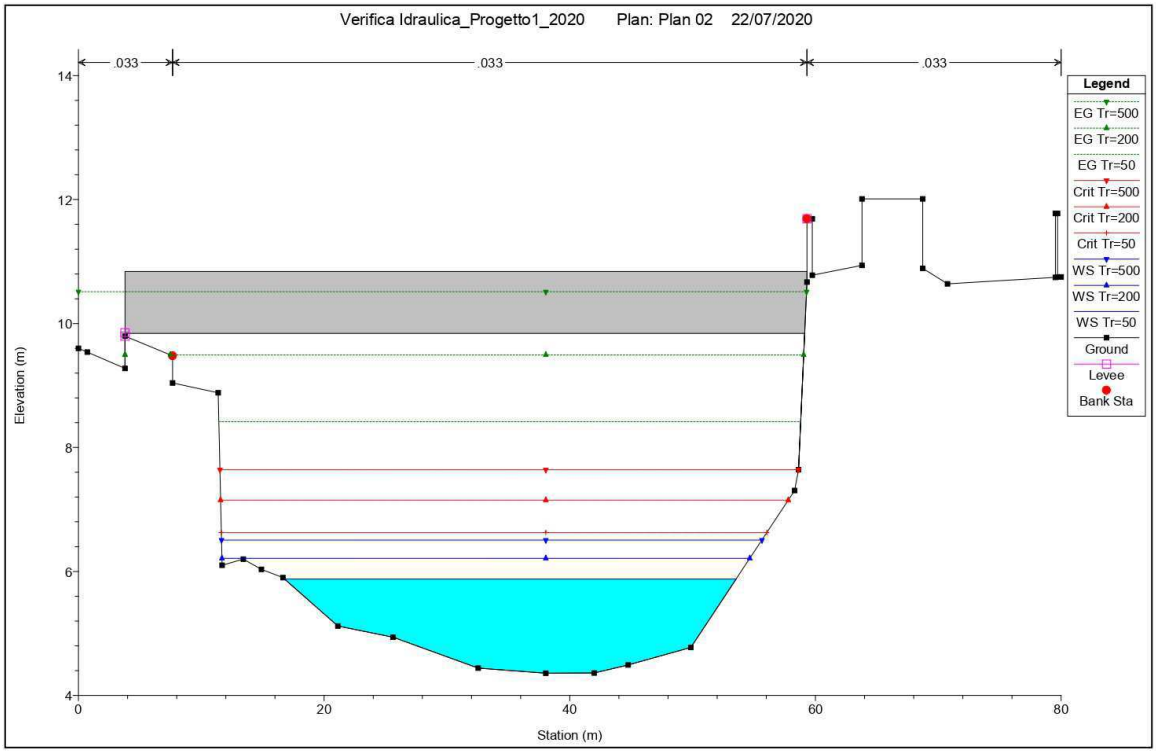
A seguito della prima modellizzazione condotta, si è proceduto ad impostare la verifica idraulica in configurazione di progetto.

In particolare, sono state approntate le seguenti lavorazioni:

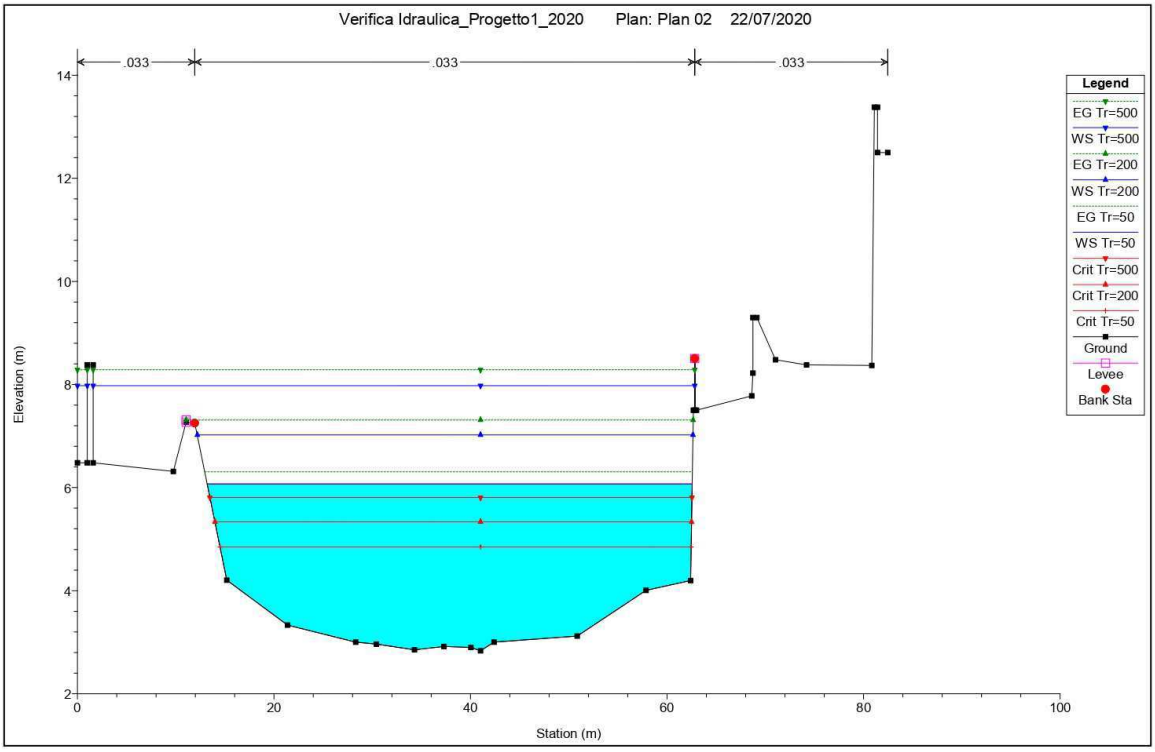
1) Sostituzione del ponte carrabile attuale con uno privo di pile in alveo e con spessore dell'impalcato uguale a quello originario (sarebbe strutturalmente possibile valutare impalcati di minore spessore).
2) Risagomatura dell'alveo attuale mediante riduzione dell'altezza della briglia in massi ad oggi presente proprio al di sotto del ponte carrabile e riprofilatura di raccordo per un tratto di circa 45 metri.
3) Minima rimozione del sovralluvionamento residuo.

Seguendo queste linee guida di intervento, la verifica idraulica condotta ha permesso di evidenziare come l'intero tratto indagato risulti in condizioni di sicurezza rispetto al target di Piena Duecentennale previsto da normativa, con adeguato franco idraulico.

In particolare, il nuovo ponte carrabile avrà un franco sul livello di pelo libero 200ennale superiore ad 1,5 metri e conterrà, senza impattare con l'impalcato, il carico cinetico associato sempre alla piena duecentennale stessa. Si vedano, a tal proposito, gli allegati a questo elaborato.



<u>Sezione n° 21-progetto</u>: l'impalcato del nuovo ponte carrabile di raccordo fra Loc. Fornaci e il centro di Deiva Marina, a monte della linea ferroviaria: i livelli di verifica target (Tr=200) risultano compresi all'interno della sezione secondo quanto previsto dalla normativa specifica, con adeguati franchi idraulici.



<u>Sezione n° 15-progetto</u>: sezione idraulica appena a monte dell'impalcato ferroviario. Si noti come la modesta riprofilatura dei terreni alluvionali di sovralluvionamento permetta di raggiungere i target previsti per legge al fine di traguardare la riperimetrazione della fascia inondabile ad oggi insistente presso Loc. Fornaci.

7) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio idraulico ha evidenziato quelle che sono le condizioni di deflusso, *riferite allo stato attuale ed in configurazione preliminare di progetto*, del Torrente Castagnola per eventi di piena caratterizzati da Tr = 50, 200 e 500 anni, verificando, al contempo, le buone qualità di partenza, derivanti dai lavori di pulizia e prima riprofilatura dell'alveo svolti nell'autunno 2019.

Come sopra descritto, i risultati delle verifiche in configurazione di stato attuale mostrano residue condizioni critiche sotto il profilo idraulico a carico del settore urbano del T. Castagnola: in particolare, la porzione di monte del tratto indagato, ovvero dove si trova il ponte carrabile di collegamento fra la frazione di Fornaci e l'abitato di Deiva Marina, presenta fenomeni esondativi rispetto ai livelli di carico cinetico duecentennale; stessa fattispecie si registra anche per un breve tratto nella zona di pertinenza dell'impalcato ferroviario.

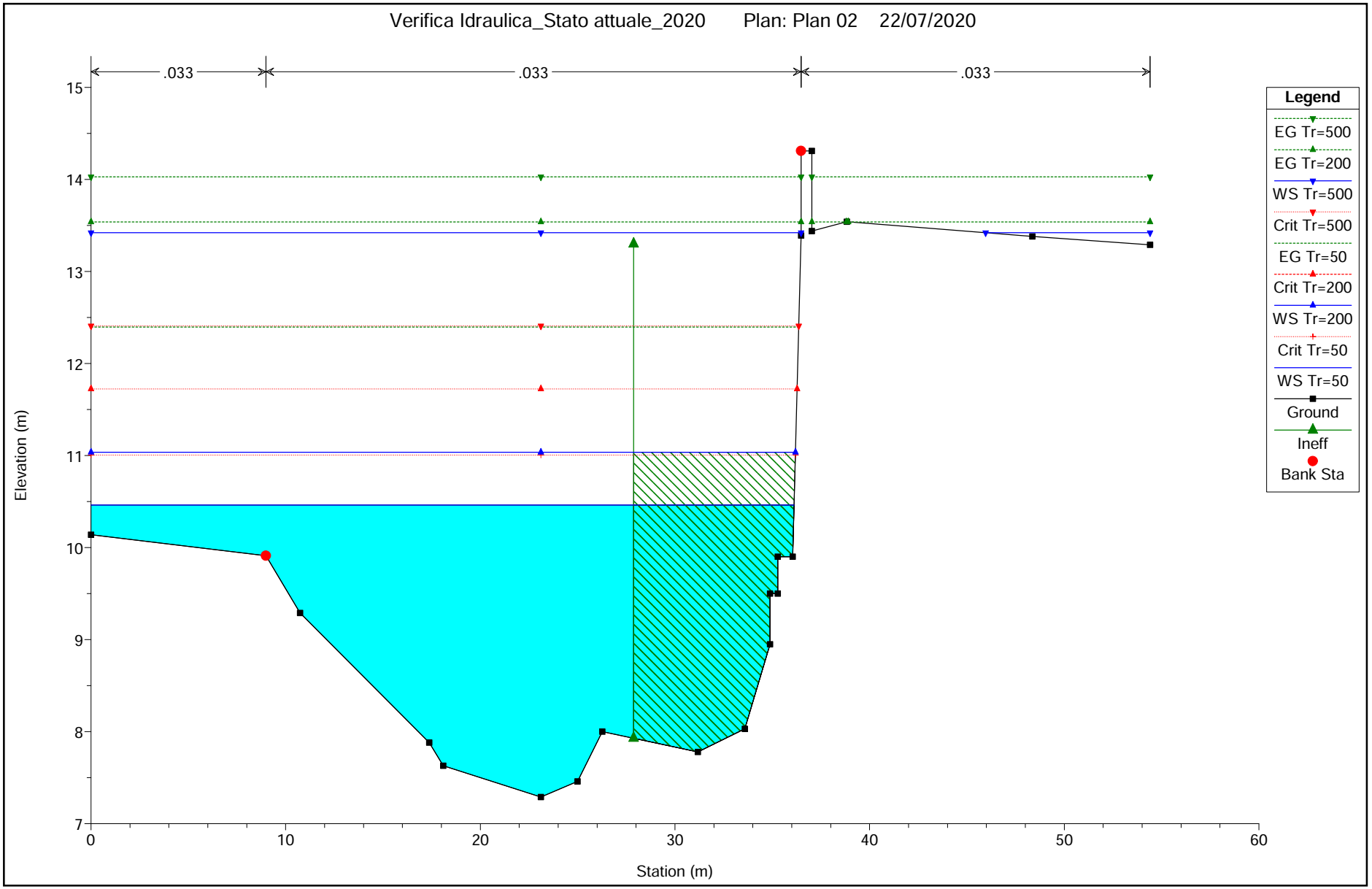
Le ipotesi approntate in questa fase di progettazione di Fattibilità Tecnico-Economica considerano principalmente la sostituzione del ponte carrabile di monte, optando per una struttura priva di pile in alveo e la riprofilatura del fondo, riducendo l'altezza della briglia posizionata proprio al di sotto dell'attuale impalcato e procedendo al raccordo, verso monte, con il profilo dell'alveo attuale, il tutto prima di raggiungere la copertura di pertinenza del Comune di Deiva Marina, localizzata in destra orografica.

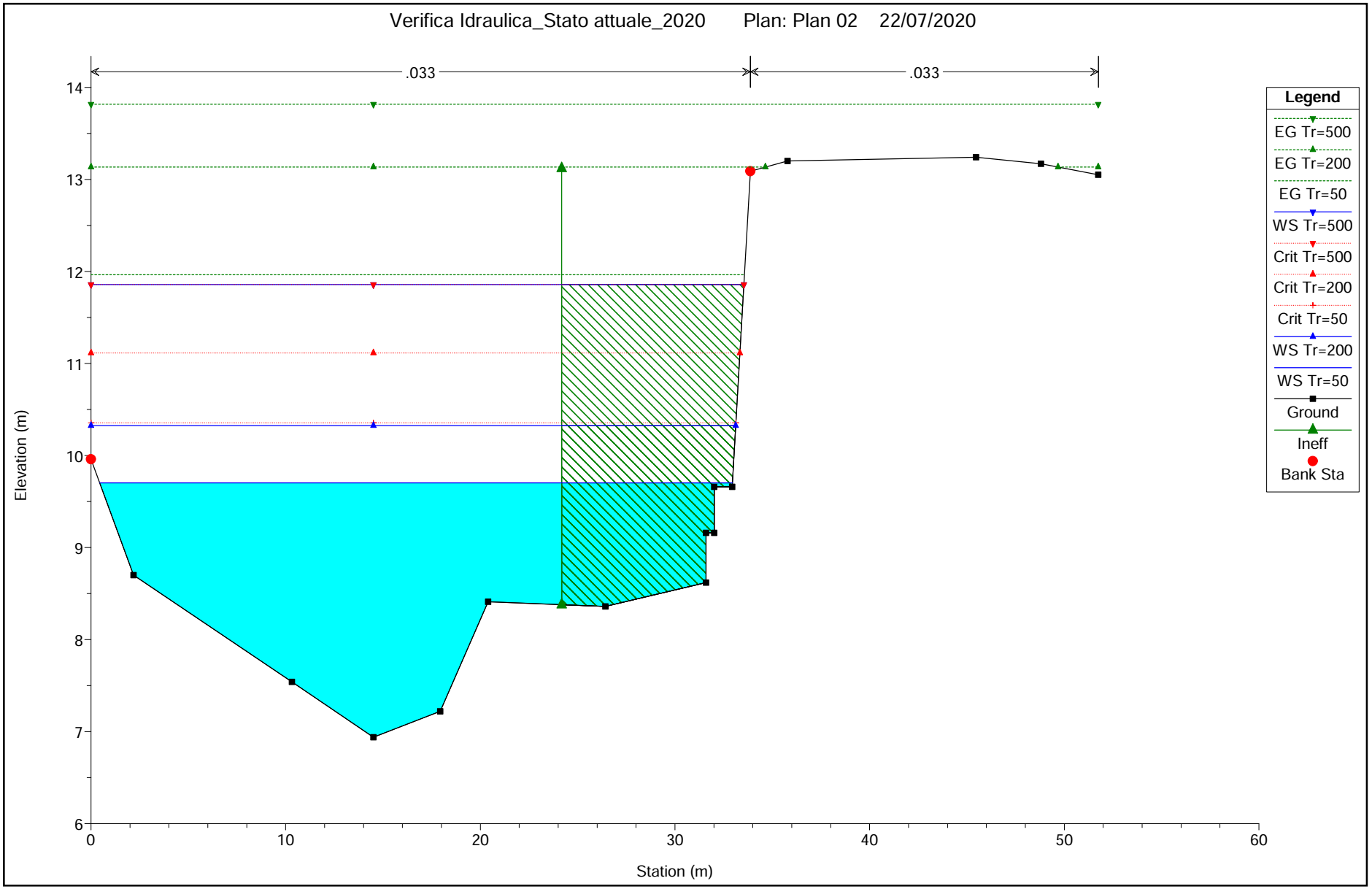
Questi interventi, unitamente ad una ulteriore risagomatura del fondo attraverso la mobilitazione del sovralluvionamento ancora presente, permetteranno di traguardare il contenimento dei livelli di piena associati ad eventi con Tr = 200 anni con adeguato franco idraulico, sia per quanto riguarda il pelo libero, sia relativamente al carico cinetico.

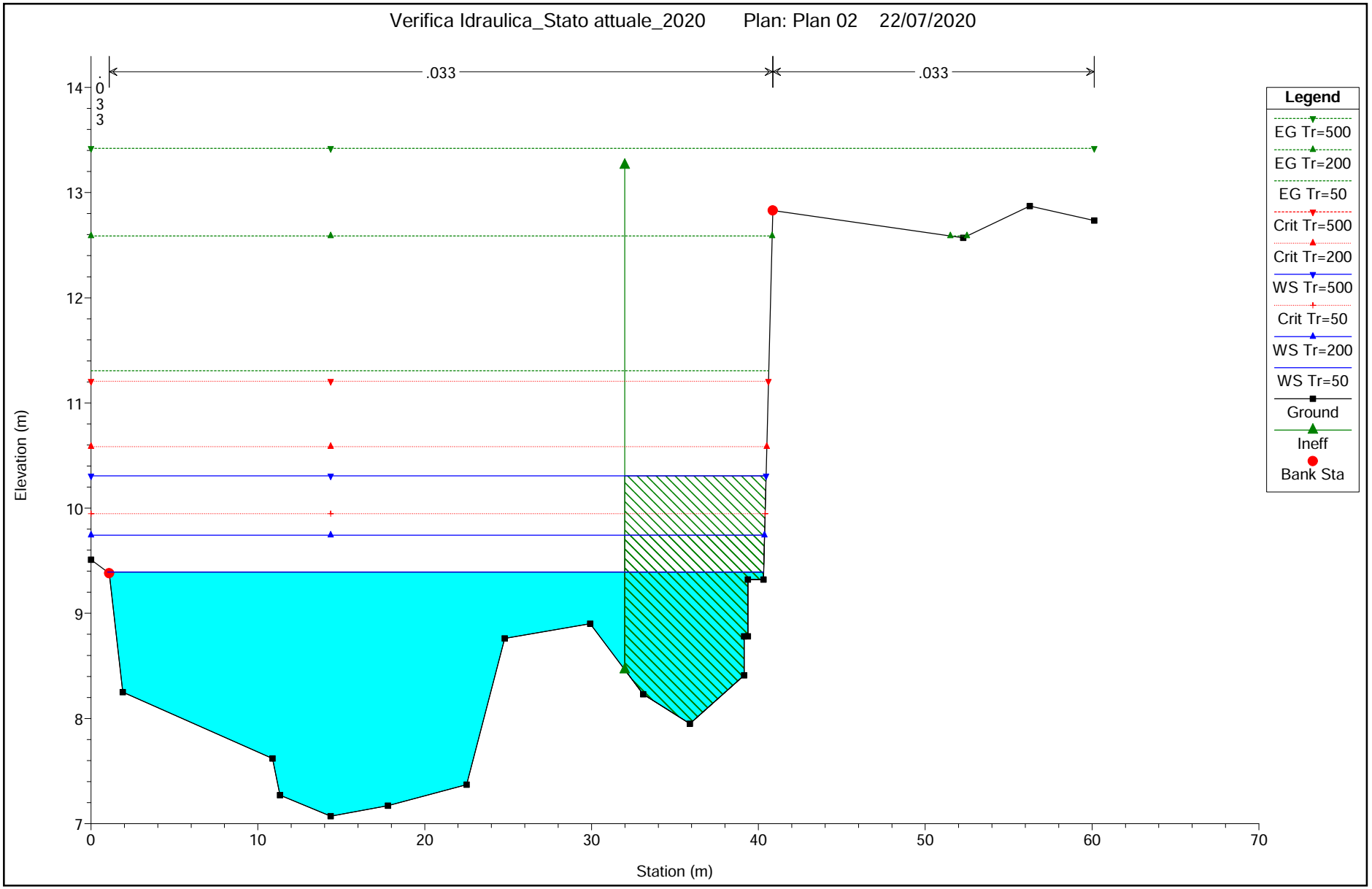
Si rimanda alle fasi di progettazione successive per poter definire quantitativamente le dimensioni e le tipologie degli interventi di progetto, in modo tale da poter ulteriormente calibrare le verifiche svolte e proporre la successiva riprimetrazione del comparto di Località Fornaci (sponda sinistra orografica) all'interno del Piano di Bacino della Regione Liguria – Ambito 18, Torrente Ghiararo.

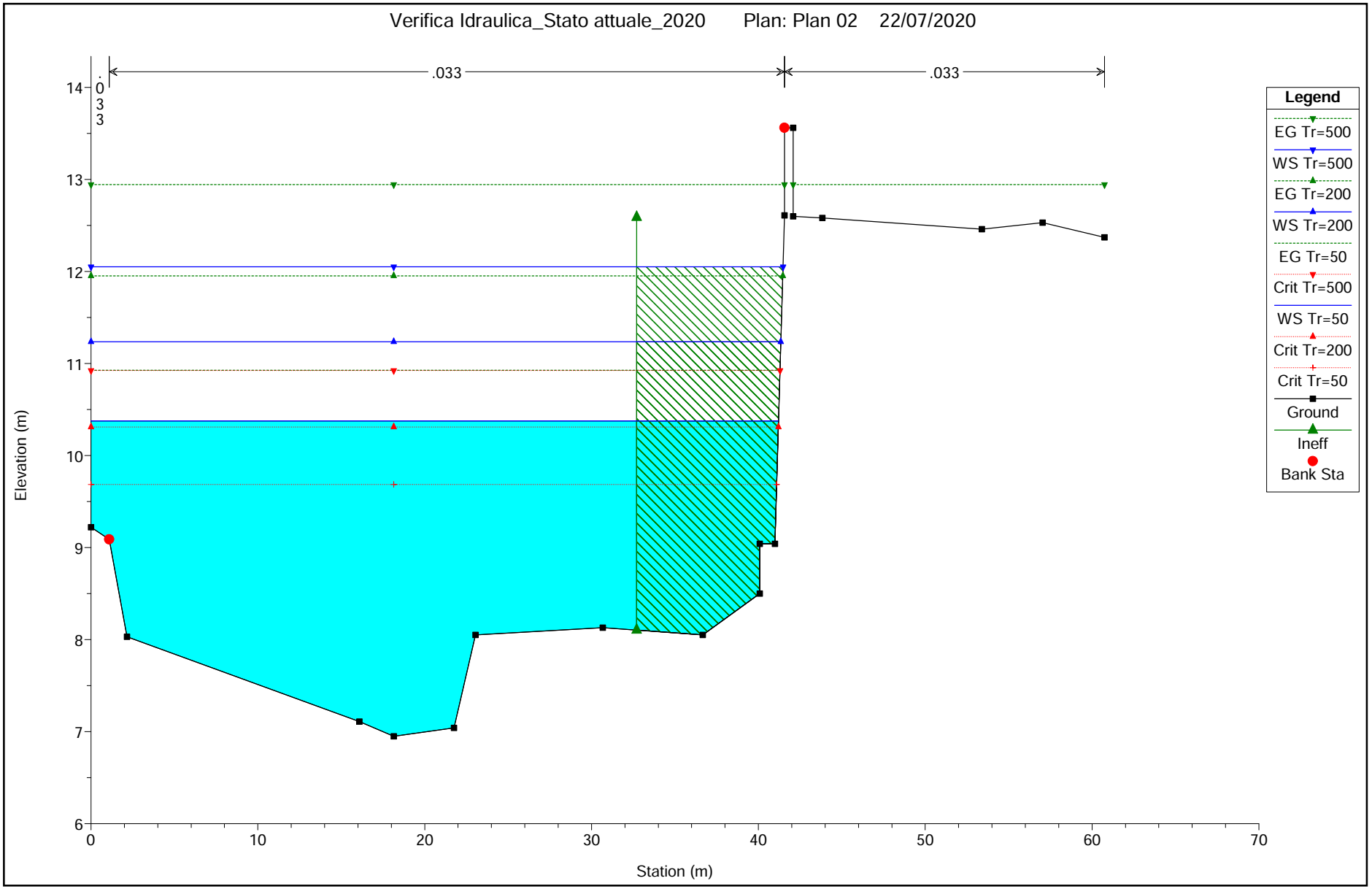
Dott. Geol. Giovanni DEBELLIS

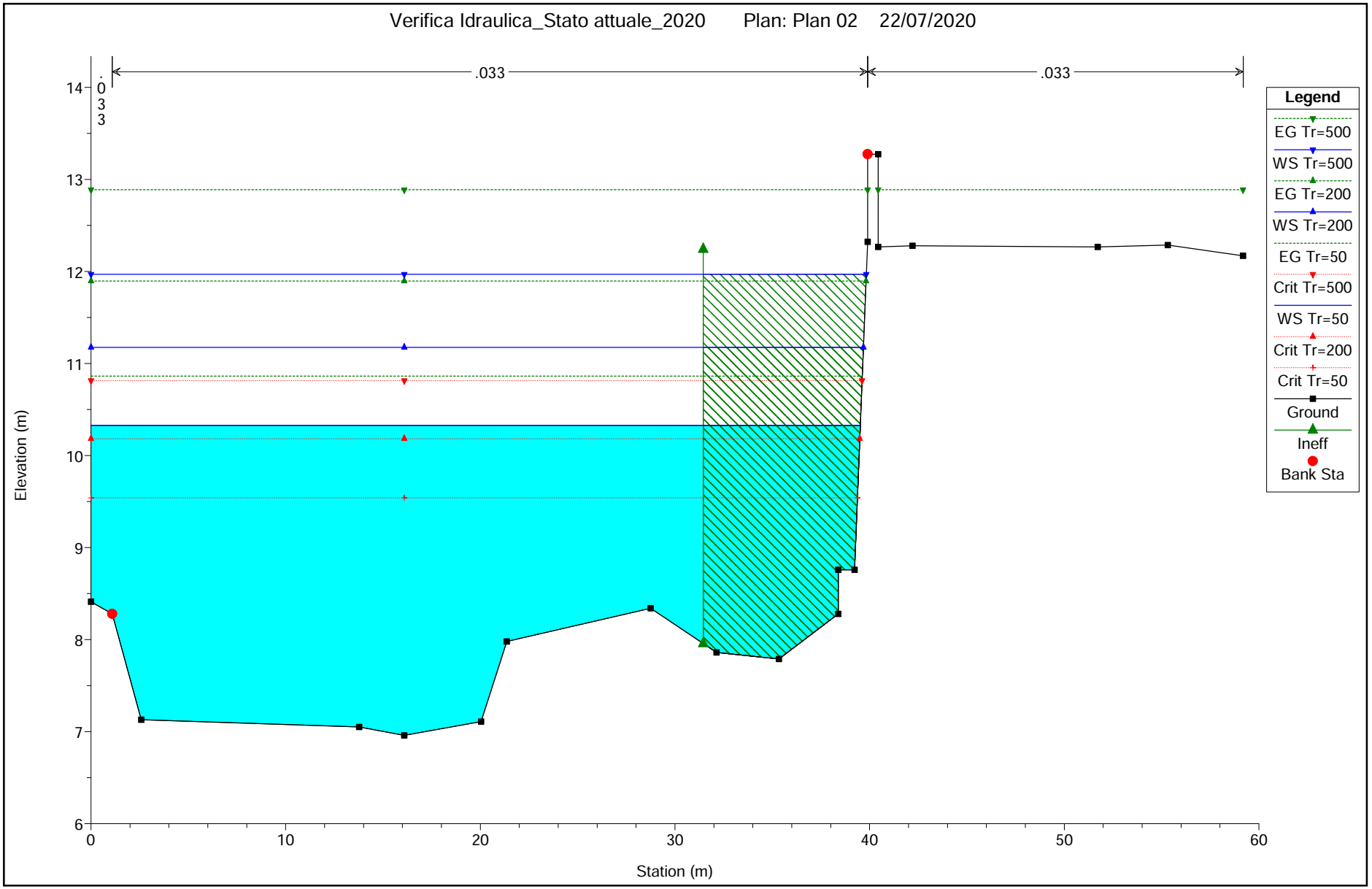
ALLEGATO 1

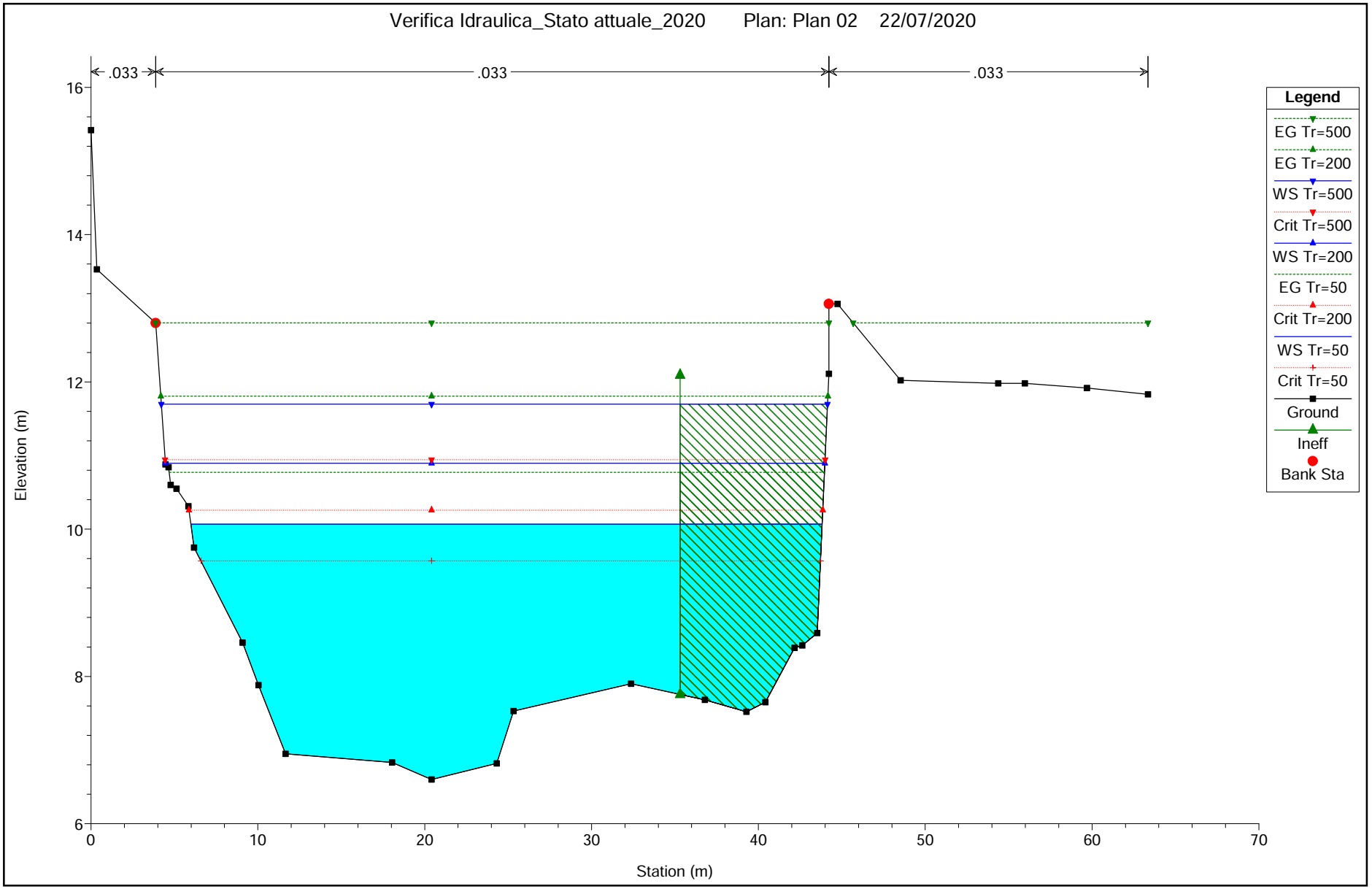

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
15
14
13
12
11
10
9
8
7
0
10
20
30
40
50
60

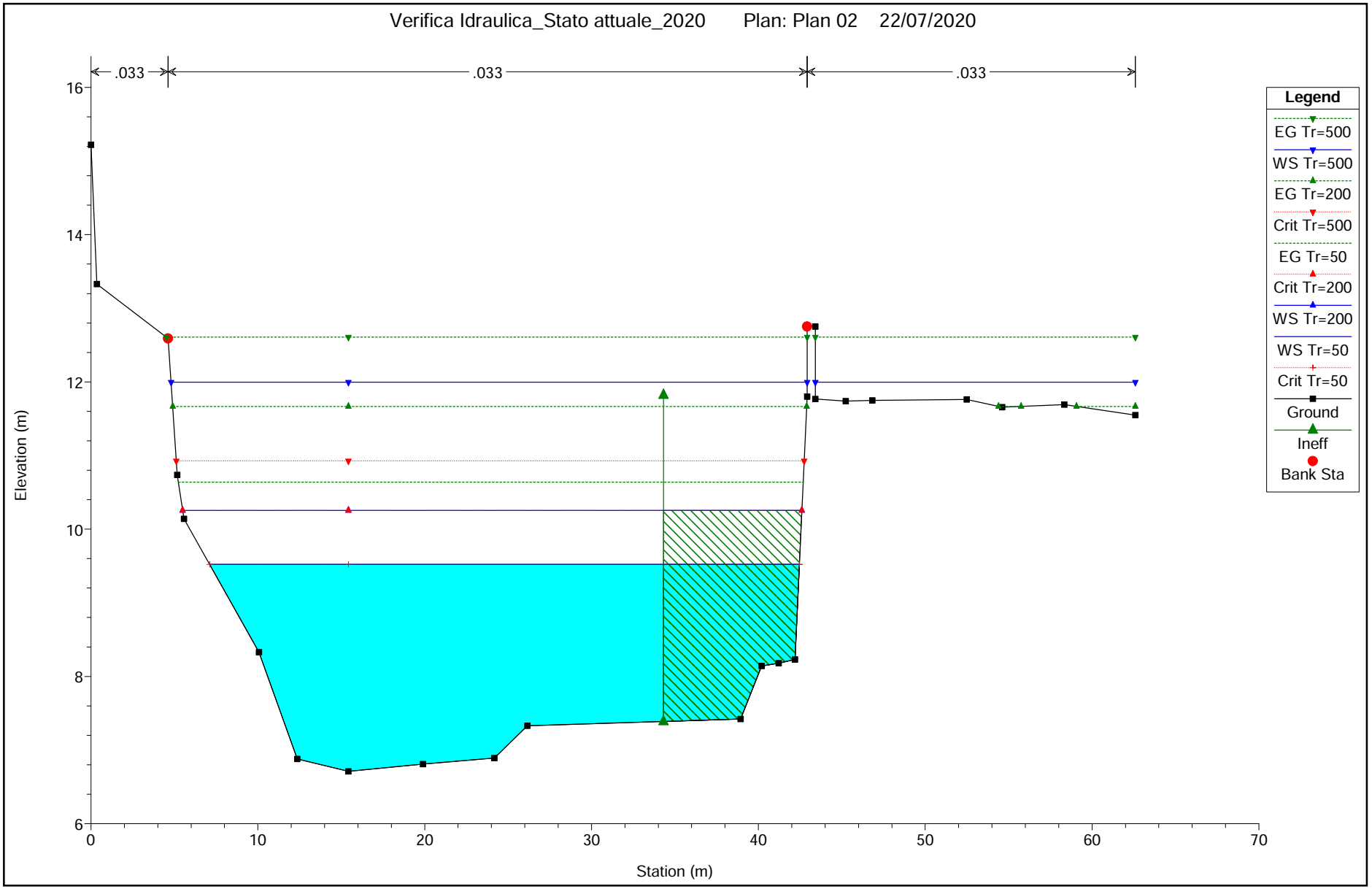

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=500
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
14
13
12
11
10
9
8
7
6
0
10
20
30
40
50
60

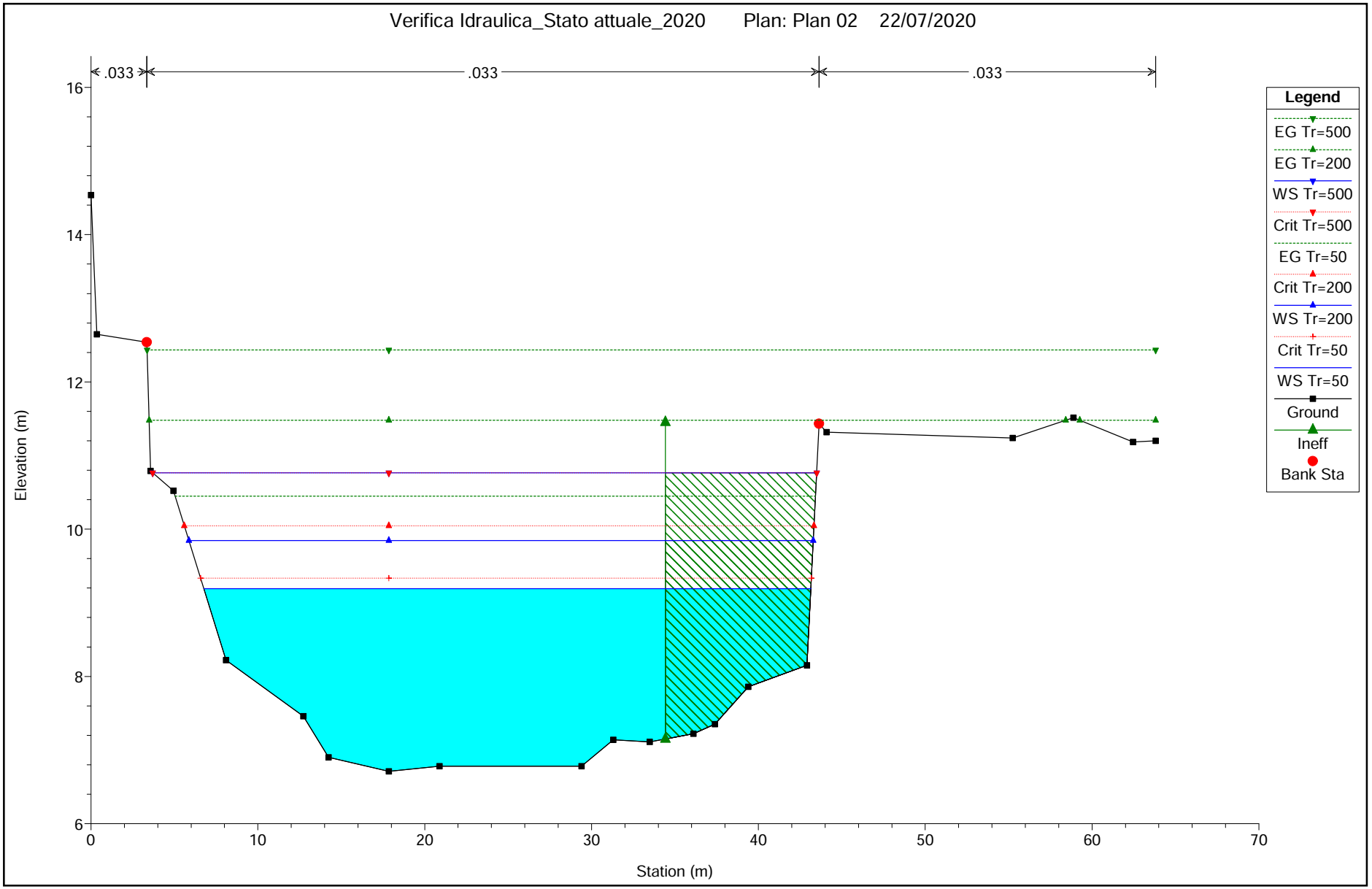

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
14
13
12
11
10
9
8
7
0
10
20
30
40
50
60
70

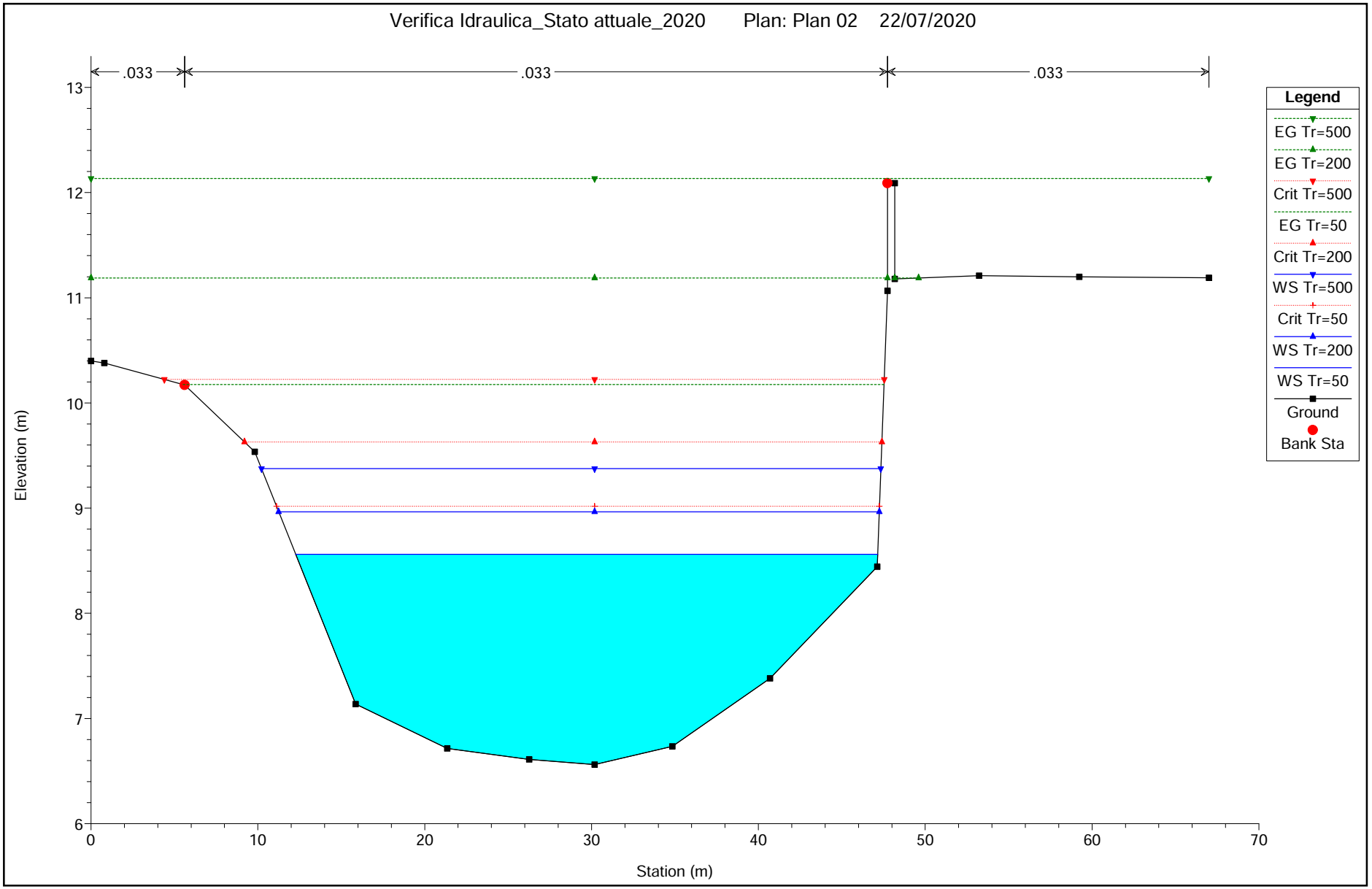

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta

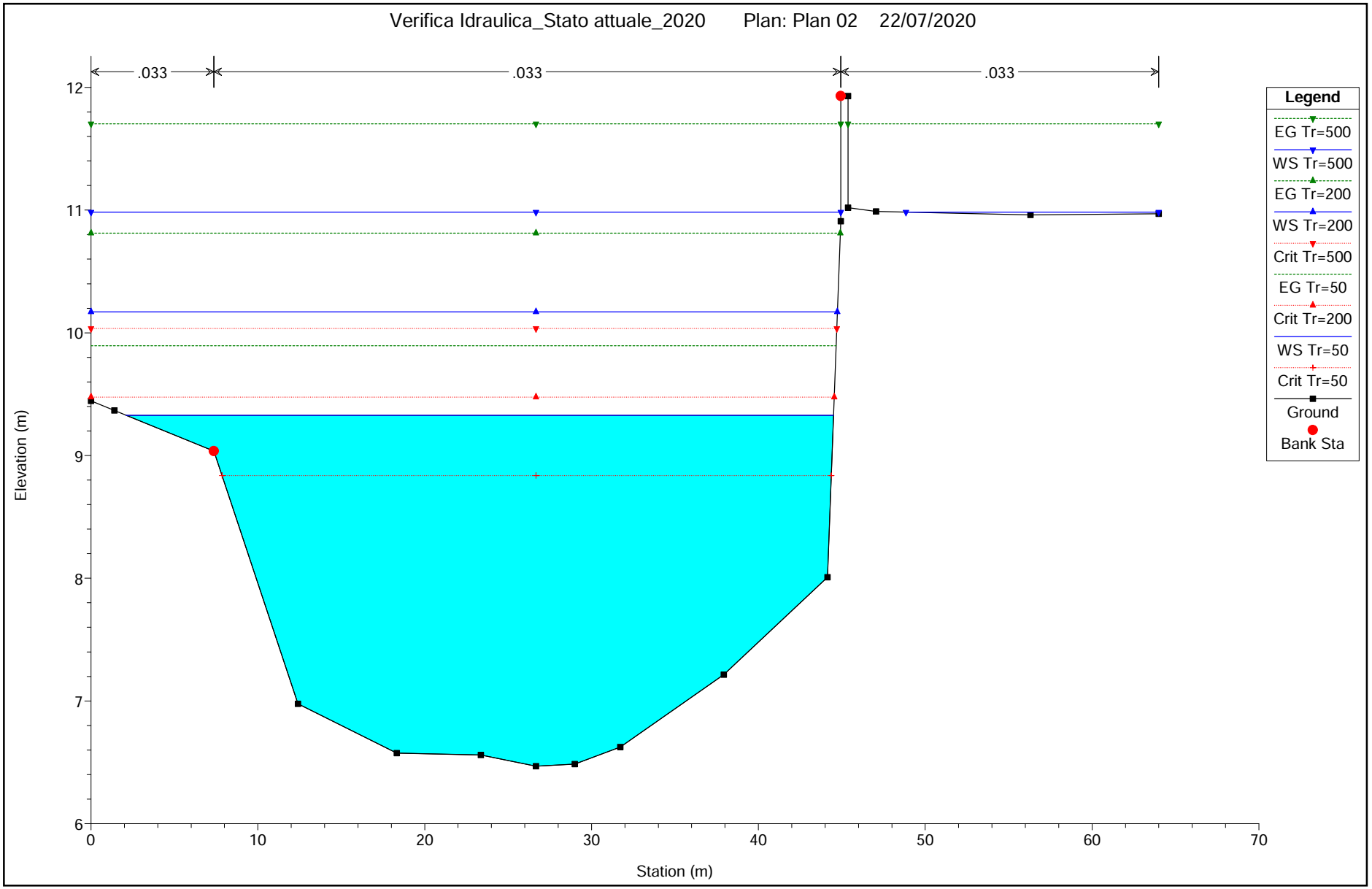

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
14
13
12
11
10
9
8
7
6
0
10
20
30
40
50
60

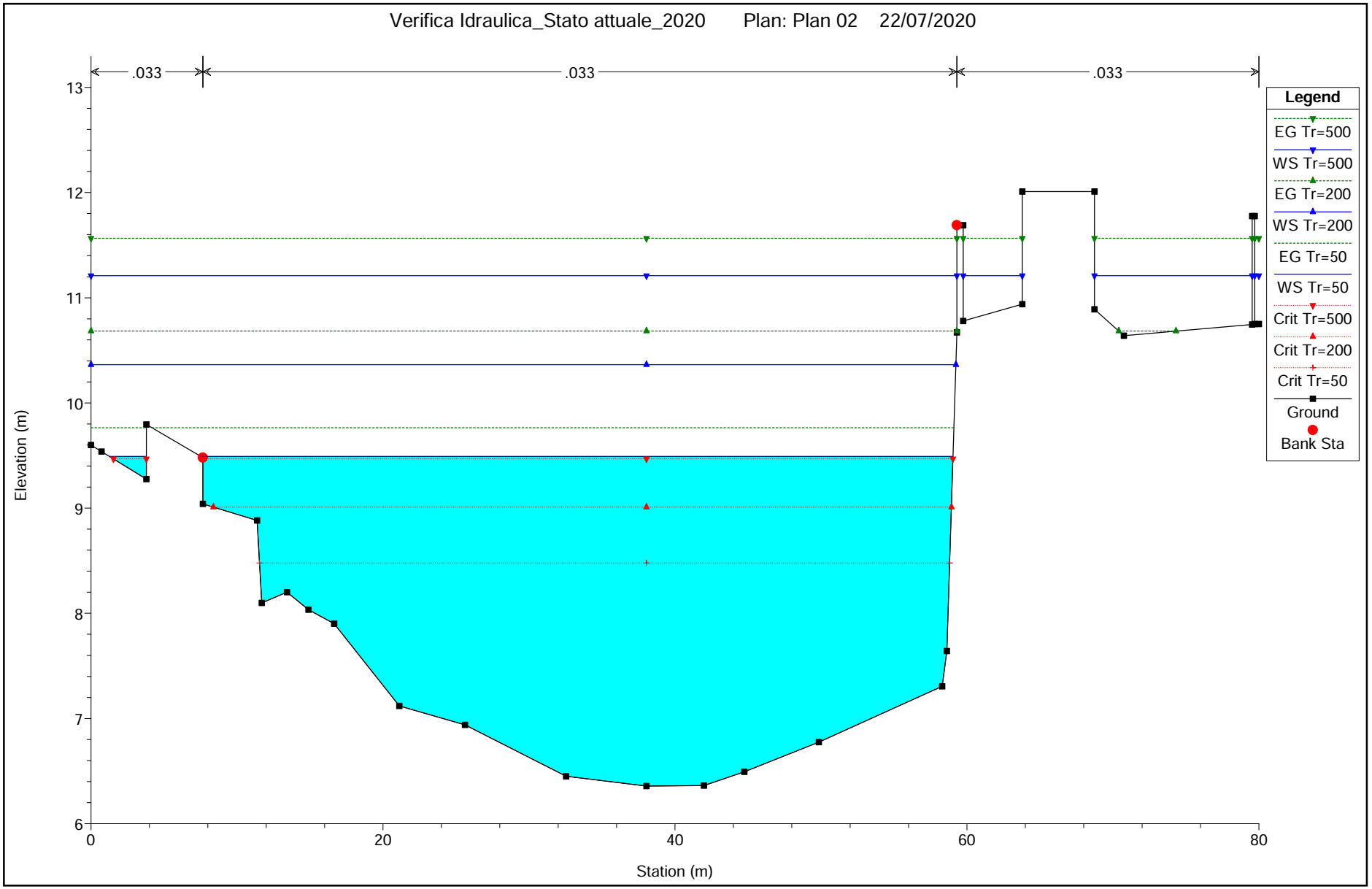

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
0
10
20
30
40
50
60
70

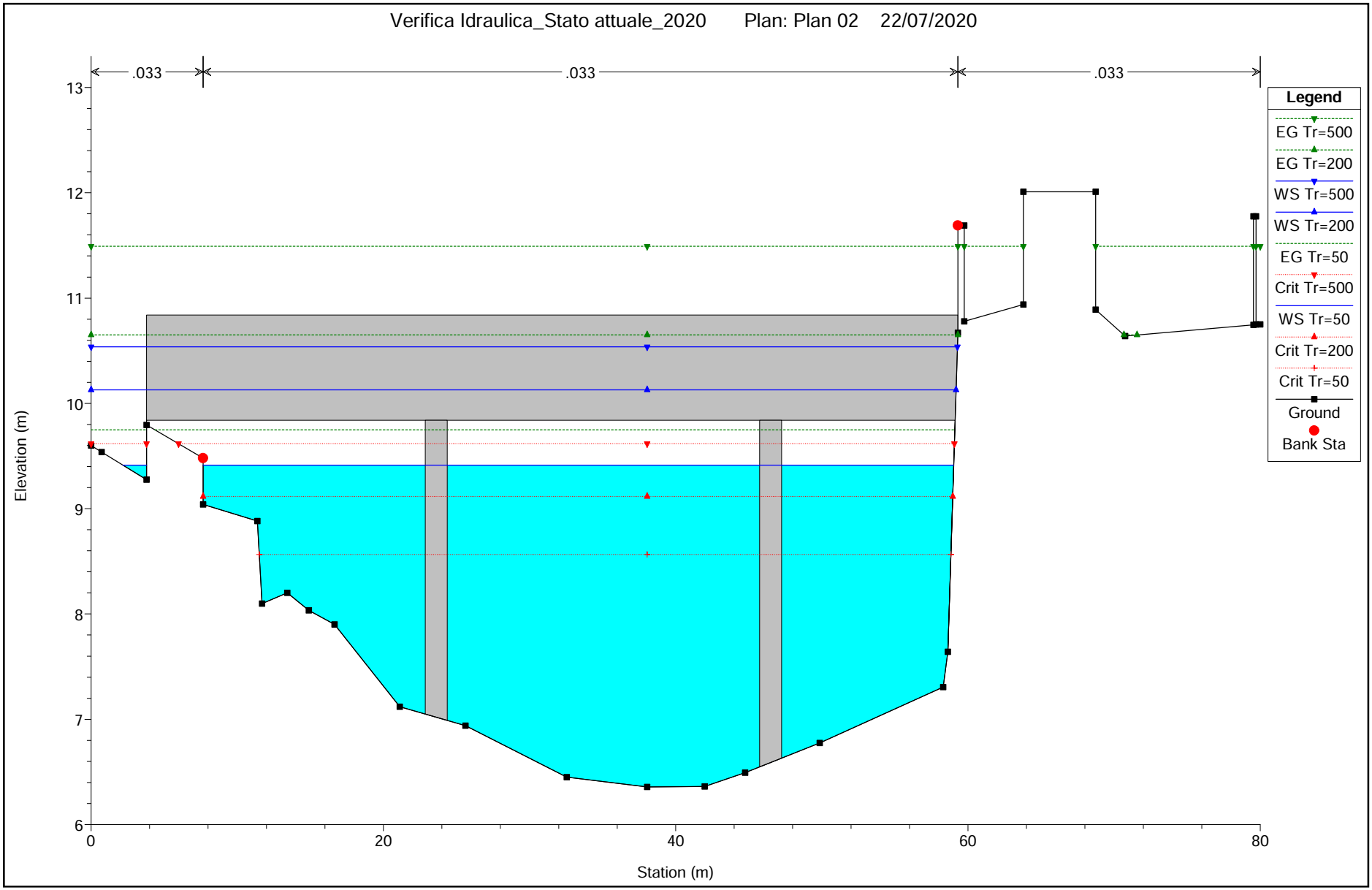

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
0
10
20
30
40
50
60
70

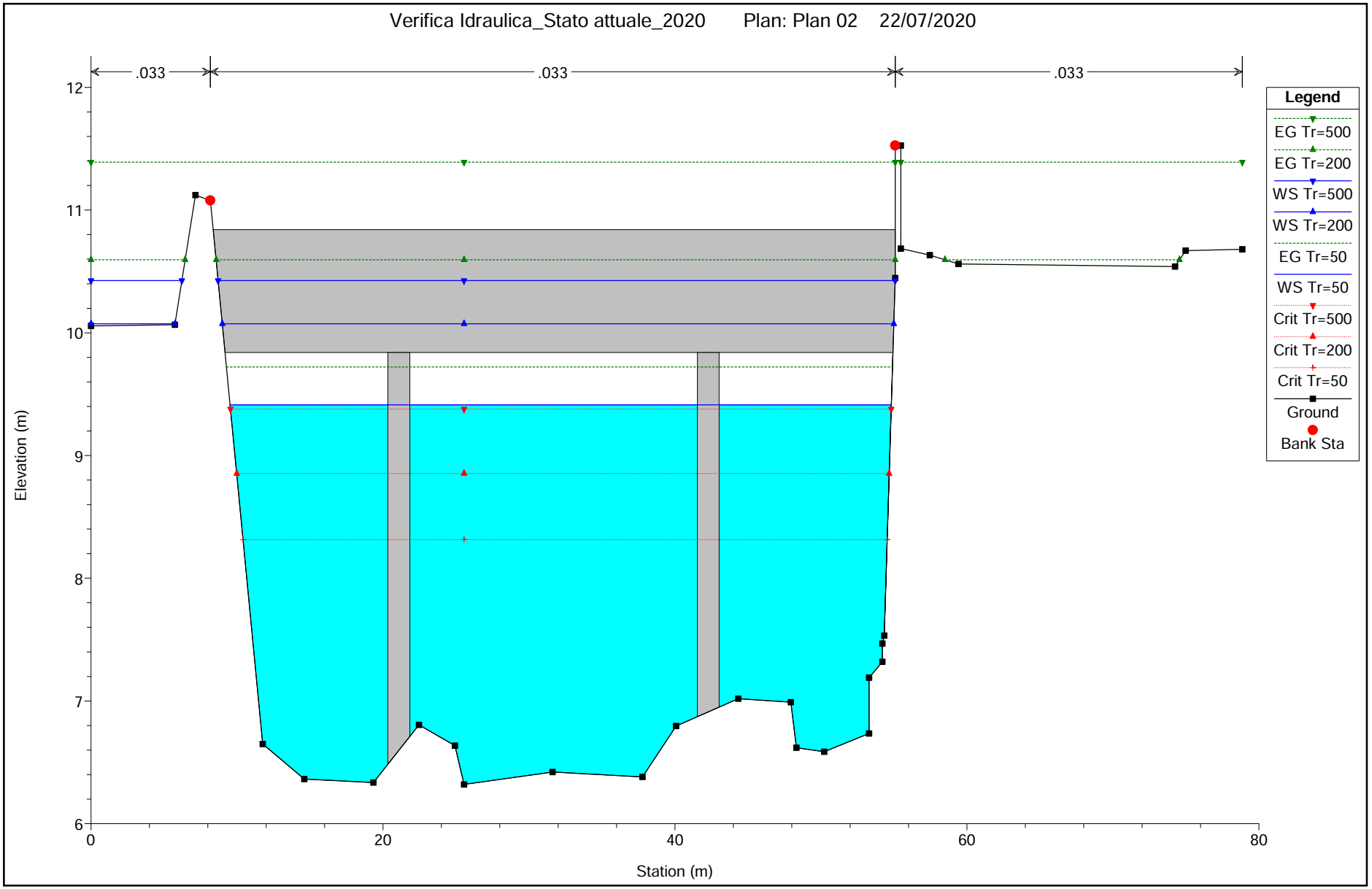

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
0
10
20
30
40
50
60
70

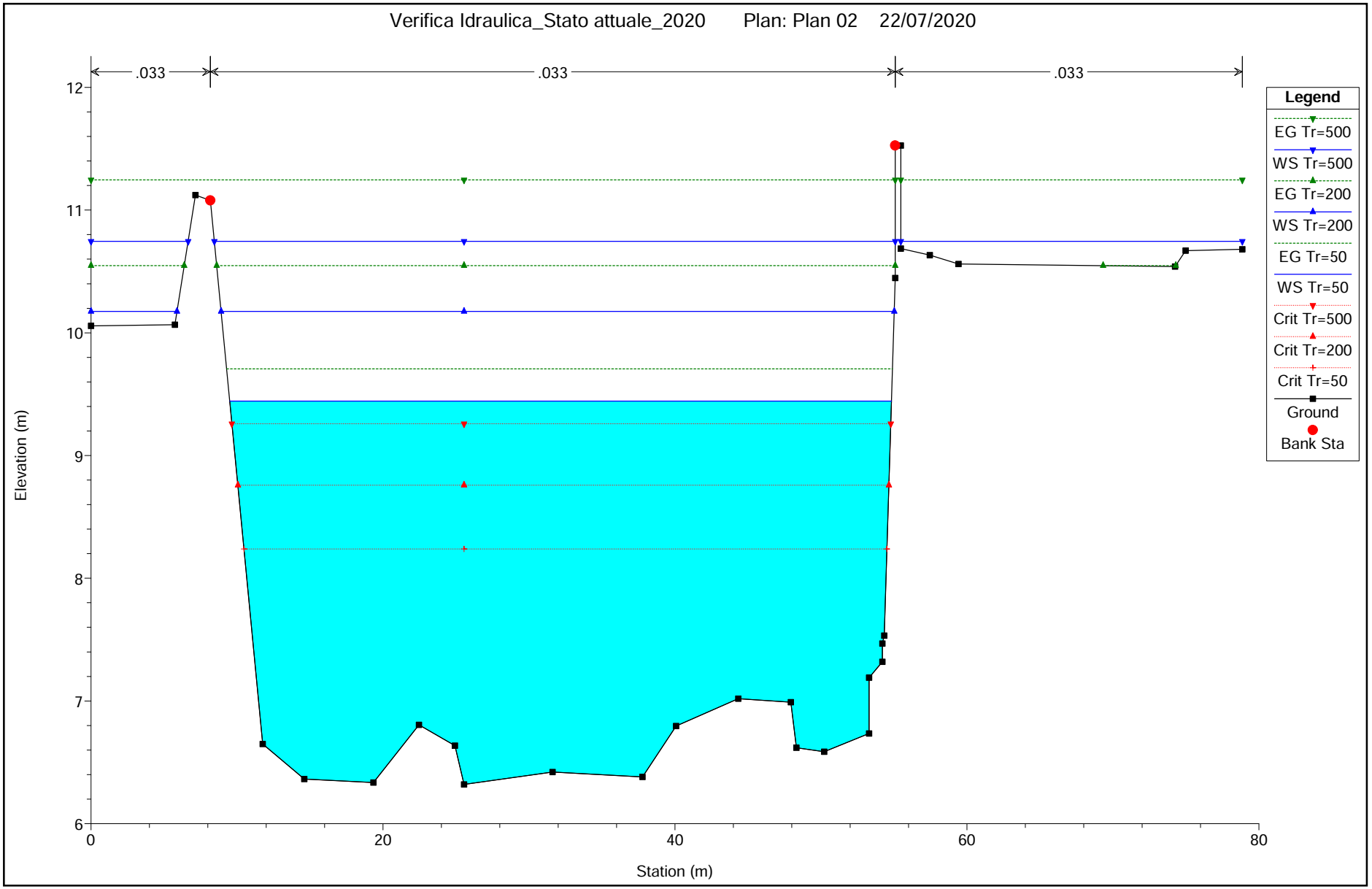

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
13
12
11
10
9
8
7
6
0
10
20
30
40
50
60
70

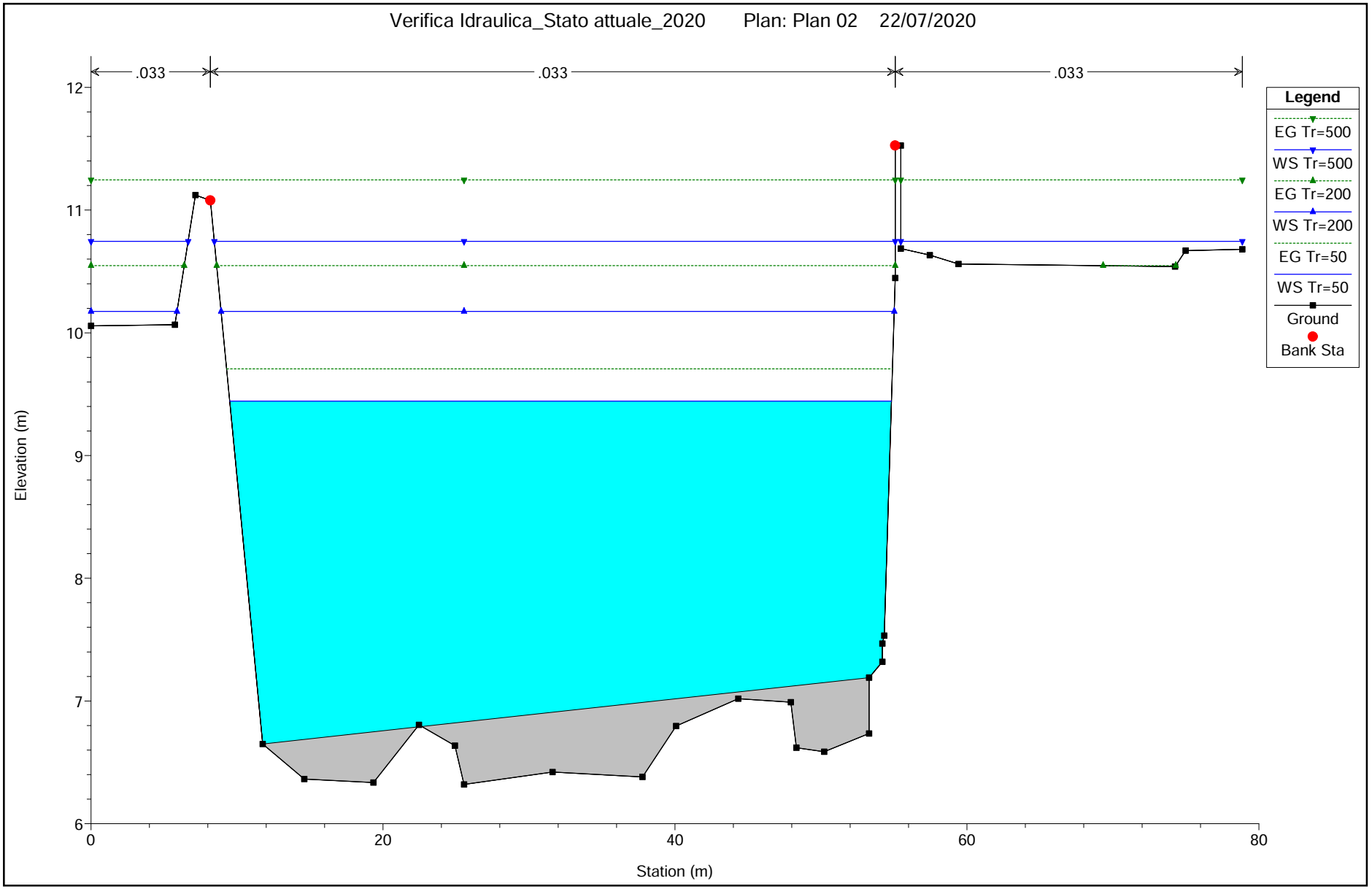

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
11
10
9
8
7
6
0
10
20
30
40
50
60
70

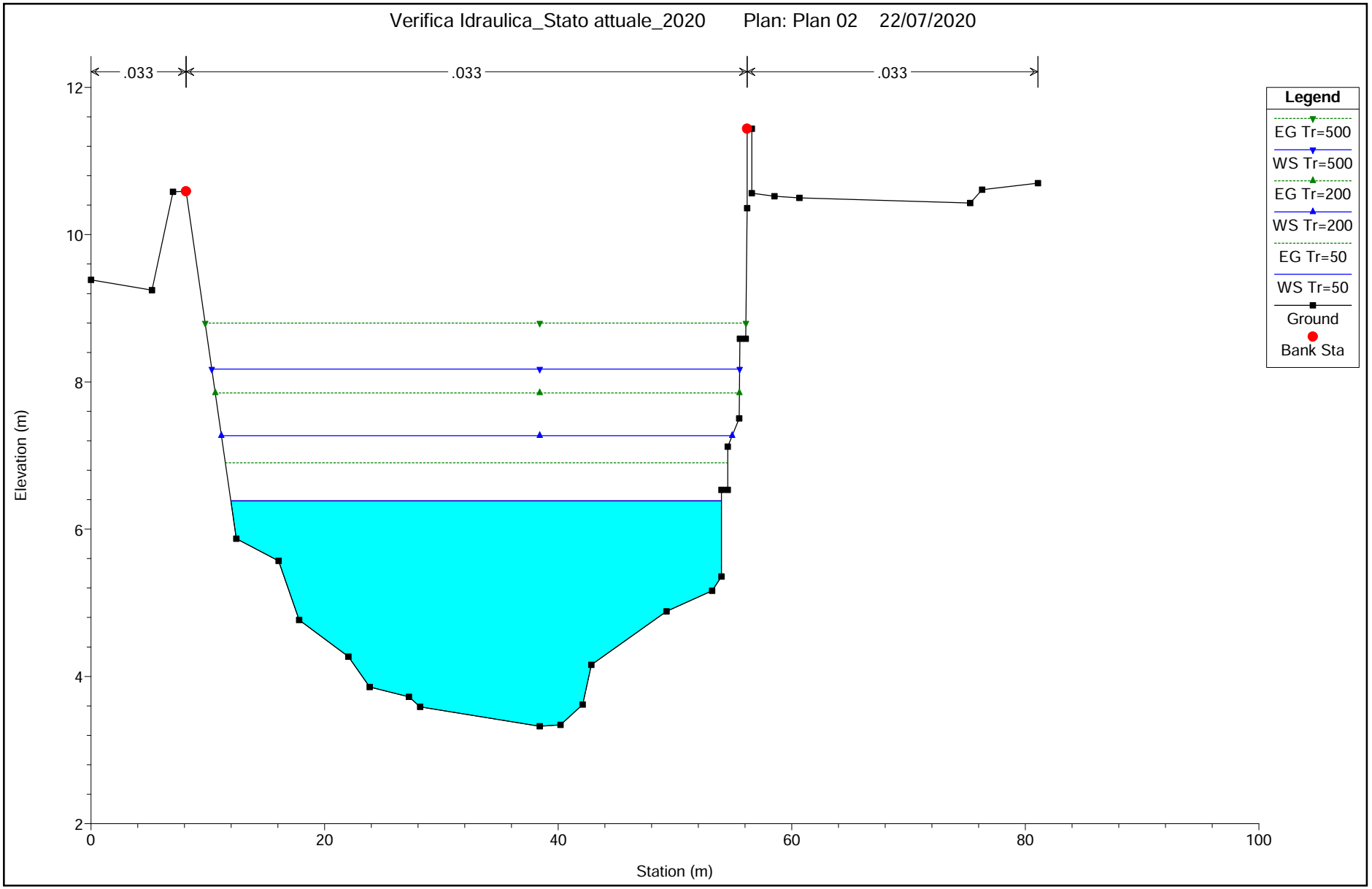

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
13
12
11
10
9
8
7
6
0
20
40
60
80

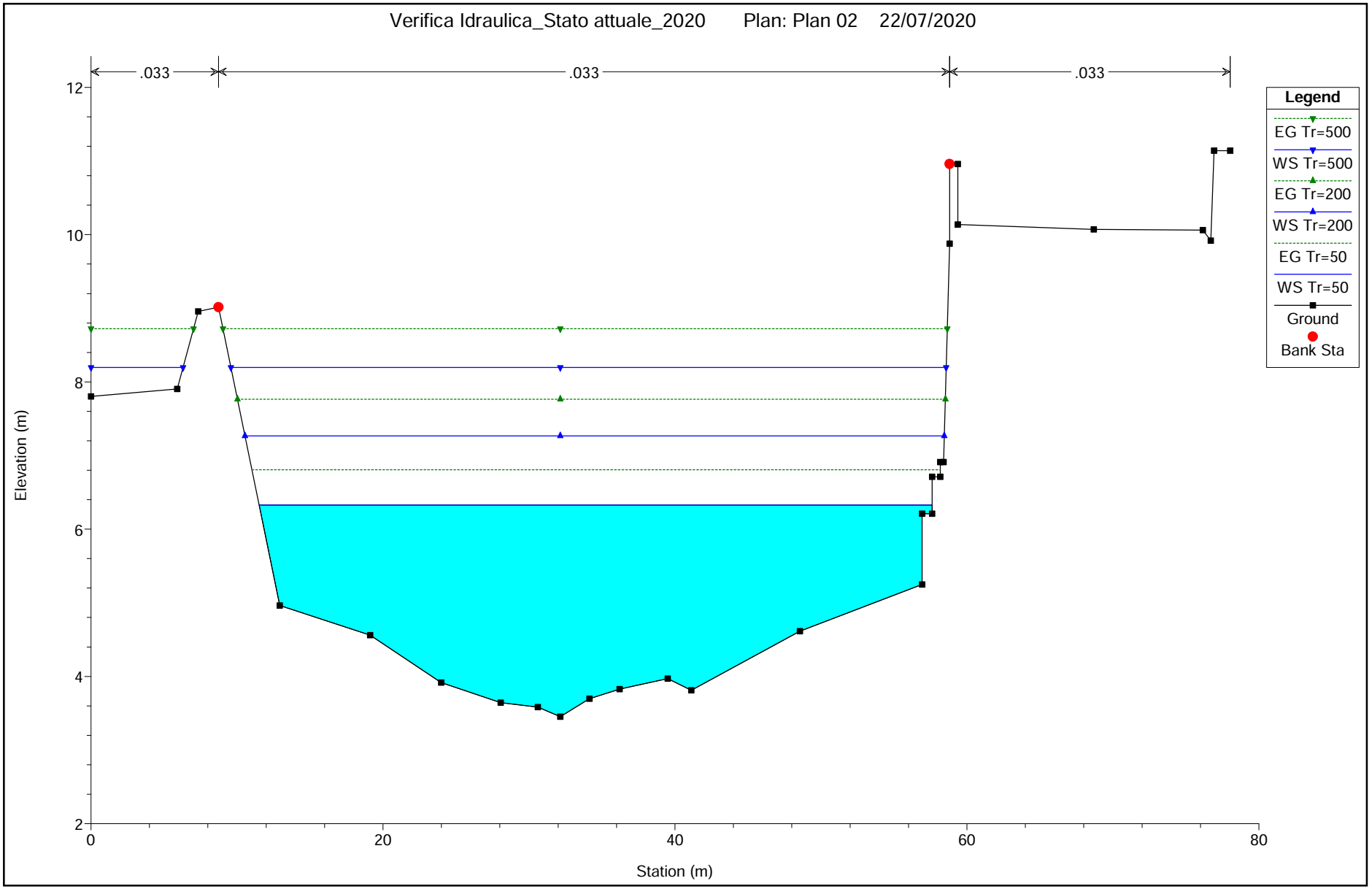

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
13
12
11
10
9
8
7
6
0
20
40
60
80

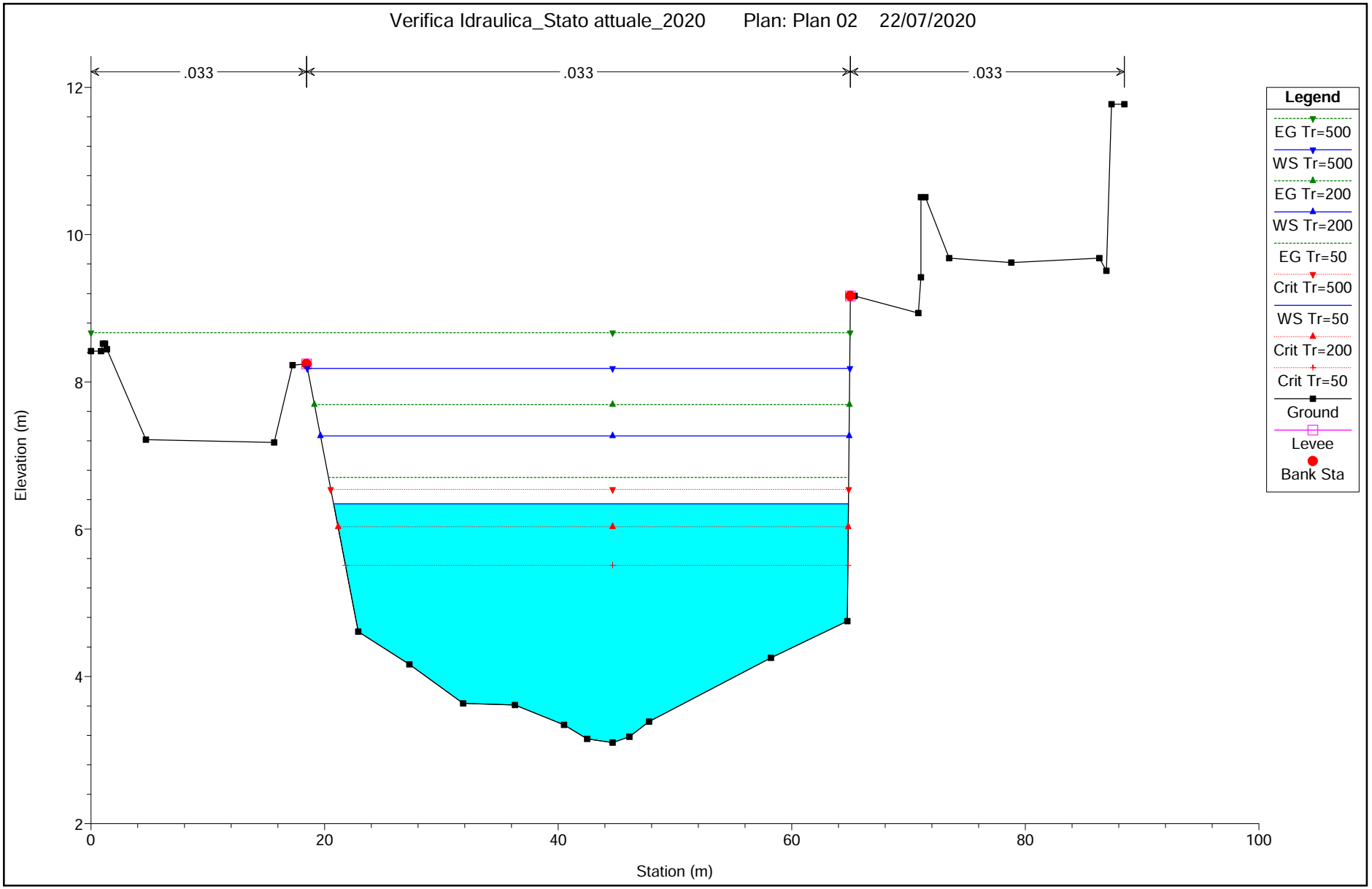

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
11
10
9
8
7
6
0
20
40
60
80

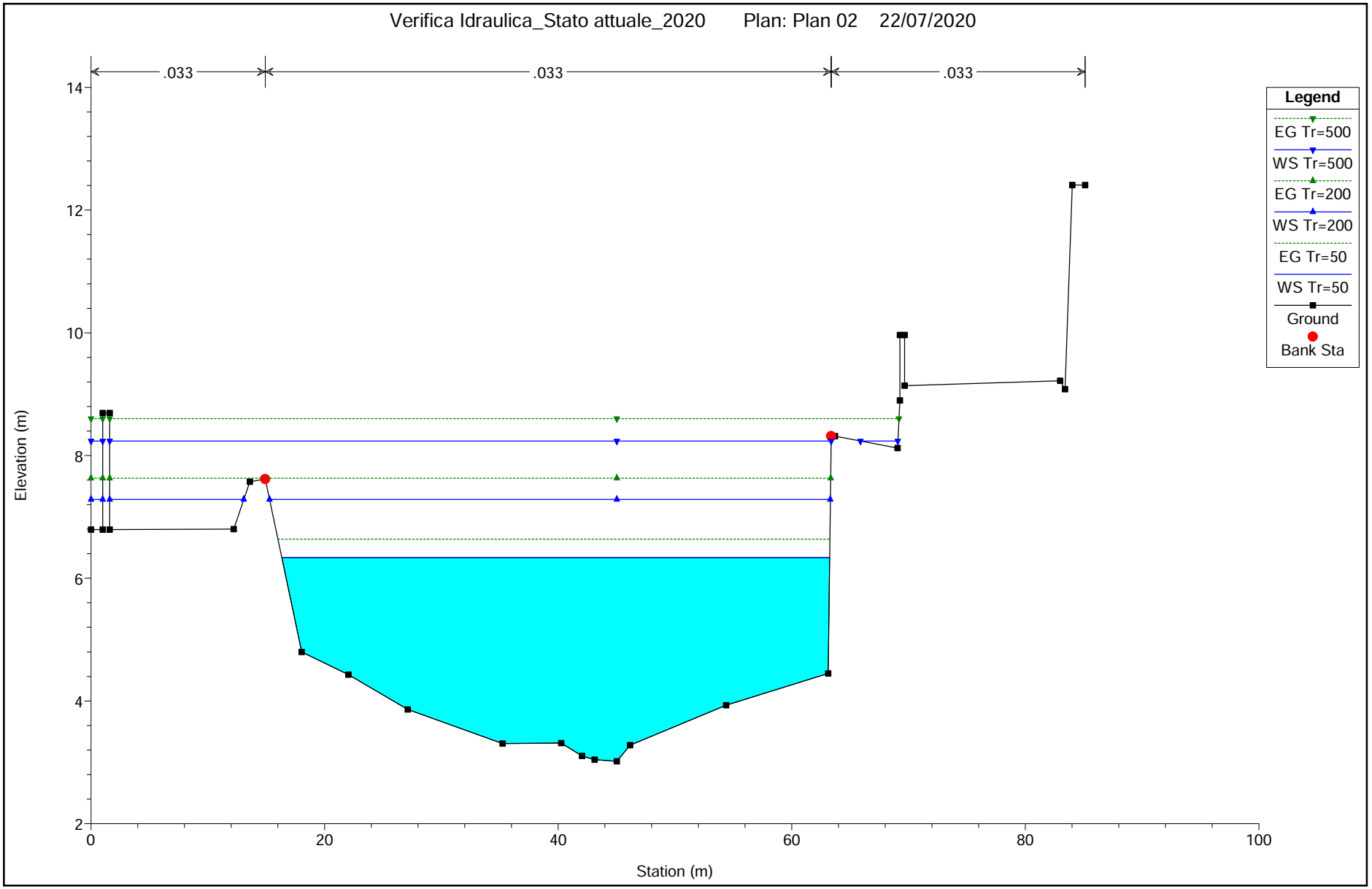

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
11
10
9
8
7
6
0
20
40
60
80

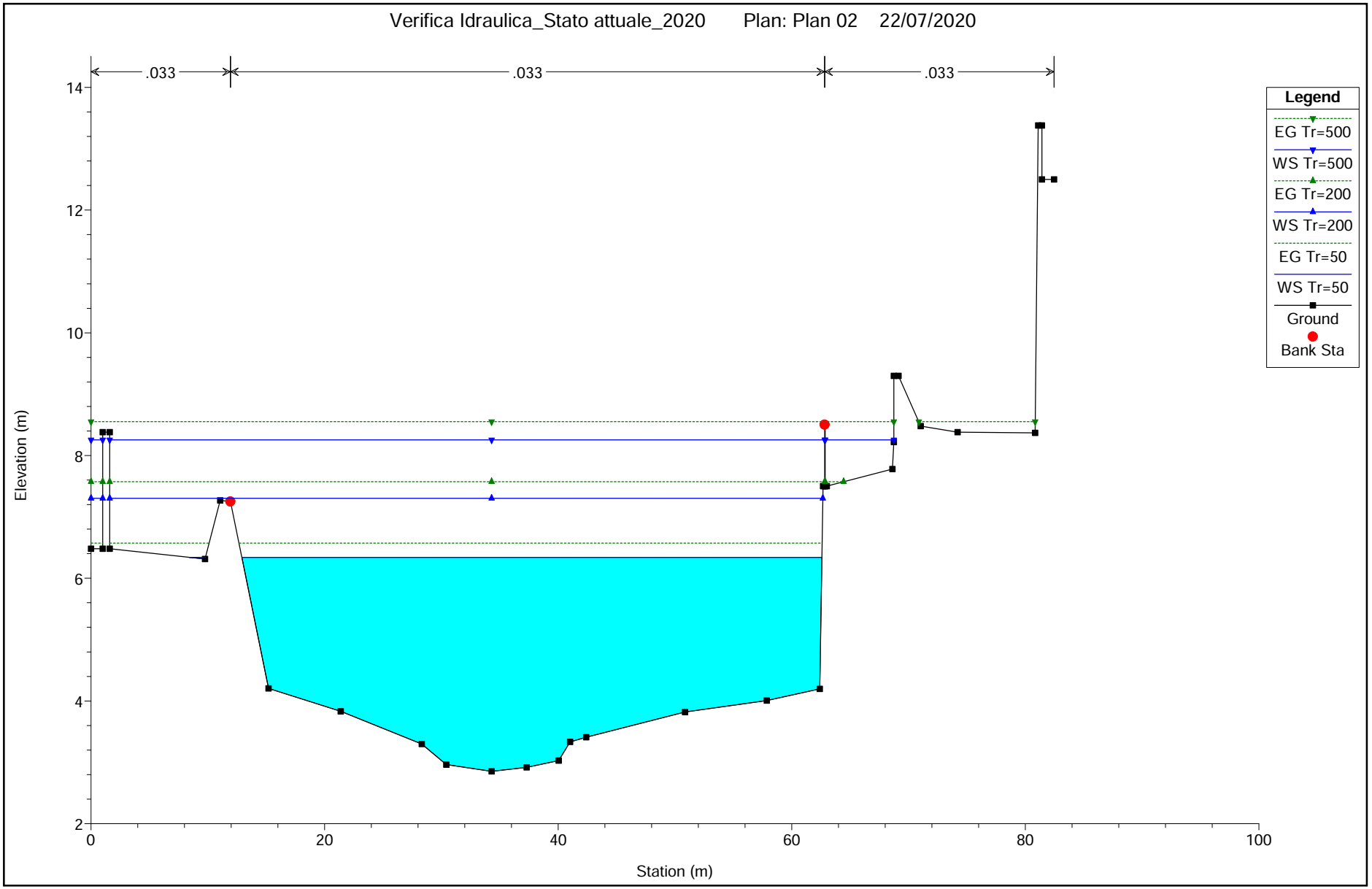

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
11
10
9
8
7
6
0
20
40
60
80

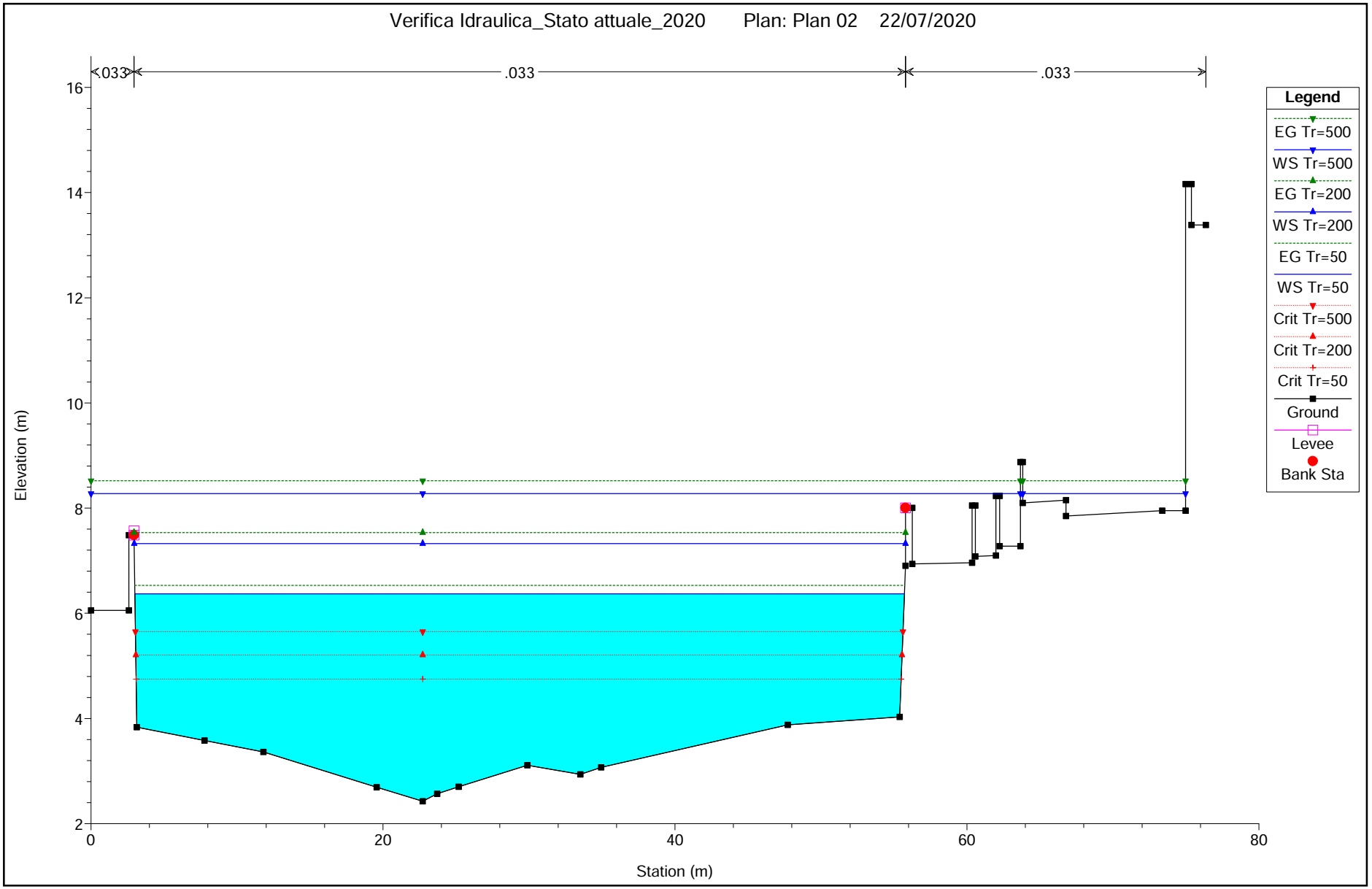

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
100

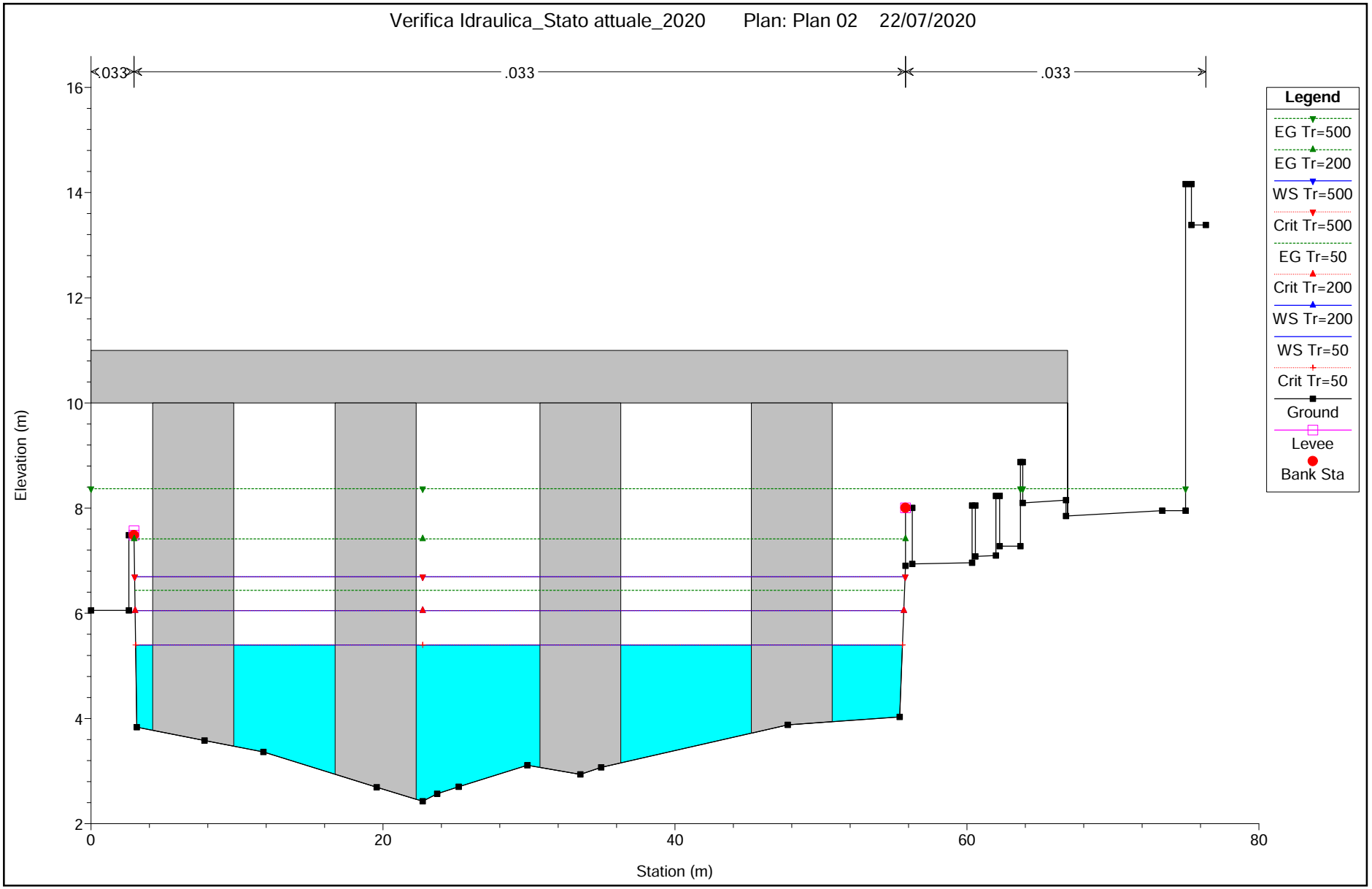

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80

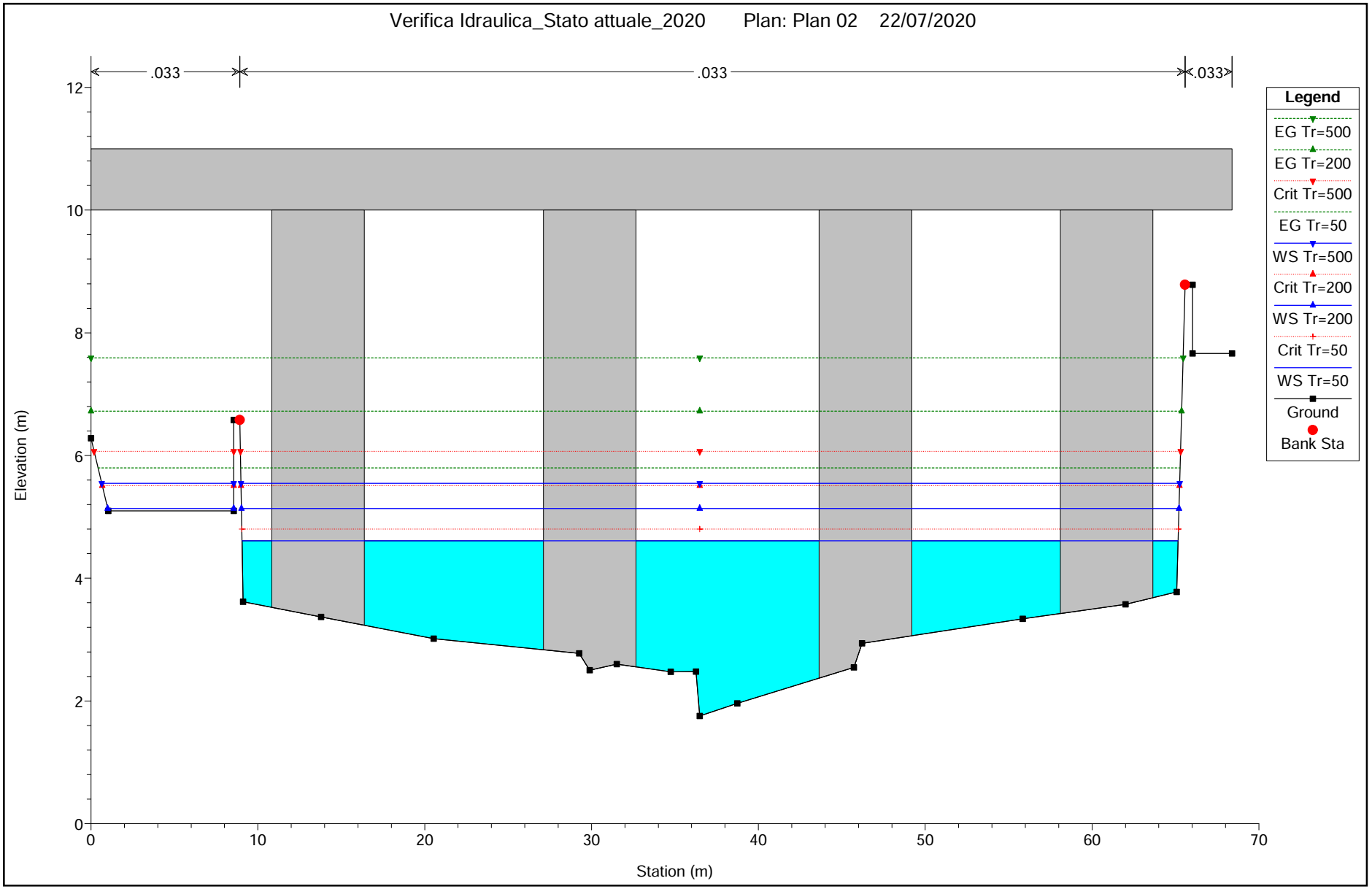

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
100

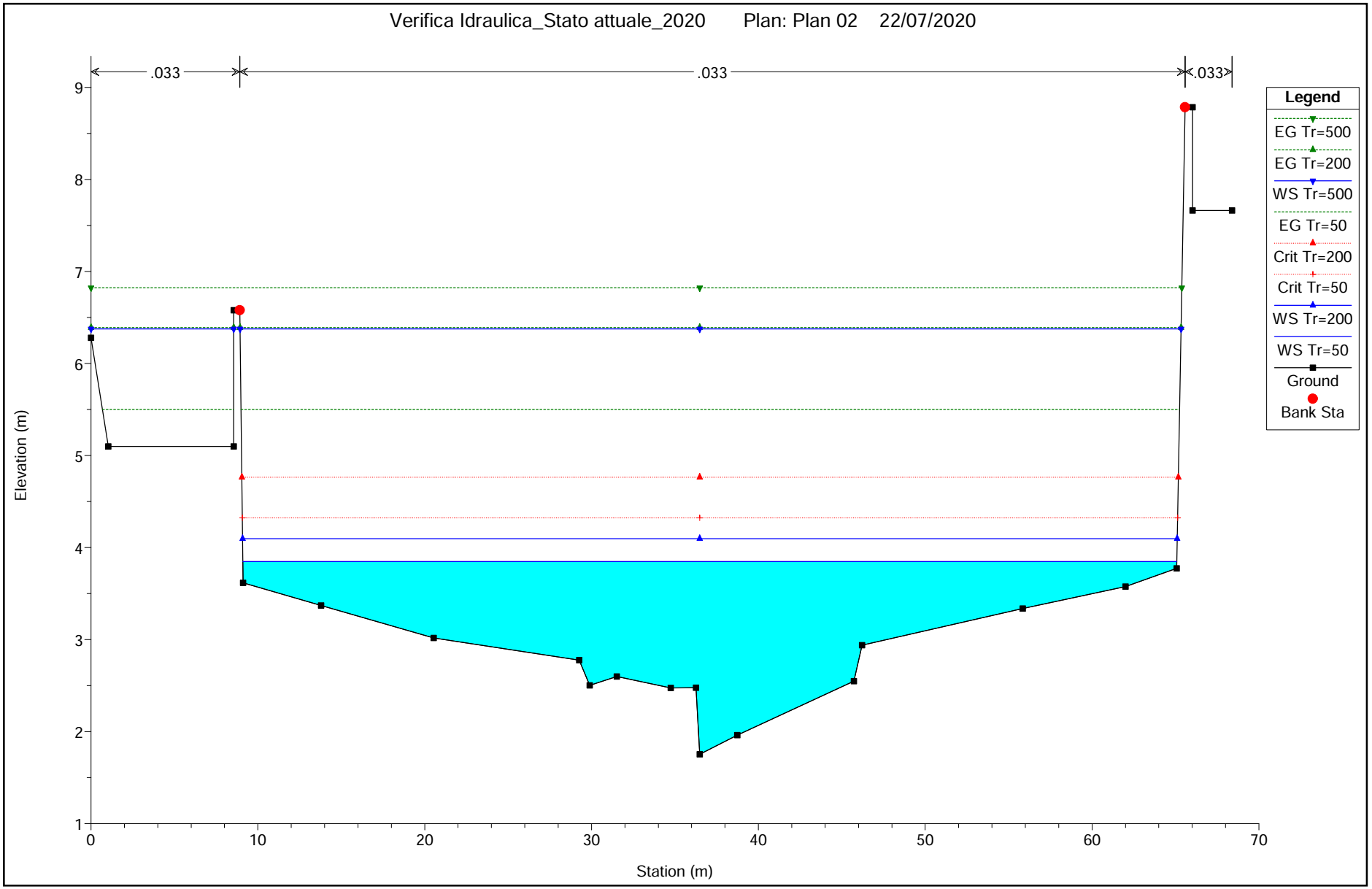

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
2
4
6
8
10
12
14
0
20
40
60
80
100

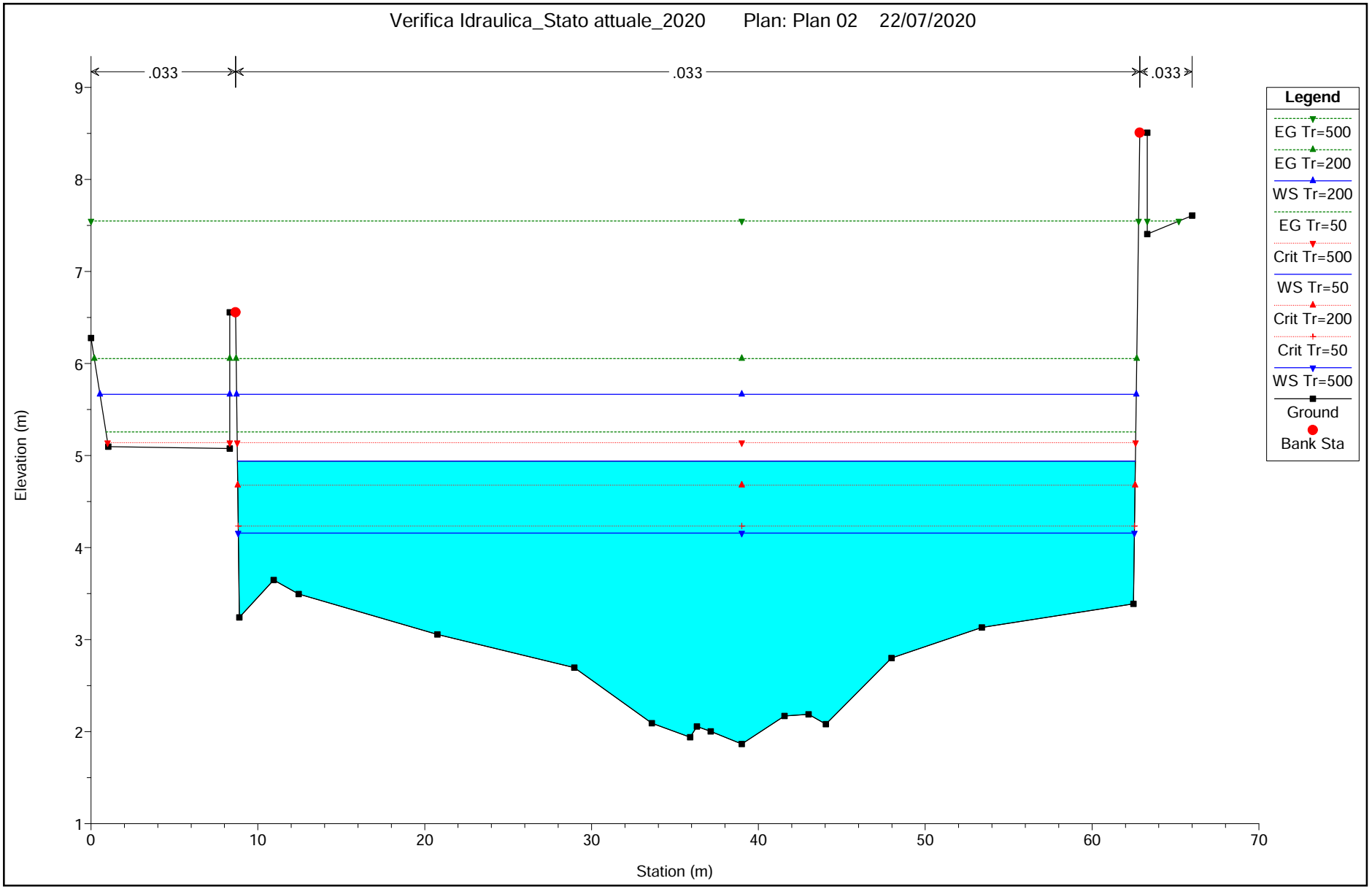

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
2
4
6
8
10
12
14
0
20
40
60
80
100

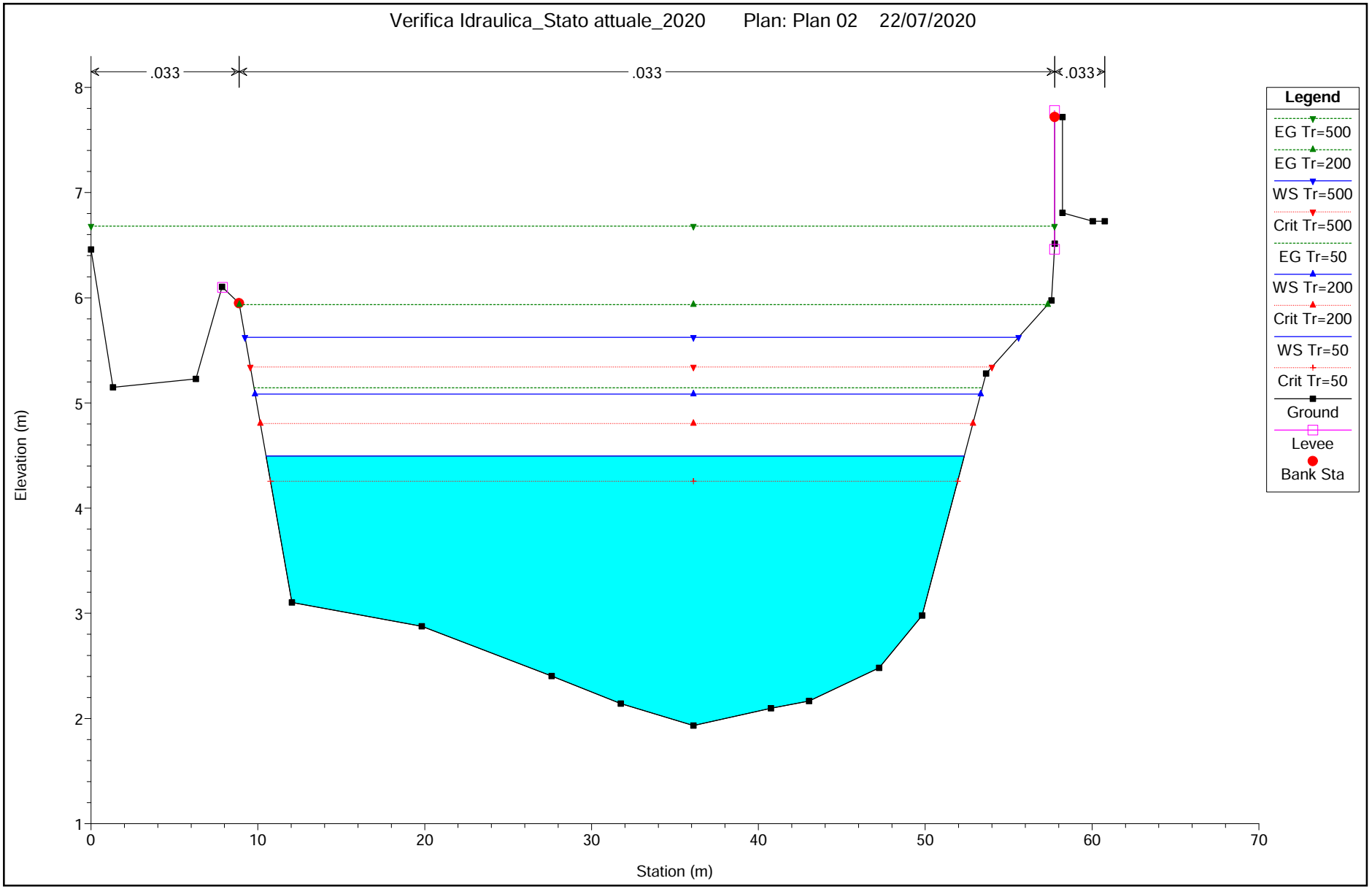

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80

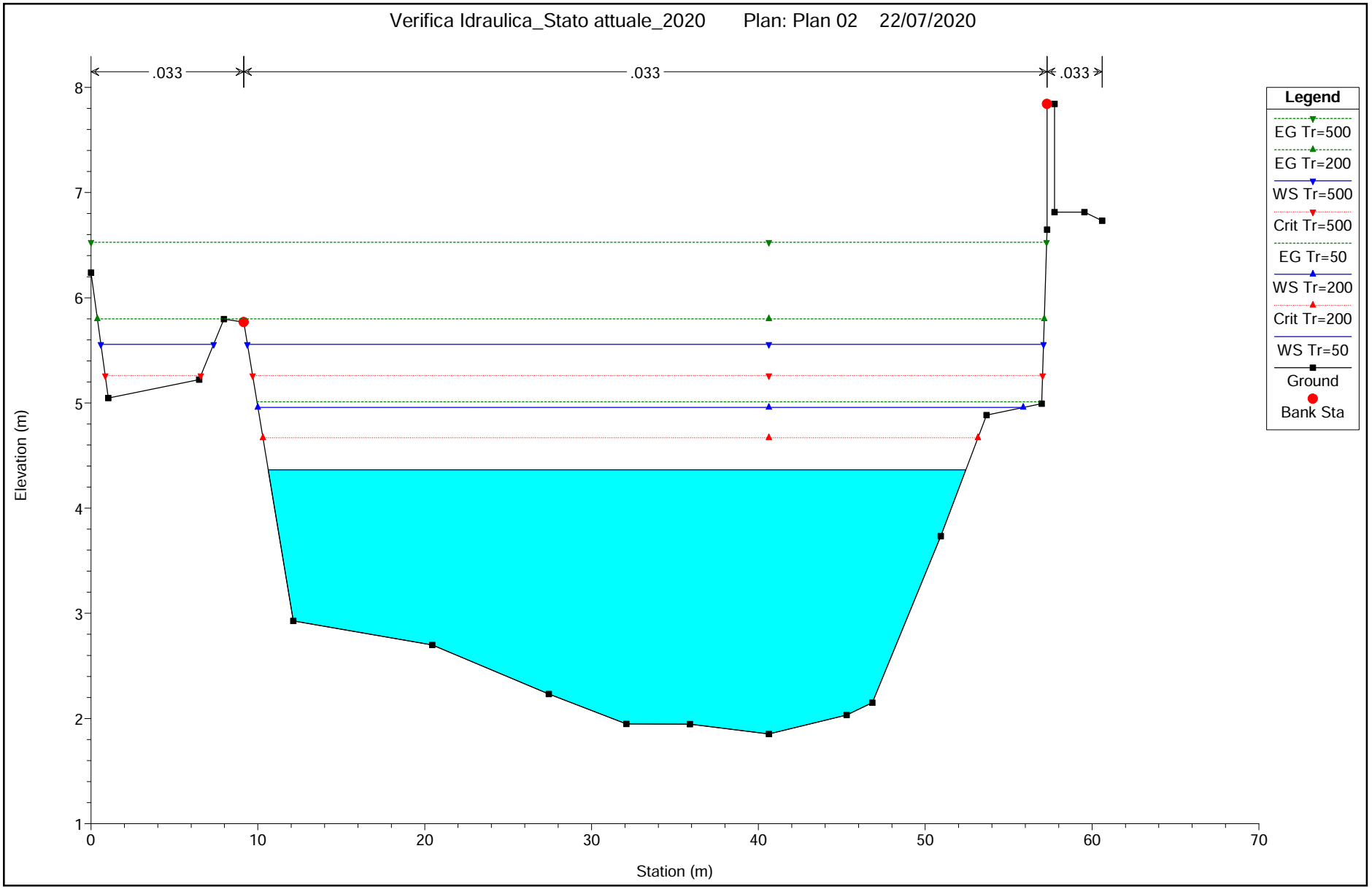

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
2
4
6
8
10
12
14
16
0
20
40
60
80

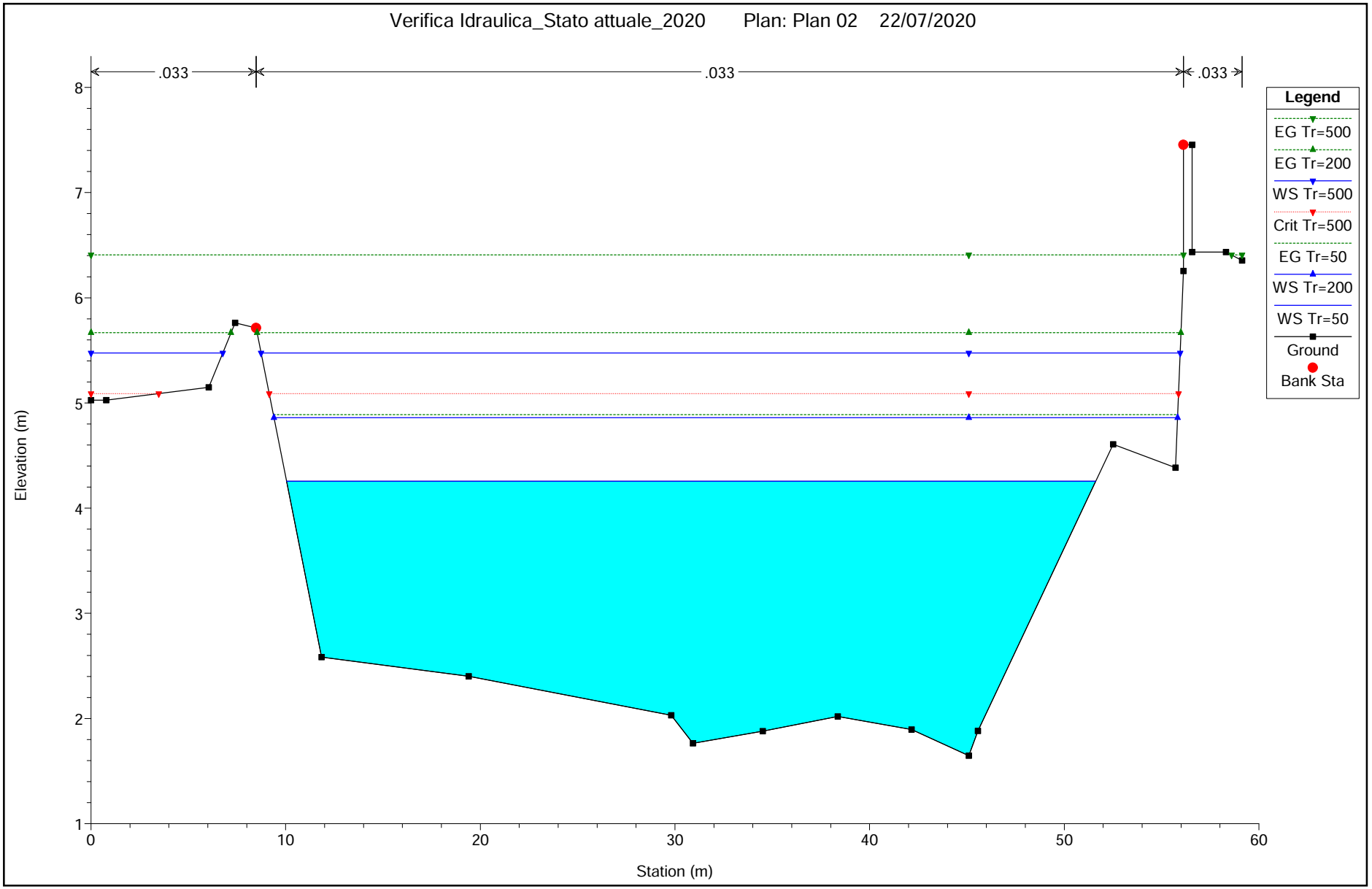

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=500
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
2
4
6
8
10
12
0
10
20
30
40
50
60
70

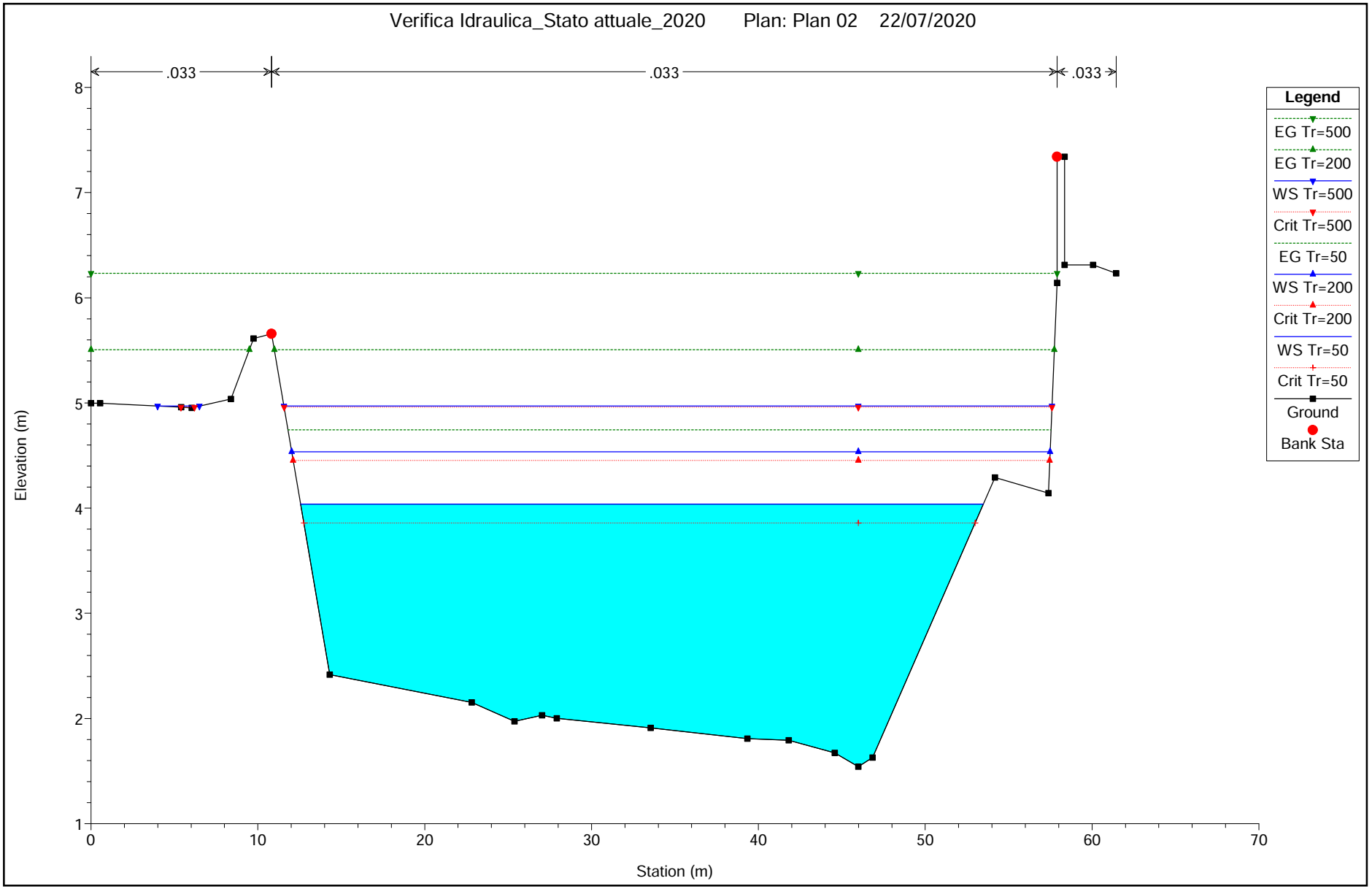

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
10
20
30
40
50
60
70

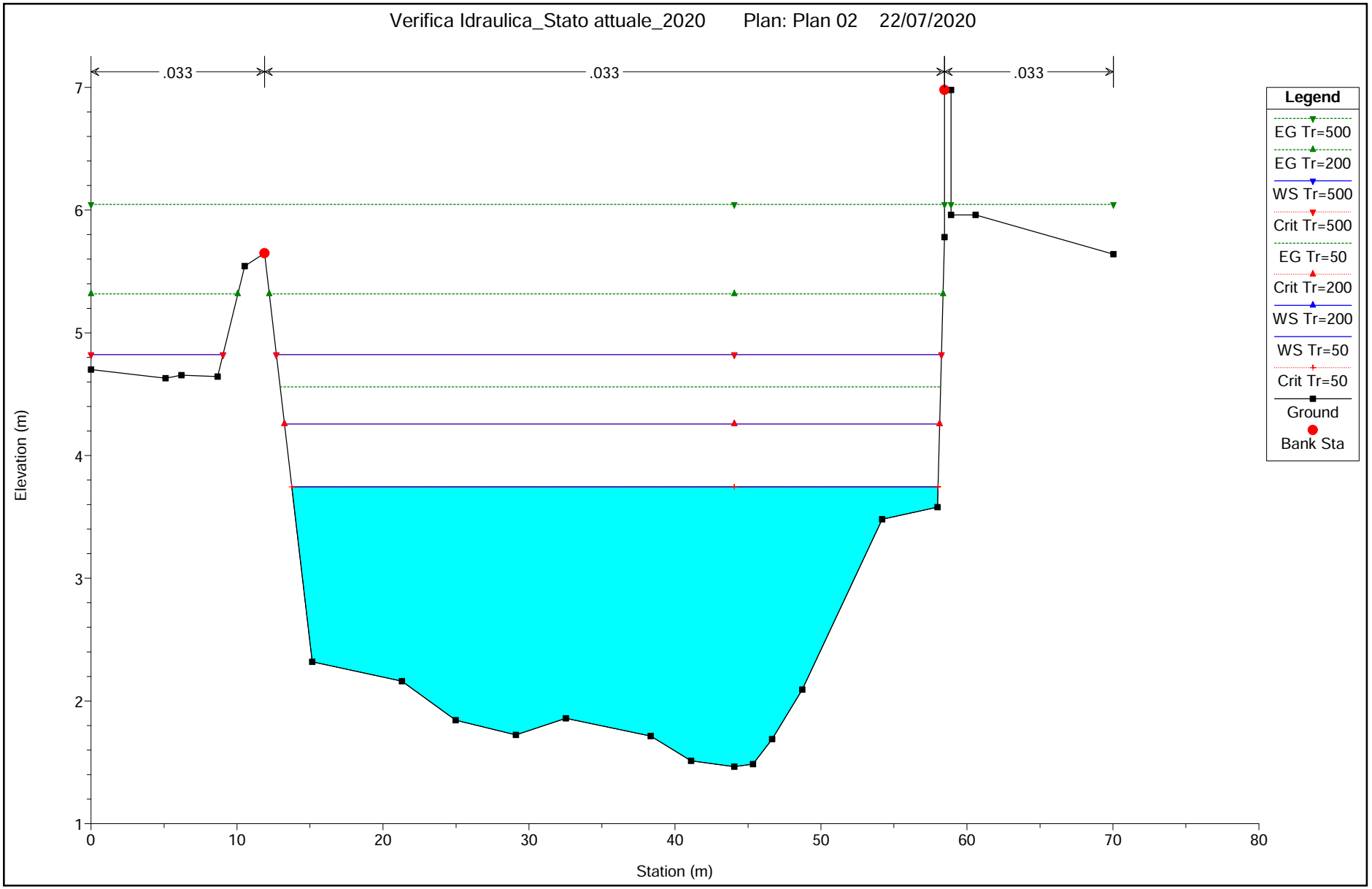

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=500
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
10
20
30
40
50
60
70

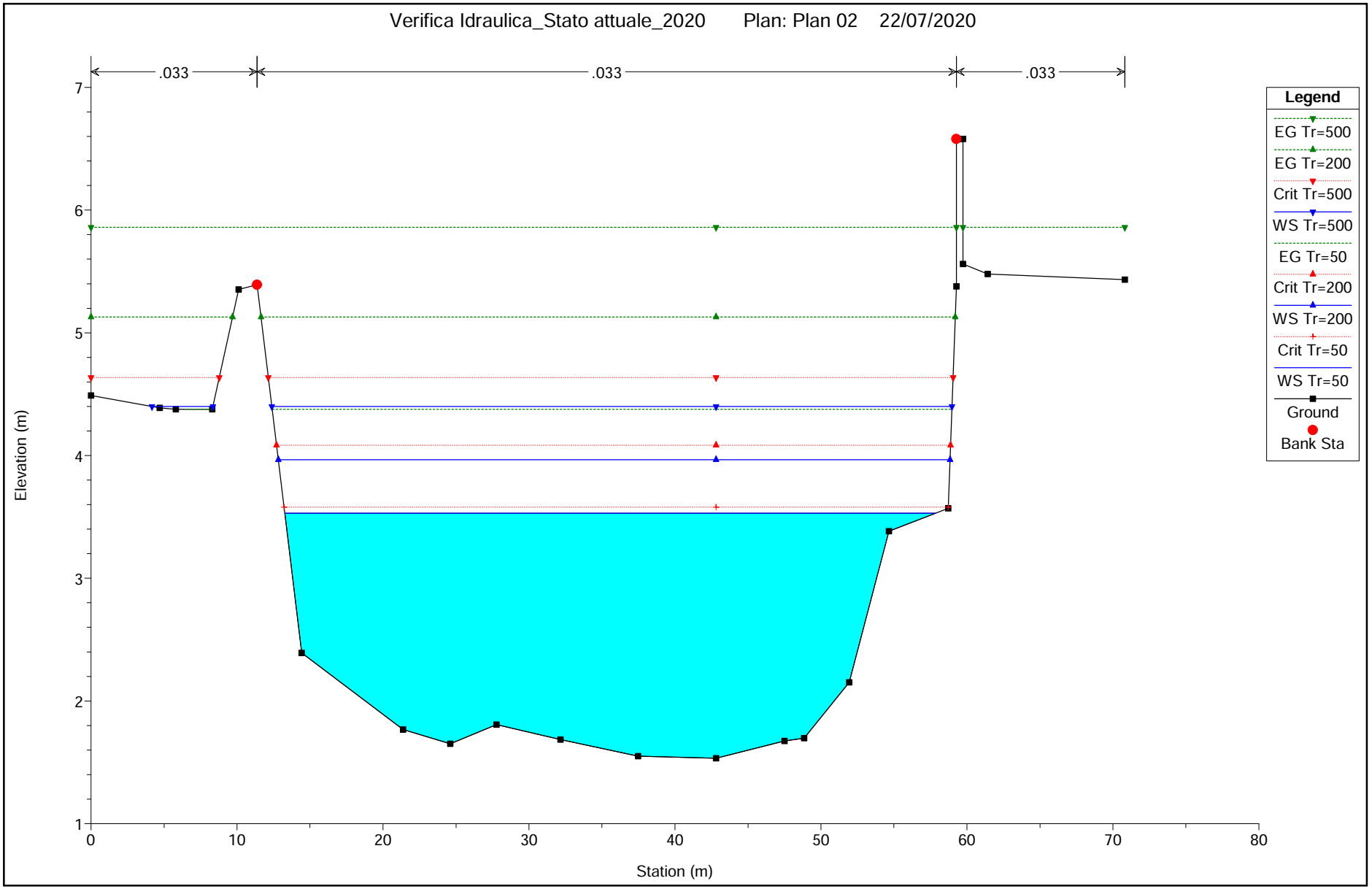

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
8
0
10
20
30
40
50
60
70

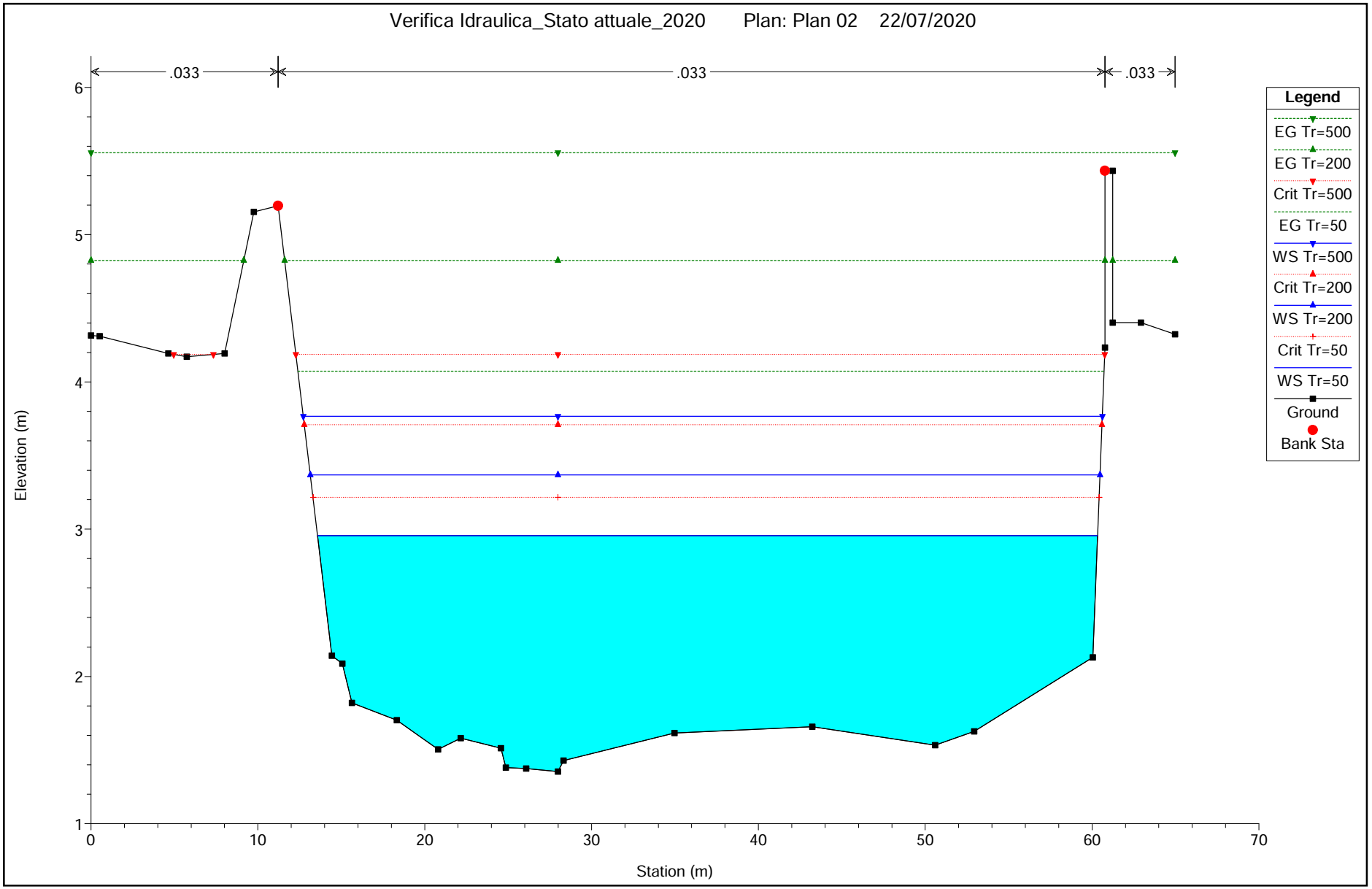

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
8
0
10
20
30
40
50
60
70

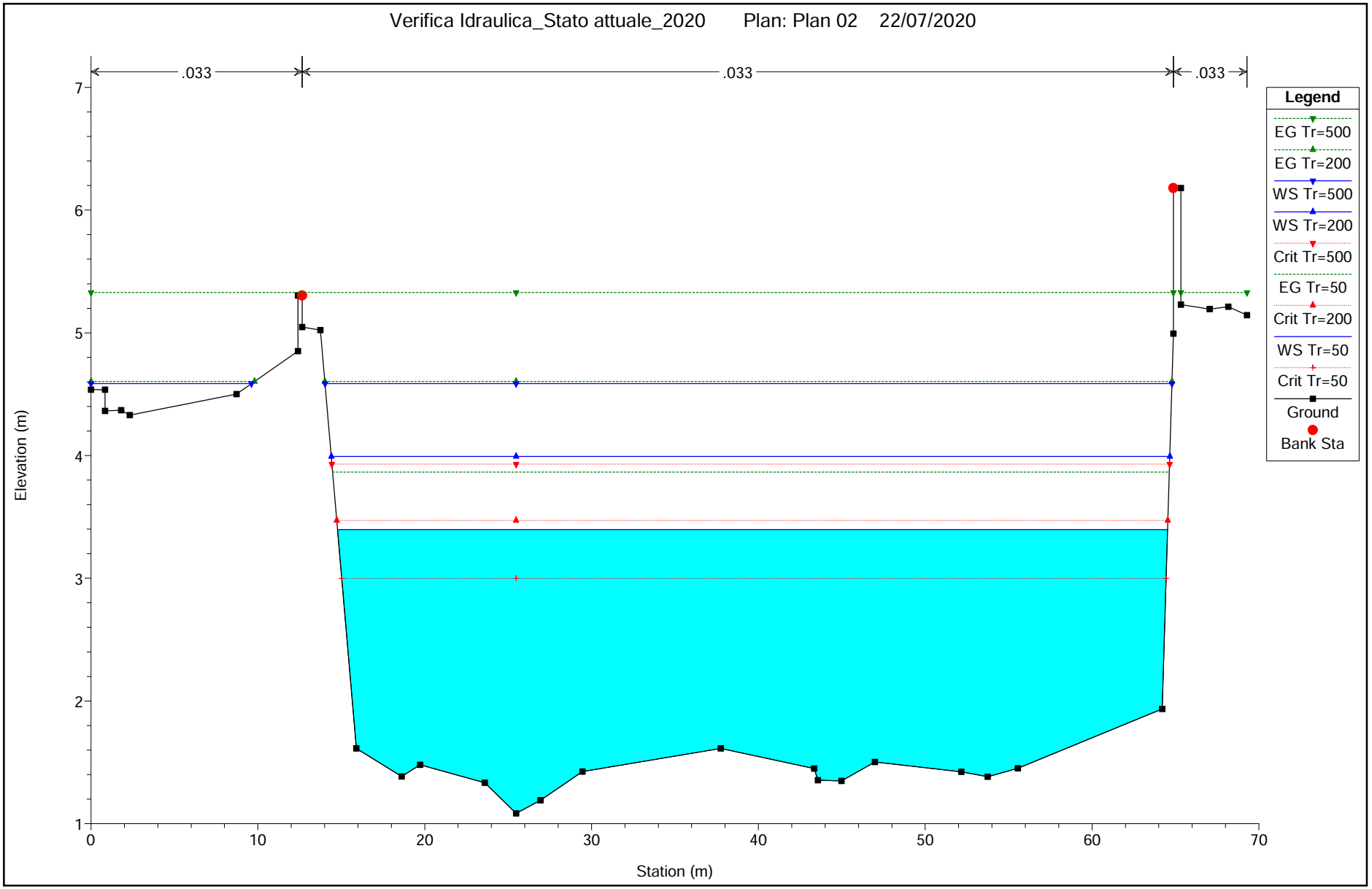

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
8
0
10
20
30
40
50
60

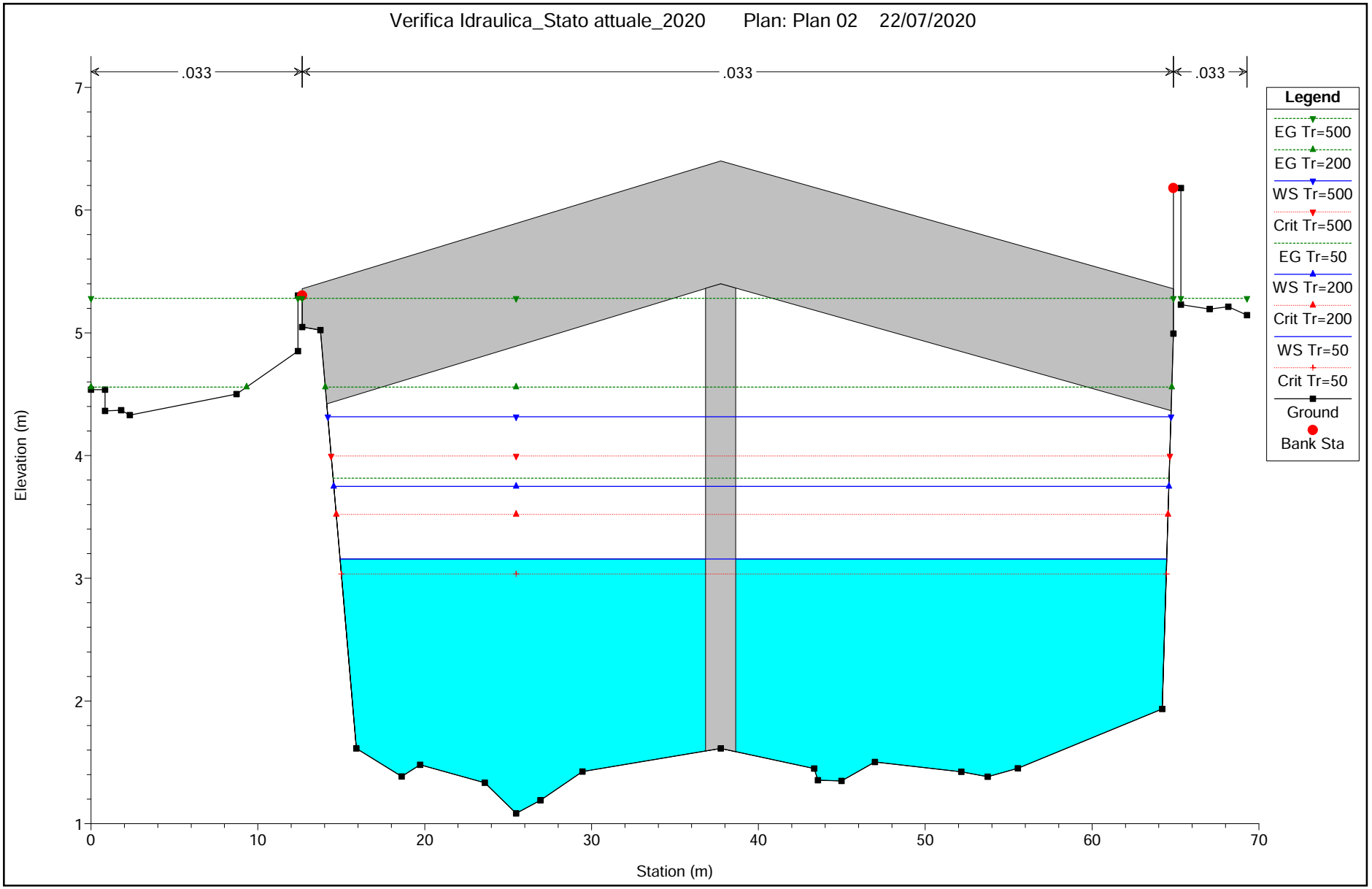

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
8
0
10
20
30
40
50
60
70

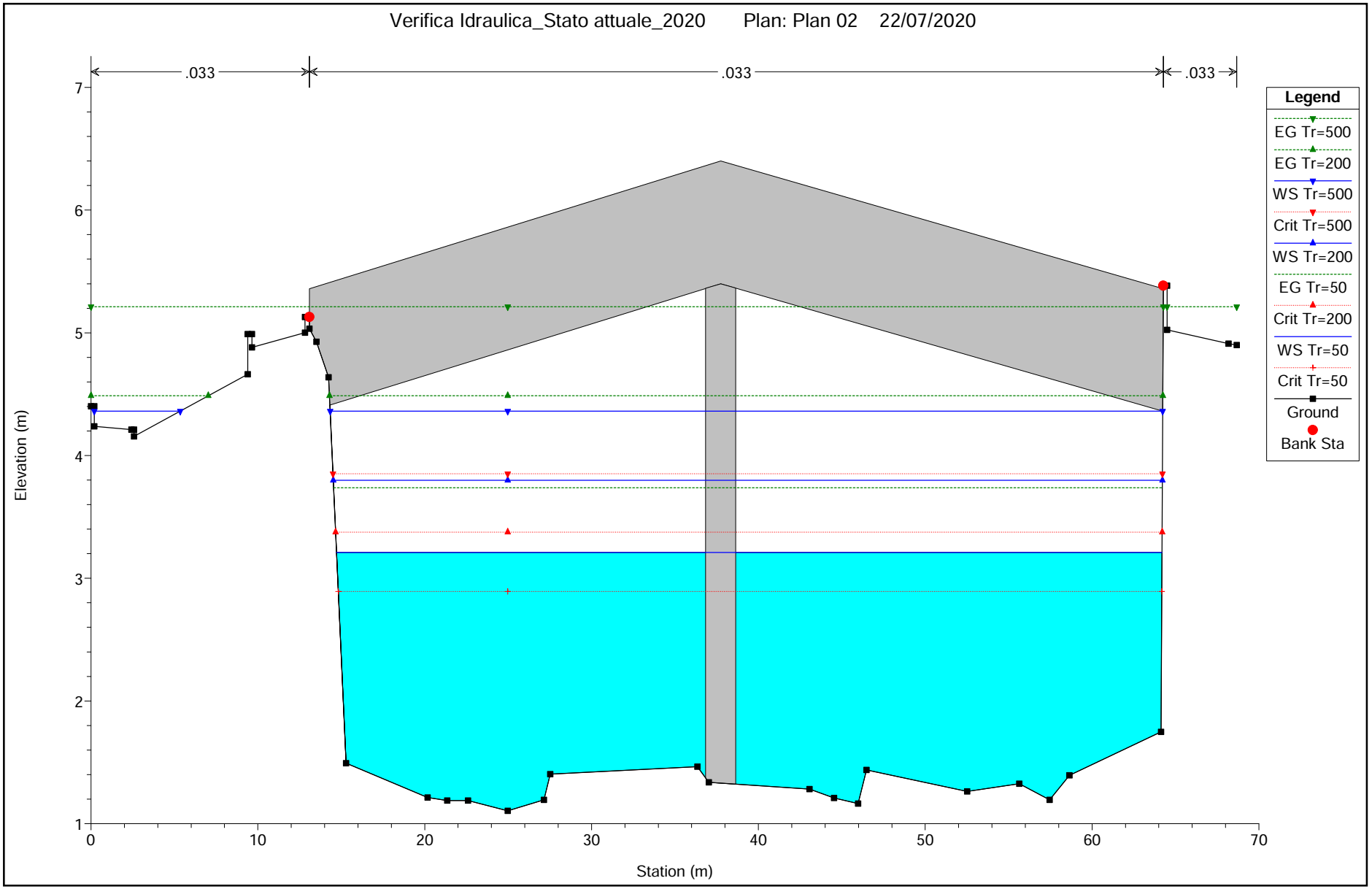

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40
50
60
70
80

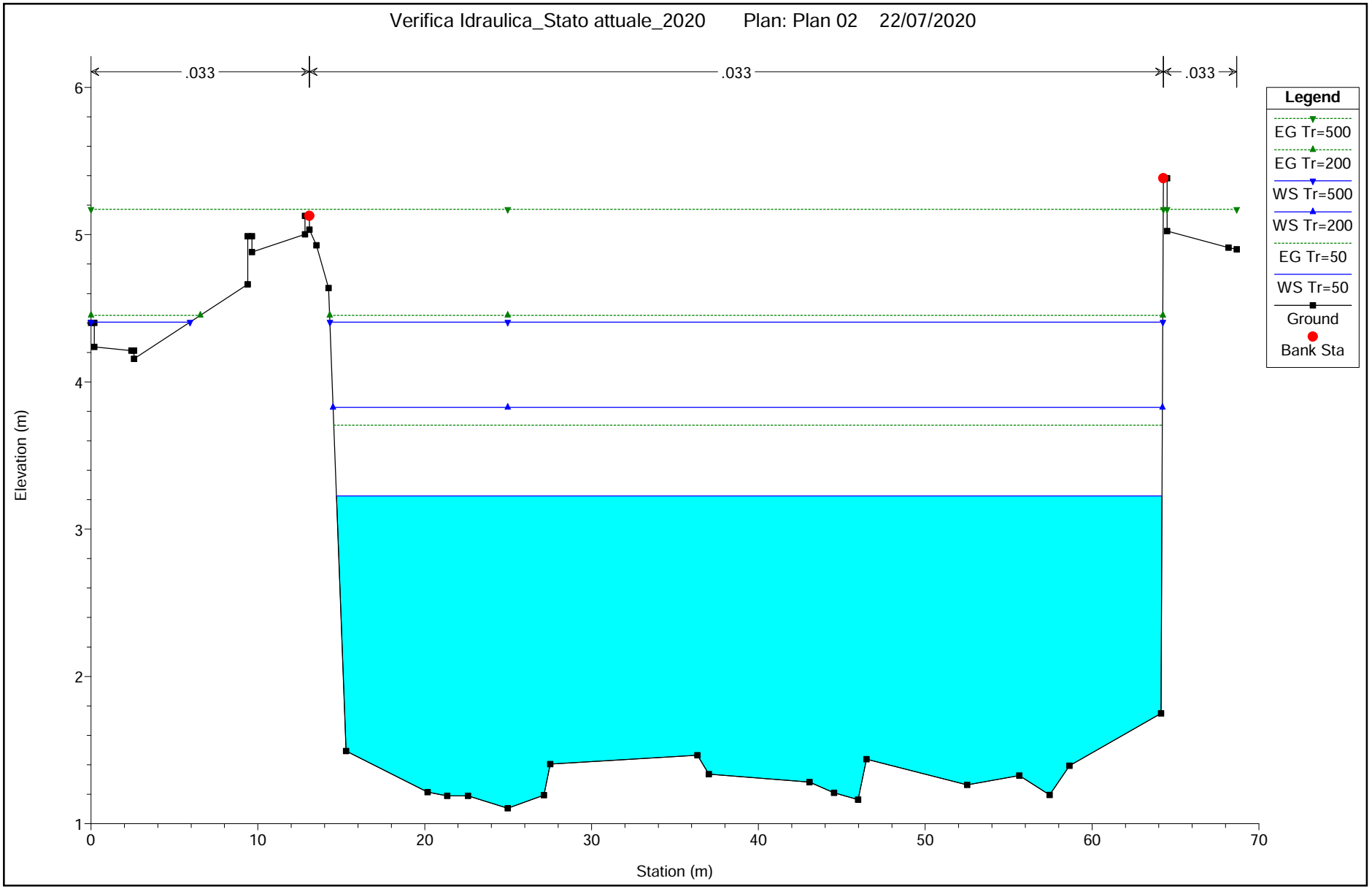

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40
50
60
70
80

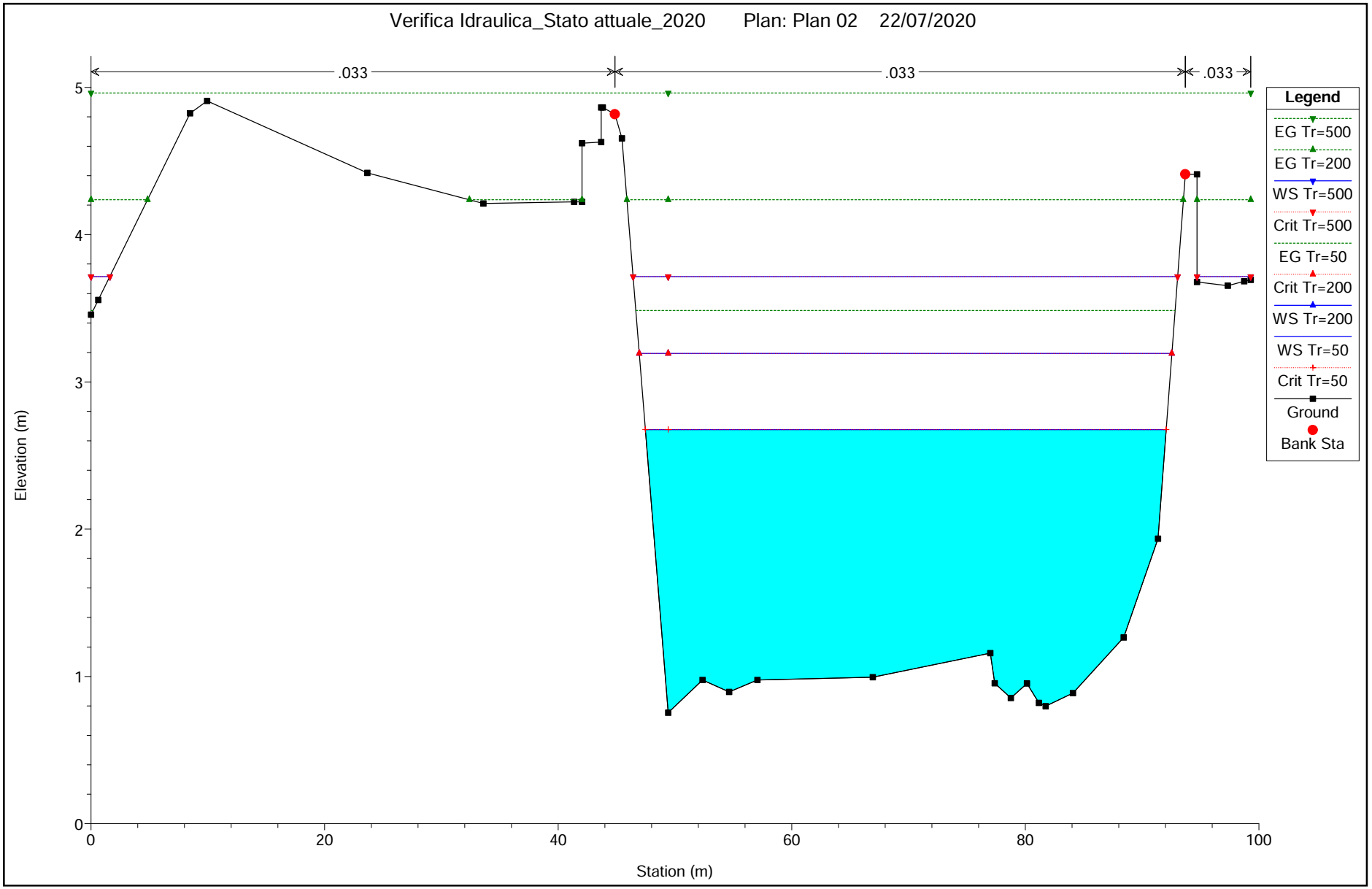

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=500
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
0
10
20
30
40
50
60
70

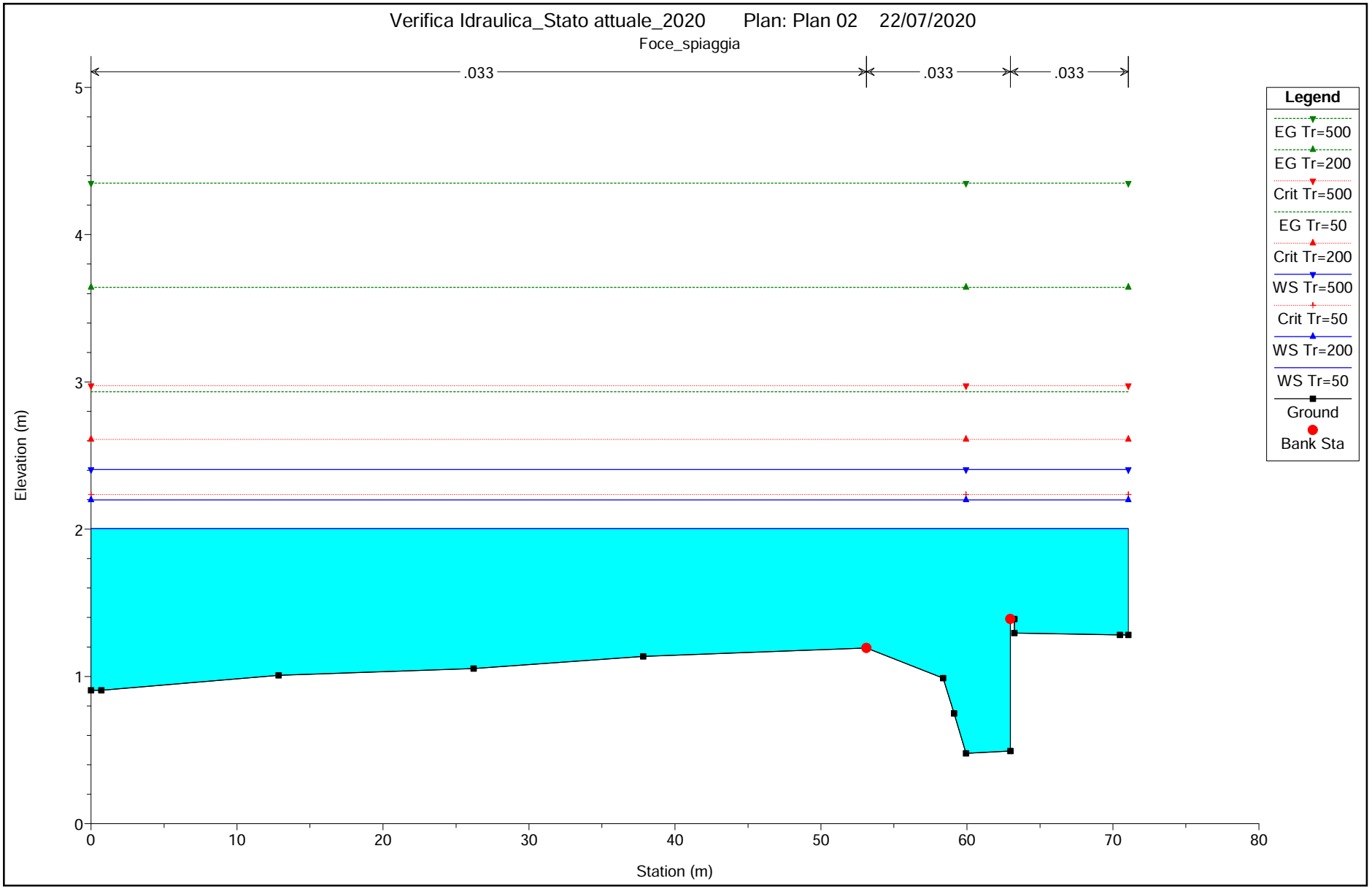

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
WS Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40
50
60
70


Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
0
10
20
30
40
50
60
70
1
2
3
4
5
6
7
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta

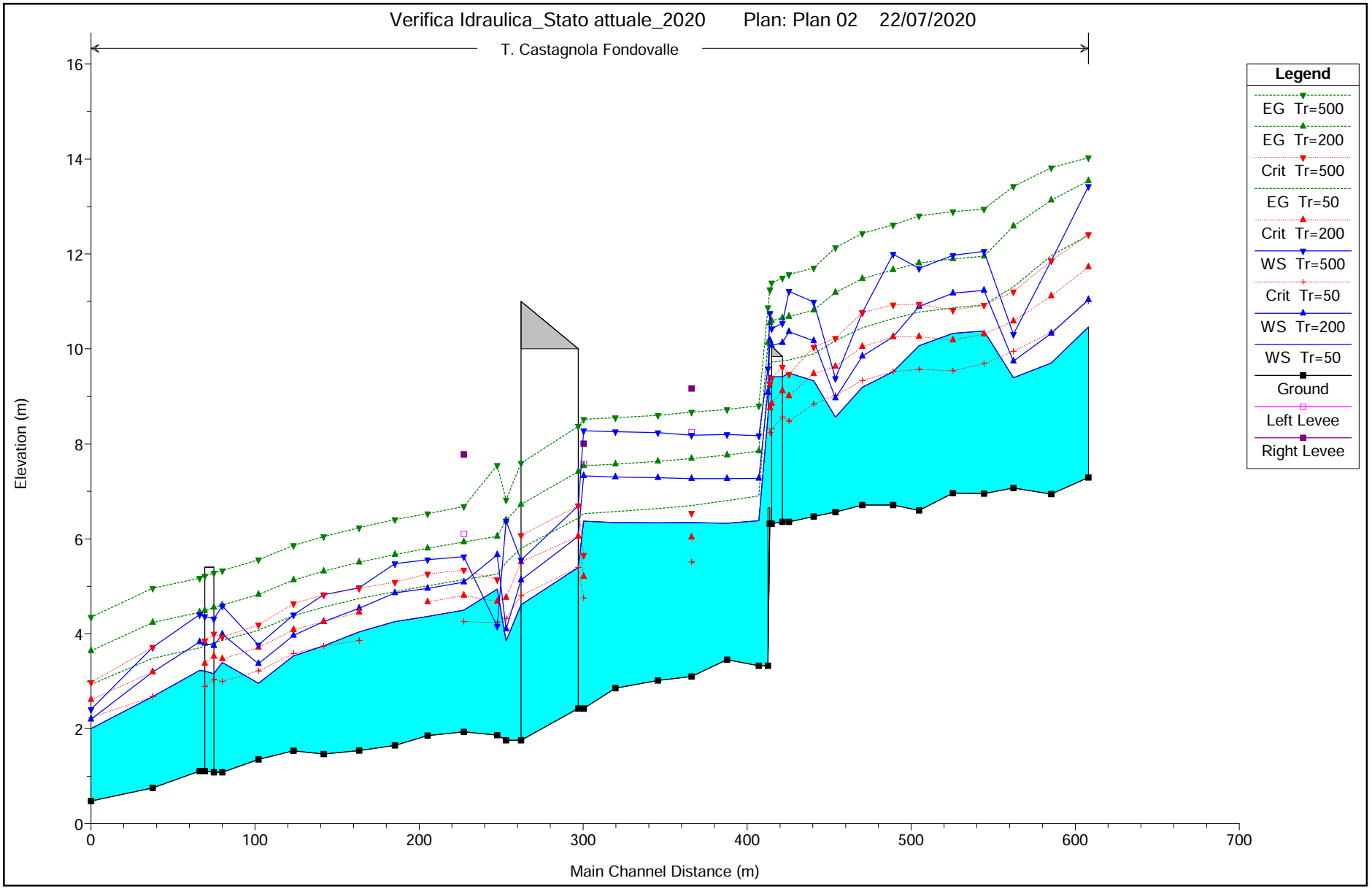

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40
50
60
70


Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
0
10
20
30
40
50
60
70

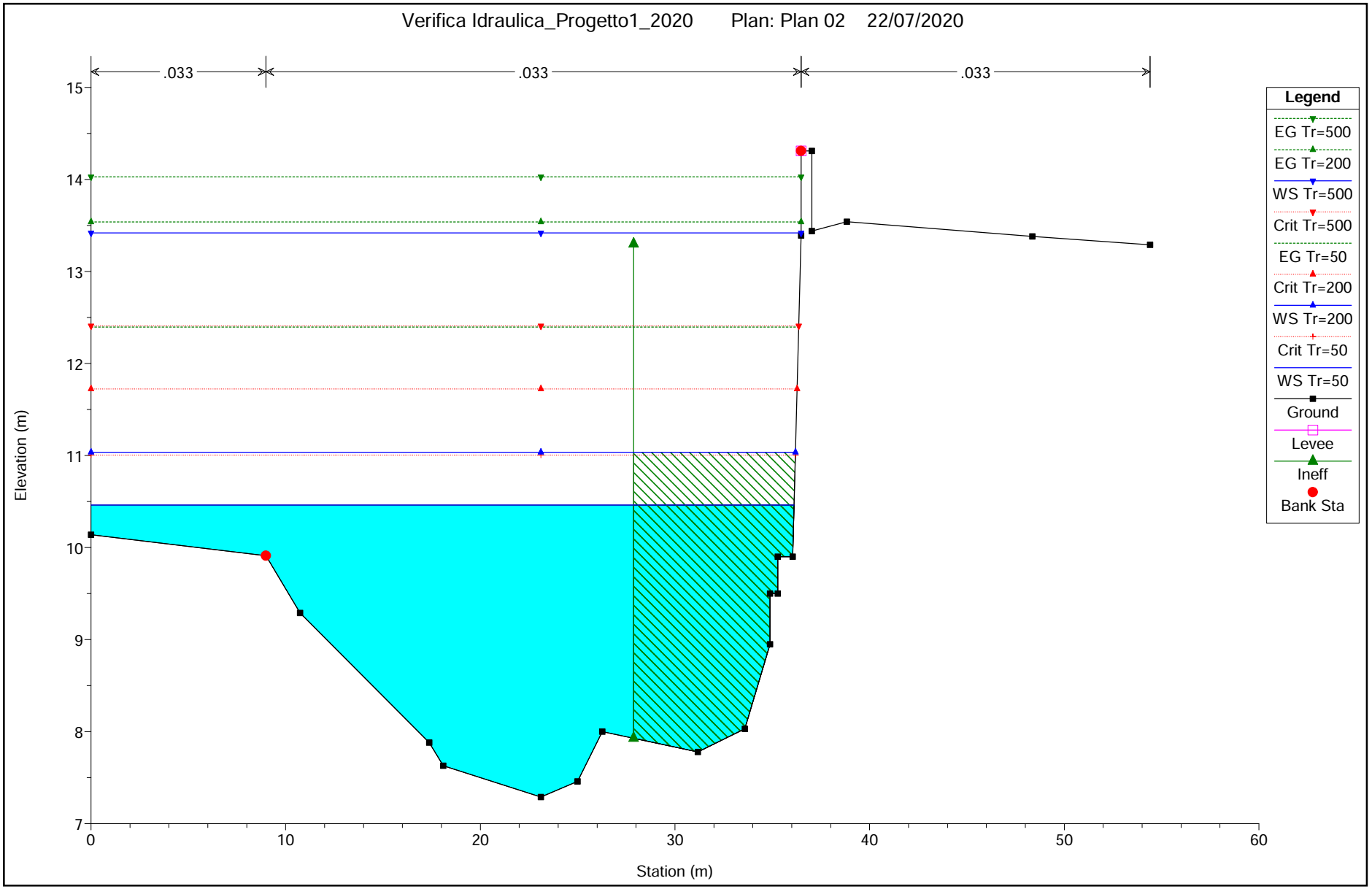

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
20
40
60
80
100

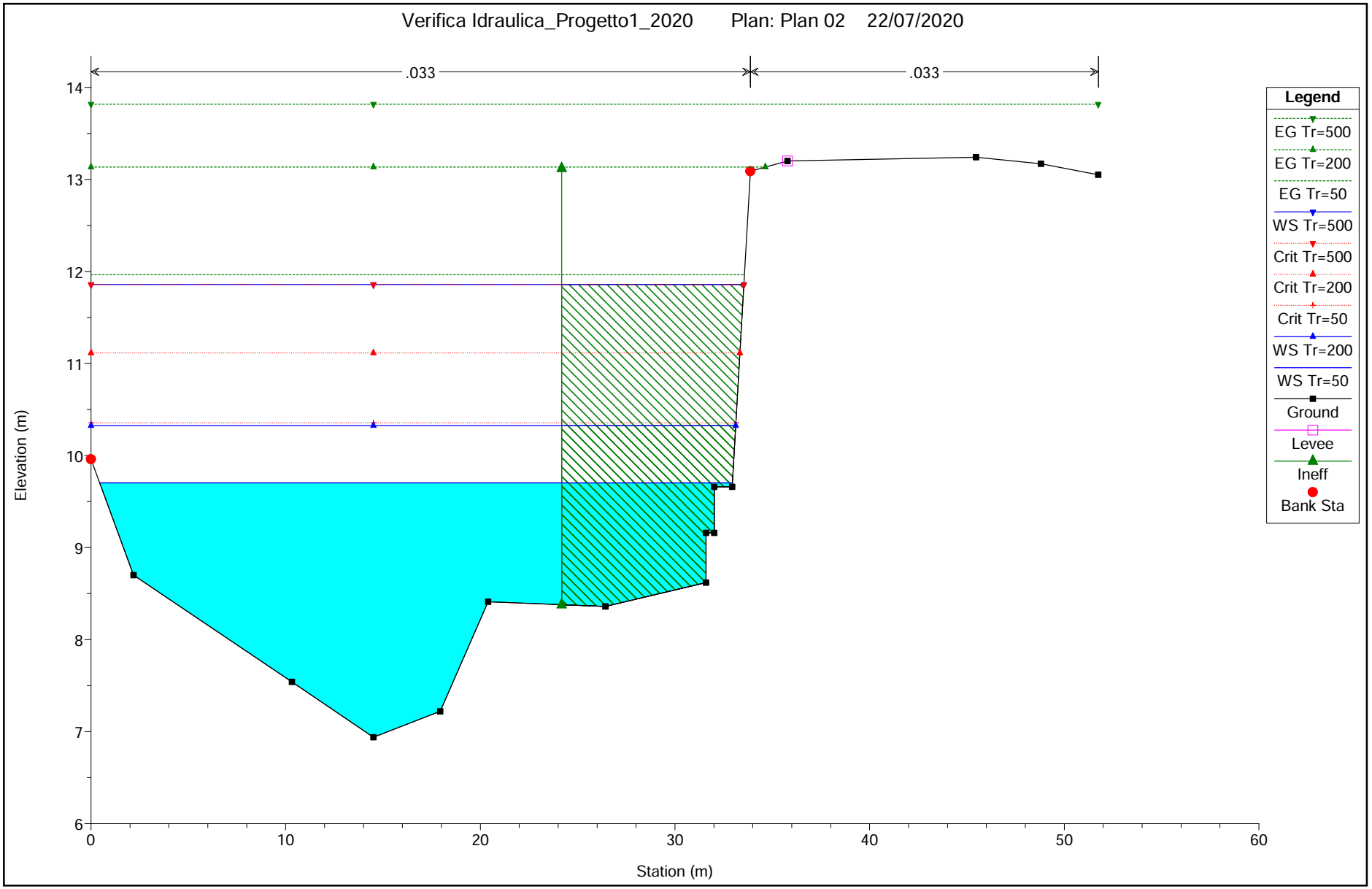

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
Foce_spiaggia
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80

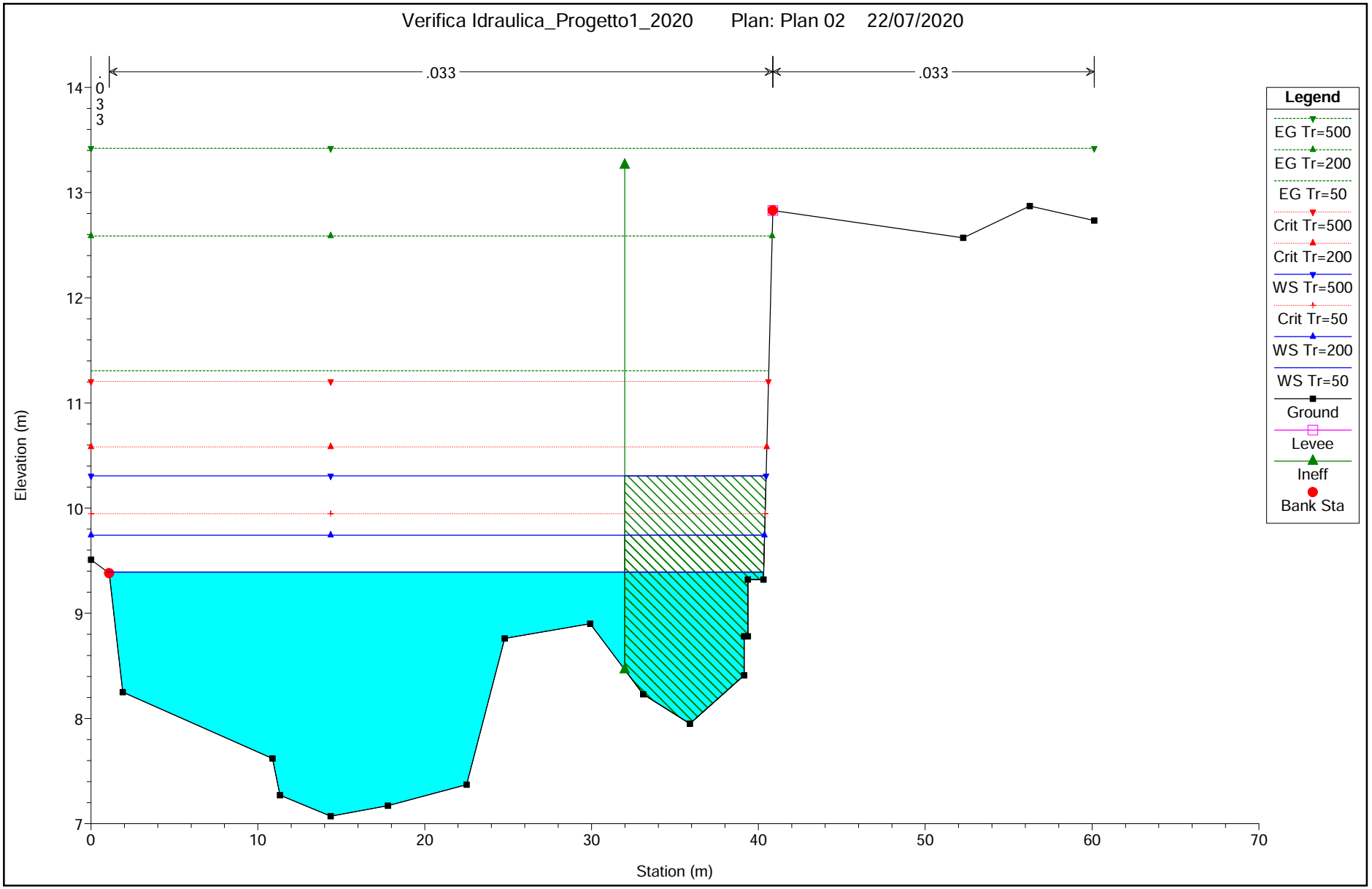
ALLEGATO 2

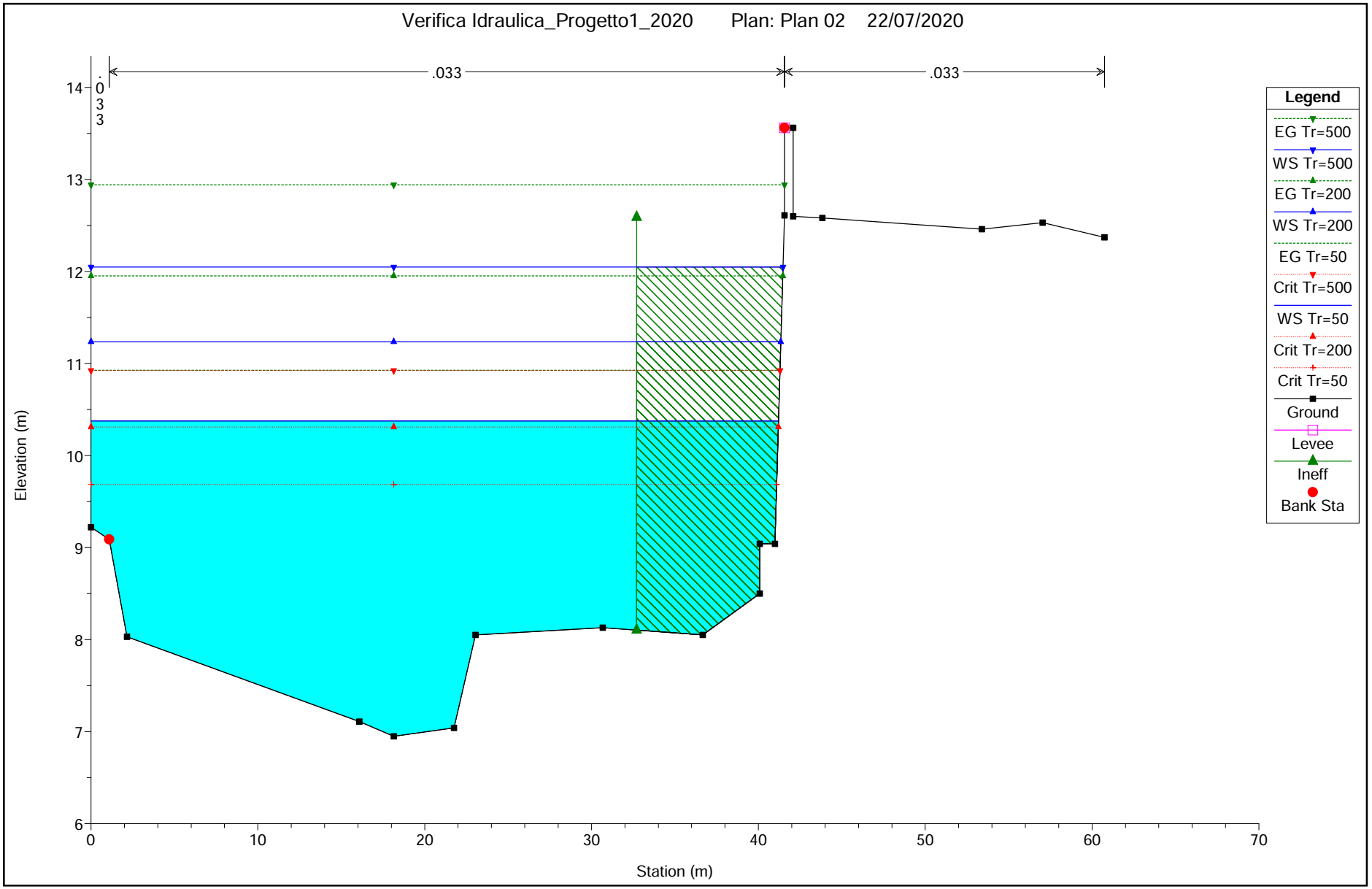

Verifica Idraulica_Stato attuale_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
T. Castagnola Fondovalle
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
100
200
300
400
500
600
700
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Left Levee
Right Levee

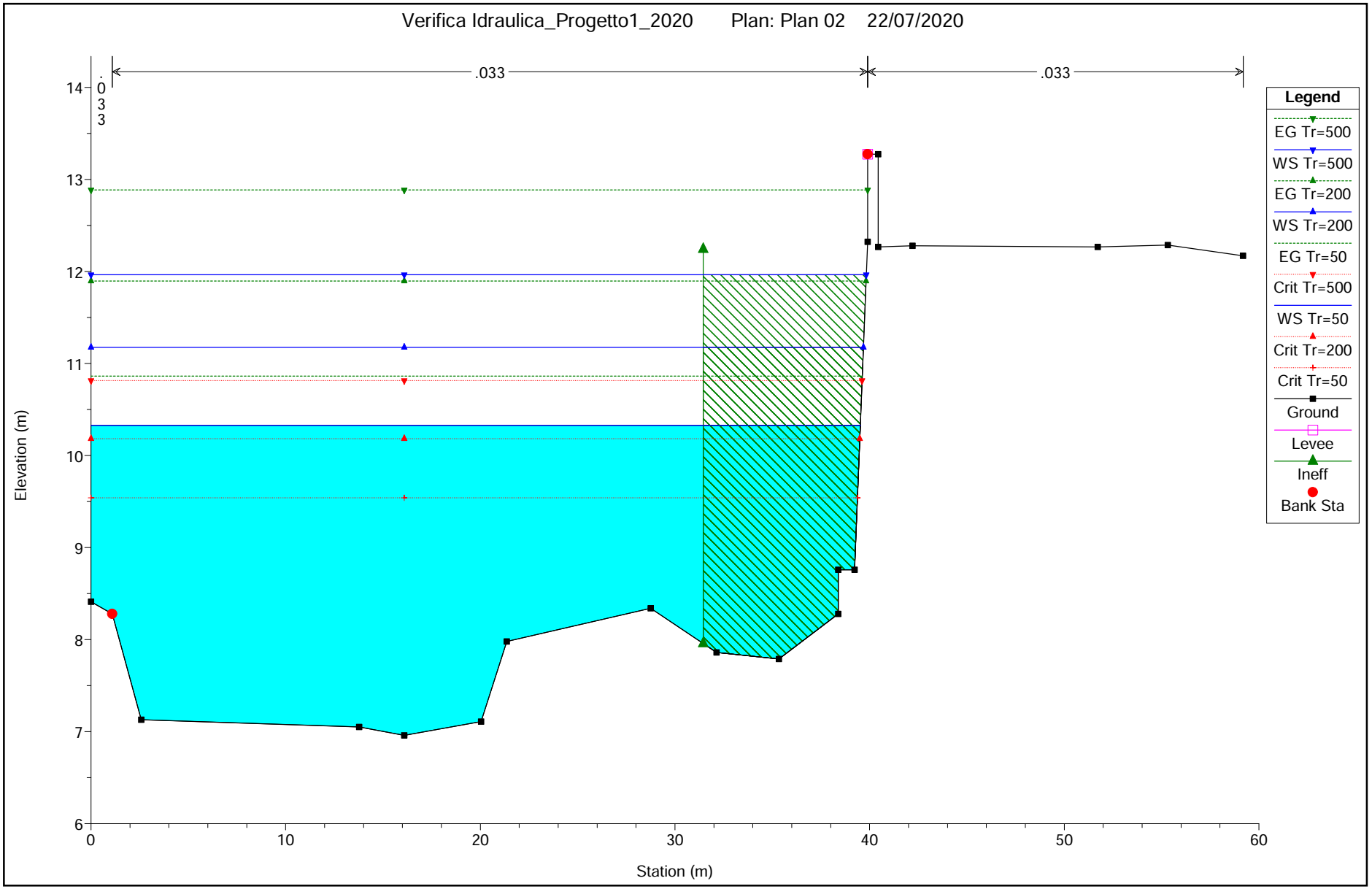
ALLEGATO 3

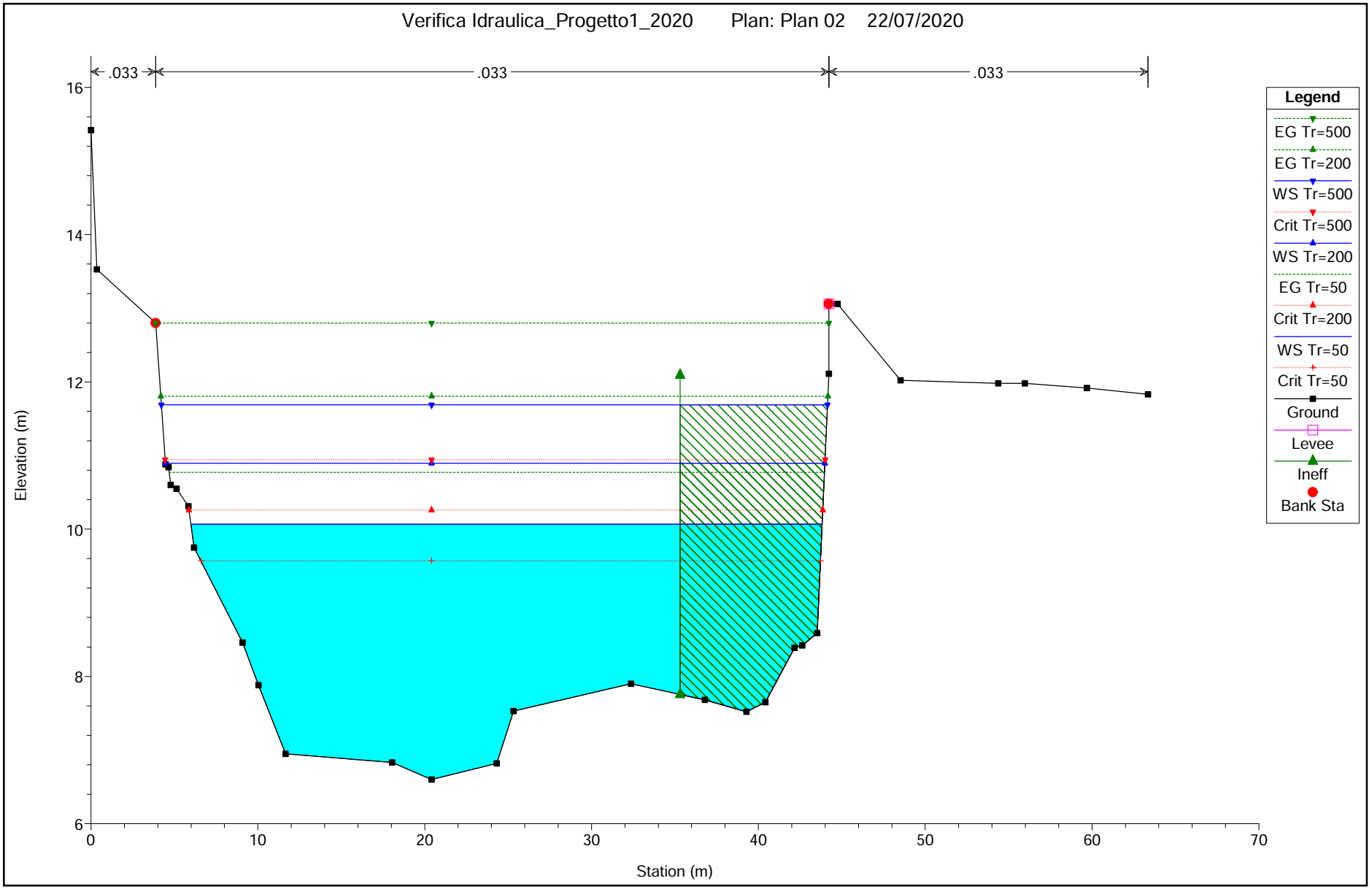

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
15
14
13
12
11
10
9
8
7
0
10
20
30
40
50
60
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta

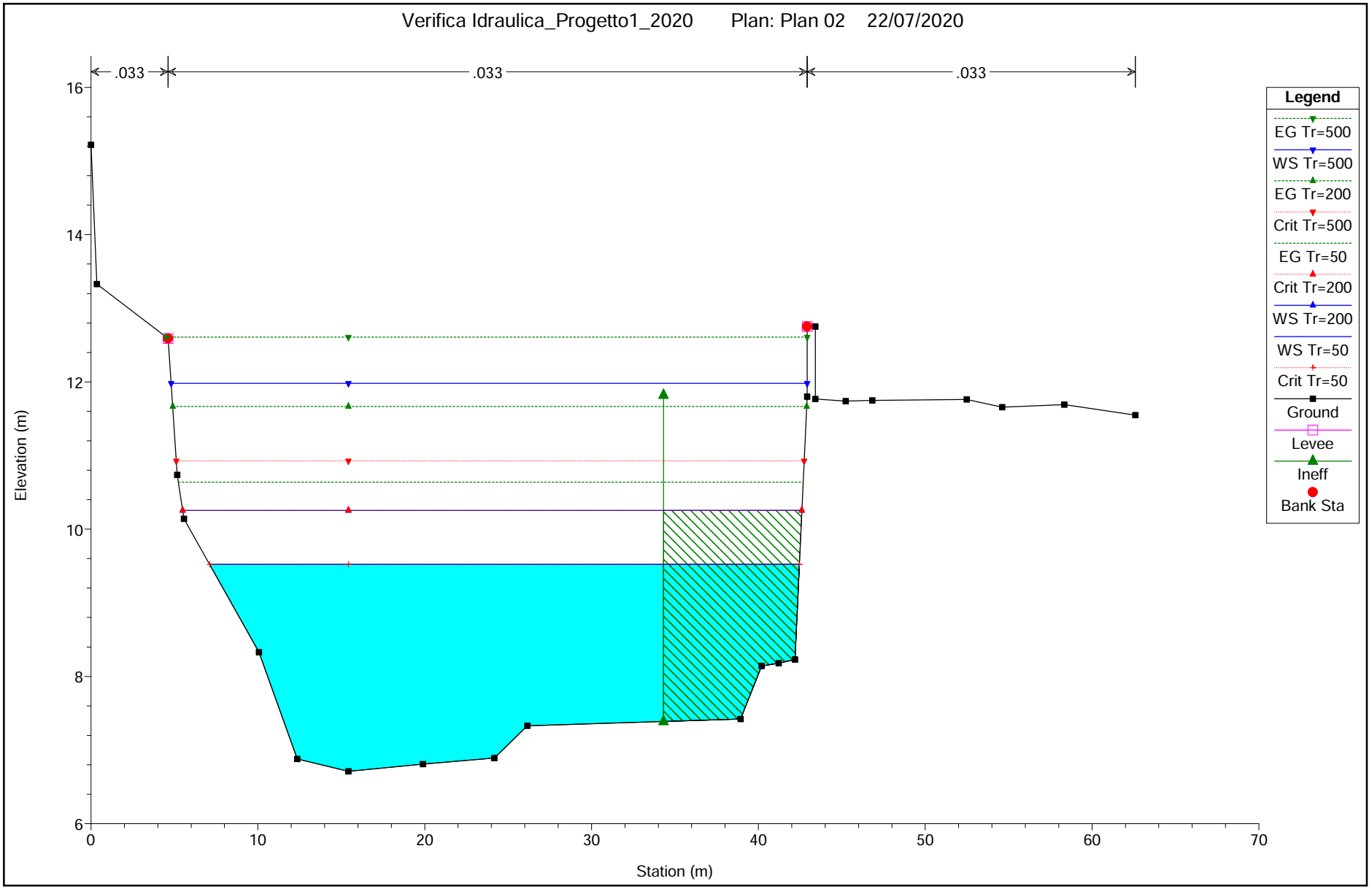

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
14
13
12
11
10
9
8
7
6
0
10
20
30
40
50
60
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=500
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta

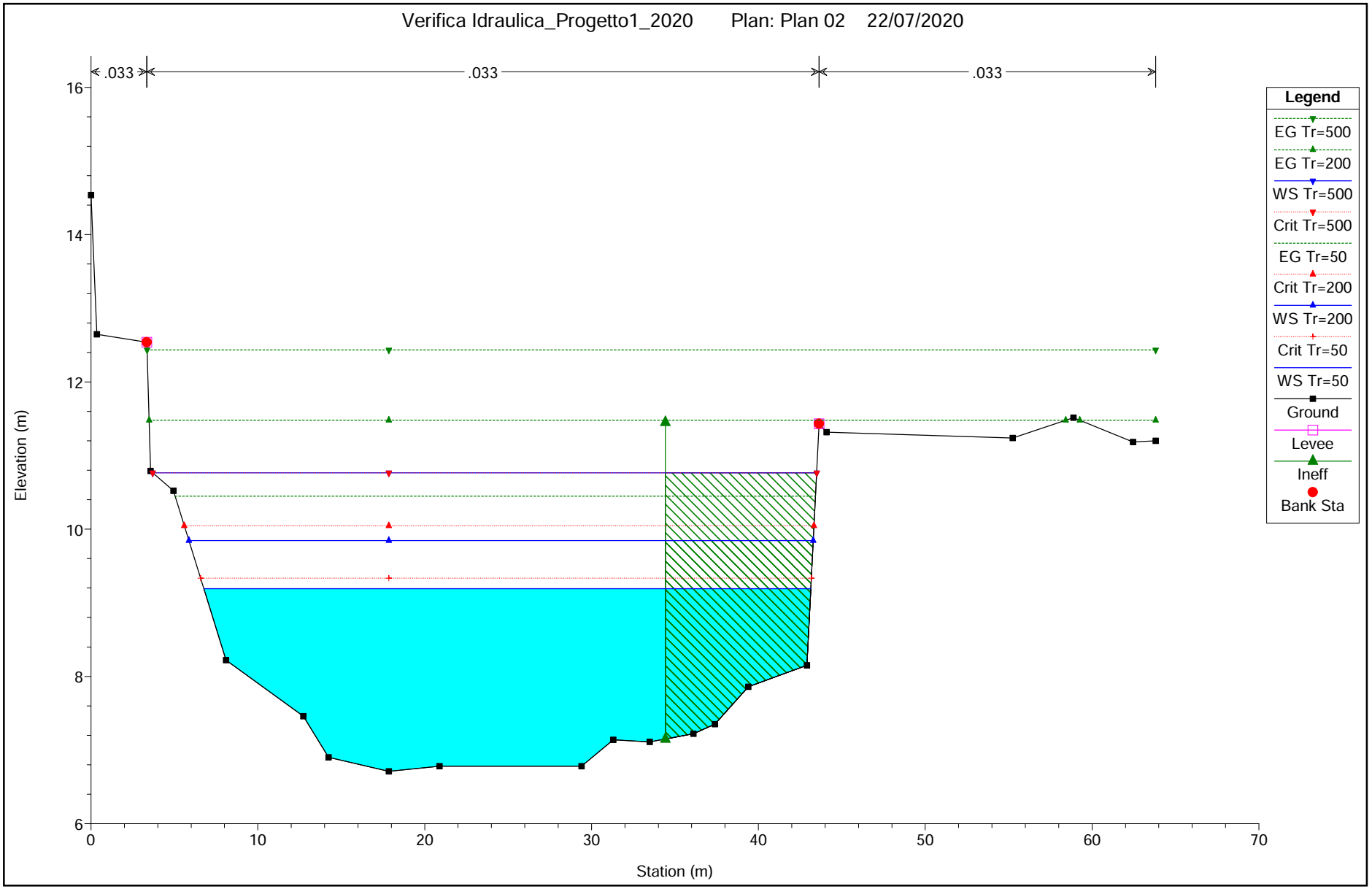

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta

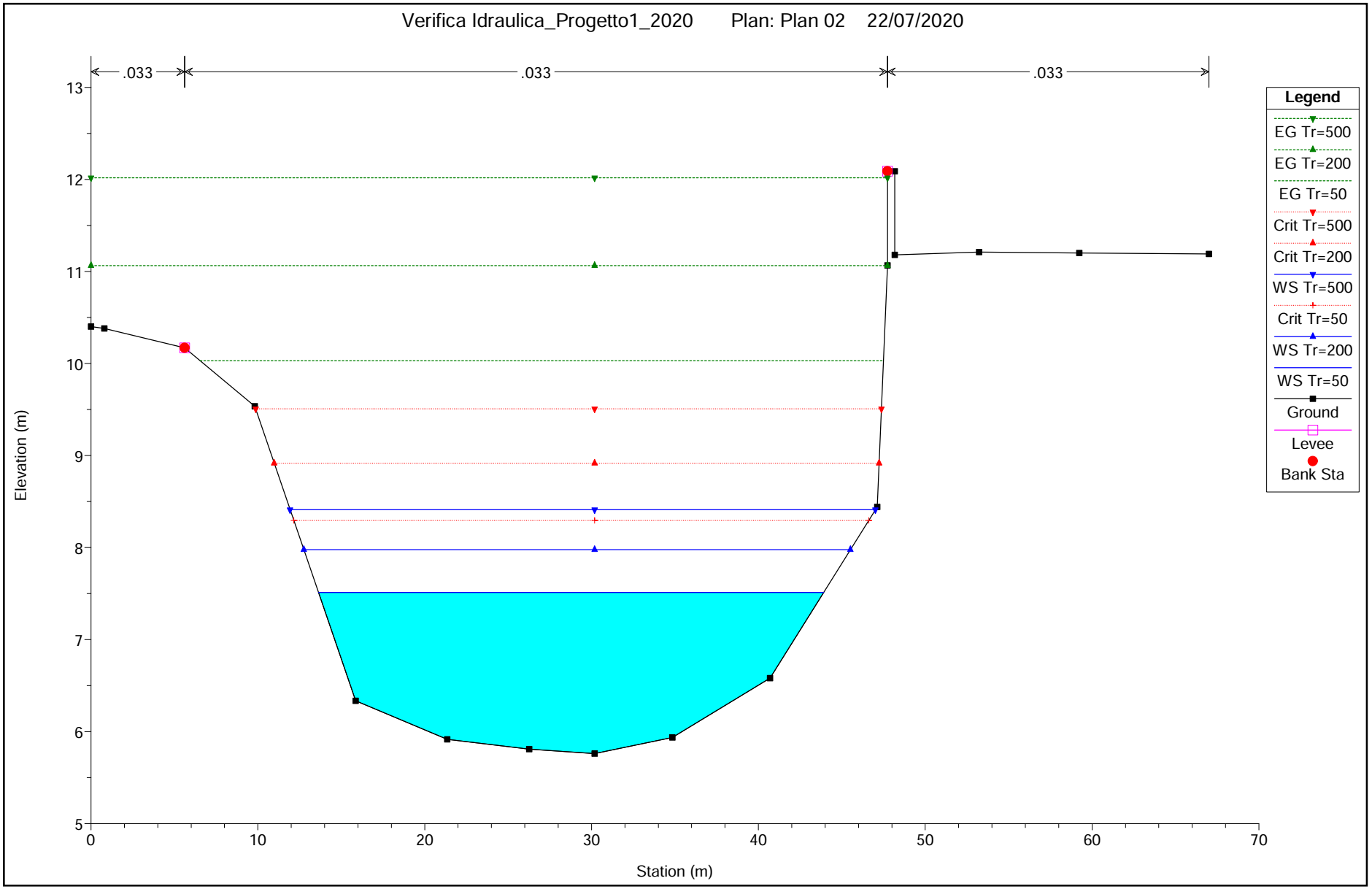

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta

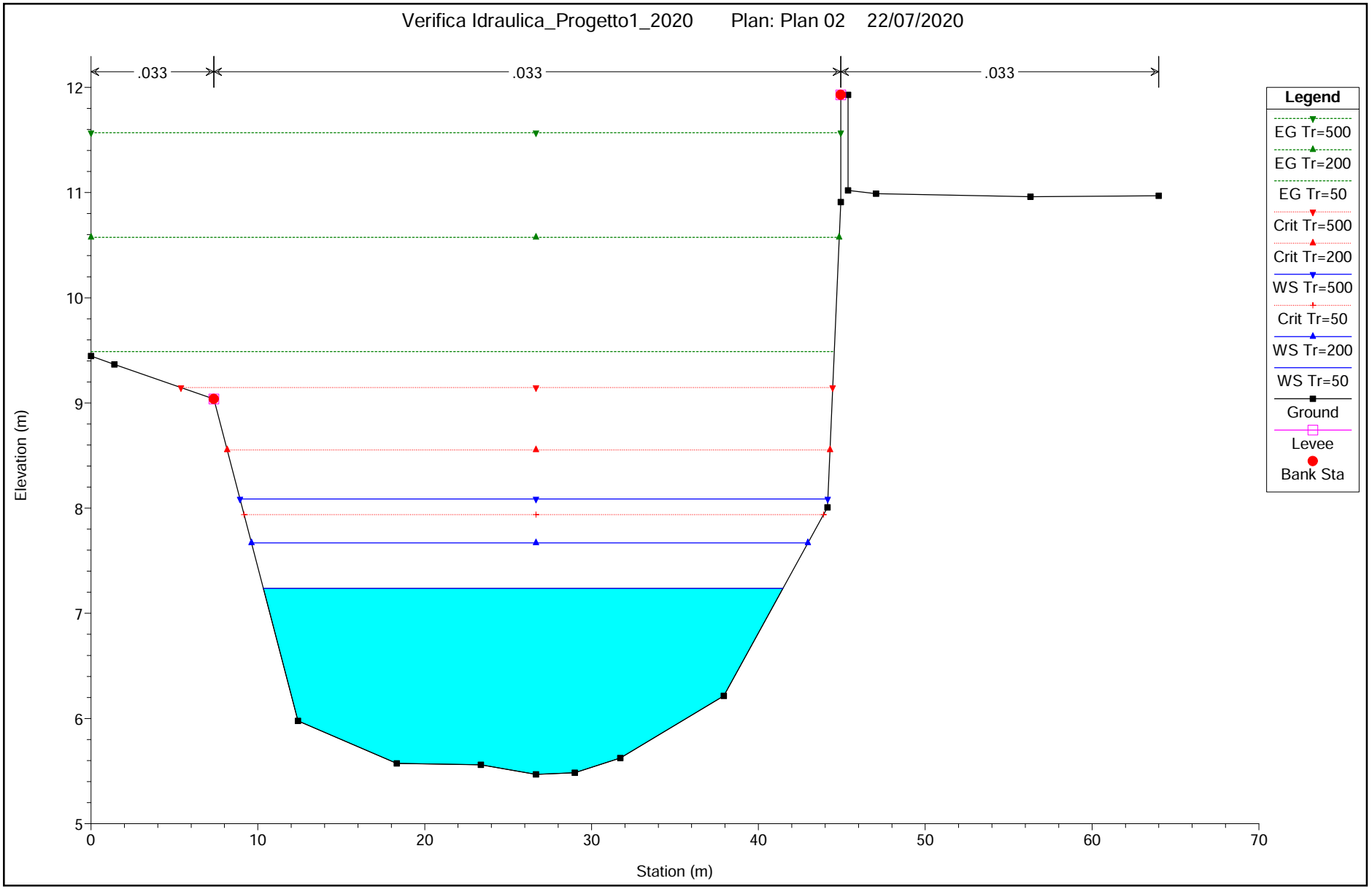

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
14
13
12
11
10
9
8
7
6
0
10
20
30
40
50
60

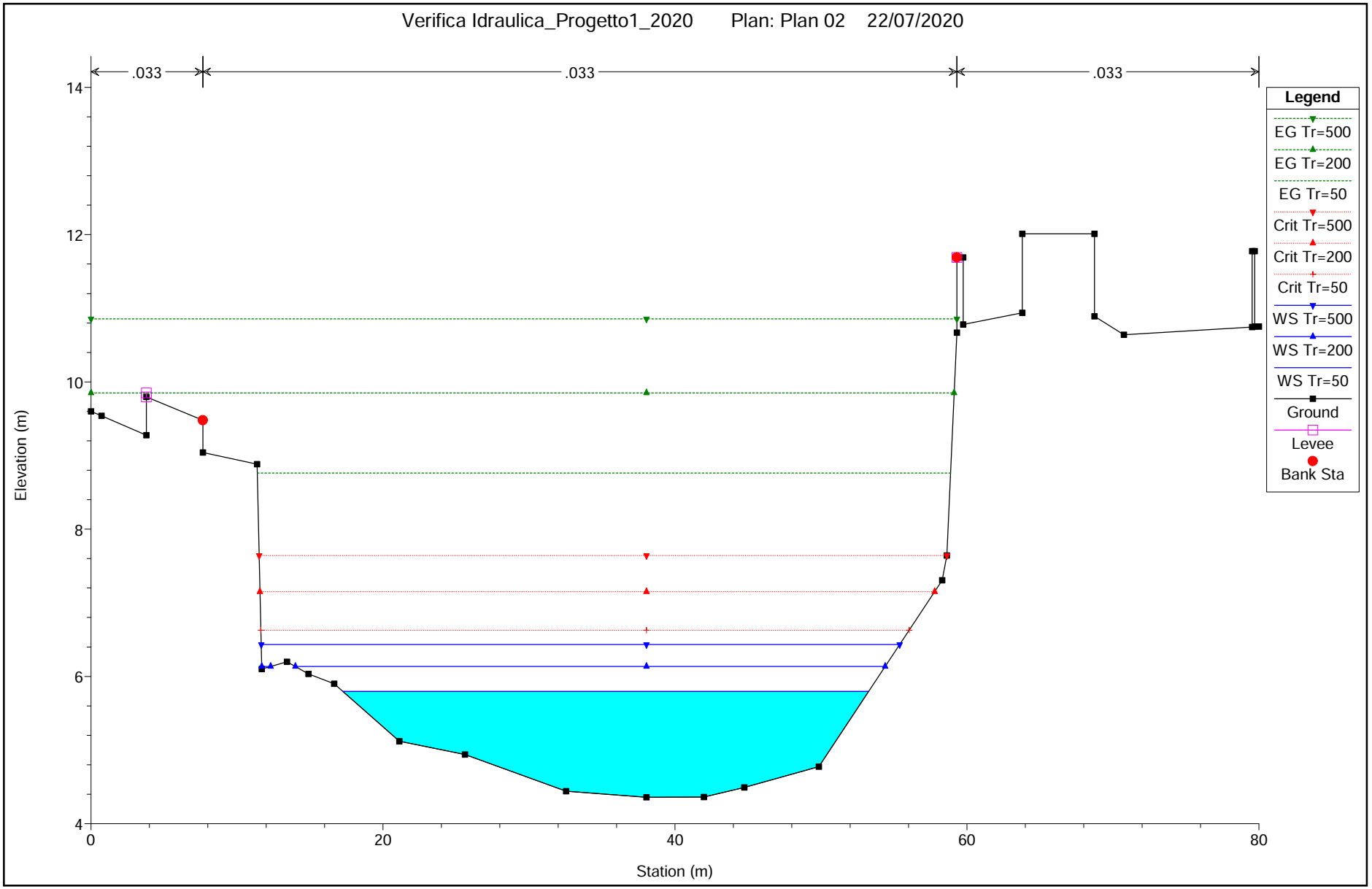

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
0
10
20
30
40
50
60
70
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta

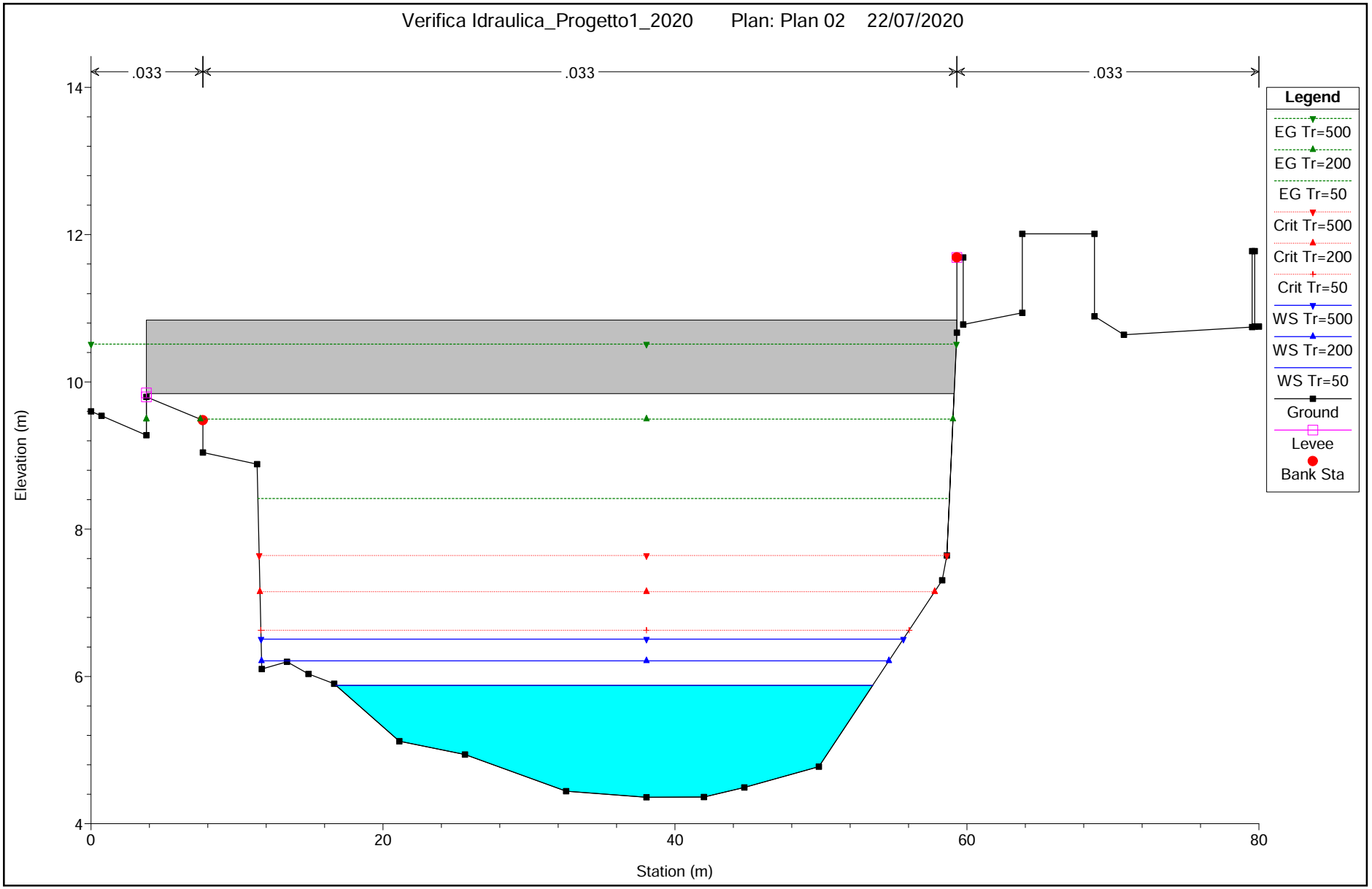

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
0
10
20
30
40
50
60
70
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta

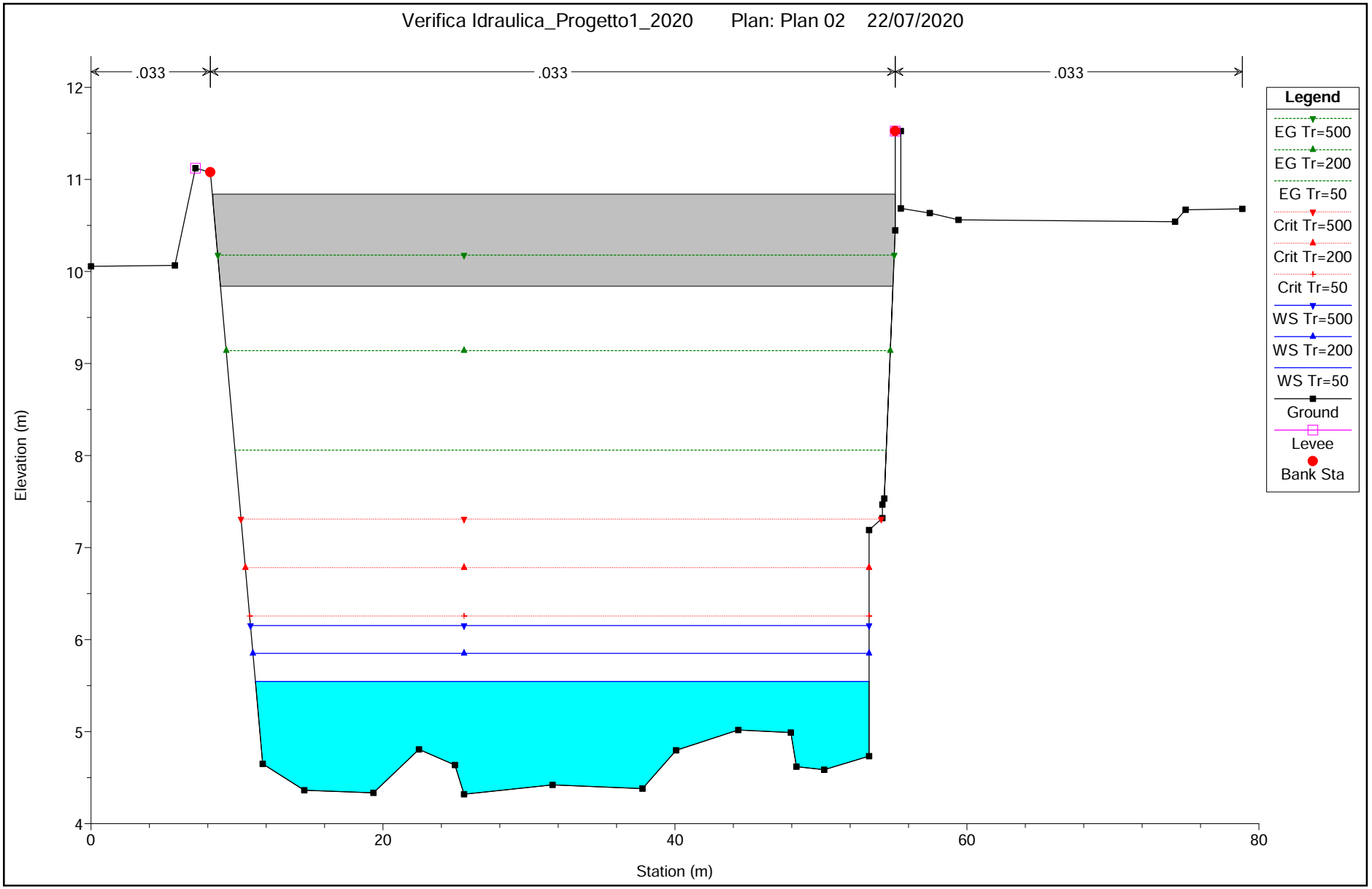

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Levee
Ineff
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
0
10
20
30
40
50
60
70

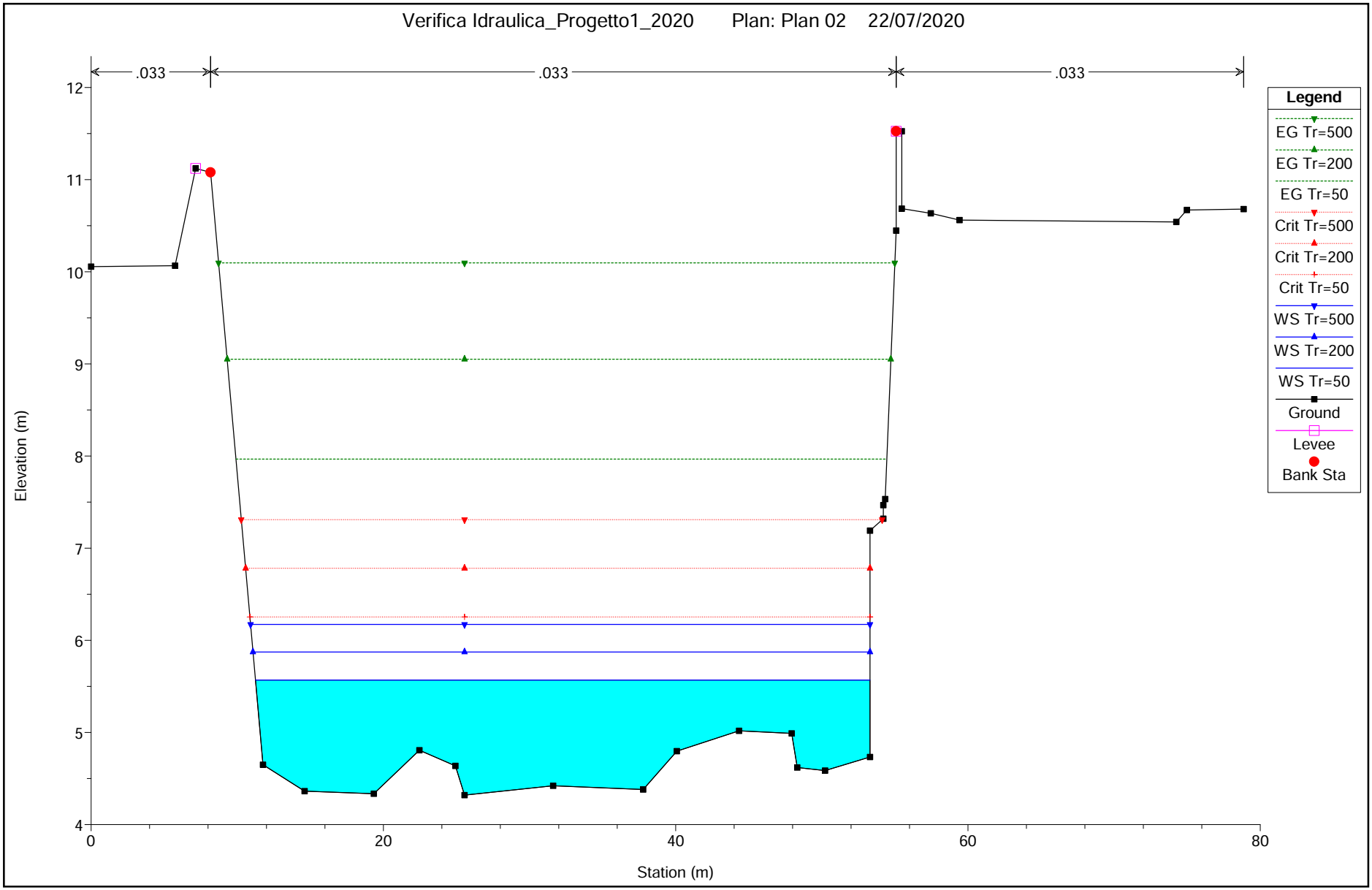

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
13
12
11
10
9
8
7
6
5
0
10
20
30
40
50
60
70
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

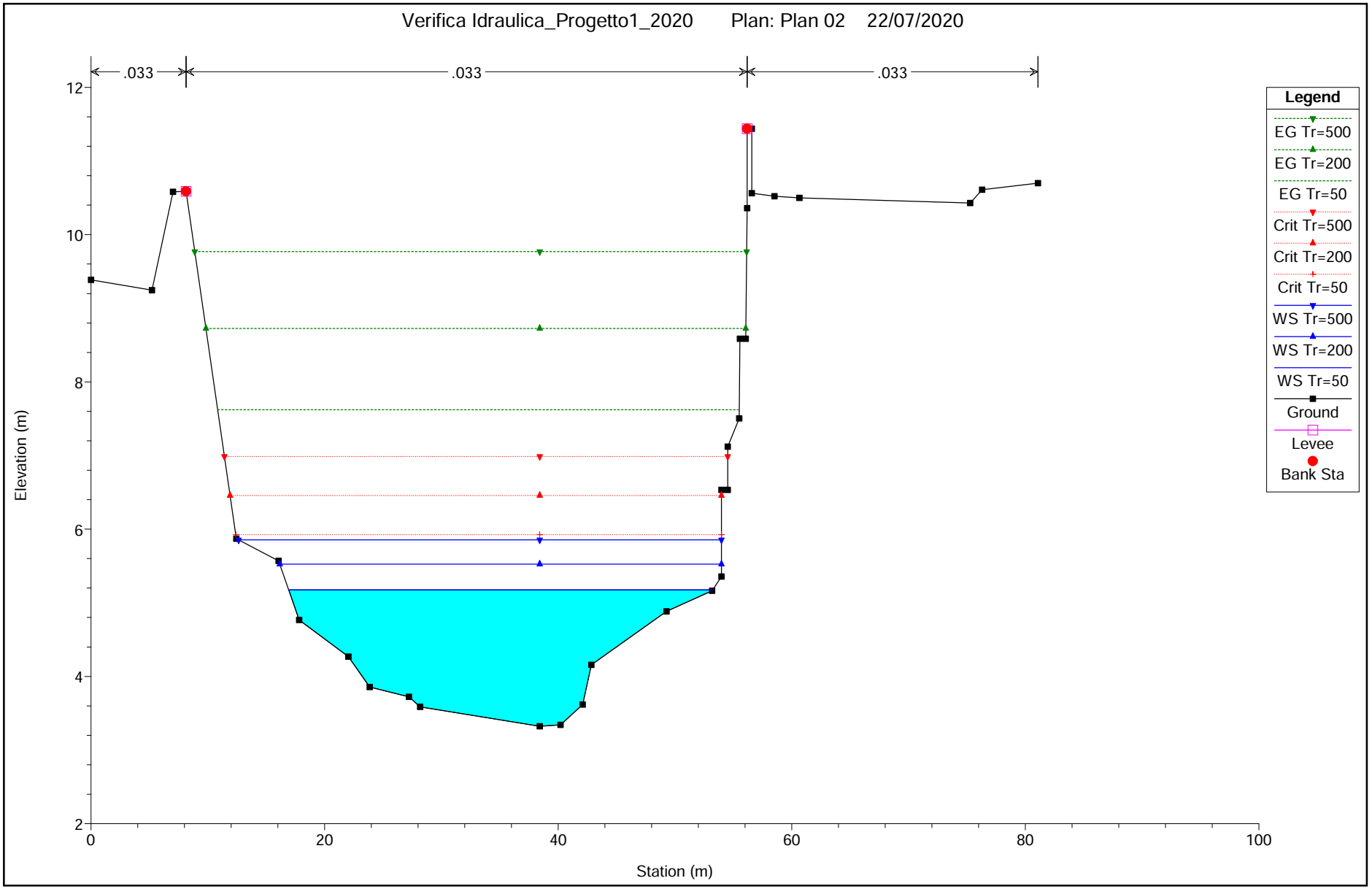

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

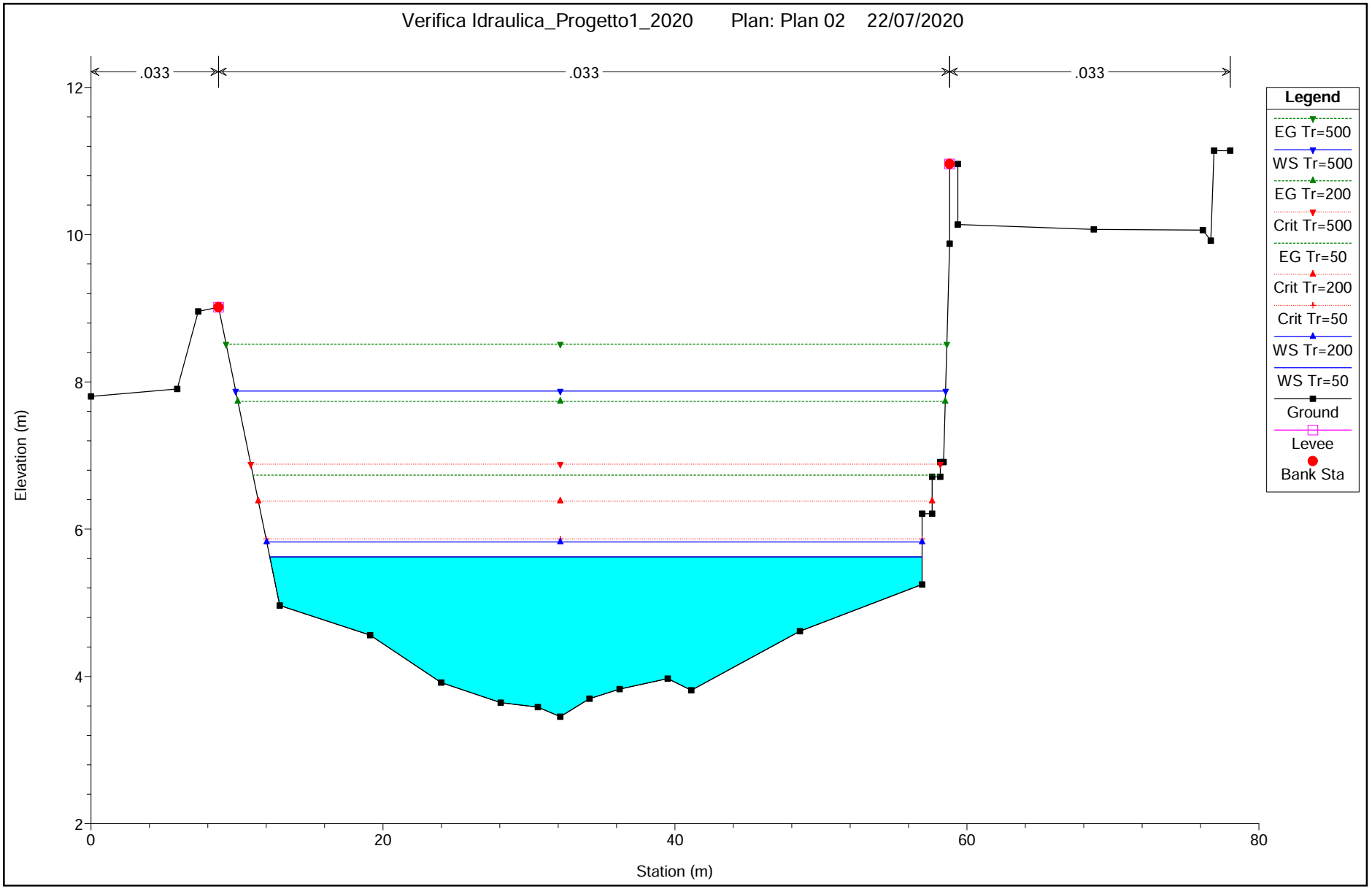

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=500
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
14
12
10
8
6
4
0
20
40
60
80

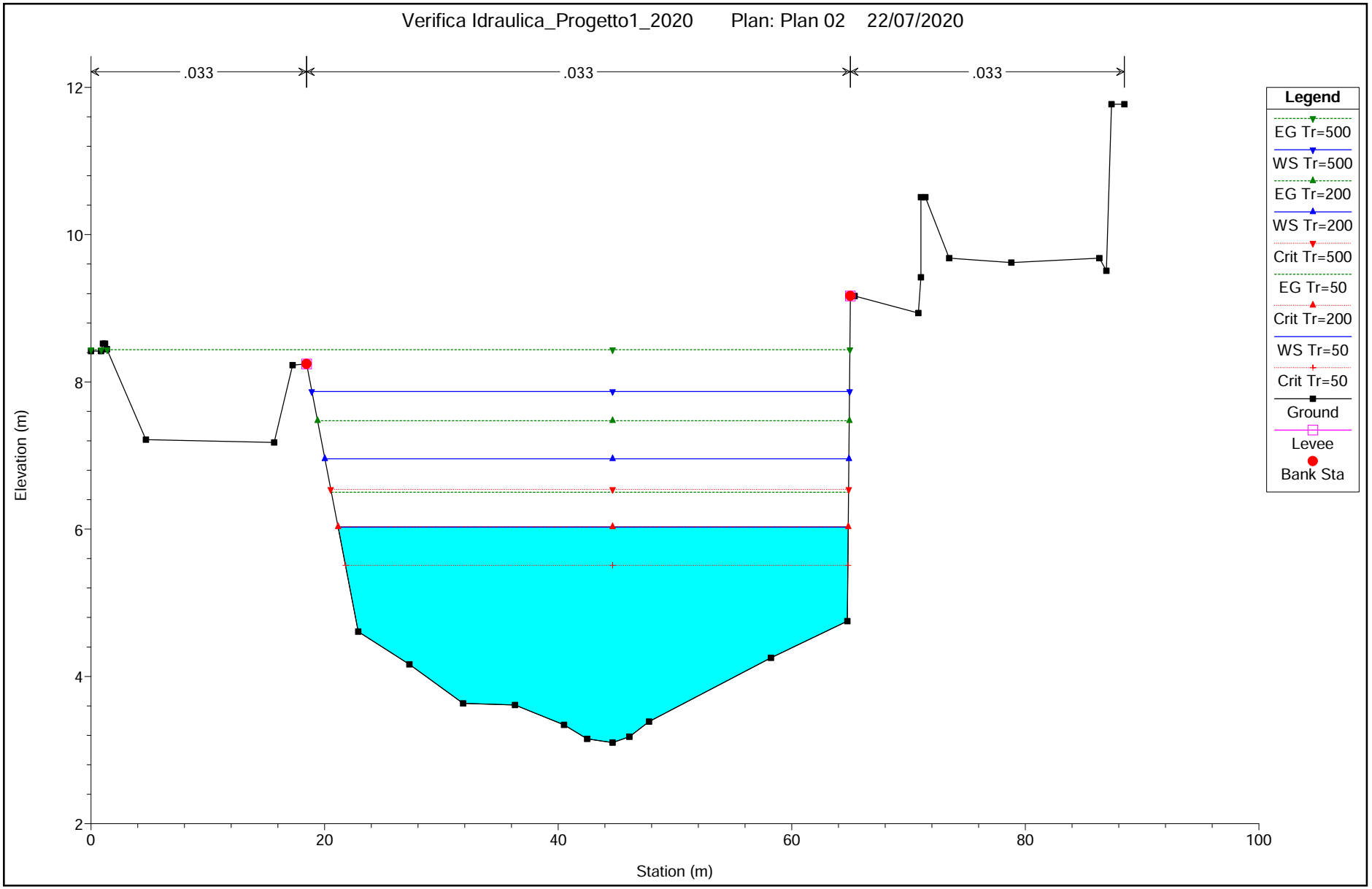

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=500
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
14
12
10
8
6
4
0
20
40
60
80

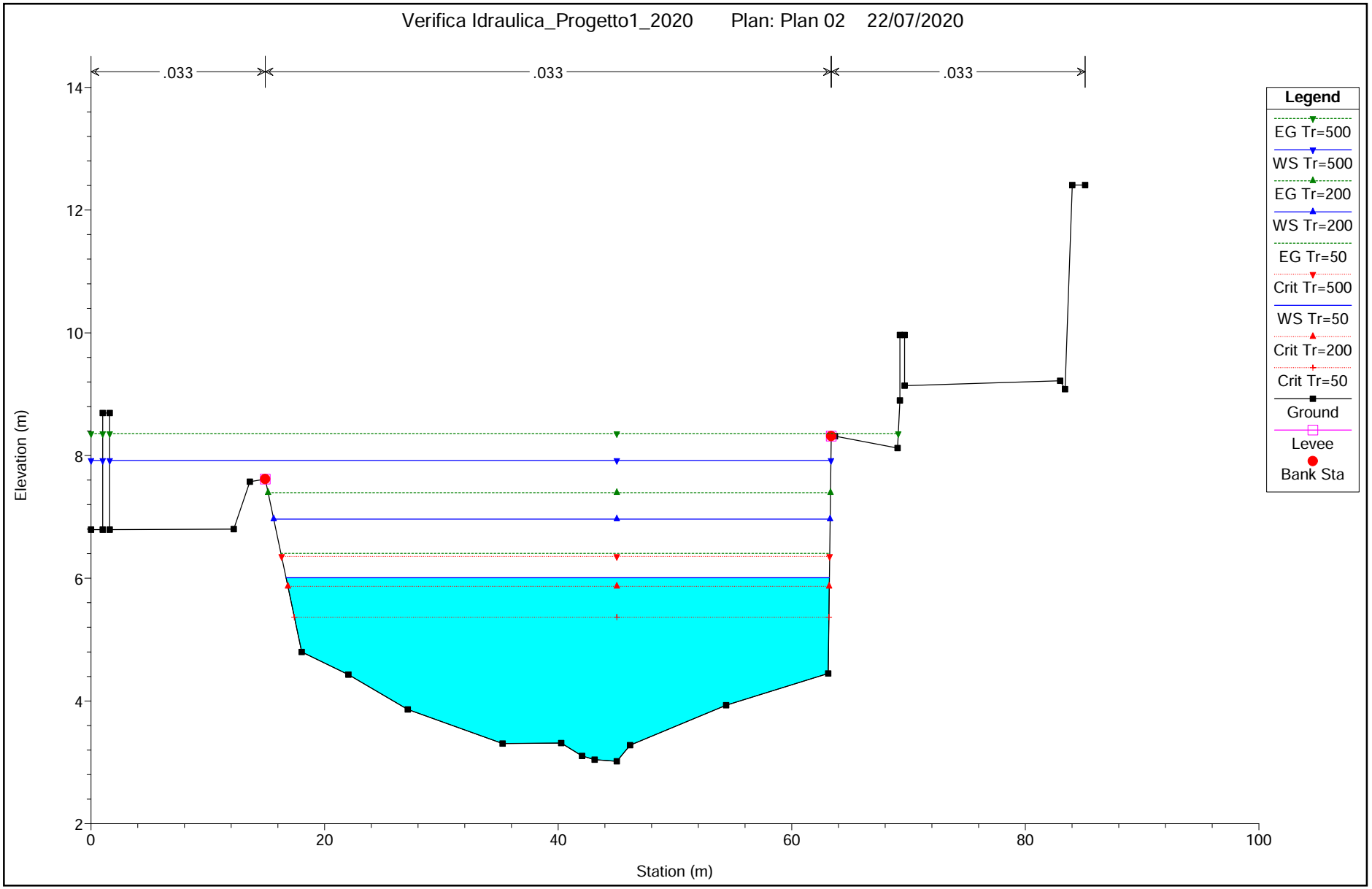

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
12
11
10
9
8
7
6
5
4
0
20
40
60
80
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=500
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

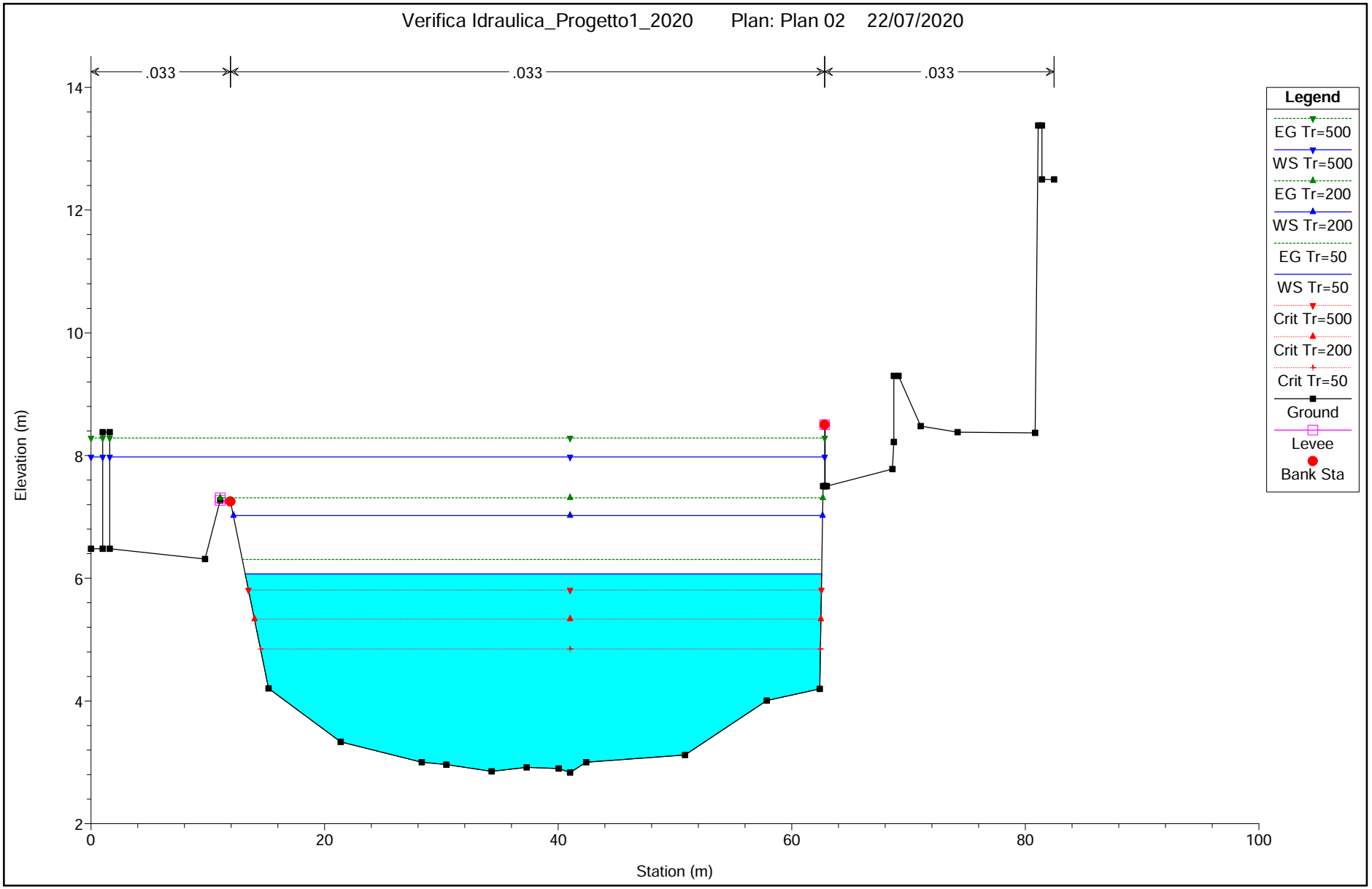

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
12
11
10
9
8
7
6
5
4
0
20
40
60
80
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=500
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

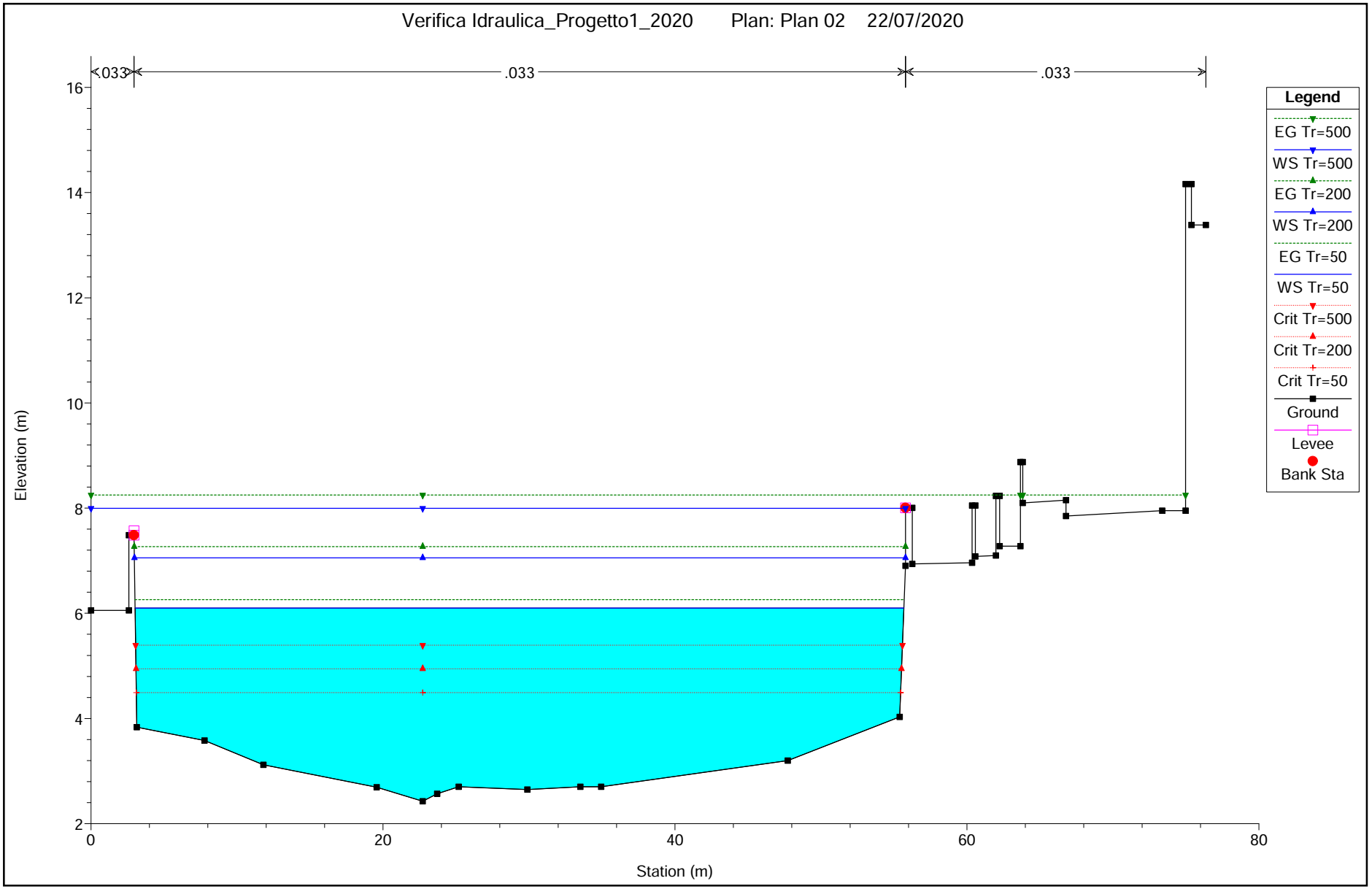

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
100
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=500
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

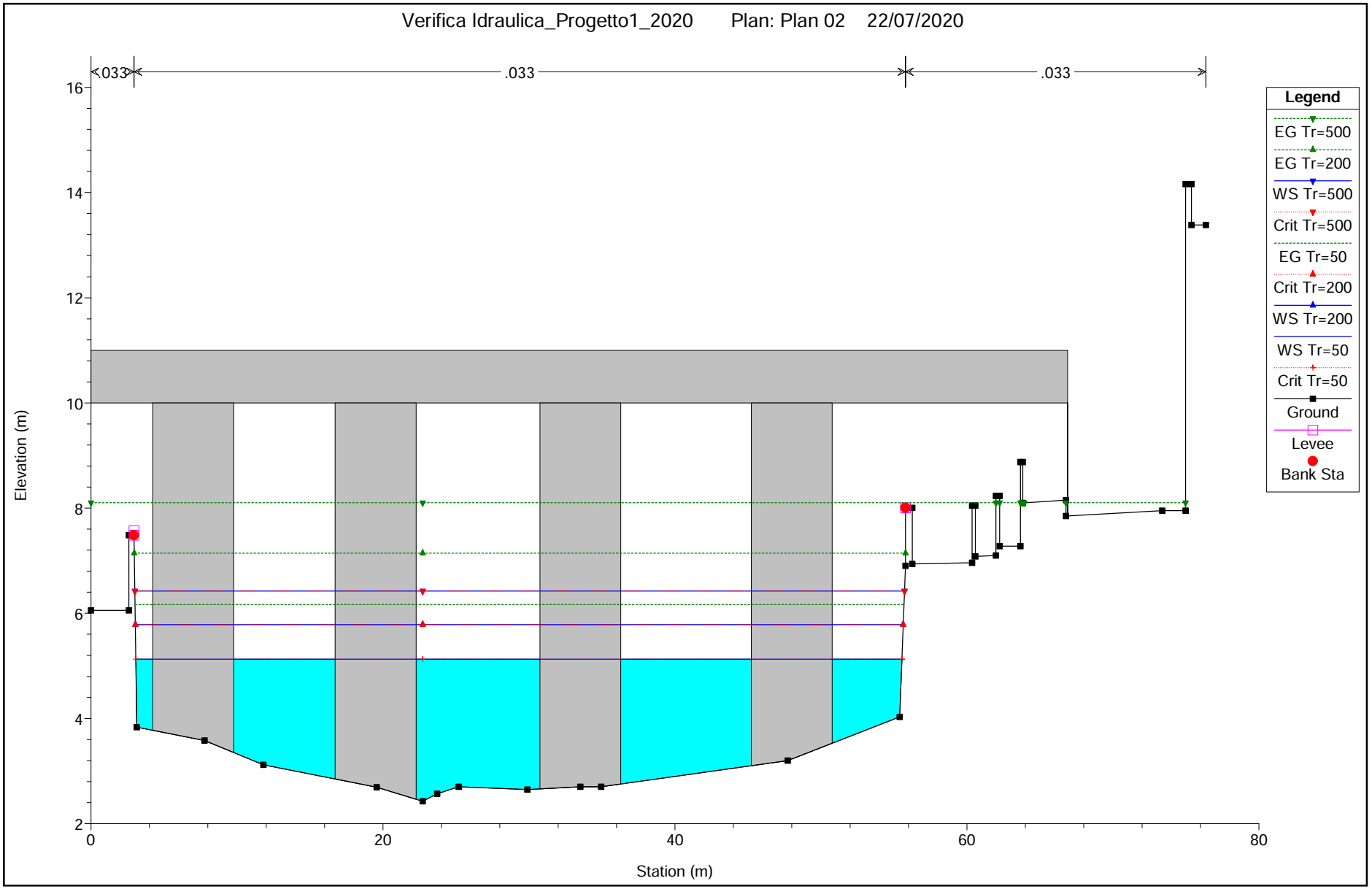

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

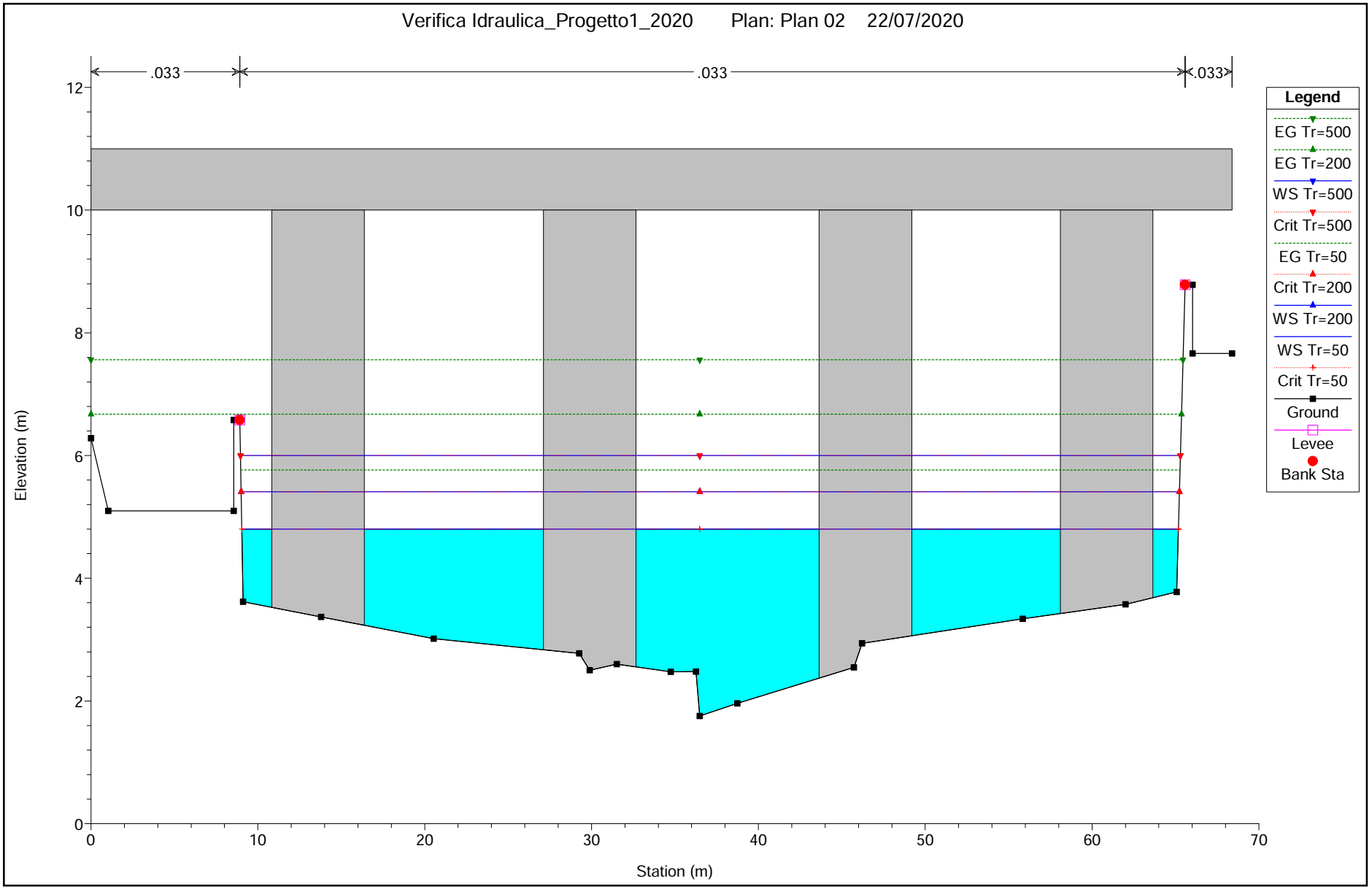

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
100
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

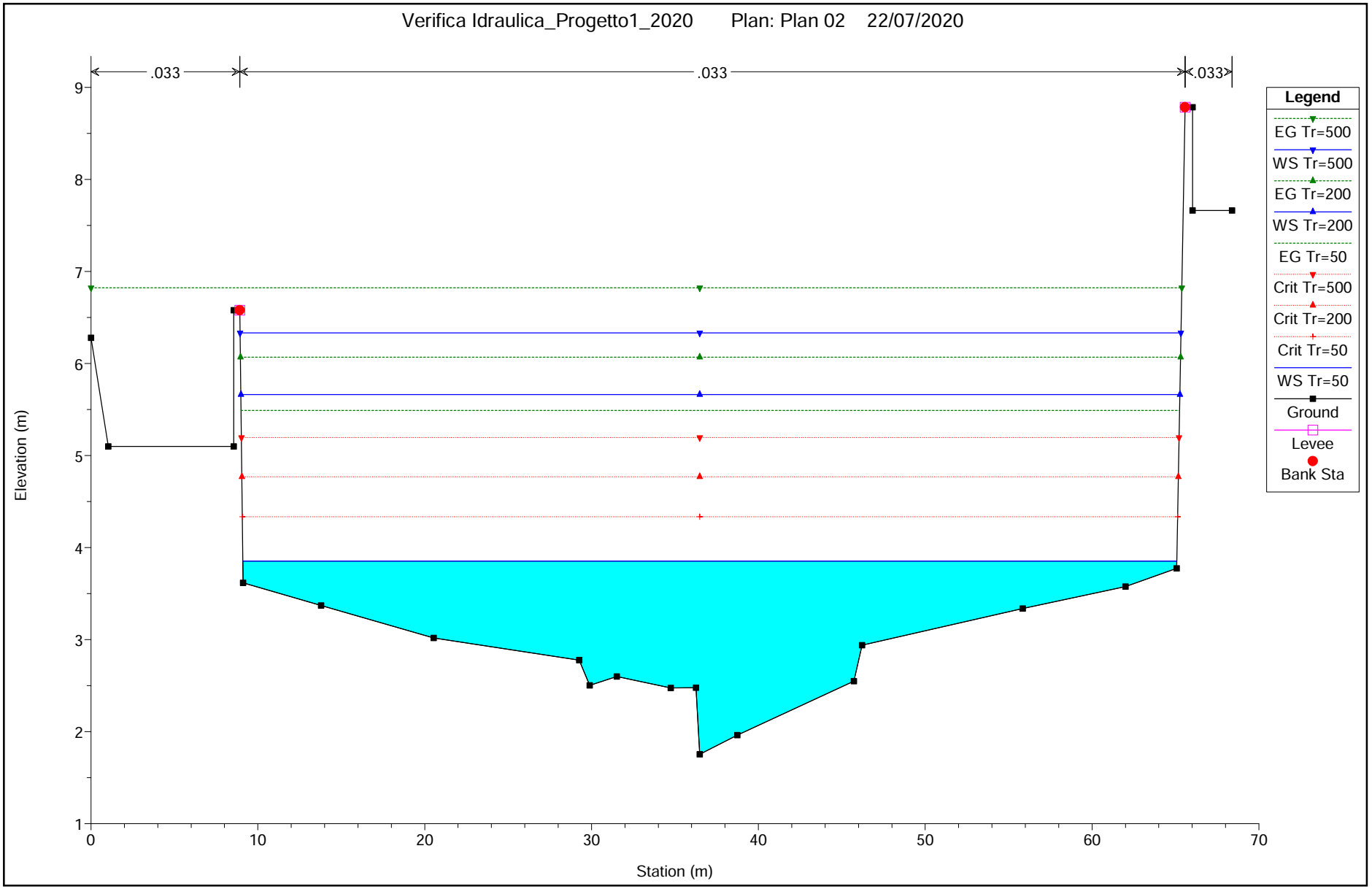

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
14
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
100
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

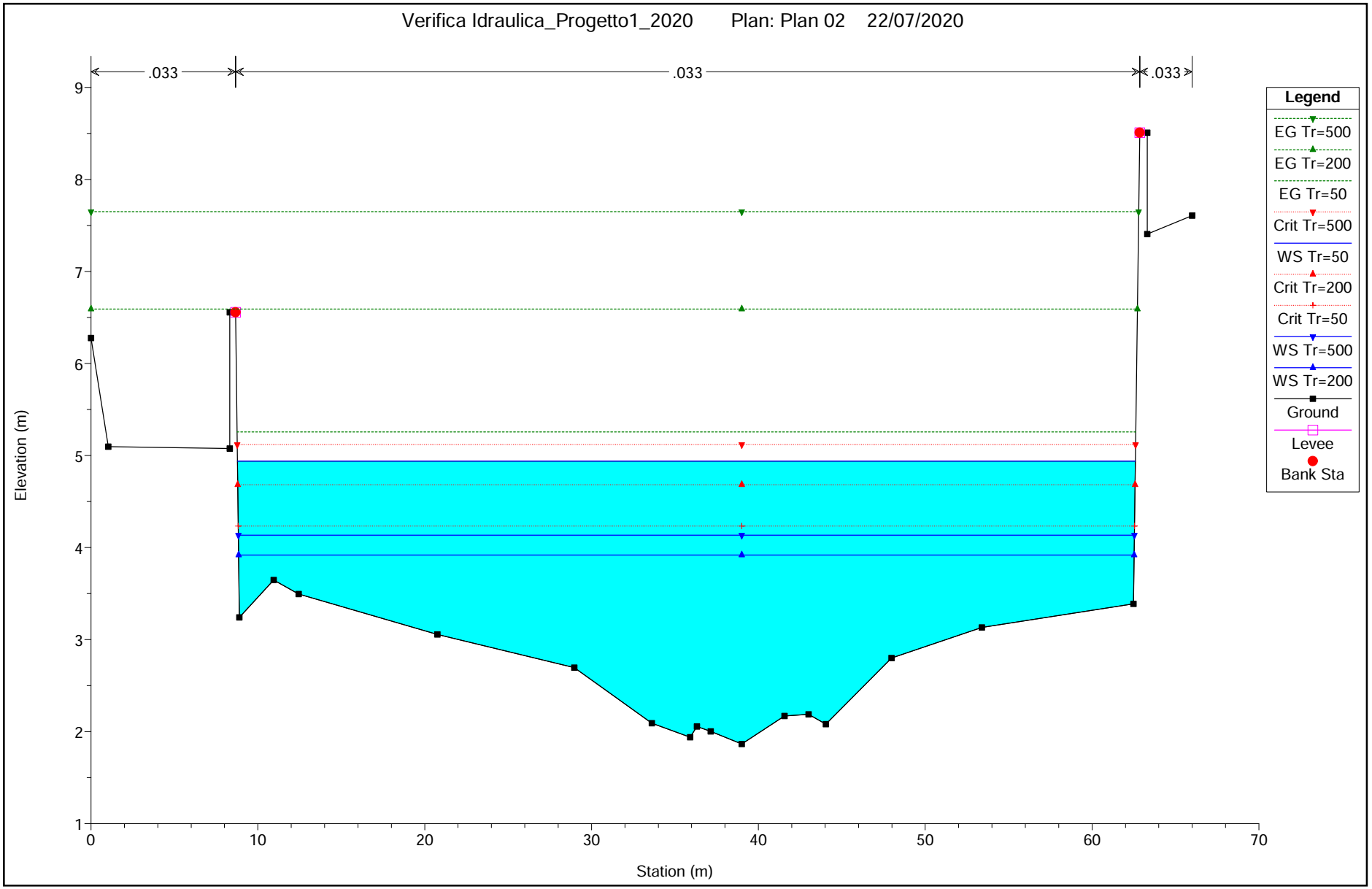

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
14
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
100
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

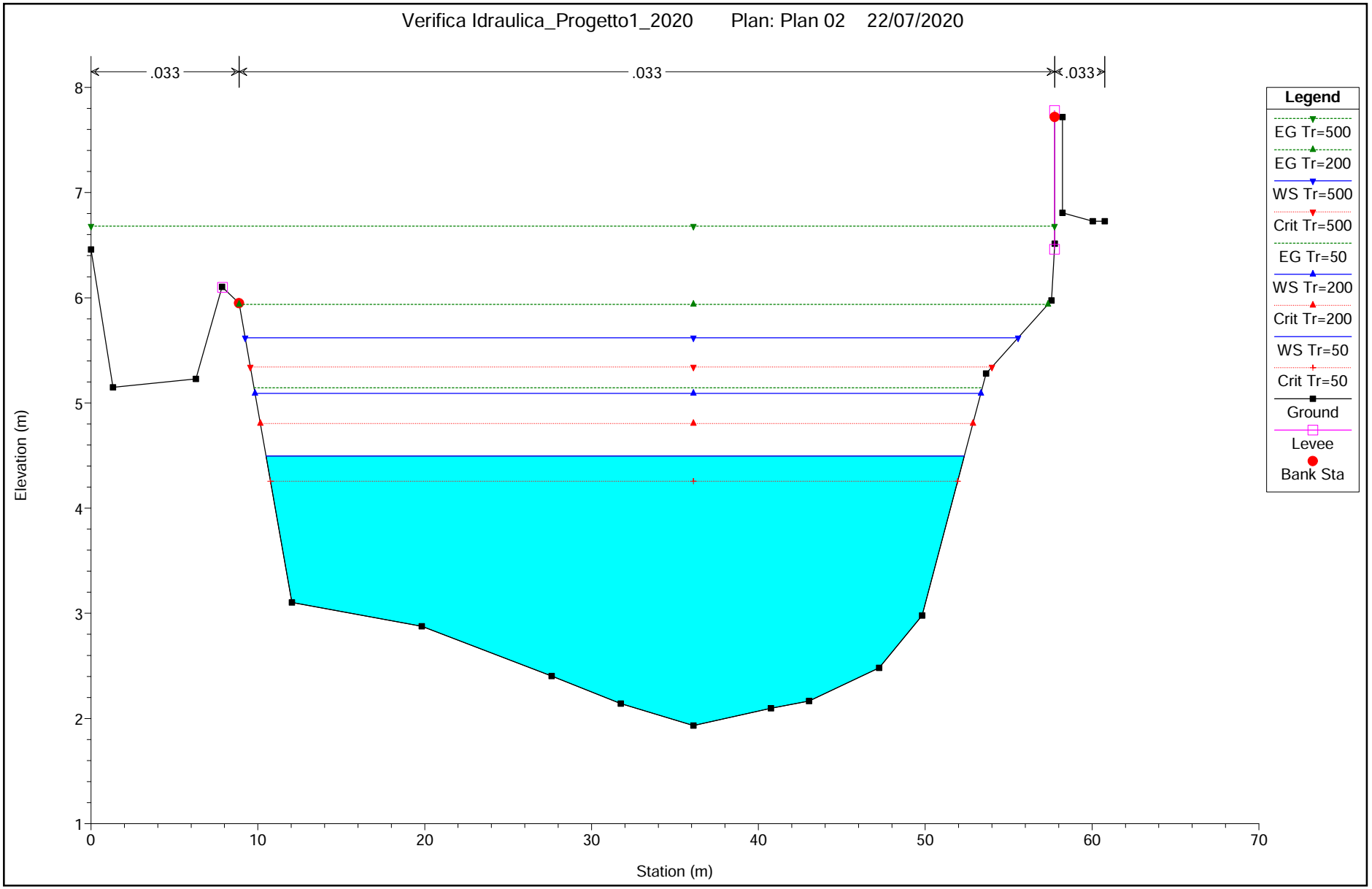

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
WS Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

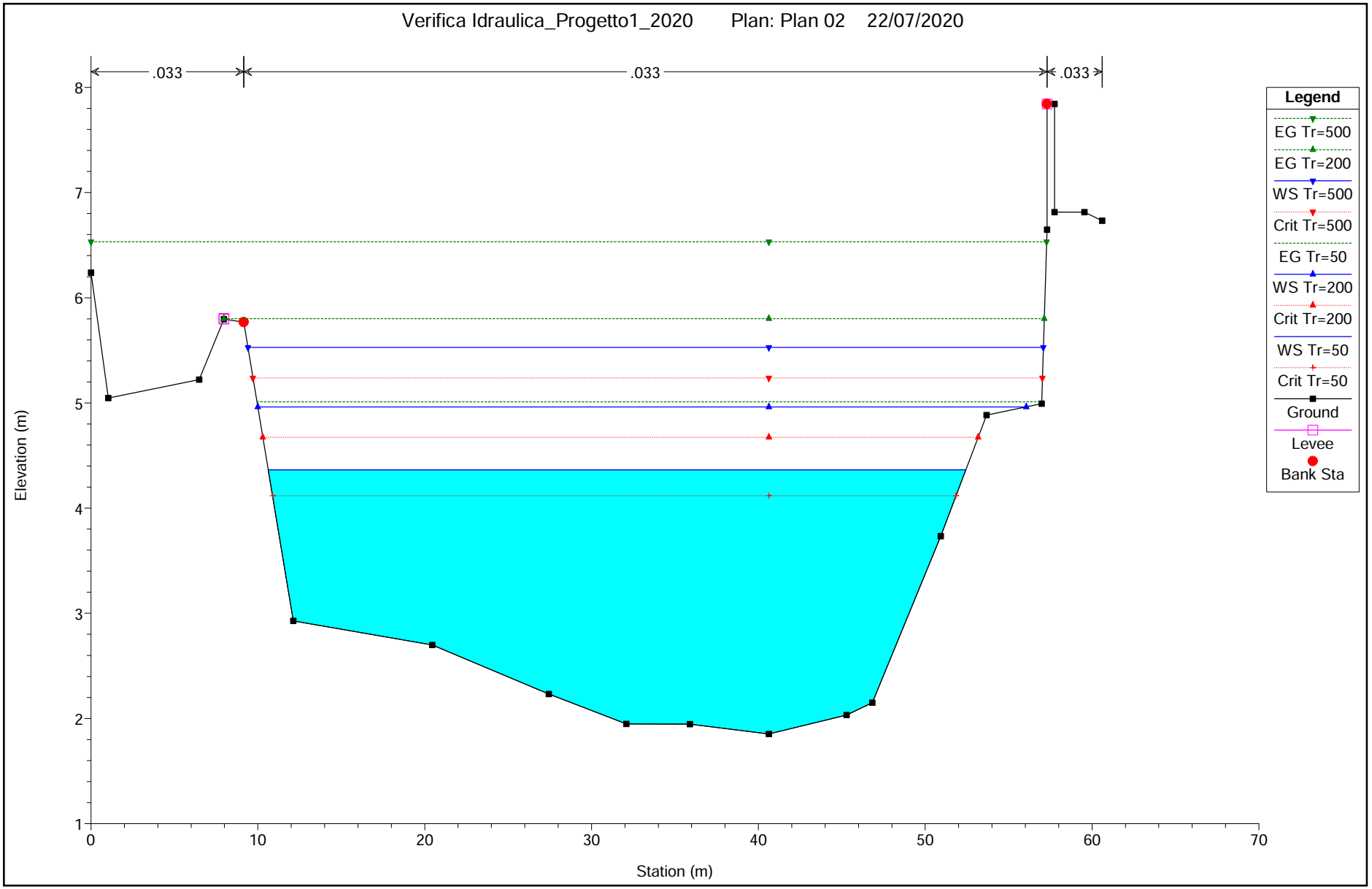

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
20
40
60
80
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

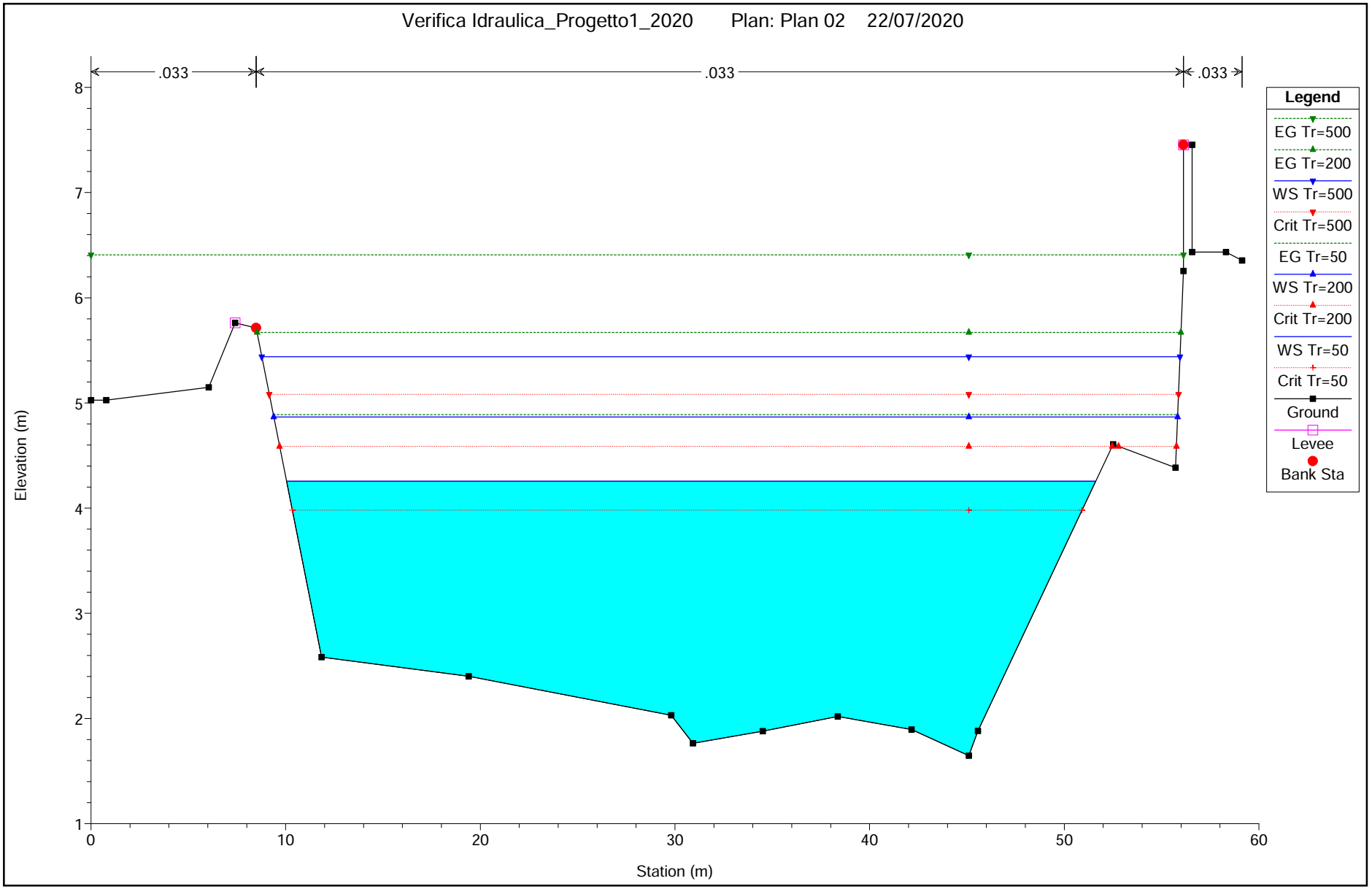

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
0
2
4
6
8
10
12
0
10
20
30
40
50
60
70
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

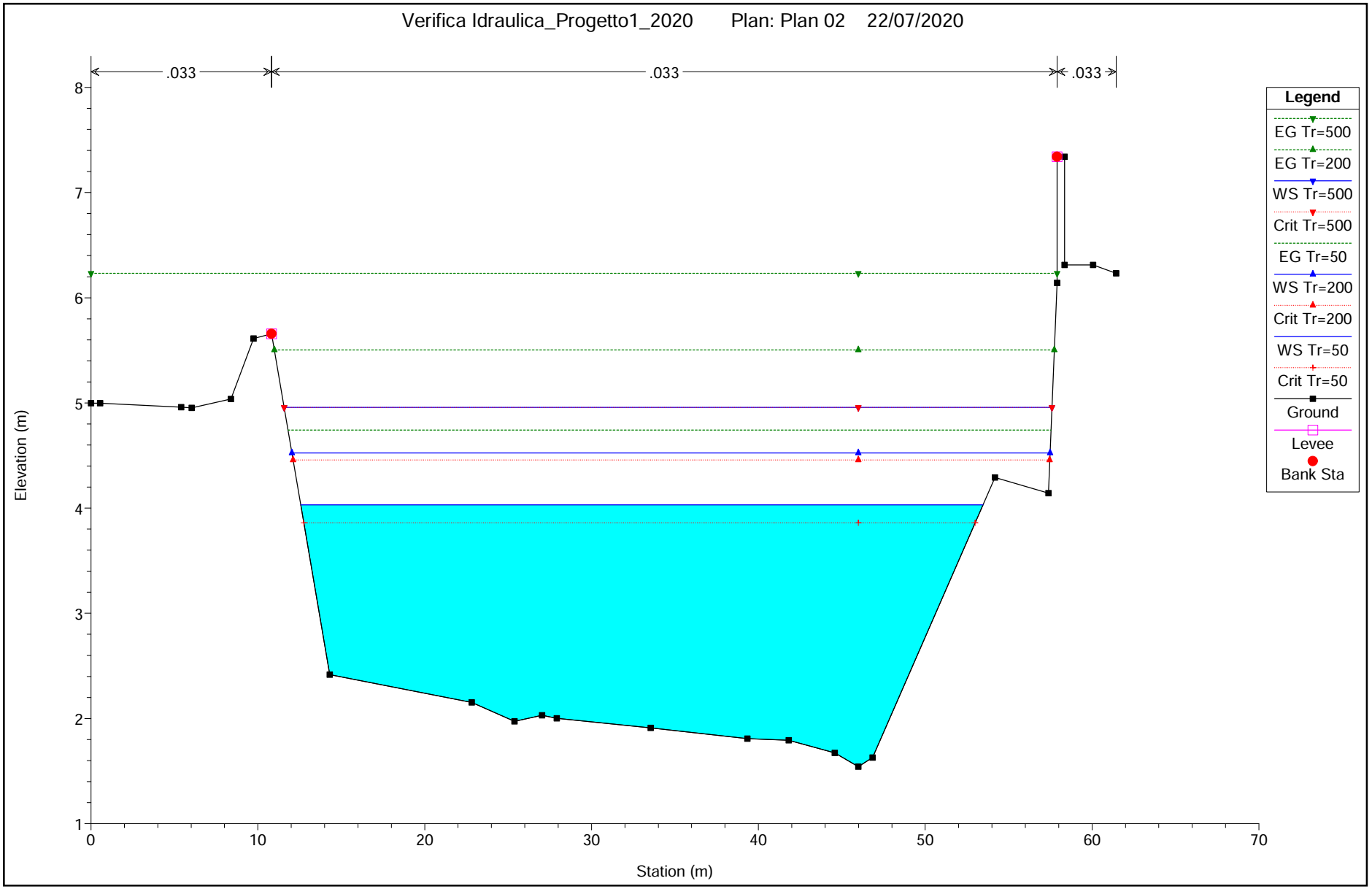

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
0
10
20
30
40
50
60
70

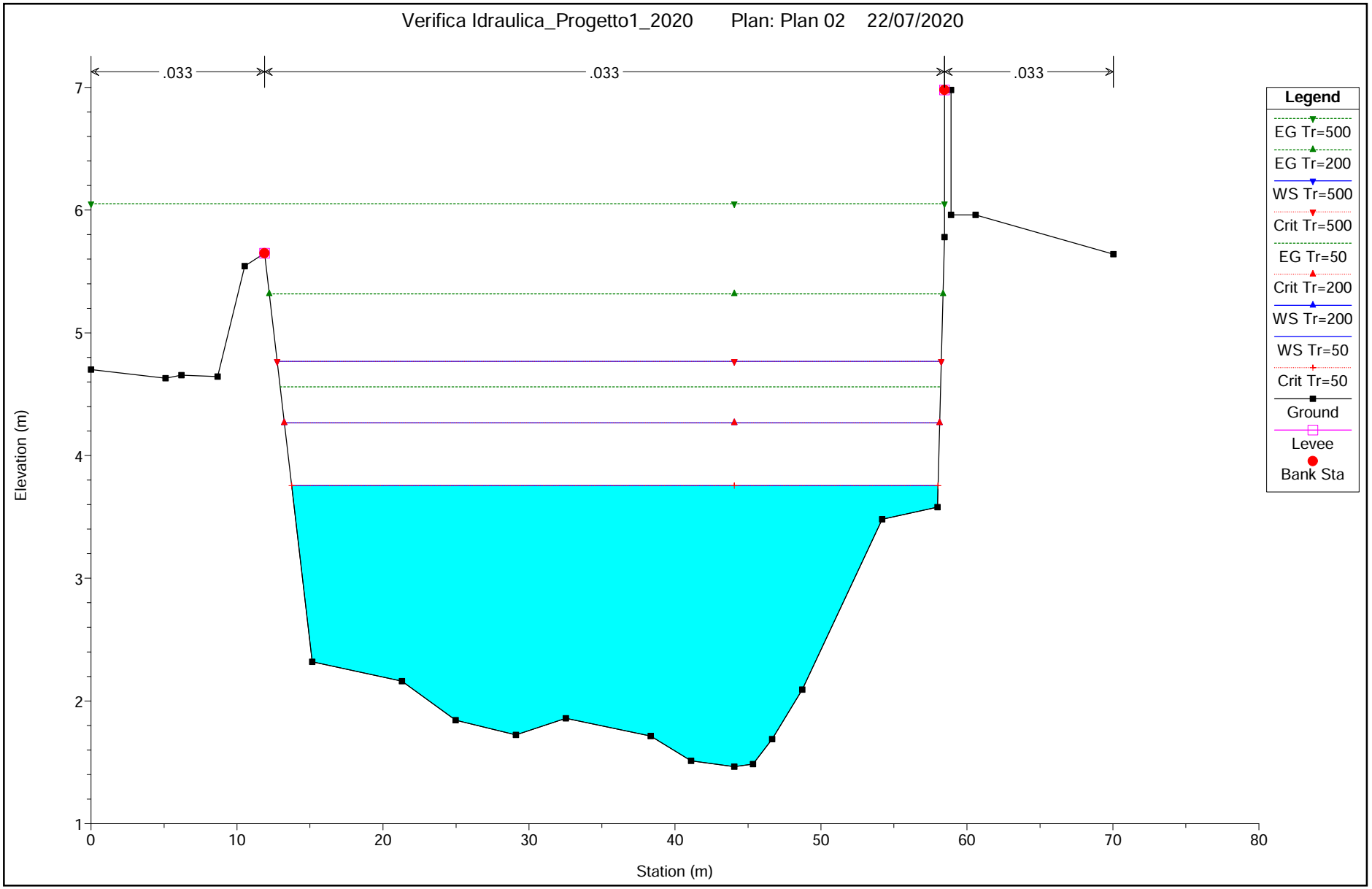

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=500
WS Tr=50
Crit Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=500
WS Tr=200
Ground
Levee
Bank Sta

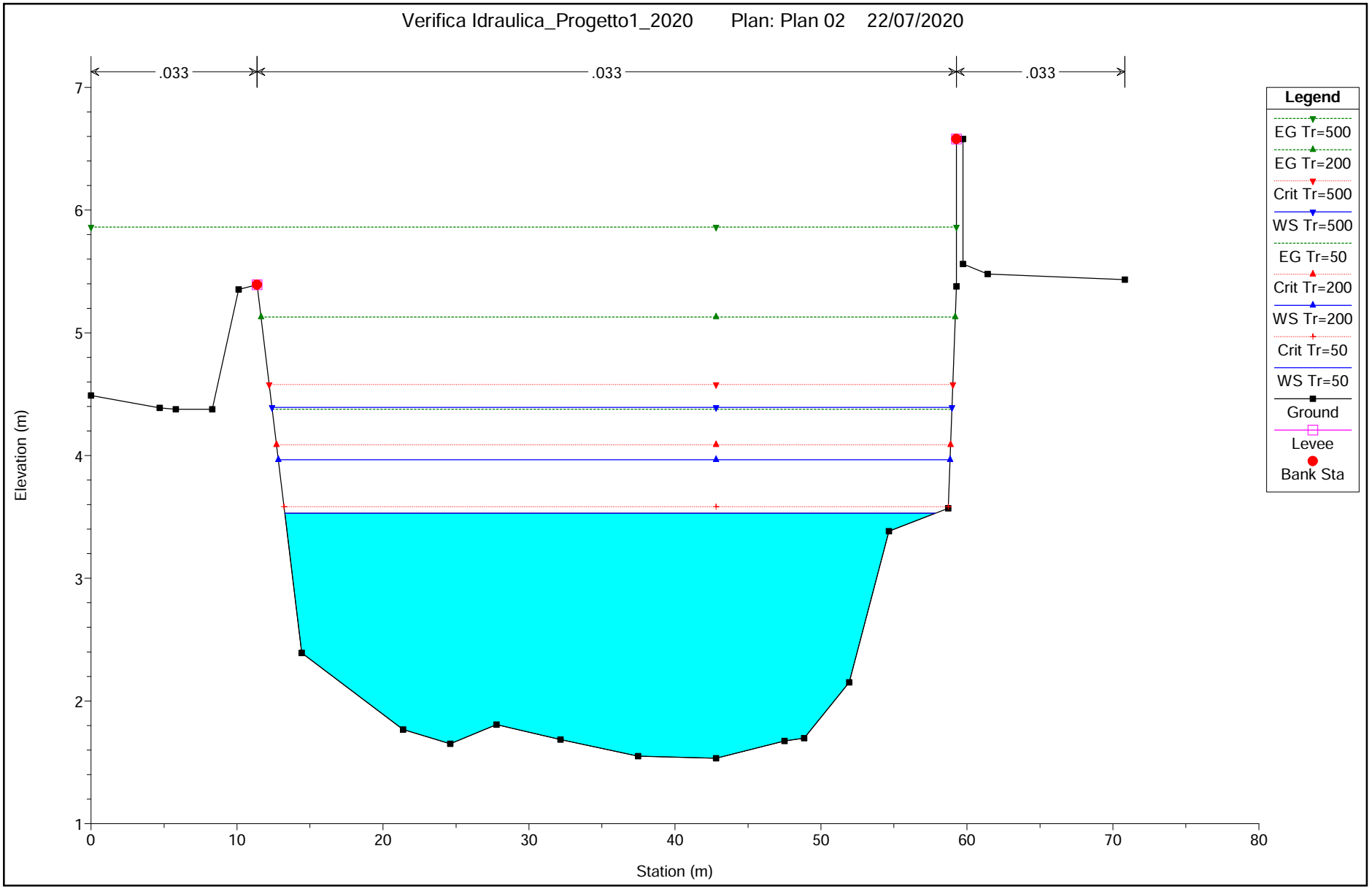

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

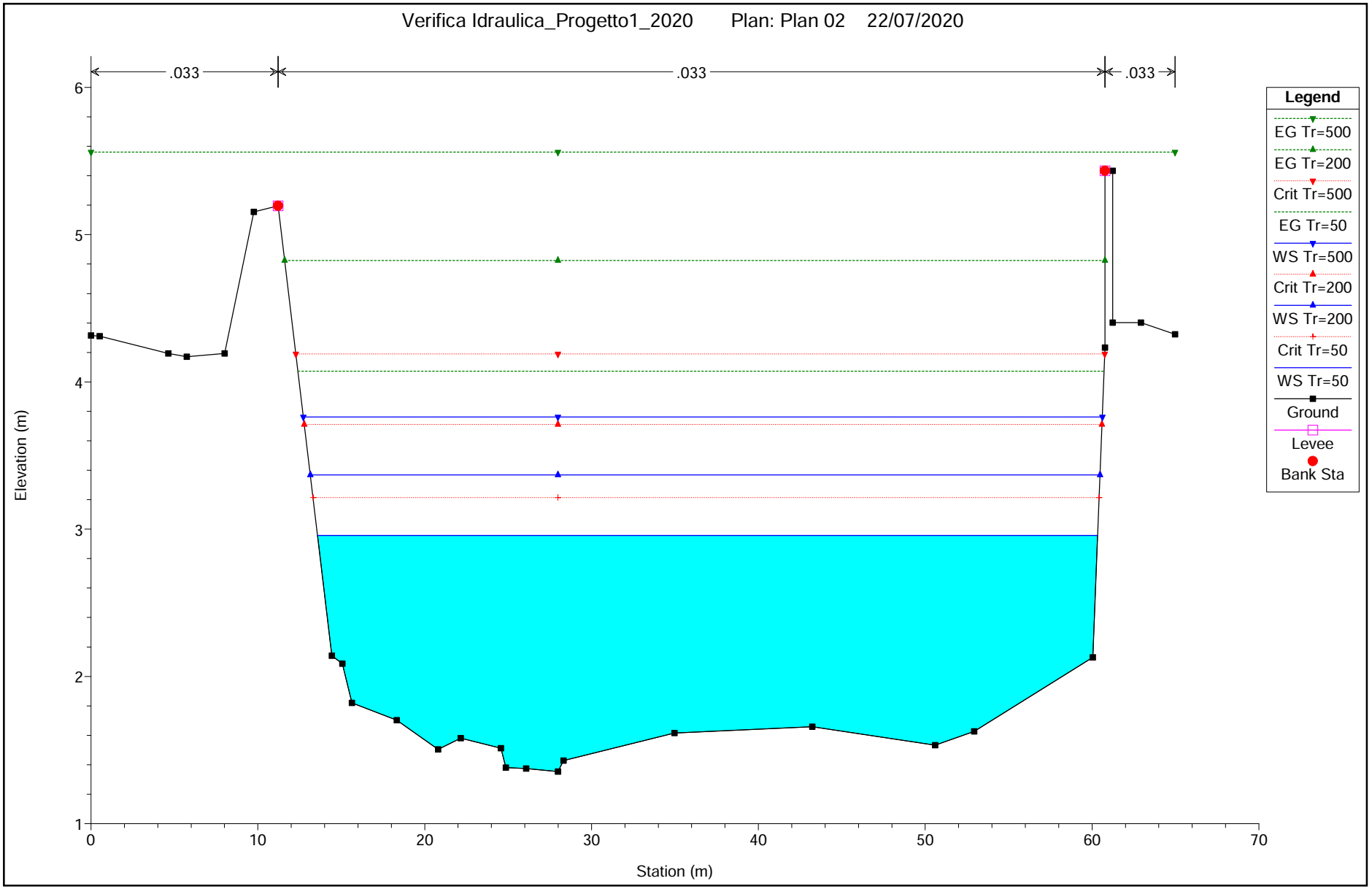

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

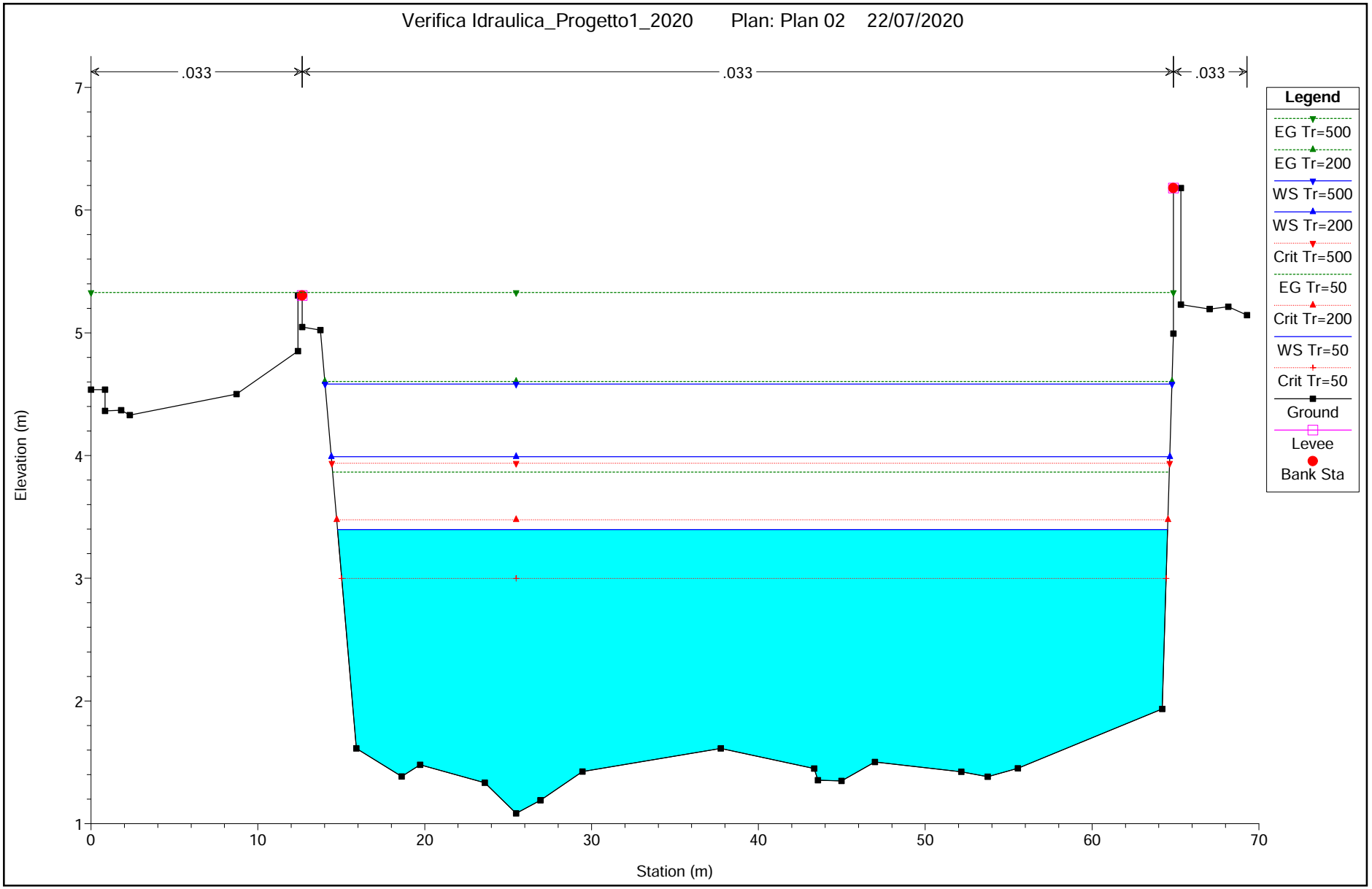

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

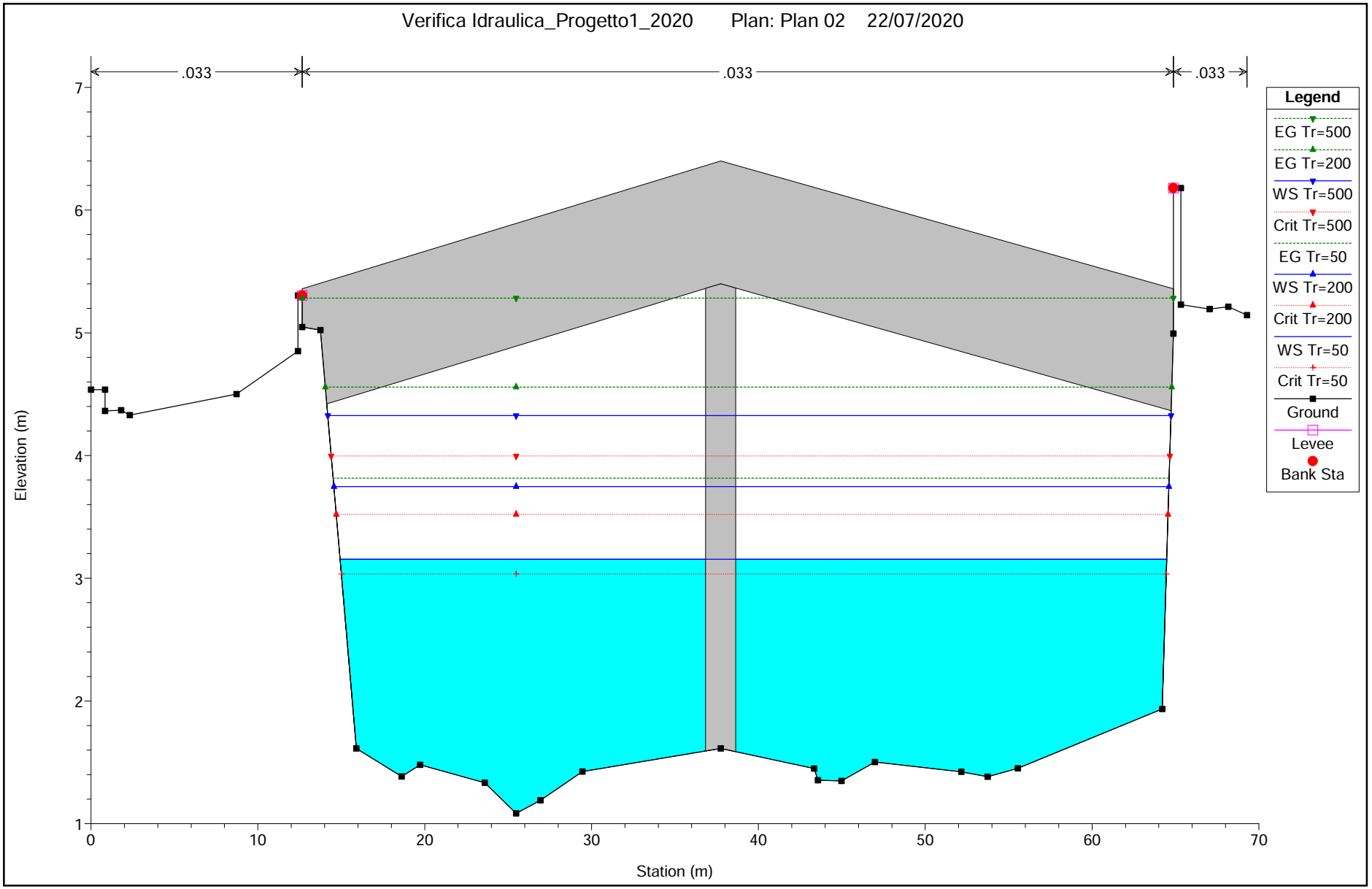

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

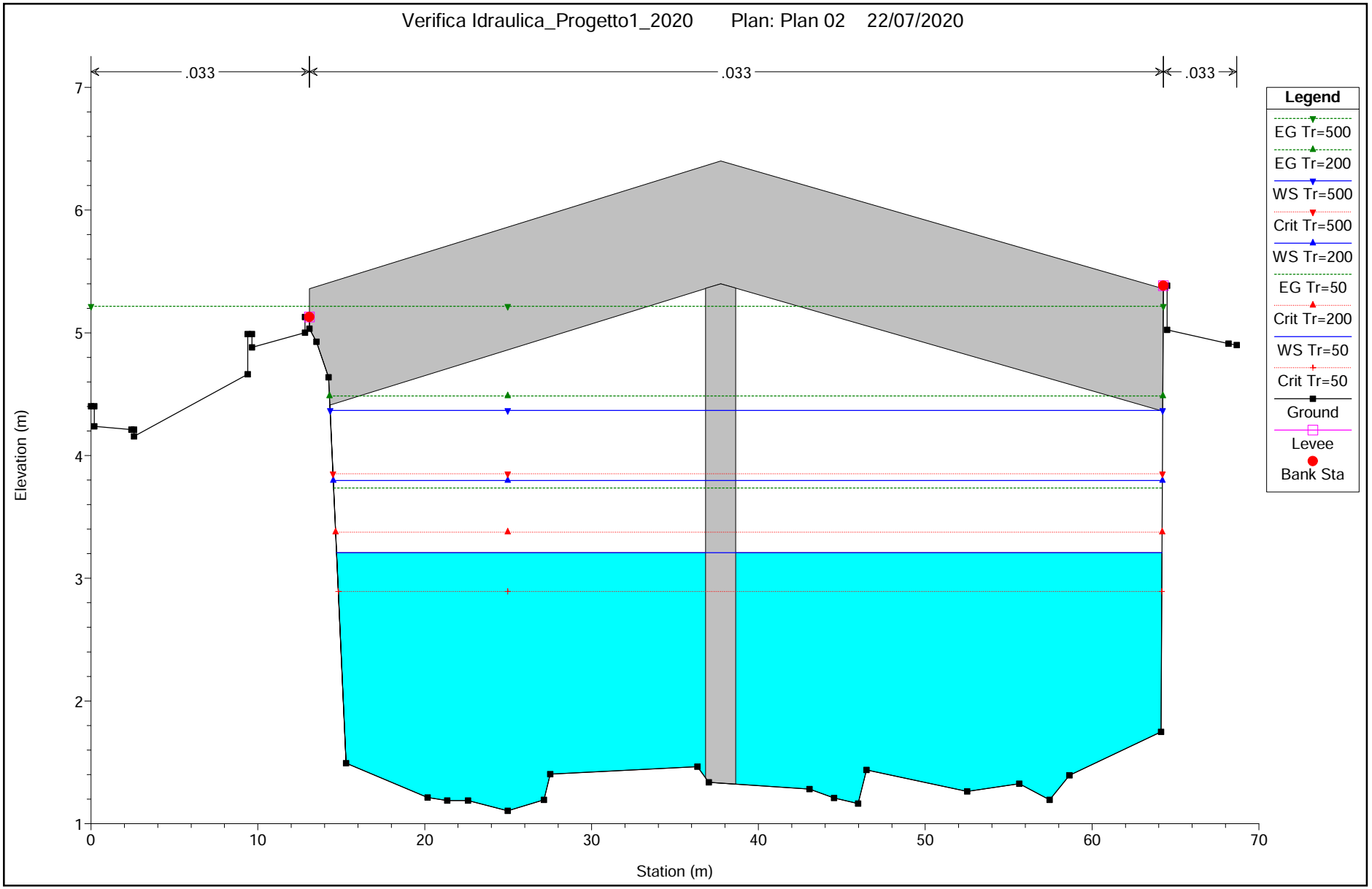

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

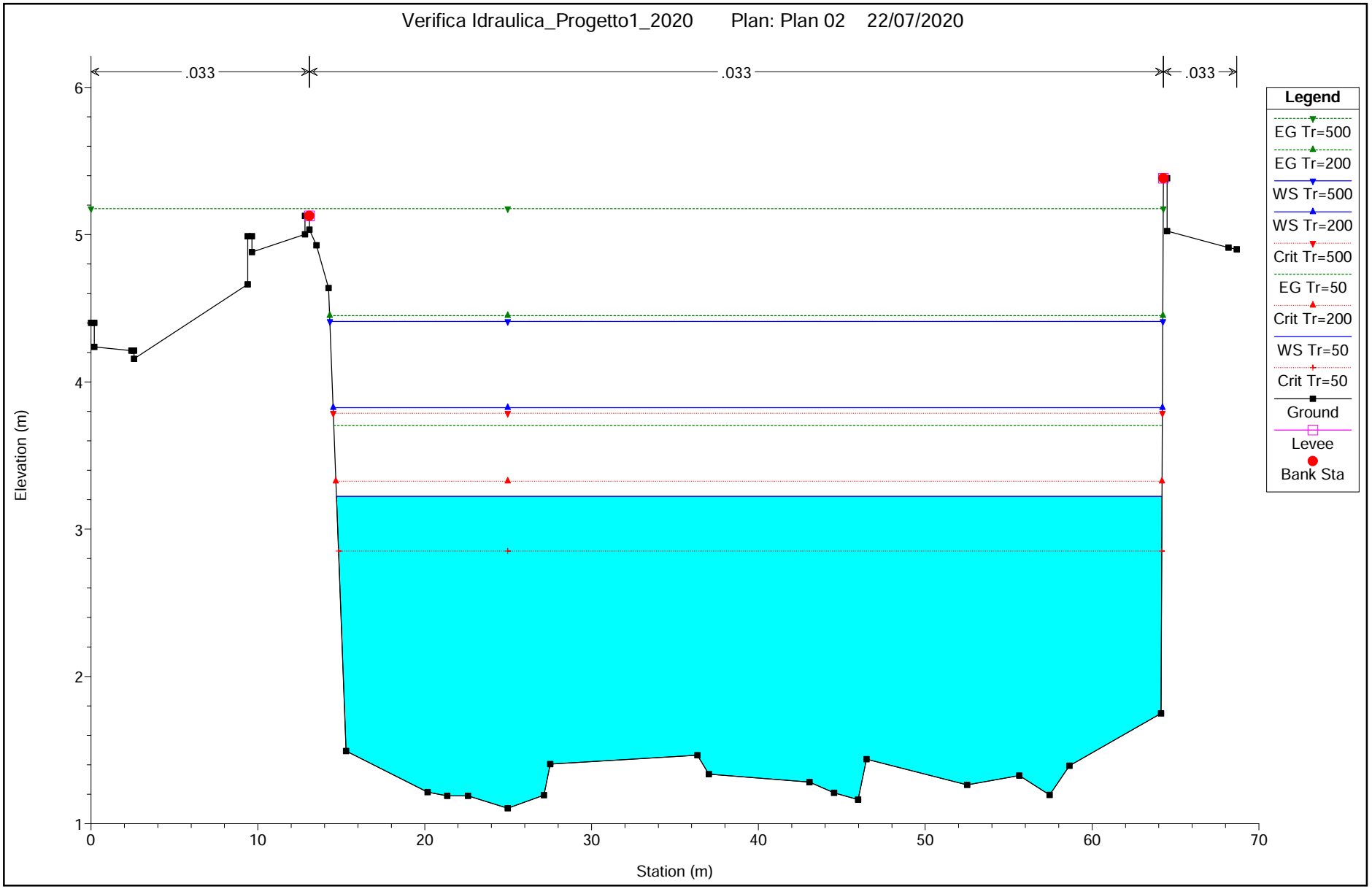

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
WS Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

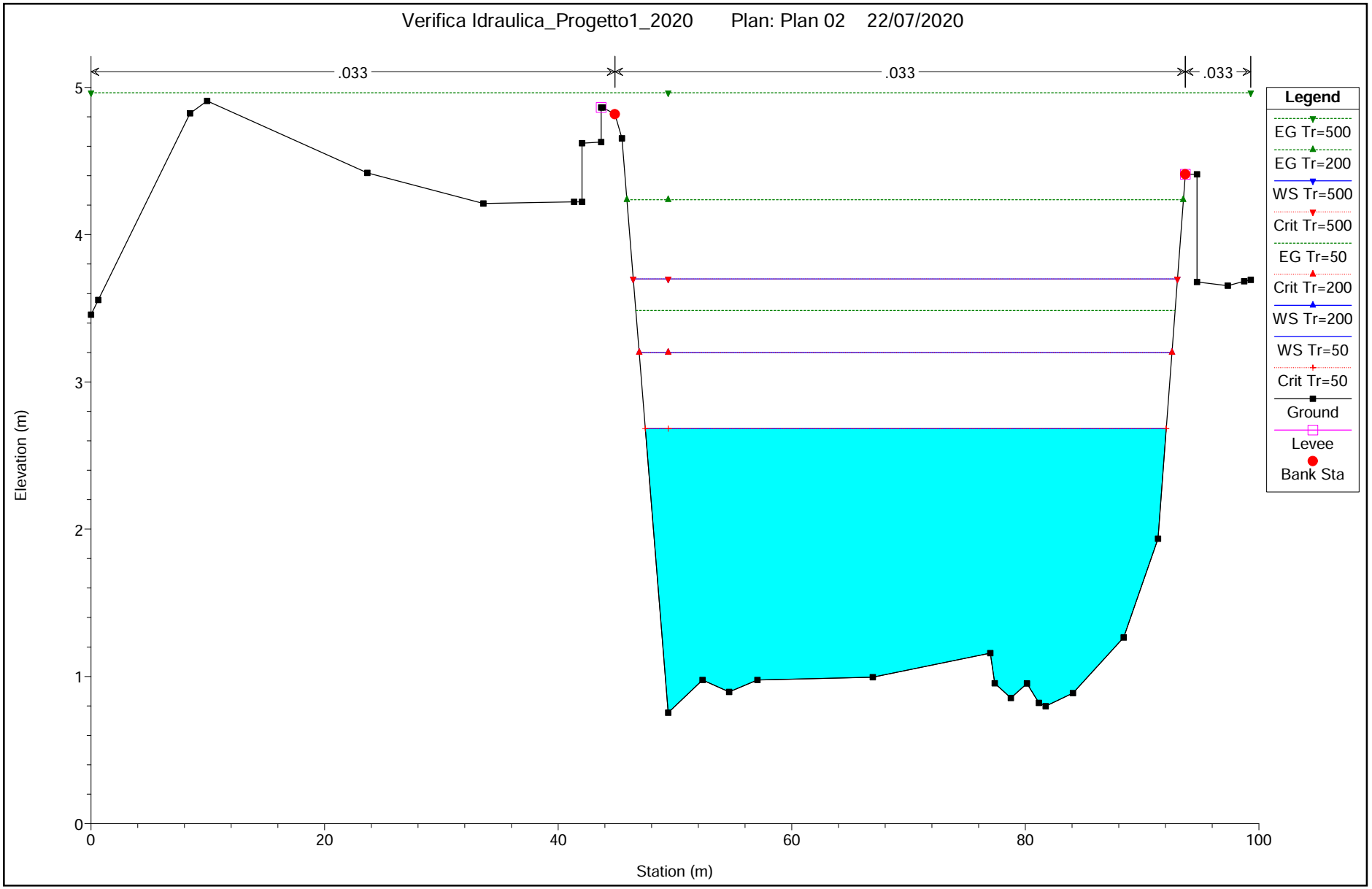

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=500
Crit Tr=200
WS Tr=200
Crit Tr=50
WS Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

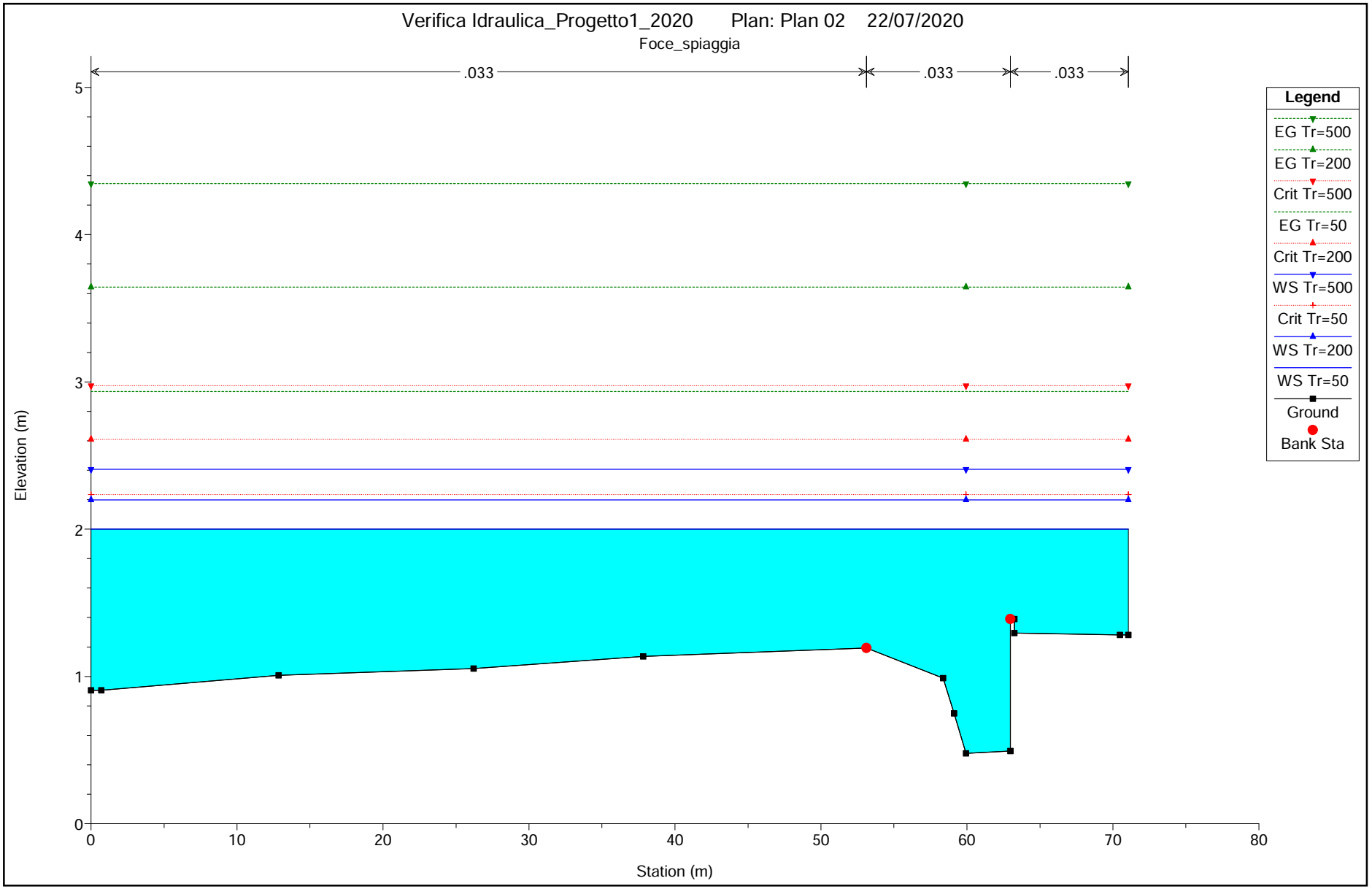

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40
50
60
70
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
WS Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta


Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
0
10
20
30
40
50
60
70
1
2
3
4
5
6
7
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
WS Tr=200
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta

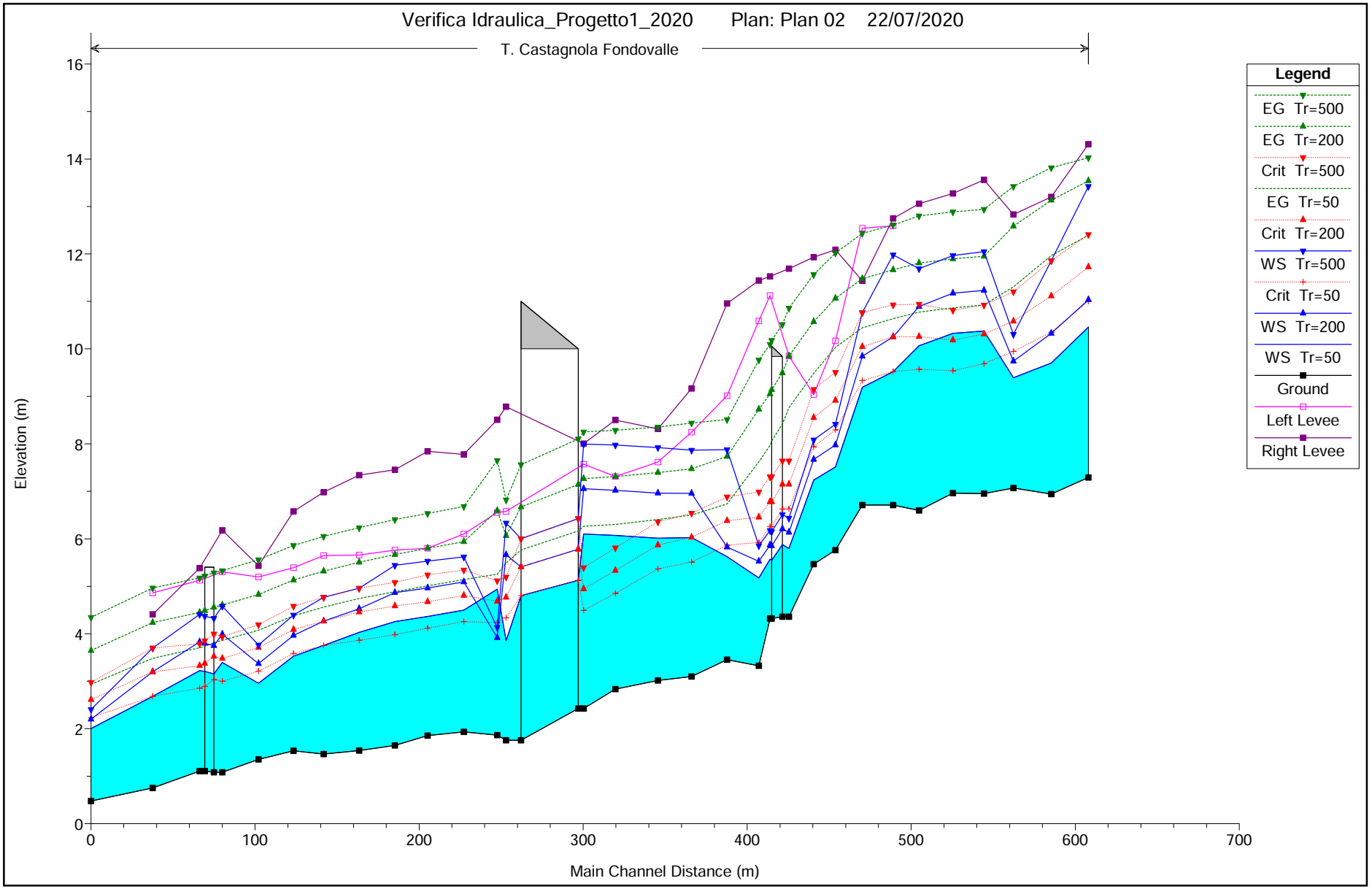

Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
WS Tr=200
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
1
2
3
4
5
6
7
0
10
20
30
40
50
60
70


Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
WS Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta


Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
.033
.033
.033
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
20
40
60
80
100
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=200
WS Tr=50
Crit Tr=50
Ground
Levee
Bank Sta


Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
Foce_spiaggia
.033
.033
.033
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
0
1
2
3
4
5
0
10
20
30
40
50
60
70
80

ALLEGATO 4


Verifica Idraulica_Progetto1_2020 Plan: Plan 02 22/07/2020
T. Castagnola Fondovalle
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
100
200
300
400
500
600
700
Legend
EG Tr=500
EG Tr=200
Crit Tr=500
EG Tr=50
Crit Tr=200
WS Tr=500
Crit Tr=50
WS Tr=200
WS Tr=50
Ground
Left Levee
Right Levee

ALLEGATO 5

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: T. Castagnola Reach: Fondovalle

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Fondovalle	31	Tr=50	284.00	7.29	10.46	11.00	12.40	0.014010	6.24	48.20	36.12	1.30
Fondovalle	31	Tr=200	428.00	7.29	11.03	11.72	13.54	0.014005	7.21	64.15	36.19	1.35
Fondovalle	31	Tr=500	587.00	7.29	13.42	12.41	14.03	0.001914	3.58	174.32	44.92	0.50
Fondovalle	30	Tr=50	284.00	6.94	9.70	10.35	11.96	0.022959	6.66	42.64	32.51	1.59
Fondovalle	30	Tr=200	428.00	6.94	10.33	11.11	13.13	0.019983	7.42	57.67	33.12	1.53
Fondovalle	30	Tr=500	587.00	6.94	11.86	11.86	13.82	0.007774	6.20	94.74	33.54	1.00
Fondovalle	29	Tr=50	284.00	7.07	9.39	9.95	11.31	0.025040	6.13	46.34	39.32	1.60
Fondovalle	29	Tr=200	428.00	7.07	9.74	10.58	12.59	0.028155	7.48	57.49	40.37	1.76
Fondovalle	29	Tr=500	587.00	7.07	10.31	11.21	13.42	0.021651	7.83	75.57	40.46	1.61
Fondovalle	28	Tr=50	284.00	6.95	10.38	9.69	10.93	0.003221	3.29	87.17	41.21	0.64
Fondovalle	28	Tr=200	428.00	6.95	11.23	10.31	11.95	0.002920	3.76	115.24	41.35	0.64
Fondovalle	28	Tr=500	587.00	6.95	12.05	10.92	12.94	0.002763	4.20	141.97	41.48	0.64
Fondovalle	27	Tr=50	284.00	6.96	10.33	9.54	10.86	0.002940	3.25	88.62	39.52	0.62
Fondovalle	27	Tr=200	428.00	6.96	11.17	10.18	11.90	0.002806	3.78	115.23	39.68	0.63
Fondovalle	27	Tr=500	587.00	6.96	11.97	10.81	12.89	0.002760	4.27	140.21	39.83	0.64
Fondovalle	26	Tr=50	284.00	6.60	10.07	9.57	10.77	0.004428	3.72	76.32	37.84	0.74
Fondovalle	26	Tr=200	428.00	6.60	10.89	10.26	11.81	0.004253	4.23	101.19	39.53	0.75
Fondovalle	26	Tr=500	587.00	6.60	11.70	10.94	12.80	0.003983	4.66	126.03	39.93	0.74
Fondovalle	25	Tr=50	284.00	6.71	9.52	9.52	10.64	0.008443	4.68	60.75	35.36	1.00
Fondovalle	25	Tr=200	428.00	6.71	10.25	10.25	11.67	0.007876	5.26	81.33	37.12	1.00
Fondovalle	25	Tr=500	587.00	6.71	12.00	10.93	12.61	0.002177	3.48	173.45	57.30	0.53
Fondovalle	24	Tr=50	284.00	6.71	9.19	9.33	10.45	0.010423	4.96	57.25	36.38	1.10
Fondovalle	24	Tr=200	428.00	6.71	9.84	10.04	11.48	0.009871	5.66	75.58	37.42	1.11
Fondovalle	24	Tr=500	587.00	6.71	10.76	10.76	12.43	0.007453	5.72	102.58	39.79	1.00
Fondovalle	23	Tr=50	284.00	6.56	8.56	9.02	10.17	0.021460	5.63	50.48	34.88	1.49
Fondovalle	23	Tr=200	428.00	6.56	8.97	9.63	11.19	0.022407	6.60	64.82	35.99	1.57
Fondovalle	23	Tr=500	587.00	6.56	9.38	10.22	12.13	0.022235	7.35	79.81	37.13	1.60
Fondovalle	22	Tr=50	284.00	6.47	9.33	8.84	9.89	0.004231	3.33	85.81	42.40	0.70
Fondovalle	22	Tr=200	428.00	6.47	10.17	9.48	10.81	0.003308	3.58	123.33	44.74	0.65
Fondovalle	22	Tr=500	587.00	6.47	10.98	10.03	11.70	0.002830	3.82	160.01	60.13	0.62
Fondovalle	21	Tr=50	284.00	6.36	9.49	8.48	9.76	0.001954	2.31	123.02	54.05	0.48
Fondovalle	21	Tr=200	428.00	6.36	10.36	9.01	10.68	0.001561	2.52	173.99	59.24	0.45
Fondovalle	21	Tr=500	587.00	6.36	11.21	9.47	11.57	0.001323	2.68	231.19	74.44	0.42
Fondovalle	20.5		Bridge									
Fondovalle	20	Tr=50	284.00	6.32	9.44	8.24	9.71	0.001622	2.27	124.87	45.33	0.44
Fondovalle	20	Tr=200	428.00	6.32	10.17	8.76	10.55	0.001746	2.70	159.00	52.00	0.47
Fondovalle	20	Tr=500	587.00	6.32	10.75	9.26	11.25	0.001992	3.15	192.87	76.67	0.50
Fondovalle	19.5		Inl Struct									
Fondovalle	19	Tr=50	284.00	3.32	6.38		6.90	0.004300	3.19	89.06	42.01	0.70
Fondovalle	19	Tr=200	428.00	3.32	7.27		7.85	0.003247	3.37	127.13	43.74	0.63
Fondovalle	19	Tr=500	587.00	3.32	8.17		8.80	0.002617	3.51	167.44	45.20	0.58
Fondovalle	18	Tr=50	284.00	3.45	6.33		6.81	0.004245	3.07	92.65	46.09	0.69
Fondovalle	18	Tr=200	428.00	3.45	7.27		7.77	0.002856	3.13	136.84	47.91	0.59
Fondovalle	18	Tr=500	587.00	3.45	8.20		8.72	0.002197	3.22	183.90	55.31	0.53
Fondovalle	17	Tr=50	284.00	3.10	6.34	5.51	6.70	0.002507	2.65	107.10	44.09	0.54
Fondovalle	17	Tr=200	428.00	3.10	7.27	6.03	7.69	0.002050	2.88	148.45	45.28	0.51
Fondovalle	17	Tr=500	587.00	3.10	8.18	6.54	8.67	0.001791	3.08	190.44	46.45	0.49
Fondovalle	16	Tr=50	284.00	3.02	6.34		6.64	0.002018	2.42	117.27	46.91	0.49
Fondovalle	16	Tr=200	428.00	3.02	7.29		7.63	0.001621	2.61	168.15	60.50	0.45
Fondovalle	16	Tr=500	587.00	3.02	8.24		8.60	0.001299	2.71	227.47	65.97	0.42
Fondovalle	15	Tr=50	284.00	2.85	6.34		6.57	0.001428	2.13	133.40	51.06	0.41
Fondovalle	15	Tr=200	428.00	2.85	7.30		7.57	0.001187	2.32	190.54	62.06	0.39
Fondovalle	15	Tr=500	587.00	2.85	8.26		8.55	0.000987	2.44	253.44	68.09	0.37
Fondovalle	14	Tr=50	284.00	2.43	6.37	4.75	6.53	0.000861	1.77	160.64	52.72	0.32
Fondovalle	14	Tr=200	428.00	2.43	7.33	5.21	7.54	0.000822	2.03	211.05	52.84	0.32
Fondovalle	14	Tr=500	587.00	2.43	8.27	5.65	8.52	0.000765	2.21	279.39	74.82	0.32
Fondovalle	13.5		Bridge									
Fondovalle	13	Tr=50	284.00	1.76	3.85	4.32	5.50	0.042233	5.69	49.88	55.97	1.93
Fondovalle	13	Tr=200	428.00	1.76	4.10	4.76	6.39	0.042757	6.71	63.79	56.02	2.01
Fondovalle	13	Tr=500	587.00	1.76	6.38		6.82	0.002154	2.98	202.27	64.95	0.52
Fondovalle	12	Tr=50	284.00	1.87	4.94	4.23	5.26	0.002687	2.49	114.01	53.82	0.55
Fondovalle	12	Tr=200	428.00	1.87	5.66	4.68	6.05	0.002319	2.77	157.43	61.70	0.52
Fondovalle	12	Tr=500	587.00	1.87	4.16	5.14	7.55	0.051187	8.15	72.00	53.71	2.25
Fondovalle	11	Tr=50	284.00	1.93	4.50	4.26	5.14	0.006065	3.57	79.66	41.85	0.83
Fondovalle	11	Tr=200	428.00	1.93	5.09	4.80	5.94	0.005868	4.08	104.82	43.50	0.84

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: T. Castagnola Reach: Fondovalle (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Fondovalle	11	Tr=500	587.00	1.93	5.62	5.34	6.68	0.006069	4.55	128.87	46.36	0.87
Fondovalle	10	Tr=50	284.00	1.85	4.36		5.01	0.006015	3.56	79.82	41.82	0.82
Fondovalle	10	Tr=200	428.00	1.85	4.96	4.67	5.80	0.006195	4.07	105.22	45.87	0.86
Fondovalle	10	Tr=500	587.00	1.85	5.56	5.26	6.53	0.005571	4.37	136.26	54.48	0.83
Fondovalle	9	Tr=50	284.00	1.65	4.26		4.89	0.005795	3.52	80.67	41.57	0.81
Fondovalle	9	Tr=200	428.00	1.65	4.86		5.67	0.005938	3.98	107.55	46.43	0.83
Fondovalle	9	Tr=500	587.00	1.65	5.47	5.09	6.41	0.005238	4.29	138.80	53.98	0.81
Fondovalle	8	Tr=50	284.00	1.54	4.04	3.86	4.74	0.006802	3.72	76.32	40.92	0.87
Fondovalle	8	Tr=200	428.00	1.54	4.53	4.45	5.51	0.007793	4.36	98.09	45.45	0.95
Fondovalle	8	Tr=500	587.00	1.54	4.97	4.96	6.23	0.008162	4.97	118.02	48.54	0.99
Fondovalle	7	Tr=50	284.00	1.46	3.75	3.75	4.56	0.009533	4.00	71.06	44.27	1.01
Fondovalle	7	Tr=200	428.00	1.46	4.26	4.26	5.32	0.008880	4.56	93.85	44.88	1.01
Fondovalle	7	Tr=500	587.00	1.46	4.82	4.82	6.05	0.007752	4.91	120.85	54.60	0.97
Fondovalle	6	Tr=50	284.00	1.53	3.53	3.58	4.38	0.010202	4.07	69.71	44.58	1.04
Fondovalle	6	Tr=200	428.00	1.53	3.97	4.08	5.13	0.010611	4.78	89.57	46.01	1.09
Fondovalle	6	Tr=500	587.00	1.53	4.40	4.64	5.86	0.010459	5.35	109.79	50.76	1.11
Fondovalle	5	Tr=50	284.00	1.35	2.96	3.22	4.07	0.017313	4.68	60.72	46.75	1.31
Fondovalle	5	Tr=200	428.00	1.35	3.37	3.71	4.82	0.016088	5.34	80.08	47.33	1.31
Fondovalle	5	Tr=500	587.00	1.35	3.77	4.19	5.56	0.015320	5.93	99.02	47.89	1.32
Fondovalle	4	Tr=50	284.00	1.08	3.40	3.00	3.86	0.004553	3.03	93.77	49.76	0.70
Fondovalle	4	Tr=200	428.00	1.08	3.99	3.47	4.60	0.004267	3.47	123.51	50.26	0.71
Fondovalle	4	Tr=500	587.00	1.08	4.59	3.93	5.33	0.004004	3.82	155.02	60.38	0.70
Fondovalle	3.5		Bridge									
Fondovalle	3	Tr=50	284.00	1.10	3.23		3.71	0.004799	3.07	92.53	49.48	0.72
Fondovalle	3	Tr=200	428.00	1.10	3.83		4.45	0.004429	3.50	122.36	49.71	0.71
Fondovalle	3	Tr=500	587.00	1.10	4.41		5.17	0.004234	3.88	152.01	55.85	0.71
Fondovalle	2	Tr=50	284.00	0.75	2.68	2.68	3.49	0.009603	3.98	71.29	44.59	1.01
Fondovalle	2	Tr=200	428.00	0.75	3.19	3.19	4.24	0.008851	4.52	94.60	45.60	1.00
Fondovalle	2	Tr=500	587.00	0.75	3.72	3.72	4.96	0.008140	4.95	119.09	52.85	0.99
Fondovalle	1	Tr=50	284.00	0.48	2.00	2.24	2.93	0.022010	4.65	66.97	71.06	1.38
Fondovalle	1	Tr=200	428.00	0.48	2.20	2.61	3.64	0.026897	5.70	80.90	71.06	1.57
Fondovalle	1	Tr=500	587.00	0.48	2.40	2.97	4.35	0.029335	6.55	95.54	71.06	1.68

ALLEGATO 6

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: T. Castagnola Reach: Fondovalle

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Fondovalle	31	Tr=50	284.00	7.29	10.46	11.00	12.40	0.014010	6.24	48.20	36.12	1.30
Fondovalle	31	Tr=200	428.00	7.29	11.03	11.72	13.54	0.014005	7.21	64.15	36.19	1.35
Fondovalle	31	Tr=500	587.00	7.29	13.42	12.41	14.03	0.001916	3.58	173.73	36.48	0.50
Fondovalle	30	Tr=50	284.00	6.94	9.70	10.35	11.96	0.022959	6.66	42.64	32.51	1.59
Fondovalle	30	Tr=200	428.00	6.94	10.33	11.11	13.13	0.019983	7.42	57.67	33.12	1.53
Fondovalle	30	Tr=500	587.00	6.94	11.86	11.86	13.82	0.007774	6.20	94.74	33.54	1.00
Fondovalle	29	Tr=50	284.00	7.07	9.39	9.95	11.31	0.025040	6.13	46.34	39.32	1.60
Fondovalle	29	Tr=200	428.00	7.07	9.74	10.58	12.59	0.028155	7.48	57.49	40.37	1.76
Fondovalle	29	Tr=500	587.00	7.07	10.31	11.20	13.42	0.021651	7.83	75.57	40.46	1.61
Fondovalle	28	Tr=50	284.00	6.95	10.38	9.69	10.93	0.003221	3.29	87.17	41.21	0.64
Fondovalle	28	Tr=200	428.00	6.95	11.23	10.31	11.95	0.002920	3.76	115.24	41.35	0.64
Fondovalle	28	Tr=500	587.00	6.95	12.05	10.92	12.94	0.002772	4.20	141.82	41.48	0.64
Fondovalle	27	Tr=50	284.00	6.96	10.33	9.54	10.86	0.002940	3.25	88.62	39.52	0.62
Fondovalle	27	Tr=200	428.00	6.96	11.17	10.18	11.90	0.002806	3.78	115.23	39.68	0.63
Fondovalle	27	Tr=500	587.00	6.96	11.96	10.81	12.89	0.002769	4.27	140.06	39.83	0.64
Fondovalle	26	Tr=50	284.00	6.60	10.07	9.57	10.77	0.004428	3.72	76.32	37.84	0.74
Fondovalle	26	Tr=200	428.00	6.60	10.89	10.26	11.81	0.004253	4.23	101.19	39.53	0.75
Fondovalle	26	Tr=500	587.00	6.60	11.69	10.94	12.80	0.004005	4.67	125.80	39.93	0.74
Fondovalle	25	Tr=50	284.00	6.71	9.52	9.52	10.64	0.008443	4.68	60.75	35.36	1.00
Fondovalle	25	Tr=200	428.00	6.71	10.25	10.25	11.67	0.007876	5.26	81.33	37.12	1.00
Fondovalle	25	Tr=500	587.00	6.71	11.98	10.93	12.61	0.002227	3.51	167.23	38.12	0.54
Fondovalle	24	Tr=50	284.00	6.71	9.19	9.33	10.45	0.010423	4.96	57.25	36.38	1.10
Fondovalle	24	Tr=200	428.00	6.71	9.84	10.05	11.48	0.009871	5.66	75.58	37.42	1.11
Fondovalle	24	Tr=500	587.00	6.71	10.76	10.76	12.43	0.007453	5.72	102.58	39.79	1.00
Fondovalle	23	Tr=50	284.00	5.76	7.51	8.30	10.03	0.037351	7.03	40.42	30.28	1.94
Fondovalle	23	Tr=200	428.00	5.76	7.98	8.92	11.06	0.033918	7.78	55.01	32.75	1.92
Fondovalle	23	Tr=500	587.00	5.76	8.41	9.51	12.02	0.031760	8.41	69.80	35.08	1.90
Fondovalle	22	Tr=50	284.00	5.47	7.24	7.94	9.49	0.032272	6.65	42.74	31.14	1.81
Fondovalle	22	Tr=200	428.00	5.47	7.67	8.55	10.57	0.031483	7.55	56.70	33.35	1.85
Fondovalle	22	Tr=500	587.00	5.47	8.09	9.15	11.57	0.030270	8.26	71.02	35.23	1.86
Fondovalle	21	Tr=50	284.00	4.36	5.80	6.63	8.76	0.061166	7.63	37.24	36.03	2.40
Fondovalle	21	Tr=200	428.00	4.36	6.13	7.15	9.85	0.061386	8.54	50.14	41.01	2.47
Fondovalle	21	Tr=500	587.00	4.36	6.43	7.64	10.86	0.059193	9.31	63.03	43.74	2.48
Fondovalle	20.5		Bridge									
Fondovalle	20	Tr=50	284.00	4.32	5.57	6.25	7.97	0.055084	6.86	41.42	42.05	2.21
Fondovalle	20	Tr=200	428.00	4.32	5.87	6.78	9.05	0.052073	7.90	54.20	42.22	2.23
Fondovalle	20	Tr=500	587.00	4.32	6.17	7.31	10.10	0.049425	8.77	66.93	42.39	2.23
Fondovalle	19	Tr=50	284.00	3.32	5.18	5.93	7.62	0.045118	6.93	41.00	36.31	2.08
Fondovalle	19	Tr=200	428.00	3.32	5.53	6.46	8.73	0.043520	7.92	54.02	37.81	2.12
Fondovalle	19	Tr=500	587.00	3.32	5.86	6.99	9.77	0.045384	8.76	67.00	41.34	2.20
Fondovalle	18	Tr=50	284.00	3.45	5.62	5.87	6.73	0.016085	4.67	60.86	44.68	1.28
Fondovalle	18	Tr=200	428.00	3.45	5.83	6.38	7.74	0.023354	6.12	69.91	44.89	1.57
Fondovalle	18	Tr=500	587.00	3.45	7.88	6.88	8.51	0.002917	3.53	166.25	48.63	0.61
Fondovalle	17	Tr=50	284.00	3.10	6.03	5.51	6.50	0.003877	3.04	93.30	43.69	0.67
Fondovalle	17	Tr=200	428.00	3.10	6.96	6.03	7.47	0.002795	3.19	134.38	44.88	0.59
Fondovalle	17	Tr=500	587.00	3.10	7.87	6.54	8.44	0.002285	3.34	175.88	46.05	0.55
Fondovalle	16	Tr=50	284.00	3.02	6.01	5.37	6.41	0.003146	2.79	101.96	46.53	0.60
Fondovalle	16	Tr=200	428.00	3.02	6.96	5.87	7.40	0.002259	2.92	146.81	47.64	0.53
Fondovalle	16	Tr=500	587.00	3.02	7.92	6.36	8.36	0.001696	2.96	207.46	62.75	0.47
Fondovalle	15	Tr=50	284.00	2.83	6.07	4.85	6.30	0.001423	2.14	132.86	49.35	0.42
Fondovalle	15	Tr=200	428.00	2.83	7.02	5.33	7.31	0.001239	2.37	180.31	50.45	0.40
Fondovalle	15	Tr=500	587.00	2.83	7.98	5.81	8.28	0.001027	2.49	245.27	62.21	0.37
Fondovalle	14	Tr=50	284.00	2.43	6.10	4.49	6.26	0.000862	1.78	159.93	52.66	0.33
Fondovalle	14	Tr=200	428.00	2.43	7.06	4.95	7.27	0.000821	2.03	210.35	52.83	0.33
Fondovalle	14	Tr=500	587.00	2.43	8.00	5.39	8.25	0.000777	2.24	265.22	55.80	0.32
Fondovalle	13.5		Bridge									
Fondovalle	13	Tr=50	284.00	1.76	3.85	4.34	5.49	0.041609	5.67	50.11	55.97	1.91
Fondovalle	13	Tr=200	428.00	1.76	5.66	4.77	6.07	0.002554	2.82	151.74	56.28	0.55
Fondovalle	13	Tr=500	587.00	1.76	6.33	5.20	6.82	0.002361	3.10	189.42	56.39	0.54
Fondovalle	12	Tr=50	284.00	1.87	4.94	4.23	5.26	0.002687	2.49	114.01	53.82	0.55
Fondovalle	12	Tr=200	428.00	1.87	3.92	4.68	6.59	0.051965	7.24	59.09	53.68	2.20
Fondovalle	12	Tr=500	587.00	1.87	4.13	5.12	7.65	0.054345	8.30	70.69	53.71	2.31
Fondovalle	11	Tr=50	284.00	1.93	4.50	4.26	5.14	0.006068	3.57	79.65	41.85	0.83
Fondovalle	11	Tr=200	428.00	1.93	5.09	4.80	5.94	0.005833	4.08	105.03	43.51	0.84
Fondovalle	11	Tr=500	587.00	1.93	5.62	5.34	6.68	0.006092	4.56	128.69	46.33	0.87

HEC-RAS Plan: Plan 02 River: T. Castagnola Reach: Fondovalle (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Fondovalle	10	Tr=50	284.00	1.85	4.36	4.12	5.01	0.006019	3.56	79.80	41.81	0.82
Fondovalle	10	Tr=200	428.00	1.85	4.96	4.67	5.80	0.006174	4.06	105.50	46.06	0.86
Fondovalle	10	Tr=500	587.00	1.85	5.53	5.24	6.53	0.005820	4.44	132.27	47.68	0.85
Fondovalle	9	Tr=50	284.00	1.65	4.26	3.98	4.89	0.005800	3.52	80.65	41.57	0.81
Fondovalle	9	Tr=200	428.00	1.65	4.87	4.59	5.67	0.005876	3.97	107.90	46.44	0.83
Fondovalle	9	Tr=500	587.00	1.65	5.44	5.08	6.41	0.005490	4.36	134.66	47.17	0.82
Fondovalle	8	Tr=50	284.00	1.54	4.03	3.86	4.74	0.006881	3.74	76.03	40.89	0.87
Fondovalle	8	Tr=200	428.00	1.54	4.52	4.46	5.50	0.007910	4.38	97.63	45.44	0.96
Fondovalle	8	Tr=500	587.00	1.54	4.96	4.96	6.23	0.008296	5.00	117.40	46.02	1.00
Fondovalle	7	Tr=50	284.00	1.46	3.75	3.75	4.56	0.009361	3.97	71.46	44.28	1.00
Fondovalle	7	Tr=200	428.00	1.46	4.27	4.27	5.32	0.008755	4.54	94.27	44.90	1.00
Fondovalle	7	Tr=500	587.00	1.46	4.77	4.77	6.05	0.008314	5.02	116.92	45.50	1.00
Fondovalle	6	Tr=50	284.00	1.53	3.53	3.58	4.38	0.010223	4.08	69.64	44.55	1.04
Fondovalle	6	Tr=200	428.00	1.53	3.97	4.09	5.13	0.010614	4.78	89.56	46.01	1.09
Fondovalle	6	Tr=500	587.00	1.53	4.39	4.58	5.86	0.010587	5.37	109.30	46.58	1.12
Fondovalle	5	Tr=50	284.00	1.35	2.96	3.21	4.07	0.017311	4.68	60.72	46.75	1.31
Fondovalle	5	Tr=200	428.00	1.35	3.37	3.71	4.82	0.016088	5.34	80.08	47.33	1.31
Fondovalle	5	Tr=500	587.00	1.35	3.76	4.19	5.56	0.015405	5.94	98.85	47.88	1.32
Fondovalle	4	Tr=50	284.00	1.08	3.40	3.00	3.86	0.004558	3.03	93.73	49.75	0.70
Fondovalle	4	Tr=200	428.00	1.08	3.99	3.48	4.60	0.004272	3.47	123.46	50.26	0.71
Fondovalle	4	Tr=500	587.00	1.08	4.58	3.94	5.33	0.004031	3.83	153.33	50.76	0.70
Fondovalle	3.5		Bridge									
Fondovalle	3	Tr=50	284.00	1.10	3.22	2.85	3.70	0.004821	3.07	92.40	49.48	0.72
Fondovalle	3	Tr=200	428.00	1.10	3.83	3.33	4.45	0.004440	3.50	122.27	49.70	0.71
Fondovalle	3	Tr=500	587.00	1.10	4.41	3.79	5.18	0.004220	3.88	151.39	49.92	0.71
Fondovalle	2	Tr=50	284.00	0.75	2.68	2.68	3.49	0.009480	3.97	71.57	44.60	1.00
Fondovalle	2	Tr=200	428.00	0.75	3.20	3.20	4.24	0.008775	4.51	94.86	45.61	1.00
Fondovalle	2	Tr=500	587.00	0.75	3.70	3.70	4.96	0.008315	4.98	117.89	46.59	1.00
Fondovalle	1	Tr=50	284.00	0.48	2.00	2.24	2.94	0.022141	4.66	66.85	71.06	1.38
Fondovalle	1	Tr=200	428.00	0.48	2.20	2.61	3.64	0.026948	5.71	80.86	71.06	1.57
Fondovalle	1	Tr=500	587.00	0.48	2.41	2.97	4.35	0.029211	6.54	95.66	71.06	1.67