



COMUNE DI FOGGIA



PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO IMPIANTO DI PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE DI TIPO FOTOVOLTAICO UTILITY SCALE

Committente:

Green Genius Italy Utility 9 s.r.l.

Corso Giuseppe Garibaldi, 49
20121 Milano (MI)



StudioTECNICO
Ing. Marco G Balzano

Via Canello Rotto, 3
70125 BARI | Italy
+39 331.6794367
www.ingbalzano.com



Spazio Riservato agli Enti:

REV	DATA	ESEGUITO	VERIFICA	APPROV	DESCRIZ
R0	01/03/2021	Geol. De Giorgio	Geol. Gigante	MBG	Prima Emissione

Numero Commessa:

SV221

Data Elaborato:

01/03/2021

Revisione:

R0

Titolo Elaborato:

Relazione di compatibilità idrologica e idraulica

Progettista:

ing. Marco G. Balzano

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.9341
Professionista Antincendio Elenco Ministero degli Interni BA09341101837
Consulente Tecnico d'Ufficio (CTU) Tribunale Bari

Elaborato:

V.06

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. UBICAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOMORFOLOGICO GENERALE.....	3
3.1 GEOLOGIA.....	5
4. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI GENERALI DELL'AREA.....	9
5. GEOMORFOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO	10
6. ANALISI IDROLOGICA: METODOLOGIA UTILIZZATA.....	11
6.1 RICOSTRUZIONE L.S.P.P. CON METODO VA.PI. (VALUTAZIONE PIENE)	11
6.2 IL METODO SCS-CN	12
6.3 MODELLAZIONE IDROLOGICA	16
7. ANALISI IDRAULICA: METODOLOGIA UTILIZZATA	18
7.1 MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO	18
7.2 MOTO PERMANENTE	18
7.3 MOTO VARIO	22
8. CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO INDIVIDUATO PER LA SIMULAZIONE	24
9. ANALISI IDROLOGICA DEL BACINO DEL TORRENTE LACCIO	25
10. DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA	27
11. RISULTATI DELL'ANALISI IDRAULICA	29
12. CONCLUSIONI.....	31
Allegato	
SEZIONI IDRAULICHE	

1. PREMESSA

Il presente studio di compatibilità idrologico-idraulica, redatto dal sottoscritto dott. Geol. Giorgio De Giorgio a seguito dell'incarico conferito alla GeoMoniTek S.r.l. dalla I.S.E.I.C.O. s.r.l., integra la documentazione a corredo del *Progetto per la Realizzazione di impianto fotovoltaico Utility Scale* da realizzare su lotto posizionato nel territorio comunale di Foggia, su cui verranno installati pannelli fotovoltaici e denominato "SV221".

L'iniziativa nello specifico, prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico destinato alla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e delle opere ad esso connesse, ossia il cavidotto e la sottostazione di servizio.

Lo studio idrologico-idraulico condotto quindi sull'area di progetto nel suo complesso, intende caratterizzare gli aspetti connessi alla probabilità di allagamento per fenomeni di esondazione dei corsi d'acqua con tempo di ritorno di 200 anni, compresi nel reticolo idrografico d'interesse, in relazione a quanto riportato nella Carta idrogeomorfologica e nella cartografia PAI dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale. A tal fine la base cartografica di riferimento utilizzata per il presente studio è stata quella derivante dal rilievo LIDAR del Ministero dell'Ambiente.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- *Fase 1:* individuazione del bacino idrografico di riferimento entro cui ricade l'area di progetto; georeferenziazione degli elementi ad esso connessi, individuazione delle criticità e pianificazione dei rilievi da effettuarsi;
- *Fase 2:* analisi idrologica applicando le indicazioni delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI;
- *Fase 3:* determinazioni dei parametri morfometrici del bacino idrografico e determinazione dei coefficienti CN in condizione II e III mediante l'analisi della carta idrogeomorfologica e della Carta dell'uso del suolo presente sul SIT della Regione Puglia dei terreni ricadenti nel bacino idrografico;
- *Fase 4:* determinazione della Portata di piena con tempi di ritorno a 200 anni;
- *Fase 5:* sviluppo ed elaborazione del modello idrologico ed idraulico per lo specifico caso di studio;
- *Fase 6:* sintesi dei risultati ottenuti ed elaborazione della cartografia specifica.

Per quanto concerne il cavidotto a servizio dell'impianto in progetto invece, anche se lungo il tracciato interseca aree PAI ad Alta, Media e Bassa pericolosità idraulica, tale studio non è stato condotto in quanto il cavidotto sarà completamente interrato per l'intero sviluppo del suo tracciato. Al fine di aumentare il grado di sicurezza dell'intervento di posa comunque, saranno osservati i seguenti accorgimenti:

1. Lo scavo sarà eseguito a lotti di lunghezza limitata per ridurre al minimo i tempi in cui lo scavo risulta aperto;
2. Il riempimento sarà realizzato con gli stessi materiali rinvenienti dallo scavo;
3. Nella fase di riempimento sarà ripristinata l'orografia presente *ante operam* al fine di non modificare le attuali condizioni di deflusso superficiale delle acque;
4. In corrispondenza di attraversamenti di corsi d'acqua la profondità di posa del cavidotto sarà attestata a 2 metri dalla quota minima dell'alveo;
5. Tale profondità di attestazione del cavidotto sarà mantenuta anche in corrispondenza dei tratti del tracciato in area PAI.

Le suddette modalità operative per la realizzazione del cavidotto si ritengono idonee ad assicurare un elevato grado di sicurezza in fase di realizzazione dell'opera ed il ripristino dell'orografia *ante operam* non permetterà l'aumento della pericolosità a valle perché le condizioni di deflusso superficiale delle acque saranno preservate e modificate solo ed esclusivamente nel corso, temporalmente limitato, della realizzazione dello scavo e la posa del cavidotto.

2. UBICAZIONE DELL'AREA DI PROGETTO

L'area interessata dall'opera in parola è situata nella zona settentrionale del Comune di Foggia (Fg), nell'area interna del Tavoliere delle Puglie.

Nelle seguenti immagini si riporta la cartografia di riferimento con ubicazione dell'area interessata dalle opere:

- Stralcio della Carta Topografica d'Italia IGMI: F°164 IV SO "Borgo Duanera La Rocca" e F°164 III NO "Foggia": fonte: www.pcn.minambiente.it (fig.1a);
- Immagine satellitare anno 2016; fonte: www.sit.puglia.it (fig.1b).
- Carta Tecnica Regionale elemento 408033 della Regione Puglia (fig.1c).

Inoltre il sito ricade nel Foglio 408 "Foggia" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

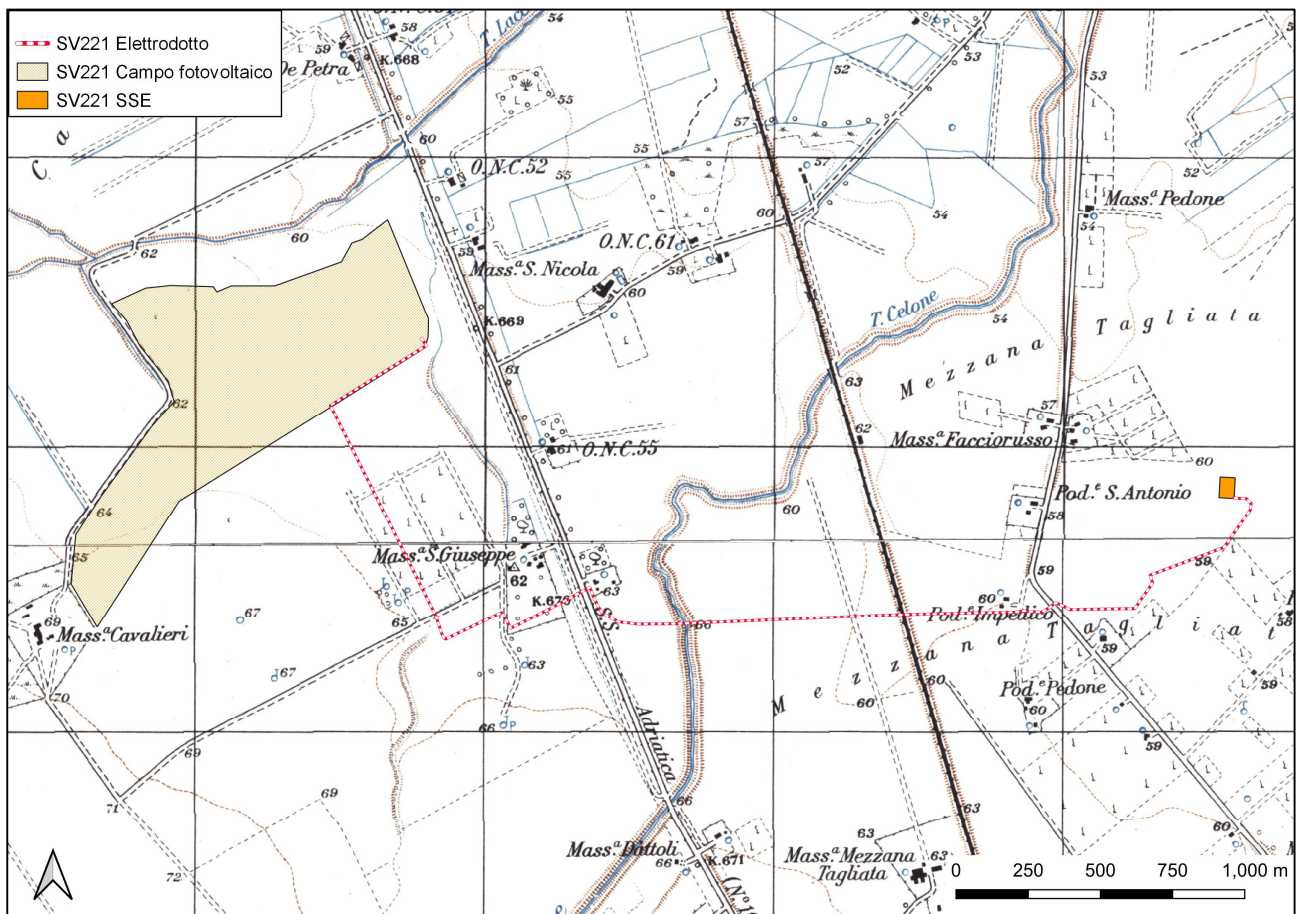


Fig. 1a - Stralcio delle Tavolette IGMI F°164 IV SO "Borgo Duanera La Rocca" e F°164 III NO "Foggia". Fonte: www.pcn.minambiente.it.

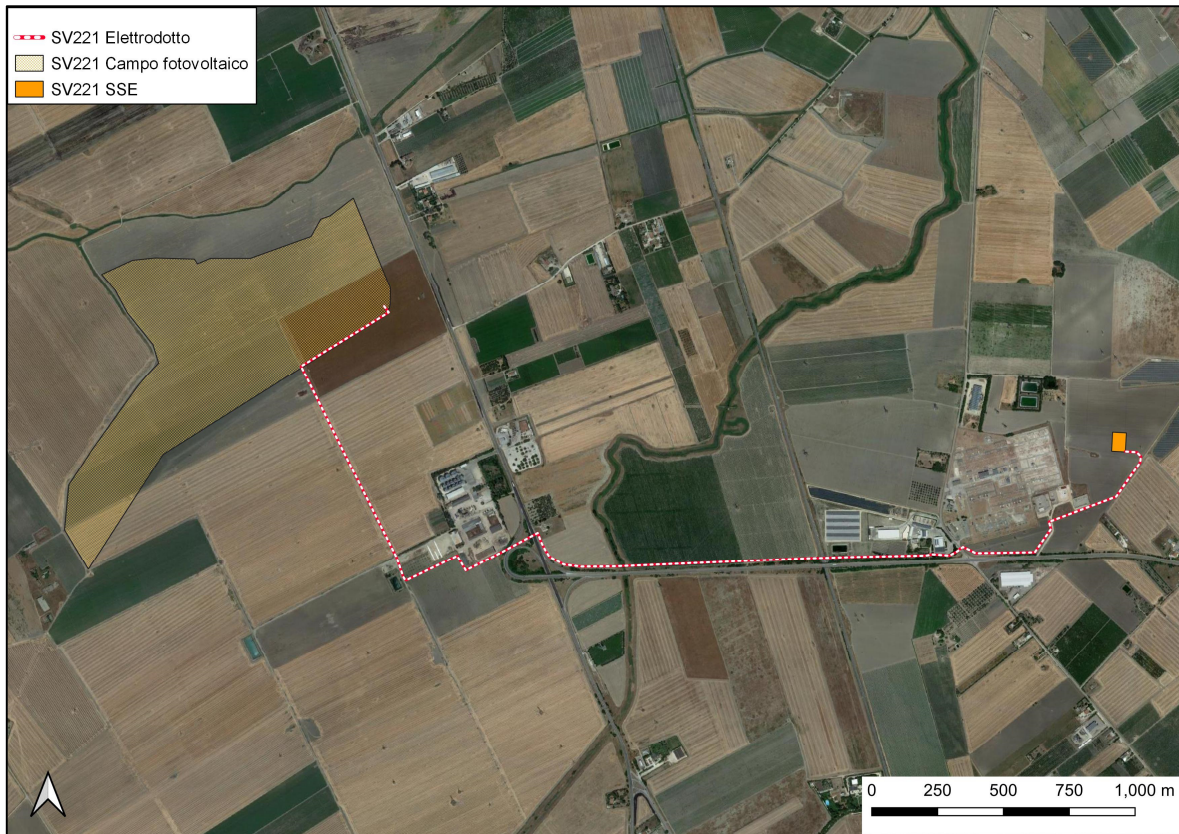


Figura 1b - Ubicazione del sito su Immagine satellitare del 2015. Fonte: www.sit.puglia.it

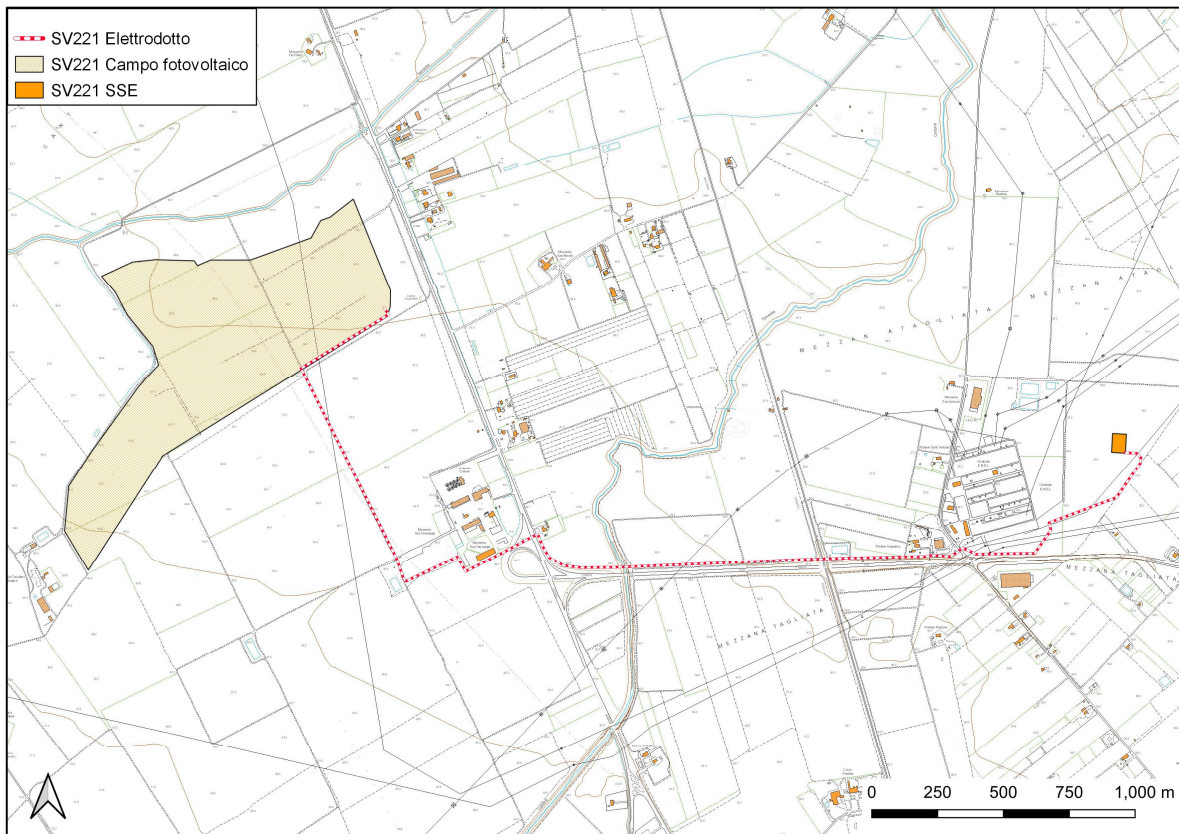


Figura 1c - Ubicazione del sito su CTR Regionale. Fonte: www.sit.puglia.it

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOMORFOLOGICO GENERALE

3.1 Geologia

L'area in esame risulta inserita nella piana del Tavoliere delle Puglia, unità geografica appartenente al dominio geostrutturale dell'avanfossa bradanica, e costituita da depositi silicoclastici di riempimento di età pliocenica e infrapleistocenica e da depositi marini e alluvionali delle coperture medio-supra pleistoceniche e oloceniche della piana. Tali depositi, rinvenuti nel sottosuolo nel corso delle numerose perforazioni eseguite per la ricerca di idrocarburi, sono il prodotto dell'intensa attività sedimentaria, tipica di un bacino subsidente, che ha interessato l'Avanfossa appenninica a partire dal Pliocene inferiore. Si tratta di argille indicate con il generico termine di "Argille grigio azzurre" per via del loro colore tipico che, nella parte più superficiale, tende al giallastro a causa dei fenomeni di alterazione. All'interno della successione argillosa, sono presenti, a diverse altezze stratigrafiche, interstrati sabbiosi formanti corpi lenticolari di modesto spessore. La deposizione di questa unità litologica ha avuto inizio nel Pliocene e si è conclusa nel Pleistocene Superiore, ed il suo spessore risulta particolarmente elevato spingendosi fino a raggiunge diverse centinaia di metri. Al di sopra dell'unità delle Argille grigio azzurre si rinvengono i depositi Quaternari che vanno a costituire un'estesa copertura in grado di raggiungere o superare le decine di metri in potenza e sono rappresentati da un'alternanza lenticolare di sedimenti alluvionali ghiaiosi, sabbiosi e argillosi, in parte limosi, di facies continentale che si incrociano e anastomizzano di frequente. Questi rappresentano il risultato dei numerosi episodi deposizionali che hanno interessato il Tavoliere. Le alluvioni del Tavoliere contengono, nella parte più superficiale, una crosta evaporitica di natura calcarea, il cui spessore può raggiungere anche gli 8 o 10 metri e la cui genesi sarebbe riconducibile al fenomeno della risalita capillare e al clima fortemente arido che in passato ha caratterizzato l'area. Verso la costa, affiorano i depositi palustri e di colmata olocenici, costituiti essenzialmente da limi. Il quadro stratigrafico si completa con i depositi costieri, anch'essi dell'Olocene, costituiti da sabbie e ghiaie formanti una stretta spiaggia delimitata verso terra da cordoni dunari.

L'area oggetto di studio ricade, come detto in precedenza, nella zona centrale del Tavoliere, in corrispondenza della zona settentrionale del Foglio 408 "Foggia", area generalmente caratterizzata dalla presenza in affioramento di depositi recenti che vanno dal Pleistocene inferiore all'Olocene. All'interno di questi sedimenti, dall'analisi dei dati di perforazione, è stato possibile individuare importanti superfici di discontinuità, che hanno costituito la base per la suddivisione del record sedimentario in unità stratigrafiche a limiti inconformi di diverso rango gerarchico (SALVADOR, 1987, 1994) ed hanno permesso l'elaborazione dello schema stratigrafico riportato in figura 2.

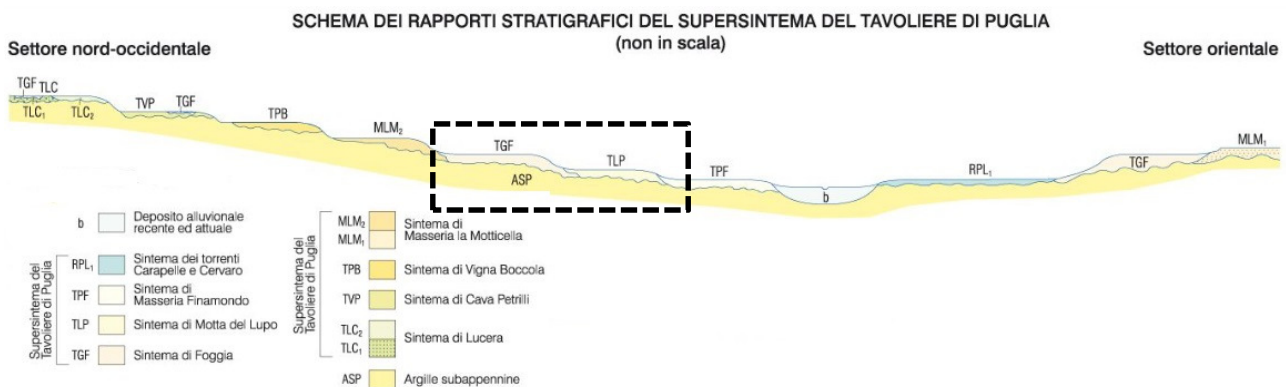


Figura 2 – Schema dei rapporti stratigrafici del settore settentrionale del F°408 "Foggia" in cui ricade l'area di studio, indicata nel riquadro nero. Fonte:www.isprambiente.gov.it

Con riferimento allo schema dei rapporti stratigrafici presente in figura 2, è possibile evidenziare che il sito di progetto rientra nell'area sottesa dal bacino idrografico del *Torrente Laccio*, e nello specifico, risultano presenti in affioramento, sia nell'area interessata dal campo fotovoltaico, che in quella lungo cui si svilupperà l'elettrodotto, le seguenti unità litostratigrafiche:

- Sintema di Foggia (TGF);
- Sintema di Motta del Lupo (TLP);
- Depositi alluvionali (b).

Non affiorante, ma costituente il substrato su cui poggiano in contatto erosivo tutte le unità menzionate, è l'Unità delle Argille subappennine (ASP), il cui tetto si rinviene a profondità differenti in relazione alla zona interessata e caratterizzata nella zona di contatto, da alterazioni che la portano ad assumere una colorazione tendente al giallastro.

I tre sintemi elencati sono parte integrante del Supersintema del Tavoliere di Puglia, di età Calabriano-Olocene, che comprende in tutto 8 sintemi in genere alluvionali, che dal più antico al più recente sono posti ad altezze topografiche via via decrescenti sugli alvei attuali e poggiano in contatto erosivo sulle Argille subappennine o su depositi alluvionali più antichi.

Nel seguito si riportano le caratteristiche principali dei corpi sedimentari elencati, a partire dal più antico:

Argille Subappennine (ASP)

Questa unità è costituita da silt argillosi e marne siltose grigie a stratificazione poco evidente, con intercalazioni di argille siltose e di sottili strati di sabbia medio-fine.

Sintema di Foggia (TGF)

Depositi alluvionali terrazzati del V ordine costituiti da silt argillosi sottilmente laminati con intercalazioni di sabbie siltose. Nel sottosuolo si intercalano conglomerati poligenici ed eterometrici di spessore variabile. Lo spessore del sintema varia, in base alla zona, tra 10 e 40 metri.

Sintema di Motta del Lupo (TLP)

Depositi alluvionali terrazzati del VI ordine costituiti da sabbie fini alternate a peliti sottilmente stratificate. Lo spessore massimo del sintema è di circa 10 metri.

Depositi alluvionali (b)

Depositi alluvionali attuali presenti in corrispondenza degli alvei attivi e costituiti da ghiaie e sabbie.

3.2 Geomorfologia e idrografia

I caratteri morfologici e idrografici del sito di studio sono quelli tipici del Tavoliere delle Puglie, caratterizzato da una serie di superfici pianeggianti, più o meno estese, interrotte dai principali corsi d'acqua e da locali canali e/o marane a deflusso spiccatamente stagionale. In tali aree l'evoluzione dei caratteri morfologici è stata evidentemente condizionata dalla natura del substrato geologico presente; gli affioramenti topograficamente più elevati, in corrispondenza dei quali spesso sorgono i centri urbani, sono caratterizzati dalla presenza di una litologia più resistente all'azione modellatrice degli agenti esogeni, al contrario le aree più depresse sono la testimonianza di una litologia meno competente e quindi più facilmente modellabile. Nel complesso l'area di progetto non è interessata dalla presenza di fenomeni erosivi in senso lato né è soggetta a rapida evoluzione e rimodellamento morfologico (inteso esclusivamente in termini di agenti esogeni naturali), in quanto questo si esercita in forma marginale ed attenuata e del tutto trascurabile ai fini degli interventi previsti.

Il sito dove saranno installati i pannelli fotovoltaici è posizionato in destra orografica del Torrente Laccio, su un'area pianeggiante e leggermente digradante verso l'alveo del Torrente ed è incisa da canali artificiali per il drenaggio delle acque superficiali. L'elettrodotto invece, partendo dalla zona orientale del sito, si svilupperà per circa 10,5 km in direzione sud, intersecando a circa 1,5 km, il Torrente Celone.

Il tracciato dell'elettrodotto interesserà per la quasi totalità della lunghezza complessiva i depositi sabbiosi, mentre nel tratto terminale ed in alcune zone di attraversamento dei suddetti impluvi invece, interesserà i depositi siltosi costituenti le alluvioni attuali. In quest'area l'idrografia superficiale presenta un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra interrotti da piene che, in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi, possono assumere un carattere rovinoso.

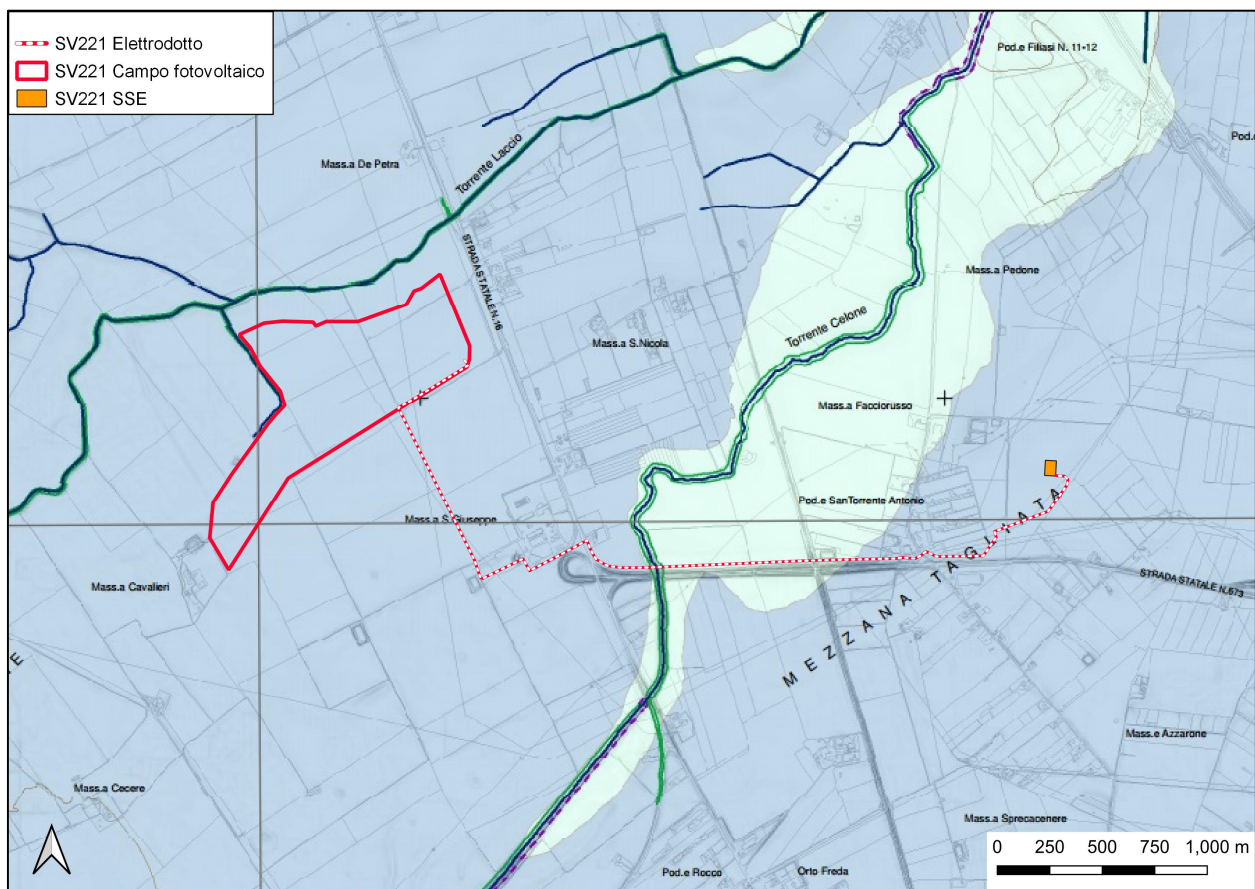


Fig.4 - Stralci della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia (www.adb.puglia.it).

Per quanto attiene il reticolo idrografico inoltre, dall'analisi delle perimetrazioni del PAI Puglia presenti e visionabili sul sito dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale è possibile osservare quanto segue.

L'area in cui saranno installati i pannelli fotovoltaici, indicata in figura dal retino rosso, è interessata da perimetrazioni di pericolosità idraulica nella zona settentrionale (Fig.5). Per quanto concerne il tracciato su cui si sviluppa l'elettrodotto invece, è possibile osservare che sarà interessato da zone a pericolosità idraulica in corrispondenza dell'attraversamento del torrente Celone.

La sottostazione di servizio infine, è posizionata in una zona non interessata da pericolosità idraulica.

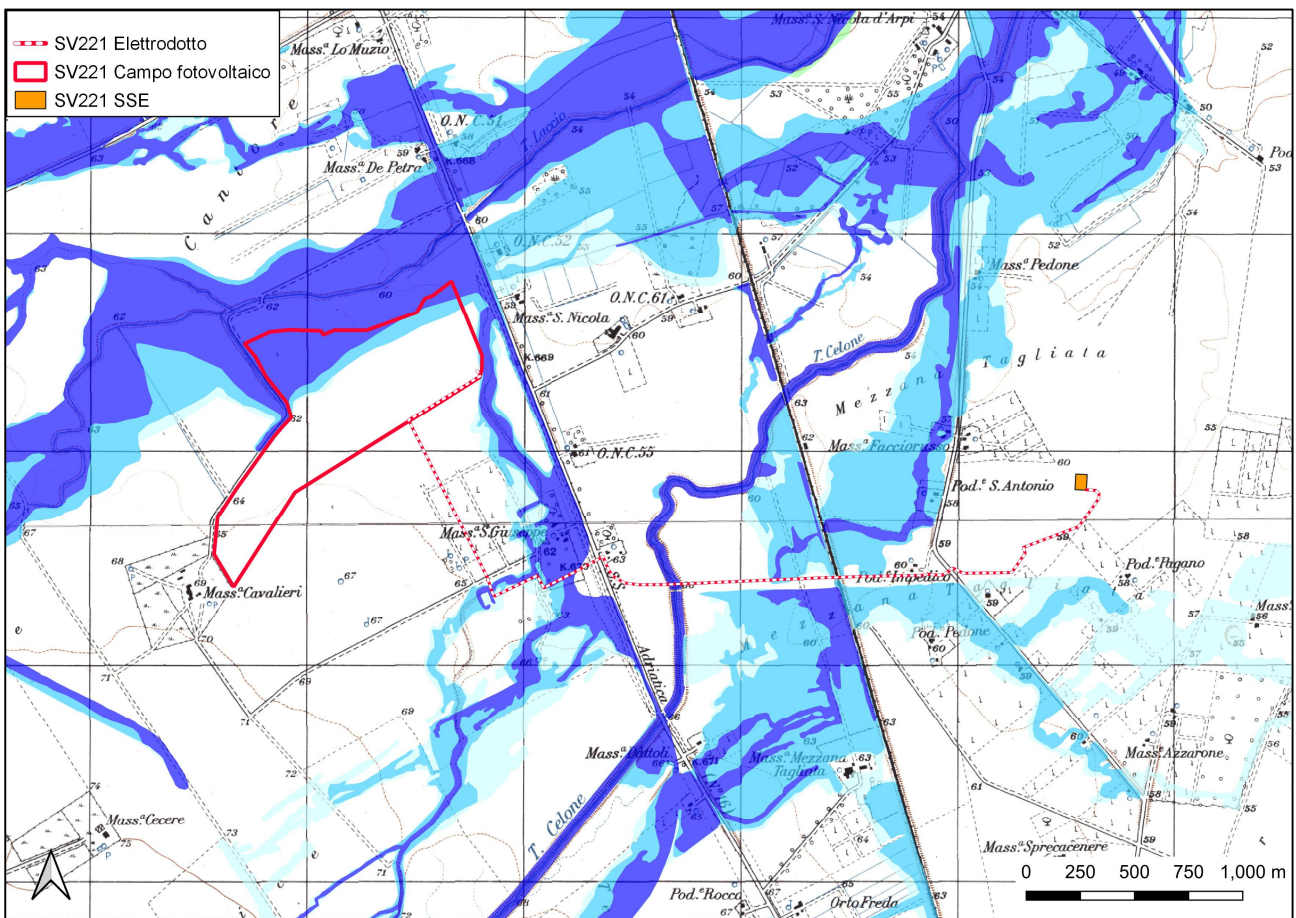


Fig. 5 – Stralcio della Cartografia del PAI Puglia con indicazione delle aree di intervento e delle strutture connesse

4. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI GENERALI DELL'AREA

Dal punto di vista idrogeologico, l'area di studio è interessata dalla presenza dell'acquifero poroso superficiale del Tavoliere, la cui falda è ospitata nei depositi quaternari di copertura di questa unità fisiografica.

Detti depositi, il cui spessore aumenta procedendo da SE verso NW, ospitano una estesa falda idrica generalmente frazionata su più livelli. Le stratigrafie dei numerosi pozzi per acqua realizzati in zona, evidenziano infatti l'esistenza di una successione di terreni sabbioso-ghiaioso, permeabili ed acquiferi, intercalati a livelli limo-argillosi a minore permeabilità, con ruolo di acquitardi.

La base della circolazione idrica è rappresentata dalle argille grigio-azzurre (argille subappennine) la cui profondità di rinvenimento risulta progressivamente maggiore procedendo da SE verso NW. I diversi livelli in cui l'acqua fluisce non costituiscono orizzonti separati ma idraulicamente interconnessi, dando luogo ad un unico sistema acquifero.

L'acqua si rinviene in condizioni di falda libera nei livelli idrici più superficiali e in pressione in quelli più profondi. A tale sistema acquifero, nel suo complesso, si dà il nome di falda superficiale del Tavoliere.

Trattandosi di un acquifero eterogeneo, sia in termini di spessore che di granulometria, la potenzialità, come pure la trasmissività idraulica, variano sensibilmente da zona a zona. L'andamento delle isopieze, ricostruite sulla base dei dati raccolti in un recente monitoraggio, mostra una generale corrispondenza con la topografia: le quote piezometriche, infatti, tendono a diminuire procedendo da SO verso NE consentendo di definire una direttrice di deflusso preferenziale in tal senso. Per le considerazioni su menzionate e per le caratteristiche dei litotipi che insistono nell'area oggetto di studio, questi ultimi rientrano nell'”**Acquifero poroso superficiale**”.

Nell'area di interesse, attualmente, sulla base delle indicazioni e delle cartografie redatte per il PTA. Il Piano di Tutela delle Acque, la superficie piezometrica della falda acquifera, in stato di quiete, è compreso tra 75 m slm e 50 m slm (Fig.5).

In corrispondenza del sito di progetto, la falda, sulla base delle informazioni desunte da alcuni pozzi per il prelievo idrico presenti nel database dell'ISPRA, è posizionata a circa 13 metri di profondità dal piano campagna, e pertanto non dovrebbe interessare le strutture di fondazione su cui saranno installati i tracker dei pannelli fotovoltaici. Tuttavia è possibile il rinvenimento di acquiferi sospesi sostenuti alla base da orizzonti a permeabilità bassa, a profondità inferiori dal piano campagna, a cui si dovrà prestare attenzione in fase di installazione dei moduli fotovoltaici.

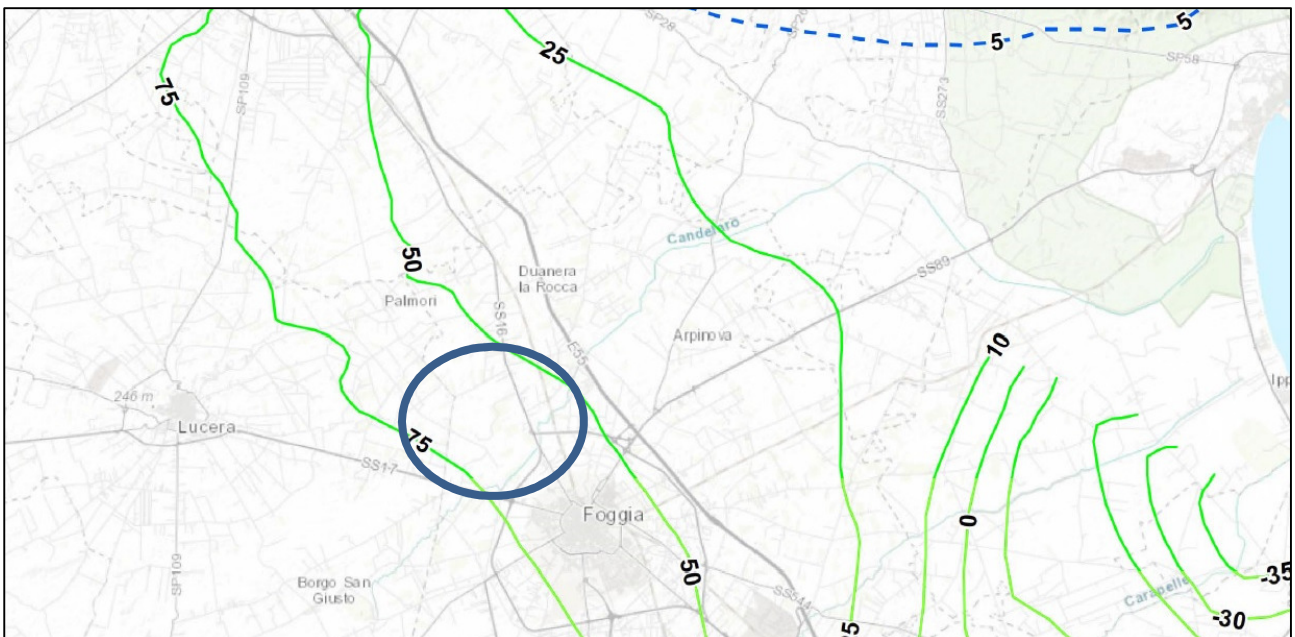


Figura 6 – Stralcio della carta dei carichi piezometri dell'acquifero poroso superficiale del Tavoliere delle Puglia.
(Fonte: Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia)

5. GEOMORFOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio, come ampiamente accennato nei capitoli precedenti, è situata nella zona settentrionale del territorio comunale di Foggia, in una zona pianeggiante leggermente inclinata verso Nord-Est.

Il sito in cui saranno installati gli impianti fotovoltaici è posizionato in destra idrografica del Torrente Laccio, nella parte finale del bacino idrografico individuato nel presente studio di compatibilità idraulica la cui estensione è rappresentata in figura 7.

Per la simulazione idraulica è stato individuato il bacino idrografico del tratto del Torrente Laccio che interessa le aree di progetto e condotta la simulazione idraulica in corrispondenza dei siti di studio calcolando le portate di piene con un tempo di ritorno di 200 anni.

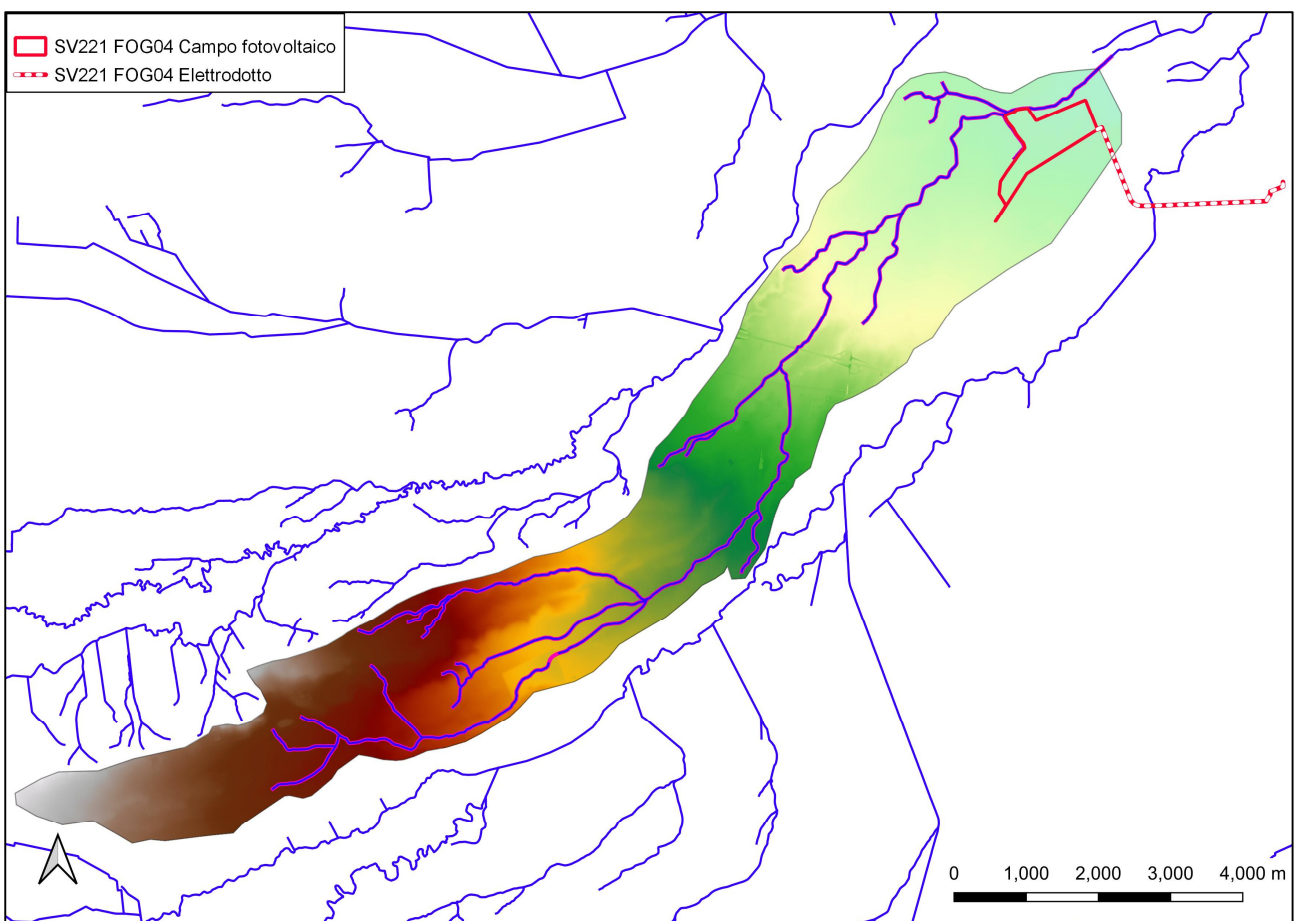


Figura 7 – Bacino idrografico individuato nel presente studio.

6. ANALISI IDROLOGICA: METODOLOGIA UTILIZZATA

6.1 Ricostruzione L.S.P.P. con Metodo VA.PI. (VALutazione Plene)

Per la stima della precipitazione critica nel bacino in esame, si è fatto ricorso alla procedura di analisi regionale VAPI che consente di valutare l'altezza di pioggia anche in bacini carenti di strumentazioni per la misurazione delle piogge e/o lì dove i dati misurati risultino insufficienti.

Il metodo VA.PI. fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico al fine di valutare gli estremi idrologici. Non esiste, quindi, un valore massimo assoluto, ma ad ogni valore di altezza di pioggia e/o di portata è associata una probabilità che si verifichino eventi con valori superiori. Con questo metodo, infatti, è adottata una distribuzione delle probabilità a doppia componente (T.C.E.V. - "Two Component Extreme Value Distribution") che traduce, in termini statistici, la differente provenienza degli estremi idrologici interpretando così, gli eventi massimi annuali come il valore estratto da una miscela di due popolazioni distinte: la prima produce gli eventi massimi ordinari, componente ordinaria, più frequenti e meno intensi in media; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, componente straordinaria, meno frequenti e più intensi (Rossi et al., 1984).

Per ciò che concerne la Regione Puglia, al primo livello di regionalizzazione è stata evidenziata un'unica regione pluviometrica omogenea mentre, per quanto concerne il secondo livello di analisi, sono state distinte due zone: la Puglia Settentrionale e la Puglia centro-meridionale. L'analisi di terzo livello, condotta successivamente, ha permesso di evidenziare 6 zone pluviometriche distinte e omogenee (Figura 8). Tale analisi è stata condotta operando una regressione delle precipitazioni di diversa durata con una quota Z.

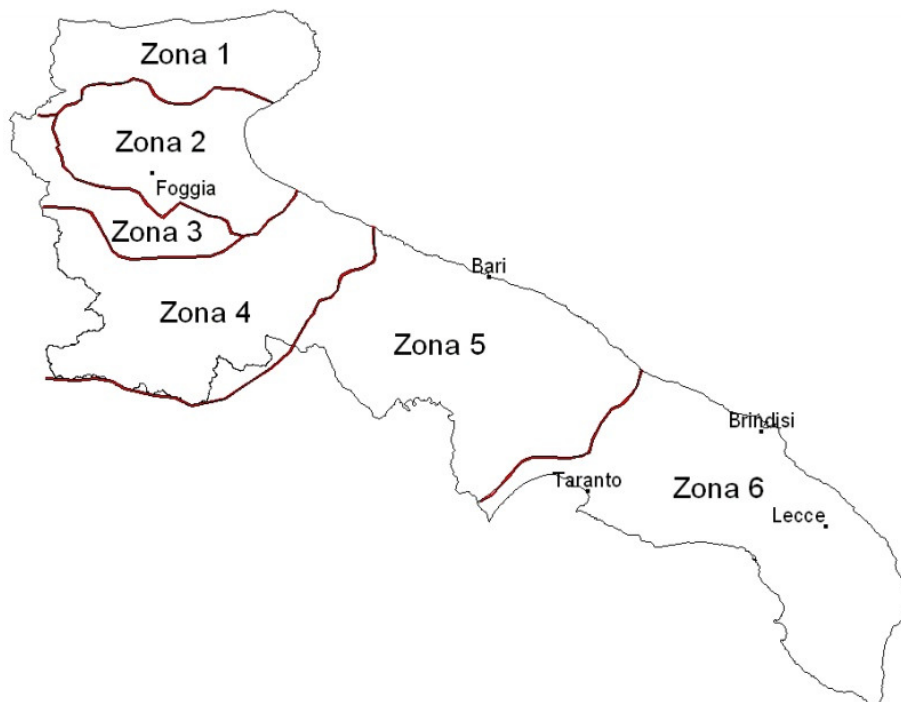


Figura 8 - Zone pluviometriche omogenee per la Regione Puglia

A ciascuna delle zone è associata una curva di possibilità pluviometrica, solitamente funzione della quota assoluta sul livello del mare. Attraverso questa curva, è possibile valutare l'altezza di pioggia critica per i differenti intervalli di precipitazione e per tempi di ritorno prescelti:

ZONA 1:	$X_{(t,z)} = 26,8 t^{[(0,720+0,00503 z)/3,178]}$
ZONA 2:	$X_{(t,z)} = 22,23 t^{0,247}$
ZONA 3:	$X_{(t,z)} = 23,325 t^{[(0,0696+0,00531 z)/3,178]}$
ZONA 4:	$X_{(t,z)} = 24,70 t^{0,256}$
ZONA 5:	$X_{(t,z)} = 28,2 t^{[(0,0628+0,0002 z)/3,178]}$
ZONA 6:	$X_{(t,z)} = 33,7 t^{[(0,488+0,00022 z)/3,178]}$

Ai valori così ottenuti, vanno applicati dei coefficienti moltiplicativi e cioè: il fattore di crescita (KT) relativo ai tempi di ritorno dell'evento (espresso in anni) e il fattore di riduzione areale (KA) relativo alla superficie del bacino (espressa in Km²) e alla durata dell'evento (espressa in ore).

Il valore di KT, invece, può essere calcolato in funzione del tempo di ritorno considerato attraverso la funzione:

$$KT = a + b \ln(T)$$

Per le zone omogenee 1,2,3, e 4, i coefficienti da adottare sono i seguenti:

$$a = 0,5648 \text{ e } b = 0,415$$

Alla luce di quanto fin qui riportato, quindi, e considerando che l'area oggetto di studio ricade per la maggior parte della sua estensione in zona 2, si può scrivere quanto segue:

$$x_{(t,z)} = 22,23 t^{[0,247]}$$

6.2 Il Metodo SCS-CN

Il modello di piena è stato realizzato considerando la formazione del deflusso e la propagazione dello stesso lungo il reticolo idrografico. Per quanto riguarda la formazione del deflusso nel presente lavoro è stato utilizzato il metodo CN-SCS sviluppato dal Soil Conservation Service americano consentendo di determinare sia il volume di piena o della sua portata al colmo che la ricostruzione dell'idrogramma di piena.

Per la determinazione del volume di piena il metodo si fonda sull'ipotesi che sia sempre valida (con tutte le grandezze espresse in mm) la relazione seguente: la loro morfologia, consentono l'accumulo di volumi idrici, all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente e all'infiltrazione prima della formazione del deflusso. La precipitazione netta si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W \quad (6.2.1)$$

Sostituendo il valore di W ricavato dalla (4.2.2) nella (4.2.1), si ottiene:

$$P = \frac{Pn^2}{Pn+S} \quad (6.2.2)$$

Poiché le perdite iniziali possono essere correlate all'invaso massimo del suolo:

$$I_a = 0,2 * S \quad (6.2.3)$$

e tenendo conto che $P_n = P - I_a$, dalla (4.2.3) si ottiene:

$$V = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad (6.2.4)$$

Il valore di P (precipitazione totale) viene calcolata attraverso le curve di probabilità pluviometrica ($L.S.P.P.$) mentre la valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (6.2.5)$$

in cui figura un parametro CN , denominato "curve number", che assume valori compresi tra 100 e 0. **Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati in un'apposita tabella (Tabella 1), in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di uso e/o copertura vegetale presenti nel bacino.**

La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico (Tabella 2) di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati nella Tabella 1; il valore di CN_b dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Il metodo tiene conto anche delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (*Antecedent Moisture Conditions, A.M.C.*) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati nella Tabella 1 si riferiscono a condizioni medie del parametro $A.M.C.$ denominate *A.M.C. II*. La definizione di $A.M.C.$ richiede la determinazione della precipitazione totale caduta nei cinque giorni precedenti l'evento in esame che, sulla base della Tabella 3, consente di definire la condizione di umidità antecedente l'evento (*A.M.C. I, A.M.C. II e A.M.C. III*). Nel caso in cui si ricada nella condizione *A.M.C. I* (secca) o in quella *A.M.C. III* (umida) i valori di CN della Tabella 1 devono essere corretti utilizzando i fattori (F_I) e (F_{III}), rispettivamente per la condizione secca e per quella umida, aventi le seguenti espressioni:

- (F_I)= $0,3 + 0,00636 CN$
- (F_{III})= $3,4212 - 1,1999 \log CN$

Destinazione	Sistemazione	Condizione idrica	A	B	C	D
Incolto			77	86	91	94
Coltivazioni in filari	Rittocchino	Povera	72	81	88	91
		Buona	67	78	85	89
	Girapoggio	Povera	70	79	84	88
		Buona	65	75	82	86
	Terrazzo	Povera	66	74	80	82
		Buona	62	71	78	81
Cereali da granella	Rittocchino	Povera	65	76	84	88
		Buona	63	75	83	87
	Girapoggio	Povera	63	74	82	85
		Buona	61	73	81	84
	Terrazzo	Povera	61	72	79	82
		Buona	59	70	78	81
Prati di leguminose o a rotazione	Rittocchino	Povera	66	77	85	89
		Buona	58	72	81	85
	Girapoggio	Povera	64	75	83	85
		Buona	55	69	78	83
	Terrazzo	Povera	63	73	80	83
		Buona	51	67	76	80
Prato permanente		Buona	30	58	71	78
Boschi		Povera	45	66	77	83
		Discreta	36	60	73	79
		Buona	25	55	70	77
Strade sterrate			74	84	90	92
Superfici impermeabili e superfici d'acqua			100	100	100	100

Tabella 1 – Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (A.M.C. II).

Gruppo	Descrizione
Gruppo A	Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idraulica alla saturazione è elevata.
Gruppo B	Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossolana e da una conducibilità idraulica non molto elevata.
Gruppo C	Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idraulica è bassa.
Gruppo D	Suoli a elevata capacità di formazione del flusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Tabella 2 – Gruppi idrologici per la stima del CN.

Periodo vegetativo	Riposo vegetativo	A.M.C.
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm	I
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 35 e 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 13 e 28 mm	II
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 28 mm	III

Tabella 3 – Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (A.M.C.).

Nel presente lavoro si è scelto di utilizzare il parametro CN relativo a condizioni A.M.C. II.

Alle litologie affioranti nel bacino idrografico analizzato, sono stati i valori di permeabilità e quindi a tutte le litologie presenti sono stati assegnati i relativi gruppi idrologici.

6.3 Modellazione Idrologica

La modellistica idrologica si prefigge di creare modelli matematici di tipo afflussi-deflussi, capaci di riprodurre l'andamento della portata in una o più sezioni del reticolo idrografico di un bacino, in funzione della distribuzione sia spaziale che temporale delle piogge. In letteratura sono descritti differenti tipi di modelli idrologici, che possono essere classificati in funzione della complessità della trattazione del problema (Maione, 1977). Tra questi, i più appropriati per gli scopi del presente studio sono i cosiddetti modelli di piena di tipo concettuale che utilizzano rappresentazioni semplificate dei processi fisici in gioco, che vengono comunque esplicitamente presi in considerazione. Inoltre, tali modelli incorporano parametri che sono fisicamente basati riducendo così l'arbitrarietà in fase di calibrazione del modello stesso. In particolare, essi rappresentano con semplicità le perdite, mentre cercano di descrivere in modo più dettagliato la trasformazione della pioggia netta in portata diretta. Quest'ultima viene assunta pari alla portata totale, poiché in eventi salienti di piena il deflusso di base è tipicamente trascurabile.

Possono essere sviluppati modelli aventi diversi gradi di complessità, da particolarmente semplici a molto dettagliati; tuttavia, per scopi di tipo ingegneristico, è consigliabile l'uso di modelli che rispondano ad alcune particolari esigenze, quali:

- la dipendenza da un numero limitato di parametri, che ne consenta il controllo in fase di calibrazione;
- la semplicità di schematizzazione dei processi fisici, che permetta un'agevole implementazione;
- la sensibilità sufficientemente limitata alla variabilità dei parametri stessi.

I modelli semi-distribuiti consentono di soddisfare l'esigenza di impiegare un numero limitato di parametri che ne permetta il controllo in fase di calibrazione e nello stesso tempo utilizzano l'informazione geomorfologica distribuita, la variabilità spaziale delle piogge e delle caratteristiche del suolo, che costituiscono gli aspetti fondamentali nell'analisi della risposta idrologica a scala di bacino. I modelli semi-distribuiti si possono, quindi, considerare come una valida alternativa sia ai modelli a parametri concentrati che incorporano un numero ridotto di parametri a scapito della descrizione dei processi fisici, sia ai modelli distribuiti che, pur effettuando una schematizzazione dettagliata dei fenomeni, restano vincolati a troppi parametri. La scelta è stata quindi dettata dalla necessità di utilizzare un numero limitato di parametri, da stimare attraverso pochi eventi di piena deducibili da bacini "simili" appartenenti alla stessa area geografica, e che sia in grado di fornire gli idrogrammi di piena in qualsiasi sezione del tratto fluviale investigato.

Nel presente studio è stato utilizzato un modello idrologico di tipo concettuale e semidistribuito. Le caratteristiche dei bacini per le analisi idrologiche sono state estratte dal CTR ufficiale della Regione Puglia e dai dati G.I.S. di litologia ed uso del suolo, per ottenere la carta del CN (Curve Number) delle aree di drenaggio.

Il modello idrologico scelto è in sintesi un **modello di simulazione dell'evento critico** avente le seguenti caratteristiche:

- dati di pioggia da L.S.P.P.;
- durata critica determinata con procedimento iterativo in modo da massimizzare il valore della portata al colmo;
- riduzione del tasso di pioggia in base alla superficie del bacino sotteso e della durata dello scroscio secondo la formulazione di Raudkivi (1970);
- ietogramma costante;
- stima dell'infiltrazione mediante metodo SCS-CN assumendo il valore CN (II) relativo allo stato iniziale di bacino mediamente imbibito;
- IUH del SCS con tempo di ritardo (*Lag time*) valutato mediante la formula di Mockus:

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

Dove: L = lunghezza dell'asta principale prolungata fino al dislivvio (Km):

s = pendenza media del bacino (%);

CN = *Curve Number*.

Calcolato il tempo di ritardo (t_L), si è potuto calcolare il tempo di corrivazione (t_c) pari a:

$$t_c = \frac{t_L}{0,6}$$

Il tempo di corrivazione (t_c) è il tempo che impiega una goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più distante per raggiungere la sezione di chiusura del bacino. La definizione del tempo di corrivazione consente di spiegare perché la piena si verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione dato che, in questo caso, tutta la superficie scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale.

7. Analisi idraulica: metodologia utilizzata

7.1 Modello Idraulico Utilizzato

La modellazione dei fenomeni di allagamento e di transito sono state eseguite utilizzando il software di calcolo americano HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineers (USACE). In particolare, la modellazione idraulica è stata eseguita secondo uno schema monodimensionale in moto permanente mediante HEC-RAS 4.1.0. Le leggi di riempimento di ciascun settore (relazioni quota-volume immagazzinato) sono ottenute a partire dal modello digitale del terreno (D.T.M.) reso disponibile dalla Regione Puglia.

Il programma integra le equazioni di Saint Venant tramite lo schema implicito alle differenze finite di Preismann e Cunge. Si forniscono di seguito alcuni aspetti concettuali, rimandando, per una completa descrizione del codice di calcolo, alla documentazione tecnica fornita a corredo del programma e consultabile on line.

7.2 Moto Permanente

In moto permanente, HEC-RAS risolve il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in una assegnata sezione nelle seguenti ipotesi di base:

- moto gradualmente variato;
- flusso monodimensionale.

Sezioni particolari in cui non risulti localmente valida l'ipotesi di graduale variazione del moto (ponti, traverse, etc.) vengono tuttavia modellate attraverso l'adozione di formulazioni empiriche o integrali. L'unità elementare del sistema fisico, composta da un volume idrico di controllo posto tra due generiche sezioni trasversali del corso d'acqua, è governata dal principio della conservazione dell'energia, assunto descrivibile tramite le seguenti due equazioni semplificate:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 + V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 + V_1^2}{2g} + h_e \quad (7.2.1)$$

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 + V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 + V_1^2}{2g} \right| \quad (7.2.2)$$

dove:

- i pedici 1 e 2 indicano le corrispondenti sezioni;
- WS_2 e WS_1 livelli del pelo libero alle estremità del tratto [m];
- V_2^2 e V_1^2 velocità quadratiche medie [m²/s²];
- α_2 e α_1 coefficienti ponderali dei termini cinetici;
- g accelerazione di gravità [m/s²];
- h_e perdite di carico totali [m];
- L distanza media pesata sulle portate tra le due sezioni [m], i.e.
- $L = \frac{L_{lo} \cdot \bar{Q}_{lo} + L_{mch} \cdot \bar{Q}_{mch} + L_{ro} \cdot \bar{Q}_{ro}}{\bar{Q}_{lo} + \bar{Q}_{mch} + \bar{Q}_{ro}}$
- \bar{Q}_{ij} portata media nel tratto elementare nelle golene o nel canale [m³/s];
- \bar{S}_f gradiente medio delle perdite di carico per attrito [m/m];
- C coefficiente di dissipazione energetica per espansione o contrazione.

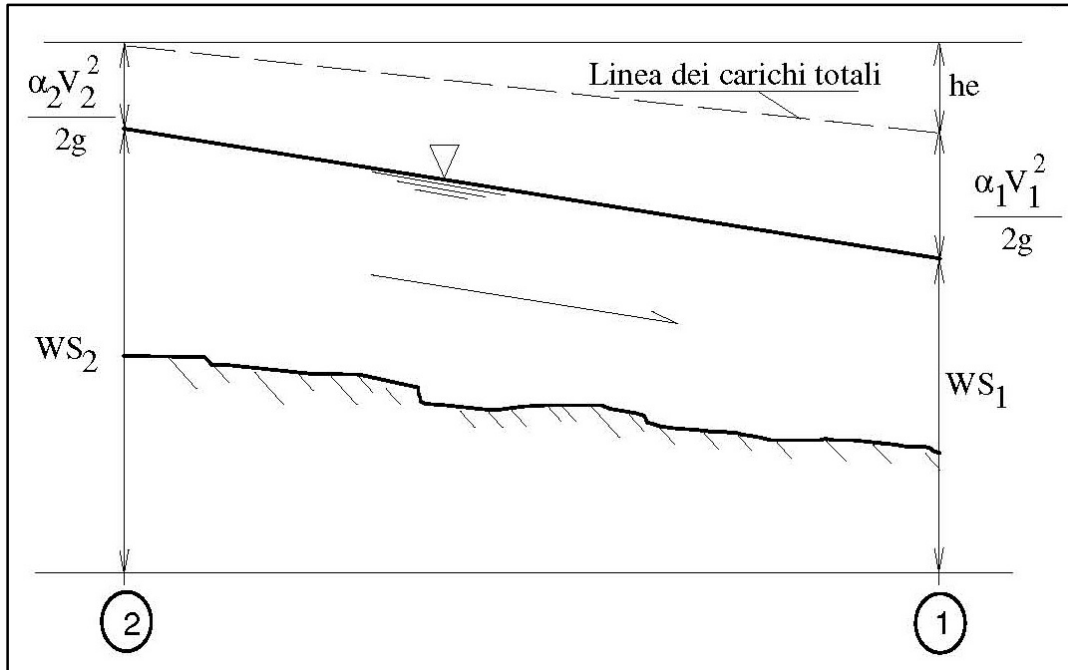


Figura 9 - Rappresentazione in termini energetici dell'equilibrio di volume idrico elementare

La sezione di deflusso è supposta suddivisibile in tre ambiti primari in cui risulta applicabile l'ipotesi di distribuzione uniforme delle velocità, i.e. l'alveo principale e due zone golenali. I termini di perdita di carico media per ciascun tratto elementare, sia concentrata (α) sia distribuita (S_f), vengono calcolati utilizzando la seguente definizione della capacità di deflusso (portata per unità di pendenza motrice $1/2$), indipendentemente per ciascun ambito della sezione (si omettono per brevità i pedici):

$$K = \frac{A \cdot R^{2/3}}{n} \quad (7.2.3)$$

dove:

- K capacità di deflusso nell'ambito [m^3/s];
- n coefficiente di scabrezza di Manning [$s/m^{1/3}$];
- R raggio idraulico dell'ambito [m];
- A area della sezione bagnata dell'ambito [m^2].

In funzione del regime della corrente vengono utilizzate diverse stime del gradiente di carico per attrito medio sul tratto (media aritmetica, geometrica, armonica, ..). In particolare, per i profili di corrente lenta è stato prevalentemente utilizzata la media semplice ponderata sulla capacità di deflusso:

$$\overline{S_f} = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (7.2.4)$$

Per i carichi cinetici vale invece la seguente espressione (il pedice t indica la totalità della sezione):

$$\alpha = \frac{A_t^2 * \left[\frac{K_{lb}^3}{A_{lb}^2} + \frac{K_{mch}^3}{A_{mch}^2} + \frac{K_{rb}^3}{A_{rb}^2} \right]}{K_t^3} \quad (7.2.5)$$

coefficienti di contrazione C sono stati assunti generalmente pari a 0,1÷0,3 per le sezioni a variazioni ordinarie, per le contrazioni e le espansioni, rispettivamente. Le scabrezze equivalenti sono computate per media pesata su perimetro bagnato, sia per quelle di ambito che di intera sezione di deflusso. Le transizioni attraverso lo stato critico della corrente, nel caso dei risalti idraulici e del passaggio attraverso ponti, vengono assunte governate dall'equazione semplificata della quantità di moto applicata al tratto elementare di canale (X è la direzione di deflusso, 1 e 2 sono le sezioni di estremità):

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (7.2.6)$$

dove:

- P_1 forza idrostatica [N];
- W_x forza peso della massa idrica compresa nel tratto [N];
- F_f forza di attrito complessivamente agente sul tratto [N];
- Q portata in transito [m³/s];
- ρ densità dell'acqua [Ns²/m⁴];
- ΔV_x variazione di velocità media tra le sezioni, in direzione X [m/s].

Gli sforzi tangenziali sul perimetro bagnato vengono calcolati secondo la formulazione di moto uniforme e la quantità di moto corretta con coefficienti empirici di letteratura.

Gli elementi geometrici principali da inserire nel modello idraulico sono le sezioni ordinarie, quelle cioè in cui non è presente un manufatto che interferisca con la corrente alterandone "localmente" ed in maniera significativa lo stato energetico (ad es. ponti, traverse, salti di fondo, tombini, bruschi restringimenti, etc.). I principali attributi delle sezioni ordinarie sono:

- limiti del canale principale;
- scabrezza;
- argini;
- limiti delle aree "inefficaci".

Per quanto riguarda i manufatti trasversali, invece, le sezioni che complessivamente caratterizzano ogni struttura sono 4. Le numero 2 e 3 rappresentate in Figura 12 definiscono le sezioni di monte e valle sul ponte, mentre le 1 e 4 individuano i limiti di perturbazione locale indotti dal manufatto per effetto della riduzione della sezione di deflusso e/o delle perdite di carico concentrate. Quest'ultime vanno poste ad una distanza dalla struttura tale che il flusso non risenta della presenza della struttura stessa; ciò dovrebbe essere determinato attraverso una indagine sul campo durante gli eventi di piena. Stante l'impossibilità di procedere nella maggioranza dei casi a tale indagine diretta, generalmente si fa ricorso al criterio di porre la sezione trasversale di monte n.4 ad una distanza pari a circa una volta la larghezza media della costrizione laterale causata dalle spalle del ponte, mentre la sezione trasversale n.1 è posta ad una distanza leggermente maggiore e ricavabile empiricamente in funzione del restringimento di sezione, della pendenza del corso d'acqua e delle scabrezze del canale e delle golene (vedi tabella 5.1 Hydraulic Reference Manual di HEC-RAS). Le perdite di carico in prossimità dei ponti sono costituite da due componenti: quella delle perdite di carico immediatamente a valle [monte] della struttura per effetto dell'allargamento [restringimento] della sezione, e quella delle perdite di carico che si realizzano per effetto della struttura stessa. Quest'ultima comprende sia le normali perdite per attrito che quelle specifiche dovute ad eventuali pile in alveo. Il deflusso attraverso il ponte può avvenire a pelo libero, in pressione, a stramazzo per sormonto dell'impalcato o in

condizioni ibride tra le precedenti. Ciascun regime viene modellato adottando specifiche equazioni. Le transizioni attraverso le possibili condizioni di moto, in relazione alla portata e all'energia totale della corrente, sono schematicamente descritte in Figura 11.

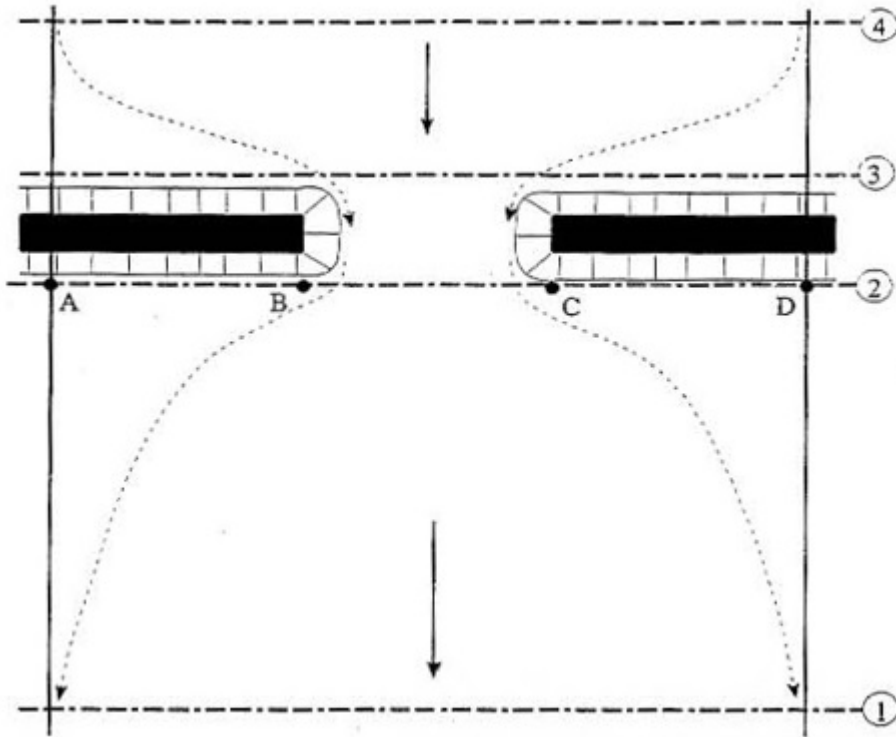


Figura 10 – Schema della discretizzazione longitudinale nell'intorno di un ponte

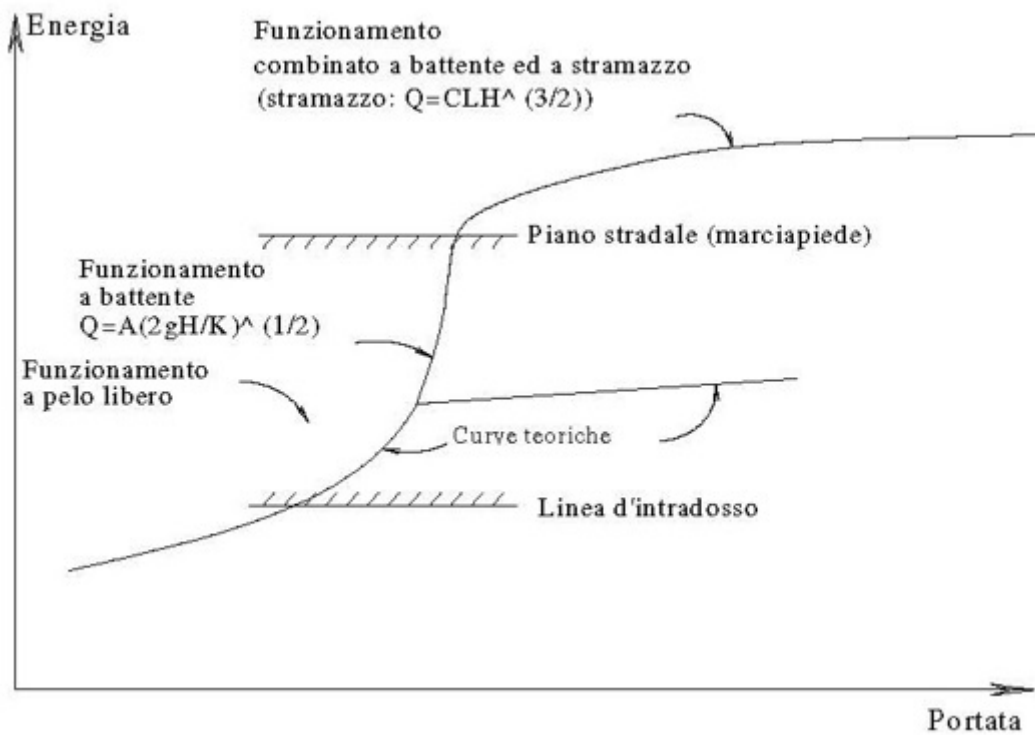


Figura 11 – Andamento della portata in presenza di un ponte al crescere del carico totale a monte

7.3 Moto Vario

In moto vario, invece, le equazioni di continuità e del moto utilizzate da HEC-RAS assumono rispettivamente la seguente espressione:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial \phi Q}{\partial x_c} + \frac{\partial [(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (7.3.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\phi^2 * Q^2}{A_c} \right)}{\partial x_c} + \frac{\partial \left[\frac{(1-\phi)^2 * Q^2}{A_f} \right]}{\partial x_f} + g A_c \left[\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + g A_f \left[\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (7.3.2)$$

in cui:

$$Q_c = \phi * Q$$

$$\phi = \frac{K_c}{K_c + K_f}$$

ed i pedici *c* ed *f* si riferiscono rispettivamente al *main channel* ed alle *floodplains* (Figura 12).

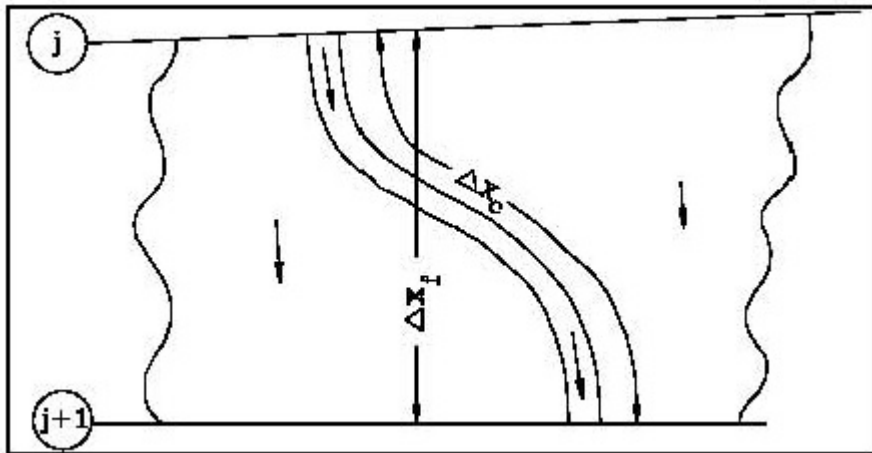


Figura 12 - Distanze misurate lungo il main channel e le foodplain

HEC-RAS utilizza generalmente il modello completo delle equazioni di De Saint Venant. La soluzione numerica di tali equazioni in regime di corrente lenta è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto in letteratura come *box scheme*. Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un sistema lineare di N equazioni in N incognite, con N pari a 2 volte il numero di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo. Il sistema di equazioni lineari viene risolto con metodo iterativo, utilizzando l'algoritmo skyline specificatamente pensato per la soluzione dei problemi di moto vario nelle reti a pelo libero. Nel caso di corrente mista lenta o veloce HEC-RAS utilizza la tecnica local partial inertia (L.P.I.), per cui si passa gradualmente dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario. Il modello parabolico viene applicato dal programma soltanto nei tratti di corso d'acqua in cui si ha un numero di Froude maggiore di un valore di soglia definibile dall'utente. Il modello matematico riesce

così a garantire una maggiore stabilità di calcolo anche nei tratti interessati da corrente veloce o mista, pur mantenendo un'adeguata accuratezza di calcolo. In particolare, con l'algoritmo LPI, al tendere del numero di Froude ad 1 si applica un coefficiente riduttivo ai termini di inerzia locale e convettiva delle equazioni del moto. Le equazioni del moto vengono così modificate nella forma seguente:

$$\sigma \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \beta Q^2}{\partial x} \right] + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (7.3.3)$$

dove:

$$\begin{aligned} - \quad & \sigma = F_T - F_r^m && \text{se } F_r \leq F_t \\ - \quad & \sigma = 0 && \text{se } F_r > F_t \end{aligned}$$

con:

- σ coefficiente LPI che moltiplica i termini inerziali dell'equazione del moto;
- F_T numero di Froude di soglia per cui $\sigma = 0$. (Tra 1 e 2, default = 1);
- F_r numero di Froude;
- m esponente dell'equazione che fornisce il valore di σ (tra 1 e 128, default = 10);
- h quota della superficie del pelo libero;
- S_f pendenza della linea dell'energia.

Quando il numero di Froude è maggiore del valore di soglia F_T , il coefficiente σ assume valore 0. E' possibile variare sia il valore di F_T che dell'esponente m . Al crescere del valore sia di F_T che di m diminuisce la stabilità del calcolo, ma ne aumenta l'accuratezza.

8. Caratteristiche morfometriche del bacino individuato per la simulazione

Il **Bacino del Torrente Laccio individuato per il presente studio** occupa un'area di circa 33.02295 km². L'asta fluviale principale, che prende il nome di Torrente Laccio, nel tratto di studio ha una lunghezza complessiva di 18119 m, con una direttrice di sviluppo costantemente orientata SW/NE.

Lo spartiacque orografico (displuvio) che racchiude la superficie drenata dal reticolo idrografico, parte da una quota massima di circa 248.43 m s.l.m. nella zona sud-occidentale, per poi scendere sino ad una quota minima di circa 53.61 m s.l.m. in corrispondenza della sezione di chiusura utilizzata per il presente studio di compatibilità.

La morfometria costituisce una elaborazione dei dati relativi alla topografia del bacino da cui ricavare indici morfologici utili alla definizione della risposta idrologica del bacino (formazione dei deflussi) a seguito di un evento precipitativo. Gli elementi considerati possono essere classificati sulla base delle proprietà lineari, di quelle areali e di quelle di rilievo.

Le proprietà lineari sono quelle che attengono al drenaggio e quindi ai caratteri (lunghezza, numero di rami ecc.) della rete fluviale. Le proprietà areali sono invece utilizzate per definire le superfici di alimentazione cioè per esprimere alcune peculiarità dei versanti. Le proprietà del rilievo, infine, servono a caratterizzare il bacino dal punto di vista altimetrico e ad esprimere il rapporto tra le dimensioni verticali e le proprietà lineari e areali. Tutte le sopracitate proprietà vanno riferite ad una sezione, detta di "chiusura".

I principali parametri morfometrici sono stati desunti dall'analisi del modello LIDAR fornito dal Ministero, ricavando i parametri utili all'analisi idraulica successiva integrando tali informazioni con rilievi puntuali. Si può osservare di seguito l'estensione del bacino e le relative aste drenanti individuate e le relative pendenze dei versanti presenti (Figura 13) utili alla ricostruzione del profilo longitudinale dell'asta idrica principale e delle aste affluenti.

I principali dati morfometrici del bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura considerata sono così riassunti nella tabella seguente:

BACINO DEL TORRENTE LACCIO			
Superficie del bacino	A	33.02295	Km ²
Lunghezza percorso idraulico principale	L	18119.636	m
Pendenza media bacino	P	0.0222	m/m
Altitudine media bacino	H_m	119.95	m (s.l.m.)
Altitudine massima bacino	H_{max}	248.43	m (s.l.m.)
Altitudine minima bacino	H_{min}	53.61	m (s.l.m.)

9. Analisi idrologica del bacino del torrente Laccio

Per il bacino si riporta nel seguito la tabella con le principali caratteristiche geomorfologiche ed i principali parametri di riferimento utilizzati per la definizione delle portate di progetto.

BACINO TORRENTE LACCIO		
Area =	33.02295	(area bacino in km ²)
slope (s) =	0.0222	(pendenza del bacino espressa in m/m)
L =	18119.636	(lunghezza asta principale espressa in m)
CNII =	71.1567	Curve Number
CNIII =	85.2974	

Per quanto attiene la stima del CN (Curve Number) da utilizzarsi per il calcolo delle portate di piena, è stato considerato il gruppo idrologico B, ossia un terreno caratterizzato da un grado di permeabilità medio elevato dato dai sedimenti di tipo prevalentemente sabbioso presenti in tutto il bacino.

La tipologia di copertura vegetale è stata calcolata in relazione al tipo di gruppo in cui era posizionata. L'analisi della distribuzione delle coperture vegetali è sintetizzata nella seguente tabella utilizzata per il calcolo del CN.

id	TIPO DI COPERTURA	TIPO DI SUOLO A			TIPO DI SUOLO B		
		CN	AREA (mq)	AREA (kmq)	CN	AREA (mq)	AREA (kmq)
TERRENO COLTIVATO							
1	Senza trattamento di conservazione	72	0	0.00	81	0	0.00
2	Con interventi di conservazione	62	0	0.00	71	30146929.54	30.15
TERRENO DA PASCOLO							
3	Cattive condizioni	68	0	0.00	79	63791.95923	0.06
4	Buone condizioni	39	0	0.00	61	0	0.00
PRATERIE							
5	Buone condizioni	30	0	0.00	58	0	0.00
TERRENI BOSCOSI O FORESTATI							
6	Terreno sottile, sottobosco povero senza foglie	45	0	0.00	66	1472682.85	1.47
7	Sottobosco e copertura buoni	25	0	0.00	55	0	0.00
SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI							
8	Buone condizioni con copertura erbosa	39	0	0.00	61	0	0.00
9	Condizioni normali, copertura erbosa intorno al 50%	49	0	0.00	69	28453.34619	0.03
AREE COMMERCIALI							
10		89	0	0.00	92	53026.39282	0.05
DISTRETTI INDUSTRIALI							
11		81	0	0.00	88	149025.1216	0.15
AREE RESIDENZIALI							
12	Impermeabilità media	77	0	0.00	85	0	0.00
13	65	61	0	0.00	75	0	0.00
14	38	57	0	0.00	72	112465.4548	0.11
15	30	54	0	0.00	70	505476.4246	0.51
16	25	51	0	0.00	68	147630.3433	0.15
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI							
17		98	0	0.00	98	39272.62134	0.04
STRADE							
18	Pavimentate	98	0	0.00	98	304192.0217	0.30
19	Inghiaiate	76	0	0.00	85	0	0.00
20	In terra battuta	72	0	0.00	82	0	0.00
		0	0	0	33022946.08	33.02	

Il CN calcolato è il seguente:

CN II = 71.1567

Dal calcolo del CN (II), ovvero in condizioni A.M.C. II (condizioni medie che prevedono precipitazioni comprese tra 35 e 53 mm nei precedenti 5 giorni nel caso del periodo vegetativo e precipitazioni comprese tra 13 e 28 mm nei cinque giorni precedenti nel caso del periodo di riposo vegetativo), ci si è calcolato il fattore di correzione (FIII) per rapportare il CN (II) alla condizione più critica CN (III) a favore di sicurezza che prevede condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento di progetto con precipitazioni maggiori di 53 mm di pioggia nei 5 giorni precedenti durante il periodo vegetativo e precipitazioni maggiori di 28 mm di pioggia durante il periodo di riposo vegetativo.

Ad ogni modo, per il calcolo delle portate di progetto è stato utilizzato in CN II in quanto, essendo il bacino idrografico molto esteso, diventa poco realistico che si realizzi l'imbibizione completa del terreno su tutto il bacino come ipotizzato nel CN III.

10. Determinazione della portata di piena

Per la modellazione idrologica è stata calcolata la portata in varie specifiche porzioni del bacino del Torrente Laccio in funzione del tempo di ritorno (T_r) pari a 200 anni e nelle sezioni ricavate per la determinazione dell'estensione della piena sono state inserite le specifiche portate calcolate, come di seguito specificato in tabella.

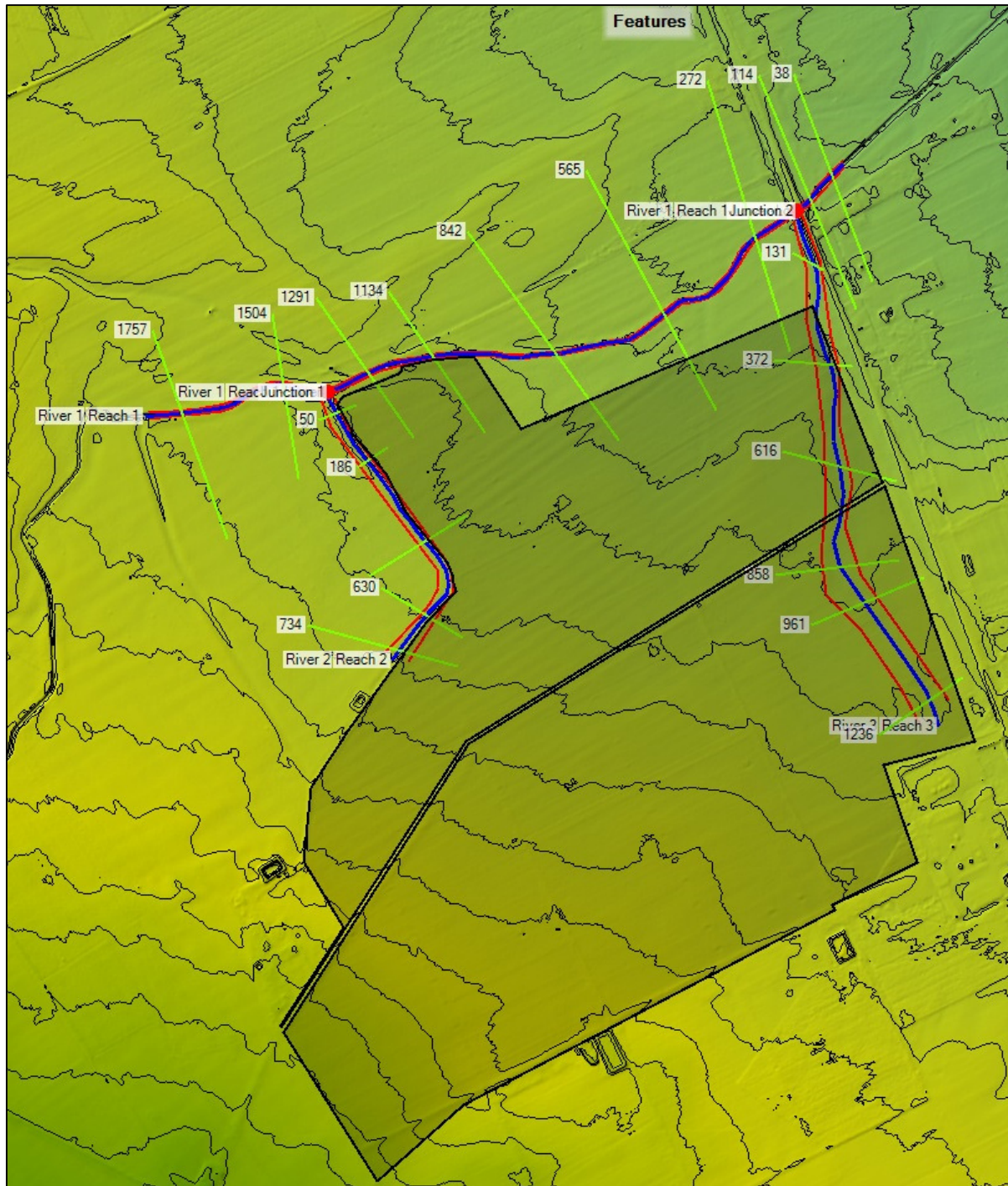


Figura 13 - Modello dello studio idraulico

River	n. Sezione	Q (mc/s) [tr200 anni]
River 1	1757	20.18
River 1	1504	20.18
River 1	1291	20.18
River 1	1134	20.18
River 1	842	20.18
River 1	565	22.86
River 1	272	22.86
River 1	114	22.86
River 1	38	22.86
River 2	734	1.86
River 2	630	1.86
River 2	419	1.86
River 2	186	2.94
River 2	50	2.94
River 3	1236	0.97
River 3	961	0.97
River 3	858	0.97
River 3	616	0.97
River 3	372	0.97
River 3	131	0.97

11. Risultati dell'analisi idraulica

Con i dati ottenuti dall'analisi idrologica, si è potuta effettuare una modellazione idraulica con il programma HEC-RAS 5.0.7. Per la costruzione del modello geometrico del bacino è stato utilizzato il LIDAR del Ministero dell'Ambiente, da cui sono state estrapolate le curve di livello e ricavate le sezioni trasversali in RAS MAPPER.

La simulazione idraulica è stata realizzata in *steady flow condition* e per ciascuna sezione sono stati ottenuti i dati dei tiranti idrici per tempi di ritorno di 200 anni.

Nel modello idraulico realizzato inoltre, per meglio definire la modalità di propagazione dell'onda di piena, sono stati inseriti i "levees" in corrispondenza degli argini destro e sinistro in tutte le sezioni realizzate, in modo da attivare le aree adiacenti solo nel momento in cui l'onda di piena avesse sormontato la parte più elevata dell'argine.

Nelle immagini seguenti si illustrano i risultati della simulazione realizzata con la perimetrazione delle aree inondabili nel tratto interessato dal progetto per tempi di ritorno di 200 anni.

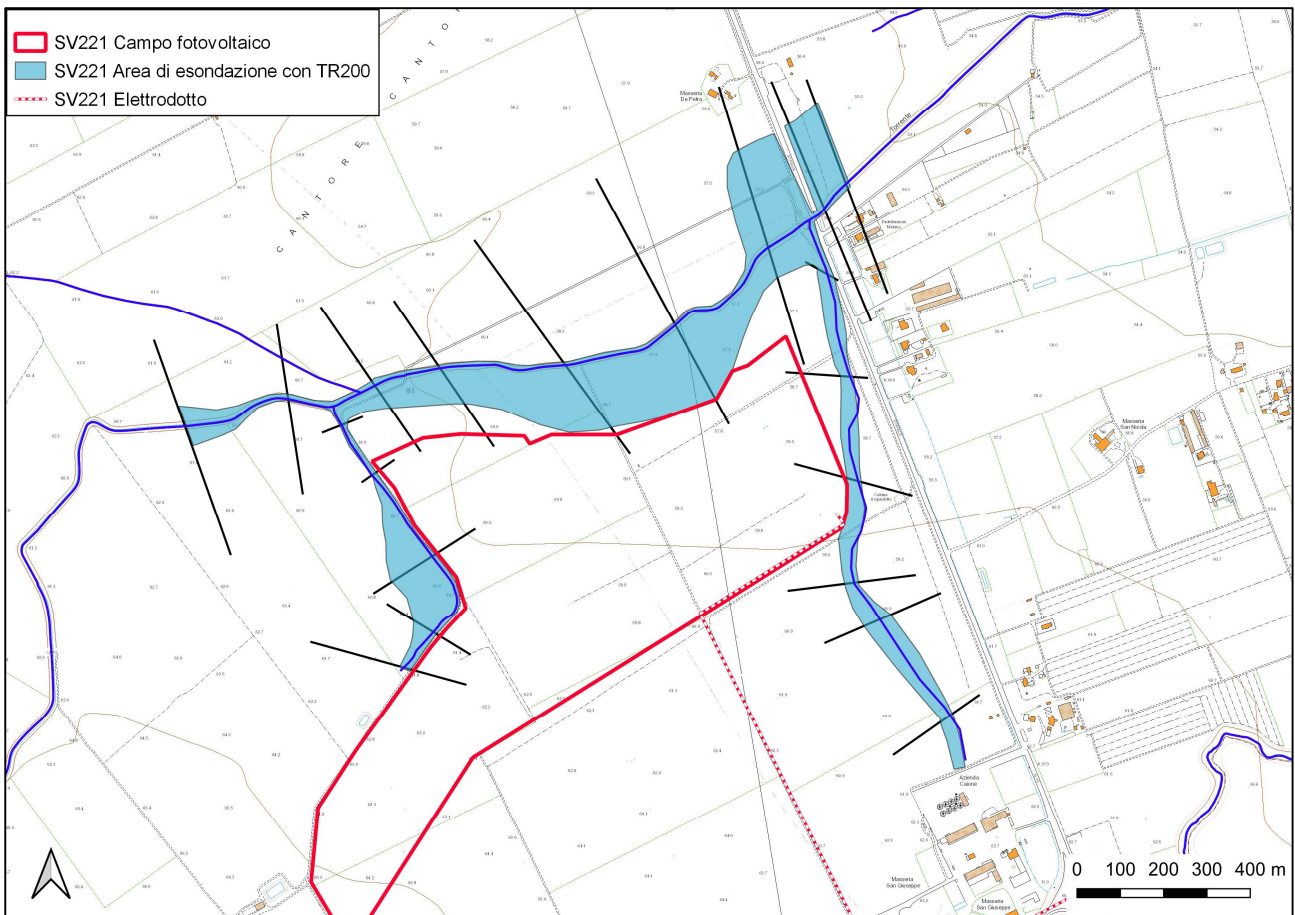


Figura 14 – Simulazione con tr 200 anni su base CTR

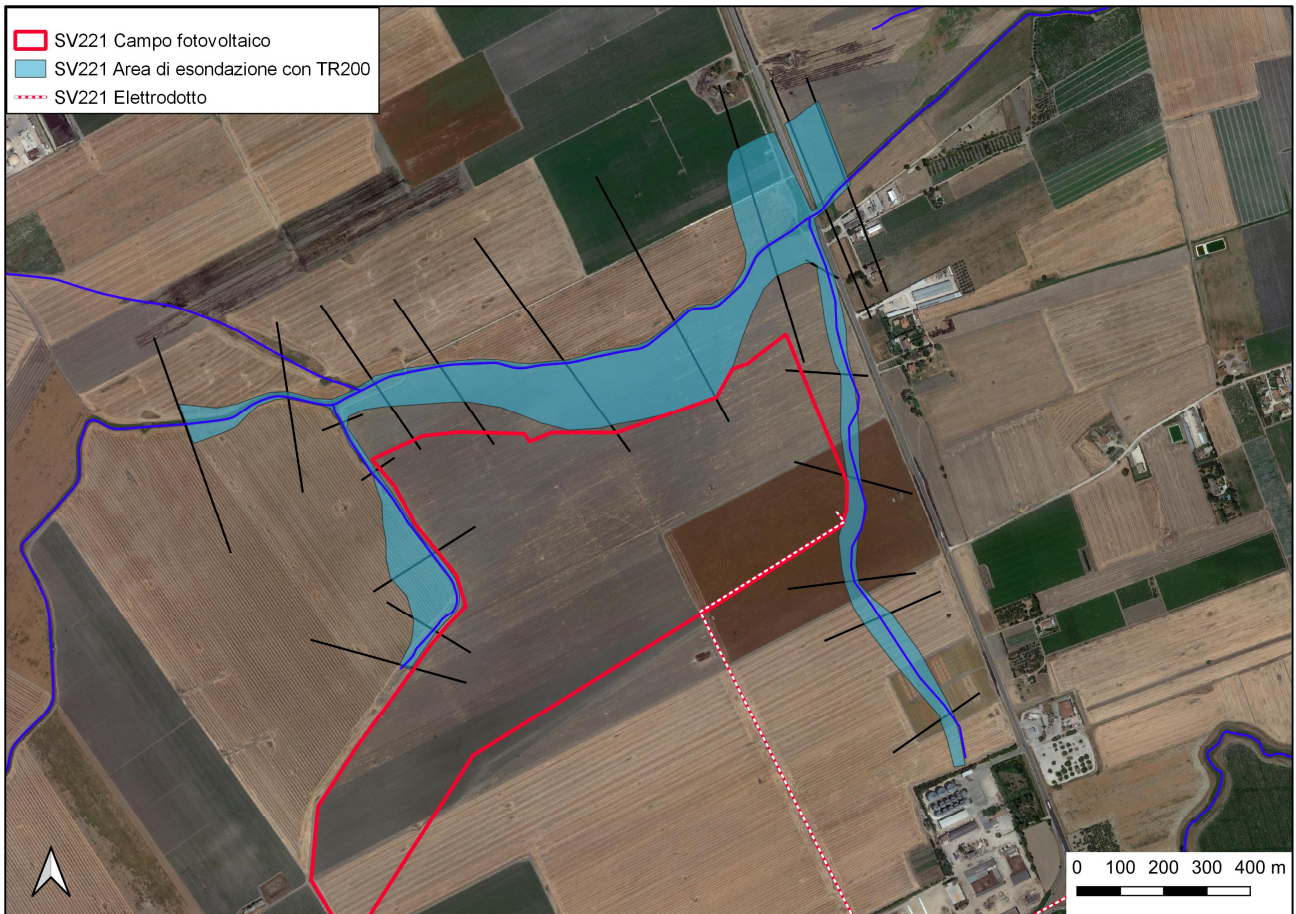


Figura 15 – Simulazione con tr 200 anni su base ortofoto

Dall'analisi idraulica è emerso che alcune zone del lotto che era stato individuato nella fase di progettazione preliminare non erano in condizioni di sicurezza idraulica, pertanto sono state ridefinite le aree con il perimetro illustrato in relazione e nelle immagini precedenti, in cui saranno posizionati i pannelli fotovoltaici nelle zone in sicurezza idraulica e non interessate dagli eventi di piena duecentennale.

12. Conclusioni

Il presente studio idrologico-idraulico è stato realizzato per la verifica delle condizioni di sicurezza idraulica in relazione al progetto di realizzazione di impianti fotovoltaici su un lotto posizionato nel territorio comunale di Foggia. Per la definizione delle aree potenzialmente inondabili, le valutazioni di carattere idrologico ed idraulico sono state eseguite secondo quanto prescritto dalle indicazioni tecniche riportate nella relazione di Piano del PAI Puglia, e nel presente studio sono state articolate nelle seguenti fasi:

- *Fase 1:* individuazione dei bacini idrografici di riferimento entro cui ricade l'area di progetto; georeferenziazione degli elementi ad esso connessi, individuazione delle criticità e pianificazione dei rilievi da effettuarsi;
- *Fase 2:* analisi idrologica applicando le indicazioni delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI;
- *Fase 3:* determinazioni dei parametri morfometrici del bacino idrografico e determinazione dei coefficienti CN in condizione II e III mediante l'analisi della carta litologica e dell'uso del suolo dei terreni ricadenti nel bacino idrografico;
- *Fase 4:* determinazione della Portata di piena con tempi di ritorno di 200 anni;
- *Fase 5:* sviluppo ed elaborazione del modello idrologico ed idraulico per lo specifico caso di studio;
- *Fase 6:* sintesi dei risultati ottenuti ed elaborazione della cartografia specifica.

Dall'analisi idraulica è emerso che alcune zone del lotto che era stato individuato nella fase di progettazione preliminare non erano in condizioni di sicurezza idraulica, pertanto sono state ridefinite le aree con il perimetro illustrato in relazione e nelle immagini precedenti, in cui saranno posizionati i pannelli fotovoltaici nelle zone in sicurezza idraulica e non interessate dagli eventi di piena duecentennale.

Per quanto concerne il cavidotto a servizio dell'impianto in progetto invece, tale studio non è stato condotto in quanto il cavidotto sarà completamente interrato per l'intero sviluppo del suo tracciato. Al fine di aumentare il grado di sicurezza dell'intervento di posa inoltre, saranno osservati i seguenti accorgimenti:

1. Lo scavo sarà eseguito a lotti di lunghezza limitata per ridurre al minimo i tempi in cui lo scavo risulta aperto;
2. Il riempimento sarà realizzato con gli stessi materiali rinvenuti dallo scavo;
3. Nella fase di riempimento sarà ripristinata l'orografia presente *ante operam* al fine di non modificare le attuali condizioni di deflusso superficiale delle acque;
4. In corrispondenza di attraversamenti di corsi d'acqua la profondità di posa del cavidotto sarà attestata a 2 metri dalla quota minima dell'alveo;
5. Tale profondità di attestazione del cavidotto sarà mantenuta anche in corrispondenza dei tratti del tracciato in area PAI.

Le suddette modalità operative per la realizzazione del cavidotto si ritengono idonee ad assicurare un elevato grado di sicurezza in fase di realizzazione dell'opera ed il ripristino dell'orografia *ante operam* non permetterà l'aumento della pericolosità a valle perché le condizioni di deflusso superficiale delle acque saranno preservate e modificate solo ed esclusivamente nel corso, temporalmente limitato, della realizzazione dello scavo e la posa del cavidotto.

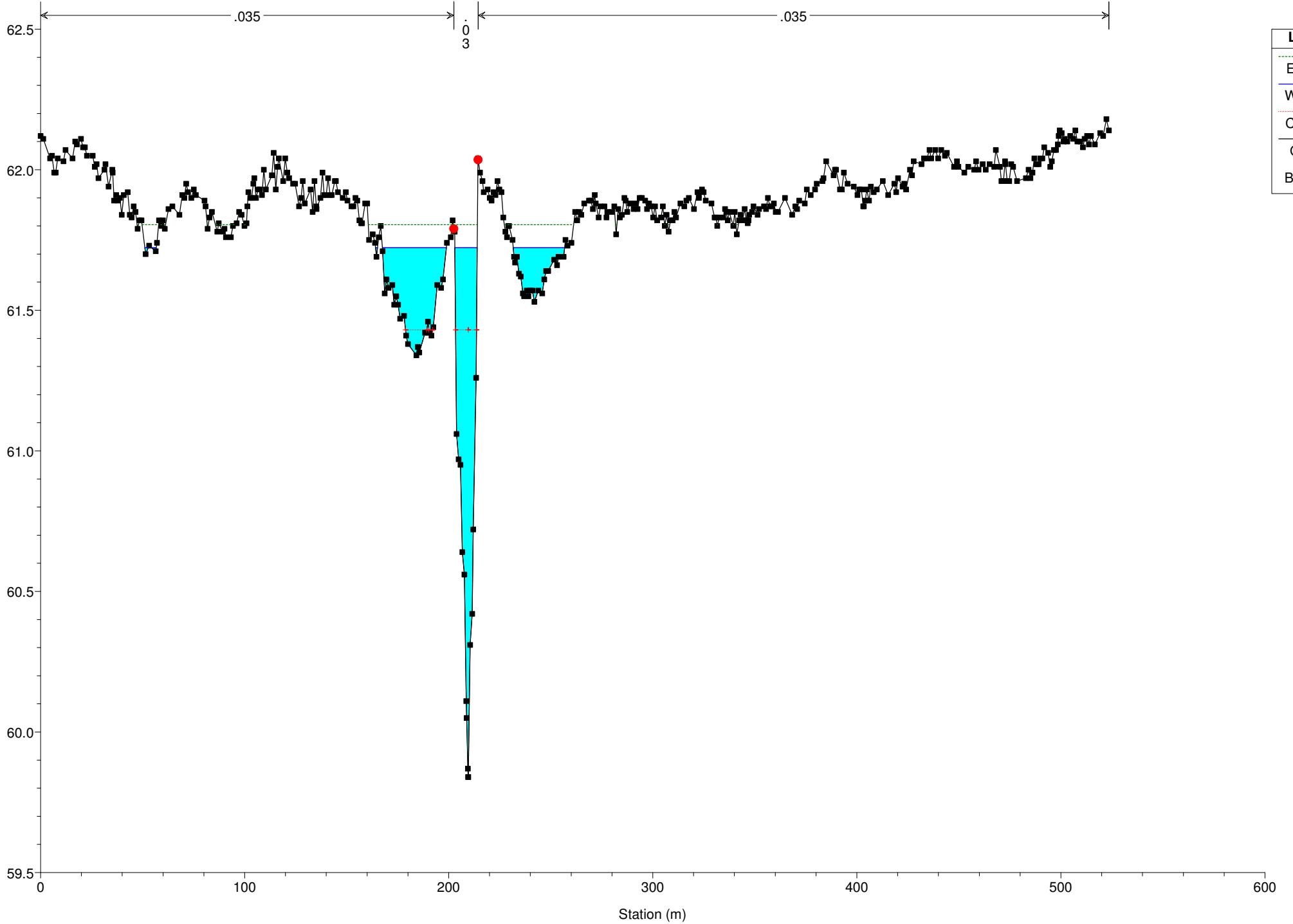
Alberobello, 01.03.2021



Dott. Geol. Giorgio De Giorgio

CAIONE_01 Plan: Plan 01 3/12/2021

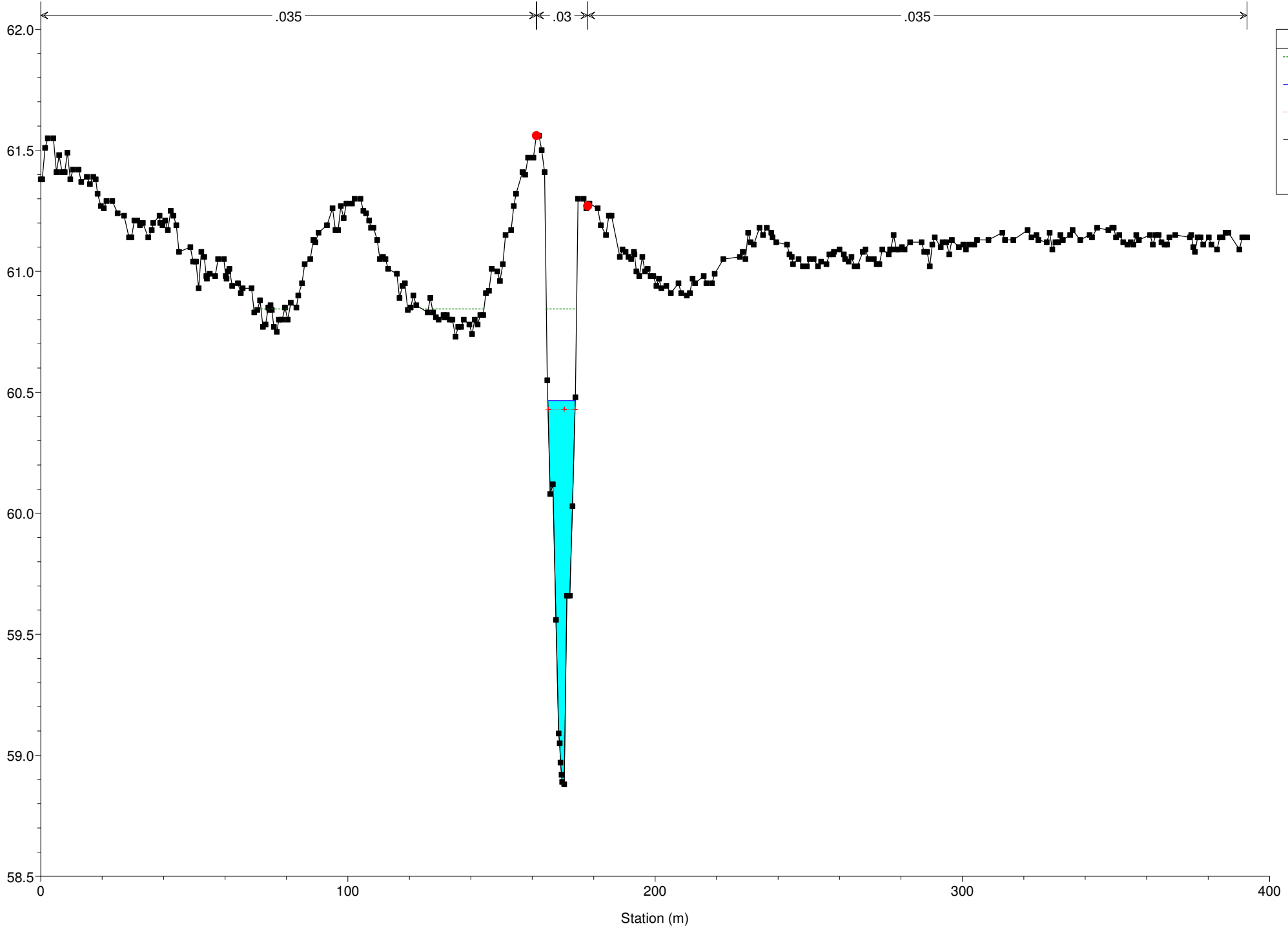
River = River 1 Reach = Reach 1 RS = 1757



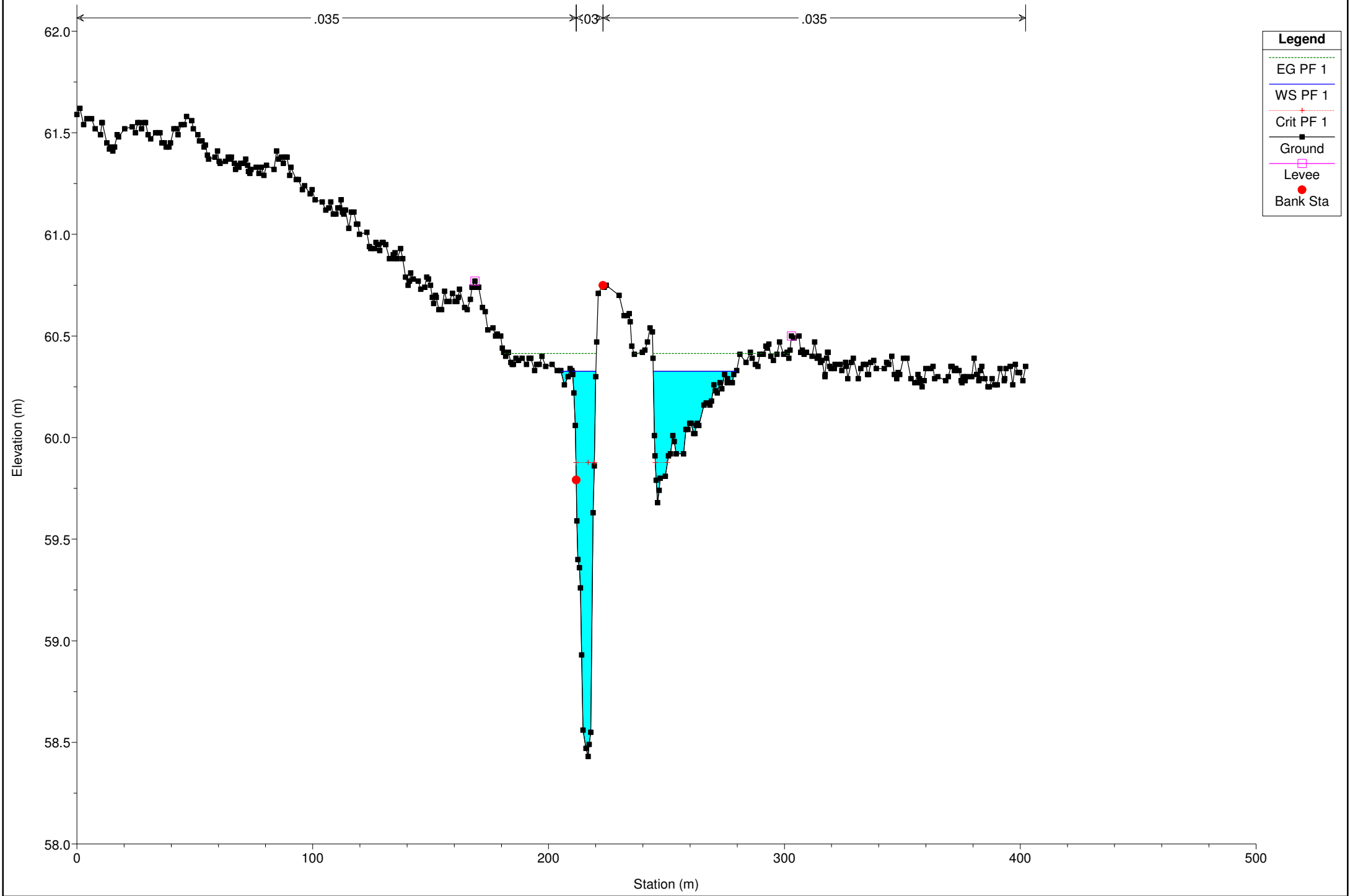
Legend	
EG PF 1	(Green dashed line)
WS PF 1	(Blue solid line)
Crit PF 1	(Red dotted line)
Ground	(Black line with square markers)
Bank Sta	(Red dot)

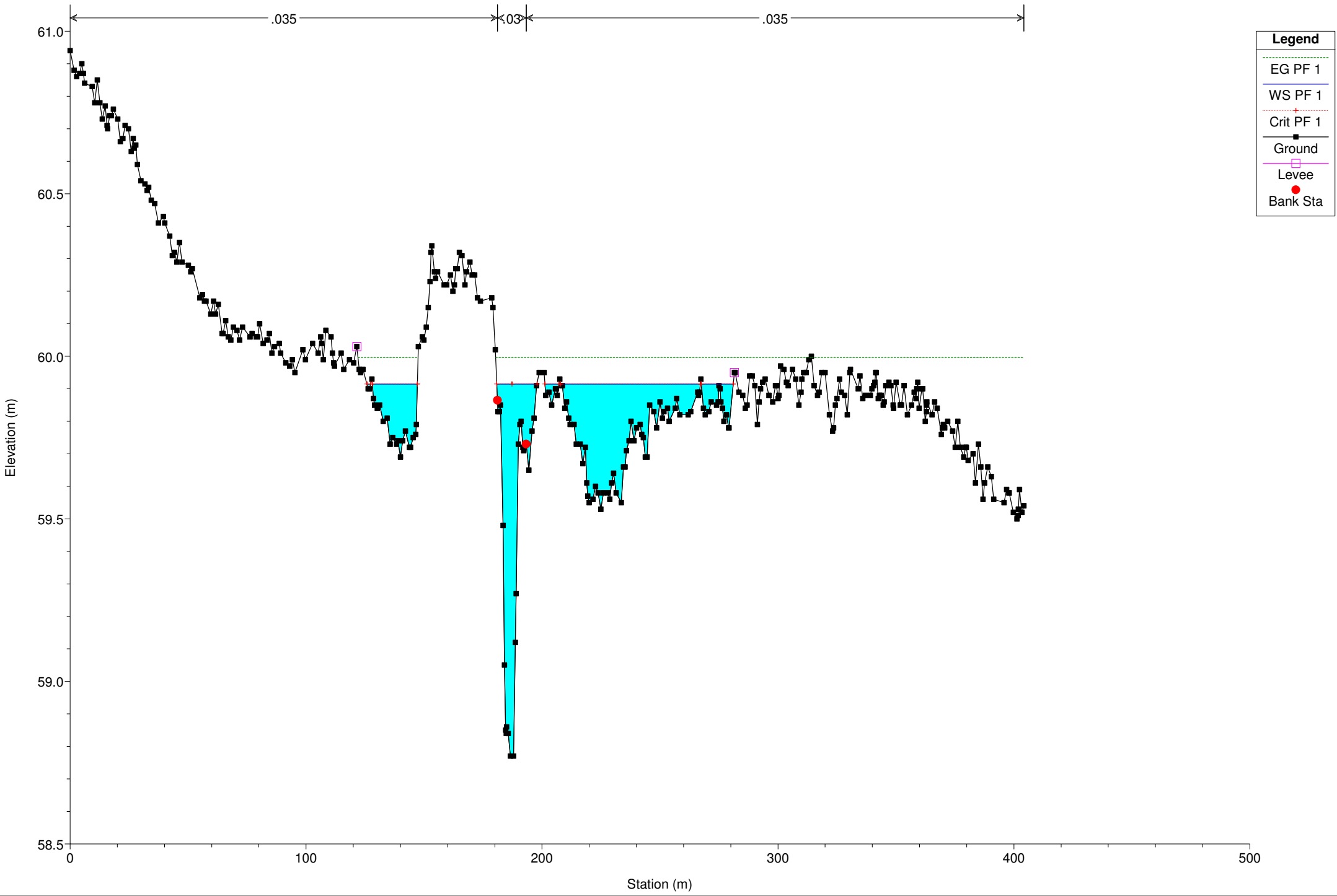
CAIONE_01 Plan: Plan 01 3/12/2021

River = River 1 Reach = Reach 1 RS = 1504



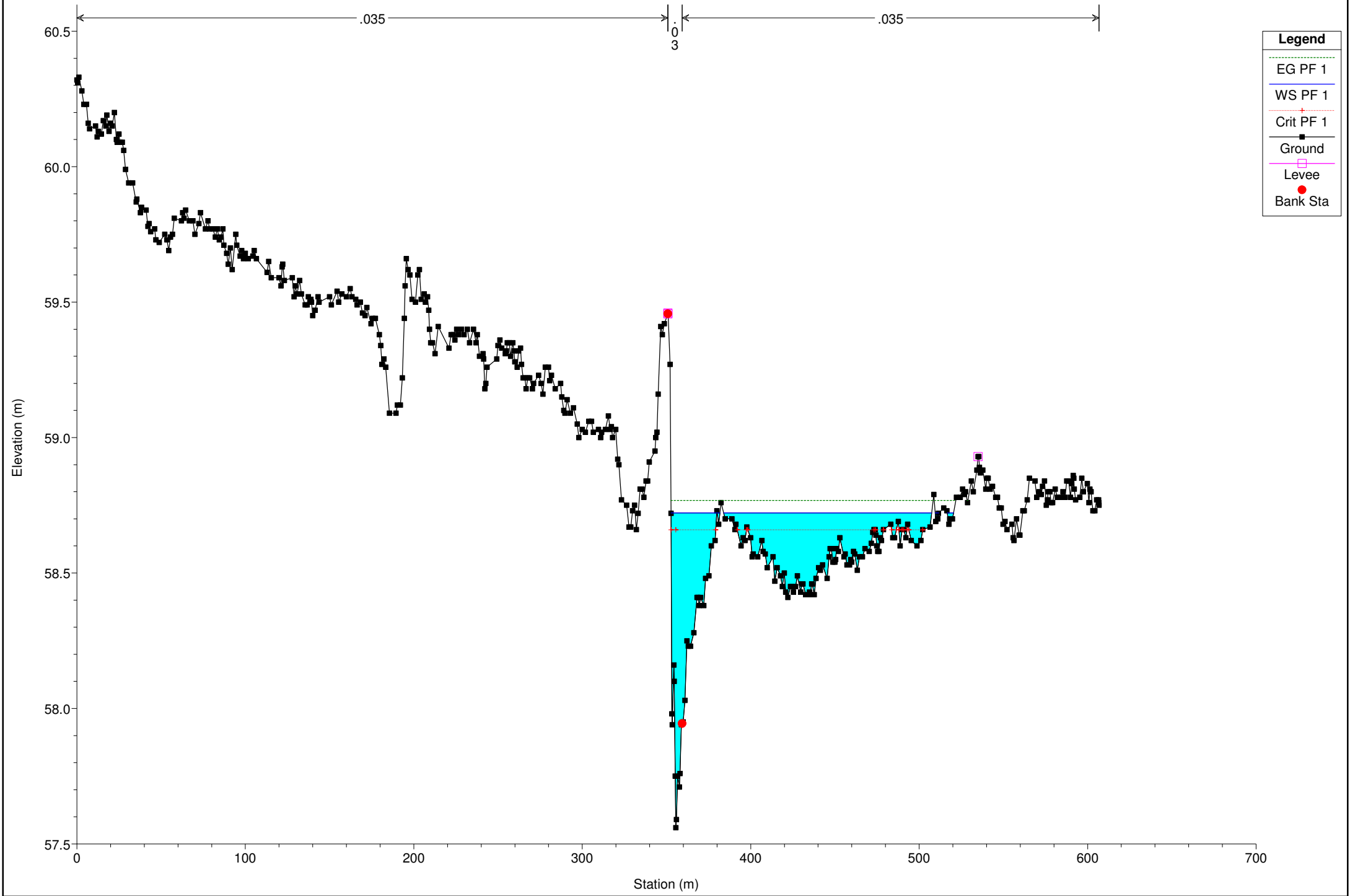
CAIONE_01 Plan: Plan 01 3/12/2021
River = River 1 Reach = Reach 1-Lower RS = 1291



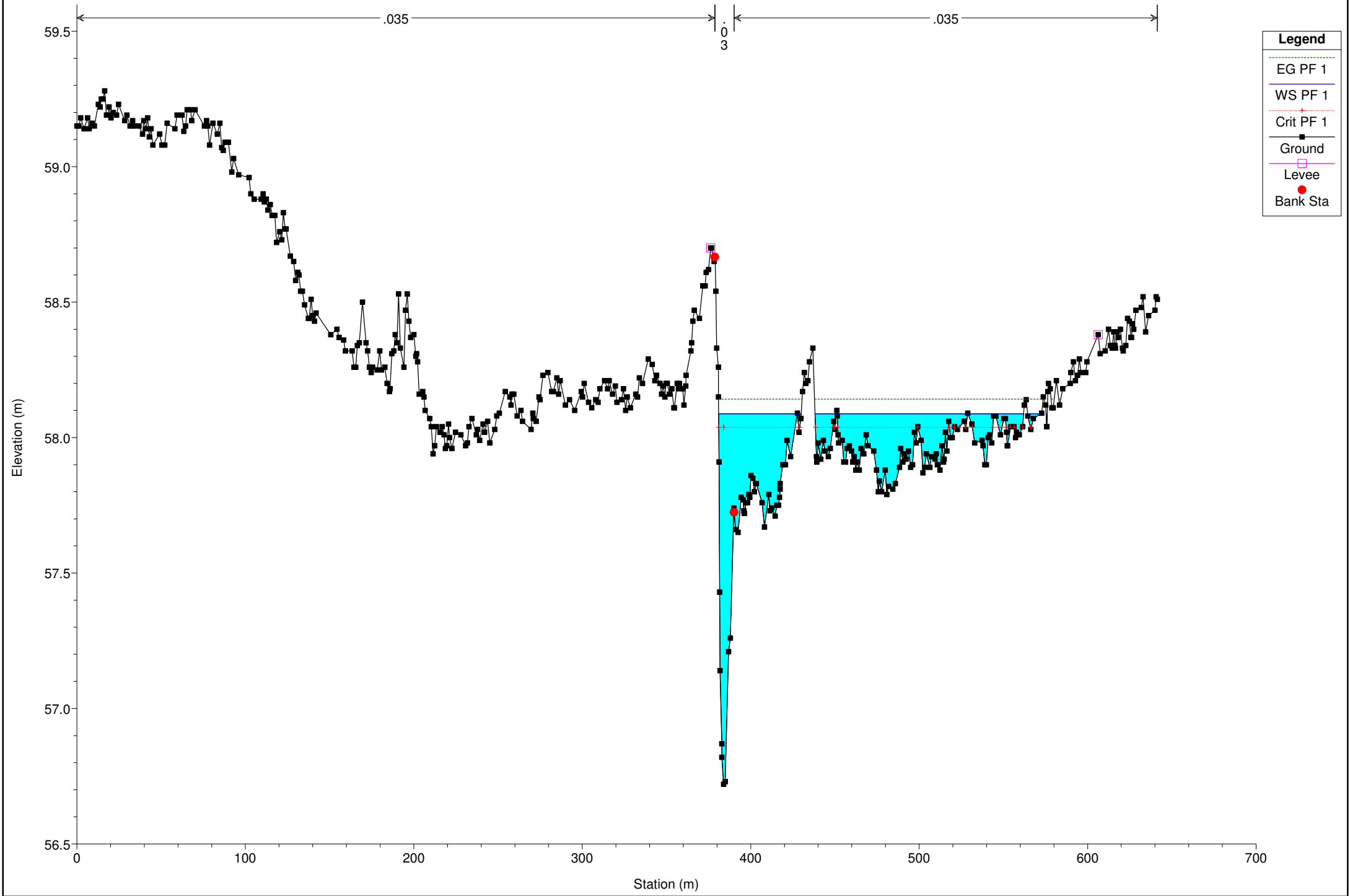


Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Levee
- Bank Sta

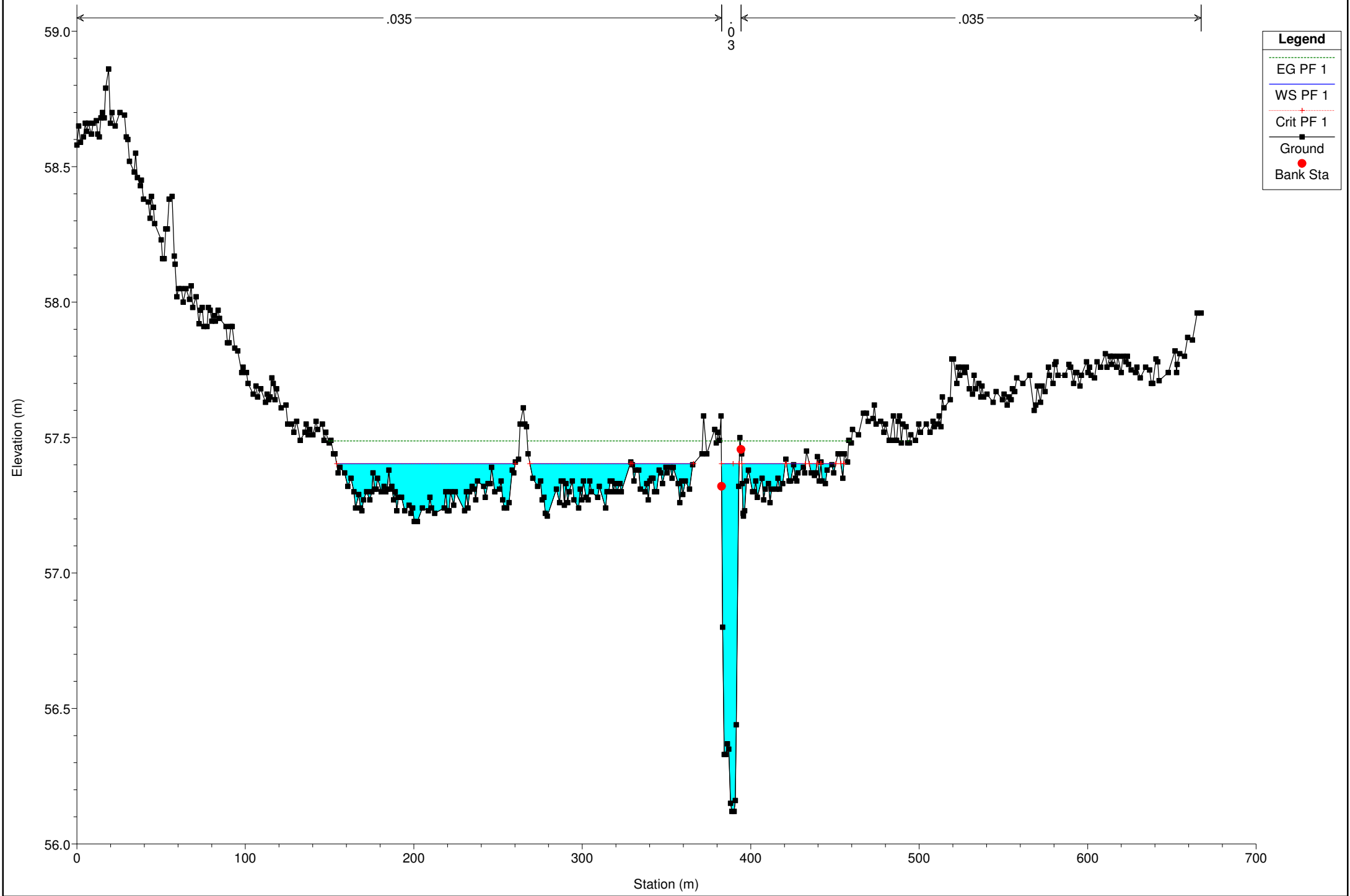


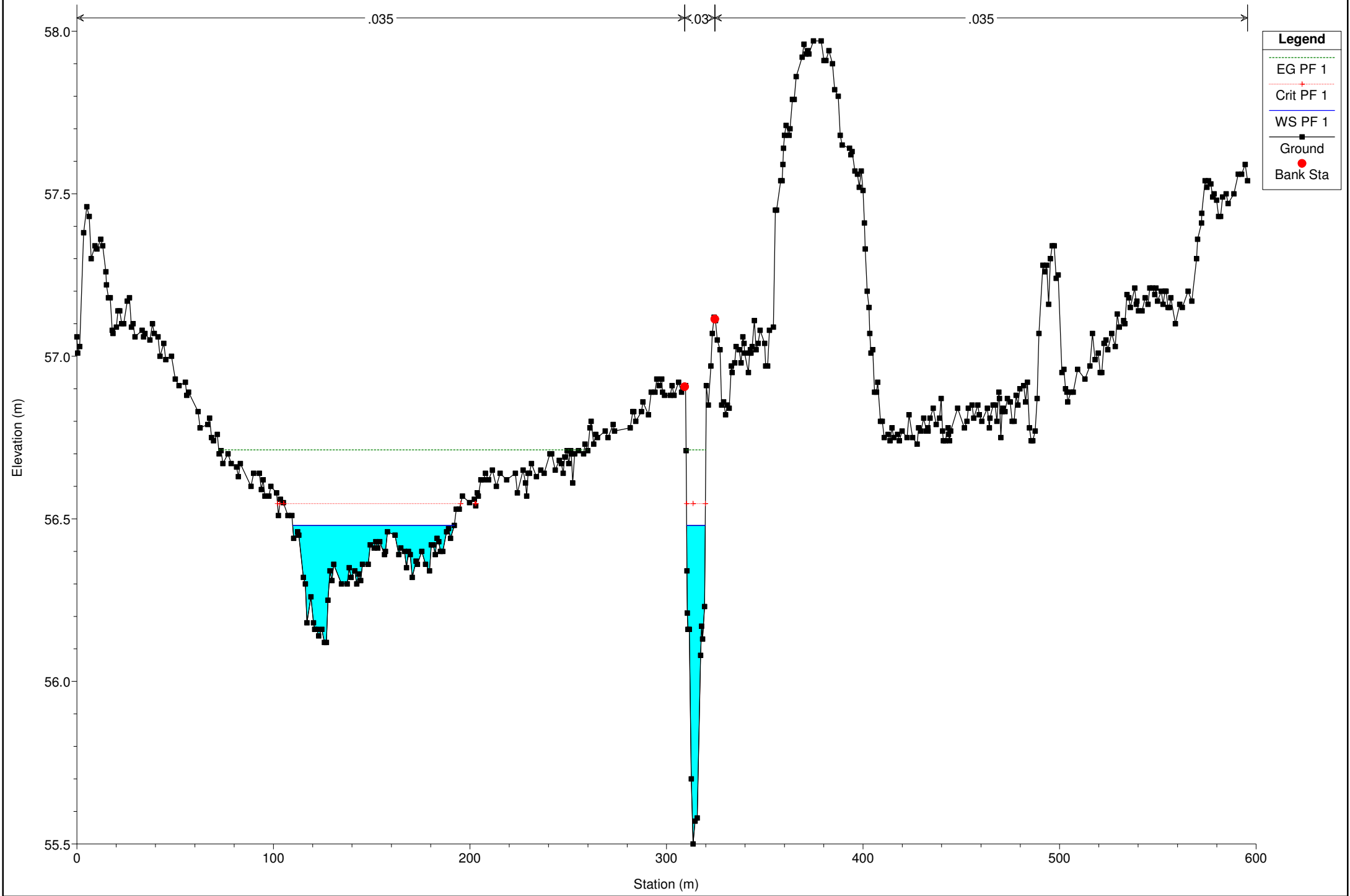
Legend	
EG PF 1	(dashed green line)
WS PF 1	(solid blue line)
Crit PF 1	(dotted red line)
Ground	(black line with square markers)
Levee	(magenta line with square markers)
Bank Sta	(red dot)

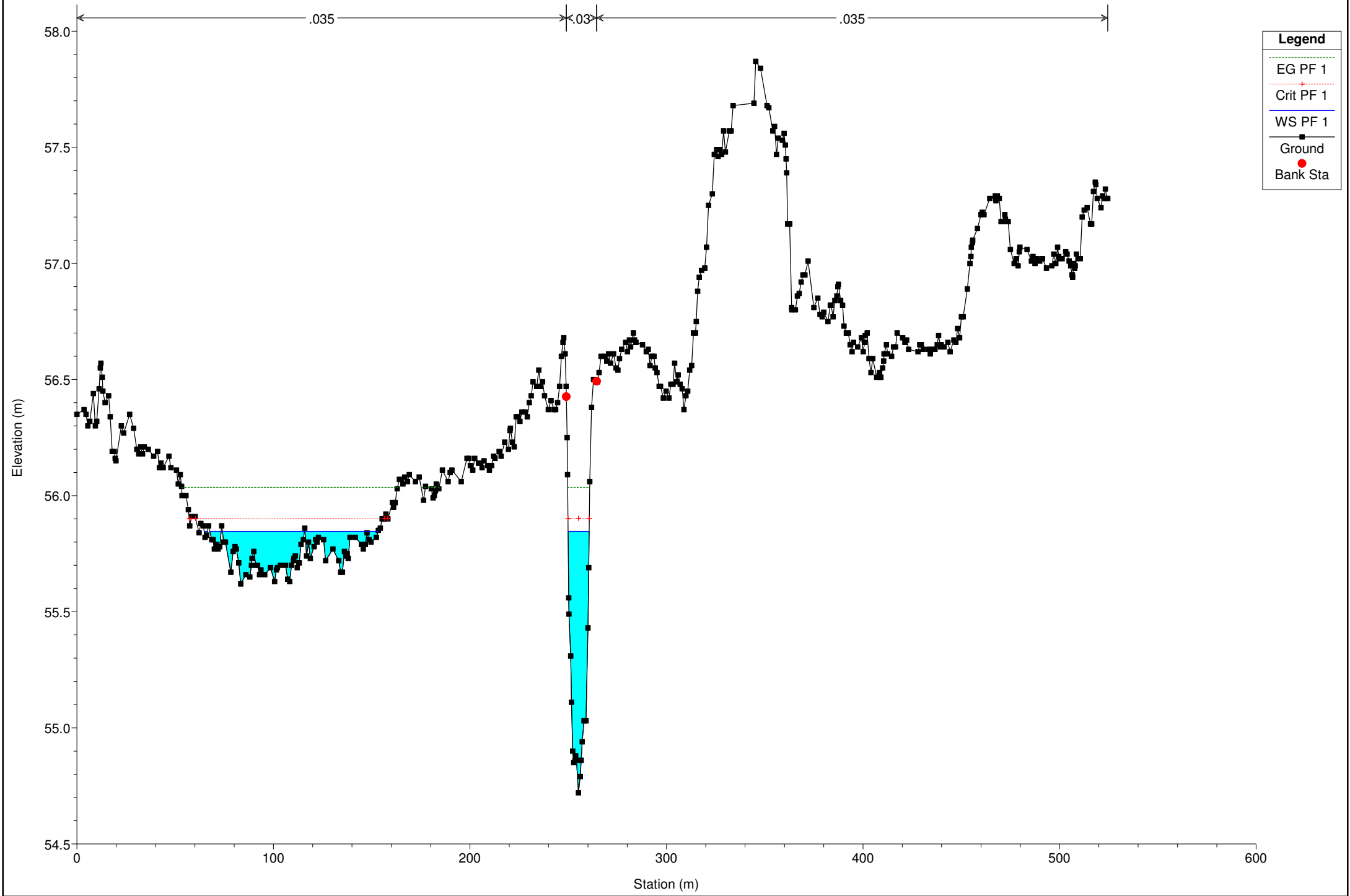


Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Levee
- Bank Sta





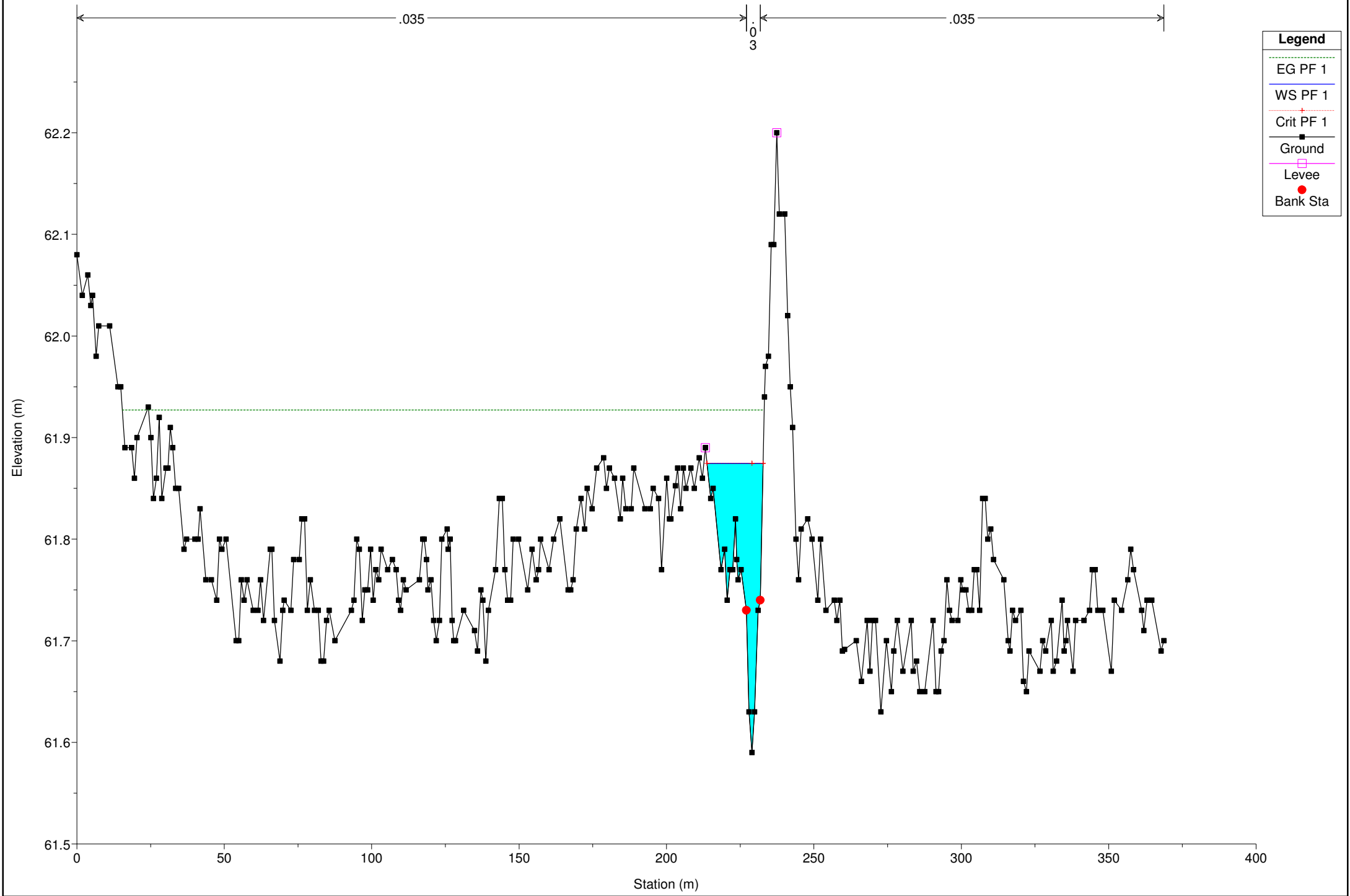


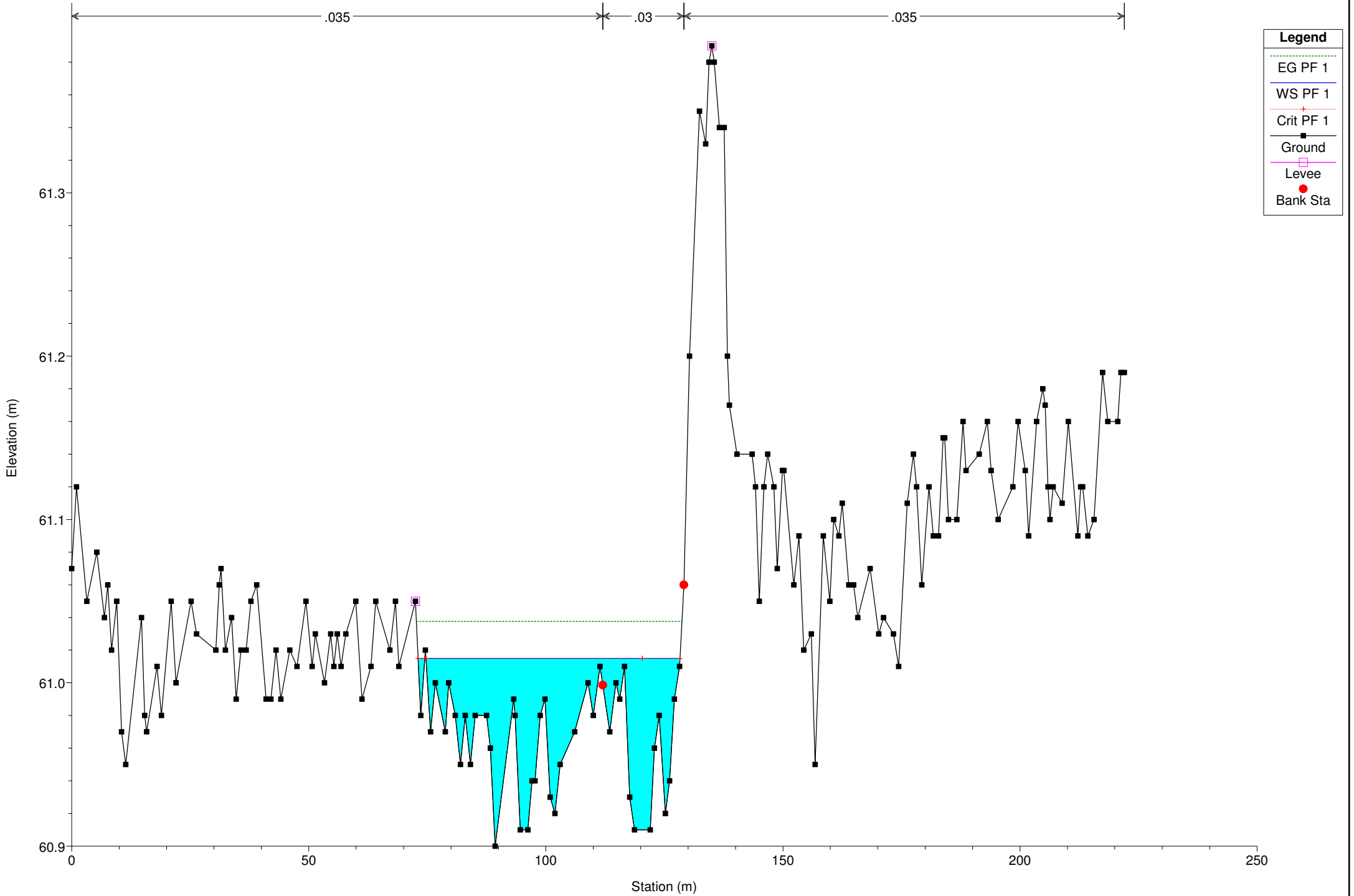
Legend

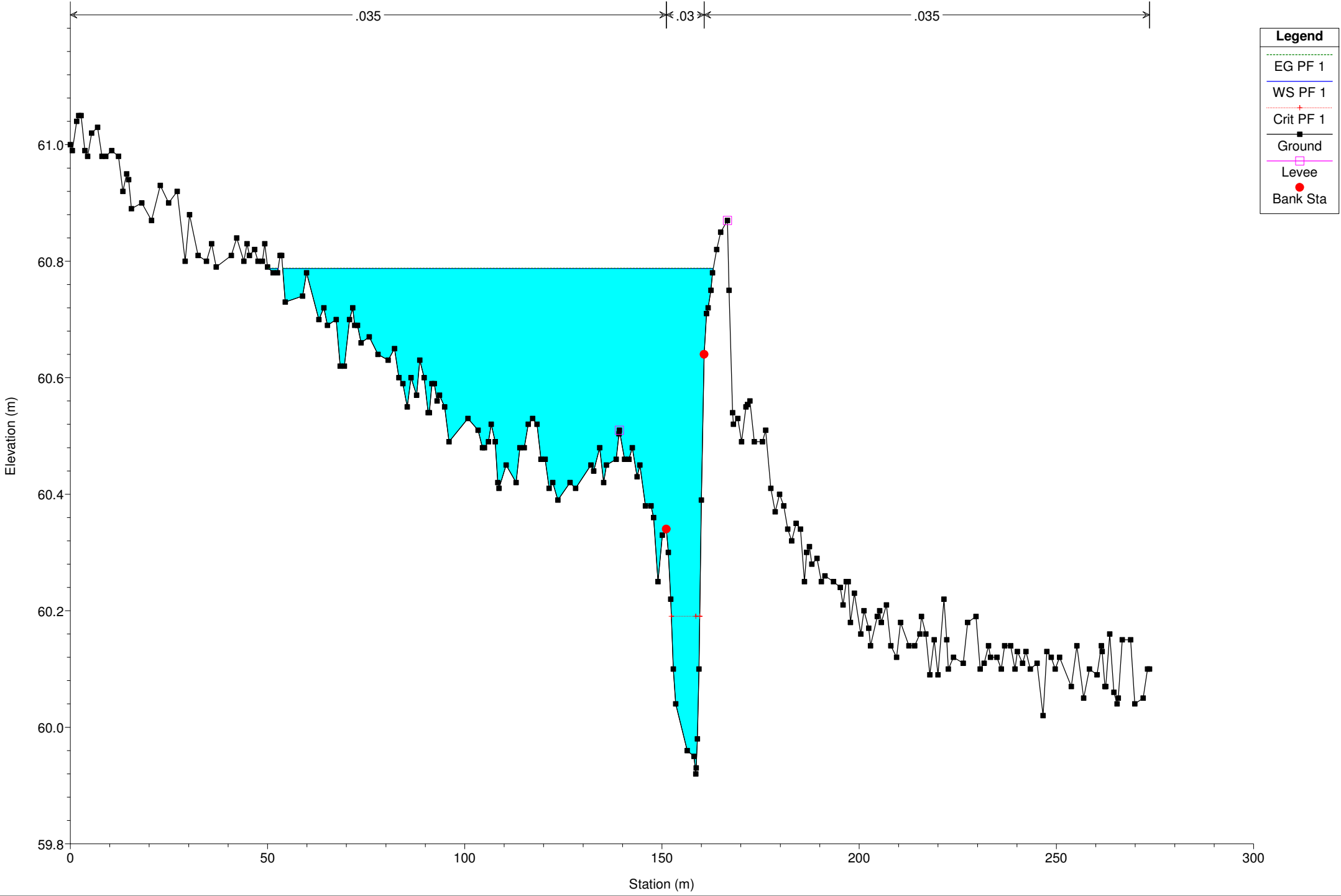
- EG PF 1
- Crit PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

CAIONE_01 Plan: Plan 01 3/12/2021

River = River 2 Reach = Reach 2 RS = 734

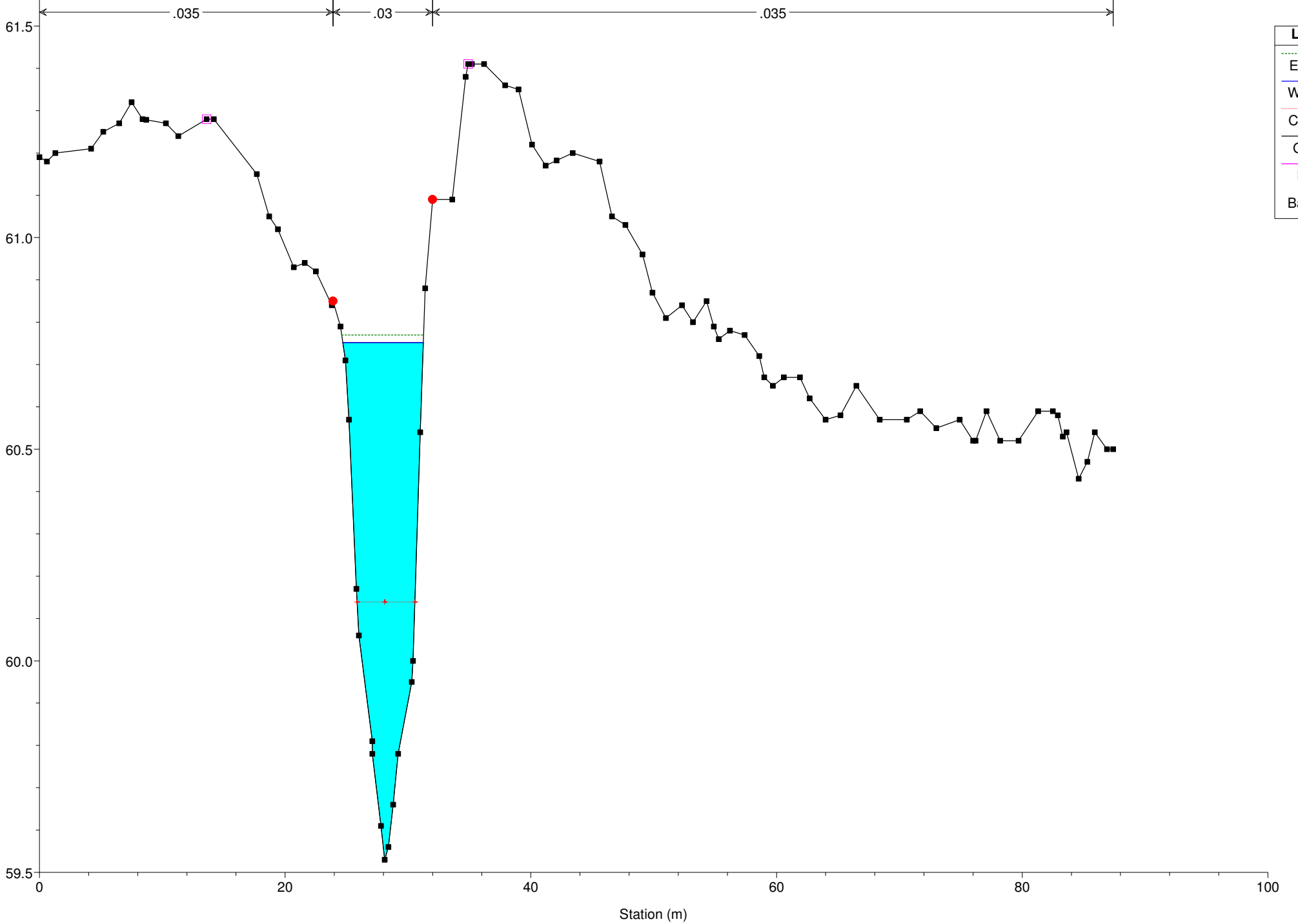






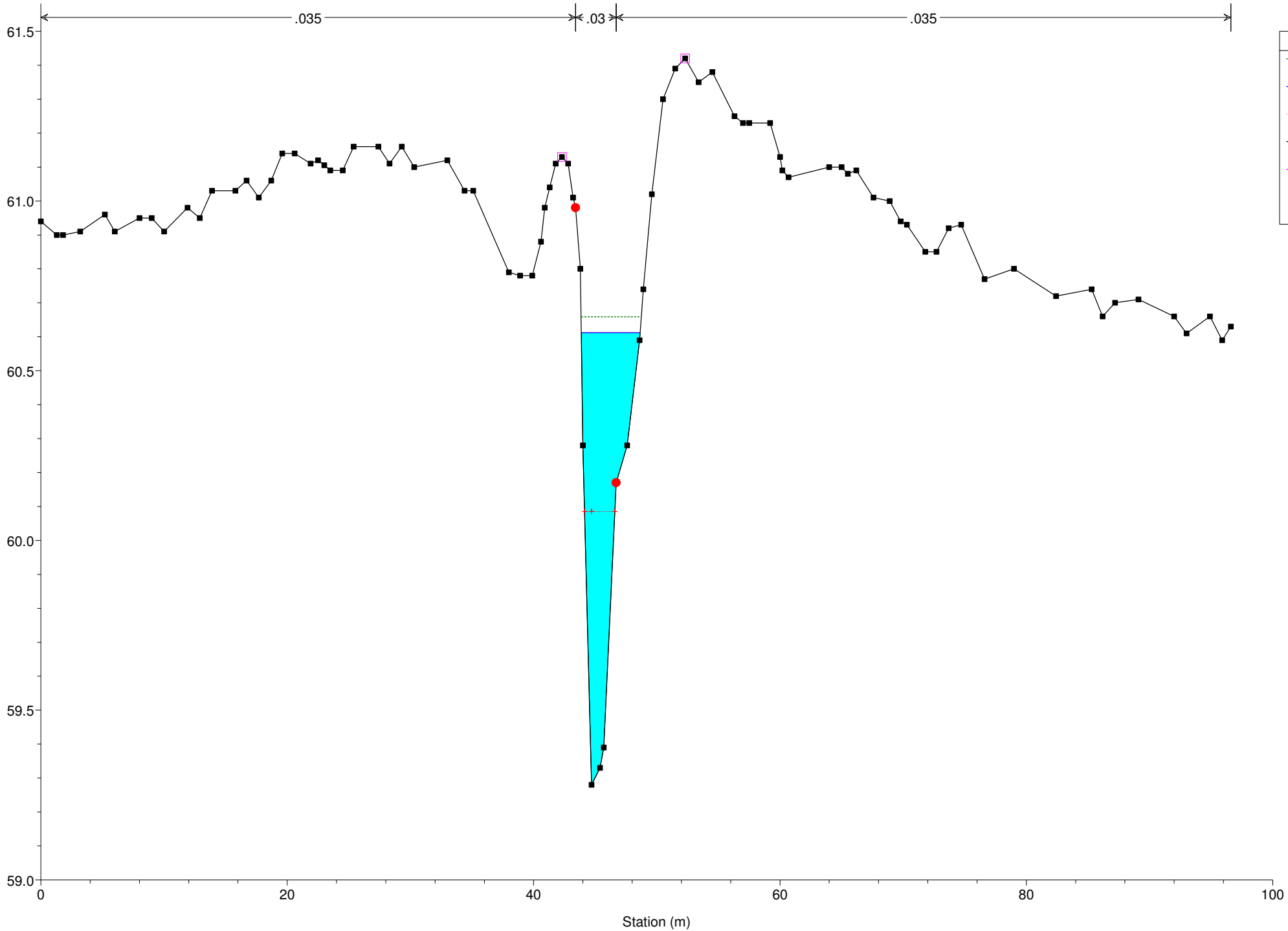
Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Levee
- Bank Sta

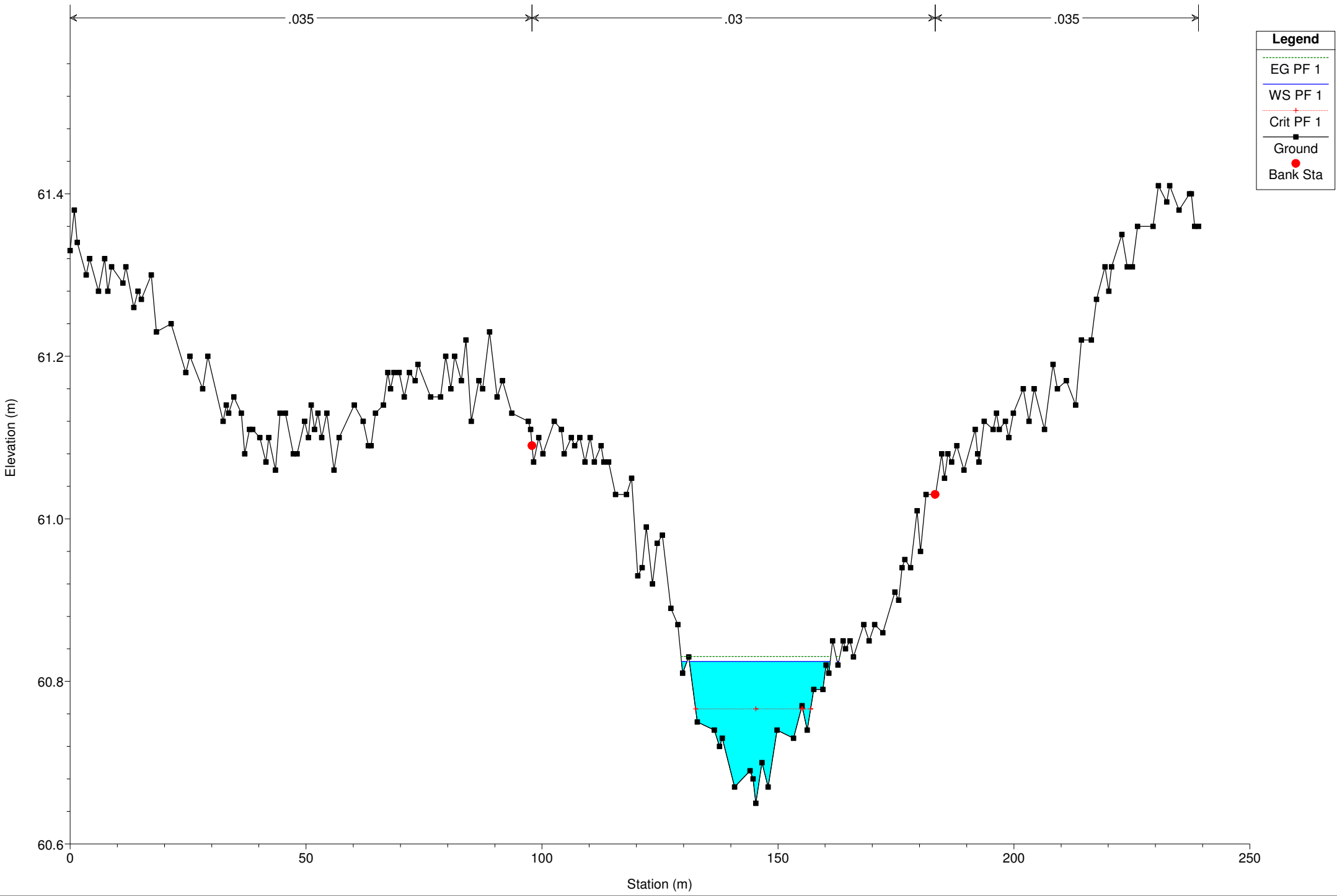


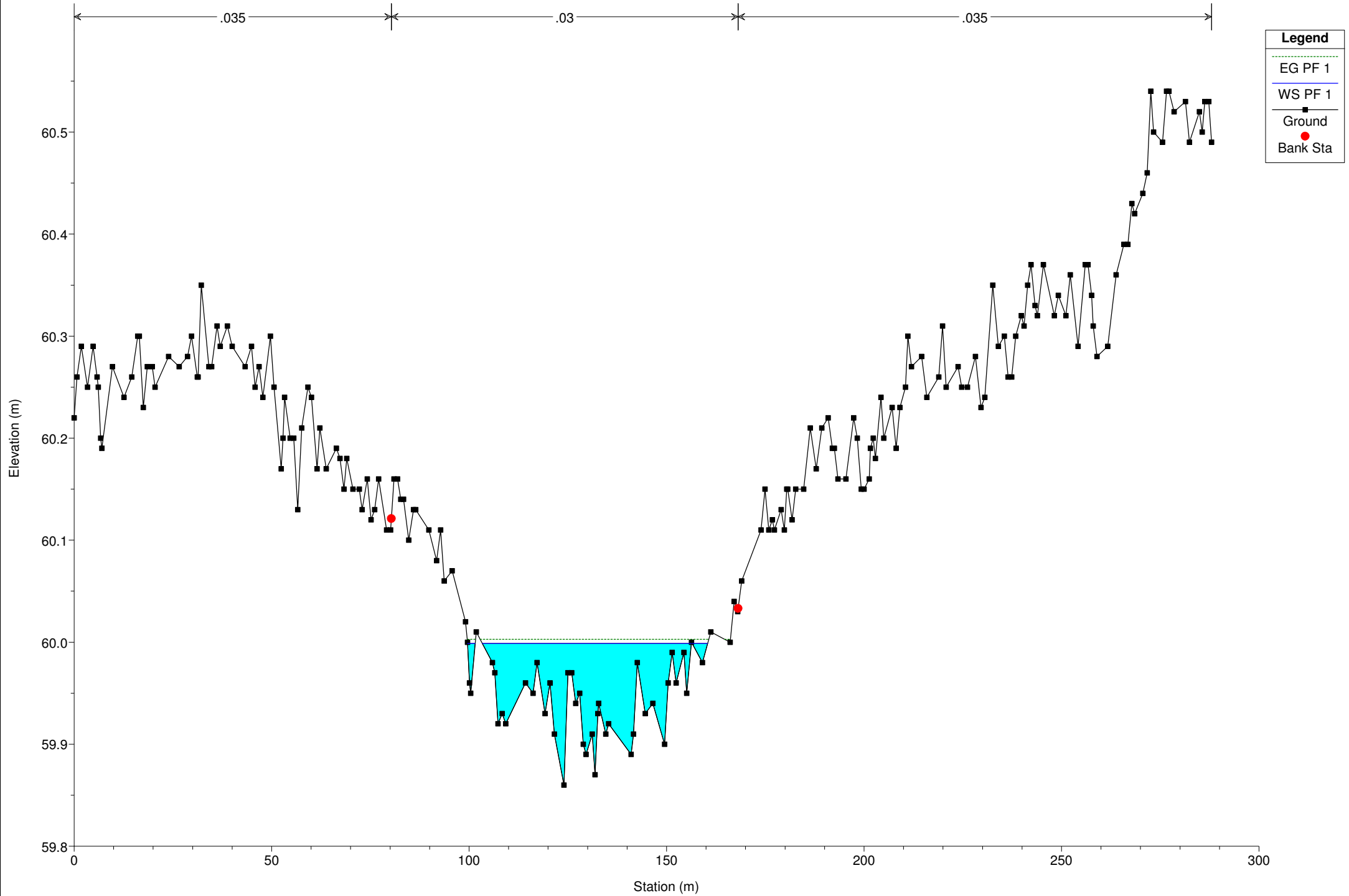
CAIONE_01 Plan: Plan 01 3/12/2021

River = River 2 Reach = Reach 2 RS = 50



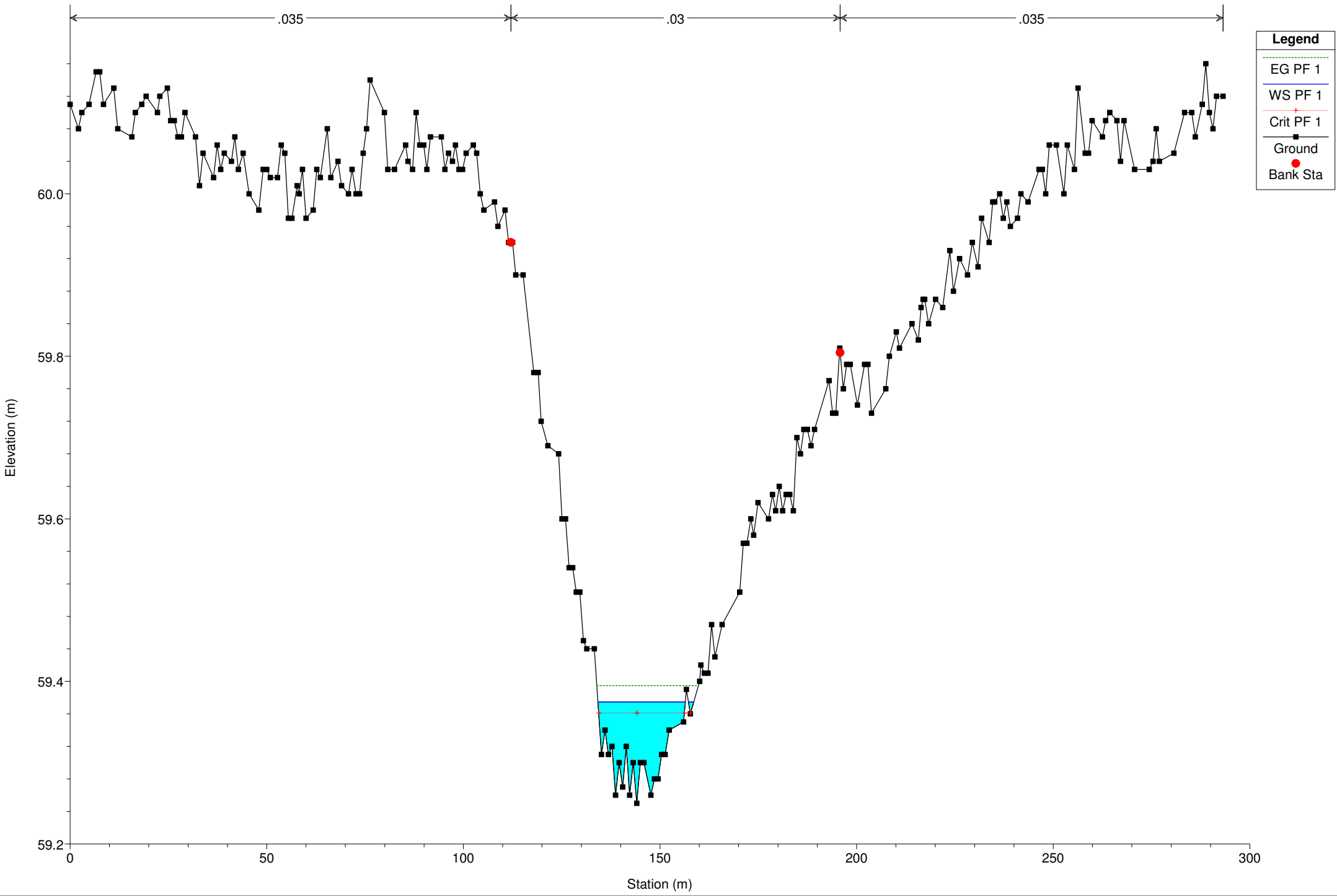
- Legend**
- EG PF 1
 - WS PF 1
 - Crit PF 1
 - Ground
 - Levee
 - Bank Sta





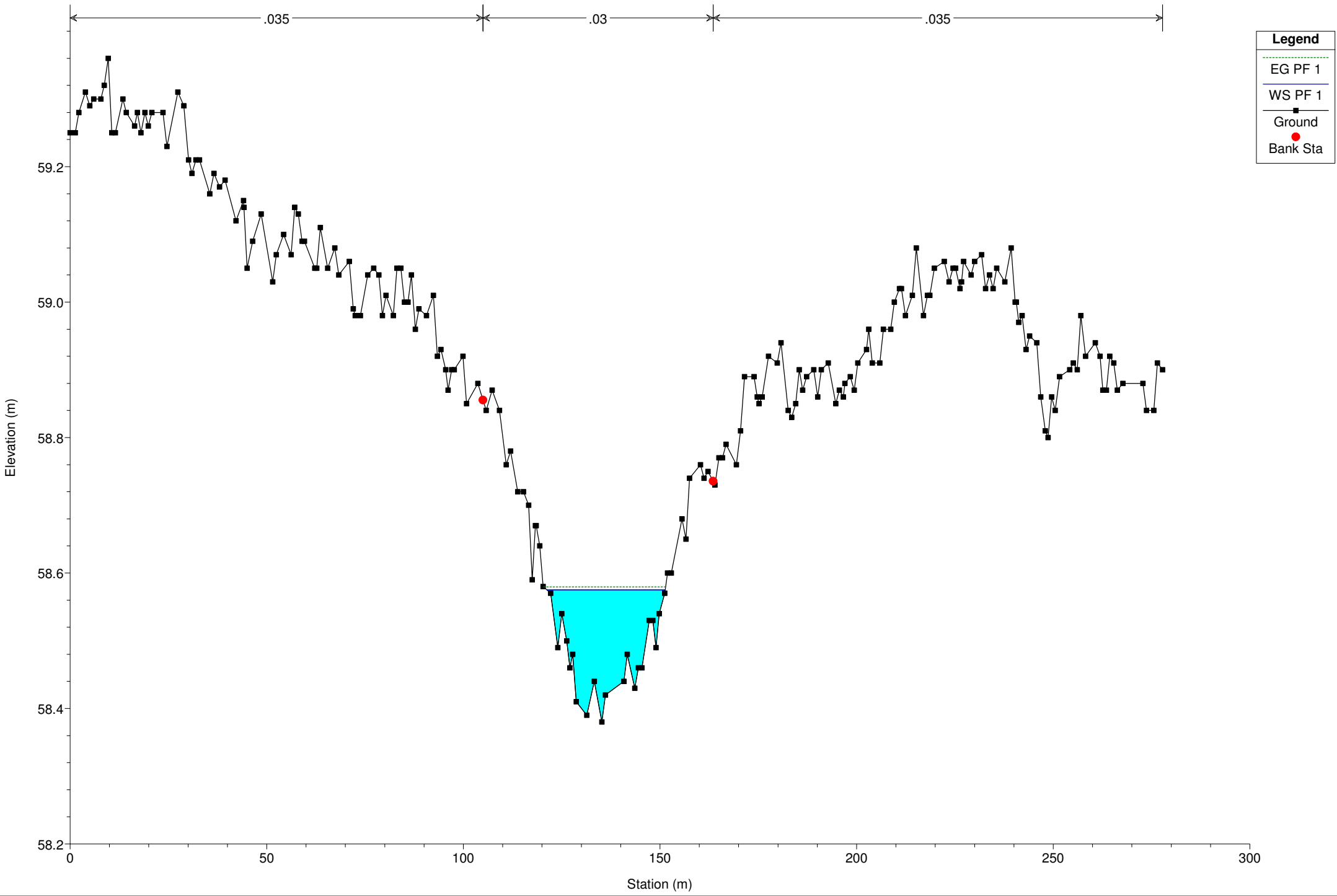
Legend

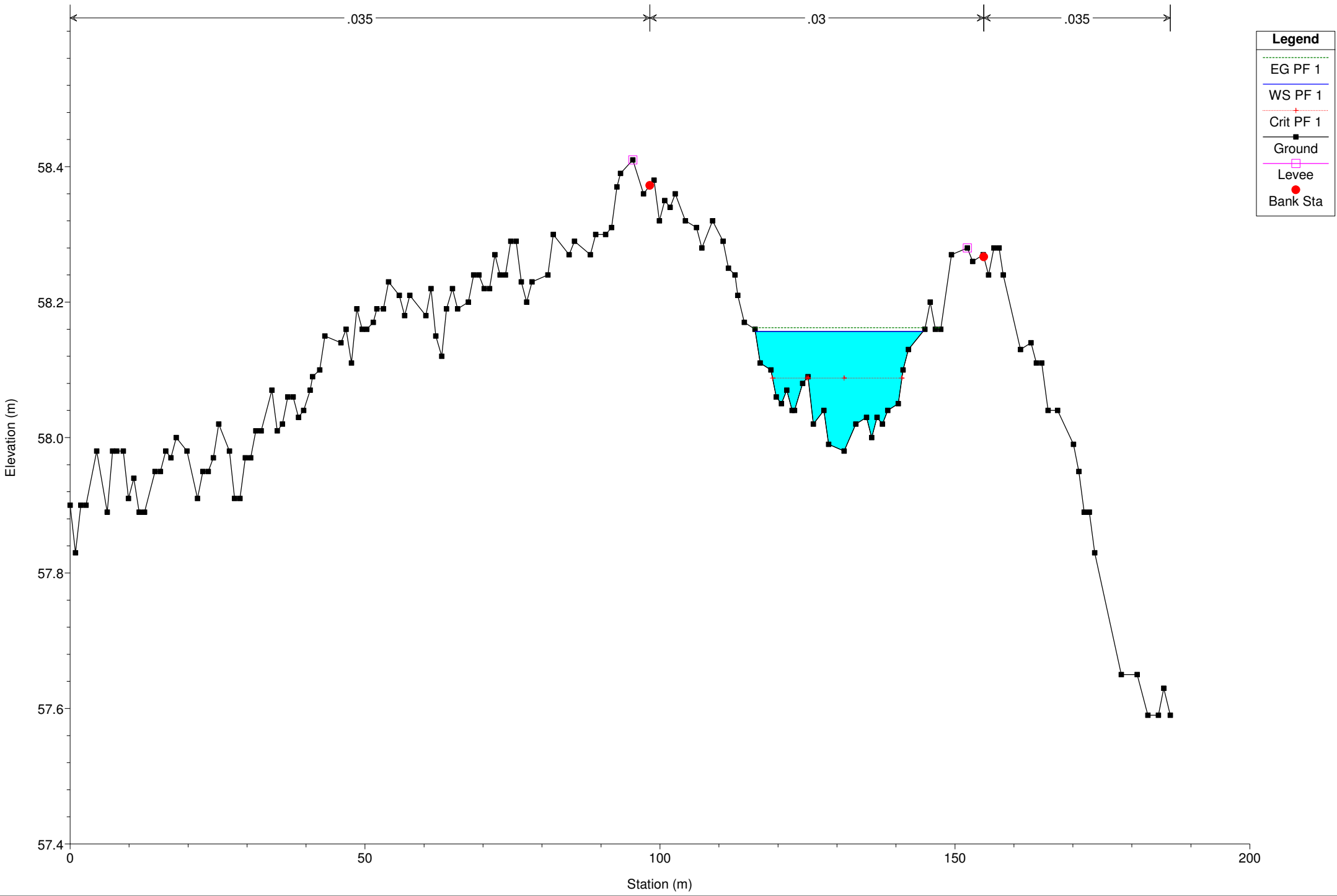
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta



Legend

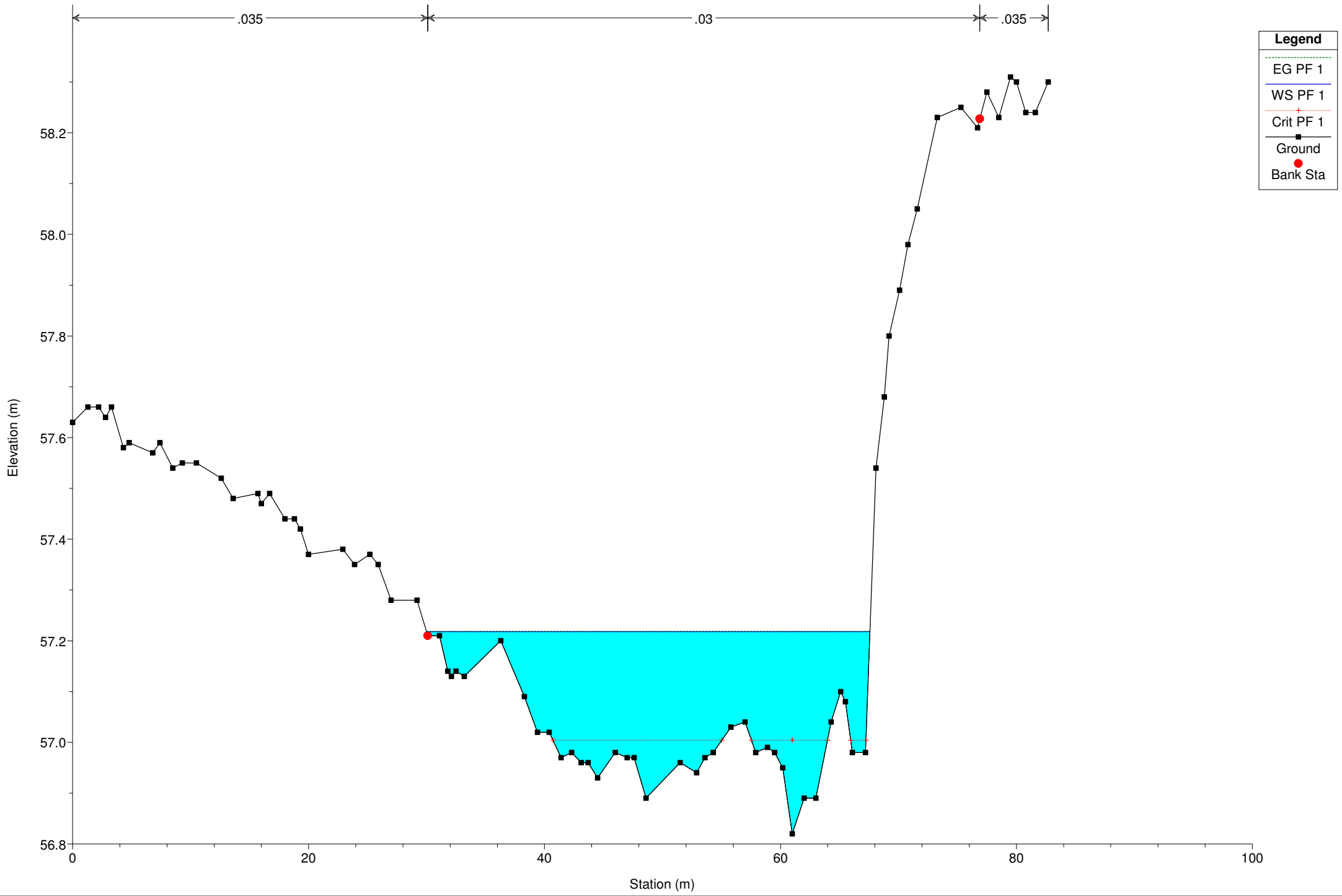
- EG PF 1
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta





Legend

- EG PF 1 (Green dashed line)
- WS PF 1 (Blue solid line)
- Crit PF 1 (Red dashed line)
- Ground (Black solid line with square markers)
- Levee (Pink solid line with square markers)
- Bank Sta (Red solid circle)



Legend

- EG PF 1
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta