



**Finanziato
dall'Unione europea**

NextGenerationEU



COMUNE DI BALMUCCIA

PROVINCIA DI VERCELLI

**MESSA IN SICUREZZA CONCENTRICO ABITATO DAL RISCHIO IDRAULICO
TORRENTE SERMENZA**

TRATTO TERMINALE FINO ALLA CONFLUENZA FIUME SESIA

Finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU

PROGETTO DEFINITIVO

ALLEGATO 8

RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA



STUDIO ARPS

Ing. Rossana APPENDINO

Via Vignati, 14 - 10040 San Gillio (TO)

tel. 3358379321 - e-mail: ing.appendino@studioarps.it



COMUNE DI BALMUCCIA

MESSA IN SICUREZZA CONCENTRICO ABITATO DAL RISCHIO IDRAULICO TORRENTE SERMENZA TRATTO TERMINALE FINO ALLA CONFLUENZA FIUME SESIA *Finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU*

ALLEGATO 8 RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA

SOMMARIO

<u>PREMESSA</u>	<u>2</u>
<u>STUDIO IDROLOGICO</u>	<u>3</u>
INQUADRAMENTO BACINO IDROGRAFICO TORRENTE SERMENZA	3
CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI MASSIME	4
CALCOLO DELLE PORTATE AL COLMO PER ASSEGNATO TR	6
FORMULA RAZIONALE	6
CALCOLO DELL'IDROGRAMMA DI PIENA	8
<u>STUDIO IDRAULICO</u>	<u>12</u>
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	12
ANALISI IDRAULICA	12
RILIEVI IN CAMPO PER LA VALUTAZIONE DEL MATERIALE LITOIDE IN ALVEO	12
STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO AL FONDO	16
STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE	19
DEFINIZIONE DEI PARAMETRI IDRAULICI	21
CODICE DI CALCOLO PER LE VERIFICHE IDRAULICHE	21
<u>SIMULAZIONE TR200 – SITUAZIONE ESISTENTE</u>	<u>23</u>
<u>SIMULAZIONE TR200 – SITUAZIONE DI PROGETTO</u>	<u>37</u>

PREMESSA

Oggetto della presente relazione è lo studio idrologico-idraulico dell'intervento di messa in sicurezza dal rischio idraulico del tratto terminale del torrente Sermenza fino alla confluenza con il fiume Sesia.

L'intervento prevede la riprofilatura delle sezioni trasversali con asportazione del materiale litoide depositatosi nel ramo in sponda destra (denominato nel presente studio *scolmatore 1*), del materiale esistente contro l'argine esistente nel tratto d'alveo principale e l'apertura del canale scolmatore posto in sponda sinistra in corrispondenza del rilevato della strada provinciale.

Lo studio è stato condotto in relazione al comportamento idraulico del corso d'acqua, sia in riferimento ai diversi eventi alluvionali che si sono succeduti, sia al regime ordinario di deflusso.

In sintesi, lo Studio è così strutturato:

analisi idrologica

- definizione del bacino idrografico sotteso ad un'unica sezione di chiusura i cui dati sono stati impiegati per la definizione delle caratteristiche idrologiche del medesimo;
- determinazione delle altezze di pioggia mediante impiego delle Curve di Massima Possibilità Pluviometrica dell'Autorità di Bacino finalizzate al calcolo della portata massima al colmo
- calcolo del tempo di corrivazione e determinazione delle portate massime al colmo, mediante l'impiego del Metodo Razionale, metodologia che meglio rappresenta le caratteristiche idrologiche e geomorfologiche dei bacini esaminati, riferite a tempi di ritorno pari a *TR 200 anni*;
- determinazione dell'idrogramma di piena per le aste idriche analizzate;

analisi idraulica

- analisi del trasporto solido al fondo ed in sospensione per la definizione della portata solida trasportata in seno alla corrente;
- modellizzazione con codice di calcolo monodimensionale HEC-RAS; le verifiche sono eseguite in base delle indicazioni riportate nella *DIRETTIVA 4: Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B"*.

condizioni di studio:

- sezione di chiusura: confluenza torrente Sermenza - fiume Sesia;
- tempo di ritorno: TR 200 - scenario relativo alla Direttiva 4 per la verifica di opere idrauliche, longitudinali, trasversali, manufatti di attraversamento presenti in corrispondenza del corso d'acqua in zone urbanizzate.

STUDIO IDROLOGICO

INQUADRAMENTO BACINO IDROGRAFICO TORRENTE SERMENZA

Il bacino idrografico del torrente Sermenza è localizzato in sinistra idrografica del bacino del Fiume Sesia del quale è primario affluente; l'asta idrica, cos' come l'adiacente torrente Egua, converge nel bacino idroelettrico posto nel Comune di Rimasco dove la Val Piccola si biforca in due piccole valli da cui i torrenti prendono il nome.

Il torrente Sermenza nasce in prossimità del Colle Piccolo Altare posto sullo spartiacque con il bacino del Fiume Sesia e, dunque con la Valsesia, e discende fino all'abitato di Rima e poi a Rima San Giuseppe dove riceve le acque del torrente Nonay della omonima valle che costituisce l'unico affluente di rilevante importanza: nel bacino di quest'ultimo è, infatti, presente la cima più alta del bacino idrografico del torrente Sermenza, il Monte Tagliaferro (2965 m s.l.m.).

A valle di Rima San Giuseppe il torrente segue il fondo valle, a tratti inciso tra rocce affioranti, fino alla confluenza nel bacino idroelettrico di Rimasco con uno sviluppo complessivo pari a circa 10.40 km. La forma del bacino è bislunga, ovvero presenta una parte superiore molto ampia, che si distende lungo lo spartiacque tra la Val Quarazza e la Valsesia e la cui estensione è pari a circa i 2/3 dell'intero perimetro del bacino idrografico. Questo significa che la maggior parte del bacino si sviluppa a quote elevate e cioè tra 2400 m s.l.m. e 2000 m s.l.m. dove, appunto, le curve di livello hanno maggiore estensione. La copertura vegetale è ampiamente diffusa alternata ad aree incolte ed a prato permanente soltanto a quote relativamente basse tra 1200 m s.l.m. e 1500 m s.l.m., mentre, a quote superiori, oltre a pareti di roccia e nevai, la flora è tipica dell'ambiente alpino.

I versanti sono molto scoscesi e caratterizzati da rocce affioranti e pareti verticali solcate da profonde spaccature dove l'acqua dei nevai scende veloce raggiungendo rapidamente il fondo valle: questo aspetto è di fondamentale importanza in relazione al fenomeno di trasporto solido.

Contrariamente a quanto detto per il bacino del torrente Egua, il torrente Sermenza presenta una rilevante predisposizione al trasporto di materiale solido nel tratto a valle dell'abitato di Rima San Giuseppe, dove il corso d'acqua scorre in un letto alluvionale e dove riceve gli apporti di piccoli impluvi laterali, il cui bacino è posto a quote relativamente basse, dove la copertura superficiale soprastante il substrato roccioso è di maggiore intensità e facilmente mobilabile.

Nel tratto a monte dell'abitato di Rima San Giuseppe, eventuali fenomeni di trasporto solido possono essere innescati a causa di eventuali frane provenienti dai versanti dovute ad eventi pluviometrici critici o in fase di disgelo.

L'evapotraspirazione media annua stimata è pari a circa 185-210 mm per la parte medio-bassa del bacino e costituisce, soltanto, il 35% dell'intera superficie del bacino stesso, poiché la parte restante essendo costituita da rocce e soltanto piccoli nevai fornisce un contributo trascurabile sulla cronologia annuale.

Le caratteristiche geologiche del bacino in esame indicano la presenza di rocce cristalline silicatiche la cui permeabilità è legata soltanto a condizioni di frattura localizzata, mentre il fondovalle è caratterizzato da accumuli di tipo alluvionale conseguenti a fenomeni di erosione e trasporto tipico dei corsi acqua montani.

I terreni, disposti nella parte di bacino sotto l'invaso di Rimasco, sono costituiti da materiali incoerenti e detritici con presenza di diffuse aree in frana, di estensione planimetrica estremamente variabile e strato in potenza anche di rilevante importanza, quali DPGV, di cui due interferenti con il torrente Sermenza, entrambe nel Comune di Boccioleto ed altre di minore potenza in corrispondenza di corpi idrici tributari con relativi deflussi soggiacenti.

PARAMETRI CARATTERISTICI BACINO TORRENTE SERMENZA

	S (kmq)		L (km)
Superficie del bacino	131.30	Lunghezza media dell'asta	18.95
	H (m)		L_{max} (km)
Altezza media	1121.80	Lunghezza massima del percorso dell'acqua	18.40
	H_{max} (m)		i_v [-]
Quota massima	2965	Indice pendenza media dei versanti	79.1
	H_{med} (m.s.m.)		i_{asta} [-]
Quota media	1661.80	Pendenza media dell'asta (scala di bacino)	16.38
	H_{sez.} (m)		f_d
Quota sezione di chiusura	540	Coeff. di deflusso	0.654

CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI MASSIME

Il calcolo delle massime precipitazioni è eseguito attraverso la determinazione delle Curve di Massima Possibilità Pluviometrica ottenuta mediante l'analisi statistica dei dati contenuti negli Annali Idrologici, riferiti alle registrazioni delle altezze pluviometriche di un generico evento di pioggia che si verifica in un assegnato intervallo temporale.

Se, per un generico pluviografo, si dispone di un periodo sufficientemente lungo di osservazioni, generalmente non inferiore ad un numero di N anni pari a $20 \div 30$ anni, per ciascuna delle durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore) si riportano i valori su un diagramma, ordinati in modo decrescente e la curva interpolatrice dei punti più alti, cioè dei massimi valori riscontrati è denominata *curva dei primi casi critici*.

Questa curva è rappresentativa degli eventi di pioggia che possono essere *raggiunti* o *superati* una sola volta in un periodo di durata pari a quello a cui si riferiscono le osservazioni.

Dagli studi effettuati e noti in letteratura tecnica si deduce che queste curve, denominate *Curve di Possibilità Climatica*, possono essere rappresentate in maniera adeguata mediante l'equazione espressa in forma potenziale: $h = a \cdot t^n$ in cui i coefficienti a e n sono due parametri caratteristici della stazione in esame ed il cui valore numerico è determinabile con il metodo dei minimi quadrati. Applicando i logaritmi ad entrambi i membri dell'equazione si ottiene:

$\log h(t) = \log a + n \cdot \log t$ che ponendo $y = \lg h$ e $x = \log t$ si riduce ad un modello lineare del tipo:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x \quad \text{in cui} \quad b_0 = \log a; \quad b_1 = n$$

I risultati cui si perviene con tale metodo hanno però scarso significato rispetto ad un'analisi di tipo probabilistico poiché nel periodo di osservazione di N anni si possono essere verificati degli eventi eccezionali, ai quali si attribuirebbe una frequenza di raggiungimento o superamento sensibilmente maggiore di quella reale; cioè gli eventi eccezionali sarebbero considerati meno rari rispetto alla situazione reale.

E' necessario, pertanto, procedere ad un'analisi in termini probabilistici: la teoria dei valori estremi sviluppata da Gumbel negli anni '20 stabilisce che, se la variabile x è il massimo di N valori x_i tra loro indipendenti ed identicamente distribuiti, allora, per valori sufficientemente grandi di N la distribuzione di probabilità di x tende ad una delle tre distribuzioni limite denominate rispettivamente *EV1* o *Gumbel*, *EV2* o *Frechet* e *EV3*.

Quindi la determinazione dei coefficienti caratteristici della *Curva di Massima Possibilità Pluviometrica*, che mette in relazione i tempi di pioggia con le altezze di pioggia al variare del tempo di ritorno, è stata condotta con la "*prima legge del valore estremo o legge di Gumbel*".

Le curve sono costruite in modo tale da valutare l'andamento critico della pioggia, ovvero i valori massimi di altezza di pioggia che la medesima può assumere nei successivi intervalli di tempo.

Da ciò la denominazione di "pioggia critica" per un particolare evento di nota durata che porta in condizioni critiche una rete idraulica, ovvero quando la massa d'acqua invasata e del volume scaricato in un dato intervallo di tempo supera il volume che affluisce alla rete nello stesso tempo.

I parametri della legge di distribuzione utilizzata (in funzione della media e dello scarto quadratico medio del campione) sono:

parametri della distribuzione: α_t, ε_t

funzione di probabilità: $P(h_t) = \exp[-\exp(-\alpha_t \cdot (h_t - \varepsilon_t))]$

$$\alpha_t = \frac{1.283}{\sigma(h_t)}, \quad \varepsilon_t = \mu(h_t) - \frac{0.5772}{\alpha_t} = \mu(h_t) - 0.45 \cdot \sigma(h_t); \quad CV_t = \frac{0.5572}{\log \Lambda_t + 0.251}$$

in cui $P(h_t)$: probabilità di non superamento della variabile idrologica h_t

$\mu(h_t)$: media; $\sigma(h_t)$: scarto quadratico medio della variabile h_t

CV_t : coeff. di variazione.

Determinati i parametri della distribuzione è possibile calcolare l'altezza di pioggia h_t , il cui valore posto sul grafico in corrispondenza del tempo t individua uno dei punti necessari per la costruzione della curva di possibilità pluviometrica relativa ad un tempo di ritorno TR .

Le rilevazioni utilizzate nella presente relazione forniscono le altezze di pioggia relative ad eventi di durata rispettivamente di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive e le curve sono state determinate per tempi di ritorno corrispondenti a 20, 100, 200 e 500 anni.

Nella presente relazione, per i coefficienti a e n della Curva di Massima Possibilità Pluviometrica sono stati impiegati i valori indicati dall'*Autorità di Bacino del Fiume Po* riferiti al *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - 7. Norme di Attuazione* le cui celle sono riferite alla zona del bacino esaminato.

ella presente relazione, per i coefficienti a e n della Curva di Massima Possibilità Pluviometrica sono stati impiegati i valori indicati dall'*Autorità di Bacino del Fiume Po* riferiti al *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - 7. Norme di Attuazione* le cui celle sono riferite al bacino idrografico esaminato.

Sermenza	a				n			
	20	100	200	500	20	100	200	500
BI59	33.77	42.78	46.64	51.74	0.562	0.563	0.564	0.564
BI60	34.38	43.67	47.65	52.90	0.557	0.557	0.558	0.558
BI61	34.94	44.48	48.57	53.97	0.553	0.552	0.552	0.552
BJ58	35.17	44.51	48.52	53.81	0.564	0.566	0.566	0.567
BJ59	35.98	45.66	49.81	55.29	0.559	0.559	0.560	0.560
BJ60	36.74	46.74	51.02	56.69	0.553	0.553	0.553	0.554
BJ61	37.43	47.72	52.13	57.96	0.548	0.547	0.547	0.547
BK58	37.35	47.33	51.62	57.28	0.560	0.561	0.562	0.563
BK59	38.28	48.65	53.08	58.95	0.554	0.555	0.555	0.556
BK60	39.19	49.91	54.51	60.58	0.548	0.548	0.548	0.549
BK61	40.02	51.08	55.82	62.09	0.543	0.542	0.542	0.542
BL58	39.55	50.20	54.76	60.80	0.554	0.555	0.555	0.555
BL59	40.56	51.58	56.31	62.56	0.548	0.548	0.548	0.549
BL60	41.61	53.03	57.93	64.40	0.542	0.542	0.542	0.542
BL61	42.67	54.48	59.55	66.24	0.536	0.535	0.535	0.535
BL62	43.34	55.44	60.62	67.47	0.532	0.530	0.530	0.530
BL63	43.75	56.03	61.28	68.23	0.530	0.527	0.527	0.526
BL64	44.31	56.81	62.15	69.22	0.528	0.524	0.523	0.522

Sermenza	a				n			
	20	100	200	500	20	100	200	500
BM58	41.95	53.27	58.12	64.53	0.551	0.552	0.552	0.553
BM59	42.91	54.58	59.59	66.19	0.545	0.545	0.546	0.546
BM60	43.97	56.02	61.20	68.02	0.539	0.539	0.539	0.539
BM61	45.00	57.44	62.77	69.82	0.532	0.532	0.532	0.532
BM62	45.77	58.50	63.96	71.16	0.528	0.526	0.526	0.526
BM63	46.28	59.19	64.72	72.02	0.525	0.522	0.522	0.521
BM64	46.94	60.06	65.67	73.10	0.521	0.518	0.517	0.516
BN61	47.06	60.00	65.56	72.88	0.530	0.529	0.529	0.529
BN62	47.88	61.11	66.78	74.26	0.525	0.524	0.524	0.523
BN63	48.55	62.00	67.76	75.37	0.520	0.518	0.518	0.517
BO61	49.01	62.43	68.19	75.78	0.530	0.529	0.529	0.529
BO62	49.90	63.62	69.50	77.25	0.523	0.522	0.522	0.522
BO63	50.63	64.55	70.52	78.39	0.516	0.514	0.514	0.514

20		100		200		500	
a	n	a	n	a	n	a	n
42.09	0.541	53.64	0.540	58.59	0.540	65.13	0.540

CALCOLO DELLE PORTATE AL COLMO PER ASSEGNATO TR

Il metodo cinematico o metodo razionale è generalmente applicato a bacini di relativamente limitata estensione e si basa sul concetto di tempo di corrivazione, cioè il tempo che una particella d'acqua, posizionata nel punto più alto del bacino, impiega a raggiungere la sezione di chiusura.

Considerata una sezione del corso d'acqua, le portate defluenti sono funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino sotteso (*superficie in corrispondenza della sezione di chiusura, pendenza del corso d'acqua, lunghezza dell'asta del torrente, altitudine media del bacino*), del tipo e della durata dell'evento pluviometrico.

Quest'ultimo aspetto è strettamente legato alla formazione del deflusso: infatti, schematizzando il fenomeno, per una precipitazione d'altezza h ed intensità $j = h/t$ estesa a tutto il bacino, la portata massima nella sezione considerata si raggiunge quando si aggiungono i contributi di tutte le parti costituenti il bacino stesso. Questo intervallo di tempo è definito *tempo di corrivazione* ed è assunto quale elemento caratteristico del bacino stesso.

Con il medesimo criterio, anche la durata del processo di esaurimento, valutata a partire dalla cessazione della pioggia, è pari al tempo di corrivazione.

Questo parametro può essere calcolato impiegando diverse formule, ciascuna espressa in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame:

- formula di Giandotti: $t_c = \frac{a \cdot \sqrt{S} + b \cdot L}{c \cdot \sqrt{H}}$ formula di Ventura: $t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$
- formula di Kirpich: $t_c = 0.066 \cdot L^{0.77} \cdot \left(10^{-3} \cdot \frac{L}{H_{sez-max}}\right)^{-0.385}$ formula di Pasini: $t_c = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$
- formula di Aronica: $t_c = \frac{\left(\frac{1}{M \cdot a}\right) \sqrt{S} + 1.5L}{0.8 \sqrt{H-Z}}$ formula di Turrazza: $t_c = 0.127 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$
- formula di Tournon: $t_c = \frac{0.396 \cdot L}{\sqrt{i_a}} \cdot \left(\frac{S \cdot \sqrt{i_a}}{L^2 \cdot \sqrt{i_v}}\right)$ formula di Ruggiero: $t_c = 17.28 \cdot \frac{S^{1/3}}{60}$

FORMULA RAZIONALE

Ipotizzando che la pioggia sia di intensità costante per tutta la durata dell'evento, la portata alla sezione di chiusura del bacino è data dalla seguente espressione empirica (*formula razionale*):
 $Q = \Phi \cdot A \cdot i_c / 360$

dove: Φ : coefficiente di deflusso; i_c : intensità della pioggia riferita al tempo di corrivazione; A : superficie del bacino; Q : portata.

Il coefficiente di deflusso deriva dall'analisi del processo idrologico nella sua globalità. Esso è definito dal rapporto tra il volume affluito nel corso d'acqua e quello defluito durante l'evento meteorico ed è funzione dell'intensità di pioggia, della capacità di infiltrazione e dei caratteri geologici e morfologici del bacino.

La determinazione del coefficiente di deflusso può essere determinata attraverso l'impiego della formula: $\phi = \phi_s \cdot \phi_i \cdot \phi_p \cdot \phi_c \cdot \phi_e$

dove: ϕ_s : coefficiente funzione dell'estensione dell'area e del tempo di corrivazione;

ϕ_i : coefficiente funzione della pendenza del terreno;

ϕ_p : coefficiente funzione della permeabilità del suolo;

ϕ_c : coefficiente funzione della copertura del suolo;

ϕ_e : coefficiente funzione dell'evapotraspirazione.

I risultati di calcolo dell'applicazione del metodo sono riportati nella tabella seguente.

TORRENTE SERMENZA							
CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE [ore]							
GIANDOTTI	VENTURA	KIRPICH	PASINI	ARONICA	TURRAZZA	TOURNON	RUGGIERO
2.771	0.164	3.780	0.165	2.702	4.973	5.208	1.461
TEMPO DI CORRIVAZIONE (ore) - Tc				ARONICA		2.702	
TEMPO DI RITORNO (anni) - TR				20	100	200	500
COEFF. CURVA MASSIMA				a	35.94	45.49	55.17
POSSIBILTA' PLUVIOMETRICA				n	0.592	0.590	0.589
ALTEZZE DI PIOGGIA							
TEMPO DI RITORNO				(anni)	20	100	500
AUTORITA' di BACINO - DIRETTIVA PIENA DI PROGETTO				h_{pluv} (mm)	72.03	91.73	111.38
PORTATE DI PROGETTO							
TEMPO DI RITORNO				(anni)	20	100	500
FORMULA RAZIONALE				Q (m ³ /s)	636.47	810.50	885.38

CALCOLO DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

Per il calcolo della portata di piena è stato impiegato anche il metodo SCS per una comparazione delle diverse metodologie presenti in letteratura.

Questo metodo è impiegato, in ambito americano, per la ricostruzione delle piene dei bacini idrografici di superficie dell'ordine di $15 \div 30 \text{ km}^2$ permettendo sia il calcolo del volume di piena, sia della portata al colmo, sia della completa ricostruzione dell'idrogramma di piena.

Per la determinazione del volume di piena il metodo si basa sulla seguente relazione: $\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$ dove:

V : volume di deflusso; P_n : precipitazione netta; W : volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo;

S : valore massimo del volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo.

La pioggia netta si ottiene dalla differenza tra la precipitazione totale e le perdite iniziali dovute all'immagazzinamento superficiale, queste ultime imputabili ad alcune cause quali la presenza sulla superficie del bacino di zone che, per particolari caratteristiche morfologiche, consentono l'accumulo di volumi idrici, ovvero l'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente e l'infiltrazione prima della formazione del deflusso.

Sulla base di queste considerazioni e dalla conoscenza della precipitazione totale P si determina il valore del volume di deflusso: $V = \frac{(P-0.2 \cdot S)^2}{P+0.8 \cdot S}$ in cui la stima del massimo invaso S del suolo

può essere condotta impiegando la relazione:

$S = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$ nella quale il parametro CN , denominato *curve number*, assume valori compresi tra $0 \div 100$ e rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso.

Questo parametro si stima in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino.

Ciò presuppone le conoscenze del gruppo idrologico di ciascun suolo compreso nella superficie del bacino e, all'interno di ciascun gruppo devono essere individuate aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica.

A ciascuna area è attribuito un appropriato valore CN ed il valore relativo all'intero bacino si ottiene come media pesata dei valori stimati.

GRUPPI IDROLOGICI

GRUPPO A	Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Sono sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è elevata.
GRUPPO B	Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.
GRUPPO C	Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono suoli costituiti da uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito), ovvero suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica è bassa
GRUPPO D	Suoli ad elevata capacità di formazione di deflusso. Sono suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, ovvero con strati di argilla in prossimità della superficie, suoli con profondi substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Il metodo considera, inoltre le condizioni di umidità del suolo antecedenti l'inizio dell'evento *AMC Antecedent Moisture Condition*, la cui definizione richiede la determinazione della precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento in esame.

DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI DI UMIDITA' ANTECEDENTI L'EVENTO		
Periodo vegetativo		Riposo vegetativo
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm	Altezza di precipitazione nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm	I
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm e 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm e 28 mm	II
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 53 mm	Altezza di precipitazione nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 28 mm	III

Il calcolo della portata al colmo Q_p è effettuato considerando un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e ed il cui volume V è calcolato con la seguente relazione:

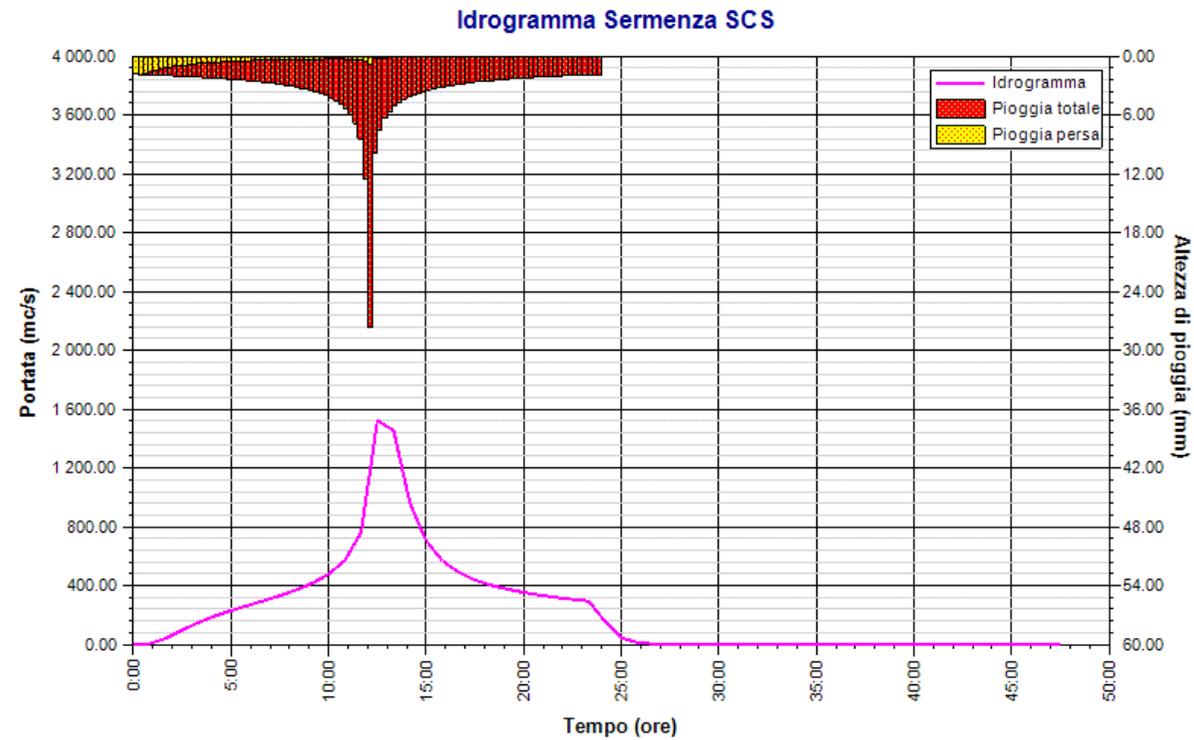
$$V = \frac{Q_p}{2} \cdot (t_a + t_e) = \frac{Q_p \cdot t_b}{2} \quad \text{Noto il valore del volume la portata al colmo può essere determinata impiegando la formula}$$

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{t_a} \quad \text{in cui } t_a \text{ è funzione del tempo di ritardo } t_r.$$

Il pregio di questo metodo di calcolo consiste nel poter valutare con dettaglio il territorio costituente il bacino idrografico e le diverse tipologie di aree che lo caratterizzano in funzione delle destinazioni d'uso e del comportamento idrologico nei confronti degli eventi pluviometrici. Per le suddette motivazioni, questo metodo è stato scelto nella determinazione delle portate in fase di verifica dei territori soggetti a rischio idraulico: infatti una migliore caratterizzazione del territorio consente un grado maggiore di affidabilità dei calcoli idraulici effettuati sui corsi d'acqua.

TORRENTE SERMENZA							
	Zone incolte	Zone coltivate	Zone a prato permanente	Zone boscate	Superfici impermeabili	Superfici d'acqua	Zone urbanizzate
% TIPO SUOLO	65	2	8	15.00	3.00	3.00	4.00
CN-TIPO SUOLO	91	85	71	77	100	100	100
PARAMETRO CN - BACINO		CN - AMC I	56.8	CN - AMC II	73.8	CN - AMCIII	87.1
INVASO AL SUOLO (val. max)		CN - AMC I	193.1	CN - AMC II	90.0	CN - AMCIII	37.7
CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO							
TEMPO DI RITORNO			(anni)	20	100	200	500
TEMPO DI ACCUMULO			(ore)	1.20	1.20	1.20	1.20
TEMPO DI RITARDO			(ore)	0.75	0.75	0.75	0.75
VOLUME DI DEFLUSSO			(mm)	20.48	29.93	34.18	39.89
VOLUME DI DEFLUSSO			(m ³)	2.69E+06	3.93E+06	4.49E+06	5.24E+06
PORTATA AL COLMO			(m ³ /s)	467.25	682.86	779.84	910.09

n	Tempo (ore)	Tempo (minuti)	Afflusso (mm)	Pioggia persa (mm)	Pioggia netta (mm)	Portata (m ³ /s)
1	0.0000	0	6.199	5.926	0.273	0.0
2	0.8333	50	6.413	4.582	1.831	5.7
3	1.6667	100	6.651	3.525	3.126	42.8
4	2.5000	150	6.929	2.805	4.124	98.2
5	3.3333	200	7.238	2.289	4.949	149.6
6	4.1667	250	7.595	1.909	5.686	192.9
7	5.0000	300	8.029	1.626	6.403	230.1
8	5.8333	350	8.536	1.406	7.129	264.2
9	6.6667	400	9.160	1.237	7.923	297.2
10	7.5000	450	9.986	1.109	8.877	331.5
11	8.3333	500	11.071	1.013	10.058	370.2
12	9.1667	550	12.646	0.948	11.697	416.8
13	10.0000	600	15.402	0.935	14.467	477.7
14	10.8333	650	21.928	1.037	20.891	571.4
15	11.6667	700	52.970	1.661	51.309	763.4
16	12.5000	750	21.120	0.460	20.659	1523.5
17	13.3333	800	15.190	0.285	14.905	1454.6
18	14.1667	850	12.588	0.212	12.377	962.4
19	15.0000	900	10.992	0.169	10.823	705.2
20	15.8333	950	9.932	0.142	9.790	568.7
21	16.6667	1000	9.139	0.122	9.017	491.2
22	17.5000	1050	8.502	0.107	8.394	438.8
23	18.3333	1100	8.001	0.096	7.905	403.1
24	19.1667	1150	7.583	0.086	7.497	375.8
25	20.0000	1200	7.218	0.079	7.139	353.9
26	20.8333	1250	6.912	0.072	6.840	335.6
27	21.6667	1300	6.644	0.067	6.577	320.0
28	22.5000	1350	6.399	0.062	6.337	306.6
29	23.3333	1400	0.000	0.000	0.000	294.8
30	24.1667	1450	0.000	0.000	0.000	157.2
31	25.0000	1500	0.000	0.000	0.000	44.9
32	25.8333	1550	0.000	0.000	0.000	13.0
33	26.6667	1600	0.000	0.000	0.000	3.6
34	27.5000	1650	0.000	0.000	0.000	0.9
35	28.3333	1700	0.000	0.000	0.000	0.0



Portata massima (m ³ /s)	1523.5
Istante picco (ore)	12.5
Istante picco (minuti)	750
Durata totale evento (ore)	48
Volume afflusso (m ³)	42.796 E+06
Volume deflusso (m ³)	38.896 E+06
Altezza afflusso (mm)	325.94
Altezza deflusso (mm)	296.24
Coeff. Deflusso	0.91
Coeff. udometrico (mc/s/kmq)	11.60

STUDIO IDRAULICO

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

Interventi sulla rete idrografica e sui versanti

Legge 18/05/1989, n. 183 art. 17, comma 6ter

Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n.18 in data 26 aprile 2001.

NORME DI ATTUAZIONE - Direttive di Piano.

DIRETTIVA 4: Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B".

ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è stata così strutturata:

- studio del trasporto solido al fondo;
- definizione dei parametri idraulici;
- simulazione di calcolo.

RILIEVI IN CAMPO PER LA VALUTAZIONE DEL MATERIALE LITOIDE IN ALVEO

Alla base degli studi sopraccitati è lo studio e la valutazione del materiale presente in alveo mediante campagne di rilievo eseguite sia sul sito di intervento, sia nei tratti di asta a monte ed a valle del tratto esaminato.

Questi dati sono di fondamentale importanza in quanto permettono di ricostruire, con maggior dettaglio, uno dei fenomeni che maggiormente caratterizza il comportamento dei corsi d'acqua: il trasporto solido al fondo. Eventi pluviometrici di elevata intensità ovvero durata sono tali da produrre portate liquide in grado di innescare la mobilitazione di grandi quantità di materiale d'alveo: gli effetti di tale fenomeno si traducono in erosioni di estensione variabile in funzione sia delle caratteristiche morfologiche del letto del torrente, sia delle opere, trasversali e/o longitudinali, eventualmente, esistenti.

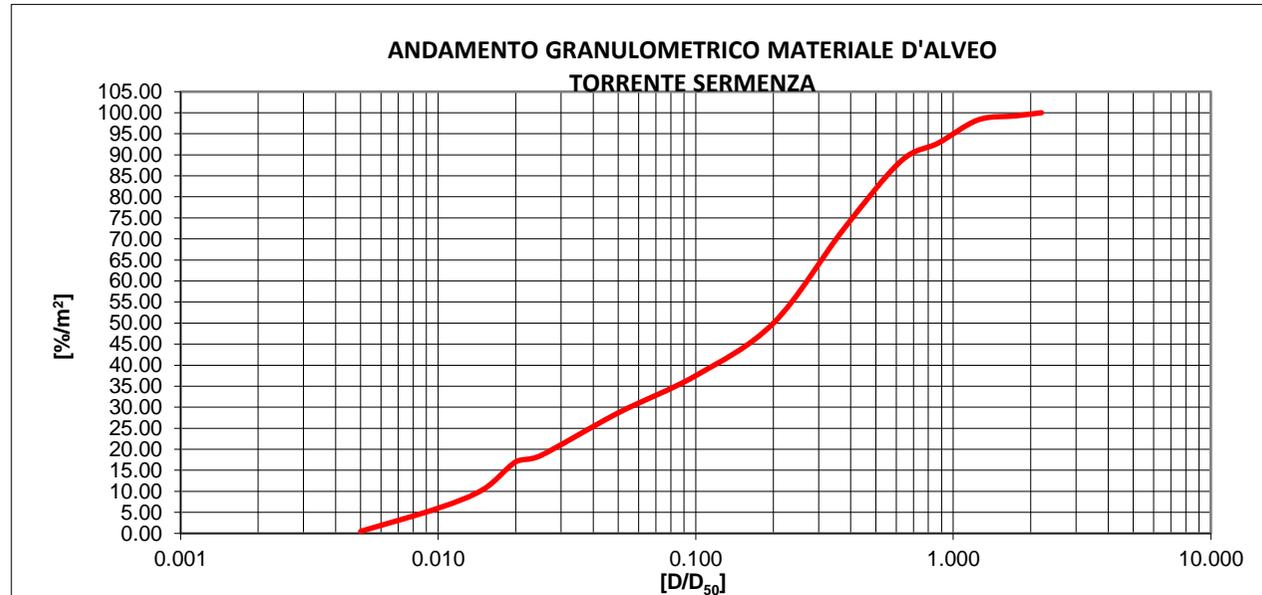
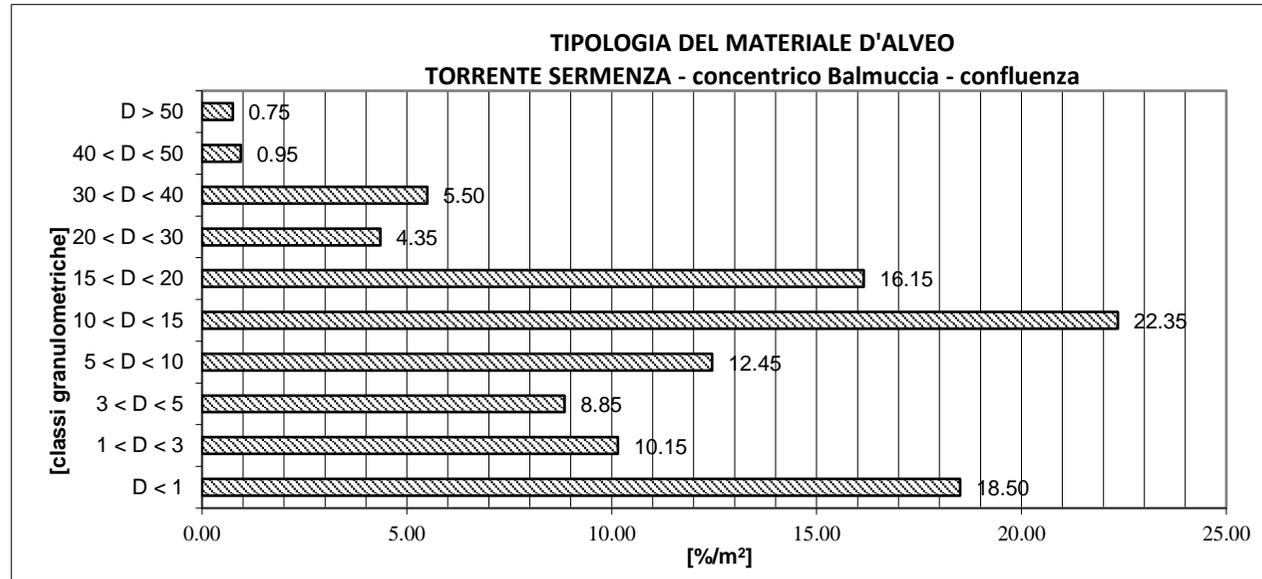
Dai rilievi eseguiti è stato dedotto un andamento della granulometria del materiale presente in alveo ed una classificazione dello stesso al fine di poter valutare l'incidenza della portata solida

I grafici relativi alle indagini svolte, mostrano che il letto dell'alveo è costituito da materiale litoide la cui dimensione prevalente appartiene ai seguenti intervalli granulometrici: 5.0 cm ÷ 10.0 cm e 15.0 cm ÷ 20.0 cm, legati da una componente sabbiosa piuttosto fine tra cui si alternano anche massi di dimensioni circa pari a mezzo metro cubo.

È evidente che, naturalmente, il corso d'acqua ha creato in questa zona una vasta area di espansione: è bene osservare però, che tale zona è soggetta a continui movimenti del fondo alveo; ciò risulta ben evidente osservando la disposizione del materiale sul fondo a seguito di un evento di piena, quando il fiume ritorna a scorrere nel proprio alveo inciso.

Infatti, la predominanza delle granulometrie sopraccitate dimostra una notevole capacità di trasporto, nonostante la larghezza della sezione sia molto ampia e la corrente defluisca in condizioni di tipo lento: tale materiale è depositato in corrispondenza delle aree più esterne, in prossimità delle sponde e nella parte più ampia dell'intera area, cioè nella fascia centrale trasversale.

L'alveo inciso, invece, presenta, notevole profondità rispetto alle aree golenali dell'ordine di 2.0 m ÷ 3.0 m e presenta materiale fine, mescolato a ciottolate di dimensioni comprese tra 10 cm ÷ 15 cm, dunque facilmente erodibile ed asportabili in caso di piena.





DISTRIBUZIONE DEL MATERIALE LITOIDE A SEGUITO DELL'EVENTO DI PIENA DI OTTOBRE 2020
TRATTO DI STUDIO AREA DI CONFLUENZA FIUME SESIA - TORRENTE SERMENZA
NEL COMUNE DI BALMUCCIA



STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO AL FONDO

L'intensa attività di trasporto solido, caratteristica della maggior parte dei torrenti montani, comporta fenomeni di erosione e ripascimento lungo l'asta che causano l'evoluzione della pendenza del fondo dell'alveo e la continua variazione delle sezioni trasversali di deflusso della corrente in funzione dell'intensità dell'evento di piena.

Al fine di considerare questo fenomeno che comporta una notevole variazione delle condizioni di deflusso della corrente, è stato valutato un plausibile contributo di portata solida in relazione alla situazione riscontrata in sito, il cui valore è stato quindi convertito in termini di portata liquida per considerare l'incremento dell'energia della corrente alla mobilitazione del materiale in alveo, ed è stato aumentato il coefficiente di scabrezza per simulare un eventuale rilascio di materiale di media pezzatura nelle sezioni trasversali dell'alveo interessate dal deflusso durante l'evento di piena.

Tradizionalmente lo studio del movimento del materiale che costituisce il fondo d'alveo di un corso d'acqua, fondato sulla teoria della turbolenza accoppiata all'analisi dimensionale, conduce ad esprimere in condizioni di microscabrezza e per un alveo a fondo pressoché orizzontale, la condizione critica di inizio moto tramite il legame funzionale: $Y_c = \phi \left(\beta, \frac{u_* d}{\nu} \right)$ che, solo in presenza di materiale monogranulare di forma praticamente sferica, si può ricondurre alla curva di Shields la cui formulazione è: $\theta_c = f(Re_*)$. Rappresentata in un diagramma, tale relazione, separa il piano in due zone: una soprastante la curva in cui le particelle sono in moto, una sottostante in cui le particelle sono ferme. Infatti, nella zona soprastante, la corrente è in grado di mobilitare il materiale presente sul fondo dell'alveo in quanto $\vartheta > \vartheta_c$, viceversa, nella zona sottostante risulta $\vartheta \leq \vartheta_c$.

Il diagramma può essere suddiviso in tre aree di Re_* :

- nel primo tratto ($Re_* < 2$) la velocità critica delle particelle è indipendente dal diametro delle stesse, mentre dipende dalla viscosità del fluido (regime laminare). Per $Re_* \rightarrow 0$ si può avere il movimento delle particelle solo per diametri molto piccoli: in tali condizioni il fondo dell'alveo tende ad essere ricoperto da materiale inerte molto fine, dove il singolo grano perde la propria individualità;
- nel tratto intermedio ($2 \leq Re_* \leq 200$) la condizione di mobilità dipende sia dalla dimensione del grano, sia dalla viscosità del liquido; in questa zona la curva presenta il valore minimo (θ_{min} per $Re_* \approx 8 \div 10$);
- nel terzo tratto ($Re_* > 200$) il parametro di mobilità tende asintoticamente (per $Re_* \rightarrow \infty$) ad un valore pressoché costante pari a 0.057; in questo caso le condizioni di mobilità del materiale sono indipendenti dalla viscosità del fluido ed il regime è di moto turbolento completamente sviluppato.

Si deve osservare che il diagramma di Shields essendo stato ricavato per via sperimentale impiegando particelle sferiche aventi la medesima dimensione e disposte su un letto quasi orizzontale, indubbiamente, può presentare notevoli limitazioni dovute sia alla varietà granulometrica del materiale presente in alveo sia alla variabile "pendenza del fondo" che non è assolutamente trascurabile nello studio di un alveo montano.

Queste limitazioni possono essere superate adottando la legge di resistenza di Gauckler-Strickler e considerando una scabrezza dovuta ad un letto monogranulare composto da materiale avente una dimensione pari al d_{90} della granulometria; quest'assunzione è importante in quanto considera indirettamente il fenomeno dell'armouring cioè del corazzamento dello strato superiore del fondo di materiale di grosse dimensioni. La formulazione di Strickler è valida in campo di moto turbolento completamente sviluppato, condizione che è ampiamente verificata nei corsi d'acqua montani.

Per considerare, invece, la variabile "pendenza del fondo" si può utilizzare la teoria di Armanini che permette di modificare il parametro di Shields in base alle pendenze ed al parametro di sommergenza riscontrabili nelle applicazioni pratiche mediante l'applicazione di due fattori correttivi.

Per la determinazione delle condizioni di moto incipiente, è necessario definire le caratteristiche del moto. Se si accetta l'ipotesi che nel corso d'acqua il deflusso possa essere considerato di tipo uniforme si può impiegare l'espressione della velocità di

Gauckler-Strickler: $u = k_{GS} \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$ valida in regime turbolento completamente sviluppato. La stima delle caratteristiche idrodinamiche della corrente si effettua determinando il valore del tirante idrico da cui si può ricavare il parametro di mobilità critico di Shields modificato e calcolare, quindi, il diametro massimo presente in alveo mobilitabile dalla corrente:

La valutazione della capacità di trasporto della corrente è stata valutata con riferimento a *TR 200 anni* al fine di verificare il comportamento del corso d'acqua durante un evento di piena di importanza rilevante.

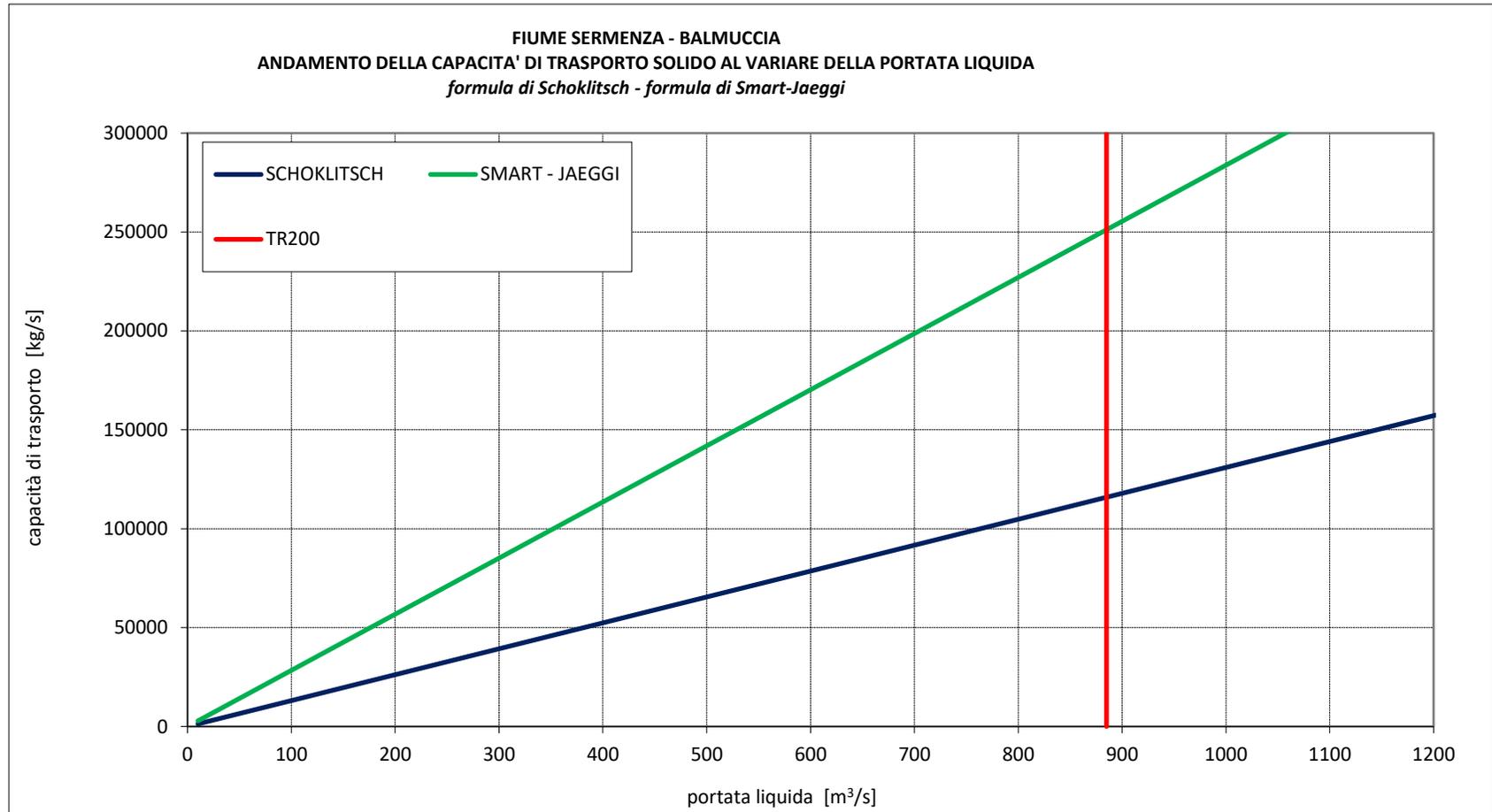
Poiché l'analisi della capacità di trasporto si basa su relazioni empiriche che derivano da studi sperimentali condotti in laboratorio e fondati su determinate condizioni di partenza all'interno delle quali è valida l'applicazione della formula stessa, la capacità di trasporto del corso d'acqua in esame è stata valutata impiegando tre formule che, maggiormente si addicono a corsi d'acqua di tipo montano:

- Formula di Pica: per $\tau > 0.5$
$$G_s = \frac{0.74\gamma_s}{\gamma^{*0.18} \cdot g^{0.119}} \cdot \frac{Q^{1.238} \cdot i^{1.68}}{d^{0.594}}$$
- Formula di Schoklitsch:
$$q_s = 2500 \cdot i^{3/2} \cdot (q - q_c)$$
- Formula di Smart - Jaeggi
$$q_s = 6600 \cdot q \cdot i^{0.6} \cdot (i - i_c) \cdot \varphi = 4 \left[\left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} \cdot i_f^{0.6} \cdot C \cdot \tau^{0.5} \cdot (\tau^* - \tau_c^*) \right]$$

La formula è basata sull'equazione originale di Meyer-Peter Müller, a seguito di esperimenti di laboratorio con sedimenti non uniformi di varia densità ed una pendenza compresa nel range 0.04% ÷ 2%: è stato osservato che l'equazione originale di Meyer-Peter Müller tende a sottostimare la quantità di trasporto solido per pendenze di fondo maggiori del 3% per cui Smart e Jaeggi hanno proposto una modifica all'equazione originale considerando sia il parametro di Shields in funzione della pendenza, sia la non uniformità dei sedimenti.

Per i calcoli del trasporto solido al fondo è stata scelta la formula di Smart-Jaeggi i cui valori ottenuti risultano coerenti con la tipologia di materiale solido del corso d'acqua analizzato ed i risultati di calcolo sono di seguito riportati.

PORTATA LIQUIDA [m ³ /s]	SMART - JAEGGI [kg/s]
10	2838
60	17026
110	31215
160	45404
210	59592
260	73781
310	87969
360	102158
410	116347
460	130535
510	144724
560	158913
610	173101
660	187290
710	201478
760	215667
810	229856
860	244044
910	258233
960	272422
977	277246
1010	286610
1060	300799
1110	314987
1160	329176
1210	343365



STUDIO DEL TRASPORTO SOLIDO IN SOSPENSIONE

Lo studio delle miscele bifasiche si fonda sulla distinzione tra *soluzione* e *sospensione*: per la prima le due componenti, soluto (solido) e solvente (liquido) sono miscibili, mentre per la seconda sono immiscibili. Pertanto, una corrente torbida assume i caratteri fisici di una sospensione perché la componente solida e quella liquida sono sempre immiscibili.

Lo studio del trasporto solido in sospensione per una corrente bifasica, dunque, in moto uniforme si fonda sul “*principio di conservazione della massa dispersa*”: con riferimento ad un volume elementare di liquido di dimensioni dx , dy , dz la variazione di massa di soluto all'interno del volume elementare in un intervallo di tempo dt è pari alla differenza tra la massa di soluto entrante ed uscente dalle superfici di normali x , y e z :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \left(V_x \frac{\partial C}{\partial x} + V_y \frac{\partial C}{\partial y} + V_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \left(V_{sx} \frac{\partial C}{\partial x} + V_{sy} \frac{\partial C}{\partial y} + V_{sz} \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \left(\frac{\partial C}{\partial x} V_x' + \frac{\partial C}{\partial y} V_y' + \frac{\partial C}{\partial z} V_z' \right)$$

in cui C : concentrazione solida V : velocità del fluido V_s : velocità della particella solida

Se si considera una condizione di permanenza, uniformità e bidimensionalità sia per la fase solida, sia per fase liquida, se si assume il piano xy come piano del moto, ipotizzando un alveo poco pendente in modo tale che la componente della velocità delle particelle solide V_{sy} possa essere assunta pari alla velocità di sedimentazione in acqua ferma, ed esprimendo la C V_y' in analogia con lo schema diffusivo di Fick, la relazione sopra scritta diventa un'equazione differenziale:

$$w \frac{dC}{dy} + \varepsilon_{sy} \frac{d}{dy} \left(\frac{dC}{dy} \right) = 0 \text{ che integrata rispetto alla variabile } y \text{ diventa: } Cw + \varepsilon_{sy} \frac{dC}{dy} = 0$$

Pertanto, ad una generica quota y , misurata a partire dal fondo, si stabilisce un equilibrio tra il flusso (verso il basso) di particelle che tendono a sedimentare per azione della forza di gravità (Cw) e quello (verso l'alto) di particelle che tendono ad essere sostenute per effetto dell'agitazione turbolenta ($\varepsilon_{sy} dC/dy$). Per integrare l'equazione è necessario stabilire come varia il coefficiente di diffusione delle particelle solide lungo la verticale y .

Lo studio teorico di Rouse ipotizzando che:

- la legge di distribuzione delle velocità V_x sia di tipo logaritmico $\frac{dV_x}{dy} = \frac{u_*}{ky}$
- gli sforzi tangenziali sono distribuiti con legge lineare: $\tau = \tau_o \left(1 - \frac{y}{h} \right)$
- il coefficiente di diffusione coincide con il coefficiente di Boussinesq: $\varepsilon_{sy} = \varepsilon_t = u_* ky \left(1 - \frac{y}{h} \right)$

si può ritenere aderente alla realtà fisica del fenomeno se le particelle solide possono considerarsi isolate in seno alla massa liquida, prescindendo da fenomeni di interferenza, e piccole rispetto alla scala di turbolenza. In questa ipotesi le particelle solide seguono il moto delle particelle liquide e dunque il coefficiente di diffusione delle particelle solide ε_{sy} si può ritenere coincidente con ε_y delle particelle liquide. In realtà, si verifica uno slittamento tra le particelle solide e quelle liquide e si ammette una legge di proporzionalità del tipo: $\varepsilon_{sy} = \beta \varepsilon_y$ in cui β dipende dalla dimensione delle particelle.

Ponendo $\beta = 1$ ed integrando tra una quota di riferimento a in cui si stabilisce la concentrazione C_a e la generica quota y a cui corrisponde la concentrazione C si ottiene la legge di variazione della

concentrazione $C(y)$ lungo la verticale y denominata “profilo di concentrazione”: $\frac{C}{C_a} = \left[\frac{(1-y/h)}{2/h} \cdot \frac{a/h}{(1-a/h)} \right]^{w/u_*k}$

in cui $\frac{w}{u_*k}$: numero di Rouse; C/C_a : concentrazione relativa; y/h : profondità relativa

Ad una espressione diversa del coefficiente di Boussinesq, e quindi di ε_{sy} , si perviene ipotizzando che la legge di distribuzione delle velocità sia quella di von Barman denominata anche “difetto di velocità” ottenendo:

$$\varepsilon_{sy} = \beta \cdot n \cdot k \cdot u_* \cdot (h - y) \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{y}{h} \right)^{1/n} \right] \quad \text{in cui } n: \text{ costante numerica.}$$

Integrando e tra una quota di riferimento a in cui si stabilisce la concentrazione C_a e la generica quota y cui corrisponde la concentrazione C si ottiene il “profilo di concentrazione”:

$$\frac{C}{C_a} = \left[\frac{1 - \left(1 - \frac{a}{h} \right)^{1/n}}{\left(1 - \frac{a}{h} \right)^{1/n}} \cdot \frac{\left(1 - \frac{h}{y} \right)^{1/n}}{1 - \left(1 - \frac{h}{y} \right)^{1/n}} \right]^{u_* k \beta}$$

che ammette il profilo di Rouse per $\beta = 1$ e $n = 1$. La validità di tale relazione è stata testata mediante trentasette profili di concentrazione pubblicati da Coleman relativi a tre differenti valori di diametro del materiale trasportato in sospensione.

La valutazione della portata solida ponderale per unità di larghezza g_{ss} , dovuta al trasporto in sospensione in condizioni di moto uniforme necessita la contemporanea conoscenza del profilo di concentrazione e della distribuzione delle velocità: $g_{ss} = \int_a^h C(y)V(y) dy$ la cui risoluzione richiede l'introduzione del profilo di concentrazione e della legge logaritmica di distribuzione delle velocità.

Attualmente, non è nota una soluzione in forma chiusa dell'integrale che è stato risolto mediante via numerica impiegando la seguente semplificazione: si indica con V_m la velocità media lungo la verticale corrispondente al tirante idrico $(h - a)$ e si sostituisce al profilo di velocità effettivo una distribuzione fittizia che ammette in ogni punto di quota y la stessa velocità V_m : $q_{ss} = (h - a) \cdot$

$V_m \int_a^h C(y) dy$ dove l'integrazione è effettuata solo sul profilo di concentrazione.

L'applicazione delle relazioni sopra riportate ha condotto alla definizione di una portata solida in sospensione per il torrente Sermenza a 8.61 m³/s.

DEFINIZIONE DEI PARAMETRI IDRAULICI

Lo studio idraulico in moto permanente è stato condotto impiegando i seguenti parametri:

- i coefficienti a e n della Curva di Massima Possibilità Pluviometrica sono stati impiegati i valori indicati dall'*Autorità di Bacino del Fiume Po* riferiti al *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - 7. Norme di Attuazione - Regionalizzazione con griglia a 2 km*;
- il Tempo di Corrivazione è stato valutato con la formula di Aronica;
- il calcolo della portata al colmo è stato eseguito con la formula razionale il cui impiego garantisce una migliore valutazione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame: il valore di riferimento adottato corrisponde a TR 200 anni, secondo quanto indicato dalla vigente normativa in materia di rischio idraulico.
- il coefficiente di scabrezza è stato valutato in funzione del materiale costituente l'area di deflusso relativamente sia all'alveo inciso, sia alle zone in esondazione, e sono stati assunti i seguenti valori:

0.056	$m^{-1/3}s$	corrispondente a $18 m^{1/3} s^{-1}$ coeff. di Strickler	fondo alveo con presenza di pietrame/ciottoli di media grande pezzatura in matrice ghiaioso-sabbiosa
0.033	$m^{-1/3}s$	corrispondente a $30.3 m^{1/3} s^{-1}$ coeff. di Strickler	sponde e zone limitrofe con bassa vegetazione
0.022	$m^{-1/3}s$	corrispondente a $45.0 m^{1/3} s^{-1}$ coeff. di Strickler	regimazione in massi disposti a secco
0.020	$m^{-1/3}s$	corrispondente a $50.0 m^{1/3} s^{-1}$ coeff. di Strickler	regimazione in corrispondenza di tratti in cls

- quali condizioni al contorno necessarie per il calcolo dell'altezza del pelo libero sono state assunte le pendenze del fondo alveo nel sito di intervento ed il livello del fiume Sesia;
- la geometria delle sezioni utilizzate deriva dal rilievo plano-altimetrico di dettaglio eseguito con drone, nuvola di punti ed ortofoto, stazione totale e GPS, sull'intera area interessata dallo studio idraulico;
- il passo di analisi è stato scelto pari a variabile 5-50 m, al fine di consentire una modellazione accurata della morfologia esistente;
- la portata di analisi, corrispondente ad un valore TR200 anni è stata assunta pari a:

	CONTRIBUTO DI BACINO	TRASPORTO SOLIDO	PORTATA DI PROGETTO
	m^3/s	m^3/s	m^3/s
torr. Sermenza	885	92	977

CODICE DI CALCOLO PER LE VERIFICHE IDRAULICHE

Il programma HEC-RAS consente di calcolare il profilo idraulico di moto stazionario, in alveo non prismatico a fondo fisso, per una qualsiasi rete idrografica a pelo libero, nell'ipotesi di flusso omogeneo e monodimensionale.

L'algoritmo di calcolo è basato sulla soluzione dell'equazione di bilancio energetico tra sezioni contigue. Le perdite di carico sono valutate in base alla scabrezza (*coefficiente di Manning*), e ad un fattore di contrazione ed espansione che considera la variazione della sezione di deflusso.

Gli effetti localizzati che determinano rapide variazioni del profilo idraulico quali fenomeni di risalto idraulico, confluenze, ponti, etc. sono simulati mediante l'applicazione dell'equazione di conservazione della quantità di moto.

Per ogni sezione di calcolo il programma determina il valore di numerose grandezze tra cui le principali sono:

- portata defluente [m³/s];
- livello idrico [m s.m.];
- livello idrico in condizioni di corrente critica [m s.m.];
- velocità della corrente in alveo [m/s];
- carico cinetico [m];
- area della sezione di deflusso [m²];
- larghezza pelo libero [m];
- profondità media della corrente [m];
- velocità media della corrente [m/s];
- sviluppo del contorno bagnato [m];
- numero di Froude.

L'**input dei dati** è organizzato secondo una struttura a moduli:

- geometria della rete idrografica;
- dati di portata e condizioni al contorno;
- metodo di calcolo.

La geometria del sistema idrografico è definita attraverso lo schema planimetrico della rete idrografica necessaria per lo studio della sezione di verifica, le caratteristiche geometriche delle sezioni trasversali, le scabrezze espresse tramite il coefficiente di Manning e dalla presenza di strutture:

Definiti il valore della portata di progetto e delle portate per cui effettuare ulteriori simulazioni, si definiscono le condizioni al contorno che regolano il comportamento del sistema in funzione delle variabili note:

- altezza idrica;
- condizione critica di deflusso;
- altezza di moto uniforme;
- pendenza fondo alveo;
- curva altezze/portate.

Il programma simula condizioni di corrente lenta, veloce e regimi misti purché siano conosciute le condizioni di monte e di valle che governano il comportamento della corrente;

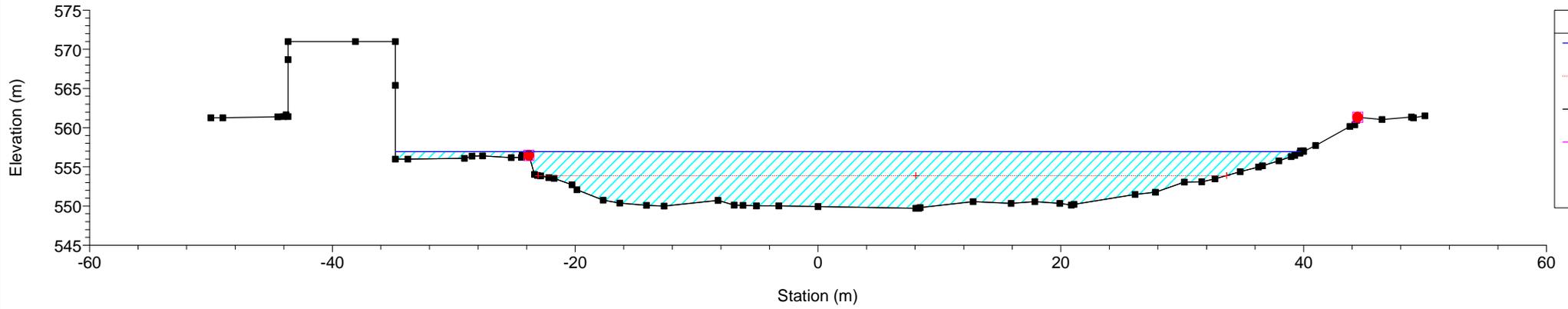
I **risultati delle simulazioni** sono restituiti mediante tabella di output del programma di calcolo, grafici in scale distorte del profilo longitudinale e delle sezioni trasversali e dalle viste assonometriche del modello.

SIMULAZIONE TR200 - SITUAZIONE ESISTENTE

River	Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Sermenza_valle	confluenza	10	650.00	548.45	553.82	552.25	554.42	0.014481	3.44	188.85	45.93	0.54
Sermenza_valle	confluenza	9	650.00	548.35	553.55	552.10	554.14	0.013774	3.45	203.01	81.41	0.53
Sermenza_valle	confluenza	8	650.00	548.10	553.32	551.89	553.84	0.013634	3.29	216.34	85.76	0.52
Sermenza_valle	confluenza	7	650.00	547.97	553.02	551.67	553.56	0.015026	3.28	204.59	63.16	0.54
Sermenza_valle	confluenza	6	650.00	548.00	552.74	551.58	553.26	0.014377	3.24	218.98	93.60	0.54
Sermenza_valle	confluenza	5	650.00	547.80	552.34	551.34	552.93	0.017433	3.42	191.12	57.42	0.59
Sermenza_valle	confluenza	4	650.00	547.77	551.58	551.24	552.42	0.036096	4.08	159.49	62.32	0.81
Sermenza_valle	confluenza	3	650.00	547.55	551.25	550.16	551.82	0.019596	3.36	193.45	55.49	0.57
Sermenza_valle	confluenza	2.5	Bridge									
Sermenza_valle	confluenza	2	650.00	547.55	550.83	550.16	551.57	0.028948	3.82	170.37	55.31	0.69
Sermenza_valle	confluenza	1	650.00	546.71	549.77	549.77	550.79	0.051347	4.47	146.54	77.25	0.98
Sermenza_monte	confluenza	4	977.00	549.70	556.94	553.88	557.30	0.002426	2.69	370.03	74.54	0.36
Sermenza_monte	confluenza	3	977.00	549.44	556.97	553.71	557.23	0.001594	2.30	442.58	78.64	0.29
Sermenza_monte	confluenza	2	977.00	549.14	556.95	553.77	557.20	0.001611	2.31	456.27	88.30	0.29
Sermenza_monte	confluenza	1	977.00	548.60	557.02	553.35	557.14	0.000751	1.68	677.33	132.81	0.21
scolmatore1	confluenza	11	325.00	550.80	557.06	554.40	557.12	0.000565	1.23	314.71	81.08	0.17
scolmatore1	confluenza	10	325.00	550.38	557.06	553.95	557.11	0.000401	1.09	355.44	84.09	0.15
scolmatore1	confluenza	9	325.00	550.02	557.06	553.48	557.10	0.000299	0.99	404.71	100.00	0.13
scolmatore1	confluenza	8	325.00	549.90	556.56	554.23	557.04	0.005444	3.19	116.59	45.03	0.44
scolmatore1	confluenza	7	325.00	549.77	554.65	554.54	556.66	0.033400	6.29	51.70	11.96	0.97
scolmatore1	confluenza	6.5	Bridge									
scolmatore1	confluenza	6	325.00	549.77	554.23	554.23	556.30	0.034472	6.37	51.02	12.36	1.00
scolmatore1	confluenza	5	325.00	550.01	552.62	553.65	555.75	0.081857	7.92	43.70	33.26	1.77
scolmatore1	confluenza	4	325.00	550.04	552.90	553.13	553.89	0.047160	4.69	74.97	64.00	1.30
scolmatore1	confluenza	3	325.00	549.78	552.69	552.69	553.29	0.018526	3.75	102.31	90.23	0.86
scolmatore1	confluenza	2	325.00	548.66	552.02	552.16	552.84	0.025036	4.21	87.23	68.83	0.99
scolmatore1	confluenza	1	325.00	546.57	548.44	549.48	551.63	0.135570	8.35	42.26	34.98	2.24

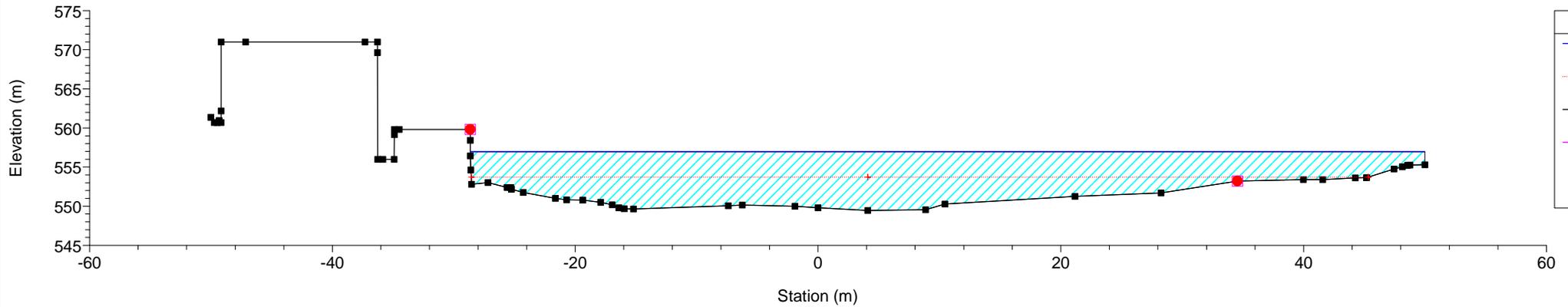
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 4 SRM1 Balmuccia confluenza



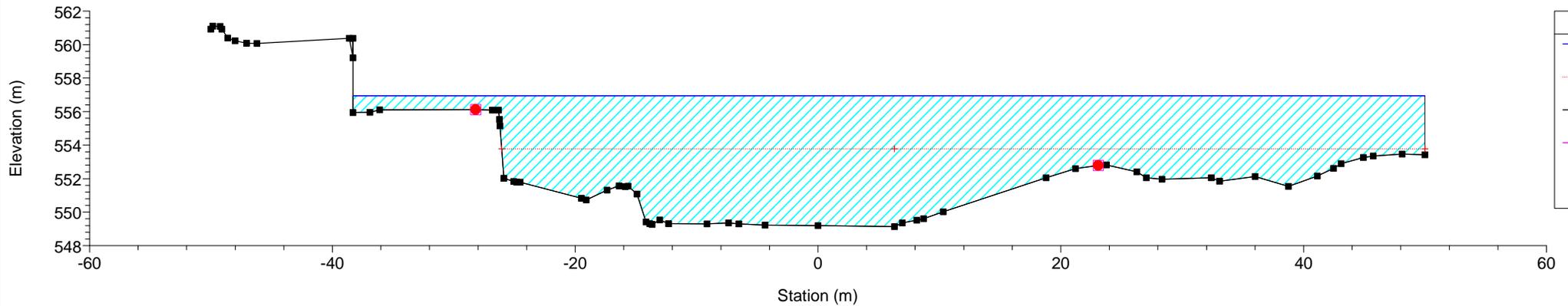
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 3 SRM2 Balmuccia confluenza



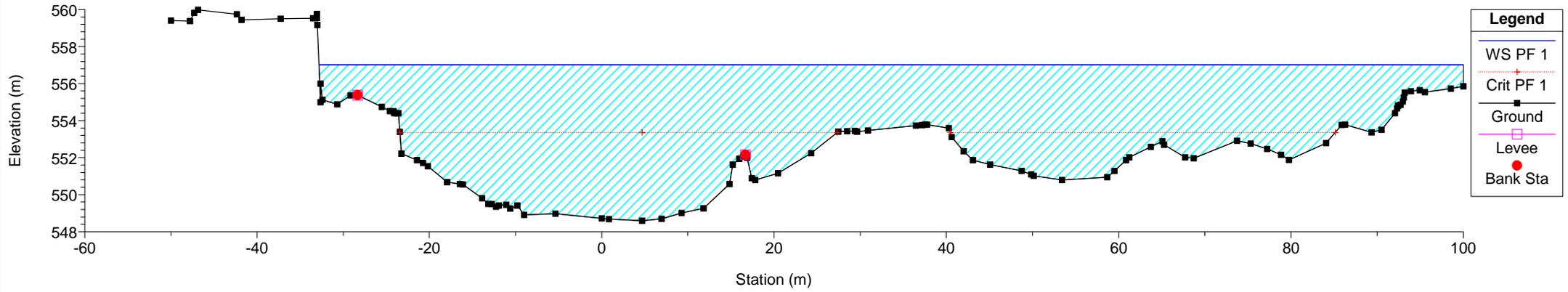
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 2 SRM3 Balmuccia confluenza



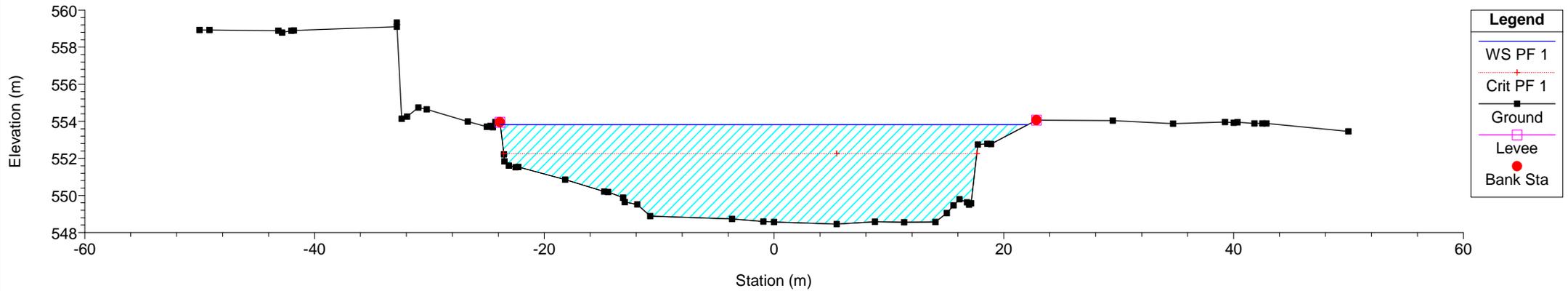
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 1 SRM4 Balmuccia confluenza



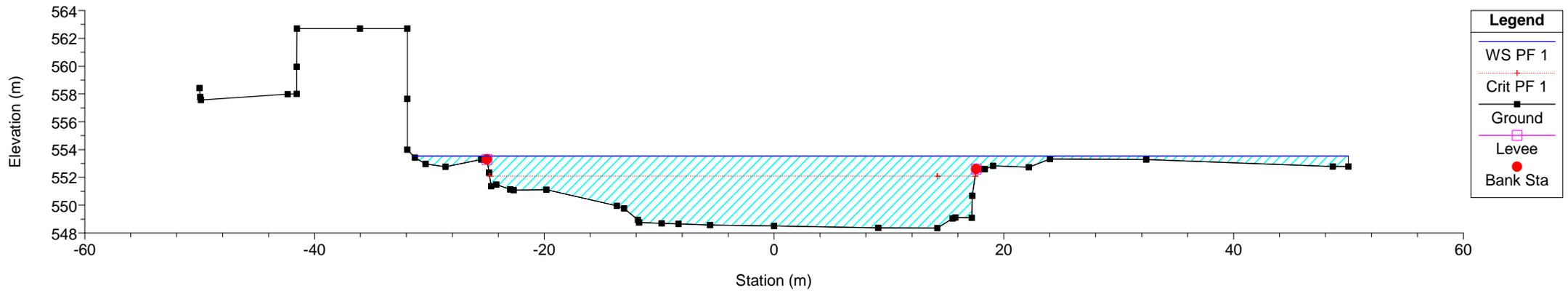
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 10 SRM5 Balmuccia confluenza



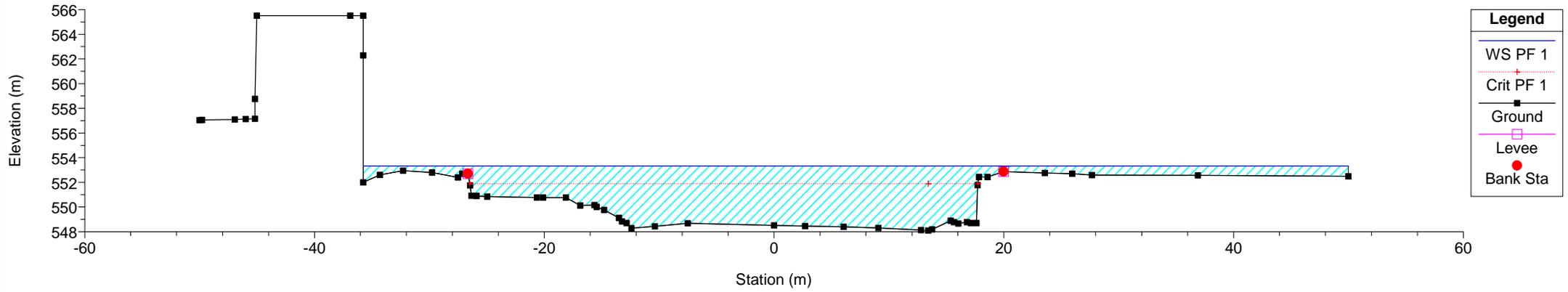
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 9 SRM6 Balmuccia confluenza



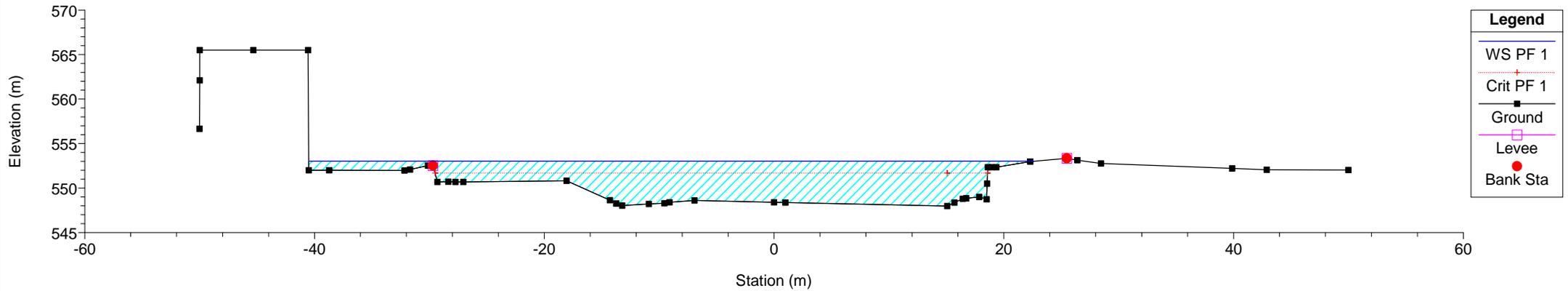
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 8 SRM7 Balmuccia confluenza



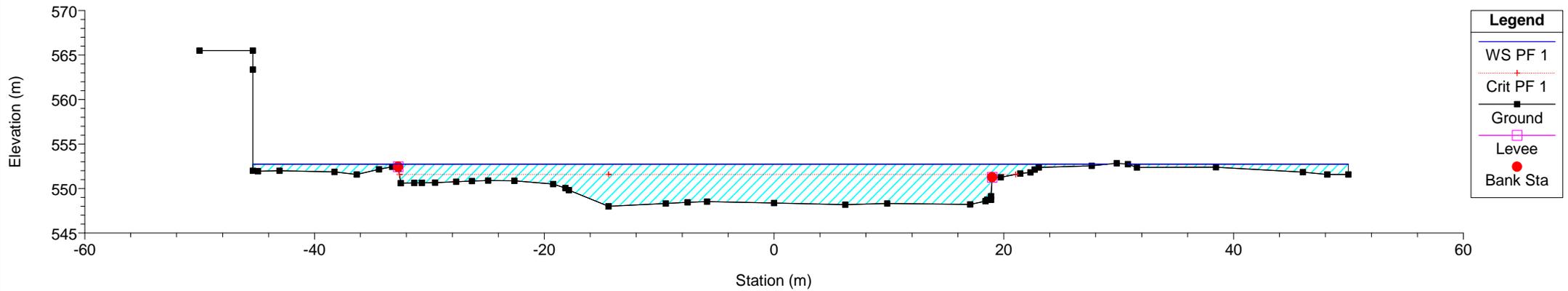
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 7 SRM8 Balmuccia confluenza



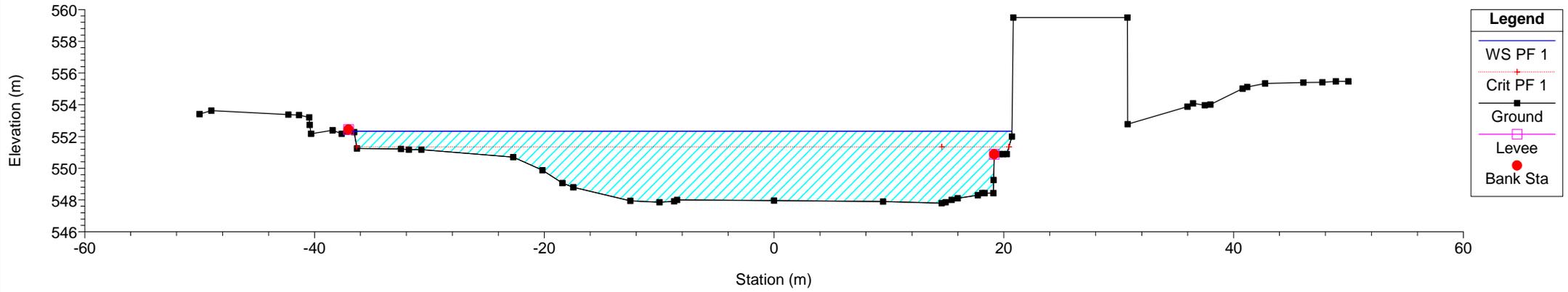
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 6 SRM9 Balmuccia confluenza



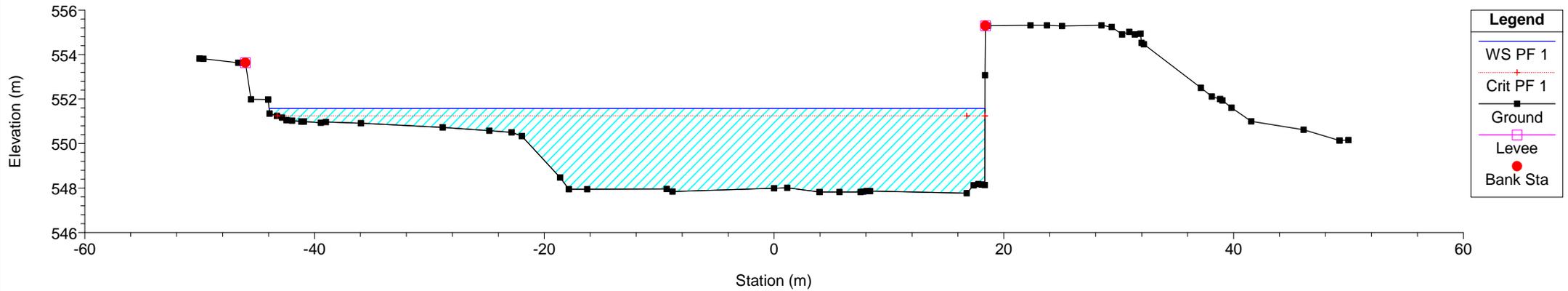
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 5 SRM10 Balmuccia confluenza



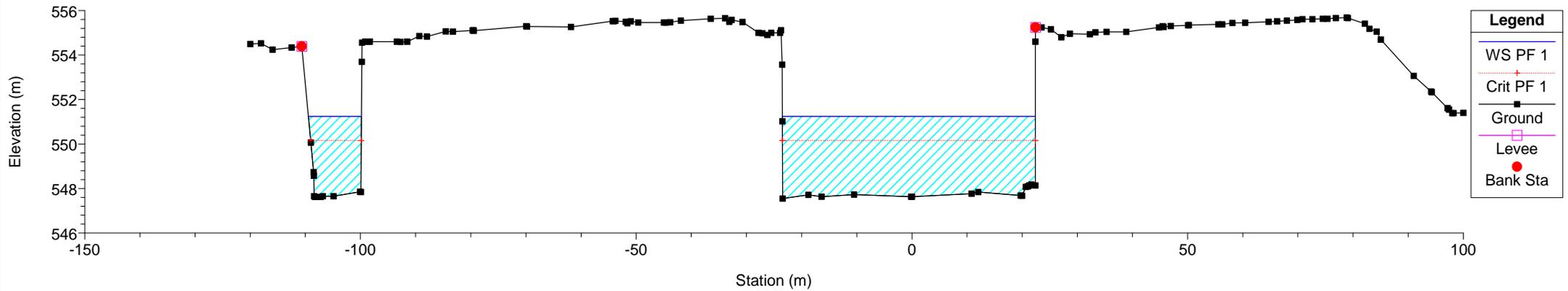
Geom: G1_esistente

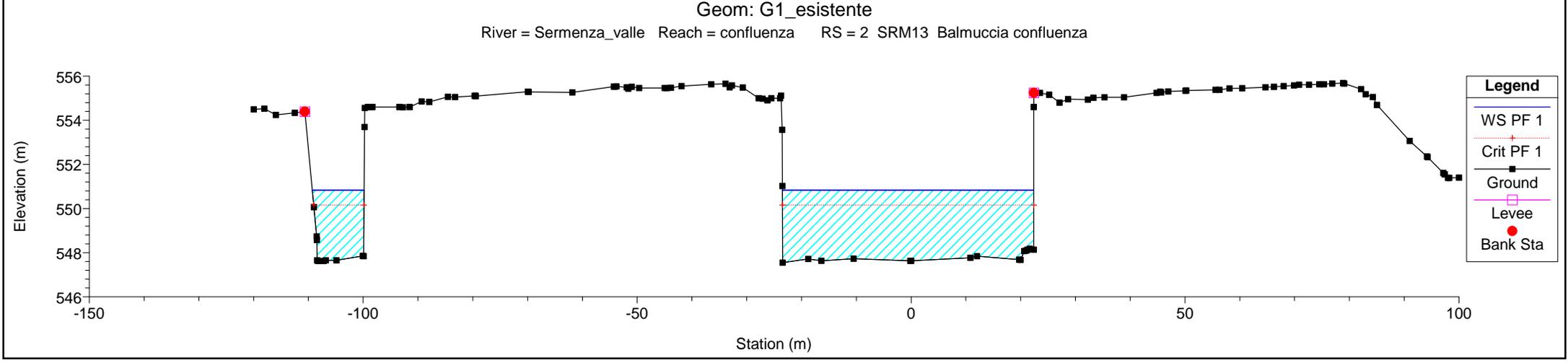
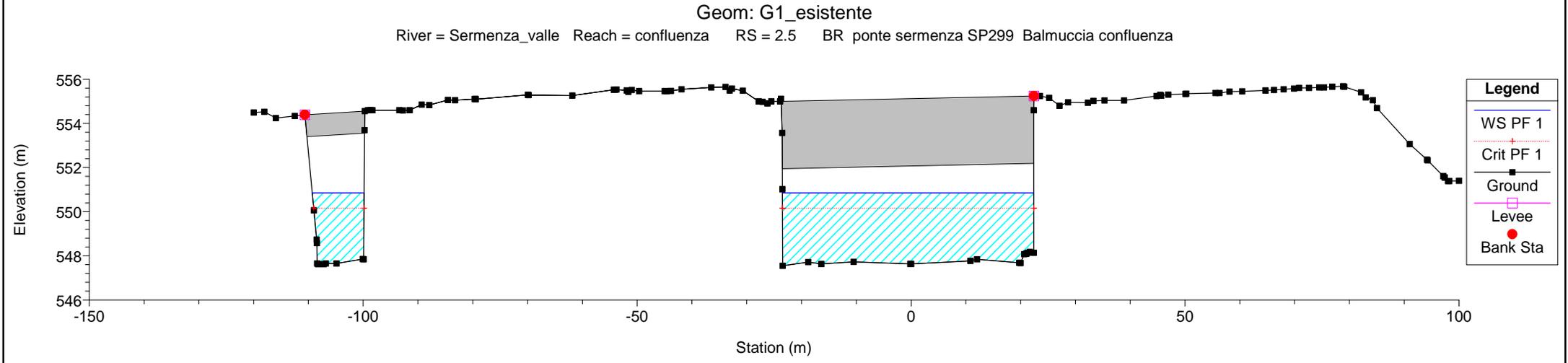
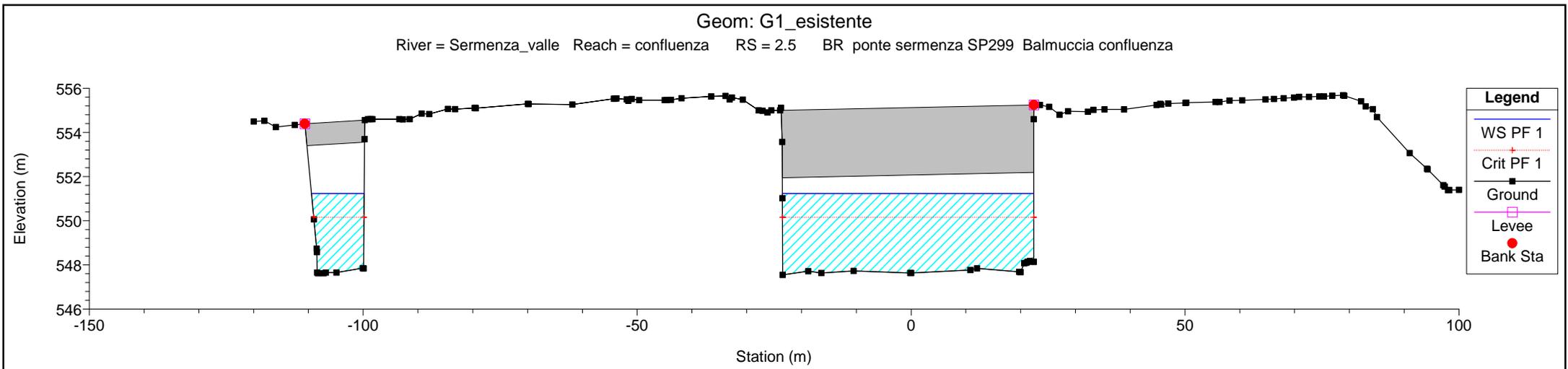
River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 4 SRM11 Balmuccia confluenza



Geom: G1_esistente

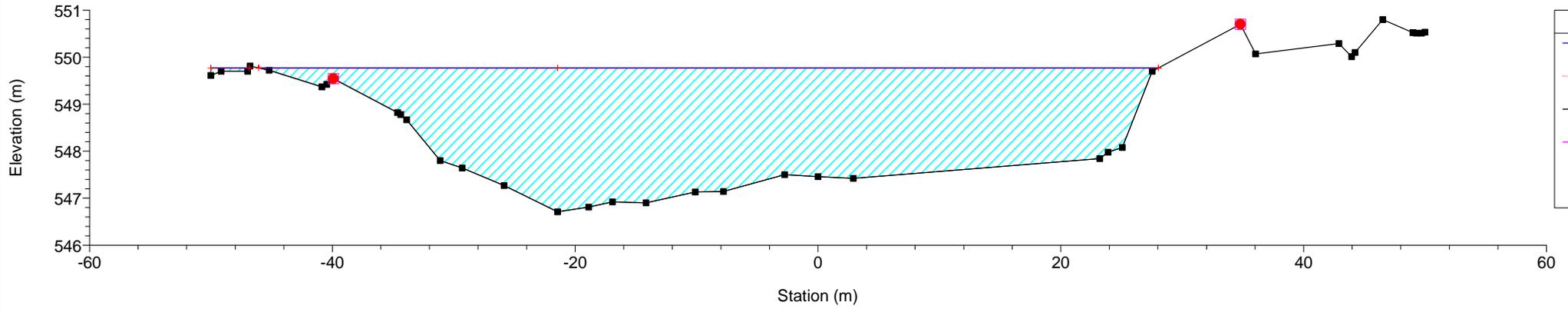
River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 3 SRM12 Balmuccia confluenza





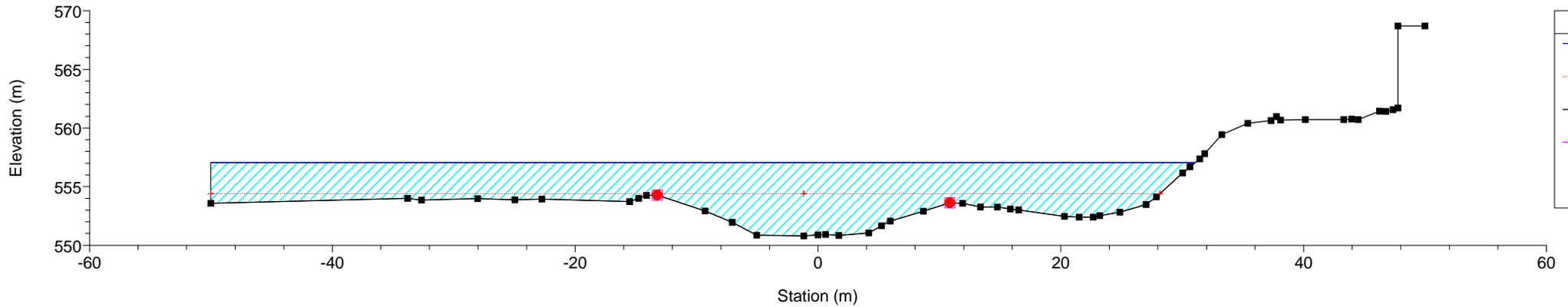
Geom: G1_esistente

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 1 SRM14 Balmuccia confluenza



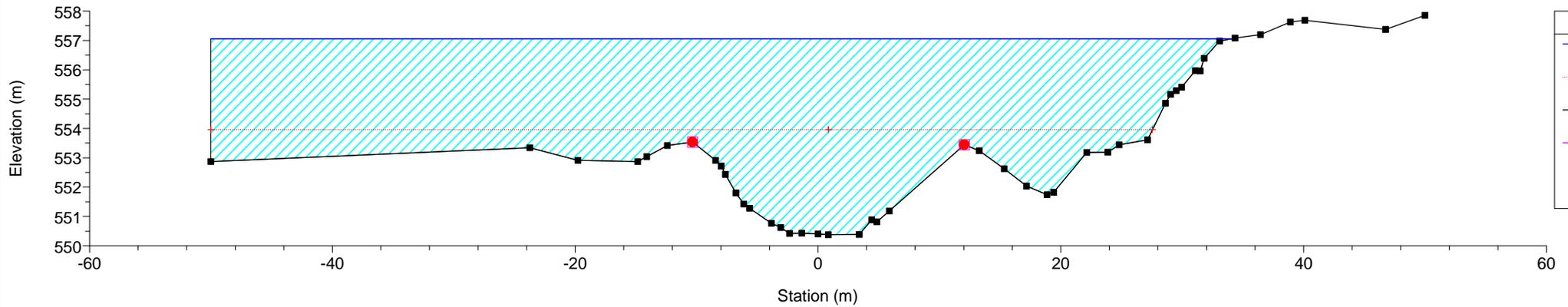
Geom: G1_esistente

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 11 SCLM6 Balmuccia confluenza



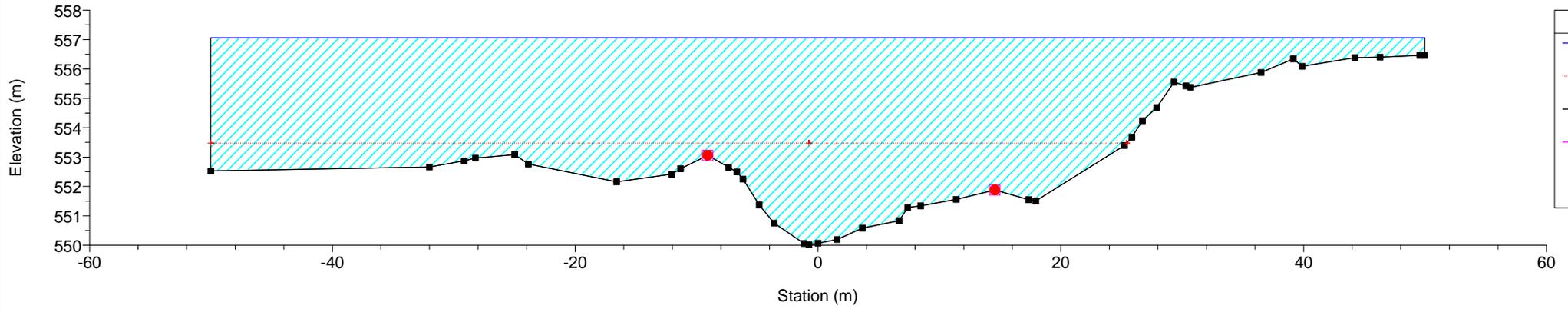
Geom: G1_esistente

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 10 SCLM7 Balmuccia confluenza



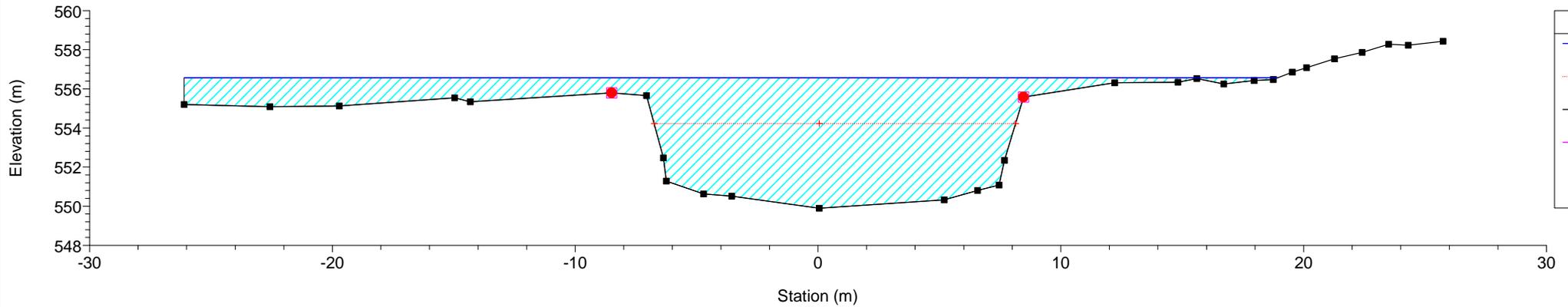
Geom: G1_esistente

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 9 SCLM8 Balmuccia confluenza



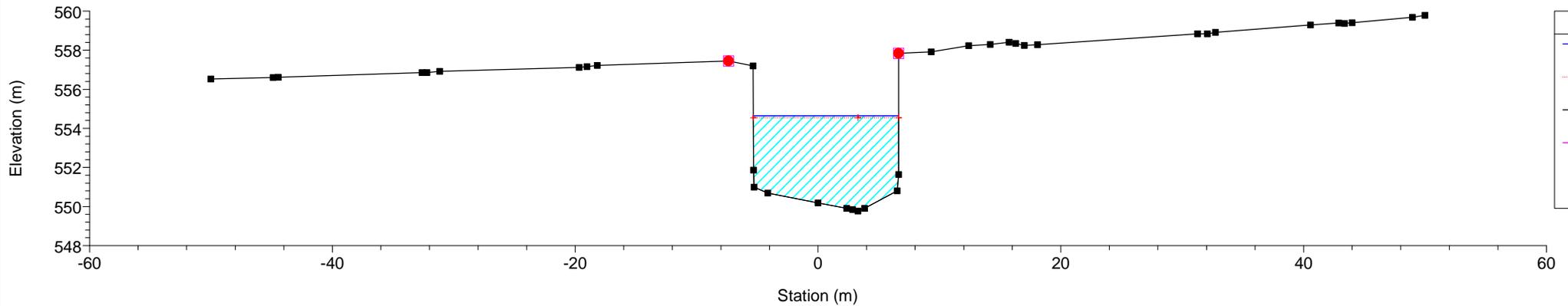
Geom: G1_esistente

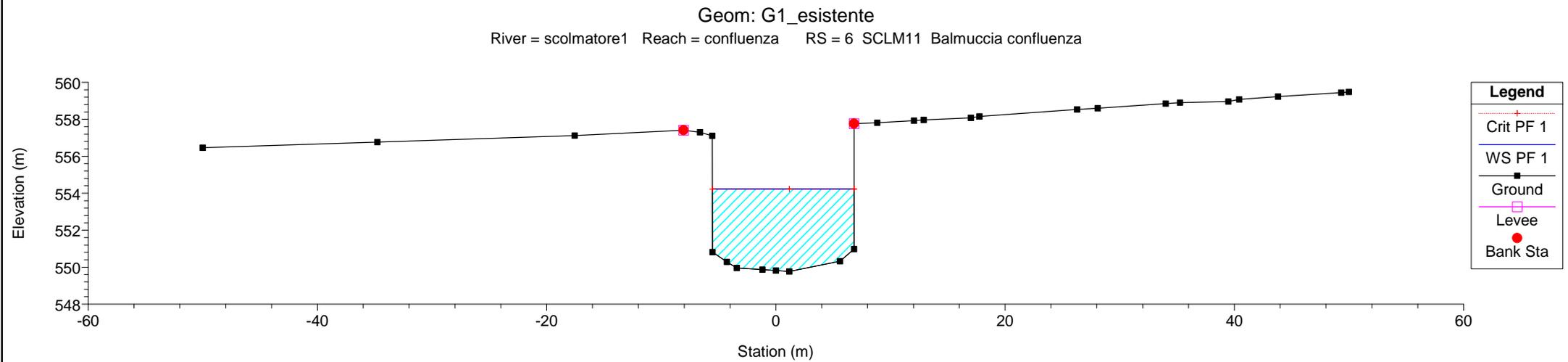
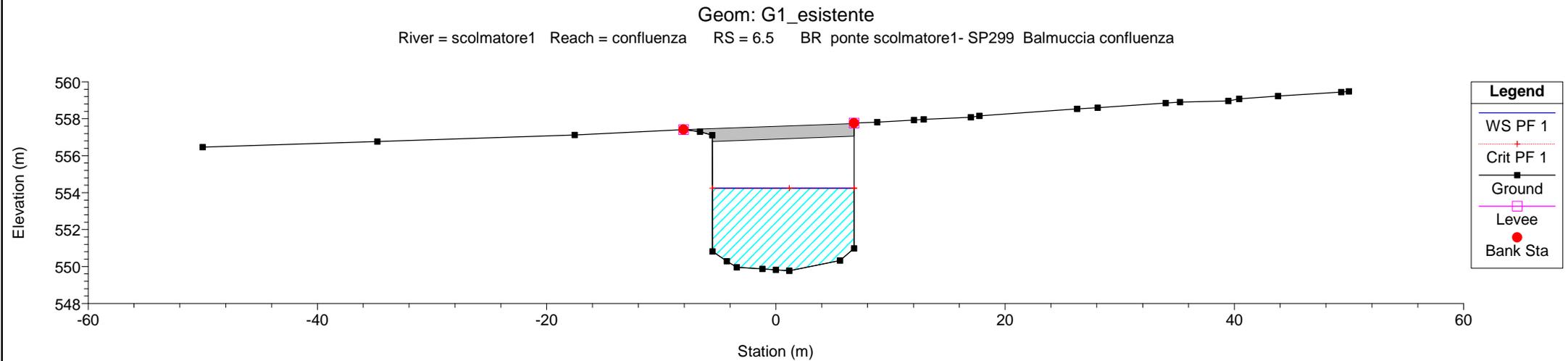
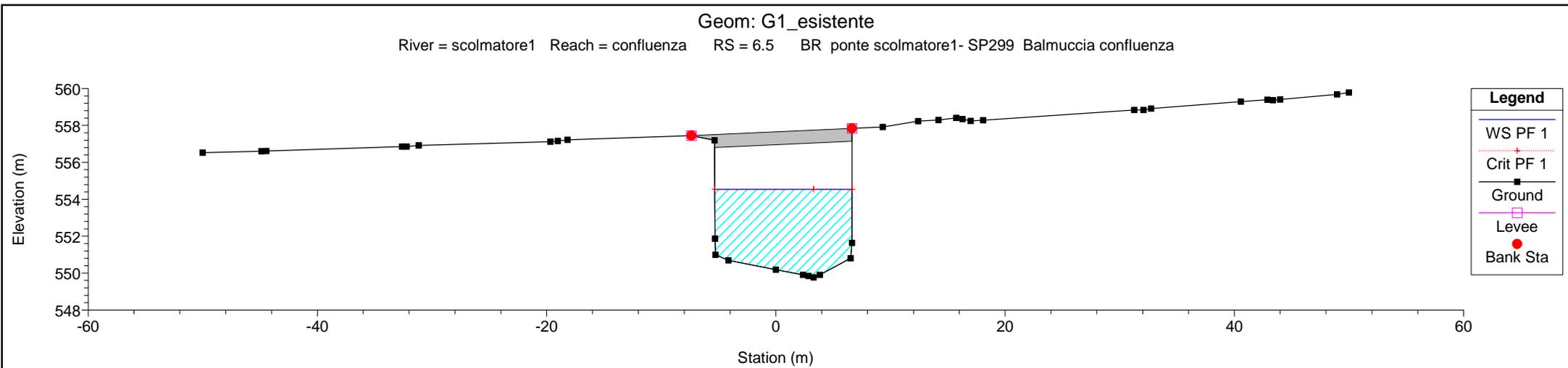
River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 8 SCLM9 Balmuccia confluenza



Geom: G1_esistente

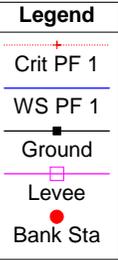
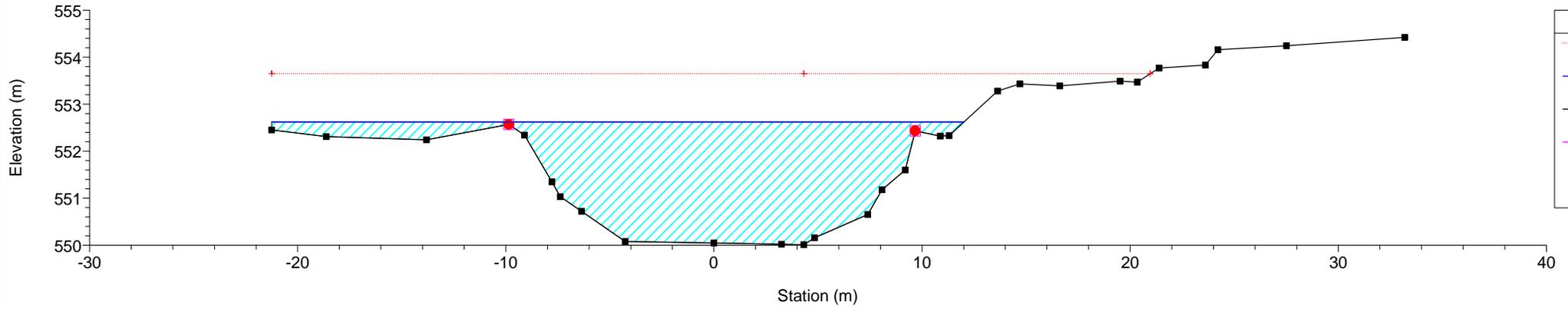
River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 7 SCLM10 Balmuccia confluenza





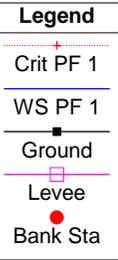
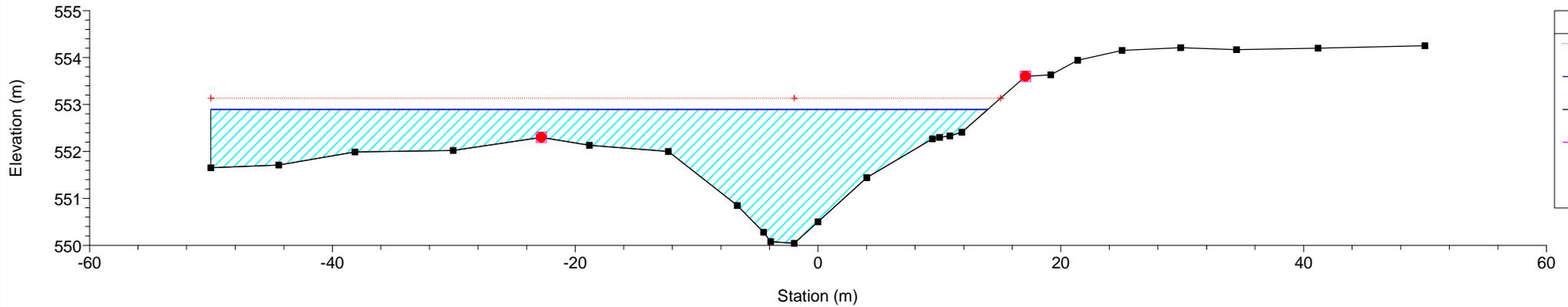
Geom: G1_esistente

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 5 SCLM12 Balmuccia confluenza



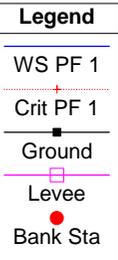
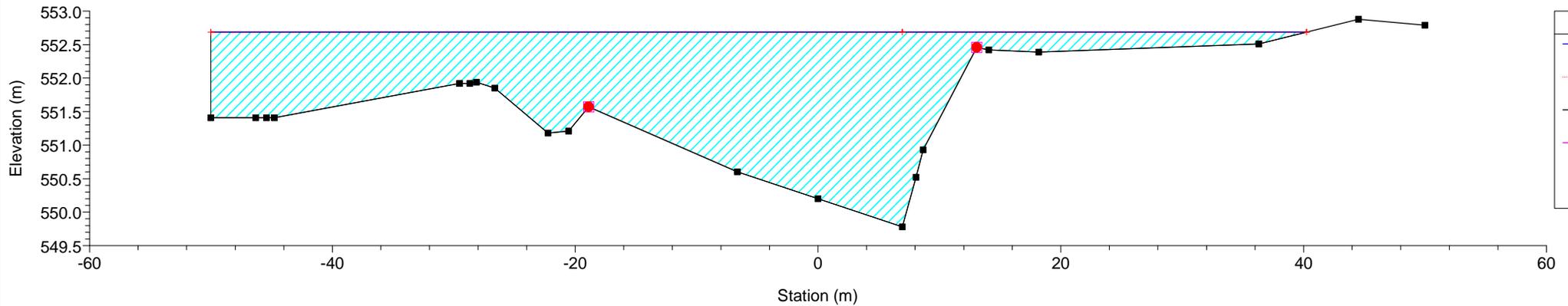
Geom: G1_esistente

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 4 SCLM13 Balmuccia confluenza



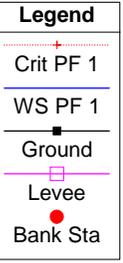
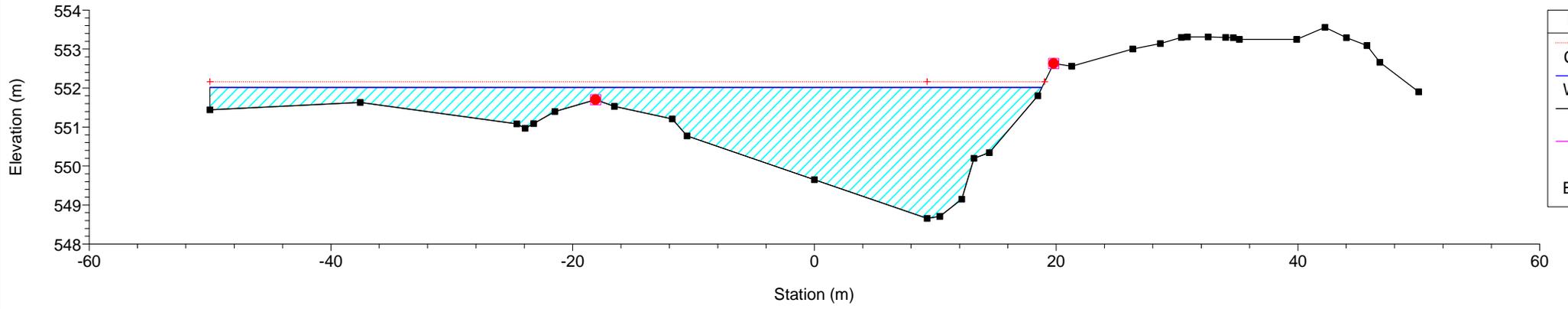
Geom: G1_esistente

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 3 SCLM14 Balmuccia confluenza



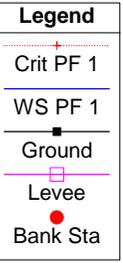
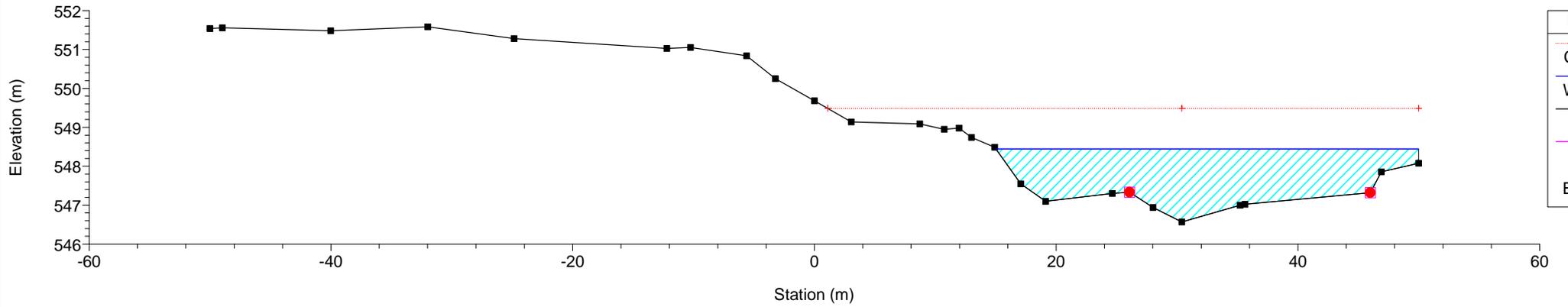
Geom: G1_esistente

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 2 SCLM15 Balmuccia confluenza

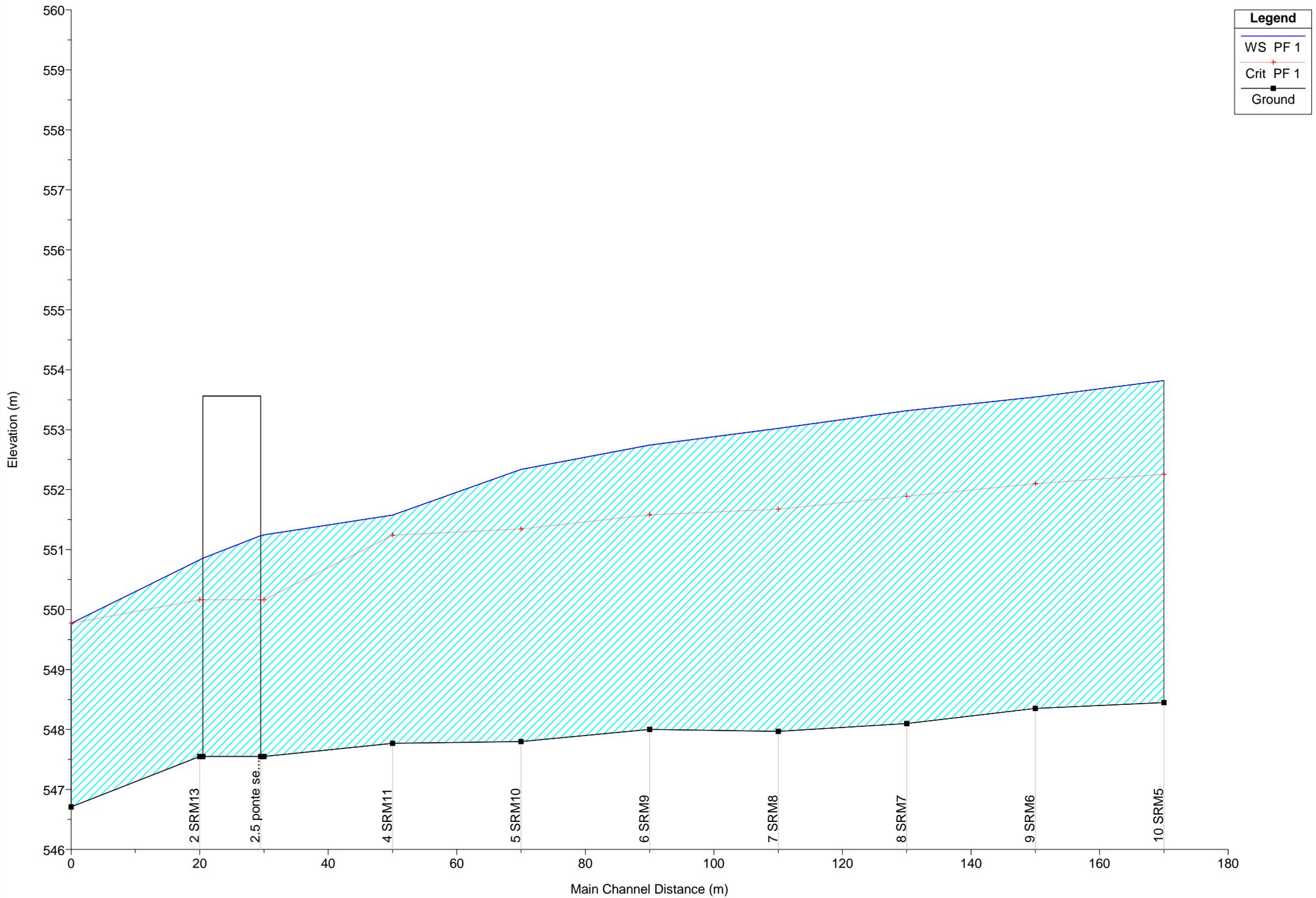


Geom: G1_esistente

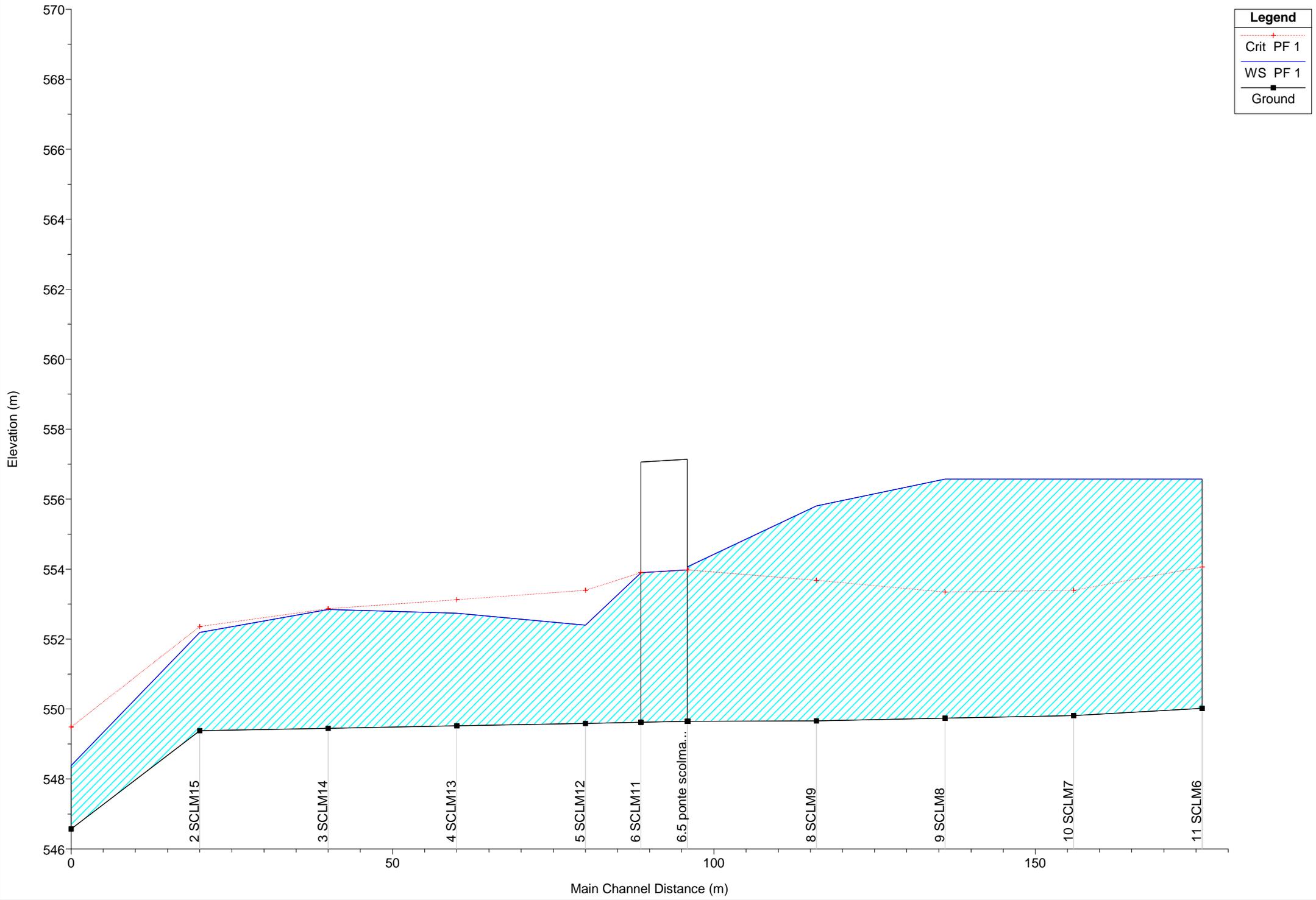
River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 1 SCLM16 Balmuccia confluenza



Geom: G1_esistente Balmuccia confluenza



Geom: G1_progetto Balmuccia confluenza

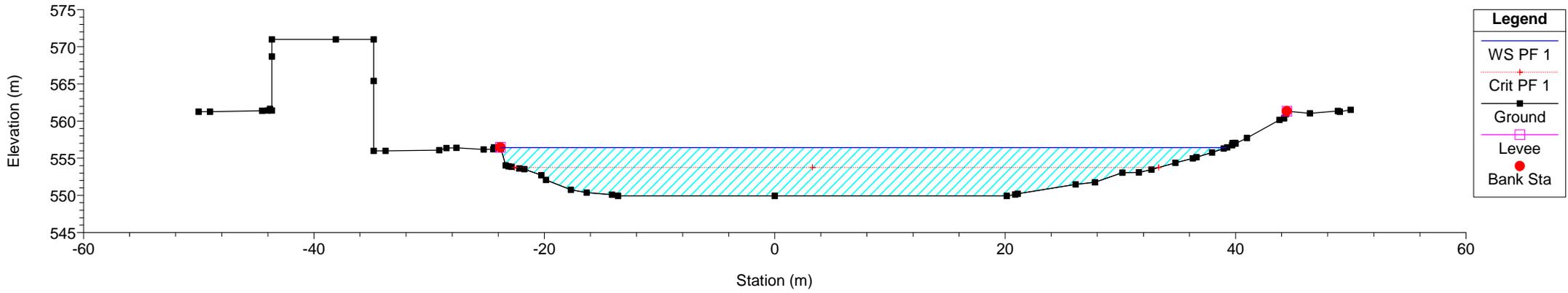


SIMULAZIONE TR200 - SITUAZIONE DI PROGETTO

River	Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Sermenza_valle	confluenza	10	650.00	548.58	552.28	551.71	553.33	0.014258	4.54	143.20	41.20	0.78
Sermenza_valle	confluenza	9	650.00	548.44	551.99	551.49	553.04	0.014612	4.54	143.15	42.22	0.79
Sermenza_valle	confluenza	8	650.00	548.30	551.71	551.22	552.74	0.015047	4.51	144.11	44.16	0.80
Sermenza_valle	confluenza	7	650.00	548.16	551.58	550.89	552.42	0.011696	4.05	160.47	48.07	0.71
Sermenza_valle	confluenza	6	650.00	548.02	551.45	550.61	552.17	0.009903	3.76	173.08	53.10	0.66
Sermenza_valle	confluenza	5	650.00	547.88	551.35	550.35	551.96	0.008169	3.46	188.36	56.77	0.60
Sermenza_valle	confluenza	4	650.00	547.74	551.31	550.03	551.77	0.006000	3.01	215.61	62.05	0.52
Sermenza_valle	confluenza	3	650.00	547.55	550.84	550.16	551.58	0.012753	3.80	170.99	55.32	0.69
Sermenza_valle	confluenza	2.5	Bridge									
Sermenza_valle	confluenza	2	650.00	547.55	550.16	550.16	551.37	0.027446	4.87	133.59	55.04	1.00
Sermenza_valle	confluenza	1	650.00	546.71	549.62	549.77	550.80	0.028863	4.82	135.37	71.44	1.09
Sermenza_monte	confluenza	4	977.00	549.92	556.43	553.74	556.85	0.003042	2.90	336.81	62.99	0.40
Sermenza_monte	confluenza	3	977.00	549.52	556.47	553.51	556.77	0.001943	2.46	413.81	78.64	0.32
Sermenza_monte	confluenza	2	977.00	549.12	556.49	552.75	556.71	0.001349	2.09	474.53	88.30	0.27
Sermenza_monte	confluenza	1	977.00	548.72	556.55	552.37	556.66	0.000650	1.50	697.66	132.77	0.19
scolmatore1	confluenza	11	325.00	550.02	556.57	554.06	556.65	0.000762	1.42	282.53	80.49	0.20
scolmatore1	confluenza	10	325.00	549.81	556.57	553.39	556.63	0.000536	1.28	309.02	75.67	0.17
scolmatore1	confluenza	9	325.00	549.74	556.57	553.34	556.62	0.000405	1.16	341.40	75.24	0.15
scolmatore1	confluenza	8	325.00	549.66	555.80	553.68	556.53	0.008953	3.78	86.08	16.22	0.52
scolmatore1	confluenza	7	325.00	549.65	554.07	553.98	556.08	0.035977	6.28	51.74	11.96	0.96
scolmatore1	confluenza	6.5	Bridge									
scolmatore1	confluenza	6	325.00	549.62	553.89	553.90	555.96	0.038151	6.37	51.02	12.36	1.00
scolmatore1	confluenza	5	325.00	549.59	552.39	553.40	555.43	0.069777	7.71	42.13	18.04	1.61
scolmatore1	confluenza	4	325.00	549.52	552.74	553.13	554.04	0.029760	5.52	75.09	58.91	1.06
scolmatore1	confluenza	3	325.00	549.45	552.85	552.87	553.43	0.015486	3.91	109.53	93.74	0.78
scolmatore1	confluenza	2	325.00	549.38	552.19	552.35	553.05	0.020263	4.45	89.31	66.38	0.90
scolmatore1	confluenza	1	325.00	546.57	548.38	549.48	551.91	0.158752	8.78	40.15	34.84	2.40

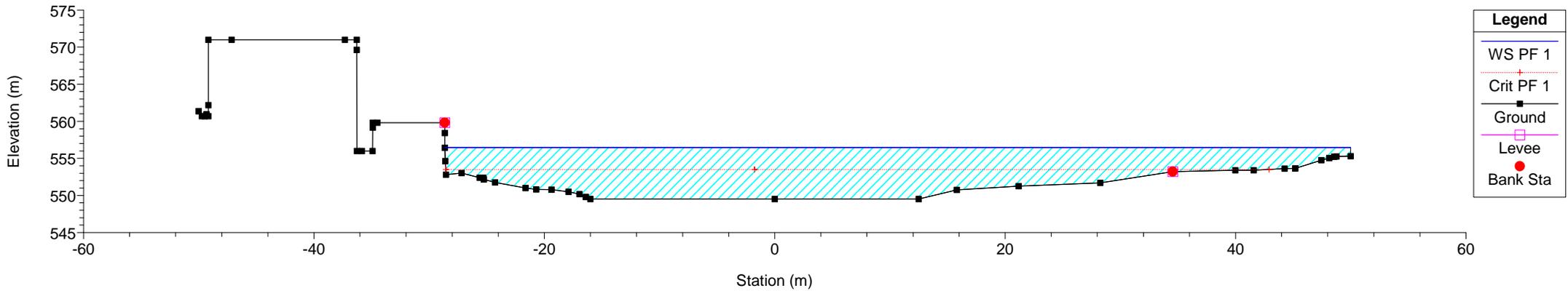
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 4 SRM1 Balmuccia confluenza



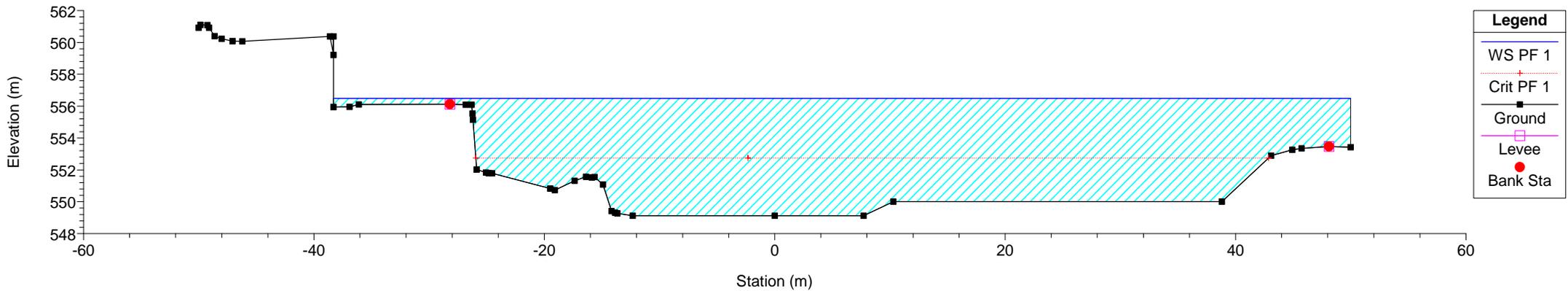
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 3 SRM2 Balmuccia confluenza



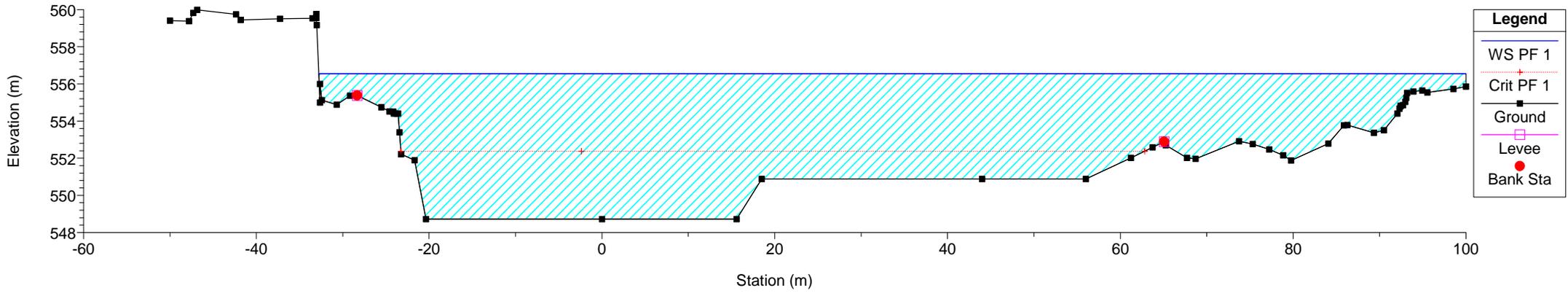
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 2 SRM3 Balmuccia confluenza



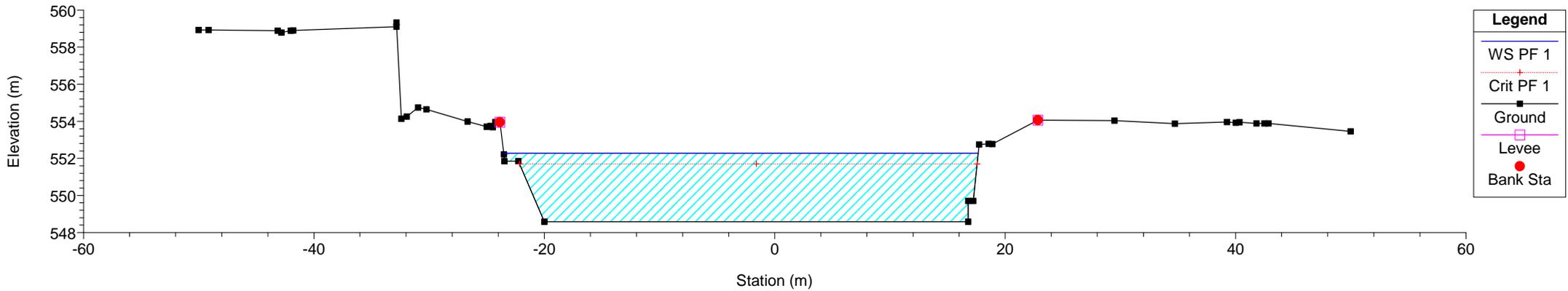
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_monte Reach = confluenza RS = 1 SRM4 Balmuccia confluenza



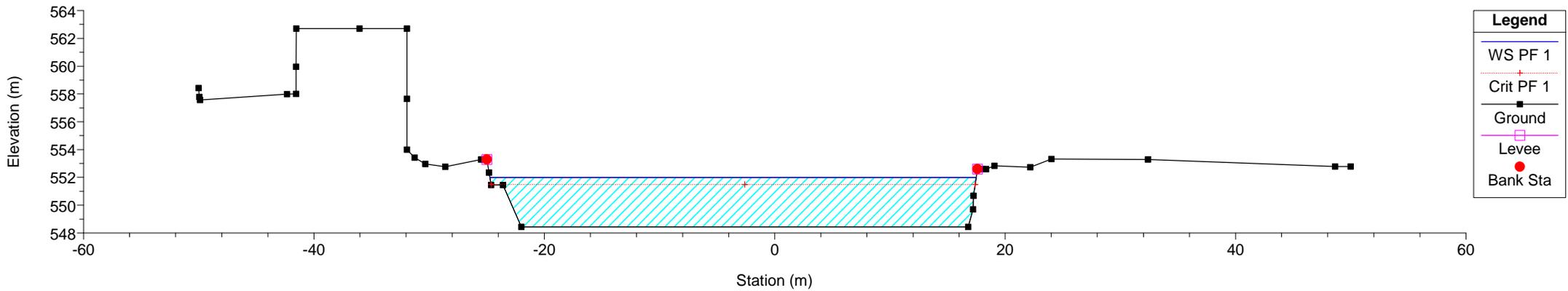
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 10 SRM5 Balmuccia confluenza



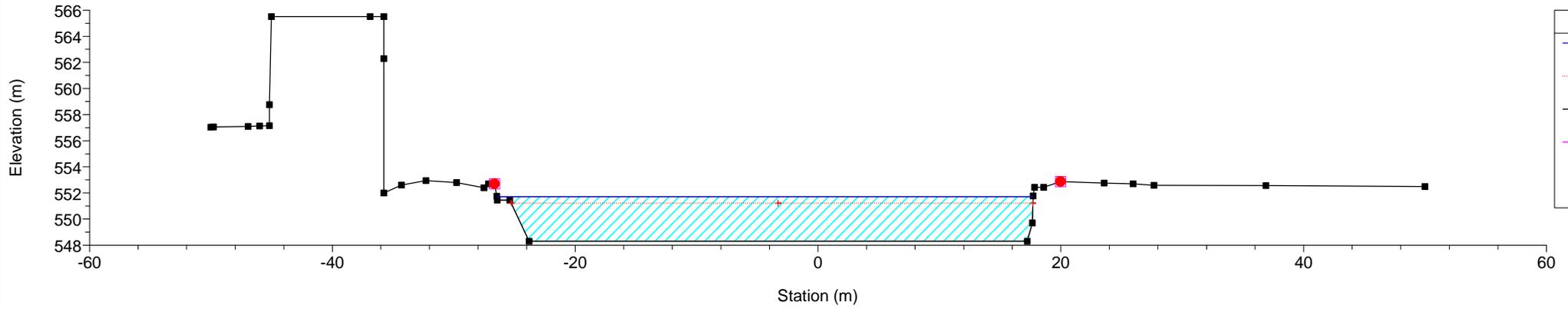
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 9 SRM6 Balmuccia confluenza



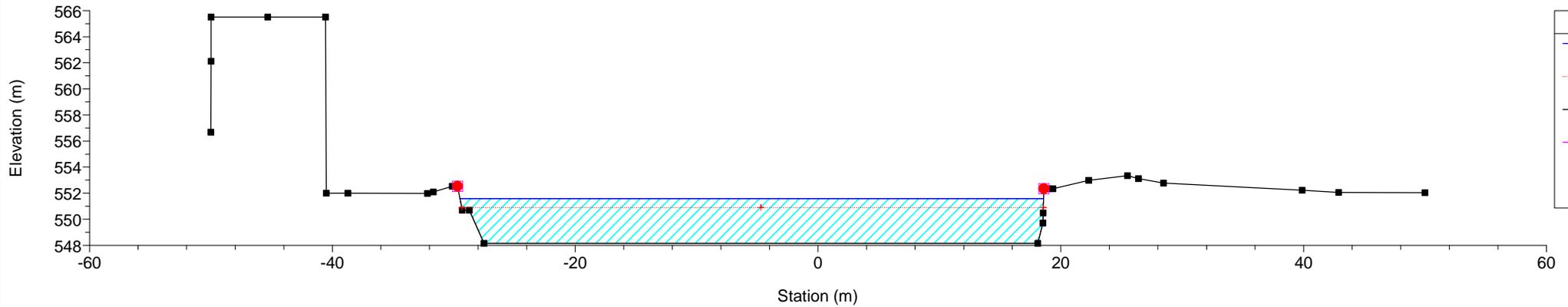
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 8 SRM7 Balmuccia confluenza



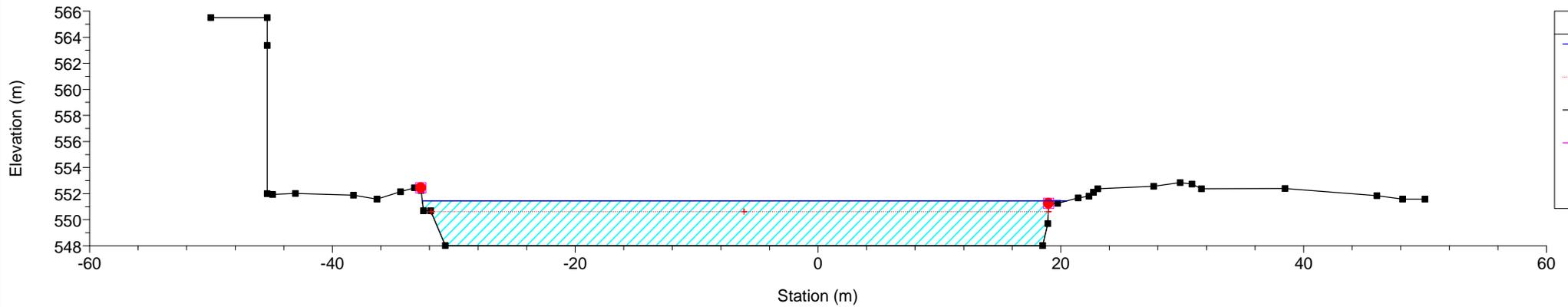
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 7 SRM8 Balmuccia confluenza



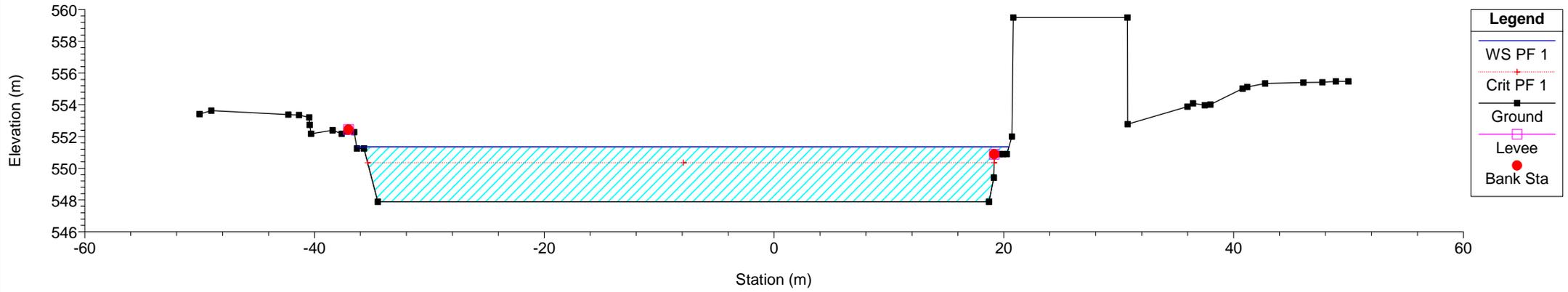
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 6 SRM9 Balmuccia confluenza



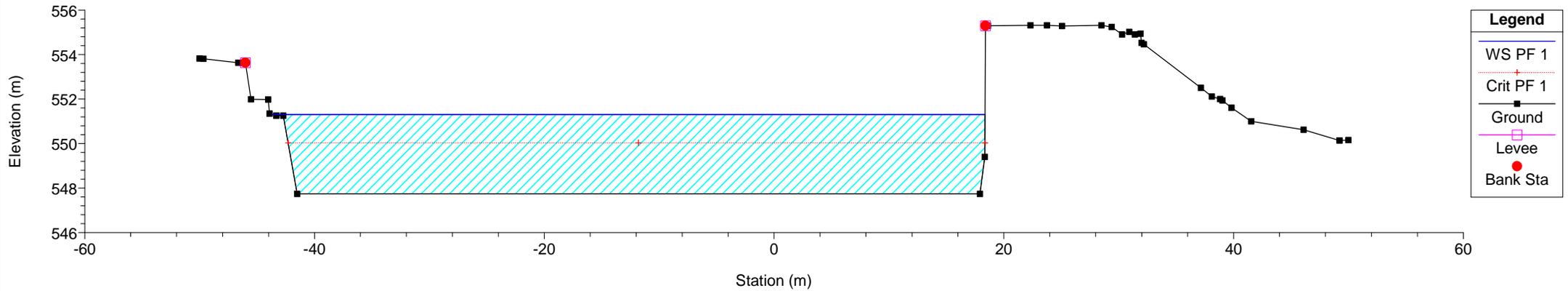
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 5 SRM10 Balmuccia confluenza



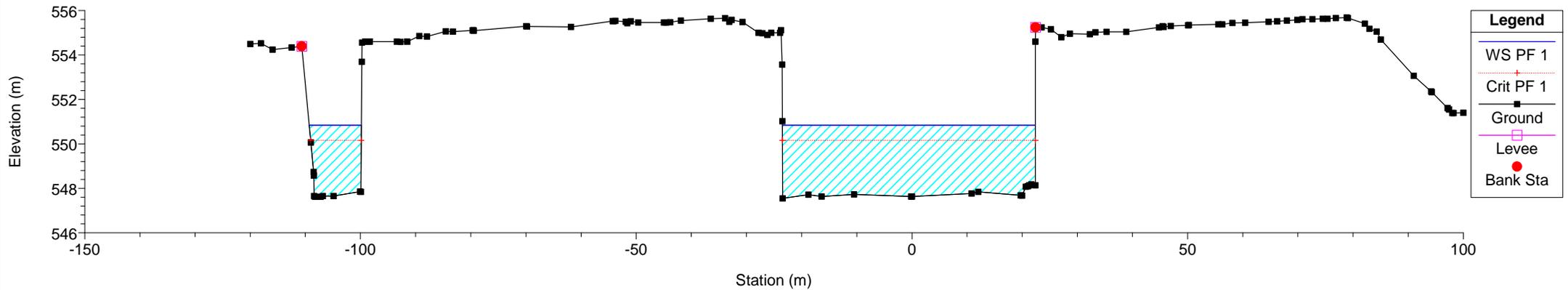
Geom: G1_progetto

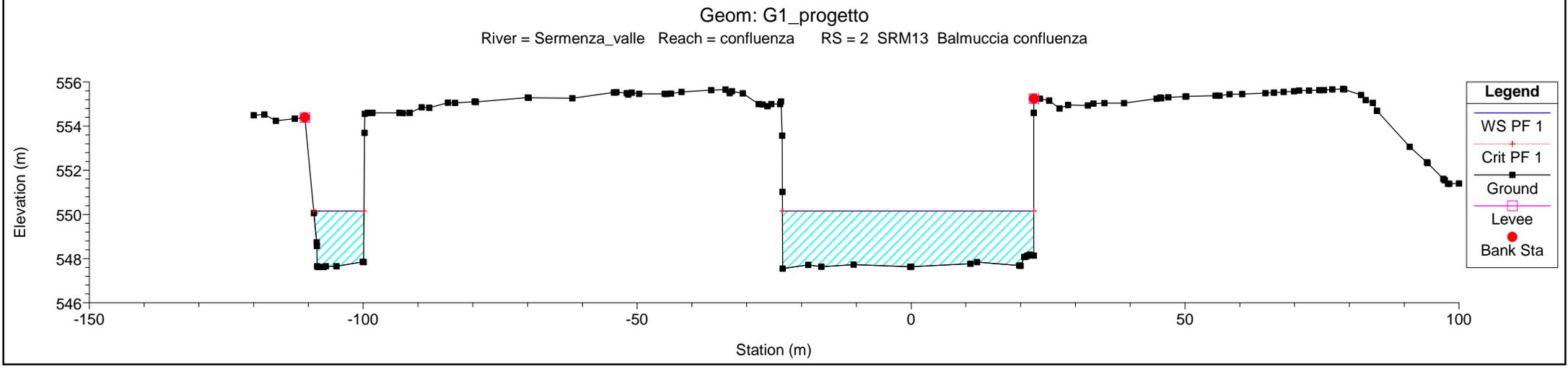
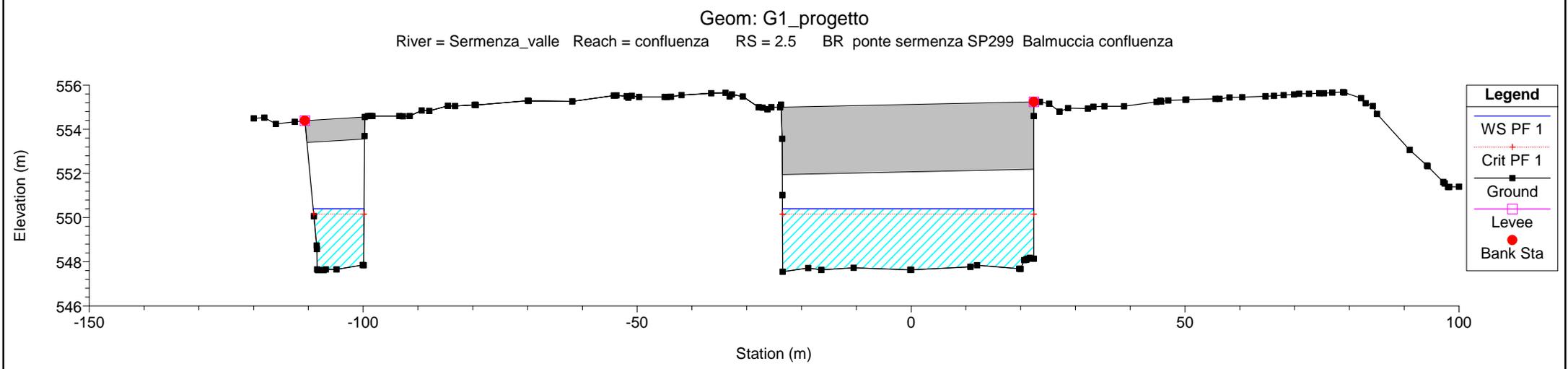
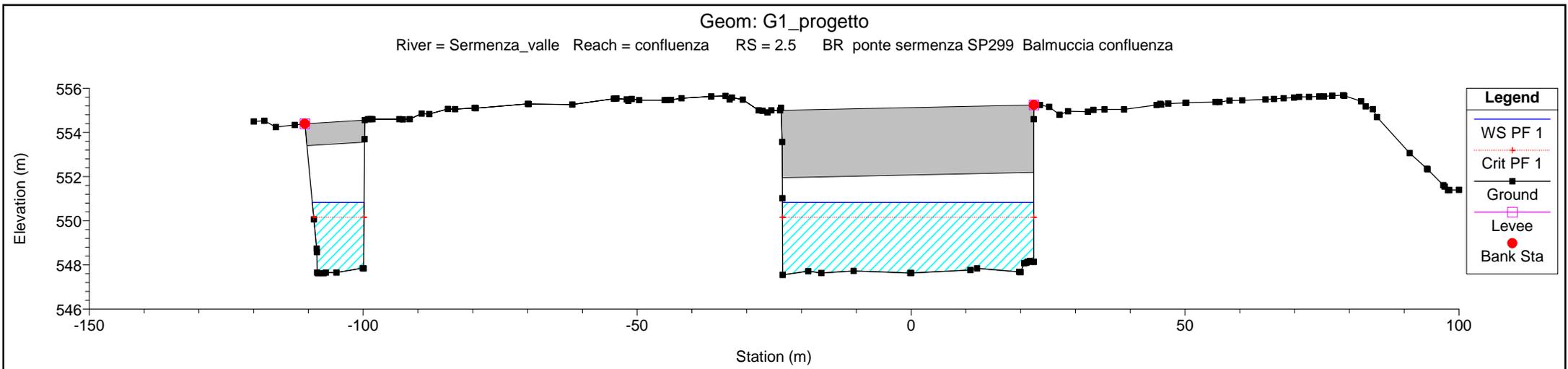
River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 4 SRM11 Balmuccia confluenza



Geom: G1_progetto

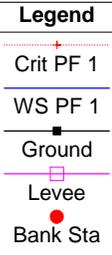
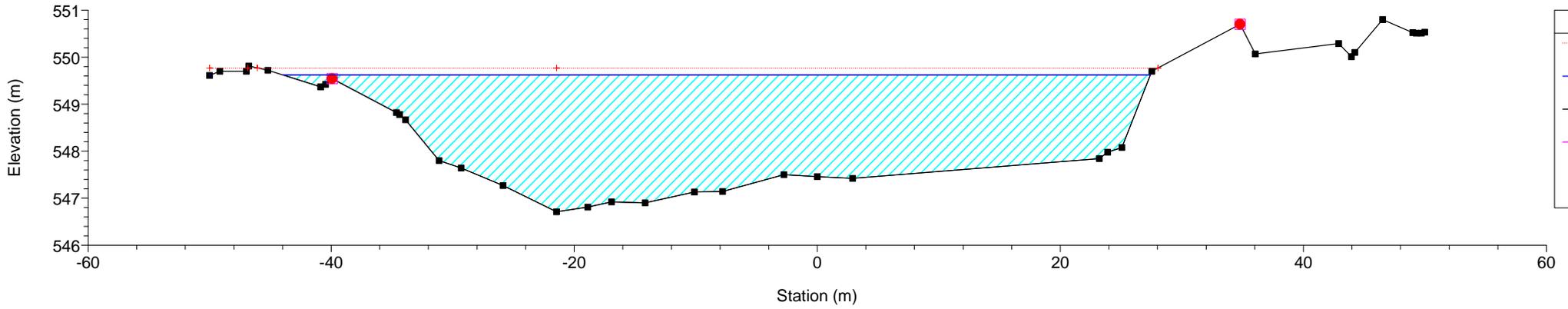
River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 3 SRM12 Balmuccia confluenza





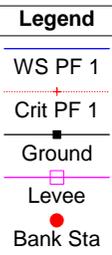
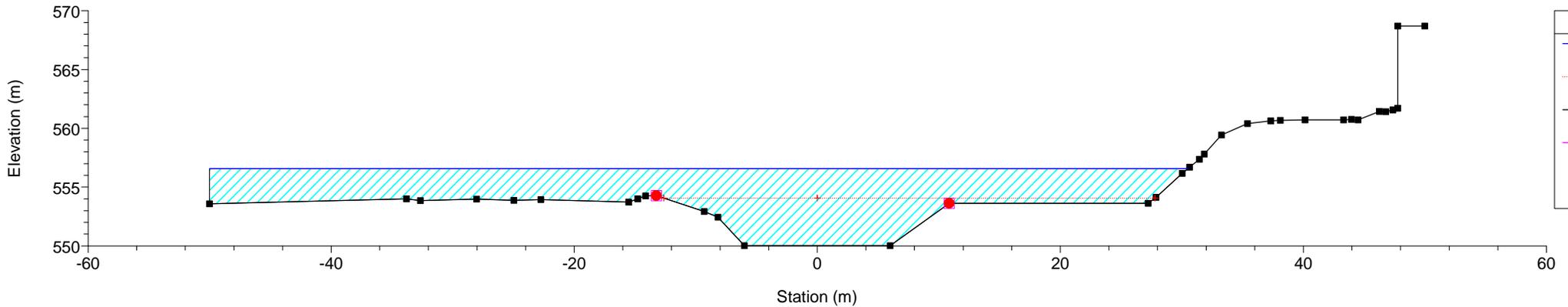
Geom: G1_progetto

River = Sermenza_valle Reach = confluenza RS = 1 SRM14 Balmuccia confluenza



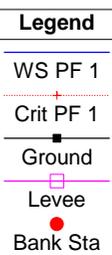
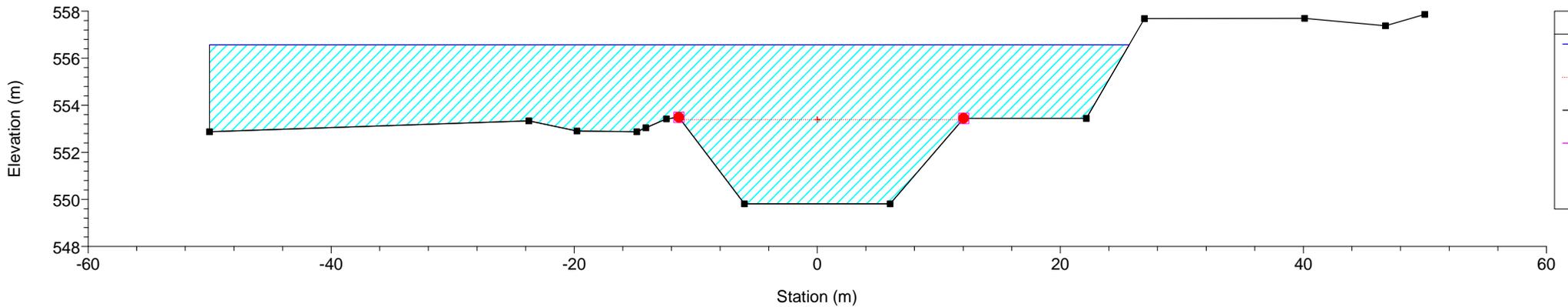
Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 11 SCLM6 Balmuccia confluenza



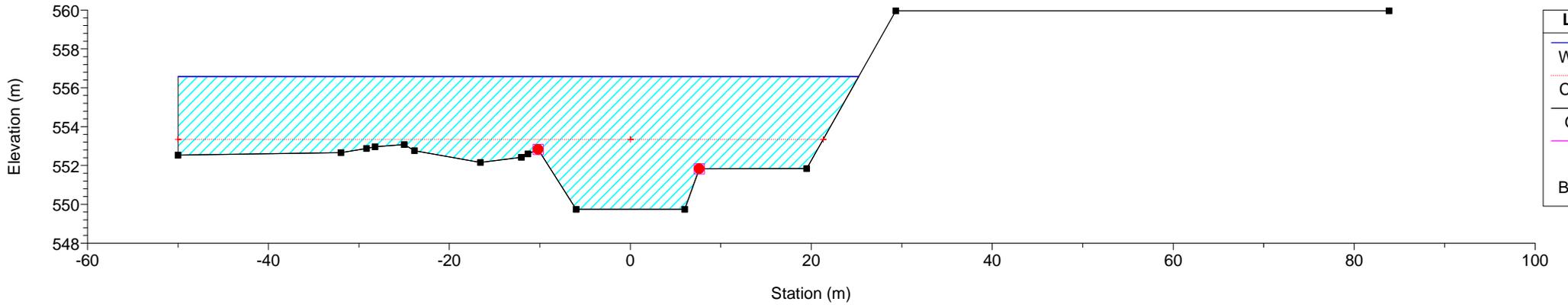
Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 10 SCLM7 Balmuccia confluenza



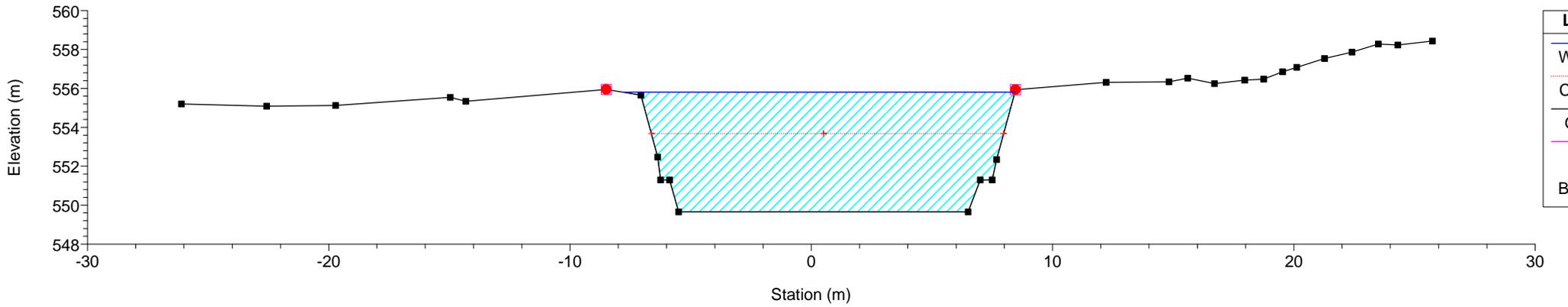
Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 9 SCLM8 Balmuccia confluenza



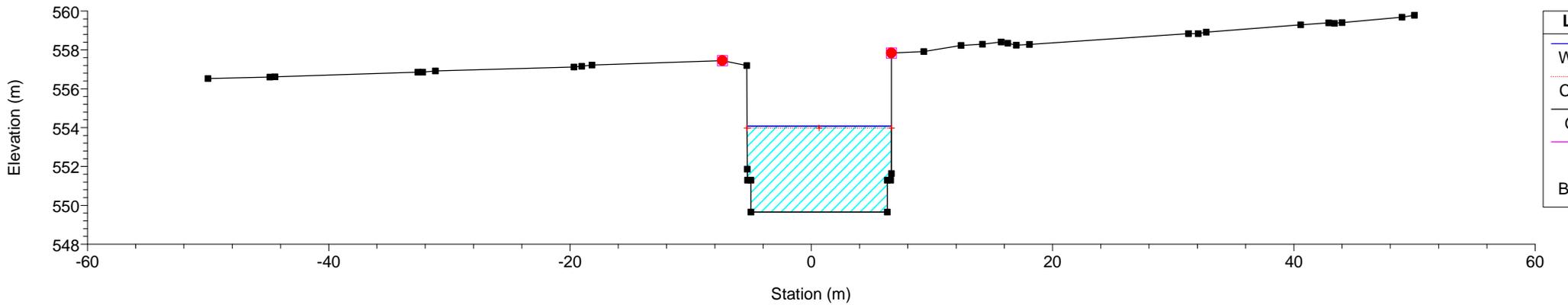
Geom: G1_progetto

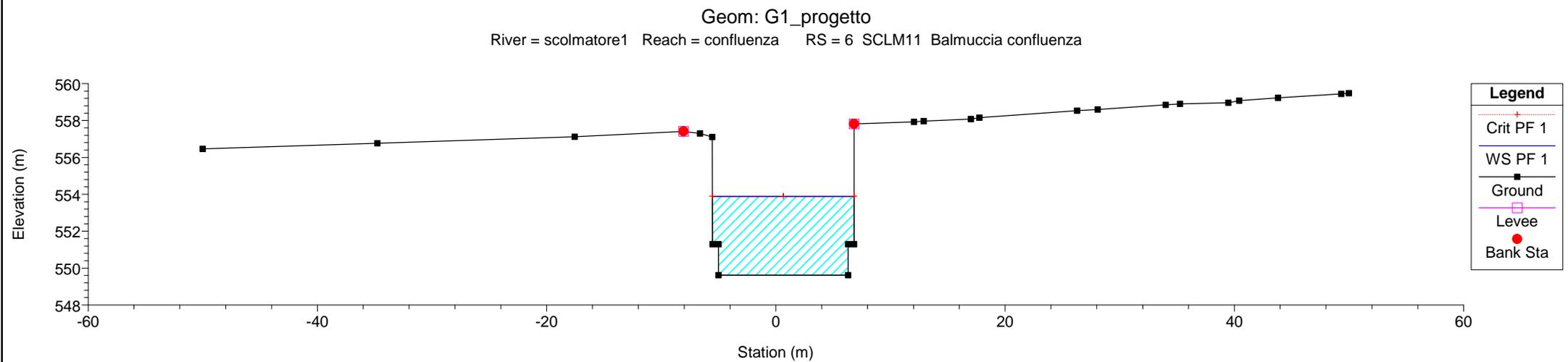
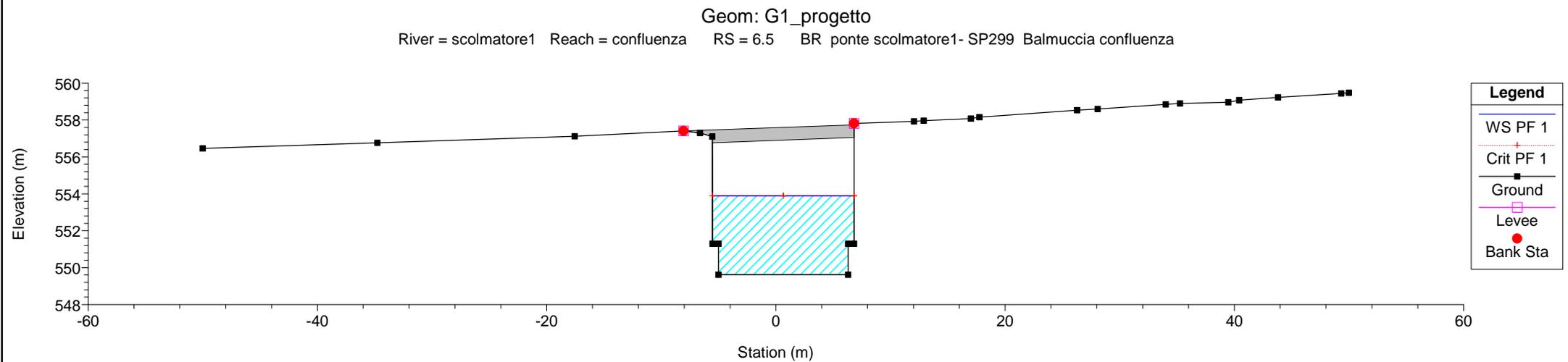
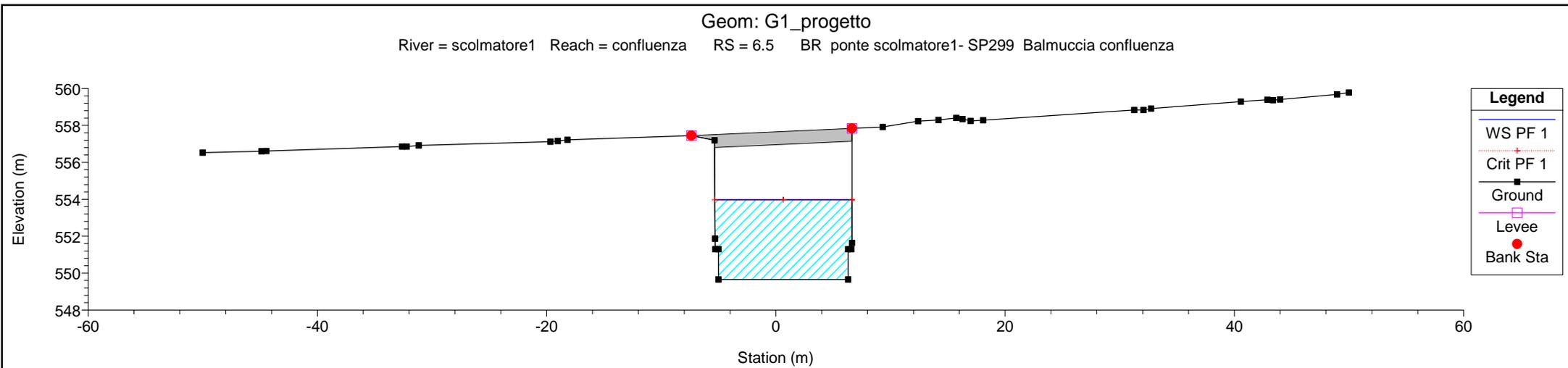
River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 8 SCLM9 Balmuccia confluenza



Geom: G1_progetto

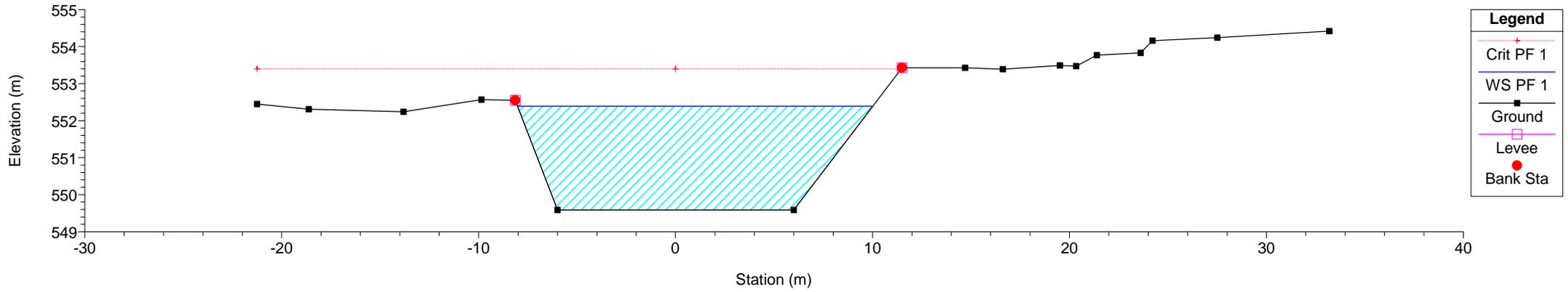
River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 7 SCLM10 Balmuccia confluenza





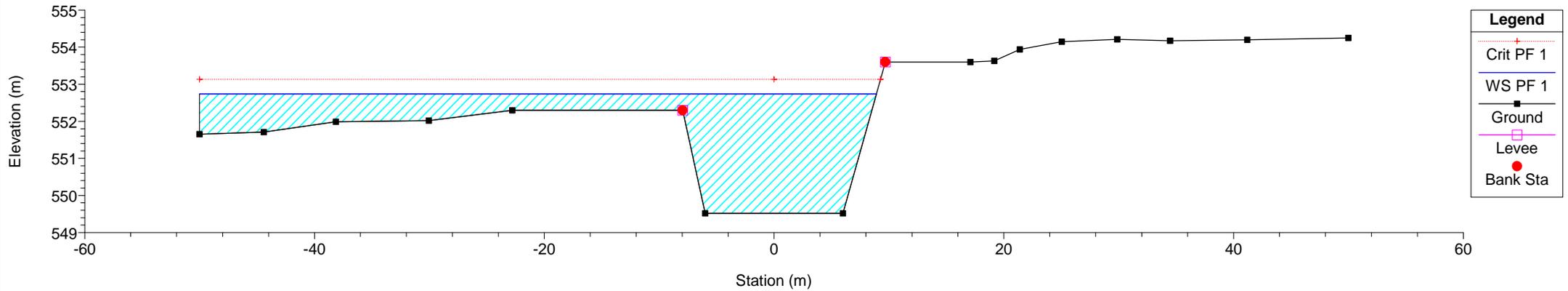
Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 5 SCLM12 Balmuccia confluenza



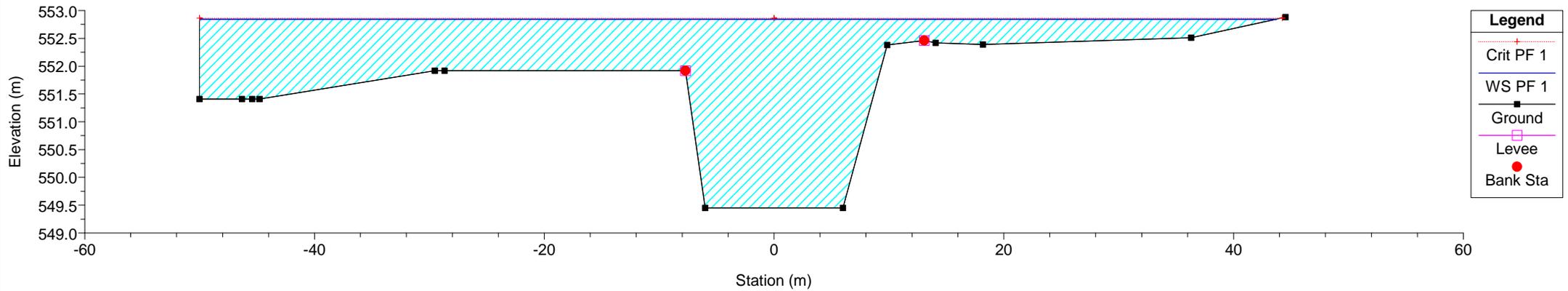
Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 4 SCLM13 Balmuccia confluenza



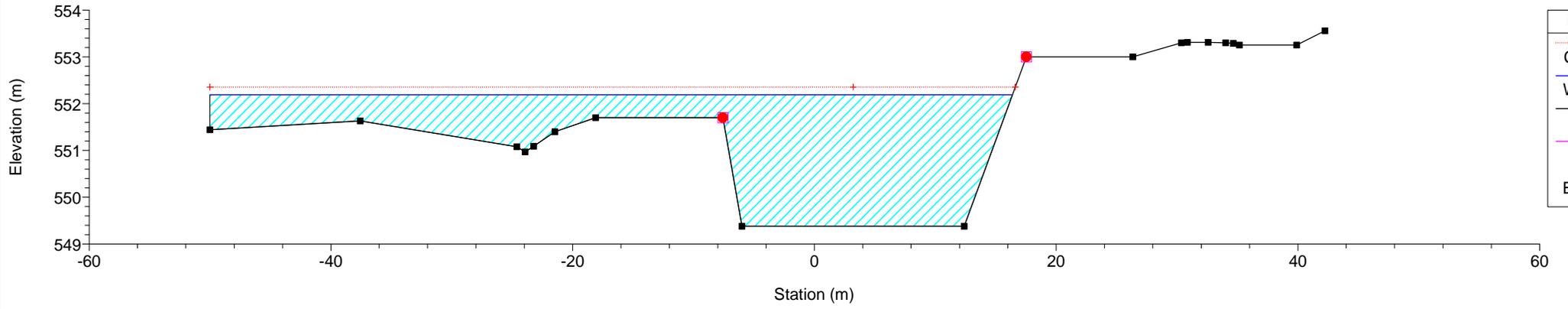
Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 3 SCLM14 Balmuccia confluenza



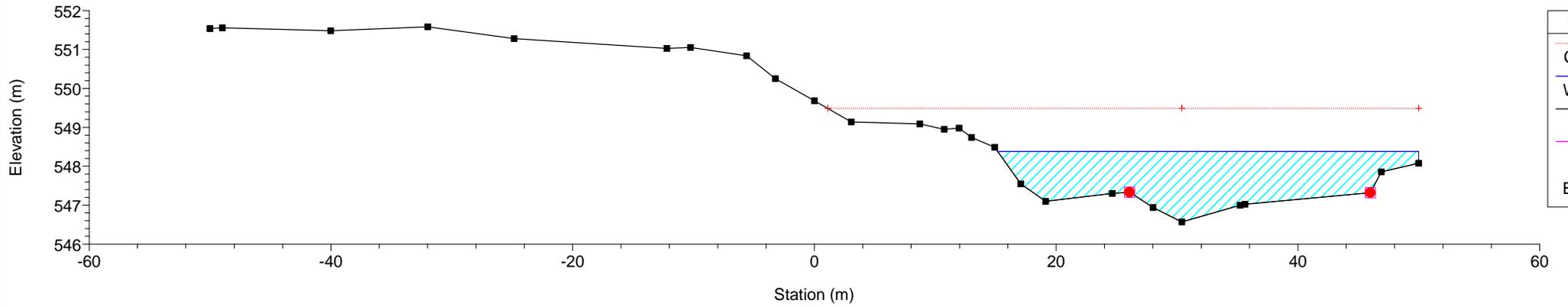
Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 2 SCLM15 Balmuccia confluenza

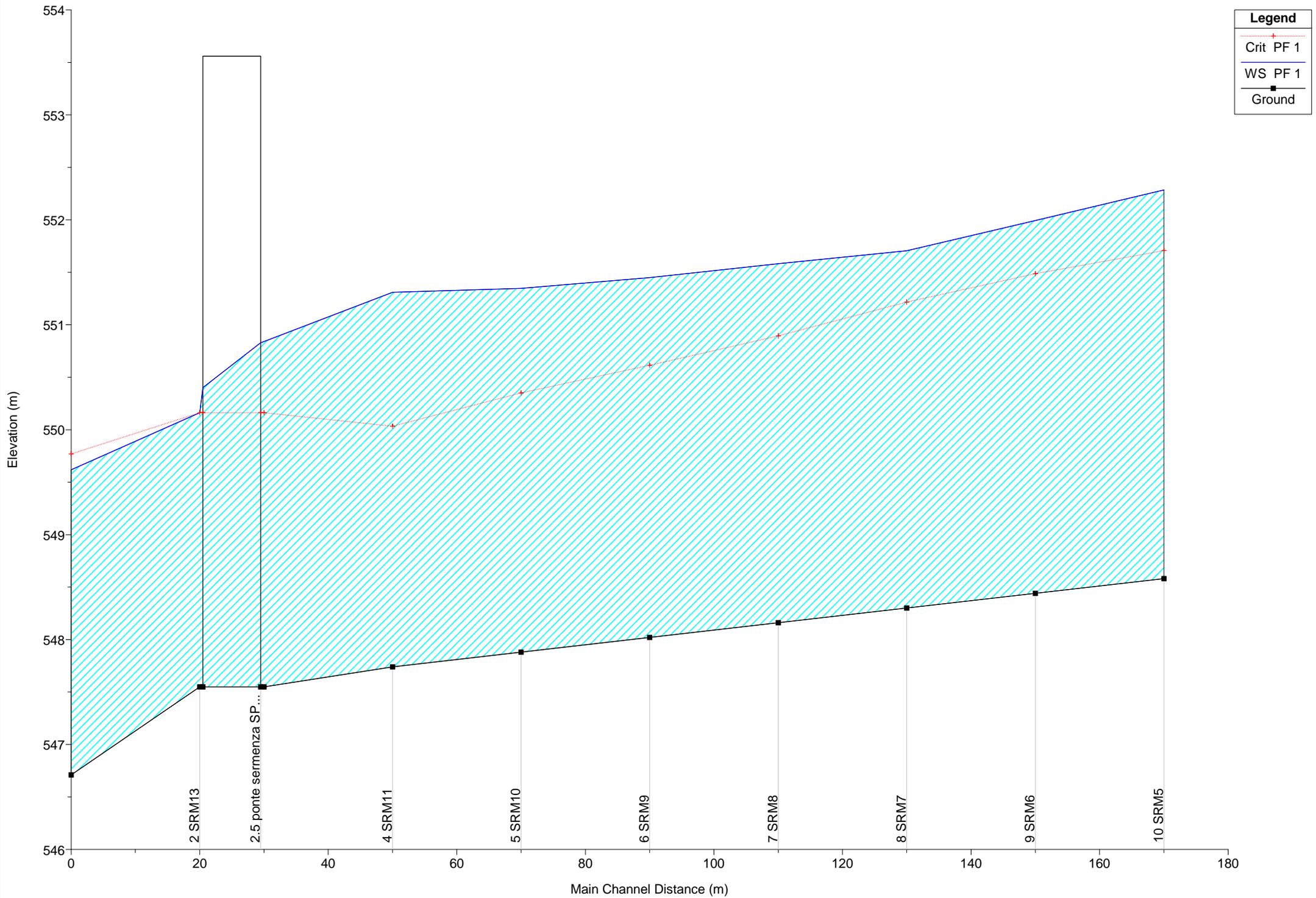


Geom: G1_progetto

River = scolmatore1 Reach = confluenza RS = 1 SCLM16 Balmuccia confluenza



Geom: G1_progetto Balmuccia confluenza



Geom: G1_progetto Balmuccia confluenza

