COMUNE DI GENOVA

DIREZIONE INFRASTRUTTURE E DIFESA DEL SUOLO
SETTORE ATTUAZIONE OPERE IDRAULICHE

TITOLO

ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TRATTO TERMINALE DEL TORRENTE NERVI

LIVELLO DI PROGETTAZIONE **PROGETTO DEFINITIVO**

REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	APR 2019	PRIMA EMISSIONE	Ing. G. Grosso	Ing. L. Corona	Ing. G. Nobile

AMMINISTRAZIONE PROPONENTE
COMUNE DI GENOVA

OGGETTO

RELAZIONE IDRAULICA

R004

SCALA
-

RESP. UNICO DI PROCEDIMENTO
Arch. Roberto Valcalda

COORDINATORE PROGETTO
Ing. G. Nobile

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI GENOVA
DOTT. ING. Nobile Giampiero
Sez. A Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione
N° 10393A

GRUPPO DI PROGETTO
Ing. G. Nobile
Ing. L. Corona
Ing. G. Grosso

CONSULENZA GEOTECNICA
Ing. M. Leoni

CONSULENZA GEOLOGICA
Dott. Geol. F. Ceccarelli

RILIEVO
Ing. G. Nobile

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Ing. A. De Bastiani

NOME FILE	NOME LAYOUT	FILE STAMPA
CGE02-D-G204R004_0.pdf	-	CGE02-D.ctb

CODICE COMMESSA	DOC.N.	SCALA DI STAMPA	FORMATO	FOGLIO
C G E 0 2	G 2 0 4 R	-	-	1 DI 1

Informazioni Cliente/Progetto

CLIENTE	**COMUNE DI GENOVA** **DIREZIONE INFRASTRUTTURE E DIFESA DEL SUOLO** **SETTORE ATTUAZIONE OPERE IDRAULICHE** **16149 – GENOVA – Via di Francia, 3**
DOCUMENTO	**ADEGUAMENTO IDRAULICO DEL TRATTO TERMINALE DEL TORRENTE NERVI** **PROGETTO DEFINITIVO** **RELAZIONE IDRAULICA**

PROJECT NUMBER	-
RIFERIMENTO CLIENTE	-

STATO	**DIMENSIONI**	**TIPO DOCUMENTO**	**NUMERO IDENTIFICAZIONE**			
	A4	-	**CGE02-D-G204R004**			
	SCALA	**STATO DOCUMENTO**	**LINGUA**	**REVISIONE**	**DATA**	**PAGINE**
	NESSUNA	-	IT	0	16/04/2019	95

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI GENOVA
DOTT. ING. Nobile Giampiero
Sez. A Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione
N° 10393A

REVISIONE	**DATA**	**NOTE**	**CREATO**	**CONTROLLATO**	**APPROVATO**
0	16/04/2019	Prima Emissione	Nobile	Corona	Grosso

OAC INGEGNERIA
Via Sottoripa 1A/121, 16124 GENOVA (Italy) - Tel. (+39) 010 8698603 – Fax (+39) 010 8698604
P.IVA (VAT) 01861820999 - email: info@oacingegneria.com – www.oacingegneria.com

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 4

1.1. NORMATIVA E LINEE GUIDA 4

1.2. DOCUMENTAZIONE 5

2. APPROCCIO METODOLOGICO 7

3. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA 8

4. ANALISI DI STABILITA MORFODINAMICA 9

4.1. SOPRALLUOGO CONOSCITIVO IN SITO 11

4.2. RICOSTRUZIONE CRONOLOGICA DEGLI INTERVENTI 18

4.3. SOVRAPPOSIZIONE DEI PROFILI ALTIMETRICI E DELLE GRANDEZZE SIGNIFICATIVE 23
4.3.1. IPOTESI SUI MECCANISMI MORFODINAMICI IN ATTO 28

4.4. CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEL SITO E DEFINIZIONE DEGLI EVENTI FORMATIVI 29

4.5. VALUTAZIONE DEI PROFILI DI EQUILIBRIO 35
4.5.1. PREMESSA 35
4.5.2. RILIEVO ANNO 2017 38

5. VALUTAZIONE DELLA STABILITA' MORFODINAMICA DELL'INTERVENTO PROGETTUALE 42

5.1. CONFIGURAZIONE ESISTENTE 42
5.1.1. VALUTAZIONE DELLA SOPRAELEVAZIONE PER EFFETTO DELLA CURVA 45

5.2. CONFIGURAZIONE PROGETTUALE 48
5.2.1. SOPRAELEVAZIONE ARGINALE 49
5.2.2. CANALIZZAZIONE TRATTO DI VALLE 51
5.2.3. PROFILO STAZIONARIO 55
5.2.4. VALUTAZIONE DELLA SOPRAELEVAZIONE PER EFFETTO DELLA CURVA 55

5.3. EQUILIBRIO MORFODINAMICO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE 59

5.4. VERIFICA DELLE QUOTE ARGINALI 63

5.5. STIMA TEMPORALE DELL'EVOLUZIONE VERSO L'EQUILIBRIO 68
5.5.1. IDROGRAMMA E SEDIMENTOGRAMMA CARATTERISTICI DELLE CONDIZIONI FORMATIVE 68
5.5.2. ANALISI NON STAZIONARIA A FONDO MOBILE – EVENTO FORMATIVO 73

5.6. STABILITA' IDRODINAMICA DEI MASSI E DEI GABBIONI 84
5.6.1. EROSIONE AL PIEDE DELLA BRIGLIA 84

5.6.2. EROSIONE NEL TRATTO IN CURVA 88
5.6.3. GABBIONI 89

6. CONCLUSIONI 90

7. INDICE DELLE FIGURE 92

8. INDICE DELLE TABELLE 94

9. ALLEGATI 95

1. INTRODUZIONE

Con Protocollo n°PG102095 in data 27/03/2017, il Comune di Genova ha incaricato il Sottoscritto per redigere la progettazione dell'Intervento di Adeguamento Idraulico del tratto terminale del torrente Nervi.

Di concerto con la messa in sicurezza idraulica del tratto oggetto di intervento che si estende, per una lunghezza di circa 250 metri, dall'attuale porticciolo sino allo sbocco della copertura sottostante via Oberdan, le esigenze dell'Amministrazione sono volte anche alla realizzazione di un canale navigabile, fruibile da piccole imbarcazioni a ridotto pescaggio, che si protragga dall'attuale porticciolo, verso monte, sino ad una sezione posizionata poco più a valle dell'attuale stazione di sollevamento della fognatura nera transitante sotto alveo.

La presente relazione ha come scopo l'analisi idraulica relativa al progetto definitivo.

1.1. NORMATIVA E LINEE GUIDA

DOCUMENTO		***RIFERIMENTO***
Piano di Bacino del Torrente Nervi	*Modificato con D.G.P. n°124 del 22/09/2014*	[1]
Manuale di Morfodinamica Fluviale	*DICAT - Relazione n°34/2008 – REGIONE LIGURIA*	[2]
Ruolo della morfodinamica fluviale nei problemi di pianificazione di bacino e di progettazione idraulica	*DICAT - Relazione n°15/2008 – REGIONE LIGURIA*	[3]
Determinazione delle scale di deflusso in corrispondenza di stazioni di misura idrometrica ed effetti della morfodinamica	*DICAT - 03/2008 – REGIONE LIGURIA*	[4]
Manuale Tecnico-Operativo per la valutazione e il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua	*IDRAIM - 03/2011 - ISPRA*	[5]
SEDIMENT TRANSPORT MORPHODYNAMICS	*11/2004 – Gary Parker*	[6]
Criteri ed indirizzi tecnici per la verifica e valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena attraverso studi idrologici di dettaglio nei bacini idrografici liguri	*DGR359/2008*	[7]
Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, SEC.4, HYDROLOGY, Rev. Ed. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A., 1986		[8]
Rodriguez-Iturbe I., The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response, Water Resour. Res., 15(6), 1409-1420, 1979		[9]
Rodriguez-Iturbe I., A geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph, Water Resour. Res., 18(4), 877-886, 1982		[10]
Rosso R., Nash model relation to Horton order ratios, Water Resour. Res., 20(7), 914-920, 1984		[11]
Rosso R., Rulli M.C., Tabella di associazione uso del suolo, 2006		[12]
Rapporto CIMA		[13]

1.2. DOCUMENTAZIONE

La presente relazione idraulica fa riferimento ai seguenti documenti, parte integrante del progetto definitivo.

PARTE GENERALE – G

G200R	R000	Elenco documenti	[G]
G201R	R001	Relazione tecnica illustrativa	
G202R	R002	Relazione geologica	
G203R	R003	Relazione geotecnica	
G204R	R004	Relazione idraulica	
G205R	R005	Relazione di calcolo strutturale e sismico	
G206R	R006	Documento propedeutico alla redazione del Piano di Sicurezza e Coordinamento	
G207R	R007	Quadro economico	
G201T	T001	Rilievo dello stato di fatto	
G202T	T002	Corografia - Planimetria catastale e CTR	
G203T	T003	Piano di bacino - PUC	
G204T	T004	Planimetria generale con individuazione delle opere	
G205T	T005	Viste longitudinali argine destro e sinistro	
G206T	T006	Sezioni tipologiche	
G207T	T007	Planimetria demolizioni	
G208T	T008	Cronoprogramma delle fasi attuative	

STUDI, INDAGINI, RILIEVI – R

R201R	R008	Indagini geologiche e geotecniche - Rapporto finale	[R]
R202R	R009	Studio preliminare ambientale	
R203R	R010	Relazione naturalistica	
R204R	R011	Relazione paesaggistica	
R205R	R012	Relazione archeologica	
R206R	R013	Documentazione fotografica	
R201T	T009	Planimetria indagini geognostiche e geotecniche	

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA – A

A201T	T020	Planimetria opere a verde - Prescrizioni SOI	[A]
A202T	T021	Rendering - Ponte Romanico	
A203T	T022	Rendering - Sponda destra	
A204T	T023	Rendering - Sponda sinistra	
A205T	T024	Rendering - Foce	
A206T	T025	Dettagli e particolari costruttivi	

PROGETTAZIONE IDRAULICA – I

I201T	T030	Profilo longitudinale argini destro e sinistro - Stato di fatto	[I]
I202T	T031	Profilo longitudinale argini destro e sinistro - Stato di progetto	
I203T	T032	Profilo longitudinale argini destro e sinistro - Confronto all'equilibrio	
I204T	T033	Sezioni idrauliche - Sez 12-7 - Stato di fatto	
I205T	T034	Sezioni idrauliche - Sez 6-0.5 - Stato di fatto	
I206T	T035	Sezioni idrauliche - Sez 12-7 - Stato di progetto	
I207T	T036	Sezioni idrauliche - Sez 6-0.5 - Stato di progetto	

PROGETTAZIONE GEOTECNICA E STRUTTURALE – S

S201T	T040	Sezioni tipiche argini	[S]
S202T	T041	Pianta e sezioni briglia di ritenuta	
S203T	T042	Planimetria tracciamento micropali e tiranti	

CANTIERIZZAZIONE – C

C201R	R022	Relazione sulla cantierizzazione	[C]
C201T	T050	Quaderno fasi di cantierizzazione	
C202T	T051	Cronoprogramma delle lavorazioni	

RISOLUZIONE INTERFERENZE – Y

Y201R	R014	Relazione sui sottoservizi	[Y]
Y201T	T060	Rete fognatura bianca, gas e acqua - Planimetria stato di fatto	
Y202T	T061	Reti Telecom, Fastweb e fibre ottiche, ENEL - Planimetria stato di fatto	
Y203T	T062	Rete fognatura nera - Planimetria stato di fatto	
Y207T	T063	Rete fognatura nera - Risoluzione interferenze	
Y208T	T064	Rete di raccolta acque bianche - Risoluzione interferenze	
Y209T	T065	Reti Telecom, Fastweb e fibre ottiche, ENEL - Risoluzione interferenze	

COMPUTO METRICO ESTIMATIVO – W

W201R	R015	Computo metrico estimativo	[W]
W202R	R016	Elenco prezzi unitari	
W203R	R017	Analisi dei prezzi	
W204R	R018	Stima oneri di sicurezza	

SCHEMA DI CONTRATTO E CAPITOLATO SPECIALE DI APPALTO – D

D201R	R021	Capitolato speciale di appalto	[D]

2. APPROCCIO METODOLOGICO

Al fine di valutare la sicurezza idraulica a breve e a lungo termine di un qualsiasi intervento di adeguamento idraulico, le analisi svolte devono articolarsi, necessariamente, in tre importanti fasi:

1. la valutazione dei processi morfodinamici in atto e la calibrazione dei profili di equilibrio, necessaria alla determinazione degli eventi formativi che coinvolgono l'alveo oggetto di analisi e ne caratterizzano l'evoluzione e la risposta agli interventi progettuali;

2. la progettazione degli interventi di adeguamento idraulico mirati alla riduzione o all'eliminazione del rischio tenendo in conto i processi formativi evidenziati nella fase precedente;

3. la valutazione della stabilità morfodinamica della soluzione progettuale adottata e la conseguente determinazione degli interventi di manutenzione ordinaria necessari al suo mantenimento funzionale. In quest'ultima fase, a seguito delle risultanze della stabilità morfodinamica e delle esigenze manutentive, possono essere definiti, in termini di costi/benifici, ulteriori criteri di sicurezza e/o modifiche progettuali atte al raggiungimento degli obiettivi prefissati.

3. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Prima di procedere con tutte le analisi propedeutiche alla progettazione degli interventi di adeguamento idraulico è necessario, in primo luogo, valutare il regime delle portate di piena caratteristiche del torrente Nervi.

Secondo quanto riportato nel Piano di Bacino ([1] – Relazione Generale – §2.7.2), per determinare le portate di progetto Q_T per assegnato periodo di ritorno per il torrente Nervi, viste le gravi carenze di dati e informazioni in merito agli aspetti idrologici contenuti negli studi propedeutici al Piano di Bacino Stralcio, è stato effettuato il confronto fra il metodo CIMA e quello razionale e sono stati adottati, per tutte le sezioni, i valori del metodo razionale, che sono confrontabili con quelli del CIMA per le sezioni prossime allo sbocco a mare e superiori per quelle più a monte. Quindi, dalla Relazione Generale [1] si evincono, per il torrente Nervi, le portate per assegnato tempo di ritorno alla sezione di chiusura situata in corrispondenza dello sbocco a mare, come riportato nella seguente Tabella 1.

Sempre nella medesima tabella sono state inserite le portate con tempo di ritorno inferiore a T=5[anni], non presenti nel Piano di Bacino. Queste ultime sono state estrapolate utilizzando la procedura regionale della DGR359/2008[7] per bacini ricadenti nella *Regione C* prendendo a riferimento la portata duecentennale e, poiché sono il risultato di un'estensione concettuale di un metodo concepito per elevati tempi di ritorno, possono rappresentare solo una ragionevole stima delle portate attese per eventi frequenti.

		T [anni]								
		2	3	4	5	10	30	50	200	500
Q [m³/s]	PdB [1]	-	-	-	*57.0*	*79.0*	*120.0*	*170.0*	***207.0***	*232.0*
	DRG359/2008 [7]	*31.6*	*41.2*	*48.2*	*53.8*	*72.9*	*110.3*	*131.6*	***207.0***	*275.0*
	CIMA [13]	-	-	-	*57.0*	*79.0*	*120.0*	*140.0*	*200.0*	*250.0*

Tabella 1 – Portate attese in funzione del tempo di ritorno

4. ANALISI DI STABILITA MORFODINAMICA

L'analisi di stabilità morfodinamica rappresenta uno strumento essenziale nella pianificazione degli interventi progettuali idraulici, al fine di poter valutare la persistenza e la stabilità nel tempo della soluzione prescelta evitando, quindi, interventi che potrebbero risultare potenzialmente inefficaci a lungo termine, nonché dannosi e oltremodo costosi.

La corretta analisi di stabilità morfodinamica di una soluzione progettuale deve articolarsi necessariamente attraverso le seguenti cinque fasi:

1. SOPRALLUOGO CONOSCITIVO IN SITO

   Il sopralluogo in sito rappresenta la prima necessaria e imprescindibile operazione da effettuare per poter procedere con le verifiche di stabilità morfodinamica. L'analisi e l'osservazione sul campo permettono, in generale, di acquisire le informazioni fondamentali sugli eventuali processi morfodinamici in atto (fenomeni erosivi, di deposito, ecc.…) e di indirizzare e/o tarare le successive fasi dell'analisi. A tal fine, il dettaglio del sopralluogo deve essere piuttosto spinto ed evidenziare tutti i fenomeni riconoscibili in sito, nonché la posizione degli evidenti depositi e degli scavi, la tipologia del materiale in alveo e la presenza di affioramenti rocciosi esposti.

2. RICOSTRUZIONE CRONOLOGICA DEGLI EVENTUALI INTERVENTI PROGETTUALI

   Dopo aver acquisito tutte le informazioni disponibili sul campo, diviene necessario ricostruire tutti gli interventi morfodinamicamente significativi subiti dal rio oggetto di indagine. L'esatta ricostruzione delle modifiche plano-altimetriche intercorse nel tempo permette, infatti, di valutare se l'equilibrio del torrente, o la sua tendenza, sono stati in qualche modo alterati e, pertanto, se possono essersi innescati dei processi morfodinamici significativi.

3. SOVRAPPOSIZIONE DEI RILIEVI DISPONIBILI E DELLE GRANDEZZE SIGNIFICATIVE

   Dopo aver ricostruito più o meno precisamente la storia del rio oggetto di indagine, risulta necessaria la sovrapposizione di tutto il materiale progettuale (rilievi plano-altimetrici, sezioni trasversali, modelli di calcolo) al fine di evidenziare tutte le eventuali variazioni subite nel tempo dalla corrente e dal fondo alveo. In questa fase, il Tecnico è in grado di valutare quali sono stati i processi morfodinamici in atto e specificare quanti e/o quali di essi si sono esauriti, si sono innescati o sono tutt'ora in corso nel presente periodo. Tutti i dati raccolti in sito o nella campagna di acquisizione del materiale concorreranno a corroborare o a escludere eventuali ipotesi di tendenza evolutiva.

4. CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEL SITO E DEFINIZIONE DEGLI EVENTI FORMATIVI

Formulata un'ipotesi sulla possibile tendenza evolutiva è, a questo punto, necessario caratterizzare gli elementi relativi al trasporto solido. Occorre verificare la tipologia di trasporto (sospensione e/o fondo) e la portata liquida d'innesco. In questa fase è, quindi, necessario valutare la granulometria dei sedimenti attraverso un rilievo diretto, fotografico o un campionamento superficiale e/o profondo.

5. VALUTAZIONE DEI PROFILI DI EQUILIBRIO

L'ultima fase dell'analisi di stabilità morfodinamica consiste nel tracciare i profili di equilibrio del fondo in funzione di tutte le ipotesi fatte e dei dati raccolti in precedenza. Il Tecnico deve stimare l'evento formativo nonché identificare il rapporto esistente tra la portata liquida e la portata solida, caratteristico del rio oggetto di indagine. In generale è ora possibile confermare quali sono gli eventuali processi morfodinamici in atto e valutare, con un certo grado di sensibilità, se la futura soluzione progettuale sarà stabile o meno.

In alcune situazioni, la configurazione geometrica del sito, la presenza di strutture di controllo, l'estensione del tratto, la vicinanza ad eventuali condizioni al contorno o, più semplicemente, un tempo di osservazione non sufficientemente lungo, possono impedire il completo raggiungimento dell'equilibrio morfodinamico. Dopo aver identificato i tratti in cui tali fenomeni possono presentarsi, può essere necessario procedere con una ulteriore e più accurata fase di analisi morfodinamica non stazionaria.

Quest'ultima elaborazione, tuttavia, in generale non è affatto necessaria per stabilire la tendenza evolutiva del tratto che può essere già stata identificata nelle fasi precedenti ma costituisce, essenzialmente, un miglioramento conoscitivo dei fenomeni in atto per valutare la celerità dei processi morfodinamici.

4.1. SOPRALLUOGO CONOSCITIVO IN SITO

Il bacino del torrente Nervi è ubicato al limite orientale del comune di Genova e condivide con il torrente Sturla una piccola porzione di spartiacque compreso tra i monti Bastia e Fasce situati nel limite nord-occidentale del bacino.

L'area complessiva del bacino è di circa 9.4[Km^2] e appartiene amministrativamente al Comune di Genova. La cima più alta è rappresentata dal monte Bastia con una quota di 846[m] slm. I versanti degradano rapidamente verso il mare. Il corso principale del torrente presenta un andamento sostanzialmente rettilineo con direzione [E-O] a monte della località Molinetti. Nella parte medio-valliva esso presenta un andamento meandriforme, con direzione prevalente [NE-SO], sino al suo sbocco a mare presso l'abitato di Nervi, all'interno del suo porticciolo. Nella parte terminale l'asta del torrente è interessata, da monte verso valle, dall'attraversamento dell'Autostrada Genova-Livorno (A12), dalla Strada Statale n. 1 Aurelia e, in prossimità della foce, dalla linea ferroviaria Genova-Pisa. L'area del bacino è individuata in Figura 1 e in Figura 2.

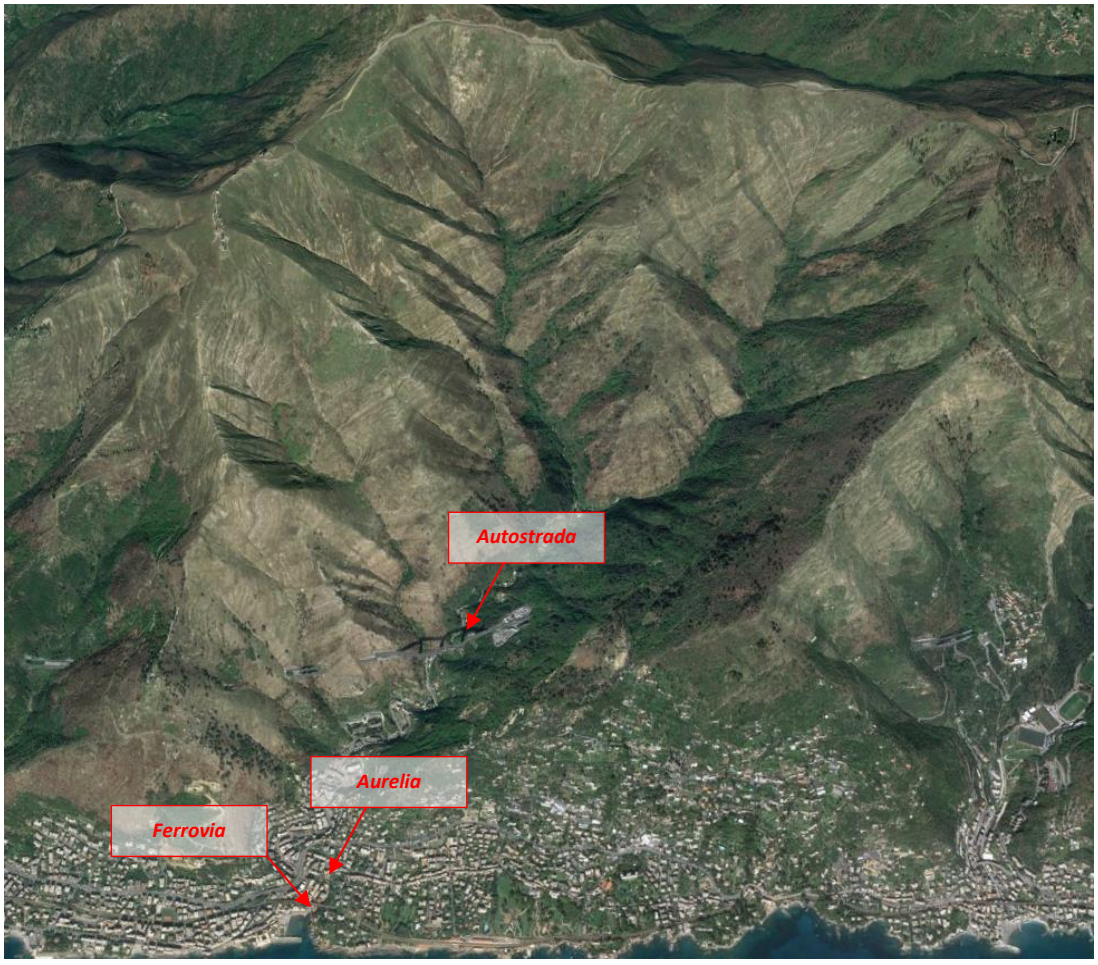


Figura 1 – Bacino del torrente Nervi (A=9.4[km^2])

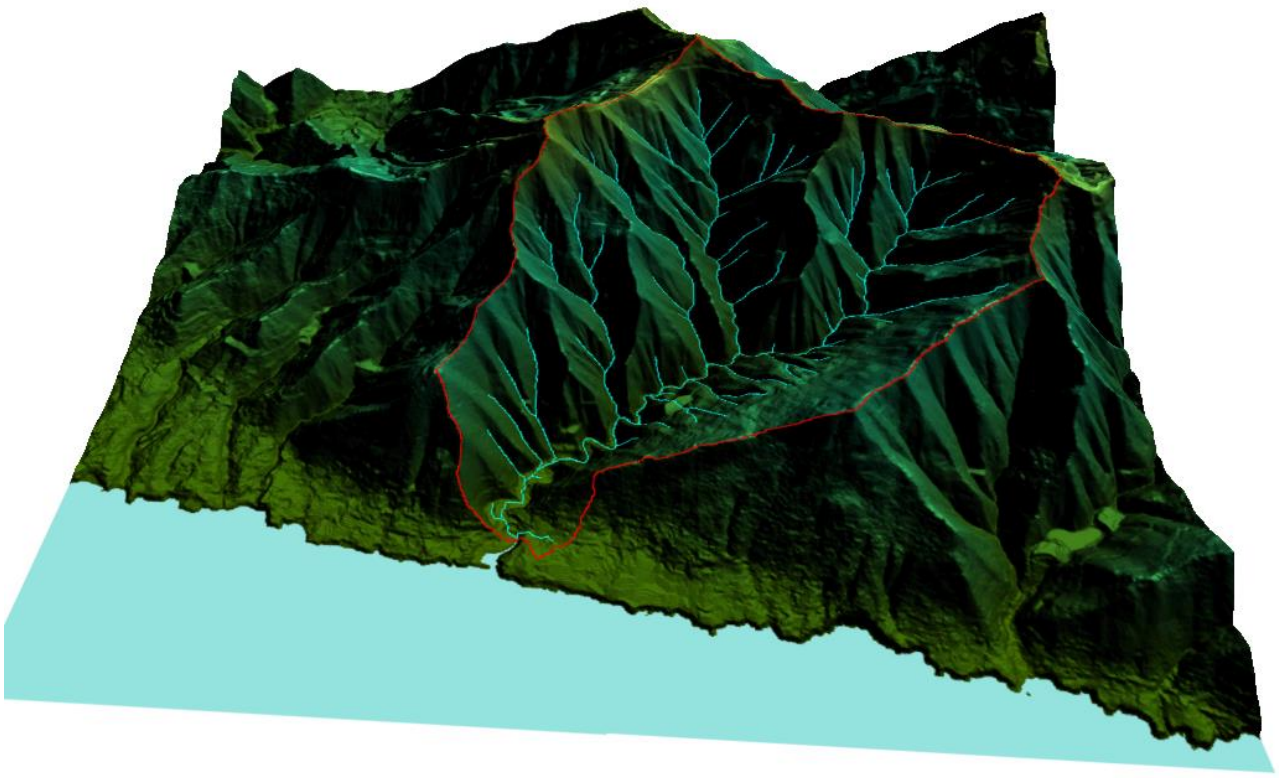


Figura 2 – Modello 3D GIS dell'intero bacino del torrente Nervi

Il tratto d'alveo oggetto di studio, lungo circa 250[m], è compreso tra lo sbocco della copertura sottostante via Oberdan e la foce del torrente ed ha una pendenza media di circa 6.3[‰] (Figura 3). Lo sbocco della copertura è di sezione rettangolare, a due fornici, separati da un setto intermedio (Figura 4); circa 50[m] verso valle, l'alveo è attraversato da un ponte romanico in pietra, con due fornici separati da una pila fondata in alveo, in golena destra (Figura 5). Immediatamente a valle del ponte, sempre in sponda destra, è situata la stazione di sollevamento della rete nera che riceve i liquami dalle due condotte che si uniscono in alveo in corrispondenza del chiusino a quota +0.9[m] slm: la prima, proveniente da Via Sarfatti, attraversa l'alveo trasversalmente e la seconda, in arrivo dalla copertura, segue, in alveo, il corso del torrente (Figura 6). A valle del chiusino il torrente subisce una deviazione dalla direzione [O-E] verso la direzione [NE-SO] con una curva secca, approssimabile con un raggio di circa 42[m]. L'alveo quindi prosegue, con andamento regolare leggermente curvilineo, fino allo sbocco in mare, circa 90[m] a valle, che si realizza con un salto di fondo in calcestruzzo (Figura 7).

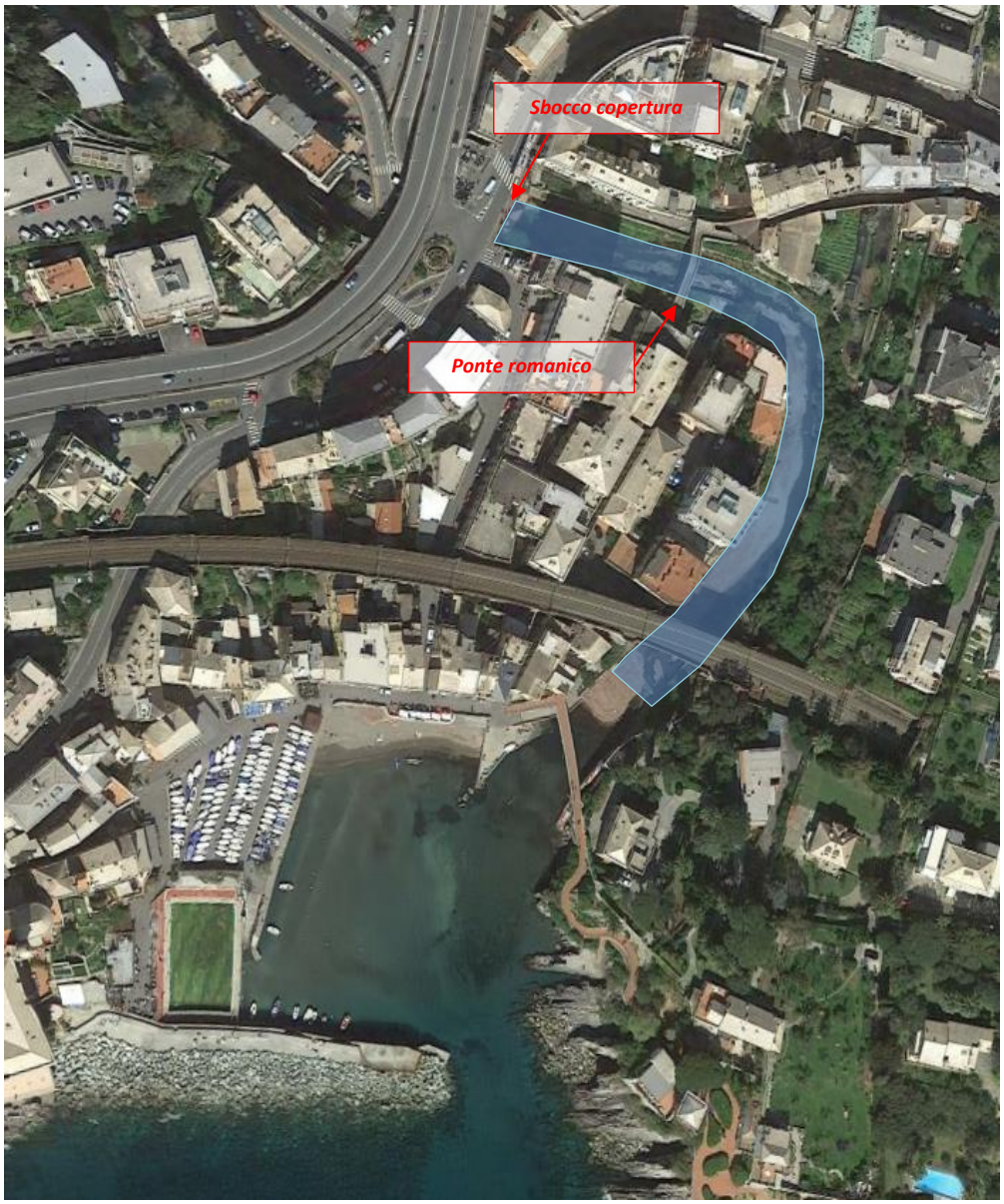


Figura 3 – Area oggetto di intervento

A monte del ponte romanico, l'alveo è caratterizzato dalla presenza di ridotte golene sia in sponda destra, sia in sponda sinistra. L'argine golenale è costituito da un muro in calcestruzzo mentre l'argine più esterno, di più antica fattura, è costituito da muratura in pietrame (Figura 8). La medesima situazione si presenta anche a valle del ponte romanico con la differenza che la golena rimane presente solo in sponda destra.



Figura 4 – Sbocco della copertura di via Oberdan ripresa dal ponte romanico



Figura 5 – Vista del ponte romanico ripresa dallo sbocco della copertura di via Oberdan



Figura 6 – Sottoservizio rete fognatura nera



Figura 7 – Soglia terminale di sbocco nel porticciolo



Figura 8 – Particolare del muro in pietra in sponda destra

Come evidenziato nella relazione fotografica [R] che costituisce parte integrante del presente progetto, a valle del ponte romanico, si può notare un'ampia zona soggetta ad un fenomeno erosivo che pare essere localizzato (Figura 9 e Figura 10). La zona soggetta al fenomeno, infatti, è posizionata lungo l'intera sponda esterna della curva che precede il tratto rettilineo di sbocco nel porticciolo. Dato il ridotto raggio di curvatura sembra plausibile che il moto in curva possa generare fenomeni erosivi localizzati.

Tuttavia, come mostrato nel successivo capitolo §4.5, risulterà evidente come il tratto di alveo oggetto di adeguamento non presenti particolari evidenze di significativi processi morfodinamici in atto interessanti l'intera sezione fluviale.



Figura 9 – Particolare dell'erosione localizzata presente in sponda sinistra



Figura 10 – Ancora un particolare dell'erosione localizzata presente in sponda sinistra

4.2. RICOSTRUZIONE CRONOLOGICA DEGLI INTERVENTI

Grazie alla collaborazione dei Tecnici dell'Amministrazione è stato possibile recuperare del materiale inerente un precedente studio di fattibilità, per il tratto in esame, costituito da un repertorio fotografico e da un rilievo plano-altimetrico.

A seguito del sopralluogo in sito, anche il confronto fotografico delle sezioni reperite, come evidenziato nella seguente Figura 11, Figura 12, Figura 13 e Figura 14, sembra suggerire una situazione di stabilità per il tratto in esame o, quantomeno, una lenta evoluzione morfodinamica compatibile con gli eventi idrologici accaduti nell'ultimo decennio. Le lievi differenze riscontrabili tra le immagini reperite sono imputabili in gran parte alla ricrescita vegetazionale e alla diversa portata presente in alveo al momento dello scatto fotografico.

Inoltre, nel corso degli ultimi quattordici anni, dal 2004 al 2018, il torrente Nervi non pare aver subito interventi progettuali di sorta, né modifiche planimetriche o altrimetriche del suo percorso e delle sue sezioni, pertanto, i processi morfodinamici eventualmente innescati dovrebbero risultare visibili dall'analisi delle grandezze caretteristiche e dal confronto tra i profili altrimetrici relativi ai differenti rilievi in sito.

Medesima considerazione può essere portata avanti relativamente alla realizzazione, conclusasi a fine anno 1993, di una briglia a pettine posta a presidio del tratto tombinato. Gli effetti morfodinamici eventualmente innescatisi nel range delle portate formative dovrebbero, anch'essi, risultare visibili dall'analisi delle grandezze caretteristiche e dal confronto tra i profili altrimetrici relativi ai differenti rilievi in sito.

Si rimanda, pertanto, al successivo capitolo §4.5 in cui saranno presentati i risultati delle predette elaborazioni.



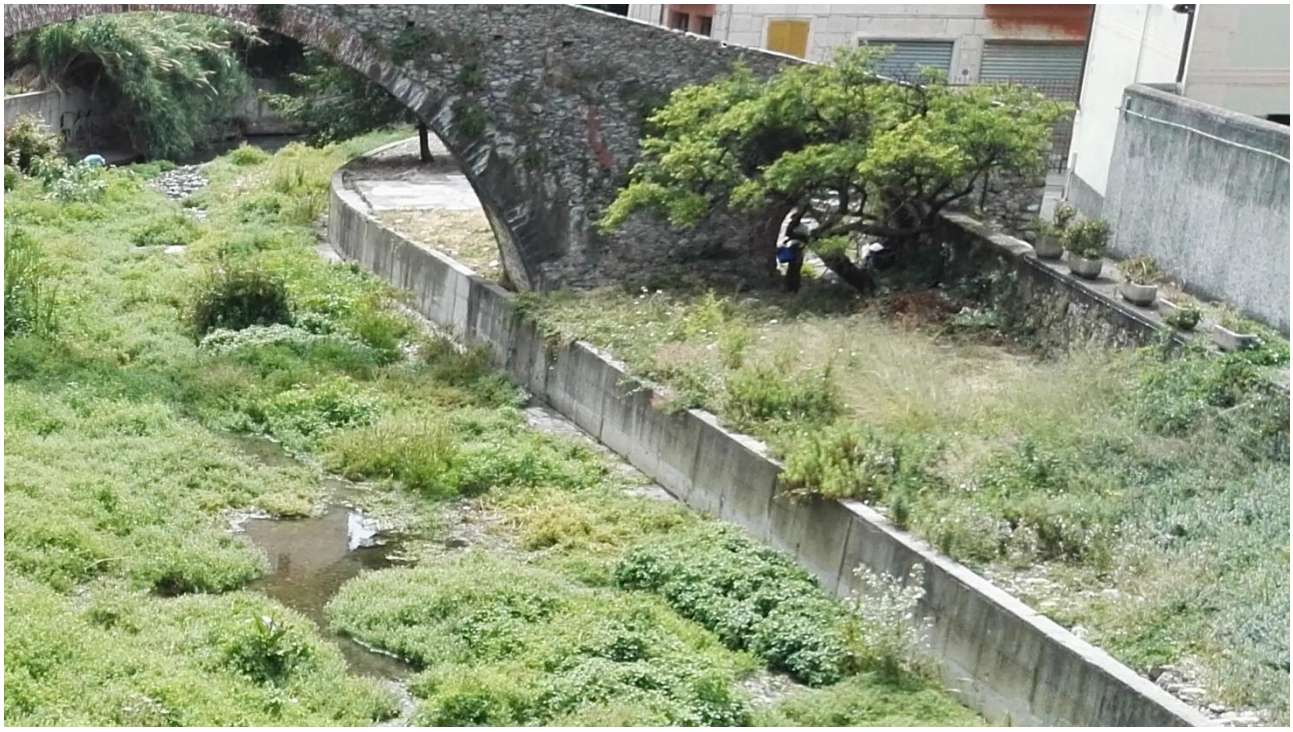


Figura 11 – Sezione n°11 – Sponda destra – Confronto fotografico (2004 – 2018)



Figura 12 – Sezione n°11 – Sponda sinistra – Confronto fotografico (2004 – 2018)



Figura 13 – Sezione n°9 – Confronto fotografico (2004 – 2018)



Figura 14 – Sezione n°6 – Confronto fotografico (2004 – 2018)

4.3. SOVRAPPOSIZIONE DEI PROFILI ALTIMETRICI E DELLE GRANDEZZE SIGNIFICATIVE

Al fine di identificare se nel tratto oggetto di studio si siano innescati dei significativi processi di evoluzione morfodinamica, risulta particolarmente interessante procedere al confronto di alcune grandezze caratteristiche quali la larghezza del pelo libero, la pendenza dell'alveo, il thalweg ed il fondo medio.

Sia il profilo appartenente allo studio di fattibilità, rilevato nel 2004, sia il profilo derivato dal rilievo commissionato dallo Scrivente nel giugno del 2017, coprono lo stesso tratto di torrente, in particolare dalla sezione n°12, in uscita dalla tombinatura di via Oberdan, sino alla sezione n°1 di sbocco nel porticciolo, per una lunghezza totale pari a circa 250[m]. Anzitutto, è interessante valutare la larghezza tipica delle sezioni idrauliche lungo il corso del rio oggetto di indagine. In prima approssimazione, tale informazione può essere agilmente ricavata tracciando i profili di moto stazionario al variare della portata liquida in alveo. Gli estremi dell'intervallo di portata utilizzati sono compresi tra Q=15[m^3/s], con molta probabilità corrispondente ad un evento con tempo di ritorno significativamente inferiore a T=1[anno] e Q=145[m^3/s], corrispondente ad un tempo di ritorno pari a circa T=40-50[anni].

Le portate sopra citate transitano a piene rive e sono completamente contenute nell'alveo senza interferire con le arginature più esterne, gli attraversamenti e le coperture. I risultati sono sintetizzati in Figura 15 e in Figura 16.

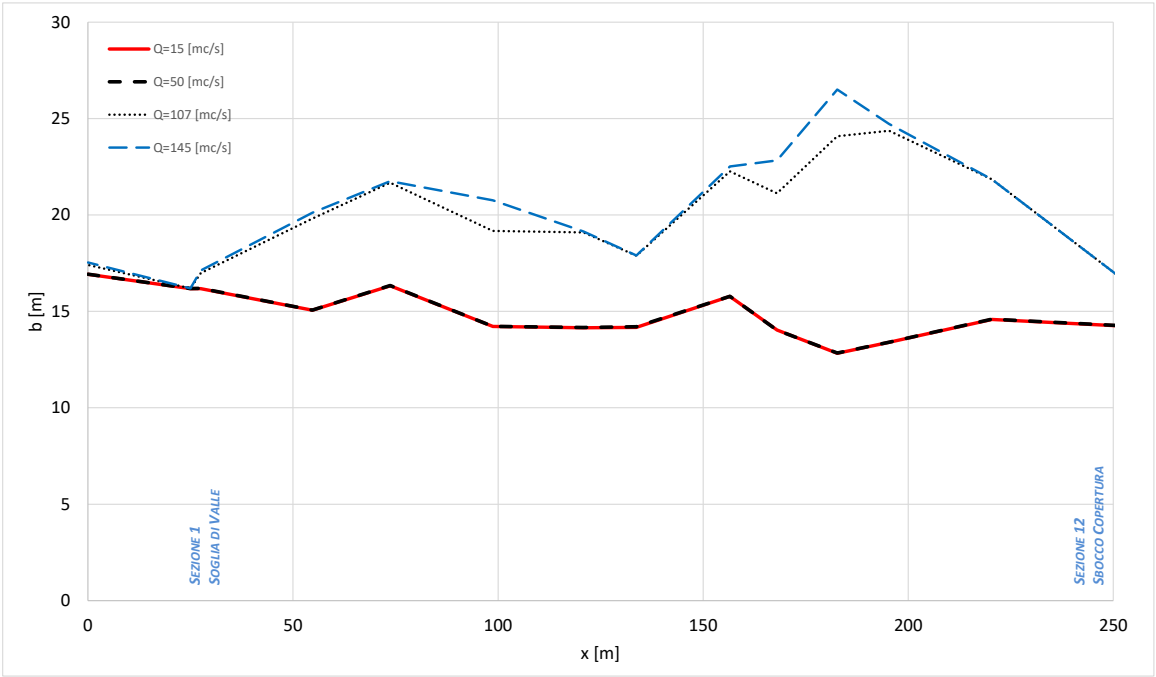


Figura 15 – Variazione della larghezza caratteristica dell'alveo (b) in funzione della portata defluente (Q)

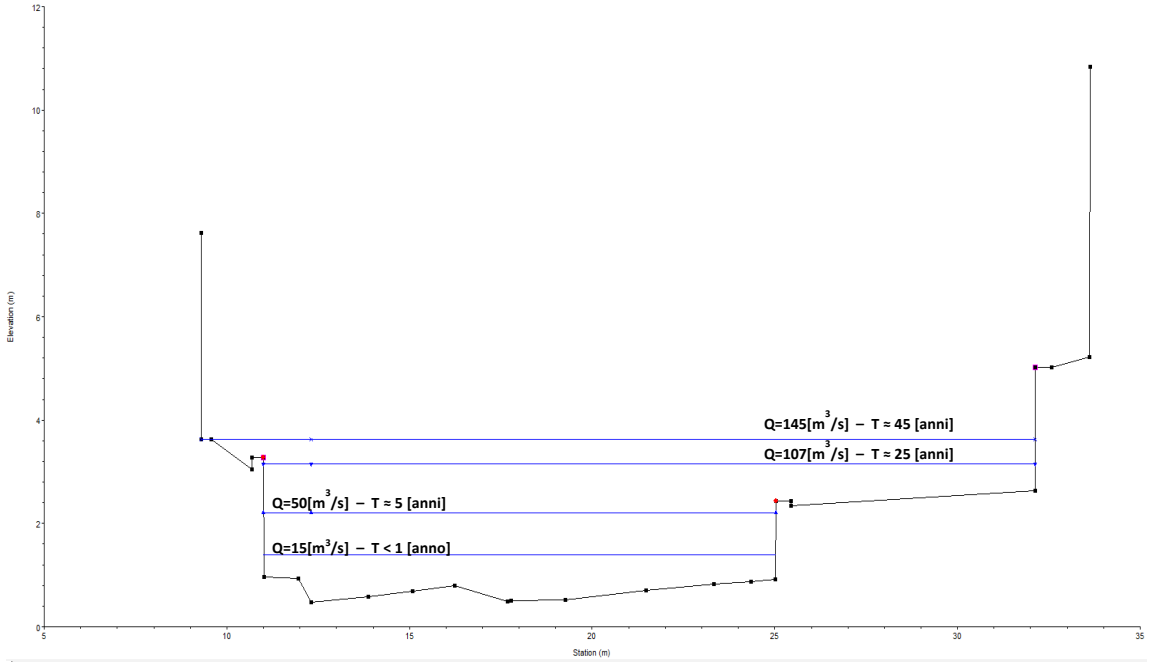


Figura 16 – Pelo libero della sezione n°8 al variare della portata

Dall'analisi dei risultati precedenti risulta evidente come, per portate sino a Q=50[m^3/s], corrispondenti ad un tempo di ritorno inferiore a circa T=5[anni], la corrente sia generalmente contenuta all'interno dell'aveo di magra e la larghezza del pelo libero possa essere valutata, con buona approssimazione, pari a circa b=15[m] per l'intero tratto oggetto di indagine. Inoltre, si può osservare come le sezioni idrauliche abbiano una forma ben assimilabile a quella rettangolare, poiché la larghezza del pelo libero rimane costante all'aumentare della portata.

Per eventi con tempi di ritorno superiori a T=5[anni], la corrente inizia ad invadere le aree golenali ove presenti.

I risultati ricavati sono validi ed identici per entrambi i profili rilevati nel 2004 e nel 2017, poiché non sono stati realizzati interventi volti a modificare in alcun modo la larghezza delle sezioni.

Dopo aver analizzato la larghezza caratteristica delle sezioni rilevate, è possibile osservare, dettagliatamente, anche l'andamento medio della pendenza del fondo alveo.

In Figura 17 e Figura 18, la pendenza media è stata calcolata attraverso una regressione lineare del profilo del fondo.

Dal confronto dei risultati appare evidente come la pendenza media del thalweg sia rimasta pressochè identica tra i due rilievi e pari a circa i_f=0.0063[-].

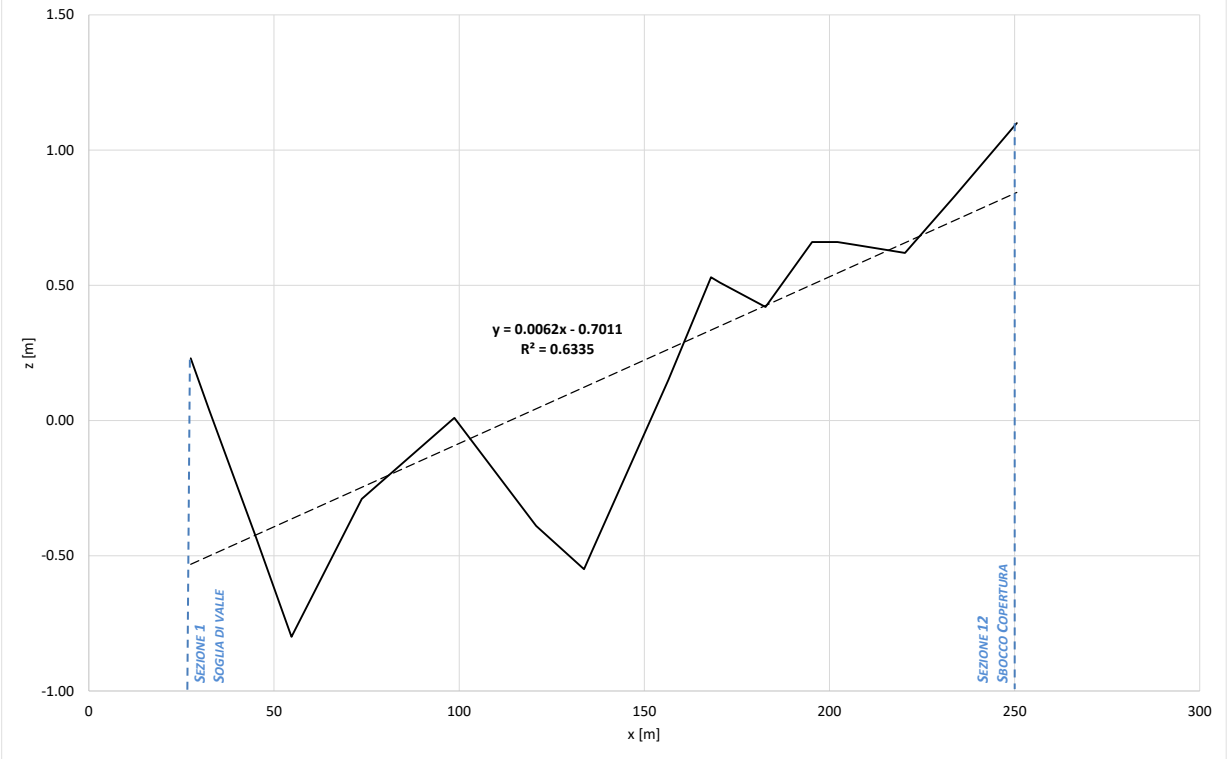


Figura 17 – Pendenza media del thalweg - Rilievo 2004

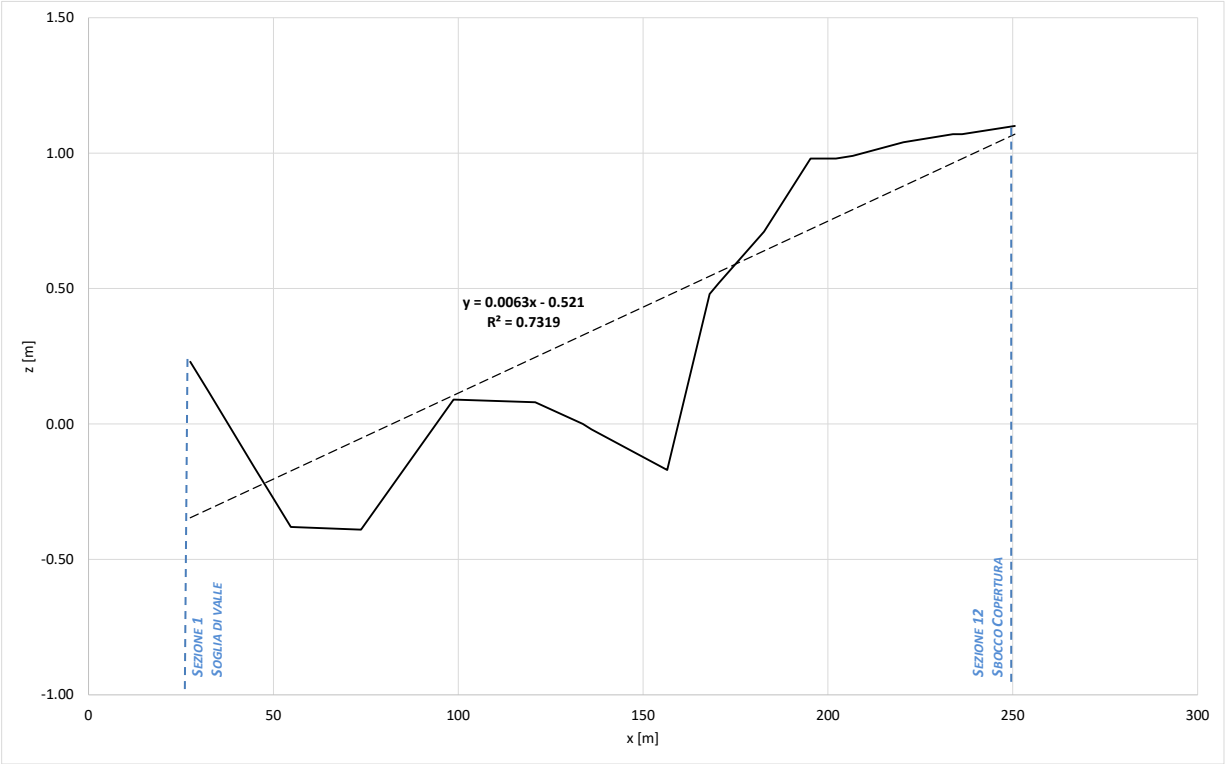


Figura 18 – Pendenza media del thalweg - Rilievo 2017

Dopo aver comparato le pendenze medie dell'alveo, risulta molto interessante confrontare direttamente anche il profilo del thalveg, come riportato nella seguente Figura 19.

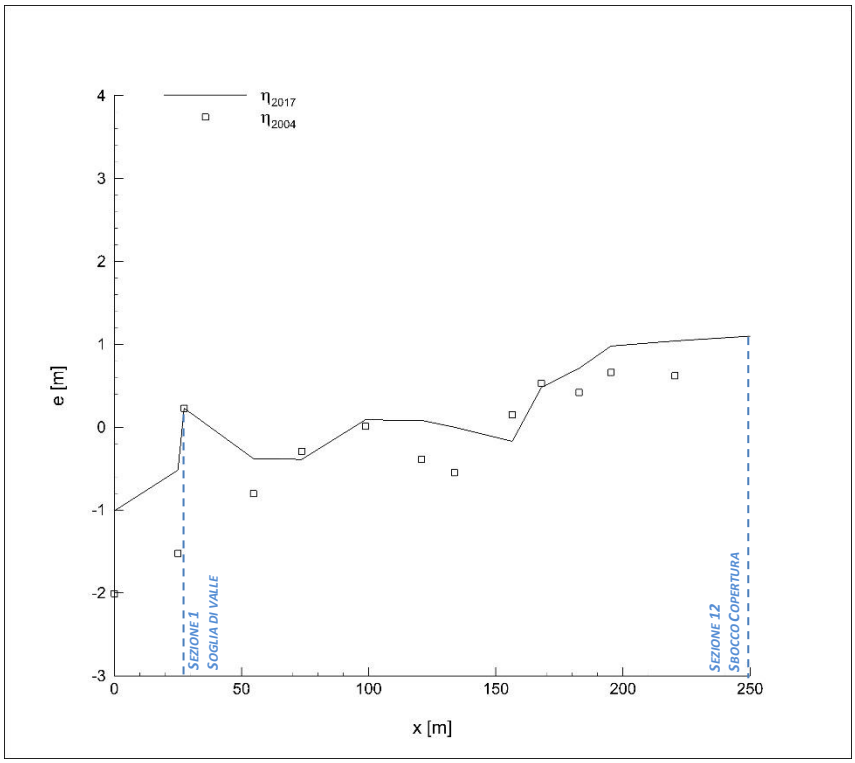


Figura 19 – Confronto tra i profili del thalweg (2004-2017)

Dal confronto si evince come, nel tratto a monte dell'esistente soglia , le quote del thalveg si presentino piuttosto simili tra i due rilievi, con differenze massime comprese nell'ordine di circa 50[cm]. La misura del thalweg, tuttavia, può essere affetta da fenomeni locali generati da svariati fattori come, ad esempio, la diversa portata transitata e la posizione del filone principale della corrente al momento del rilievo.

Risulta, pertanto, molto più interessante procedere alla comparazione in termini di fondo medio, come indicato schematicamente in Figura 20. La sezione pressochè rettangolare presente nel tratto si presta molto bene a questa operazione, poiché non presenta alcuna aleatorietà nella definizione degli estremi di integrazione. L'indicatore del fondo medio, pertanto, permette di valutare complessivamente il comportamento della sezione, filtrando la misura da eventuali effetti di scavi/depositi localizzati o barre fluviali. In presenza di depositi di forma non regolare, infatti, è alquanto comune che il thalweg (influenzato dal percorso seguito dalla corrente nelle fasi di magra) e il fondo medio possano presentare significative differenze. In particolare, è possibile che, a parità di thalweg, il fondo medio differisca notevolmente.

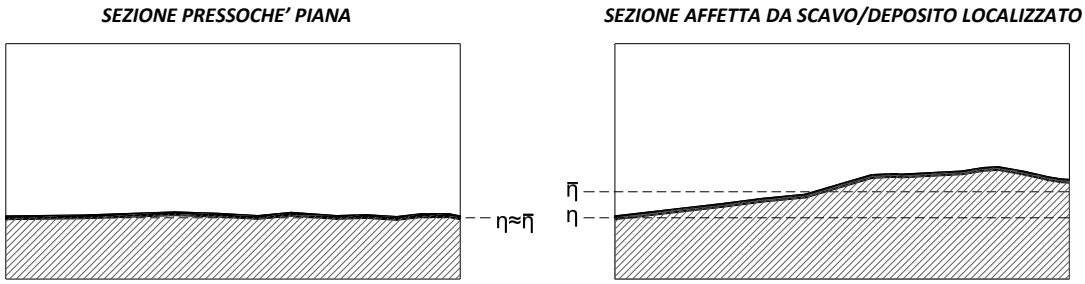


Figura 20 – Valutazione del fondo medio nella sezione rettangolare

Analizzando i risultati del confronto riportato in Figura 21, questa volta in termini di fondo medio, si può osservare come i due rilievi si presentino ancora molto più simili nel tratto a monte della soglia. Le differenze, infatti, si riducono notevolmente oscillando intorno ad un valore pari a circa 20[cm], confrontabile senza dubbio con le incertezze insite nelle analisi di natura morfodinamica.

Differente è la situazione osservabile a valle della soglia dove si può evincere come, sia in termini di thalweg sia in termini di fondo medio, tra il 2004 e il 2017 vi sia stato un accumulo di materiale.

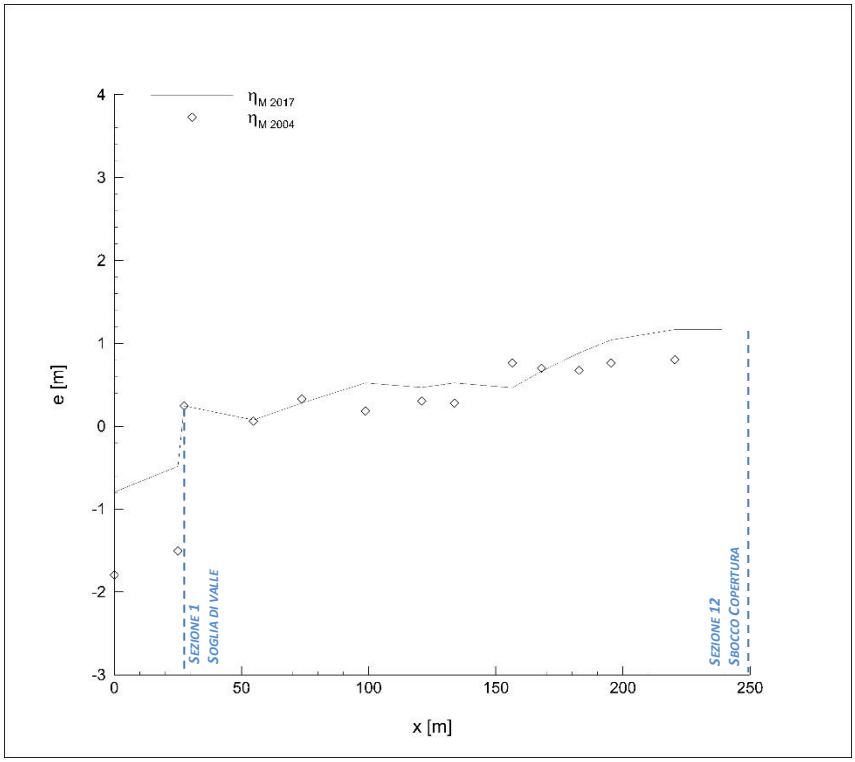


Figura 21 – Confronto tra i profili del fondo medio (2004-2017)

4.3.1. IPOTESI SUI MECCANISMI MORFODINAMICI IN ATTO

E' possibile, a questo punto, cercare di unire le osservazioni scaturite nei paragrafi precedenti in una possibile ipotesi di stabilità ed evoluzione morfodinamica che dovrà essere corroborata o confutata dal tracciamento dei profili di equilibrio.

In particolare, dai confronti effettuati, risultano possibili le seguenti osservazioni:

- ***TRATTO A MONTE DELL'ATTUALE SOGLIA FOCIVA IN CALCESTRUZZO***: dalle analisi e dai dati reperiti, è evidente come l'asta non abbia subito alcuna modifica progettuale da prima dell'anno 2004. Le sezioni e la quota del thalweg sembrerebbero essere rimaste invariate sino ad oggi. In particolar modo, il confronto tra i valori del fondo medio appartenenti ai due differenti rilievi analizzati non sembra indicare alcuna significativa variazione altimetrica. L'ipotesi più probabile, pertanto, è che il tratto in esame si trovi in una condizione di quasi-equilibrio morfodinamico;
- ***TRATTO A VALLE DELL'ATTUALE SOGLIA FOCIVA IN CALCESTRUZZO***: dal confronto tra i profili del thalveg e del fondo medio sembra plausibile la generazione di un deposito subito a valle dell'attuale soglia in calcestruzzo. Tale meccanismo potrebbe, con molta probabilità, essere generato dalla costanza del livello imposto dal medio mare che costituirebbe, pertanto, una condizione di controllo per il trasporto solido.

Per poter confermare le considerazioni precedenti, risulta strettamente necessario cercare di valutare il profilo di equilibrio dell'alveo al fine di corroborare o rivedere le tendenze evolutive che si sono ipotizzate.

Si rimanda, pertanto, al successivo capitolo §4.5.

4.4. CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEL SITO E DEFINIZIONE DEGLI EVENTI FORMATIVI

Prima di procedere alla valutazione dei profili di equilibrio è necessario definire il legame tra la portata liquida Q che sollecita l'alveo e la portata solida Q_S in arrivo da monte.

E' necessario, pertanto:

- identificare un diametro medio d_{50} caratteristico che sia rappresentativo del tratto di rio oggetto di indagine;
- identificare un intervallo di portate liquide e/o di idrogrammi formativi;

Durante la campagna in sito [G][R], lo Scrivente ha effettuato un campionamento granulometrico superficiale al fine di definire il diametro medio d_{50} dei sedimenti per poter caratterizzare quantitativamente il trasporto solido del torrente Nervi e valutare l'assetto di equilibrio dell'alveo. In Figura 22, Figura 23 e Figura 24 sono riportate la posizione del campionamento e le immagini caratteristiche tipiche dei sedimenti che si ritrovano nella sezione.



Figura 22 – Posizione del campionamento granulometrico superficiale (GOOGLE ©)

La distribuzione granulometrica superficiale è stata ricavata affiancando la classica tecnica da campo del *"Wolman Pebble Count"* con un approccio di imaging, utilizzando il software BaseGrain© dell'Istituto ETH di Zurigo, a cui si rimanda per ulteriori e più precisi dettagli.



Figura 23 – Vista della sezione oggetto di campionamento

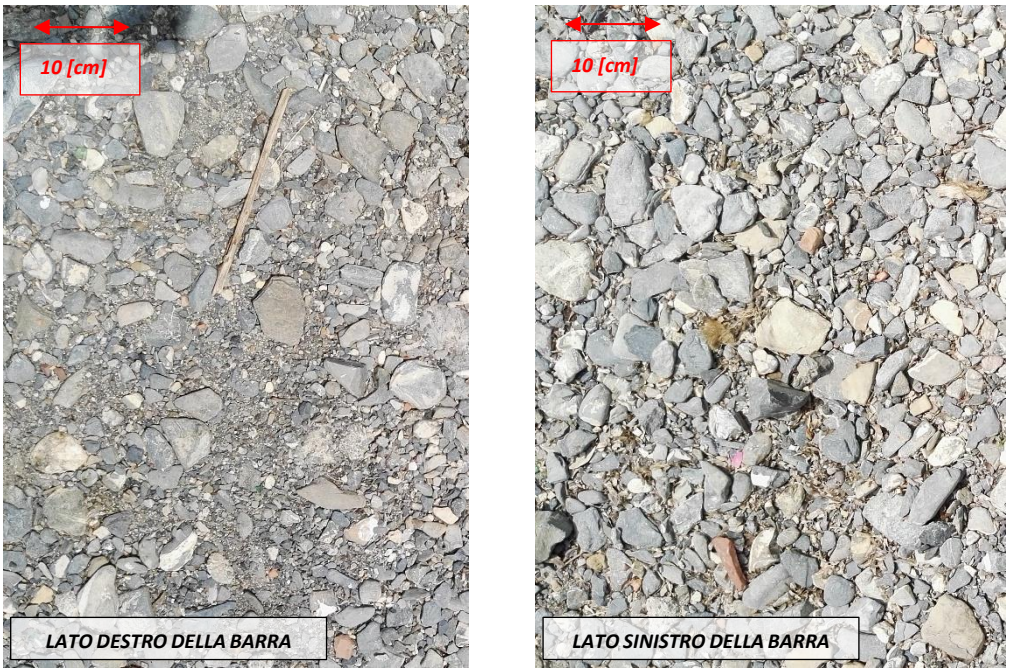
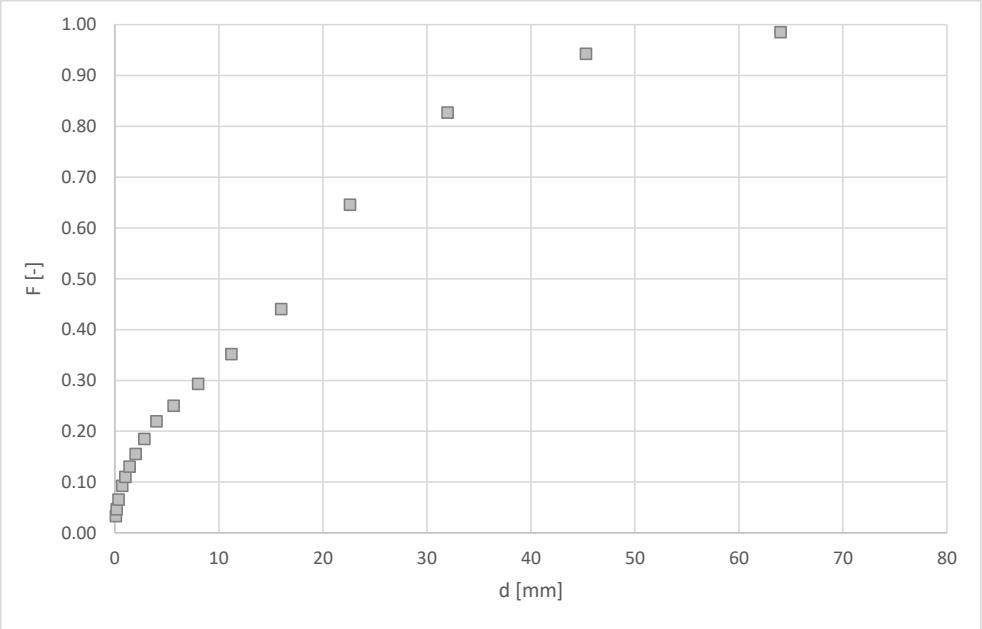


Figura 24 – Particolare della pezzature dei sedimenti rilevati in superficie

Entrambe le tecniche hanno fornito risultati comparabili.

In Figura 25 è riportata la curva cumulata e la tabella riassuntiva dei diametri caratteristici elaborati.



$F_{CUMULATA}$ [-]	d [mm]
0.35	11
0.50	***19***
0.65	23

Figura 25 – Curva granulometrica cumulata e diametri caratteristici

Per la caratterizzazione del trasporto solido, pertanto, si assume un diametro caratteristico medio pari a d_{50}=20 [mm].

In Figura 26, a titolo di esempio, è riportato qualitativamente uno degli estratti del software BaseGrain® nel quale, in automatico, sono rilevati gli assi caratteristici dei sedimenti.

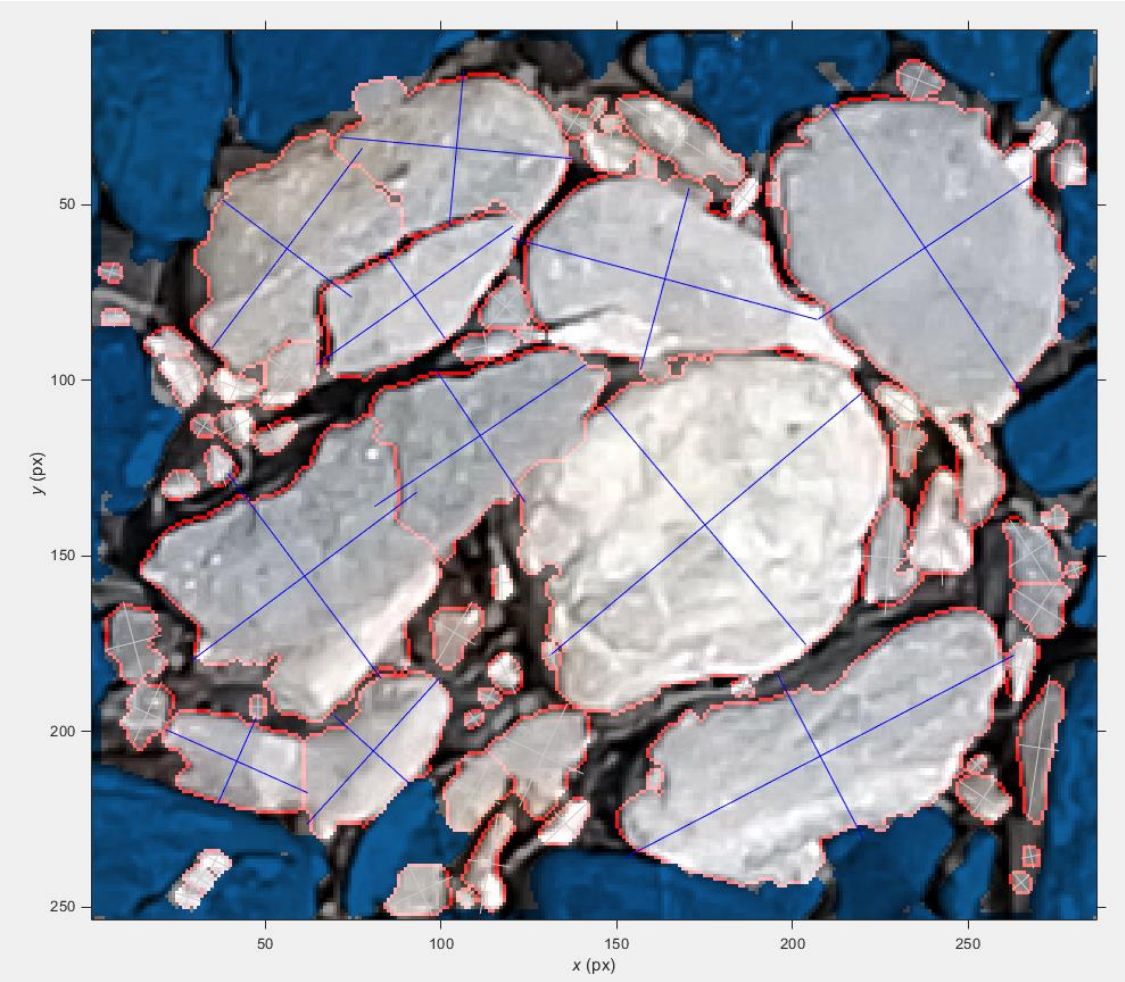


Figura 26 – Output qualitativo del software BaseGrain©

Dopo aver caratterizzato la granulometria tipica dell'alveo occorre definire quali siano gli eventi formativi in grado di sollecitare il torrente Nervi e plasmare il fondo di equilibrio. Nel precedente paragrafo §3 sono state determinate le portate al picco attraverso il Piano di Bacino [1] e il DGR359/2008[7].

In generale, come evidenziato dalla numerosa letteratura scientifica disponibile, **il profilo di equilibrio di un corso d'acqua è influenzato e definito da portate formative aventi un tempo di ritorno piuttosto ridotto**, molto spesso compreso nel range degli eventi frequenti con periodi di accadimento anche di 0.5-5[anni]. La portata formativa, quindi, è molto distante da quella che caratterizza gli eventi estremi utili per la progettazione degli interventi di adeguamento idraulico.

Dalle analisi svolte nei capitoli precedenti, quindi, il range di portate formative indagato nel presente studio preliminare sarà compreso tra circa 20[m^3/s] e 50[m^3/s], corrispondente ad un tempo di ritorno inferiore a T=5[anni] e completamente contenuto all'interno dell'alveo inciso.

Dopo aver selezionato il tempo di ritorno degli eventi ritenuti formativi che si intende analizzare, occorre associare, alla portata liquida, un valore ben determinato di portata solida. In questa fase si assume una distribuzione costante dei sedimenti pari al diametro caratteristico d_{50} e un coefficiente di scabrezza uniforme in tutto il tratto.

Inoltre, nella zona oggetto di indagine, data l'assenza di affluenti e la minima estensione del tratto, è possibile definire come costanti sia la portata liquida Q, sia la portata solida Q_S.

Definita la geometria della sezione, fissato il diametro caratteristico dei sedimenti, impostata una relazione di trasporto e ipotizzata una profondità per la corrente, il legame tra la portata liquida Q e la portata solida Q_S è determinato e può essere agilmente ricavato integrando il valore locale della portata solida per unità di larghezza lungo la sezione.

$$Q_S = \int_0^b q_s \, dl$$

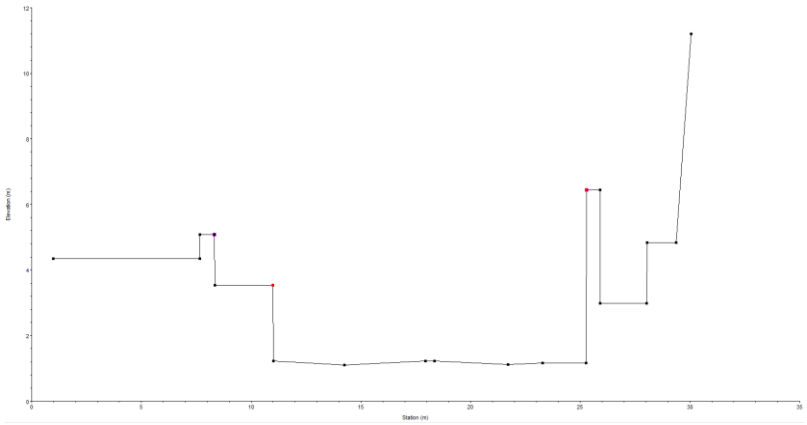
- b — Larghezza utile al trasporto nella sezione di calcolo
- $q_S = \phi\sqrt{(s-1)gd^3}$ — Portata solida per unità di larghezza;
- $\phi = \phi(\theta)$ — Formula di trasporto adottata
- $\theta = \frac{R(y)\, j}{(s-1)}$ — Tensione tangenziale locale al fondo
- $d=d_{50}$ — Diametro caratteristico dei sedimenti
- s — Densità specifica relativa dei sedimenti
- R — Raggio idraulico della sezione
- j — Pendenza dei carichi energetici

Data la granulometria relativamente grossolana del torrente Nervi ed esclusa, pertanto, l'eventualità di significativo trasporto in sospensione, la legge di trasporto assunta nelle simulazioni e nei profili di equilibrio è quella di ***Parker***, alla cui bibliografia si rimanda per una trattazione dettagliata e completa.

Per poter calcolare la quantità di sedimenti trasportata dalla corrente, occorre ancora definire una sezione di riferimento e un legame tra la portata liquida e la profondità.

Come sezione di riferimento si assume la sezione n°12, relativa al rilievo più recente del giugno 2017, in uscita dalla copertura di via Oberdan.

Il legame tra la portata liquida e la profondità della corrente sarà il moto localmente uniforme.



d_{50} = 20 [mm]

Formula di Parker

Moto uniforme

La portata solida Q_S associata alla portata liquida Q dipende ora solo dalla pendenza di moto localmente uniforme i_R prescelta. In questa fase, essa assume soltanto il significato di un *parametro di riferimento* e non rappresenta fisicamente alcuna pendenza longitudinale del thalweg, poiché dipende strettamente dalla sezione prescelta.

Il parametro fisico di interesse è, al contrario, la portata solida Q_S associata alla portata liquida Q e poiché, a priori, tale legame non è noto, esso dovrà essere stimato dall'analisi dei profili di equilibrio. E' necessario, pertanto, ipotizzare un intervallo di variazione per la *pendenza di riferimento di moto uniforme i_R*.

Occorre ricordare che, indipendentemente dalla sezione di riferimento scelta e dal range di pendenze indagato, purchè sufficientemente esteso, il risultato delle analisi sulla ricerca del profilo di equilibrio risulterà poco influenzato dai predetti valori.

Tale proprietà è alla base della robustezza dell'approccio proposto inerente la ricerca del profilo di equilibrio morfodinamico che viene a rappresentare, pertanto, una caratteristica identificativa propria del tratto oggetto di indagine.

In prima approssimazione, è possibile scegliere come intervallo di variazione della pendenza di riferimento un valore variabile tra i_R=0.003[-] e i_R=0.007[-], cercando di inviluppare abbondantemente i valori di pendenza del thalweg che si rilevano in sito nei tratti dove la larghezza delle sezioni è prossima a quella assunta con la sezione di riferimento.

4.5. VALUTAZIONE DEI PROFILI DI EQUILIBRIO

4.5.1. PREMESSA

Nei paragrafi precedenti si è potuto notare come il carattere mobile del fondo alveo implichi direttamente che il dominio in cui si sviluppa il moto vari nel tempo, in un processo di mutua interazione tra la corrente fluida e l'alveo incoerente che la contiene. In pratica, il torrente risponde alle variazioni e agli interventi che ne modificano la geometria adattando, ove possibile, il proprio thalweg in conformità alla semplice equazione di Exner (a cui si rimanda per una più completa trattazione) che governa la morfodinamica della corrente.

Di seguito si riporta la forma integrata dell'equazione di Exner 1D in assenza di trasporto in sospensione.

$$(1-p)b_f \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial Q_S}{\partial x} = q_{sl}$$

$\bar{\eta}$	Fondo medio della sezione
b_f	Larghezza del fondo in cui avviene il trasporto
p	Porosità dei sedimenti
q_{sl}	Afflussi laterali di sedimenti
Q_S	Portata solida totale nella sezione

Ad una prima analisi l'equazione di Exner suggerisce immediatamente una importantissima caratteristica che governa l'evoluzione degli alvei fluviali, ossia che **l'equilibrio morfodinamico non è affatto influenzato dal valore e dall'entità del trasporto solido Q_S ma solamente dalla sua variazione spaziale $\vartheta Q_S / \vartheta x$.**

Il valore assoluto del trasporto, infatti, governa unicamente la dinamica temporale, ossia la velocità con la quale l'equilibrio o gli stadi dell'evoluzione vengono raggiunti.

La valutazione dei profili di equilibrio a fondo mobile, quindi, costituisce un potentissimo e semplice strumento in grado di fornire significative informazioni sulle dinamiche attualmente in corso negli alvei indagati, nonché sulla stabilità e sull'utilità delle future soluzioni progettuali.

Semplici considerazioni sulla ben nota equazione di Exner mostrano che una soluzione stazionaria del problema a fondo mobile può ottenersi agilmente allorquando la portata solida e la portata liquida siano costanti nel tempo in tutto il tratto e pari, quindi, alle portate in ingresso, in assenza di apporti laterali lungo l'alveo.

Inoltre, per ogni valore di portata liquida Q assegnato, esiste, in ogni sezione del tratto considerato, un unico valore di profondità Y che soddisfa la costanza della portata solida Q_S.

A tale profondità Y, data la costanza della portata liquida Q, corrisponde un unico valore del carico cinetico H. In condizioni di equilibrio morfodinamico sono cioè univocamente definite le caratteristiche geometriche e cinematiche della corrente e, in particolare, *il carico specifico E* e *la perdita di carico totale per unità di lunghezza j*. Pertanto, l'assetto del fondo è semplicemente determinato dall'integrazione dell'equazione del moto nella forma:

$$\frac{dH}{dx} = -j$$

La semplice procedura sopra descritta permette, quindi, di determinare gli assetti di equilibrio del fondo e della superficie libera note le caratteristiche geometriche e sedimentologiche dell'alveo, la portata liquida e solida in ingresso e il valore del carico totale in una qualunque sezione.

Nell'integrazione delle equazioni occorre, tuttavia, tener presente alcune considerazioni:

- i profili di equilibrio discendono dalla relazione di Exner e dall'equazione di conservazione dell'energia e ne mantengono inalterate le ipotesi di base. Quindi, tutti i fenomeni nei quali le caratteristiche della corrente si discostano da un moto prettamente unidimensionale e lentamente variato, ovviamente, non potranno essere colti dai profili di equilibrio.
- i profili di equilibrio sono tracciati sulla base di una portata liquida e solida costante in tutte le sezioni e durevole per un tempo indeterminato. Quindi, nell'interpretazione dei risultati calcolati, occorrerà tener conto del fatto che, nella realtà dei fatti, il fondo naturale rilevato è il risultato di una serie finita di idrogrammi;

Il primo punto implica, necessariamente, che i fenomeni di natura bidimensionale o tridimensionale quali, ad esempio, scavi localizzati intorno alle pile di un ponte, scavi localizzati a valle di un salto di fondo, scavi localizzati in prossimità di una curva, presenza di barre alternate o altri meccanismi similari non possono essere colti dal profilo di equilibrio e, pertanto, dovranno essere correttamente interpretati dal Tecnico.

Il secondo punto, più articolato, implica le seguenti considerazioni.

Come ricordato precedentemente, fissate le portate liquide e solide in ingresso da monte, i profili di equilibrio a fondo mobile forniscono la soluzione stazionaria a lungo termine relativa al profilo del fondo alveo.

Al contrario, per quanto concerne il rilievo geometrico:

- in generale, non è possibile conoscere con precisione se il profilo del fondo rilevato abbia già raggiunto o meno un equilibrio e, quindi, se la sua evoluzione si sia già arrestata. Infatti, non si dispone, quasi mai, di informazioni sufficienti e ravvicinate nel tempo relative alle modifiche subite dall'alveo;
- il fondo rilevato è il risultato di una serie di idrogrammi e non, al contrario, di una portata costante per un tempo indefinito;

Queste due considerazioni implicano, necessariamente, i seguenti passi procedurali:

1. **nel rio oggetto di indagine è necessario identificare i tratti che non hanno subito interventi progettuali o modifiche esterne per un tempo sufficientemente lungo**.

   In queste zone, infatti, ipotizzando che la morfodinamica abbia potuto operare per un intervallo di tempo adeguato è lecito supporre che la configurazione rilevata sia abbastanza vicina all'equilibrio;

2. **occorre tracciare i profili di equilibrio per diverse pendenze di riferimento i_R**, al fine di poter scegliere quella che più si avvicina a descrivere meglio l'andamento dell'alveo rilevato nei tratti descritti al punto precedente;
3. **per ogni pendenza di riferimento i_R è utile tracciare i profili di equilibrio per un intervallo significativo di portate** in modo da inviluppare, all'interno di una fascia di accettabilità, il fondo rilevato.

Tutto ciò premesso è possibile procedere all'integrazione dei profili di equilibrio.

4.5.2. RILIEVO ANNO 2017

Il confronto tra il fondo rilevato e i profili di equilibrio sarà effettuato sul rilievo più recente, commissionato dallo Scrivente nel giugno dell'anno 2017.

Data l'assenza di interventi progettuali nell'intero tratto indagato, si dispone di almeno 13 anni di possibile evoluzione (2004-2017).

La condizione al contorno per l'integrazione dei profili di equilibrio può essere definita in modo robusto e consistente lungo l'intero il tratto. Per quanto concerne le sezioni che si estendono dal porticciolo sino alla soglia esistente, infatti, la condizione al contorno di valle è rappresentata certamente dall'invariabile livello del medio mare che, nel range di portate formative utilizzato, può essere assunto pari a 0.0[m slm]. E' agevole, pertanto, integrare verso monte i profili di equilibrio dalla sezione di sbocco sino alla soglia esistente.

Dopo aver applicato l'equazione di conservazione dell'energia e risolto il moto nella sezione inerodibile della soglia esistente, è possibile continuare l'integrazione verso monte delle equazioni di equilibrio di Exner, utilizzando come condizione al contorno la transizione per la profondità critica sulla testa del salto di fondo. Tale ipotesi è stata verificata con successo a posteriori, controllando che i profili ottenuti fossero tutti quanti subcritici almeno in prossimità del tratto a monte della soglia.

In Figura 27, a titolo esemplificativo, è rappresentato il confronto tra il fondo rilevato nel 2017 e due profili di equilibrio, caratterizzati da due diverse coppie (Q_L,i_R), derivanti dall'integrazione dell'equazione di Exner.

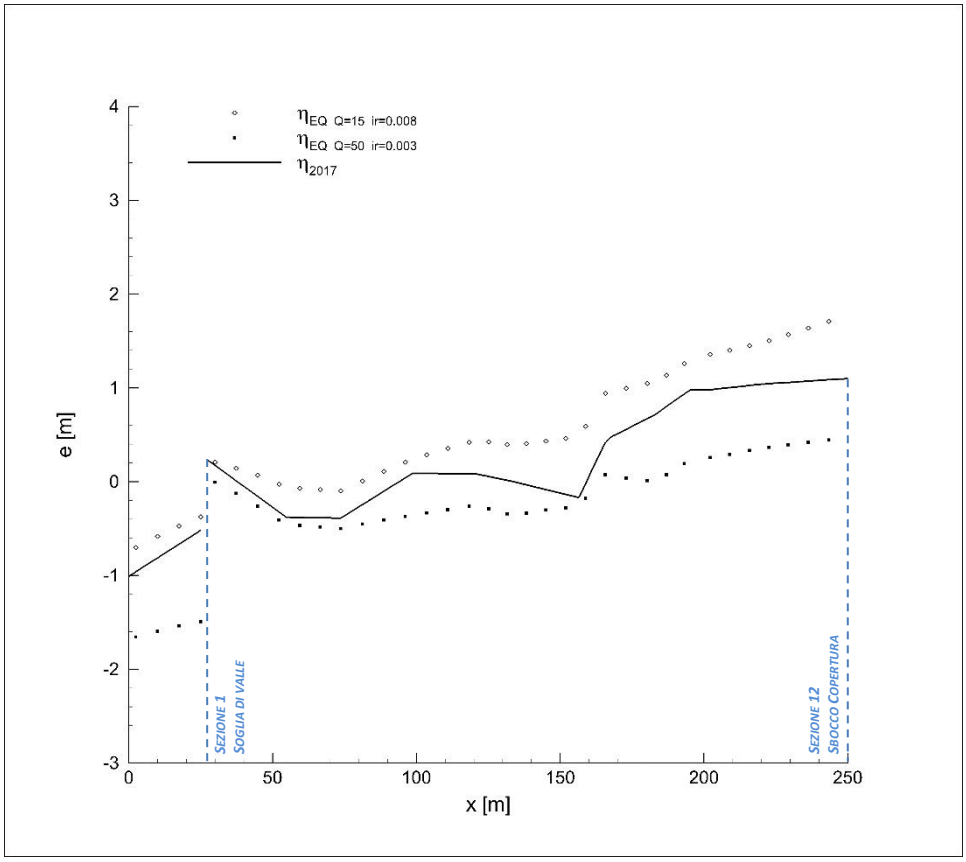


Figura 27 – Confronto, a titolo d'esempio, tra il fondo rilevato nel 2017 e due generici profili di equilibrio

Per ogni profilo di equilibrio calcolato è possibile valutare la differenza, in termini di area o di scarto quadratico medio areale, rispetto al profilo rilevato. Appare evidente come esista una coppia (Q_L,i_R), o meglio (Q_L,Q_S), che minimizza questa differenza.

Tale coppia di valori, rappresentando il profilo che meglio si adatta al tratto rilevato, ammesso che quest'ultimo possa essere considerato in condizioni di quasi-equilibrio, costituisce le condizioni formative dell'alveo oggetto di indagine.

Quindi, analizzando circa 1700 coppie (Q_L,Q_S) negli intervalli descritti precedentemente al paragrafo §4.4, è stato possibile stimare le condizioni formative per il tratto in esame, applicando la seguente procedura:

- per ogni pendenza di riferimento i_R[-] sono stati generati tutti i profili di equilibrio nell'intervallo di portate liquide formative assunto;
- per ogni profilo di equilibrio è stato valutato l'errore quadratico medio, in termini areali, nei confronti del fondo rilevato nel 2017 nel tratto ritenuto stabile, a monte dell'esistente briglia;

Svolte queste operazioni, infine, è stato possibile riportare su un grafico, in funzione della pendenza di riferimento i_R, il minimo valore dello scarto areale quadratico medio rilevato tra tutti i profili di equilibrio tracciati con la suddetta pendenza i_R.

I risultati sono riportati in Figura 28.

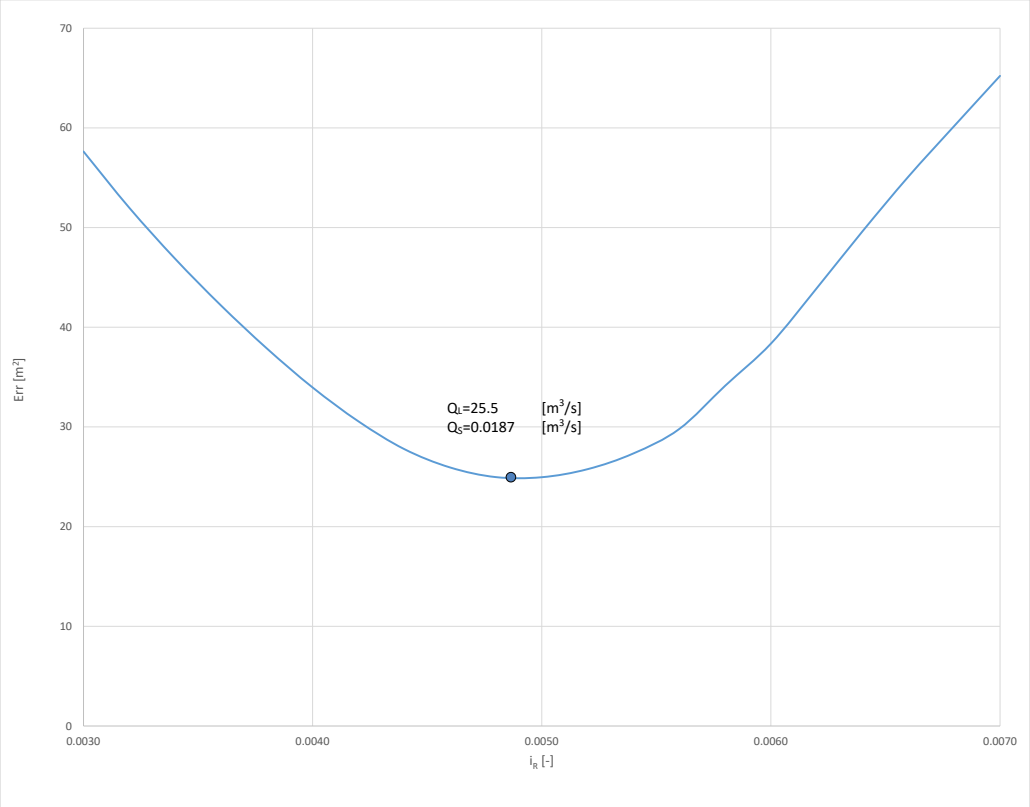


Figura 28 – Ricerca delle condizioni formative

Dall'analisi di questi ultimi, appare evidente come, in generale, esista una coppia (Q_L,Q_S) che minimizzi in termini assoluti il valore dell'errore quadratico medio areale tra il profilo di equilibrio generato e il fondo rilevato nel tratto ritenuto stabile.

Tale configurazione (Q_L,Q_S), riportata in Tabella 2, può essere ragionevolmente assunta come "*condizione formativa*".

PORTATA LIQUIDA Q [m³/s]	**PORTATA SOLIDA Q_S [m³/s]**
25.5	*0.0187*
Pendenza di riferimento SEZIONE 12	
0.0046	

Tabella 2 – Stima delle condizioni formative per il torrente Nervi

In Figura 29 è possibile osservare l'ottimo accordo tra il profilo rilevato e il profilo di equilibrio.

Le differenze sono contenute entro uno scarto massimo di circa 25-30[cm].

Il profilo di equilibrio riproduce correttamente il deposito di sedimenti di circa 100[cm] registrato a valle dell'esistente soglia.

Nel tratto a monte del ponte romanico, inoltre, sembra essere presente una lieve erosione, anche quest'ultima parzialmente osservata in sito (Figura 11 e Figura 12).

Nel grafico sono presenti anche il livello del pelo libero (h), il livello della profondità critica (h_c) e la linea dei carichi totali (H) che si realizzeranno all'equilibrio.

Dalla figura risulta evidente una delle principali caratteristiche dei profili di equilibrio, ossia la tendenza a compensare eventuali disuniformità del moto dovute a variazione di larghezza dell'alveo attraverso processi di erosione e deposito che modificano la quota del fondo medio fino a consentire alla corrente di defluire con una profondità molto prossima alla profondità di moto localmente uniforme e una pendenza dei carichi totali pressoché costante.

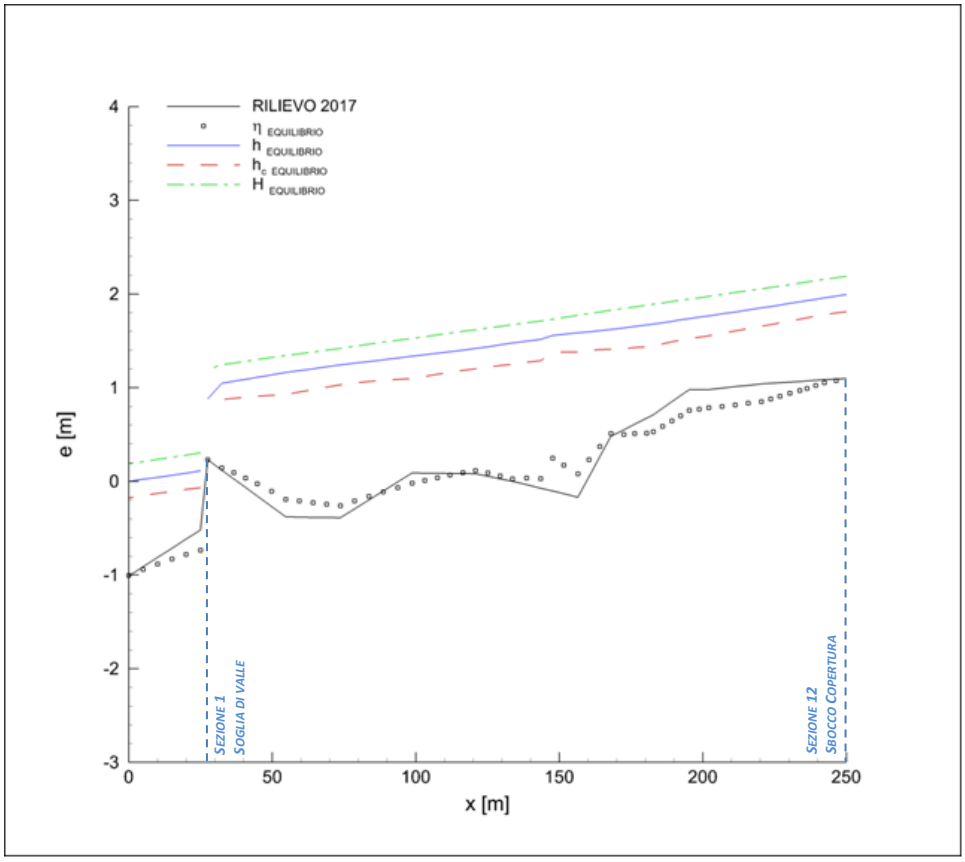


Figura 29 – Profilo di equilibrio e confronto con il rilievo 2017. Fondo (η), pelo libero (h) e profondità critica (h_c)

5. VALUTAZIONE DELLA STABILITA' MORFODINAMICA DELL'INTERVENTO PROGETTUALE

Dopo aver tracciato i profili di equilibrio e, quindi, identificato il rapporto esistente tra le portate liquide e gli apporti solidi per il tratto terminale del torrente Nervi oggetto di studio, diviene possibile utilizzare tale strumento per la valutazione della stabilità degli interventi progettuali proposti e per la stima più realistica delle eventuali operazioni di manutenzione ordinaria necessarie, nonché delle eventuali misure aggiuntive da intraprendere per un più completo intervento di messa in sicurezza.

5.1. CONFIGURAZIONE ESISTENTE

Nel tratto interessato dall'intervento le caratteristiche dimensionali dell'alveo e dei manufatti con esso interferenti, necessarie per condurre le analisi idrauliche, sono state ricavate dal rilievo topografico di dettaglio commissionato dallo Scrivente nel giugno del 2017. Per la geometria del tratto terminale della copertura di via Oberdan si è fatto riferimento alle sezioni disponibili nel Piano di Bacino [1], nonché ad un precedente studio di fattibilità, messo a disposizione dall'Amministrazione, nel quale le sezioni terminali della tombinatura erano state ricavate dal progetto esecutivo di canalizzazione, nonché da misure prese in sito. Come evidenziato nei capitoli precedenti, in tutto il tratto a cielo aperto, le sezioni delimitate da argini in calcestruzzo, da argini in pietrame e da edifici aggettanti in alveo, hanno forma sostanzialmente rettangolare; nel tratto in curva, tra le sezioni n°6 e n°8, sono maggiormente evidenti i segni di erosione in sponda sinistra e lo scalzamento al piede dell'argine ad opera della corrente.

La verifica idraulica è stata effettuata con il consolidato software HECRAS 5.0.3/2016©, prodotto dalla U.S Army Corps of Engineers, per l'analisi stazionaria dei profili di rigurgito di correnti subcritiche, supercritiche o in regime misto e di transizione, alla cui ampia letteratura si rimanda per tutti i detagli tecnici.

La portata di progetto, definita al precedente paragrafo §3 e avente tempo di ritorno pari a T=200[anni], i parametri di scabrezza e le condizioni al contorno utilizzate nell'analisi sono definite in Tabella 3.

CONDIZIONE AL CONTORNO	PORTATA Q [m^3/s]	PROFONDITA' Y [m]
MONTE	207	CRITICA
VALLE	-	0.5

	Scabrezza (Strickler) k_s [$m^{1/3}/s$]
Copertura	35
Tratto a cielo aperto	35

Tabella 3 – Portata di progetto e condizioni al contorno

La scabrezza è stata valutata in coerenza con quanto indicato nel Piano di Bacino per *"corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo"*. Ulteriormente, il valore assunto è stato confrontato con il coefficiente di Strickler derivante dall'analisi granulometrica (§4) per mezzo delle note relazioni di Parker (1991):

$$k_s = \frac{21}{d_{50}^{1/6}} = 40.3[\frac{m^{1/3}}{s}]$$

$$k_s = \frac{23}{d_{90}^{1/6}} = 35.8[\frac{m^{1/3}}{s}]$$

A favor di sicurezza si è assunto il limite inferiore nell'intervallo indicato dalle precedenti equazioni pari a k_s=35[$m^{1/3}/s$].

Le verifiche, condotte per la portata duecentennale Q_{200}=207[m^3/s], hanno messo in evidenza che il tratto a cielo aperto è caratterizzato da un deflusso in regime di corrente lenta, con velocità medie generalmente variabili tra 3.0[m/s] e 6.0[m/s]. Il profilo di corrente lenta è originato dalla transizione imposta sulla testa della soglia di valle nella sezione n°1.

Il rigurgito subcritico giunge sino al ponte romanico presente nella sezione n°10.

Dato che il livello del pelo libero invade la golena e interessa completamente il fornice minore del ponte, il restringimento creatosi innalza ulteriormente il livello a monte della struttura. Tuttavia, relativamente alla verifica dell'attraversamento, il franco di Normativa, pari a 100[cm], è ampiamente garantito per più di 2/3 della luce libera dell'attraversamento.

La corrente lenta, quindi, si propaga ulteriormente verso monte sino a raggiungere la copertura al di sotto di via Oberdan e a penetrare all'interno di essa. Un'analisi di sensibilità effettuata variando il coefficiente di scabrezza all'interno della tombinatura non altera significativamente la situazione: con una scabrezza pari a 30[$m^{1/3}/s$] la corrente lenta riesce a risalire nella copertura per tutto il tratto modellato; al contrario, con una scabrezza pari a 45[$m^{1/3}/s$], valore più plausibile data l'assenza di sedimenti presenti sul fondo della soletta

di calcestruzzo, la corrente in arrivo da monte si presenta supercritica e il risalto idraulico si attesta comunque in prossimità dello sbocco.

Il profilo stazionario è riportato in Figura 30.

L'analisi dello stato di fatto per il tratto a cielo aperto, quindi, individua le seguenti criticità:

- nella sezione di sbocco della copertura, sebbene il carico cinetico sia contenuto al di sotto dell'intradosso non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 150[cm]. Il pelo libero della corrente transita con un franco superiore ai 100[cm];
- a monte del ponte, in entrambe le sponde, non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 50[cm]; l'acqua lambisce le teste arginali le quali, in sponda destra, sono rappresentate dagli stessi edifici che costituiscono il limite demaniale;
- a valle del ponte, in sponda sinistra, non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 50[cm]; a valle della sezione n°8.9 l'edificio stesso, aggettante in alveo, costituisce struttura arginale;
- a valle del ponte , in sponda destra, non è garantito il franco minimo di Normativa pari a 50[cm]; a valle della sezione n°9 gli edifici stessi, aggettanti in alveo, costituiscono struttura arginale;

Ulteriormente, sempre in sponda destra, a valle del ponte romanico, in prossimità della stazione di pompaggio della rete nera, è presente un cancello non stagno di accesso all'area. Come precedentemente indicato, inoltre, gli edifici immediatamente a valle costituiscono essi stessi il rilevato arginale con la presenza di aperture (porte e finestre) aggettanti direttamente in alveo.

In sponda sinistra, a valle della sezione n°7, al di sopra del muro spondale in calcestruzzo è presente l'argine naturale costituito dal fianco vegetato della sezione e non è necessario alcun tipo di provvedimento.

L'analisi delle criticità riscontrate, in definitiva, è sostanzialmente concorde con quella condotta nella verifica idraulica contenuta nel Piano di Bacino del torrente Nervi [1].

I risultati sono riportati nella successiva Tabella 4, tenendo in conto anche gli effetti della curva presente a valle del ponte romanico.

5.1.1. VALUTAZIONE DELLA SOPRAELEVAZIONE PER EFFETTO DELLA CURVA

Nel tratto compreso tra le sezioni n°8 e n°6, il pelo lbero della corrente risente dell'influenza della curvatura dell'asse. Tale effetto sulla corrente subcritica produce un'inclinazione trasversale della superficie liquida per azione della forza centrifuga. Il dislivello totale ΔY fra la sopraelevazione sulla sponda esterna (sinistra) e la depressione su quella interna (destra) è calcolabile per mezzo della seguente equazione:

$$\Delta Y = \frac{U^2 b}{g r_m}$$

in cui:

- U [m/s] velocità media della corrente;
- b [m] larghezza del pelo libero;
- r_m [m] raggio medio della curva, pari a 42.5 [m]

A favor di sicurezza, il livello della corrente in sponda sinistra è stato, quindi, incrementato del valore ΔY/2, mentre, in sponda destra, è stata trascurata la depressione indotta dalla curvatura.

I risultati sono riportati in Tabella 4.

SEZ	WS	ΔWS_{CV}	WS_{SX}	WS_{DX}	EG	FR	$(WS+FR)_{SX}$	$(WS+FR)_{DX}$	MAX_{SX}	MAX_{DX}	L_{SX}	L_{DX}	CHK_{SX}	CHK_{DX}
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
15	4.42		4.42	4.42	5.49	1.00	5.42	5.42	5.49	5.49	5.84	5.84	0.35	0.35
12	4.66		4.66	4.66	5.36	0.50	5.16	5.16	5.36	5.36	5.08	5.74	-0.28	0.38
11	4.63		4.63	4.63	5.24	0.50	5.13	5.13	5.24	5.24	4.83	4.70	-0.41	-0.54
10.1	4.08		4.08	4.08	5.14	0.50	4.58	4.58	5.14	5.14	4.68	4.58	-0.46	-0.56
9	4.31		4.31	4.31	4.91	0.50	4.81	4.81	4.91	4.91	5.54	4.49	0.63	-0.42
8.9	4.28		4.28	4.28	4.87	0.50	4.78	4.78	4.87	4.87	4.79	2.86	-0.08	-2.01
8	4.28	0.34	4.62	4.28	4.84	0.50	5.12	4.78	5.12	4.84	3.62	2.63	-1.50	-2.21
7	4.33	0.26	4.59	4.33	4.78	0.50	5.09	4.83	5.09	4.83	6.80	2.39	1.71	-2.44
6	3.71	0.41	4.12	3.71	4.65	0.50	4.62	4.21	4.65	4.65	6.95	2.67	2.30	-1.98
5	3.73		3.73	3.73	4.56	0.50	4.23	4.23	4.56	4.56	6.30	2.27	1.74	-2.29
4	3.57		3.57	3.57	4.48	0.50	4.07	4.07	4.48	4.48	5.60	2.57	1.12	-1.91
3	3.73		3.73	3.73	4.29	0.50	4.23	4.23	4.29	4.29	6.25	2.47	1.96	-1.82
2	3.59		3.59	3.59	4.23	0.50	4.09	4.09	4.23	4.23	6.00	2.46	1.77	-1.77
1	2.80		2.80	2.80	4.07	0.50	3.30	3.30	4.07	4.07	6.00	3.39	1.93	-0.68
0.5	1.08		1.08	1.08	3.23	0.50	1.58	1.58	3.23	3.23	6.00	2.52	2.77	-0.71

BRIDGE	WS	EG	FR	(WS+FR)	MAX	I	CHK	TW	TW%
10.05 BR U	3.91	5.14	1.00	4.91	5.14	8.73	3.59	14.37	78%
10.05 BR D	3.91	5.14	1.00	4.91	5.14	8.73	3.59	14.37	78%

SEZ	-	Sezione trasversale
WS	-	Livello della superficie libera
ΔWS_{CV}	-	Incremento di livello della superficie libera in sponda sinistra per effetto della curvatura
WS_{SX}	-	Livello della superficie libera in sponda sinistra
WS_{DX}	-	Livello della superficie libera in sponda destra
EG	-	Livello del carico totale
FR	-	Franco assunto
MAX_{SX}	-	Inviluppo di $(WS+FR)_{SX}$ ed EG
MAX_{DX}	-	Inviluppo di $(WS+FR)_{DX}$ ed EG
L_{SX}	-	Quota della sommità arginale in sponda sinistra
L_{DX}	-	Quota della sommità arginale in sponda destra
CHK_{SX}	-	Differenza tra L_{SX} e MAX_{SX} (Profilo non verificato se $\Delta<0$)
CHK_{DX}	-	Differenza tra L_{DX} e MAX_{DX} (Profilo non verificato se $\Delta<0$)
I	-	Intradosso dell'impalcato del ponte
TW	-	Larghezza del pelo libero per cui è garantito il franco
TW%	-	Percentuale della larghezza totale del ponte su cui è garantito il franco (Profilo non verificato se <2/3=66%)

Tabella 4 – STATO DI FATTO - Profilo stazionario con portata duecentennale Q=207[m^3/s]

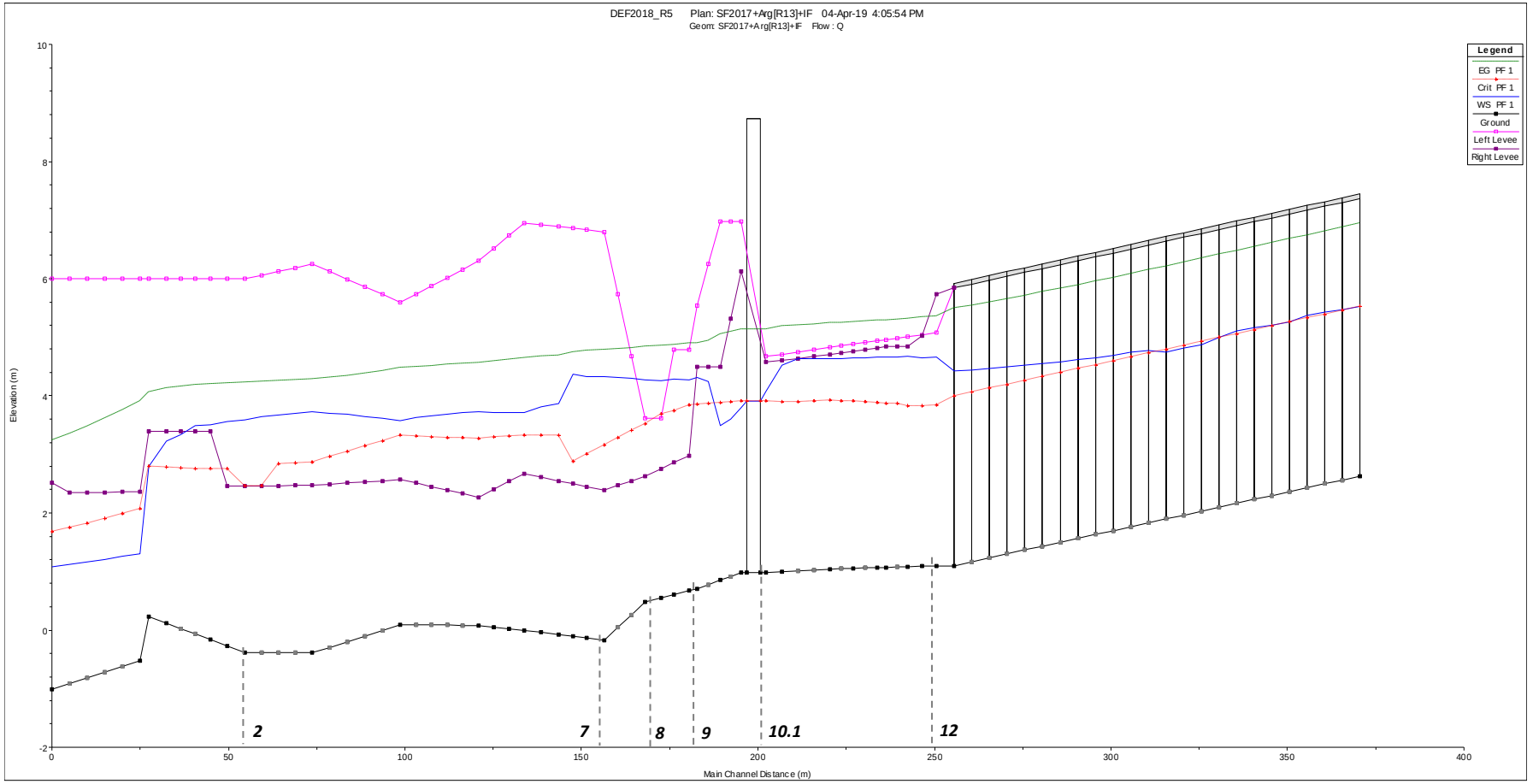


Figura 30 – STATO DI FATTO - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m^3/s]

5.2. CONFIGURAZIONE PROGETTUALE

Data l'impossibilità di agire sul valore della portata di progetto duecentennale mediante diversori o scolmatori di piena e data la configurazione pesantemente urbanizzata del tratto oggetto dell'intervento di adeguamento idraulico, è stata riscontrata la necessità di realizzare delle nuove arginature per consentire il deflusso della portata con un franco adeguato e conforme ai limiti imposti dalla Normativa di Piano [1]. Inoltre, al fine di limitare l'altezza delle nuove arginature, rendere meno impattante dal punto di vista architettonico e strutturale l'intervento e permettere un'integrazione di quest'ultimo nel contesto del tratto focivo del torrente Nervi, come ulteriore componente del progetto di adeguamento idraulico è stato previsto l'abbassamento di un tratto di alveo all'incirca dalla sezione n°6 sino al porticciolo. L'abbassamento dell'alveo, ulteriormente, trova riscontro anche nelle esigenze dell'Amministrazione che sono volte alla realizzazione di un piccolo canale navigabile, fruibile da piccole imbarcazioni, che possa valorizzare il potenziale di sviluppo dell'area e le sue caratteristiche ambientali e naturalistiche, integrando, per quanto possibile, l'intervento progettuale all'interno del tessuto sociale e urbanistico della zona.

La schematica configurazione idraulica di progetto è, quindi, riportata nei seguenti paragrafi §5.2.1 e §5.2.2 suddivisa in termini di unità funzionali. Per una più completa comprensione dell'intervento sarà possibile riferirsi agli allegati grafici costituenti parte integrante dei documenti progettuali [G][I].

5.2.1. SOPRAELEVAZIONE ARGINALE

Di seguito sono elencati i principali interventi di realizzazione delle nuove arginature, riportati in Figura 31, Figura 32 e Figura 33.

TRATTO A MONTE DEL PONTE ROMANICO

SPONDA SINISTRA

1. rifacimento dell'ultima rampa della scala di accesso a via Sarfatti mediante parapetto impermeabile in cemento armato;
2. realizzazione di un nuovo argine in cemento armato e cavalletto in barre autoperforanti a tergo dell'esistente tra la sezione n°12 e la sezione n°10;

SPONDA DESTRA

3. sopraelevazione dell'esistente muro andatore d'ala in cemento armato in uscita dalla copertura;
4. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in fregio al muro in pietra che, attualmente, costituisce il marciapiede di accesso agli edifici aggettanti in alveo. La nuova struttura avrà anche funzione di parapetto per l'attuale marciapiede;
5. sopraelevazione dell'esistente muro in pietra appena a monte del fornice minore con soluzione strutturale connessa all'adiacente berlinese (4);

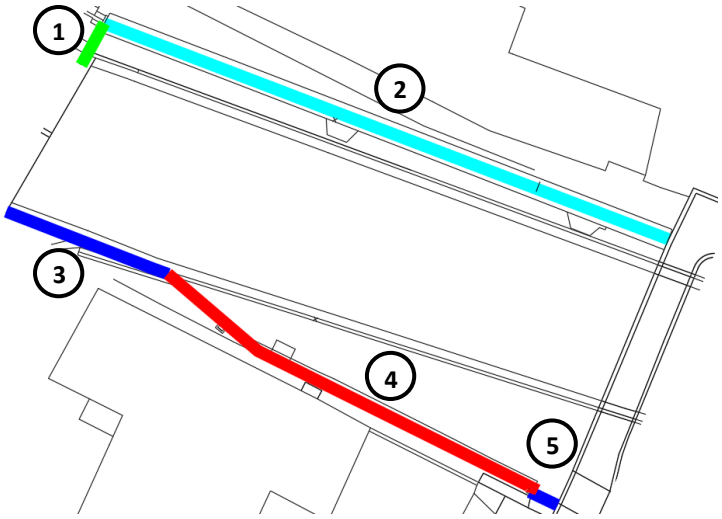


Figura 31 – Indicazione delle nuove arginature – Tratto a monte del ponte romanico

TRATTO A VALLE DEL PONTE ROMANICO

SPONDA SINISTRA

6. parziale sopraelevazione dell'esistente parapetto della rampa di accesso al ponte romanico;
7. ricostruzione, con relativo innalzamento, dell'argine attuale compreso all'incirca tra la sezione n°9 e la sezione n°8.9 mediante struttura in cemento armato e cavalletto in barre autoperforanti;
8. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in fregio all'esistente muro di sponda interno. La struttura si raccorderà verso monte con la nuova arginatura e verso valle si chiuderà sul versante naturale all'incirca presso la sezione n°7;

SPONDA DESTRA

9. parziale sopraelevazione dell'esistente parapetto della rampa di accesso al ponte romanico;
10. realizzazione di un nuovo cancello stagno in sostituzione dell'esistente;
11. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in fregio all'edificio esistente aggettante in alveo all'incirca tra la sezione n°9 e la sezione n°7;
12. realizzazione di un nuovo argine mediante berlinese in fregio all'esistente muro di sponda interno. La struttura si raccorderà verso monte con la nuova arginatura e verso valle con il parapetto esistente all'incirca presso la sezione n°2;

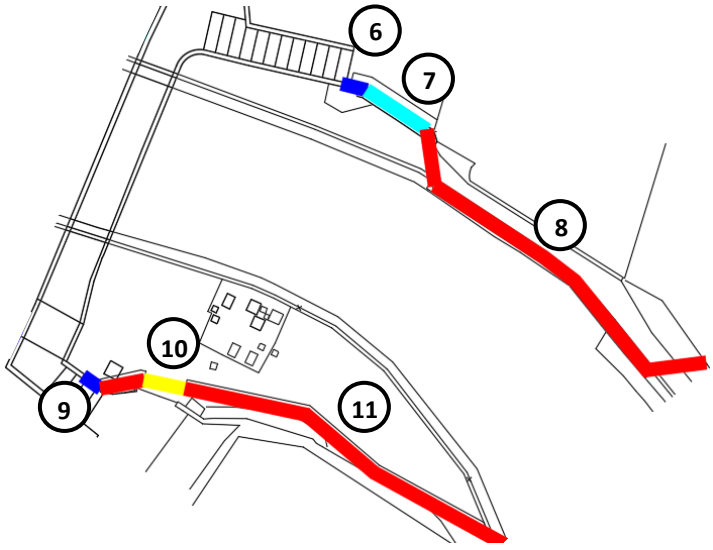


Figura 32 – Indicazione delle nuove arginature – Tratto a valle del ponte romanico – Monte curva

13. sopraelevazione dell'esistente argine rivestito in mattoni e realizzazione di due cancelletti stagni a presidio della rampa di scale per l'accesso in alveo;

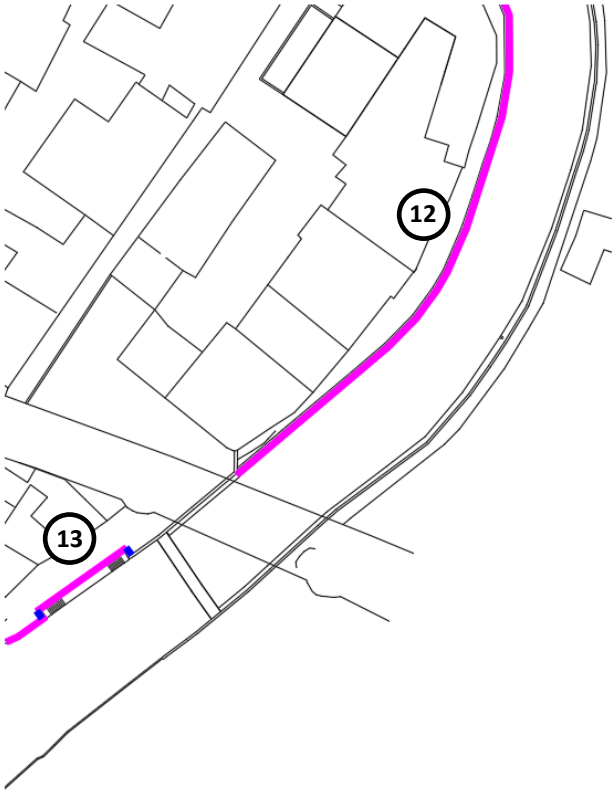


Figura 33 – Indicazione delle nuove arginature – Tratto a valle del ponte romanico – Valle curva

5.2.2. CANALIZZAZIONE TRATTO DI VALLE

Nei pressi della sezione n°6 sarà realizzata una nuova soglia per stabilizzare e mantenere inalterato il livello del fondo in tutte le sezioni di monte. L'altezza del salto è stata valutata in circa 150[cm] al fine di garantire nella sezione a valle un pescaggio minimo di almeno 100[cm].

Dalla sezione n°6 verso valle, la quota del fondo sarà riprofilata su una pendenza pari a circa i_f=0.004[-], rimuovendo, quindi, la soglia esistente, posta nella sezione n°1 avente attualmente l'estradosso ad una quota di circa +0.23[m].

Il fondo della nuova sezione n°1, pertanto, sarà posto ad una quota pari a circa -1.50[m]. In Figura 34 è riportato il profilo del nuovo fondo in condizioni di portata nulla, in cui risulta evidente la canalizzazione realizzata tra la soglia e il porticciolo, con pescaggi variabili tra 100[cm] e 150[cm].

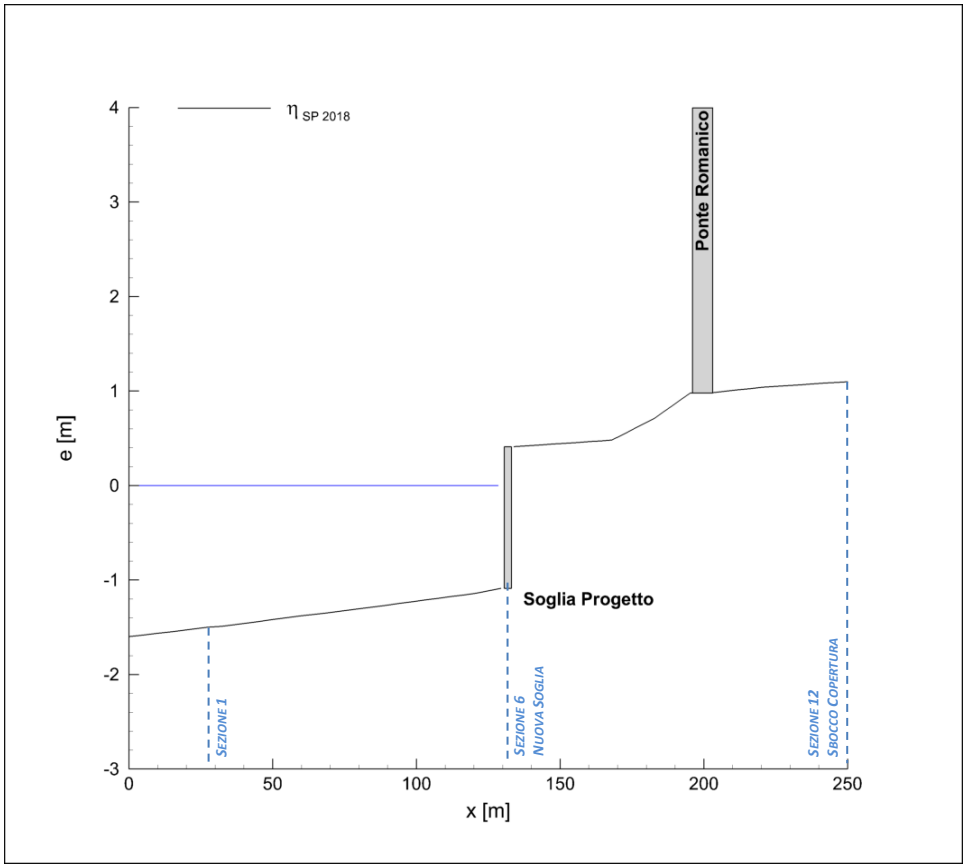


Figura 34 – STATO DI PROGETTO – Profilo del fondo in condizioni di portata nulla

In aggiunta all'innalzamento degli argini descritto al paragrafo §5.2.1 e alla realizzazione del nuovo salto di fondo, il nuovo canale necessita degli interventi aggiuntivi riassunti di seguito e indicati in Figura 35:

14. protezione del fondo con massi di 3ª categoria, a monte e a valle della nuova briglia, al fine di evitare l'erosione e lo scalzamento delle strutture durante gli eventi estremi;
15. lieve riprofilatura dell'alveo tra la sezione n°8 e la sezione n°6 per consentire un regolare raccordo con la testa della nuova briglia;
16. abbassamento generalizzato dell'alveo tra la sezione n°1 e la sezione n°6 a valle della stazione di sollevamento della rete nera;
17. dalla sezione n°6 sino a valle, sottomurazione degli argini esistenti in sponda sinistra per mezzo di una protezione realizzata mediante dei gabbioni; questi ultimi, come evidenziato nei successivi capitoli, avranno anche la funzione di delineare un alveo inciso per le correnti di magra contribuendo significativamente a diminuire il deposito previsto nel tratto;

18. in sponda destra, a valle della sezione n°2 in cui termina l'argine di nuova realizzazione sino alla soglia esistente, cordolo di sottomurazione mediante berlinese per proteggere l'esistente arginatura lastricata in mattoni;

19. in sponda sinistra, a valle della sezione n°2 in prossimità dell'esistente pila del ponte ferroviario, cordolo di sottomurazione mediante berlinese in aggiunta alle gabbionate;

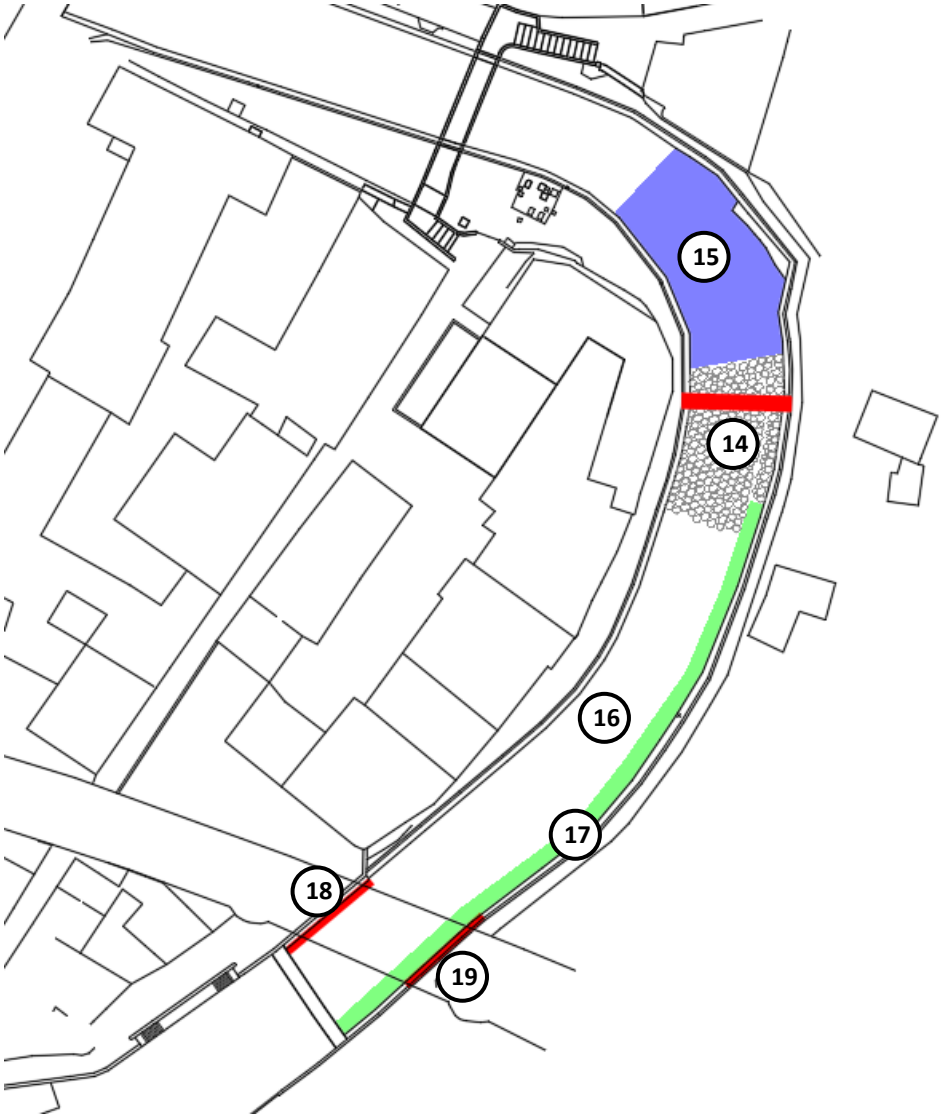


Figura 35 – Abbassamento alveo e relativi interventi

In Figura 36 sono riportate alcune sezioni tipologiche.

In sponda destra, la nuova arginatura è progettualmente posta in aderenza, sul lato interno, ai muri esistenti. Tale configurazione, se comparata con un intervento posto a tergo, a fronte di un minimo incremento del pelo libero, valutabile in solo qualche centimetro, garantisce una soluzione molto più vantaggiosa dal punto di vista economico, realizzativo e strutturale. Vengono evitate, infatti, alternativamente, o la demolizione e la rimozione delle opere esistenti oppure, nel tratto soggetto ad abbassamento, la realizzazione di una seconda fila di berlinesi a sottomurazione delle vecchie arginature. In sponda sinistra, la scelta di sottomurare gli argini esistenti per mezzo di gabbionate garantisce la realizzazione di un alveo di magra che, come mostrato al successivo paragrafo §5.3, avrà la funzione di diminuire il deposito previsto nel canale con la conseguente riduzione dei livelli e delle operazioni di manutenzione.

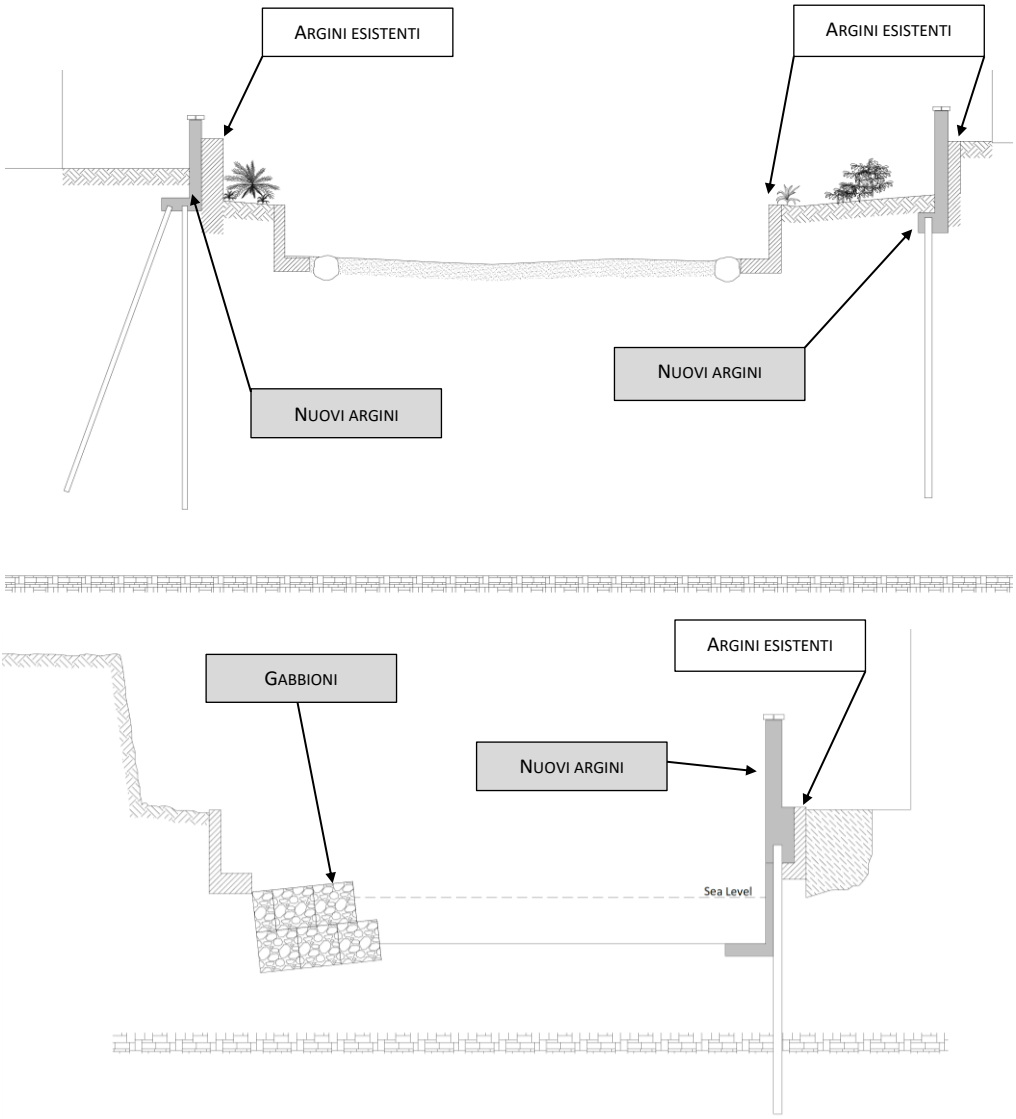


Figura 36 – Sezioni tipologiche

5.2.3. PROFILO STAZIONARIO

Il profilo stazionario relativo all'evento con tempo di ritorno duecentennale, per la configurazione progettuale comprendente il nuovo canale, è riportato in Figura 37.

Gli effetti benefici dell'abbassamento del fondo risultano evidenti dal confronto con la soluzione base, riportato in Figura 38. La rimozione della soglia esistente nella sezione n°1 e il conseguente abbassamento del fondo eliminano la transizione per la profondità critica e, pertanto, la propagazione verso monte della soluzione subcritica parte da un livello altimetrico minore, generando una riduzione globale del profilo sino alla sezione n°6, con abbassamenti medi del tirante pari a circa 150[cm]. La corrente lenta, a questo punto, non possedendo l'energia sufficiente per transitare attraverso la nuova soglia, si raccorda, mediante un risalto idraulico, con la corrente veloce generata dalla transizione che si innesca sulla testa della nuova briglia.

Parrebbe ovvio, pertanto, a seguito dell'abbassamento generalizzato dei livelli, procedere ad una ottimizzazione delle quote arginali di progetto definite al precedente paragrafo §5.2.1.

In realtà, come verrà dimostrato nel successivo capitolo §5.3, l'abbassamento del fondo non costituisce un intervento completamente stabile a lungo termine e, pertanto, i livelli delle quote arginali, al fine di garantire la sicurezza idraulica, dovranno essere definiti tenendo in conto anche la soluzione progettuale all'equilibrio.

5.2.4. VALUTAZIONE DELLA SOPRAELEVAZIONE PER EFFETTO DELLA CURVA

Gli effetti della curvatura della linea d'asse presente tra la sezione n°8 e la sezione n°6 sono stati valutati analogamente a quanto riportato per lo stato di fatto al precedente paragrafo §5.1.1.

I risultati sono riportati in Tabella 5.

SEZ	WS	ΔWS_{CV}	WS_{SX}	WS_{DX}	EG	FR	$(WS+FR)_{SX}$	$(WS+FR)_{DX}$	MAX_{SX}	MAX_{DX}	L_{SX}	L_{DX}	CHK_{SX}	CHK_{DX}
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
15	4.60		4.60	4.60	5.56	1.00	5.60	5.60	5.60	5.60	5.84	5.84	0.24	0.24
12	4.80		4.80	4.80	5.44	0.50	5.30	5.30	5.44	5.44	5.57	5.74	0.13	0.30
11	4.73		4.73	4.73	5.32	0.50	5.23	5.23	5.32	5.32	5.40	5.67	0.08	0.35
10.1	4.31		4.31	4.31	5.22	0.50	4.81	4.81	5.22	5.22	5.30	5.51	0.08	0.29
9	4.46		4.46	4.46	5.03	0.50	4.96	4.96	5.03	5.03	5.54	5.10	0.51	0.07
8.9	4.46		4.46	4.46	5.01	0.50	4.96	4.96	5.01	5.01	5.30	5.10	0.29	0.09
8	4.39	0.28	4.67	4.39	4.94	0.50	5.17	4.89	5.17	4.94	5.30	5.10	0.13	0.16
7	4.41	0.23	4.64	4.41	4.89	0.50	5.14	4.91	5.14	4.91	5.30	5.10	0.16	0.19
6	3.34	0.50	3.84	3.34	4.70	0.50	4.34	3.84	4.70	4.70	6.95	5.10	2.25	0.40
5	1.41		1.41	1.41	4.00	0.50	1.91	1.91	4.00	4.00	6.30	4.39	2.30	0.39
4	2.36		2.36	2.36	3.55	0.50	2.86	2.86	3.55	3.55	5.60	3.85	2.05	0.30
3	2.59		2.59	2.59	3.27	0.50	3.09	3.09	3.27	3.27	6.25	3.65	2.98	0.38
2	1.73		1.73	1.73	3.11	0.50	2.23	2.23	3.11	3.11	6.00	3.49	2.89	0.38
1	1.13		1.13	1.13	2.70	0.50	1.63	1.63	2.70	2.70	6.00	3.40	3.30	0.70
0.5	0.62		0.62	0.62	2.16	0.50	1.12	1.12	2.16	2.16	6.00	3.00	3.84	0.84

BRIDGE	WS	EG	FR	(WS+FR)	MAX	I	CHK	TW	TW%
10.05 BR U	4.30	5.22	1.00	5.30	5.30	8.73	3.43	14.11	77%
10.05 BR D	4.24	5.20	1.00	5.24	5.24	8.73	3.49	14.22	77%

SEZ	-	Sezione trasversale
WS	-	Livello della superficie libera
ΔWS_{CV}	-	Incremento di livello della superficie libera in sponda sinistra per effetto della curvatura
WS_{SX}	-	Livello della superficie libera in sponda sinistra
WS_{DX}	-	Livello della superficie libera in sponda destra
EG	-	Livello del carico totale
FR	-	Franco assunto
MAX_{SX}	-	Inviluppo di $(WS+FR)_{SX}$ ed EG
MAX_{DX}	-	Inviluppo di $(WS+FR)_{DX}$ ed EG
L_{SX}	-	Quota della sommità arginale in sponda sinistra
L_{DX}	-	Quota della sommità arginale in sponda destra
CHK_{SX}	-	Differenza tra L_{SX} e MAX_{SX} (Profilo non verificato se $\Delta<0$)
CHK_{DX}	-	Differenza tra L_{DX} e MAX_{DX} (Profilo non verificato se $\Delta<0$)
I	-	Intradosso dell'impalcato del ponte
TW	-	Larghezza del pelo libero per cui è garantito il franco
TW%	-	Percentuale della larghezza totale del ponte su cui è garantito il franco (Profilo non verificato se <2/3=66%)

Tabella 5 – STATO DI PROGETTO - Profilo stazionario con portata duecentennale Q=207[m³/s]

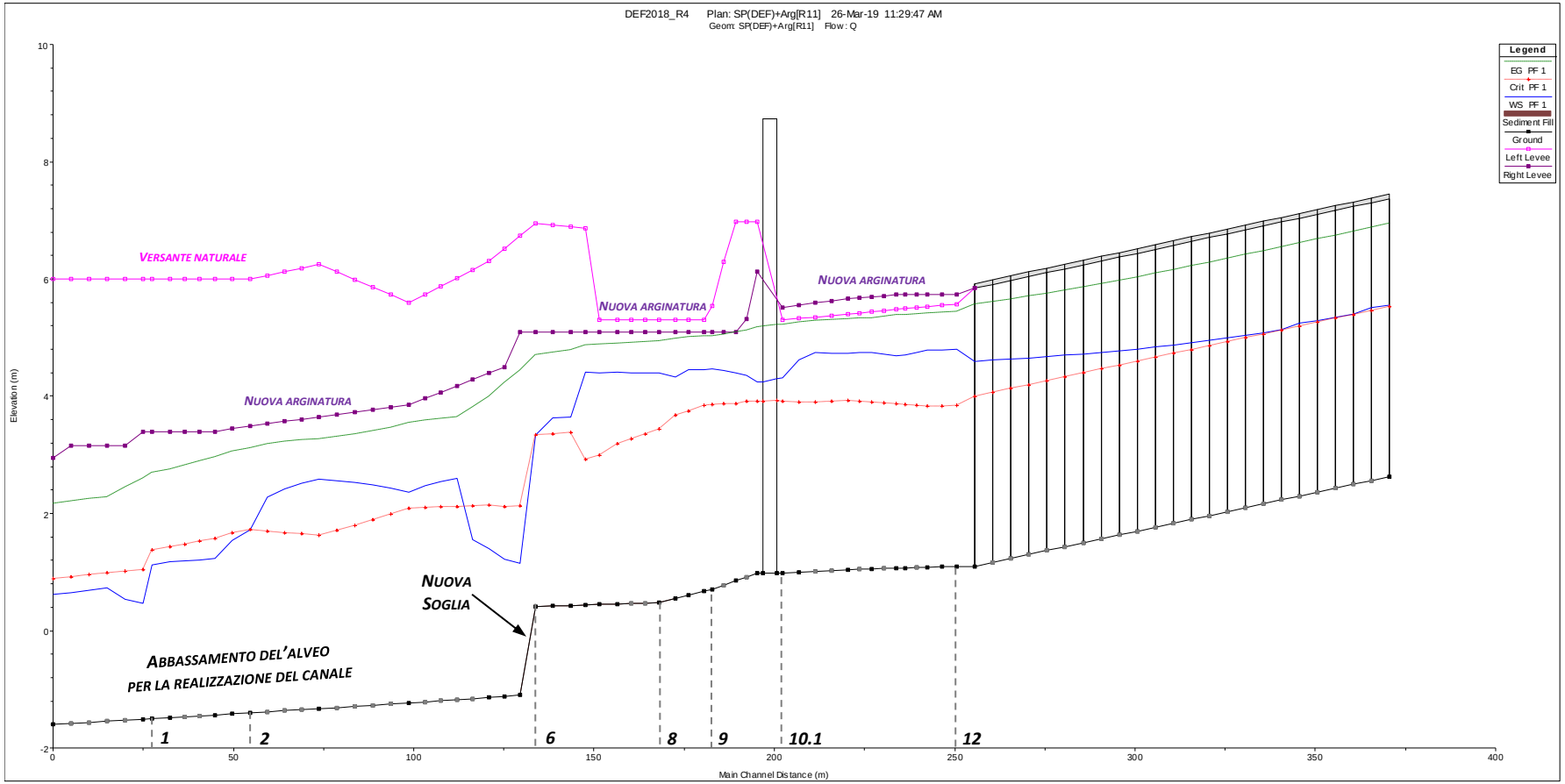


Figura 37 – STATO DI PROGETTO - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m³/s] – Realizzazione nuove arginature e abbassamento del fondo alveo dal porticciolo sino alla sezione n°6

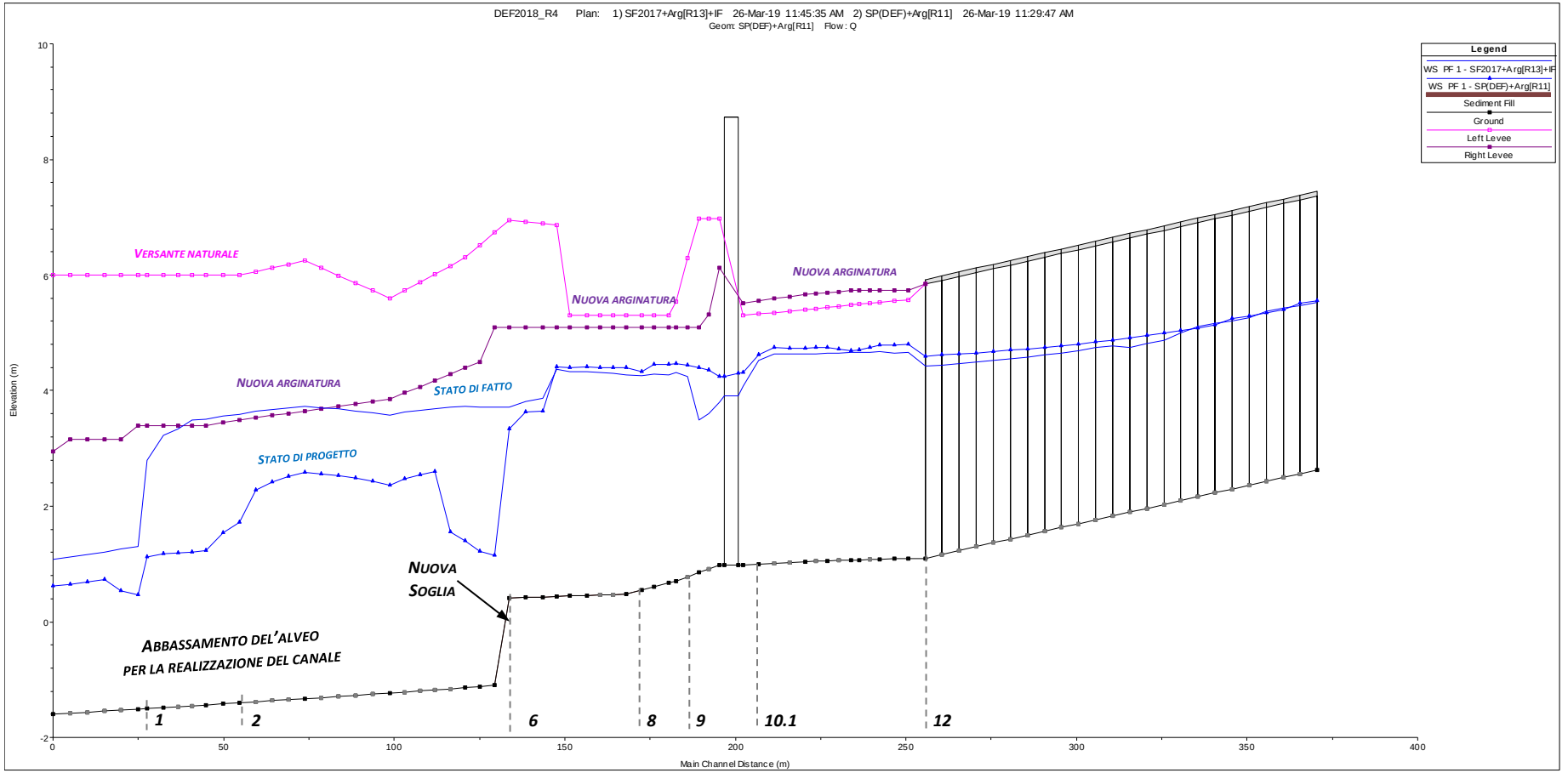


Figura 38 – STATO DI PROGETTO - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m^3/s] – Effetti migliorativi generati dall'abbassamente dell'alveo

5.3. EQUILIBRIO MORFODINAMICO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

L'intervento di abbassamento generalizzato dell'alveo, nella parte terminale del torrente Nervi, produce senza dubbio un rilevante miglioramento delle condizioni di sicurezza nel tratto oggetto di adeguamento.

Tuttavia, al fine di determinare la stabilità a medio/lungo termine della predetta soluzione progettuale, è necessario tracciare il suo profilo di equilibrio morfodinamico, secondo la procedura descritta al paragrafo §4.5 onde evidenziare gli eventuali interventi di manutenzione ordinaria e/o di eventuali modifiche all'approccio di progetto che si dovessero rendere necessari per il mantenimento dei requisiti e dei livelli di sicurezza nel tempo.

Come precedentemente illustrato, l'intervento di abbassamento del fondo, necessario per la realizzazione del canale, genera senza dubbio effetti migliorativi anche per l'idrodinamica della corrente poiché diminuisce i livelli del pelo libero e, quindi, anche le relative quote arginali, in tutte le sezione poste a valle della nuova soglia.

Tuttavia, la presenza del trasporto solido e l'inevitabile evoluzione del profilo potrebbero alterare significativamente questa situazione.

Da semplici considerazioni morfodinamiche appare evidente come la quota del fondo attualmente presente a valle della sezione n°1 sia determinata dalla condizione al contorno imposta dal livello di medio mare. Durante le condizioni formative, infatti, per far transitare la portata solida in arrivo da monte, la corrente necessità di un certo e ben definito tirante idraulico. Quest'ultimo, accoppiato con la condizione imposta dal livello di medio mare, determina una certa e ben definita quota del fondo. L'equilibrio del torrente, quindi, non potrà che tendere a rispristinare tale valore, quantunque si cerchi di modificare la quota di fondo alveo.

L'abbassamento dell'alveo, pertanto, sebbene certamente benefico dal punto di vista idrodinamico, con molta probabilità non costituisce un intervento di progetto stabile e duraturo.

Parimenti, tuttavia, è l'unica soluzione in grado di determinare un abbassamento delle quote arginali nelle sezioni poste a valle della nuova briglia e minimizzare l'impatto degli interventi di adeguamento idraulico nel contesto antropico.

A valle delle precedenti considerazioni, quindi, si è calcolato il profilo di equilibrio del fondo relativo alla soluzione progettuale proposta, nelle condizioni formative definite al paragrafo §4.5. I risultati sono riportati in Figura 39. Come si evince dalla figura, i risultati delle calcolazioni relative al profilo di equilibrio eseguite sulla geometria di progetto confermano le valutazioni preliminari e qualitative effettuate in precedenza.

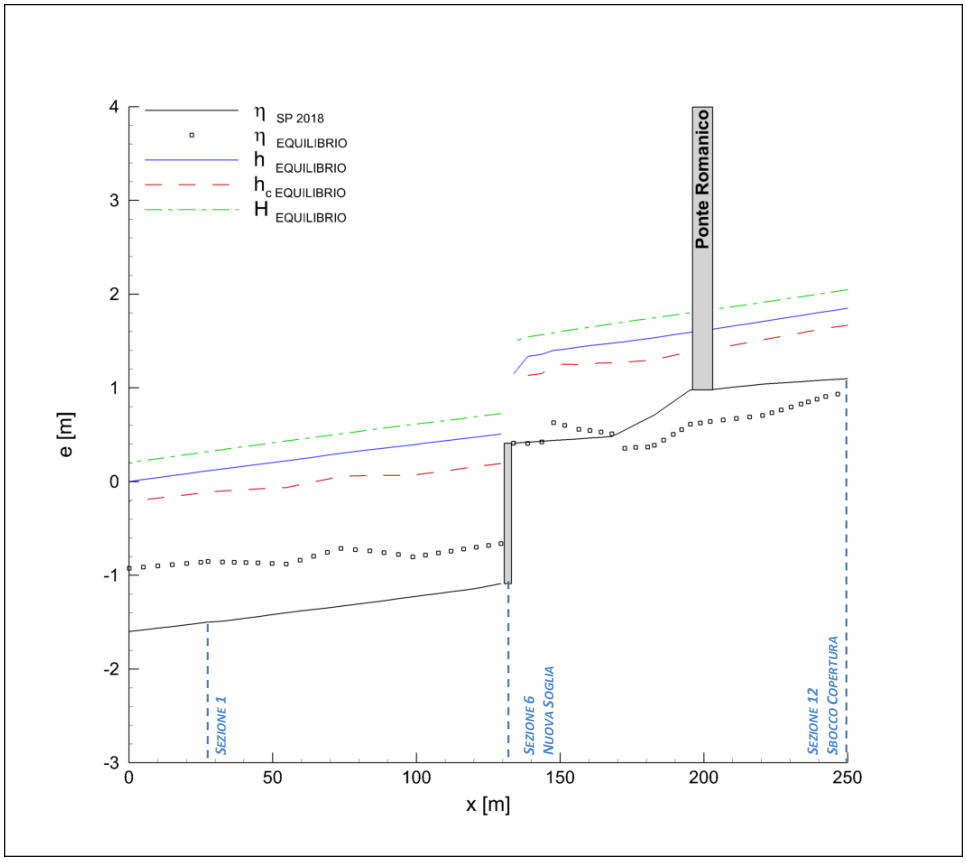


Figura 39 – Profilo di equilibrio relativo alla soluzione progettuale. Fondo (η), pelo libero (h) e profondità critica (h_c)

L'intervento progettuale di abbassamento del fondo risulta essere benefico per l'idrodinamica ma non risulta essere un intervento completamente stabile a medio/lungo termine.

Il nuovo canale è destinato, infatti, ad essere riempito parzialmente dai sedimenti in arrivo da monte. A valle della nuova soglia, le portate formative inizieranno a sedimentare del materiale, creando un fronte di deposito che si propagherà verso valle secondo il profilo di equilibrio valutato in Figura 39.

Risulta evidente, pertanto, che l'intervento progettato, per mantenere le caratteristiche di fruibilità del canale preposto alla navigazione, necessiterà di una costante manutenzione da effettuarsi a valle di ogni significativo deposito di materiale, al fine di garantire i pescaggi minimi previsti.

Parimenti, in assenza di manutenzione, nelle condizioni standard di apporto solido valutate nei precedenti capitoli, le quote del fondo tenderanno ad evolvere verso il profilo di equilibrio.

Come specificato al precedente paragrafo §4.5, l'entità della portata solida Q_S in arrivo da monte durante gli eventi formativi non influenza affatto la forma del profilo di equilibrio, ma determina solamente la celerità con la quale quest'ultimo si svilupperà.

Un'informazione interessante può essere ricavata confrontando il fondo attualmente rilevato con il profilo di equilibrio della soluzione progettuale nel tratto a valle della nuova soglia, in cui verrà realizzato lo scavo. Il risultato è riassunto in Figura 40.

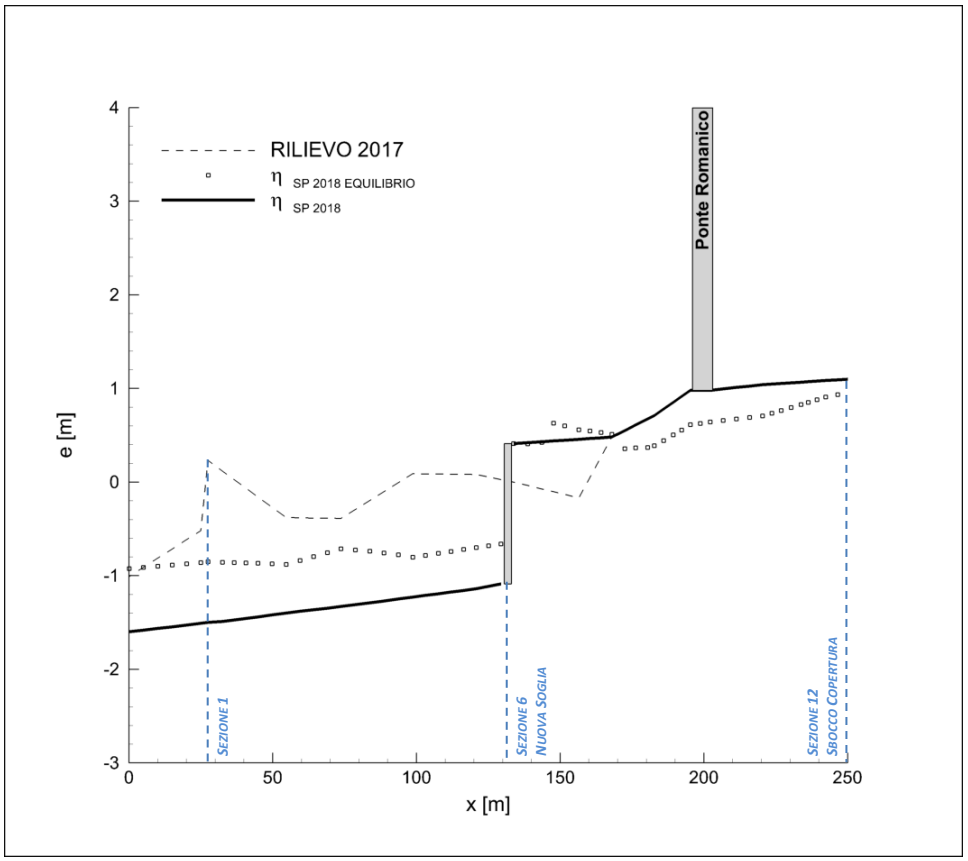


Figura 40 – Confronto tra il profilo di equilibrio della soluzione progettuale e il fondo attualmente rilevato

Dall'analisi della figura precedente, appare evidente come il fondo di equilibrio a lungo termine relativo alla soluzione progettuale, sebbene in deposito rispetto alle quote di progetto, risulti in generale più basso del profilo esistente. Ciò dipende dal fatto che la quota d'imposta della soglia attuale, sulla quale la corrente transita per la profondità critica, risulta più alta del fondo di equilibrio nella medesima sezione. **Quindi, sebbene in generale l'intervento di progetto non risulti essere stabile nel medio/lungo periodo, il suo profilo di equilibrio morfodinamico a lungo termine, risulta essere comunque significativamente migliorativo, in termini idrodinamici, rispetto alla condizione attuale.**

Come evidenziato dal profilo di equilibrio, la transizione innescata sulla testa della nuova briglia nell'intervallo delle basse portate formative, generando una riduzione dei livelli nelle sezioni a monte, potrebbe innescare un lieve abbassamento del fondo.

Tuttavia, data la ridotta entità di quest'ultimo, variabile in un intervallo di circa 20-40[cm], nonchè, soprattutto, dato che esso risultava già presente nel fondo di equilibrio relativo allo stato di fatto, inducono lo Scrivente a considerare tale effetto non significativo.

A favor di sicurezza, comunque, l'abbassamento a monte del ponte romanico non sarà considerato nella configurazione progettuale, al fine di massimizzare i ivelli idraulici della corrente.

Ulteriormente, sempre a favor di sicurezza, a monte del ponte romanico su entrambe le sponde saranno posizionati dei massi interrati a presidio della lieve tendenza erosiva identificata in precedenza.

Infine, per valutare l'efficacia del nuovo alveo di magra realizzato mediante le gabbionature a valle della nuova soglia, in Figura 41 è riportato il confronto tra l'attuale soluzione progettuale e la medesima valutata in assenza dell'alveo inciso a progetto. Dalla comparazione risulta evidente come l'alveo di magra, nell'intervallo delle portate formative, abbia il benefico effetto di accelerare la corrente e diminuire l'entità del deposito previsto nell'equilibrio a lungo termine. La configurazione progettuale prescelta, pertanto, presenta il vantaggio di generare un deposito minore e, quindi, una riduzione delle necessarie operazioni di manutenzione, nonché una diminuzione delle quote arginali di progetto.

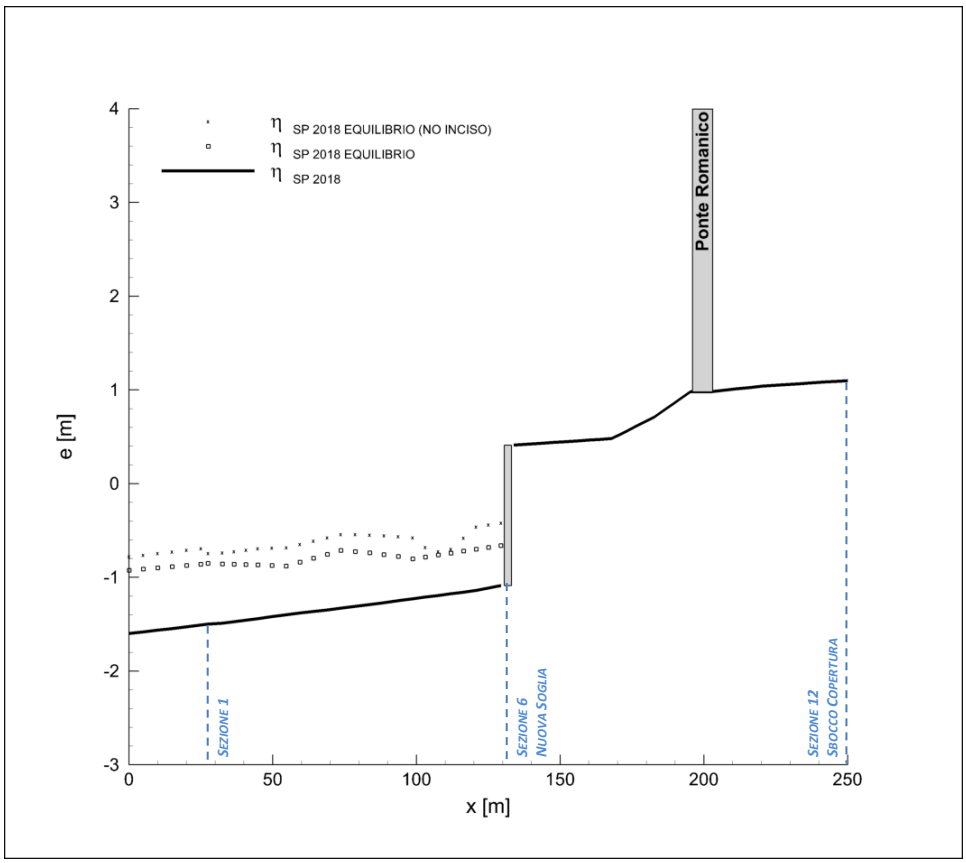


Figura 41 – Confronto tra il profilo di equilibrio della soluzione progettuale e la medesima privata dell'alveo di magra

5.4. VERIFICA DELLE QUOTE ARGINALI

Dato che la soluzione progettuale non risulta essere morfodinamicamente stabile, la definizione delle quote arginali per la valutazione dei franchi di sicurezza idraulici non può effettuarsi sul profilo del fondo di progetto, poiché essa non risulterebbe una soluzione a favore di sicurezza, in quanto destinata ad evolvere verso il profilo di equilibrio e quindi strettamente legata alle operazioni di manutenzione eseguite.

Pertanto, **la corretta valutazione della sicurezza idraulica prevista da Normativa deve essere definita sui profili idrodinamici stazionari per l'evento con tempo di ritorno duecentennale computati mediante una geometria di progetto che tenga però in conto l'evoluzione a lungo termine delle quote di fondo alveo**, **ossia il profilo di equlibrio progettuale**, valutato al precedente paragrafo §5.3**.**

In Figura 42 è riportato il profilo stazionario per l'evento duecentennale per la predetta geometria nella configurazione di equilibrio. A favor di sicurezza, come anticipato al paragrafo precedente, nel tratto a monte della nuova soglia è stato trascurato il lieve abbassamento del fondo.

In Figura 43 è riportato il confronto tra il profilo stazionario per l'evento duecentennale nella geometria di progetto a breve ed a lungo termine (equilibrio).

Ulteriormente, in Figura 44 è riportato il confronto tra il profilo stazionario per l'evento duecentennale nella geometria di equilibrio e il profilo stazionario relativo allo stato di fatto.

Sebbene a lungo termine la tendenza al deposito nel canale innalzi i livelli idraulici rispetto alla soluzione progettuale valutata al suo istante iniziale, dai risultati appare comunque evidente come permanga un significativo beneficio anche nel lungo periodo.

I risultati sono riportati in Tabella 6.

In generale, dalle analisi precedenti appare evidente come, anche in condizioni di equilibrio morfodinamico a lungo termine, le quote arginali di progetto siano in grado di contenere la portata duecentennale con i franchi definiti dalla vigente Normativa.

SEZ	WS	ΔWS_{CV}	WS_{SX}	WS_{DX}	EG	FR	$(WS+FR)_{SX}$	$(WS+FR)_{DX}$	MAX_{SX}	MAX_{DX}	L_{SX}	L_{DX}	CHK_{SX}	CHK_{DX}
[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
15	4.60		4.60	4.60	5.56	1.00	5.60	5.60	5.60	5.60	5.84	5.84	0.24	0.24
12	4.80		4.80	4.80	5.44	0.50	5.30	5.30	5.44	5.44	5.57	5.74	0.13	0.30
11	4.73		4.73	4.73	5.32	0.50	5.23	5.23	5.32	5.32	5.40	5.67	0.08	0.35
10.1	4.31		4.31	4.31	5.22	0.50	4.81	4.81	5.22	5.22	5.30	5.51	0.08	0.29
9	4.46		4.46	4.46	5.03	0.50	4.96	4.96	5.03	5.03	5.54	5.10	0.51	0.07
8.9	4.46		4.46	4.46	5.01	0.50	4.96	4.96	5.01	5.01	5.30	5.10	0.29	0.09
8	4.39	0.28	4.67	4.39	4.94	0.50	5.17	4.89	5.17	4.94	5.30	5.10	0.13	0.16
7	4.41	0.23	4.64	4.41	4.89	0.50	5.14	4.91	5.14	4.91	5.30	5.10	0.16	0.19
6	3.34	0.50	3.84	3.34	4.70	0.50	4.34	3.84	4.70	4.70	6.95	5.10	2.25	0.40
5	1.76		1.76	1.76	4.16	0.50	2.26	2.26	4.16	4.16	6.30	4.39	2.14	0.23
4	2.76		2.76	2.76	3.81	0.50	3.26	3.26	3.81	3.81	5.60	3.85	1.79	0.04
3	2.87		2.87	2.87	3.60	0.50	3.37	3.37	3.60	3.60	6.25	3.65	2.65	0.05
2	2.16		2.16	2.16	3.45	0.50	2.66	2.66	3.45	3.45	6.00	3.49	2.55	0.04
1	2.20		2.20	2.20	3.18	0.50	2.70	2.70	3.18	3.18	6.00	3.40	2.82	0.22
0.5	1.66		1.66	1.66	2.93	0.50	2.16	2.16	2.93	2.93	6.00	3.00	3.07	0.07

BRIDGE	WS	EG	FR	(WS+FR)	MAX	I	CHK	TW	TW%
10.05 BR U	4.30	5.22	1.00	5.30	5.30	8.73	3.43	14.11	77%
10.05 BR D	4.24	5.20	1.00	5.24	5.24	8.73	3.49	14.22	77%

SEZ	-	Sezione trasversale
WS	-	Livello della superficie libera
ΔWS_{CV}	-	Incremento di livello della superficie libera in sponda sinistra per effetto della curvatura
WS_{SX}	-	Livello della superficie libera in sponda sinistra
WS_{DX}	-	Livello della superficie libera in sponda destra
EG	-	Livello del carico totale
FR	-	Franco assunto
MAX_{SX}	-	Inviluppo di $(WS+FR)_{SX}$ ed EG
MAX_{DX}	-	Inviluppo di $(WS+FR)_{DX}$ ed EG
L_{SX}	-	Quota della sommità arginale in sponda sinistra
L_{DX}	-	Quota della sommità arginale in sponda destra
CHK_{SX}	-	Differenza tra L_{SX} e MAX_{SX} (Profilo non verificato se $\Delta<0$)
CHK_{DX}	-	Differenza tra L_{DX} e MAX_{DX} (Profilo non verificato se $\Delta<0$)
I	-	Intradosso dell'impalcato del ponte
TW	-	Larghezza del pelo libero per cui è garantito il franco
TW%	-	Percentuale della larghezza totale del ponte su cui è garantito il franco (Profilo non verificato se <2/3=66%)

Tabella 6 – STATO DI PROGETTO – EQUILIBRIO - Profilo stazionario con portata duecentennale Q=207[m³/s]

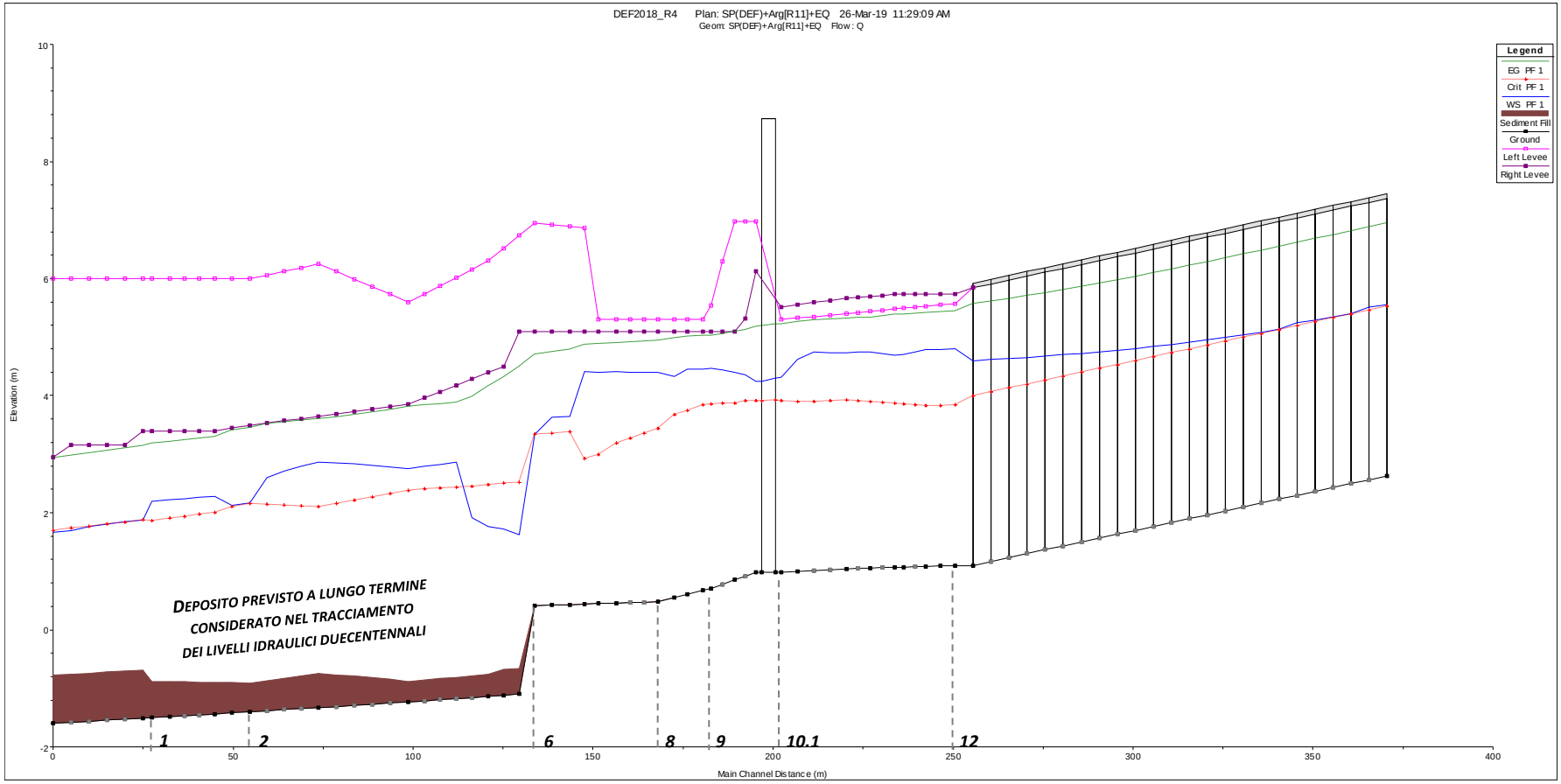


Figura 42 – STATO DI PROGETTO - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m³/s] – Geometria in equilibrio morfodinamico

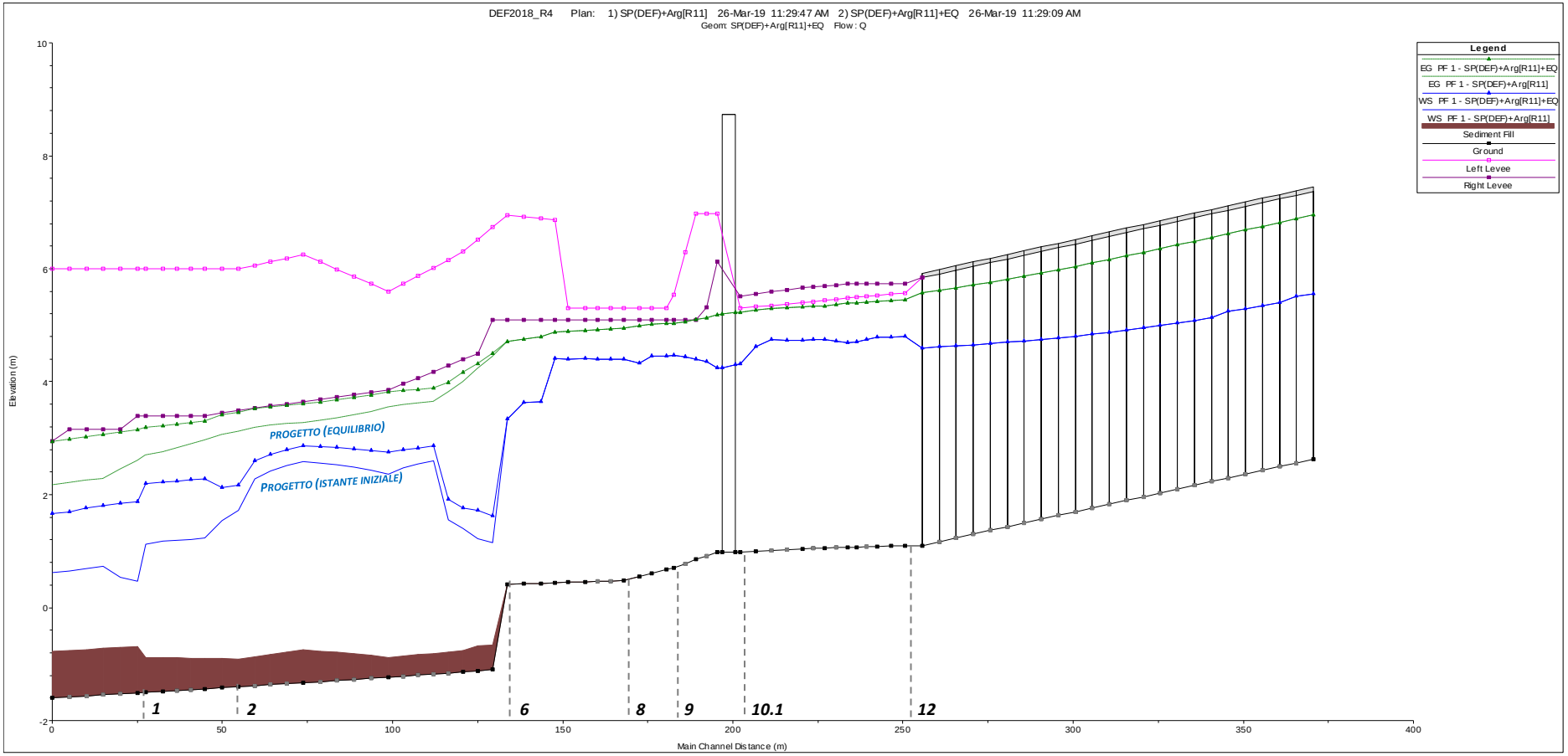


Figura 43 – STATO DI PROGETTO - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m³/s] – Confronto tra lo stato di progetto a breve ed a lungo termine

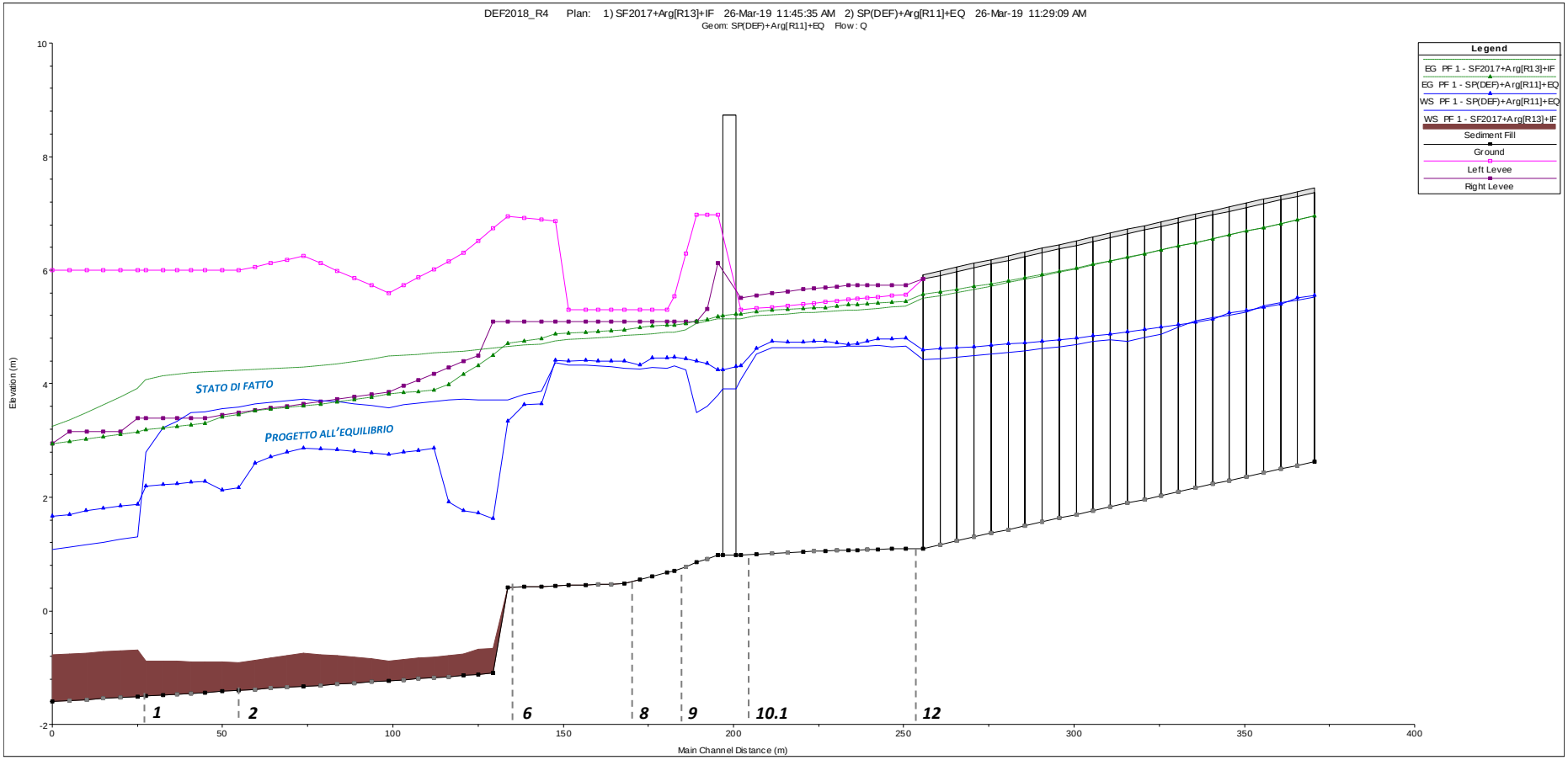


Figura 44 – STATO DI PROGETTO - Profilo stazionario per portata Q_{200}=207[m³/s] – Confronto tra la soluzione progettuale a lungo termine e lo stato di fatto

5.5. STIMA TEMPORALE DELL'EVOLUZIONE VERSO L'EQUILIBRIO

Per il bacino del torrente Nervi non sono attualmente disponibili né dati relativi alle portate realmente transitanti, né sono presenti rilievi temporalmente spaziati utili ad una valutazione e/o calibrazione dei modelli di evoluzione a breve/lungo termine.

Al fine di stimare la celerità dei processi morfodinamici, pertanto, è necessario, in primo luogo, ricorrere ad una valutazione preliminare dei volumi in arrivo mediante la definizione di opportuni sedimentogrammi e, successivamente, cercare di modellare la dinamica dell'evoluzione per mezzo di una simulazione non stazionaria a fondo mobile per corroborare le stime iniziali.

5.5.1. IDROGRAMMA E SEDIMENTOGRAMMA CARATTERISTICI DELLE CONDIZIONI FORMATIVE

Come precedentemente esplicitato al paragrafo §4.5, il profilo di equilibrio morfodinamico rappresenta la risposta del torrente alla sollecitazione generata dalle condizioni formative agenti per un tempo sufficientemente lungo. Sottoposto ad una portata liquida e ad una portata solida costanti nel tempo, l'alveo modifica il suo profilo altrimetrico sino a raggiungere una condizione di stabilità.

Risulta evidente, quindi, come la definizione di un idrogramma e di un sedimentogramma formativo, non rappresentino affatto un'operazione banale dal punto di vista concettuale. L'evoluzione morfodinamica del torrente sottoposto ad una serie di idrogrammi/sedimentogrammi, infatti, certamente non potrà che tendere al profilo di equilibrio, ma la tempistica e la modalità con la quale tale modifica avrà luogo dipenderanno strettamente dalla forma e dall'intensità di questi ultimi.

Data la completa assenza di dati disponibili con i quali poter tarare un qualunque modello morfodinamico, una possibile soluzione, atta a valutare la tempistica di evoluzione, può essere rappresentata dalla stima di opportuni idrogrammi/sedimentogrammi caratteristici.

Quest'ultima può essere ricavata, in via preliminare data l'assenza di informazioni più precise, attraverso la metodologia proposta nella DGR359/2008[7].

Utilizzando il tempo di corrivazione indicato nel Piano di Bacino[1], pari a circa t_c=1.25[h], stimando in via preliminare i parametri morfologici del torrente Nervi e facendo riferimento alle condizioni formative ricavate al precedente paragrafo §4.5, si può ottenere una prima valutazione dell'evento caratteristico.

Nella presente trattazione si è optato per la definizione di due approcci congiunti:

1. in prima battuta, si è definitito un idrogramma caratteristico avente come portata di picco la portata formativa Q_L=25.5[m^3/s]. Quindi, utilizzando la sezione di riferimento e l'associata pendenza i_R, descritte al paragrafo §4.5, si è ricavato il relativo sedimentogramma avente come portata di picco la portata solida formativa Q_S=0.0187[m^3/s]. I risultati sono riportati in Figura 45 e in Figura 46;
2. successivamente, si è ricavato un sedimentogramma caratteristico avente come media integrale il valore della portata solida formativa $Q_{S\ MEDIA}$=0.0187[m^3/s]. Quindi, utilizzando la sezione di riferimento e l'associata pendenza i_R, descritte al paragrafo §4.5, si è ricavato il relativo idrogramma. I risultati sono riportati in Figura 47 e in Figura 48;

Con il primo approccio, l'alveo è sollecitato in condizioni formative accoppiate (Q_L,Q_S) solo in prossimità dei valori di picco, quindi per un periodo relativamente ridotto rispetto alla durata totale dell'evento.

Con il secondo approccio, l'alveo è sollecitato *mediamente* con la portata solida formativa per un tempo più lungo pari alla durata totale dell'evento, tuttavia, data la non linearità dell'equazioni utilizzate per valutare la portata di sedimenti, il valor medio della portata liquida risulta leggermente inferiore a quello formativo.

Integrando i sedimentogrammi di Figura 46 e di Figura 48, è possibile ricavare il volume totale di materiale compatto in arrivo da monte durante un singolo evento. Quindi, utilizzando la medesima porosità definita per l'equazione di Exner, pari a circa p=0.4[-], è possibile valutare il volume efficace di sedimenti mobilitato V_S.

Ad ogni sedimentogramma, inoltre, può essere associato un tempo di ritorno utilizzando le correlazioni riportate al paragrafo §3, sempre considerando che, in assenza di dati, l'estrapolazione del periodo di accadimento per eventi frequenti dalle succitate relazioni può essere considerata solo un stima più o meno ragionevole.

I risultati sono riassunti in Tabella 7.

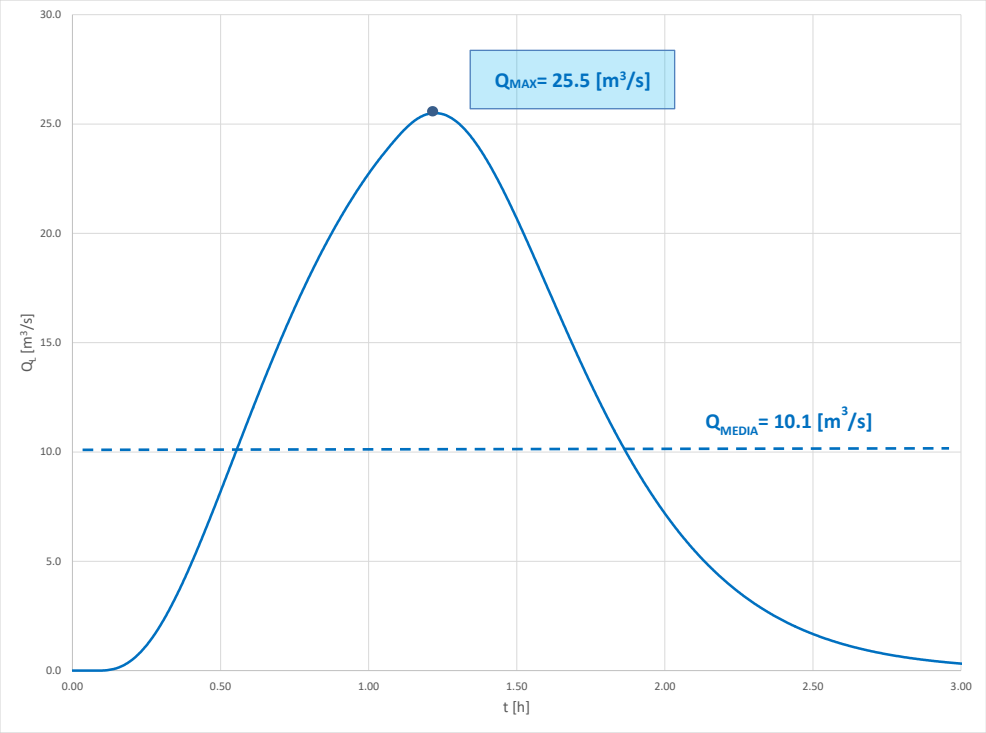


Figura 45 – Stima dell'Idrogramma Formativo – Q_{PICCO} = 25.5 [m³/s]

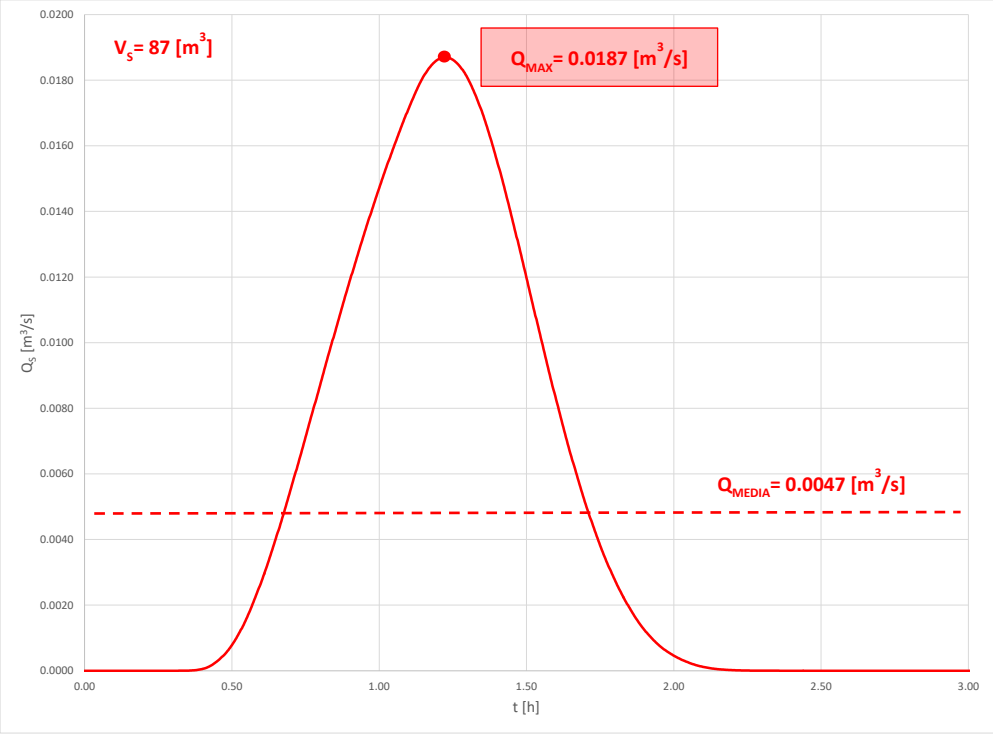


Figura 46 – Stima del Sedimentogramma Formativo – Q_{PICCO} = 0.0187 [m³/s]

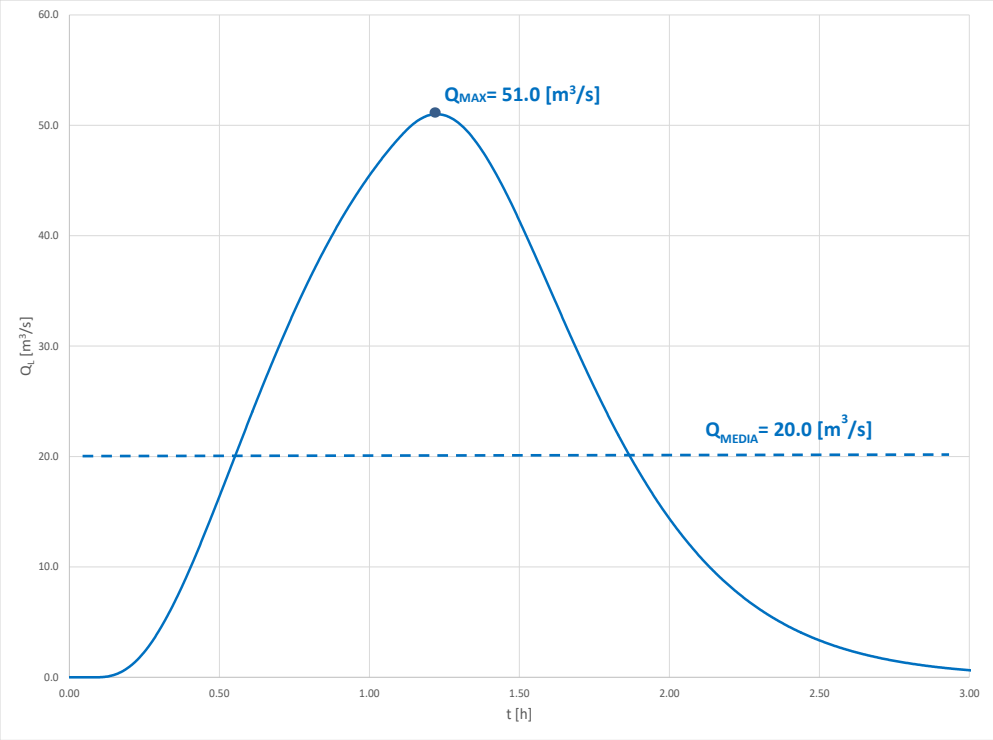


Figura 47 – Stima dell'Idrogramma Formativo – Q_{MEDIA} = 20.0 [m³/s]

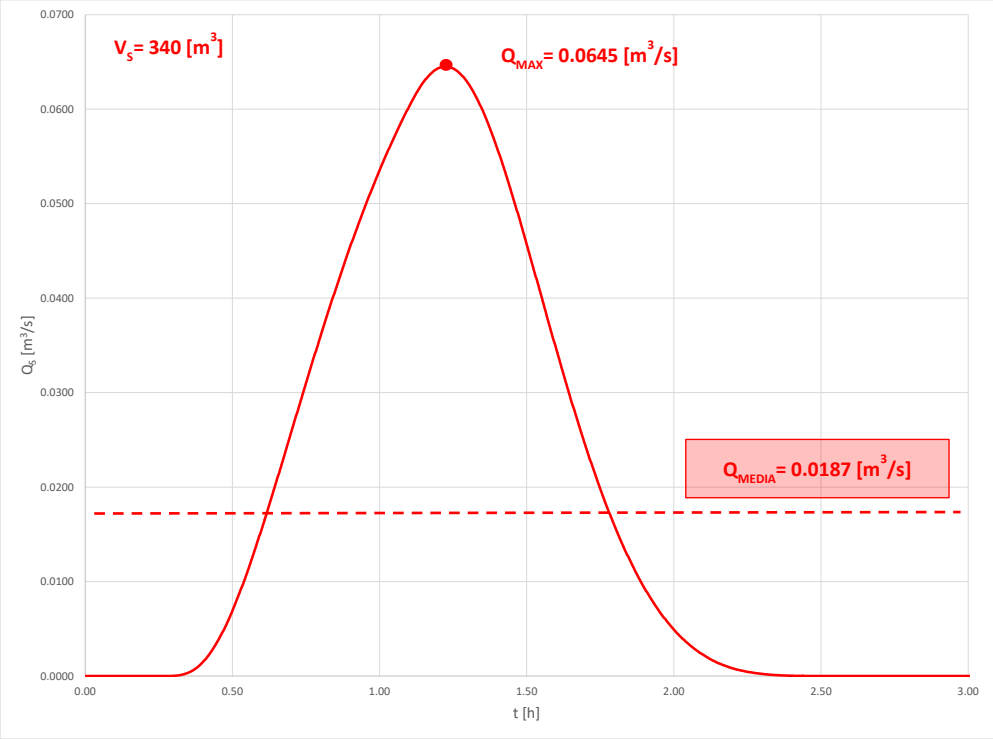
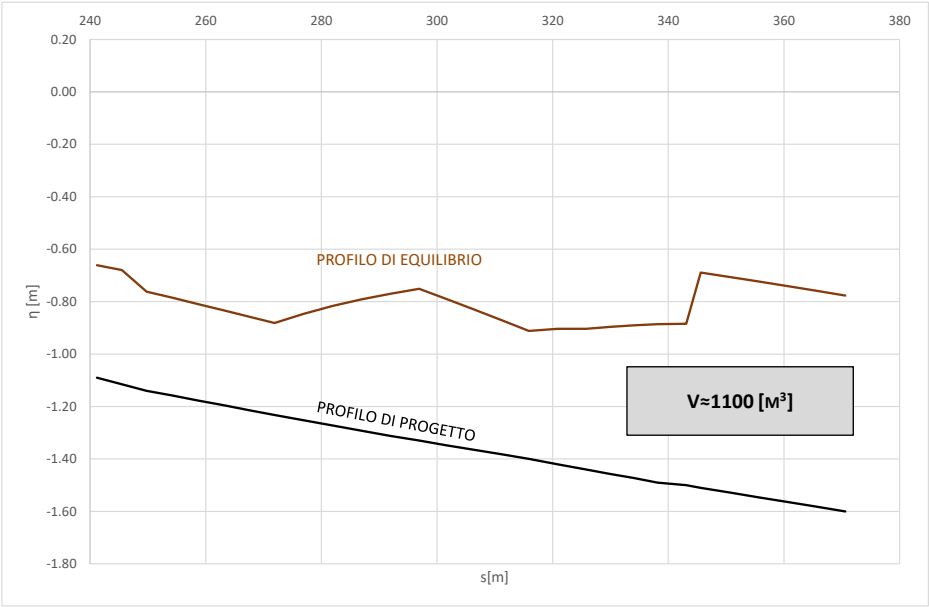


Figura 48 – Stima del Sedimentogramma Formativo – Q_{MEDIA} = 0.0187 [m³/s]

EVENTO [-]	V_S [m³]	T [anni]
1	87	< 1.0
2	340	≈ 4

Tabella 7 – Valutazione dei volumi mobilitati dagli eventi caratteristici

A questo punto, ipotizzando conservativamente che durante ogni evento formativo non vi sia uscita di materiale dalla sezione di valle, è possibile produrre una stima del tempo necessario affinchè il fondo di progetto evolva verso quello di equilibrio. La differenza tra il profilo d'alveo relativo allo stato di progetto e il medesimo profilo valutato in condizioni di equilibrio morfodinamico, in termini di volumi solidi, è pari a circa V_{TOT}=1100[m³] come riportato nella figura sottostante.



Considerando, quindi, che il regime delle portate liquide e degli apporti solidi si mantenga in condizioni standard, gli eventi descritti forniscono un limite temporale di evoluzione morfodinamica verso il rispristino del profilo di equilibrio pari all'incirca a:

$$T \leq 13 \text{ [anni]}$$

I risultati sono riportati in Tabella 8.

EVENTO [-]	V_S [m³]	T [anni]	$\Delta T_{EVOLUZIONE}$ [anni]
1	87	< 1.0	< 12
2	340	≈ 4	13

Tabella 8 – Valutazione della tempistica evolutiva

5.5.2. ANALISI NON STAZIONARIA A FONDO MOBILE – EVENTO FORMATIVO

Nel paragrafo precedente è stato definito un limite temporale di massima dell'evoluzione morfodinamica verso il profilo di equilibrio, valutato in circa T≤13[anni].

Tuttavia, occorre ricordare che l'evoluzione verso l'equilibrio rappresenta, in generale, un processo asintotico. Pertanto, il periodo temporale valutato al paragrafo §5.5.1 deve assumere il significato di *limite superiore* nel processo di trasformazione morfodinamica del fondo alveo.

Di frequente può accadere, infatti, che nei primi eventi il fondo progredisca molto velocemente verso l'equilibrio per poi rallentare negli eventi successivi. Ciò è dovuto al fatto che, nelle fasi iniziali, lo sbilanciamento tra la soluzione progettuale e il profilo morfodinamicamente stabile risulta piuttosto significativo. Inoltre, è superfluo ricordare che l'equazione di Exner (§4.5.1) indica chiaramente come la celerità di evoluzione del fondo sia proporzionale alla derivata spaziale della portata solida e non al suo valore assoluto.

Ciò precisato, risulta evidente come una stima verosimile della celerità e del periodo di evoluzione temporale della soluzione non possano prescindere da una simulazione non stazionaria a fondo mobile del fenomeno.

Prima di procedere alla modellazione, per inquadrare i processi in corso e poter stimare una celerità di evoluzione del fondo, è necessario definire degli scenari morfodinamici ritenuti caratteristici del fenomeno.

A tal fine sono stati impostati tre scenari morfodinamici, riassunti in Tabella 9.

Lo scenario A è costituito da due eventi successivi di tipo (1).

Lo scenario B è costituito da due eventi successivi di tipo (2).

Lo scenario C è costituito da un evento di tipo (2) seguito da un evento di tipo (1).

SCENARIO [-]	DESCRIZIONE		
A	EVENTO 1	+	EVENTO 1
B	EVENTO 2	+	EVENTO 2
C	EVENTO 2	+	EVENTO 1

Tabella 9 – Definizione degli scenari morfodinamici

I risultati delle simulazioni morfodinamiche sono riassunti nelle successive figure, in cui viene riportato il fondo al termine del primo (η_{t1}) o del secondo evento (η_{t2}), il fondo iniziale di progetto (η_{t0}) e il fondo di equilibrio a lungo termine (η_{EQ}).

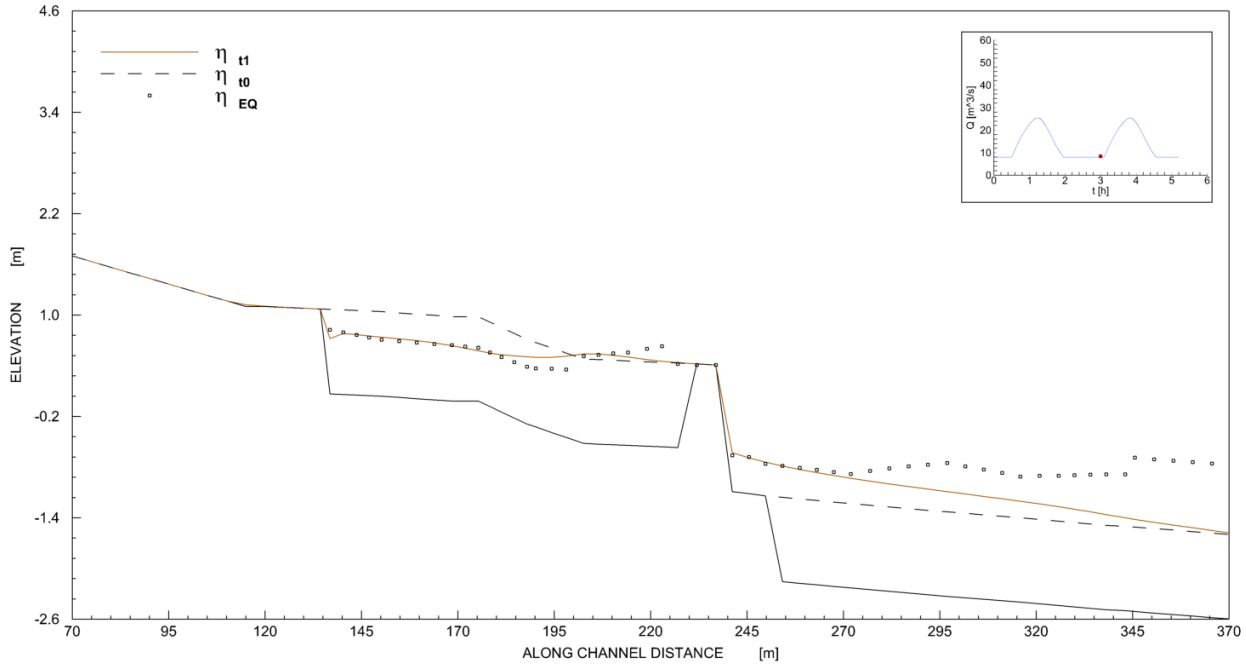


Figura 49 – SCENARIO A - Evoluzione morfodinamica del fondo – Primo evento [Tipo (1)]

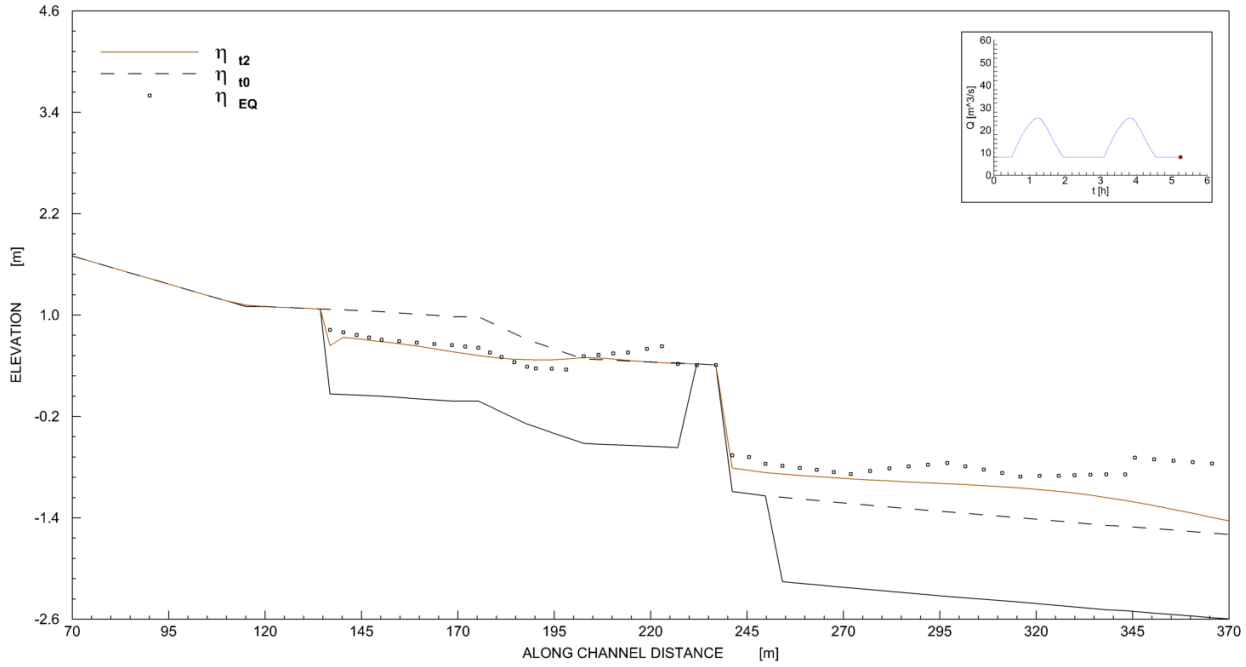


Figura 50 – SCENARIO A - Evoluzione morfodinamica del fondo – Secondo evento [Tipo (1)]

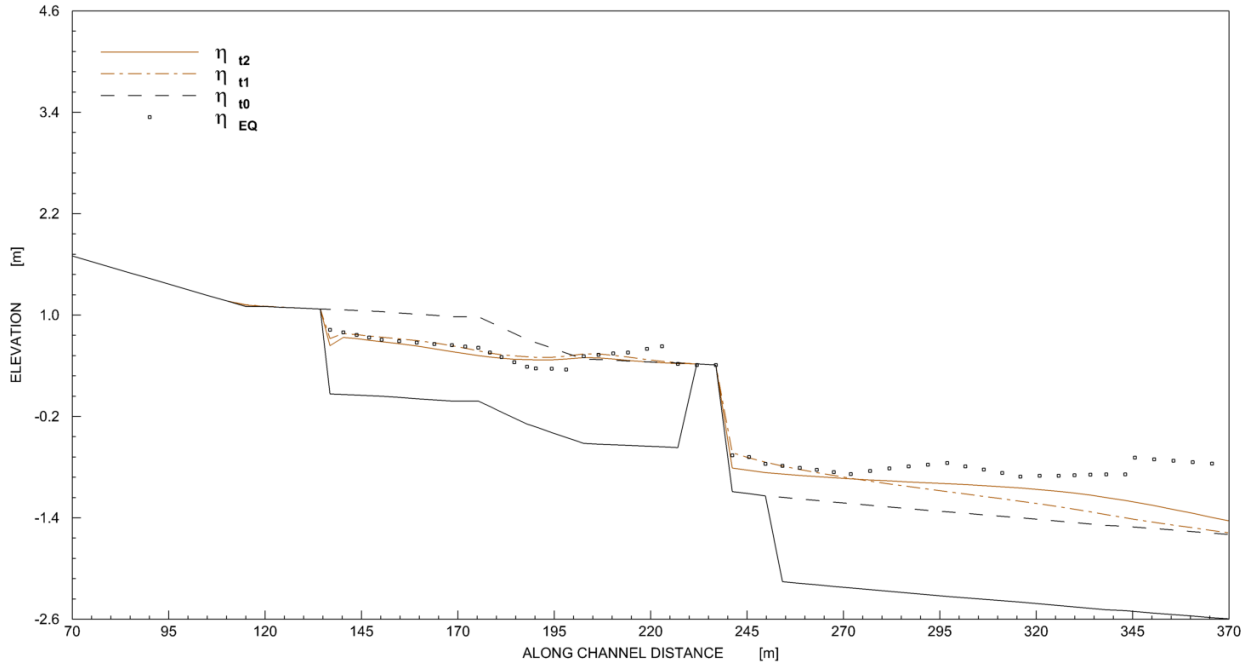


Figura 51 – SCENARIO A - Evoluzione morfodinamica del fondo – Confronto tra il primo evento [Tipo (1)] ed il secondo evento [Tipo (1)]

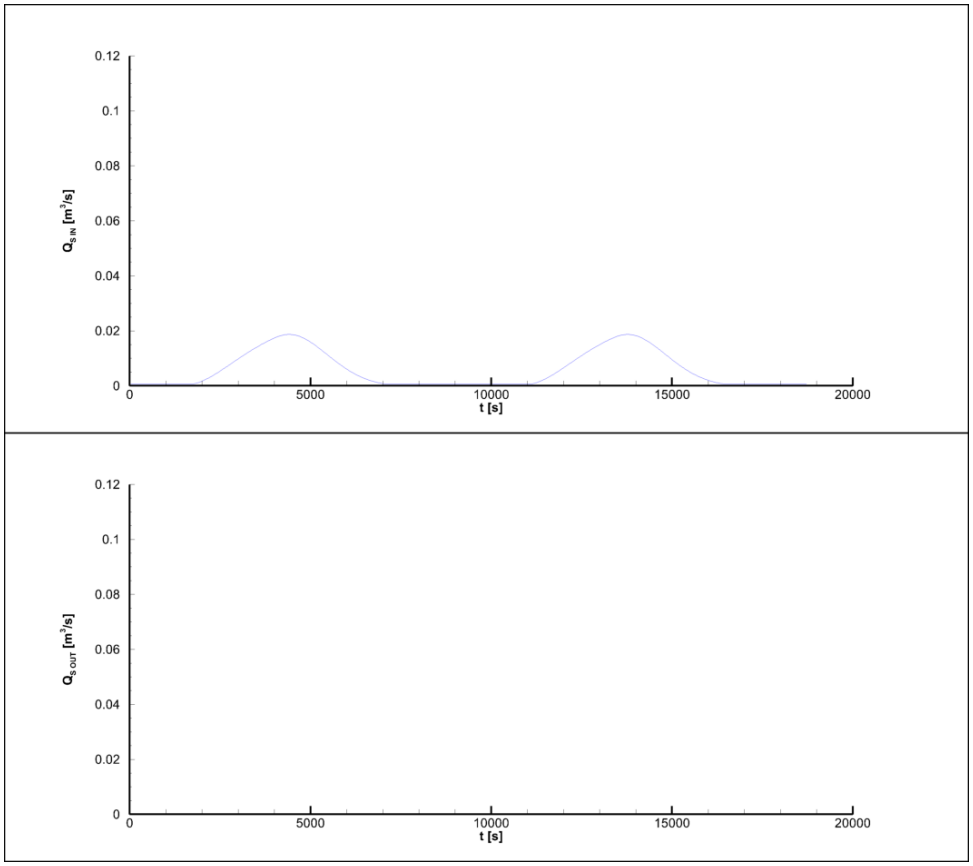


Figura 52 – SCENARIO A – Confronto tra la portata solida in ingresso da monte (copertura) ed in uscita (porticciolo)

Per quanto concerne lo SCENARIO A, dall'analisi della Figura 52, si nota come l'assunzione di fuoriuscita nulla di sedimenti dal canale durante i due eventi possa essere in generale ritenuta corretta.

Osservando la Figura 49 e la Figura 50, risulta evidente come, già al termine del primo evento, l'equilibrio nel tratto a monte della nuova briglia sia già quasi completamente raggiunto. I sedimenti prelevati nel suddetto tratto, insieme alla portata solida in arrivo da monte, vengono quindi ridepositati nel canale di valle. Qualitativamente, il processo si ripresenta anche durante il secondo evento, nel quale le particelle solide in arrivo dalla copertura, senza alcuna significativa aggiunta di materiale prelevato dal tratto a monte della briglia oramai in quasi-equilibrio, si depositano nuovamente a valle nel canale, generando un avanzamento del fronte, come evidenziato dalla Figura 52.

Alla fine dello SCENARIO A, il canale a valle della nuova briglia ha modificato il proprio assetto, avanzando verso la configurazione di equilibrio.

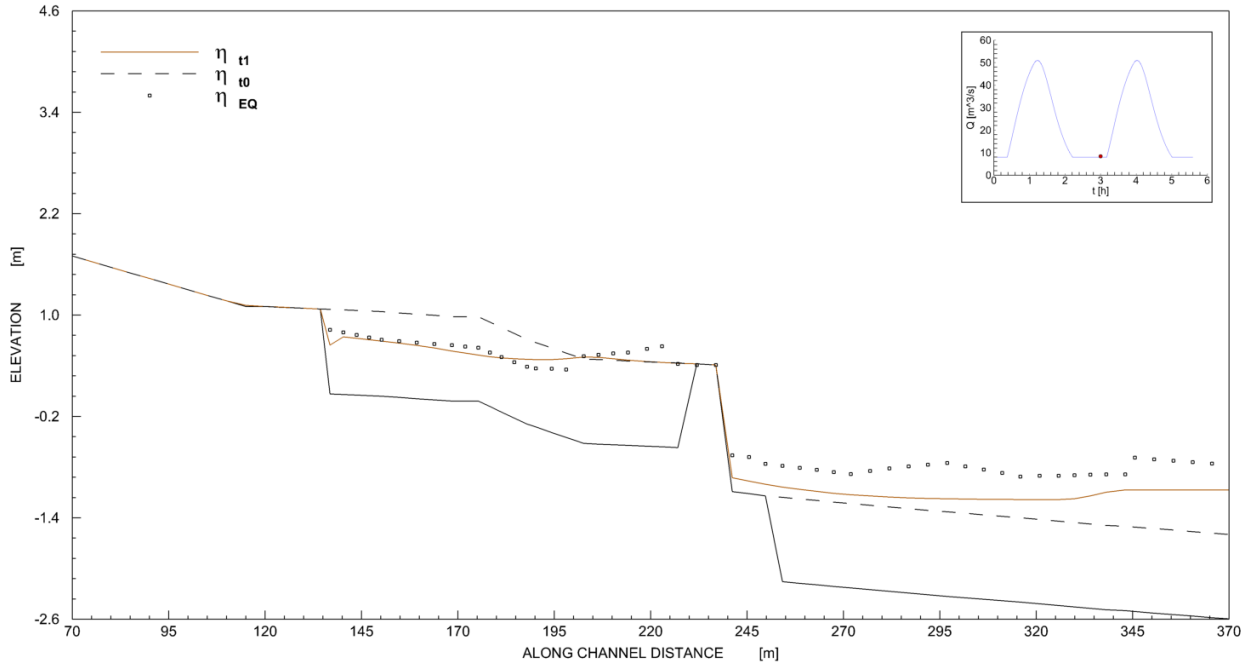


Figura 53 – SCENARIO B - Evoluzione morfodinamica del fondo – Primo evento [Tipo (2)]

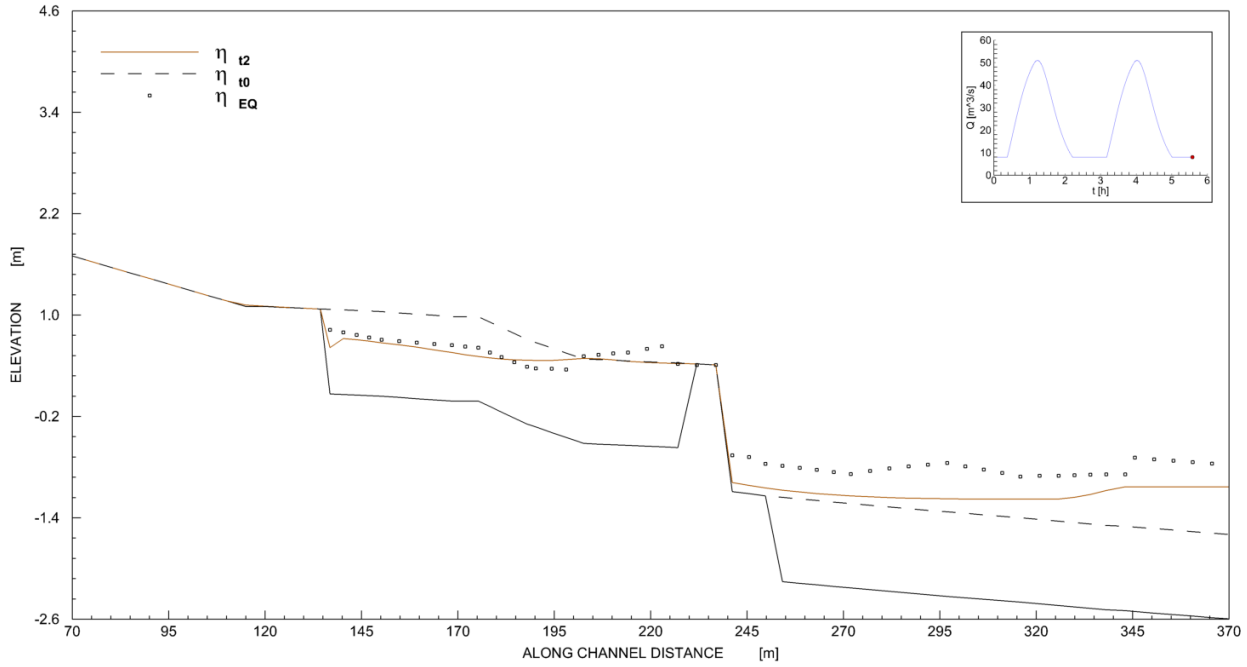


Figura 54 – SCENARIO B - Evoluzione morfodinamica del fondo – Secondo evento [Tipo (2)]

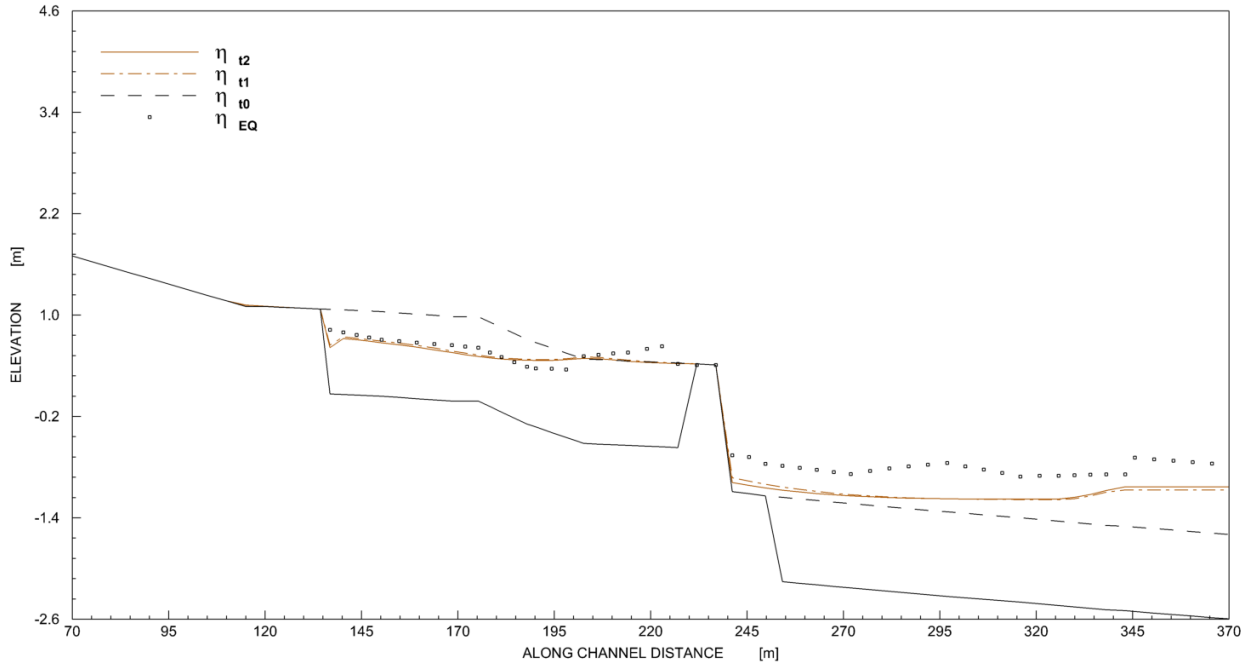


Figura 55 – SCENARIO B - Evoluzione morfodinamica del fondo – Confronto tra il primo evento [Tipo (2)] ed il secondo evento [Tipo (2)]

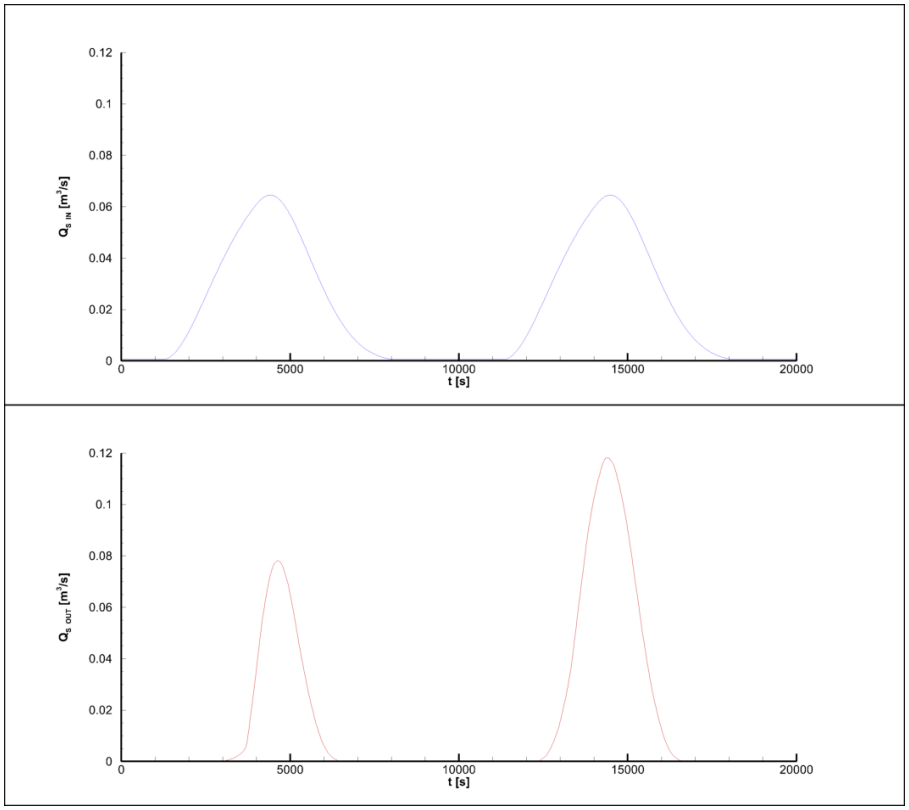


Figura 56 – SCENARIO B – Confronto tra la portata solida in ingresso da monte (copertura) ed in uscita (porticciolo)

Per quanto concerne lo SCENARIO B, dall'analisi della Figura 56, si nota come, in questo caso, l'assunzione di fuoriuscita nulla di sedimenti dal canale durante i due eventi non possa essere ritenuta corretta. Contrariamente a quanto osservato precedentemente, il sedimentogramma in uscita dal canale non risulta nullo. La forma della curva si presenta più stretta e ripida e, durante il secondo evento, il valore del picco di sedimenti in uscita risulta maggiore del relativo picco registrato in entrata. Ovviamente, in termini integrali, ciò non vuol affatto significare che non vi sia deposito all'interno del canale. Alla fine del primo evento, infatti, il fondo di progetto si è già modificato progredendo verso il profilo di equilibrio morfodinamico. In Figura 55, inoltre, è riportato il confronto tra il primo ed il secondo evento appartenenti allo stesso scenario.

Comparando la soluzione con quanto osservato nello SCENARIO A, appare chiara ed evidente una differenza qualiativa tra le due soluzioni. Gli eventi di tipo (2), tendono più lentamente ad accumulare sedimenti nel primo tratto a valle della briglia, concentrando il deposito nel tratto focivo. Ciò è dovuto al fatto che, possedendo una portata di picco più elevata e distante da quella formativa, risentono meno dell'effetto generato dalle code di piena, responsabili dell'interramento del tratto appena a valle del piede della briglia, massimizzando, contrario, gli effetti del picco che tenderebbe a scavare subito dopo il salto di fondo.

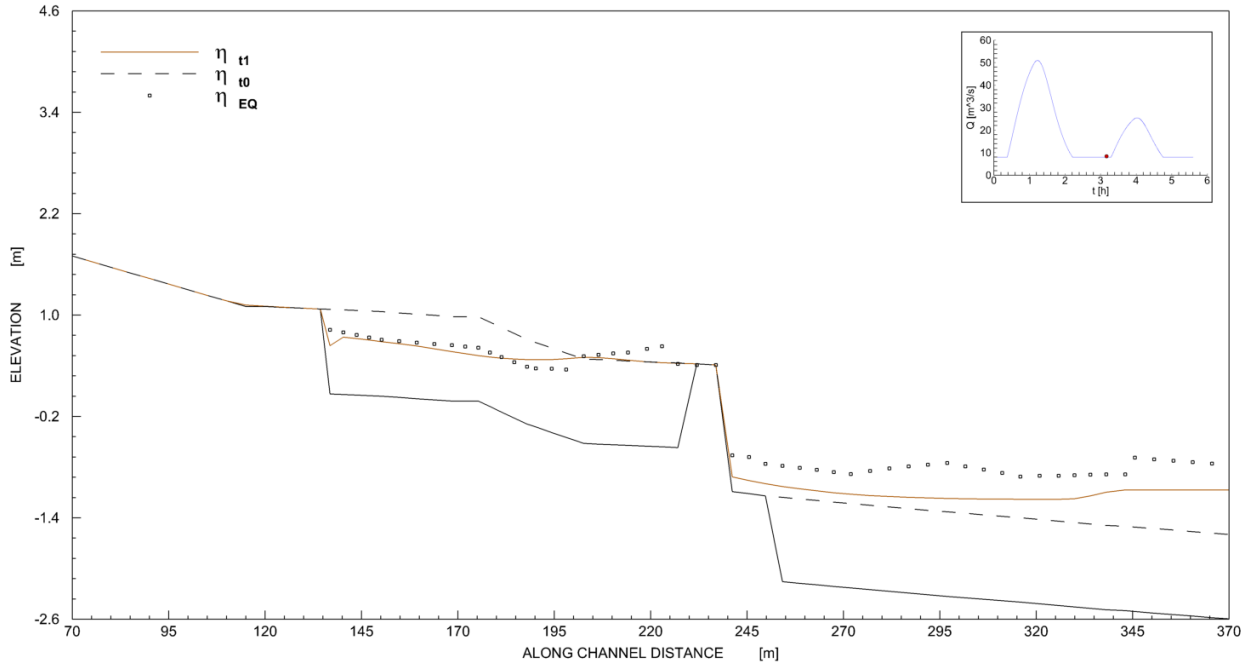


Figura 57 – SCENARIO C - Evoluzione morfodinamica del fondo – Primo evento [Tipo (2)]

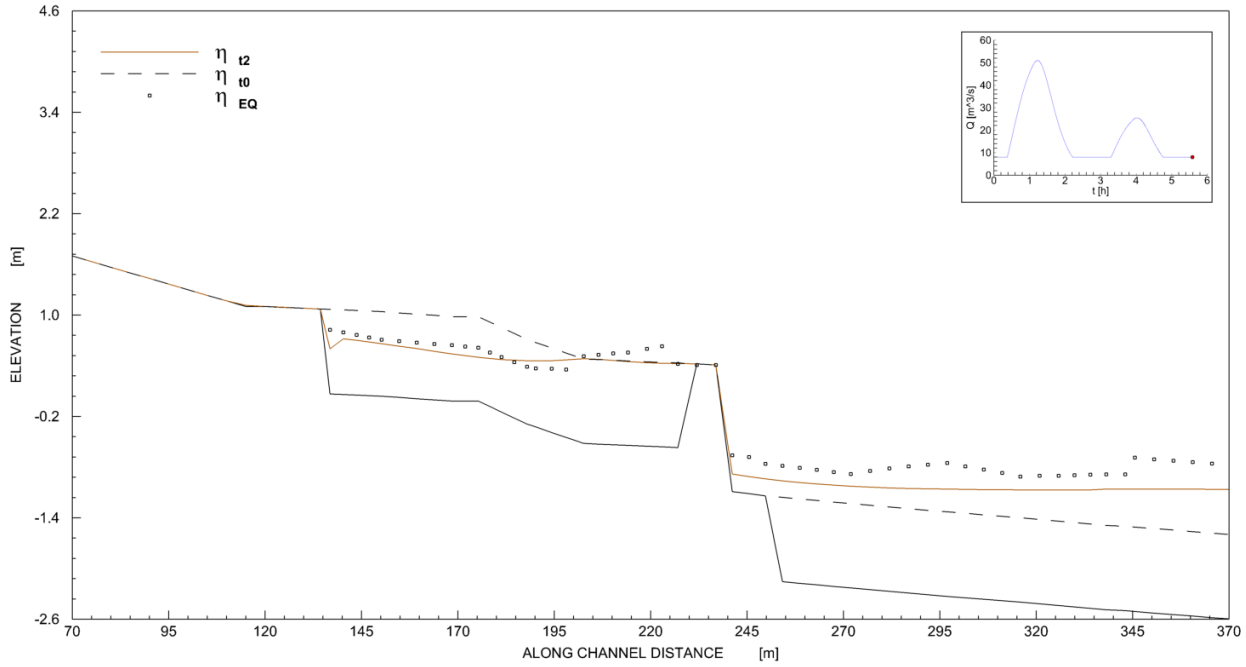


Figura 58 – SCENARIO C - Evoluzione morfodinamica del fondo – Secondo evento [Tipo (1)]

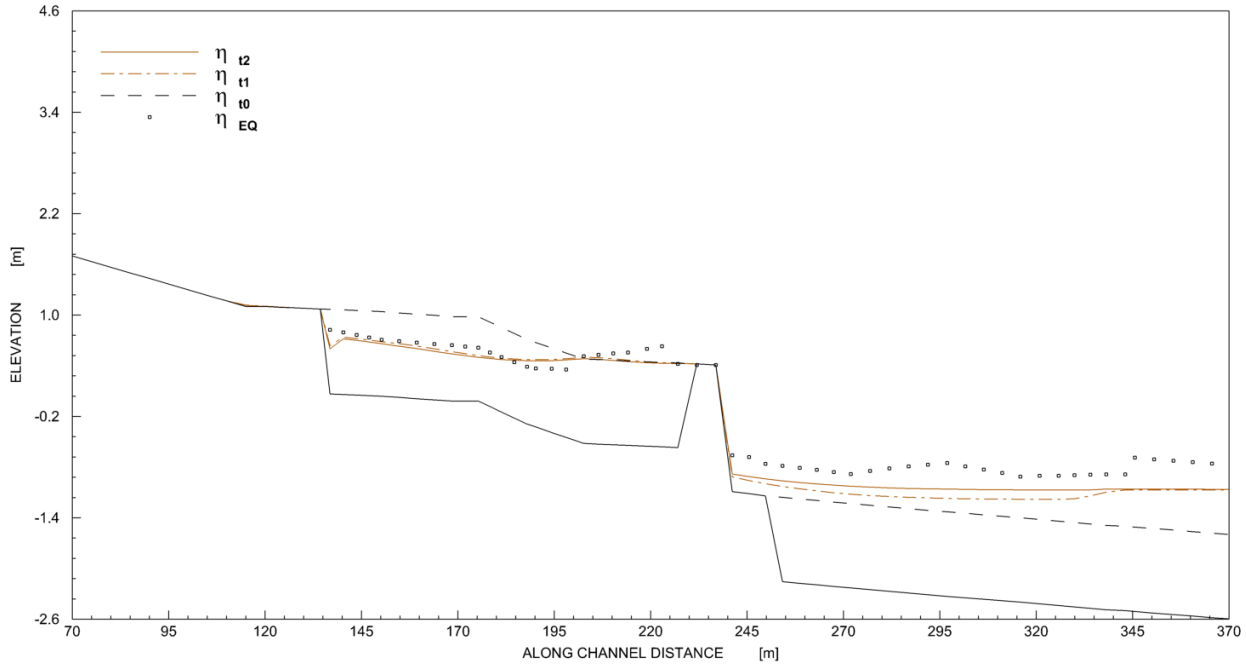


Figura 59 – SCENARIO C - Evoluzione morfodinamica del fondo – Confronto tra il primo evento [Tipo (2)] ed il secondo evento [Tipo (1)]

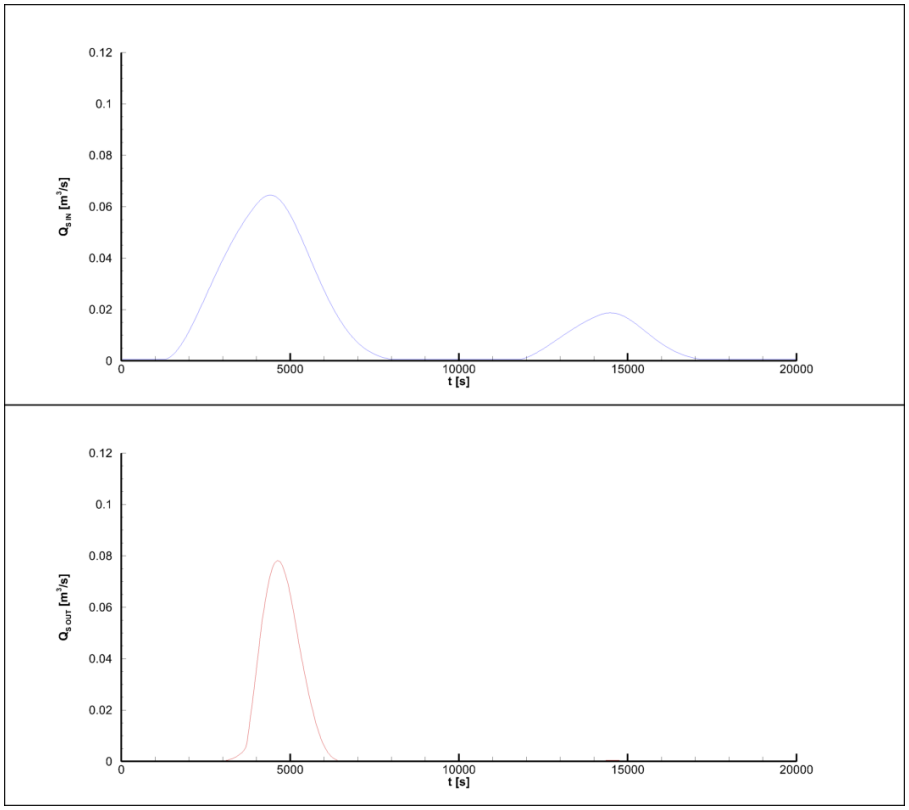


Figura 60 – SCENARIO C – Confronto tra la portata solida in ingresso da monte (copertura) ed in uscita (porticciolo)

Dopo aver completato l'analisi delle due precedenti configurazioni, risultano più chiari gli effetti dello SCENARIO C.

Quest'ultimo rappresenta, infatti, una combinazione dei due eventi. Anche in questo caso, come era lecito attendersi, alla fine del primo evento, a monte della briglia il fondo di progetto si è già modificato progredendo verso il profilo di equilibrio morfodinamico ed il secondo evento mantiene inalterata la soluzione ottenuta.

Ulteriormente, è interessante notare come, accoppiando un evento di tipo (2) con un evento di tipo (1), il deposito nel canale alla fine dello scenario, risulti essere più ingente rispetto a quanto registrato nei casi precedenti.

Il primo evento, infatti, tende ad accumulare materiale verso valle, mentre il secondo riesce a massimizzare l'effetto di coda, depositando nel tratto subito ai piedi della briglia, combinando gli effetti degli scenari precedenti.

Tale caratteristica è sintetizzata in Figura 59. Dai risultati appare chiaro come la celerità dei fenomeni morfodinamici sia influenzata anche dalla successione degli eventi e dalla loro combinazione, oltre che dall'intrinseca intensità del valore del trasorto solido.

Inoltre, durante il primo evento di ogni scenario, il lieve profilo erosivo innescato nel tratto a monte del ponte romanico, contribuisce ad arricchire la portata in arrivo da monte: circa un 20% del volume depositato nel tratto a valle della briglia, infatti, proviene dal predetto tratto che celermente si attesta all'equilibrio nel primo evento e rimane pressocchè stabile negli eventi successivi.

In generale, la modellazione morfodinamica ha permesso di confermare come, in condizioni di alimentazione standard, il sedimento tenda a depositare a valle della nuova briglia, nel canale realizzato mediante l'abbassamento del fondo alveo, caratteristica effettivamente prevista dai profili di equilibrio che rappresentano la soluzione a lungo termine delle analisi non stazionarie.

Con la medesima metodologia descritta al paragrafo §5.5.1, inoltre, è possibile assegnare un tempo di ritorno agli scenari descritti. Considerando, quindi, come significativo, un riempimento superiore ad un valore di soglia fissato all'incirca nel 40% di V_{TOT} è possibile stimare un *limite inferiore* per il periodo di evoluzione morfodinamica pari a:

$$T \geq 2 \text{ [anni]}$$

Il predetto valore è considerato una stima a favor di sicurezza poiché, come anticipato precedentemente, circa un 20% del volume depositato nelle simulazioni proviene dal tratto a monte del ponte romanico che si attesta rapidamente all'equilibrio durante il primo evento di ogni scenario.

Tutto ciò premesso, le precedenti analisi permettono di stimare regionevolmente il periodo di evoluzione morfodinamica nell'intervallo compreso tra:

$$2\ [\text{anni}] \leq T \leq 13\ [\text{anni}]$$

Come prescrizione al piano di manutenzione dell'opera, sarà buona norma dotare l'alveo di aste graduate su entrambe le sponde utili a monitorare l'evoluzione del fondo medio dell'alveo e a correlare tale variazione con la portata prevista e registrata, al fine di acquisire sempre più informazioni sul bacino e poter tarare al meglio eventuali interventi o correzioni successive.

5.6. STABILITA' IDRODINAMICA DEI MASSI E DEI GABBIONI

5.6.1. EROSIONE AL PIEDE DELLA BRIGLIA

Durante l'evento con tempo di ritorno duecentennale, nella configurazione di progetto, al piede della nuova briglia, la corrente veloce imposta dalla transizione sulla testa del salto possiede elevata velocità ed energia cinetica. Al fine garantire la stabilità dell'opera e minimizzare l'eventuale scavo al piede della stessa, il fondo sarà protetto da materiale di grossa pezzatura per una distanza pari all'incirca a 15[m].

Il diametro equivalente del riprap a protezione del fondo alveo è stato ricavato mediante la più conservativa tra due distinte metodologie progettuali.

Una prima valutazione è stata fatta utilizzando la teoria proposta da Schoklitsch(1932) per la valutazione dello scavo locale che si realizza a valle di un salto di fondo, secondo lo schema riportato in Figura 61.

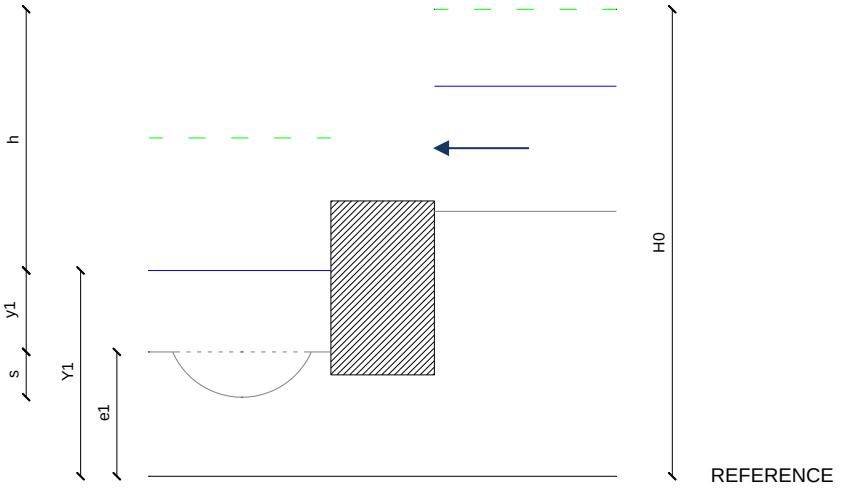


Figura 61 – Valutazione dello scavo a valle della briglia

Occorre, pertanto, definire una dimensione opportuna dei massi posti alla base della briglia in modo che lo scavo previsto risulti essere inferiore alla pezzattura del prescelto riprap.

La relazione di Schoklitsch valuta la profondità dello scavo attraverso la seguente equazione:

$$s_{MAX} = 4.75 \frac{h^{0.2} q^{0.57}}{d_{90}^{0.32}} - y_1$$

Dai risultati ottenuti dal profilo di rigurgito stazionario nella configurazione progettuale, per la portata con tempo di ritorno duecentennale, si ottengono i seguenti parametri:

- H_0 = 4.70 [m] carico totale a monte della briglia
- Y_1 = 1.15 [m] livello del pelo libero della corrente a valle del salto
- e_1 = -1.09 [m] quota del fondo a valle del salto
- q = 18.0 [m^2/s] portata per unità di larghezza relativa alla sezione rettangolare
- d_{90} = 1300 [mm] dimensione del masso posto a presidio dello scavo

Data la velocità massima della corrente, pari a U=8.03[m/s], è agevole stimare una larghezza equivalente per la sezione rettangolare, alla base della trattazione proposta, pari a b=11.5[m].

Con una dimensione caratteristica dei massi pari a d=1.3[m] si ottiene uno scavo pari a:

$$s_{MAX} = 0.96 \text{ [m]} \leq d=1.3\text{[m]}$$

Il secondo metodo proposto è relativo alla classica trattazione di Shields, inerente la valutazione del moto incipiente dei sedimenti.

Facendo riferimento alle condizioni idrodinamiche descritte in precedenza è possibile valutare la tensione tangenziale al fondo calcolandola direttamente o dalla conduttanza locale (C) o dalla trattazione di Engelund (R→Y):

- b = 11.5 [m] larghezza rettangolare equivalente
- Y = 2.24 [m] profondità della corrente a valle del salto
- U = 8.03 [m] velocità massima a valle del salto
- q = 18.0 [m^2/s] portata per unità di larghezza relativa alla sezione rettangolare
- C = 12.10 [-] conduttanza locale
- τ_{COND} = 441 [N/m^2] tensione massima al fondo valutata dalla conduttanza locale
- τ_{ENG} = 613 [N/m^2] tensione massima al fondo valutata con l'approccio di Engelund

Definito il diametro del riprap a protezione del fondo scavo pari a d=1300[mm] risulta agevole valutare la tensione adimensionale critica di mobilitazione attraverso la relazione di Brownlie. Per numeri di Reynolds della particella superiori a R_P=200[-], quest'ultima può assumersi costante e pari a circa τ_C^*=0.06[-]. Assumendo una densità del sedimento pari a ρ_s=2650[kg/m^3], la tensione dimensionale critica del masso vale pertanto:

$$\tau_C = \tau_C^*(\rho_S - \rho)gd = 1262 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

La tensione critica così ottenuta deve essere scalata mediante coefficienti utili a pesare l'influenza della pendenza del fondo η_F della sommergenza η_S:

$$\eta_F = \cos\alpha - \frac{\sin\alpha}{\tan\phi} = 0.995$$

$$\eta_S = 1 + 0.67\left(\frac{d}{Y}\right)^{0.5} = 1.510$$

in cui:

- α pendenza locale del fondo
- ϕ = 45 [°] angolo di attrito interno dei massi

A favor di sicurezza, trascurando il coefficiente relativo alla bassa sommergenza η_S, si ottiene una tensione critica di trascinamento pari a:

$$\tau_C{}' = \tau_C \, \eta_P = 1255 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

A favor di sicurezza, confrontando la tensione critica con la tensione massima al fondo valutata con l'approccio di Engelung, si ottiene un coefficiente di sicurezza al trascinamento pari a c=2.05[-].

Tutto ciò premesso, il masso di riferimento utile alla protezione della briglia deve avere un diametro assunto maggiore o uguale a d=1300[mm], equivalente ad un peso di circa 4500[kg] per un riprap di 3ª categoria.

5.6.2. EROSIONE NEL TRATTO IN CURVA

Per la valutazione dell'erosione del fondo nel tratto curvilineo tra la sezione n°8 e la sezione n°6, si decide di adottare la metodologia proposta da Seminara e Solari (1998) a cui si rimanda per una completa trattazione.

Il metodo risulta essere conservativo poichè è derivato dalla teoria lineare proposta per gli alvei meandriformi ed, ulteriormente, poiché considera la soluzione morfodinamica di equilibrio a lungo termine del campo di moto nel tratto curvilineo.

Mediando le condizioni idrodinamiche della soluzione progettuale definite da un evento duecentennale nel tratto compreso tra la sezione n°8 e la sezione n°6, si ottengono i seguenti risultati:

- b = 15.0 [m] larghezza rettangolare equivalente
- d = 1.3 [m] diametro dei massi posti a presidio della curva
- r = 42.5 [m] raggio di curvatura del tratto definito lungo l'asse
- Y = 3.67 [m] profondità della corrente
- U = 3.76 [m] velocità della corrente
- C = 12.99 [-] conduttanza
- τ_{COND} = 83.8 [N/m^2] tensione massima al fondo valutata dalla conduttanza locale
- τ_{ENG} = 124.8 [N/m^2] tensione massima al fondo valutata con l'approccio di Engelund
- $\frac{r}{b}$ = 2.83 [-] rapporto adimensionale di curvatura
- $\frac{d}{Y}$ = 0.354 [-] rapporto adimensionale di curvatura

Con i parametri precedenti, il metodo proposto fornisce un valore del massimo scavo variabile nel seguente intervallo, in funzione della tensione al fondo utilizzata:

$$s_{MAX} = 1.1[m] - 1.3[m] \leq d=1.3[m]$$

Tutto ciò premesso, il masso di riferimento utile alla protezione dell'erosione nel tratto in curva deve avere un diametro assunto maggiore o uguale a d=1300[mm], equivalente ad un peso di circa 4500[kg] per un riprap di 3ª categoria.

5.6.3. GABBIONI

La verifica dei gabbioni nei confronti degli sforzi di trascinamento è stata compiuta attraverso la metodologia di Shields, riportata al precedente paragrafo §5.6.1.

Facendo riferimento alle condizioni idrodinamiche più sfavorevoli presenti nel tratto a valle della sezione n°5 è possibile valutare la tensione tangenziale al fondo calcolandola direttamente o dalla conduttanza locale (C) o dalla trattazione di Engelund (R→Y):

- b = 12.0 [m] larghezza rettangolare equivalente
- Y = 3.78 [m] profondità della corrente
- U = 4.53 [m] velocità della corrente
- C = 12.8 [-] conduttanza locale
- τ_{COND} = 126 [N/m^2] tensione massima al fondo valutata dalla conduttanza locale
- τ_{ENG} = 205 [N/m^2] tensione massima al fondo valutata con l'approccio di Engelund

La tensione critica per i gabbioni non vegetati di spessore pari ad 1.0[m] e riempiti con massi di pezzatura d=30[cm] è valutata in letteratura in circa τ_C=470[N/m^2].

A favor di sicurezza, confrontando la tensione critica con la tensione massima al fondo valutata con l'approccio di Engelung, si ottiene un coefficiente di sicurezza al trascinamento pari a c=2.29[-].

6. CONCLUSIONI

La presente nota di calcolo ha descritto nel dettaglio le procedure e i risultati relativi alla progettazione definitiva dell'intervento di adeguamento idraulico del tratto terminale del torrente Nervi, secondo le esigenze e le necessità espresse dall'Amministrazione ed in conformità alle vigenti Normative.

Nella prima fase delle valutazioni è stata sviluppata un'analisi di stabilità morfodinamica del tratto oggetto di indagine al fine di evidenziare gli eventuali meccanismi evolutivi in atto.

L'analisi di stabilità morfodinamica si è necessariamente articolata nelle sue cinque fasi fondamentali.

Dal sopralluogo in sito il tratto oggetto di studio non ha mostrato particolari evidenze di processi evolutivi in corso, esclusion fatta per un'erosione localizzata al piede dell'argine sinistro, a valle della sezione n°8, generata con ogni probabilità dall'azione concentrata del moto in curva ed una leggera tendenza erosiva rilevata nel tratto a monte del ponte romanico.

Quindi, si è proceduto alla ricerca di tutti i rilievi e del materiale disponibile al fine di poter effettuare una ricostruzione cronologica degli eventi e degli interventi progettuali che hanno interessato il tratto oggetto di indagine.

La sovrapposizione dei rilievi disponibili, distanziati temporalmente di circa 13 anni, e la ricerca di evidenze fotografiche storiche hanno confermato l'assenza di significativi processi evolutivi in atto nel tratto a monte della soglia esistente. A valle di quest'ultima, al contrario, con molta probabilità, si è innescato nel tempo un processo di deposito generato dalla condizione al contorno imposta dal livello di medio mare.

Il tracciamento dei profili di equilibrio ha permesso di stimare le condizioni formative per l'alveo e di scegliere il legame più idoneo tra la portata liquida e la portata solida in arrivo da monte.

Dopo aver caratterizzato da un punto di visto morfodinamico il tratto di torrente Nervi oggetto di indagine, è stato possibile valutare la stabilità della soluzione progettuale proposta.

Sebbene l'unico intervento possibile per limitare l'altezza delle arginature richieste dal rispetto dei franchi di Normativa e, quindi, permettere l'integrazione dei presidi di sicurezza nel contesto antropico e ambientale, sia costituito dall'abbassamento generalizzato del fondo, quest'ultimo non risulta essere un intervento stabile nel medio/lungo periodo. Da questa osservazione derivano due importanti conseguenze:

- la necessità di una costante manutenzione per conservare le caratteristiche di fruibilità del canale preposto alla navigazione da effettuarsi a valle di ogni significativo deposito di materiale;
- la necessità di slegare la definizione delle quote arginali dalla geometria iniziale di progetto a breve termine, al fine di garantire gli idonei livelli di sicurezza idraulica imposti dalla Normativa anche per le rare situazioni nelle quali, in condizioni temporanee di emergenza, la manutenzione dovesse essere interrotta;

La soluzione proposta nel presente progetto definitivo, pertanto, recependo le osservazioni scaturite dall'analisi di stabilità morfodinamica, è quindi costituita da un abbassamento dell'alveo al fine di realizzare un canale navigabile sino alla sezione n°6, ma mantiene dei livelli arginali in grado di contenere la piena anche considerando la completa evoluzione della geometria di progetto verso la sua configurazione di equilibrio morfodinamico a lungo termine.

Lo Scrivente

Ing. Giampiero Nobile



7. INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 – BACINO DEL TORRENTE NERVI (A=9.4[KM^2]) 11
FIGURA 2 – MODELLO 3D GIS DELL'INTERO BACINO DEL TORRENTE NERVI 12
FIGURA 3 – AREA OGGETTO DI INTERVENTO 13
FIGURA 4 – SBOCCO DELLA COPERTURA DI VIA OBERDAN RIPRESA DAL PONTE ROMANICO 14
FIGURA 5 – VISTA DEL PONTE ROMANICO RIPRESA DALLO SBOCCO DELLA COPERTURA DI VIA OBERDAN 14
FIGURA 6 – SOTTOSERVIZIO RETE FOGNATURA NERA 15
FIGURA 7 – SOGLIA TERMINALE DI SBOCCO NEL PORTICCIOLO 15
FIGURA 8 – PARTICOLARE DEL MURO IN PIETRA IN SPONDA DESTRA 16
FIGURA 9 – PARTICOLARE DELL'EROSIONE LOCALIZZATA PRESENTE IN SPONDA SINISTRA 17
FIGURA 10 – ANCORA UN PARTICOLARE DELL'EROSIONE LOCALIZZATA PRESENTE IN SPONDA SINISTRA 17
FIGURA 11 – SEZIONE N°11 – SPONDA DESTRA – CONFRONTO FOTOGRAFICO (2004 – 2018) 19
FIGURA 12 – SEZIONE N°11 – SPONDA SINISTRA – CONFRONTO FOTOGRAFICO (2004 – 2018) 20
FIGURA 13 – SEZIONE N°9 – CONFRONTO FOTOGRAFICO (2004 – 2018) 21
FIGURA 14 – SEZIONE N°6 – CONFRONTO FOTOGRAFICO (2004 – 2018) 22
FIGURA 15 – VARIAZIONE DELLA LARGHEZZA CARATTERISTICA DELL'ALVEO (B) IN FUNZIONE DELLA PORTATA DEFLUENTE (Q) 23
FIGURA 16 – PELO LIBERO DELLA SEZIONE N°8 AL VARIARE DELLA PORTATA 24
FIGURA 17 – PENDENZA MEDIA DEL THALWEG - RILIEVO 2004 25
FIGURA 18 – PENDENZA MEDIA DEL THALWEG - RILIEVO 2017 25
FIGURA 19 – CONFRONTO TRA I PROFILI DEL THALWEG (2004-2017) 26
FIGURA 20 – VALUTAZIONE DEL FONDO MEDIO NELLA SEZIONE RETTANGOLARE 27
FIGURA 21 – CONFRONTO TRA I PROFILI DEL FONDO MEDIO (2004-2017) 27
FIGURA 22 – POSIZIONE DEL CAMPIONAMENTO GRANULOMETRICO SUPERFICIALE (GOOGLE ©) 29
FIGURA 23 – VISTA DELLA SEZIONE OGGETTO DI CAMPIONAMENTO 30
FIGURA 24 – PARTICOLARE DELLA PEZZATURE DEI SEDIMENTI RILEVATI IN SUPERFICIE 30
FIGURA 25 – CURVA GRANULOMETRICA CUMULATA E DIAMETRI CARATTERISTICI 31
FIGURA 26 – OUTPUT QUALITATIVO DEL SOFTWARE BASEGRAIN© 32
FIGURA 27 – CONFRONTO, A TITOLO D'ESEMPIO, TRA IL FONDO RILEVATO NEL 2017 E DUE GENERICI PROFILI DI EQUILIBRIO 39
FIGURA 28 – RICERCA DELLE CONDIZIONI FORMATIVE 40
FIGURA 29 – PROFILO DI EQUILIBRIO E CONFRONTO CON IL RILIEVO 2017. FONDO (H), PELO LIBERO (H) E PROFONDITÀ CRITICA (H_c) 41
FIGURA 30 – STATO DI FATTO - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] 47
FIGURA 31 – INDICAZIONE DELLE NUOVE ARGINATURE – TRATTO A MONTE DEL PONTE ROMANICO 49
FIGURA 32 – INDICAZIONE DELLE NUOVE ARGINATURE – TRATTO A VALLE DEL PONTE ROMANICO – MONTE CURVA 50
FIGURA 33 – INDICAZIONE DELLE NUOVE ARGINATURE – TRATTO A VALLE DEL PONTE ROMANICO – VALLE CURVA 51
FIGURA 34 – STATO DI PROGETTO – PROFILO DEL FONDO IN CONDIZIONI DI PORTATA NULLA 52
FIGURA 35 – ABBASSAMENTO ALVEO E RELATIVI INTERVENTI 53
FIGURA 36 – SEZIONI TIPOLOGICHE 54
FIGURA 37 – STATO DI PROGETTO - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] – REALIZZAZIONE NUOVE ARGINATURE E ABBASSAMENTO DEL FONDO ALVEO DAL PORTICCIOLO SINO ALLA SEZIONE N°6 57
FIGURA 38 – STATO DI PROGETTO - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] – EFFETTI MIGLIORATIVI GENERATI DALL'ABBASSAMENTE DELL'ALVEO 58
FIGURA 39 – PROFILO DI EQUILIBRIO RELATIVO ALLA SOLUZIONE PROGETTUALE. FONDO (H), PELO LIBERO (H) E PROFONDITÀ CRITICA (H_c) 60

FIGURA 40 – CONFRONTO TRA IL PROFILO DI EQUILIBRIO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE E IL FONDO ATTUALMENTE RILEVATO 61

FIGURA 41 – CONFRONTO TRA IL PROFILO DI EQUILIBRIO DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE E LA MEDESIMA PRIVATA DELL'ALVEO DI MAGRA 62

FIGURA 42 – STATO DI PROGETTO - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] – GEOMETRIA IN EQUILIBRIO MORFODINAMICO 65

FIGURA 43 – STATO DI PROGETTO - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] – CONFRONTO TRA LO STATO DI PROGETTO A BREVE ED A LUNGO TERMINE 66

FIGURA 44 – STATO DI PROGETTO - PROFILO STAZIONARIO PER PORTATA Q_{200}=207[M^3/S] – CONFRONTO TRA LA SOLUZIONE PROGETTUALE A LUNGO TERMINE E LO STATO DI FATTO 67

FIGURA 45 – STIMA DELL'IDROGRAMMA FORMATIVO – Q_{PICCO} = 25.5 [M^3/S] 70

FIGURA 46 – STIMA DEL SEDIMENTOGRAMMA FORMATIVO – Q_{PICCO} = 0.0187 [M^3/S] 70

FIGURA 47 – STIMA DELL'IDROGRAMMA FORMATIVO – Q_{MEDIA} = 20.0 [M^3/S] 71

FIGURA 48 – STIMA DEL SEDIMENTOGRAMMA FORMATIVO – Q_{MEDIA} = 0.0187 [M^3/S] 71

FIGURA 49 – SCENARIO A - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – PRIMO EVENTO [TIPO (1)] 74

FIGURA 50 – SCENARIO A - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – SECONDO EVENTO [TIPO (1)] 74

FIGURA 51 – SCENARIO A - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – CONFRONTO TRA IL PRIMO EVENTO [TIPO (1)] ED IL SECONDO EVENTO [TIPO (1)] 75

FIGURA 52 – SCENARIO A – CONFRONTO TRA LA PORTATA SOLIDA IN INGRESSO DA MONTE (COPERTURA) ED IN USCITA (PORTICCIOLO) 75

FIGURA 53 – SCENARIO B - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – PRIMO EVENTO [TIPO (2)] 77

FIGURA 54 – SCENARIO B - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – SECONDO EVENTO [TIPO (2)] 77

FIGURA 55 – SCENARIO B - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – CONFRONTO TRA IL PRIMO EVENTO [TIPO (2)] ED IL SECONDO EVENTO [TIPO (2)] 78

FIGURA 56 – SCENARIO B – CONFRONTO TRA LA PORTATA SOLIDA IN INGRESSO DA MONTE (COPERTURA) ED IN USCITA (PORTICCIOLO) 78

FIGURA 57 – SCENARIO C - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – PRIMO EVENTO [TIPO (2)] 80

FIGURA 58 – SCENARIO C - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – SECONDO EVENTO [TIPO (1)] 80

FIGURA 59 – SCENARIO C - EVOLUZIONE MORFODINAMICA DEL FONDO – CONFRONTO TRA IL PRIMO EVENTO [TIPO (2)] ED IL SECONDO EVENTO [TIPO (1)] 81

FIGURA 60 – SCENARIO C – CONFRONTO TRA LA PORTATA SOLIDA IN INGRESSO DA MONTE (COPERTURA) ED IN USCITA (PORTICCIOLO) 81

FIGURA 61 – VALUTAZIONE DELLO SCAVO A VALLE DELLA BRIGLIA 84

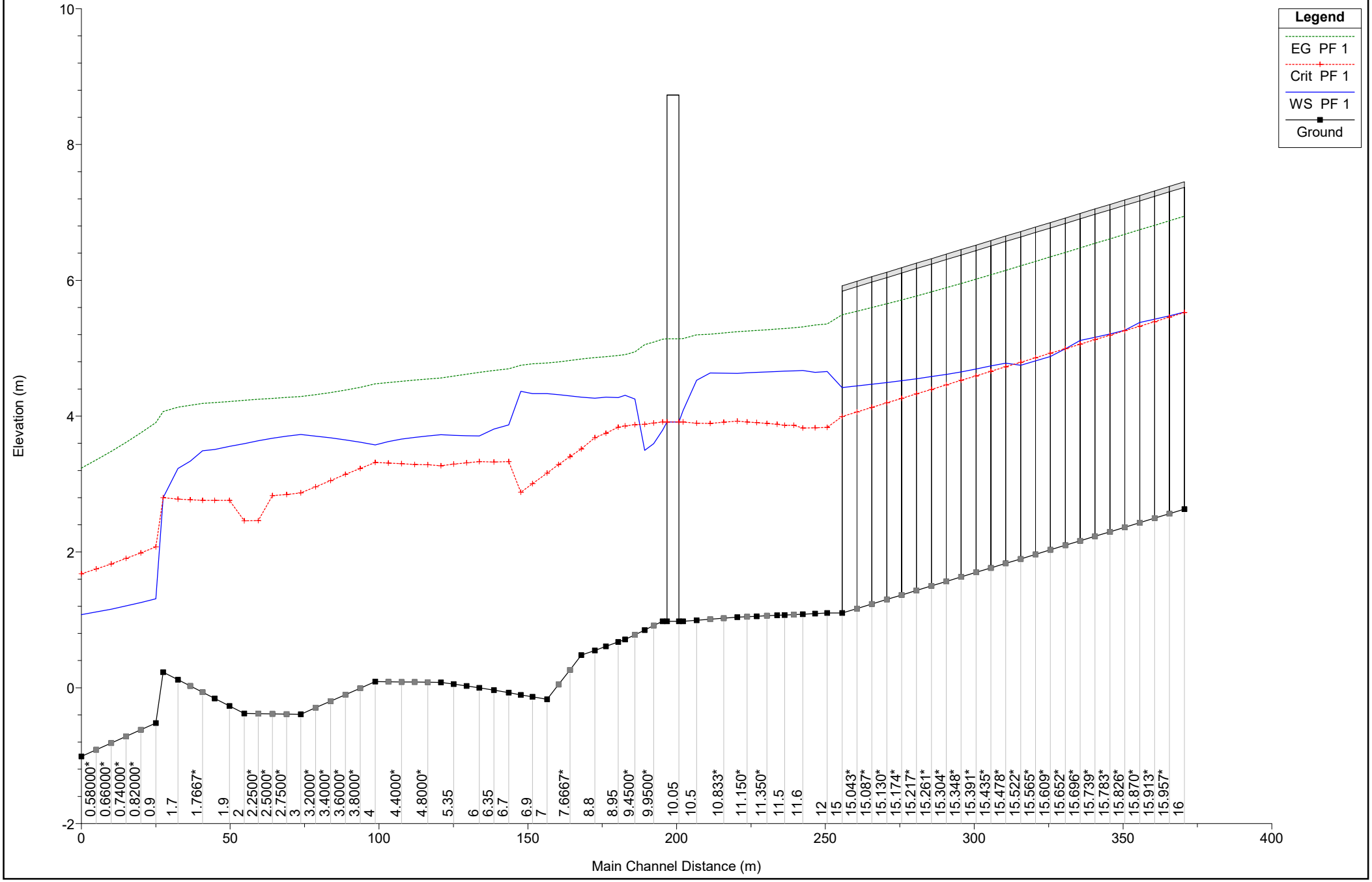
8. INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1 – PORTATE ATTESE IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO 8
TABELLA 2 – STIMA DELLE CONDIZIONI FORMATIVE PER IL TORRENTE NERVI 40
TABELLA 3 – PORTATA DI PROGETTO E CONDIZIONI AL CONTORNO 43
TABELLA 4 – STATO DI FATTO - PROFILO STAZIONARIO CON PORTATA DUECENTENNALE Q=207[M³/S] 46
TABELLA 5 – STATO DI PROGETTO - PROFILO STAZIONARIO CON PORTATA DUECENTENNALE Q=207[M³/S] 56
TABELLA 6 – STATO DI PROGETTO – EQUILIBRIO - PROFILO STAZIONARIO CON PORTATA DUECENTENNALE Q=207[M³/S] 64
TABELLA 7 – VALUTAZIONE DEI VOLUMI MOBILITATI DAGLI EVENTI CARATTERISTICI 72
TABELLA 8 – VALUTAZIONE DELLA TEMPISTICA EVOLUTIVA 72
TABELLA 9 – DEFINIZIONE DEGLI SCENARI MORFODINAMICI 73

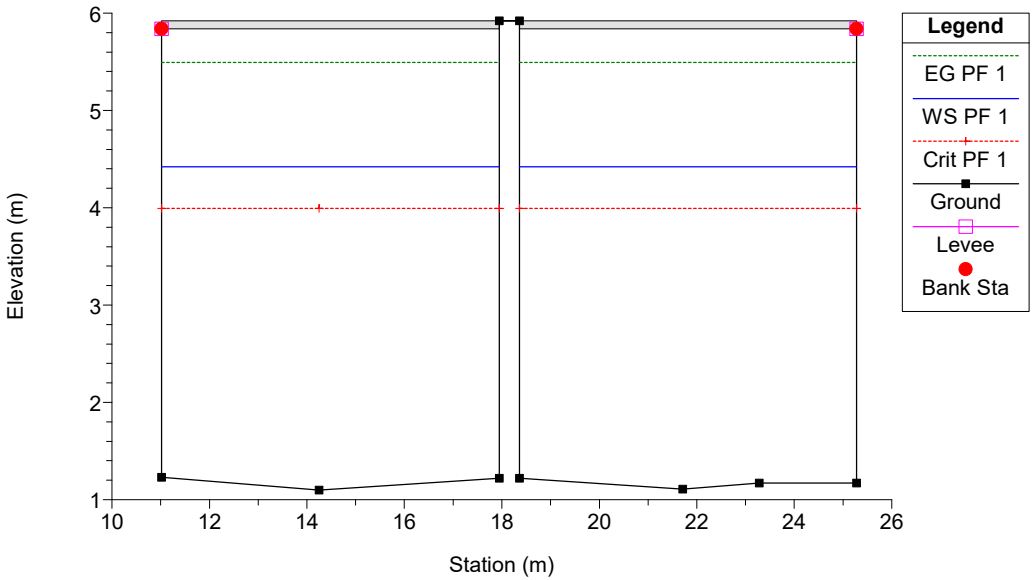
9. ALLEGATI

DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

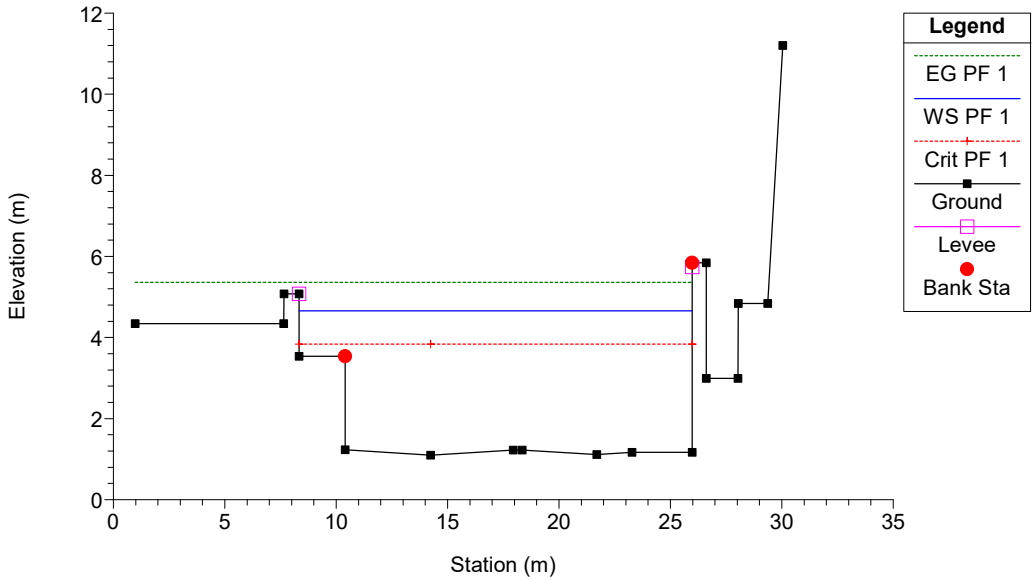
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q



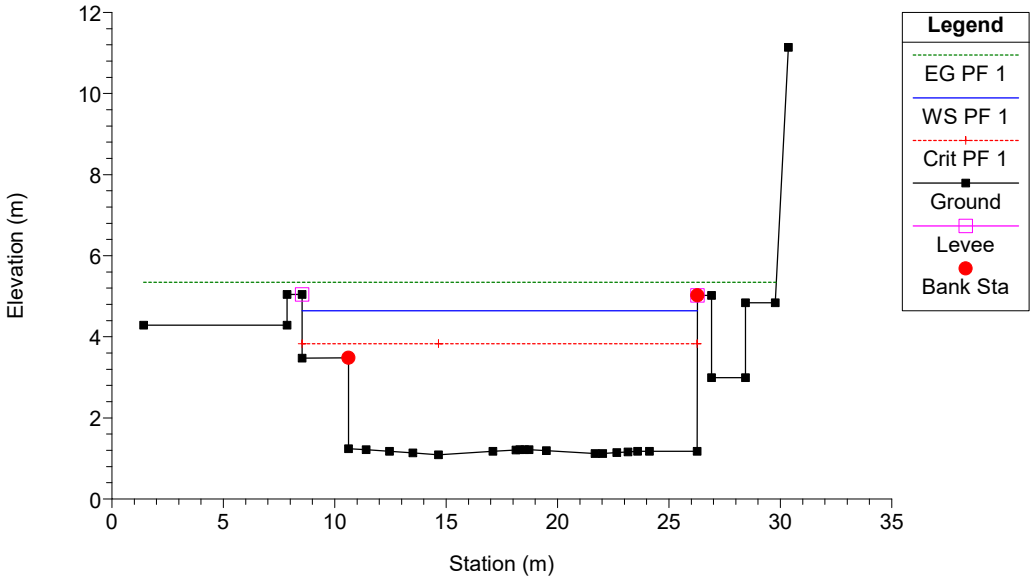
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 15 COPERTURA-SBOCCO



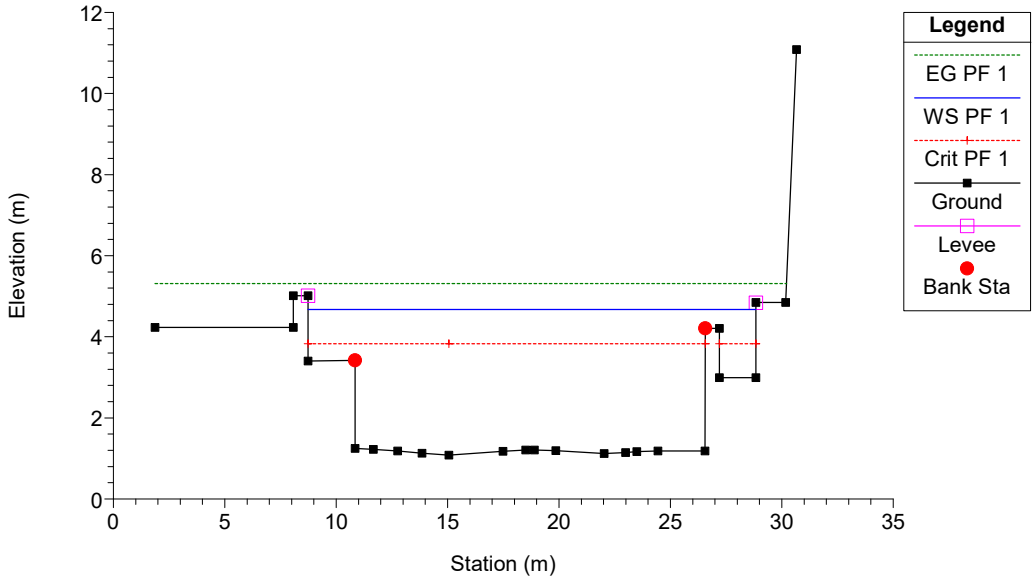
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 12 12 - SBOCCO COPERTURA



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.800



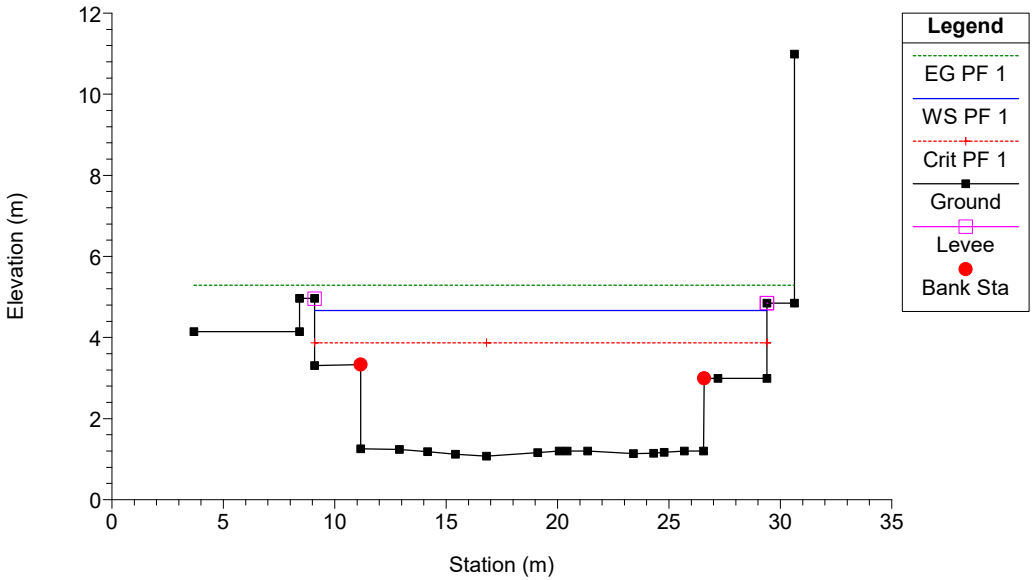
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.6 11.6N - INNESTO MURO



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

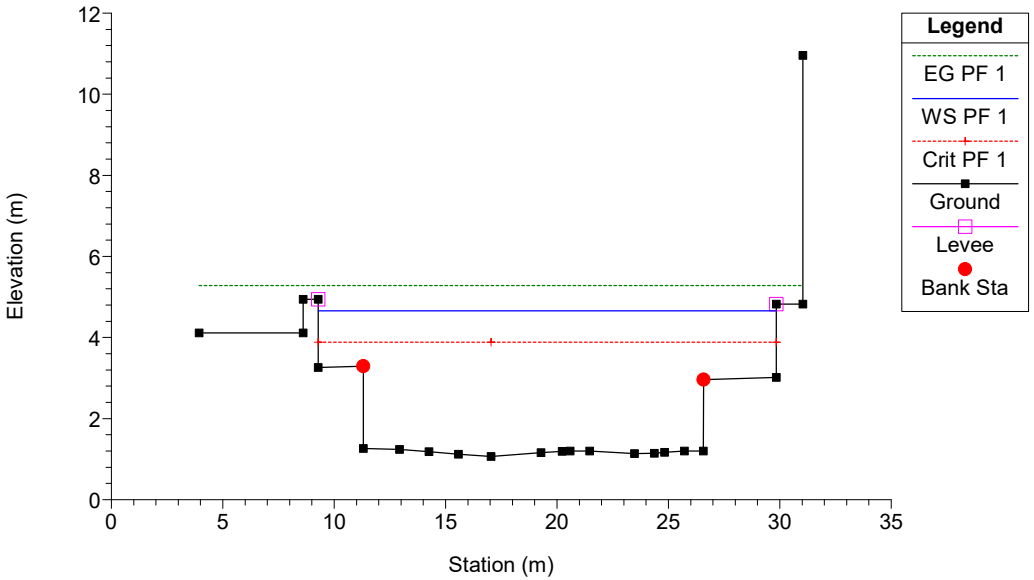
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.5 11.5N - FINE SPALLA



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

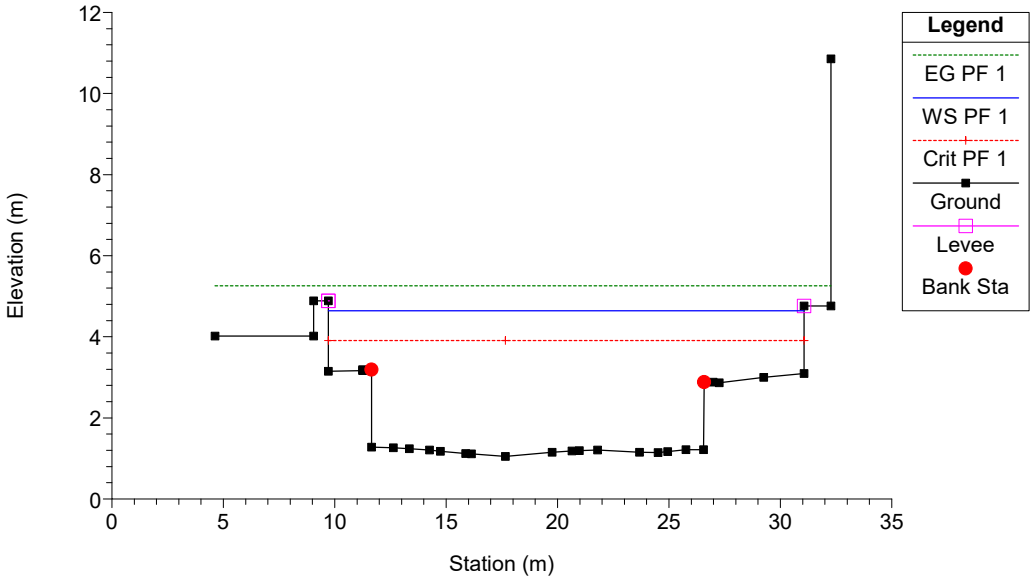
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.4 11.4 - INTERMEDIA



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

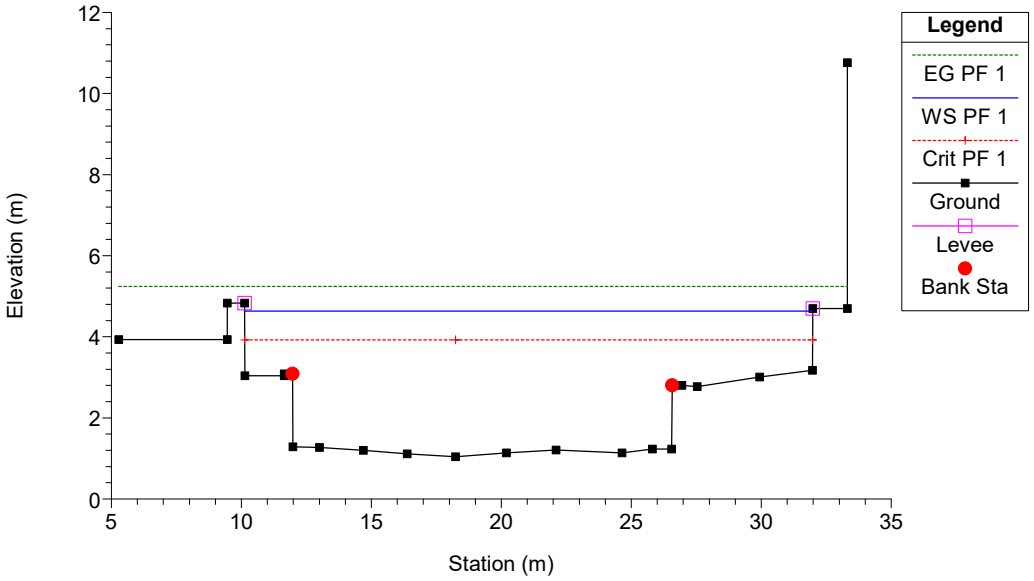
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.3 11.3 - PIEGA ARGINE



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

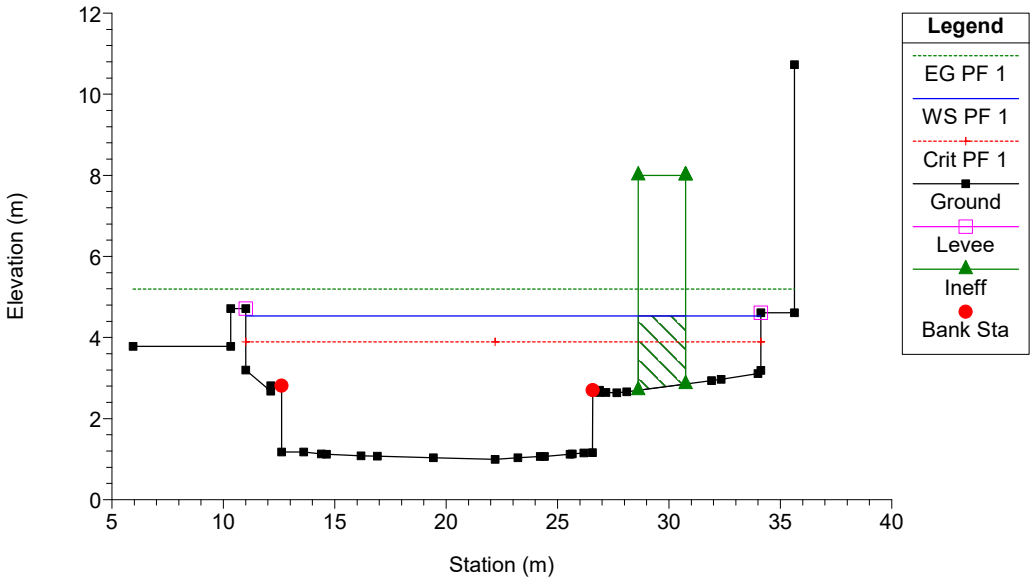
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11 11N



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

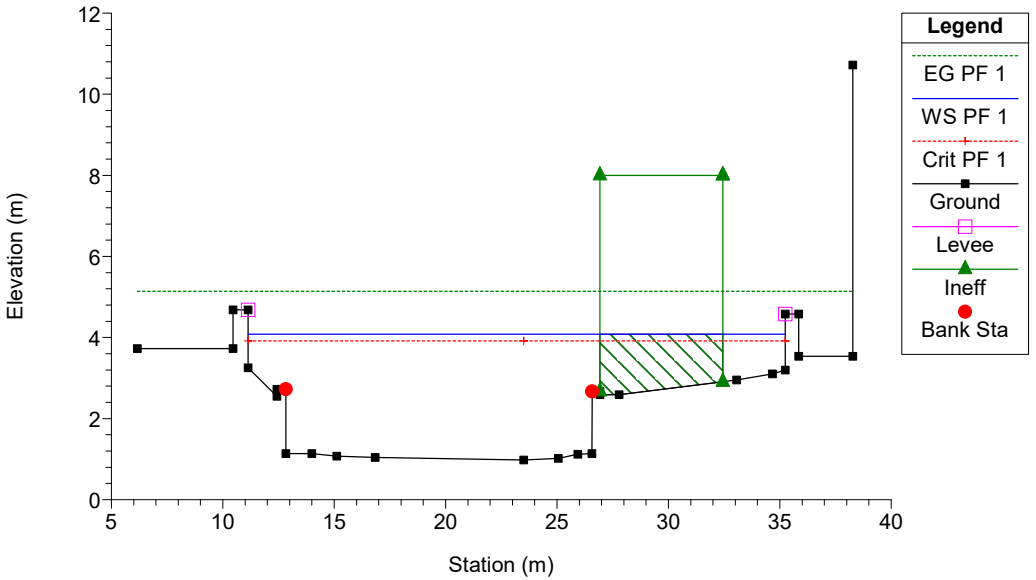
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.5 10.5N - PONTE ROMANO - M



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

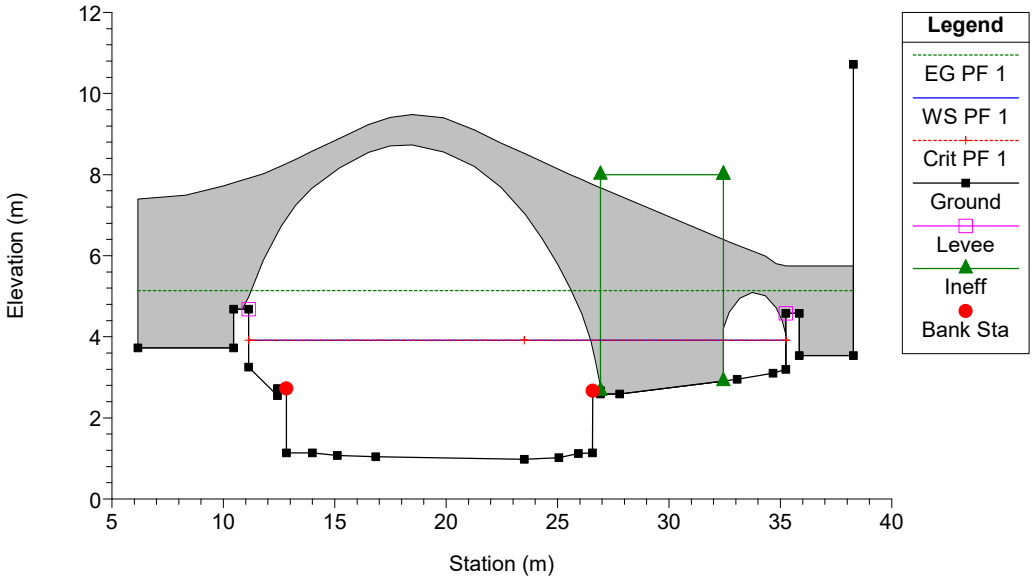
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.1 10.1N - PONTE ROMANO - FM



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

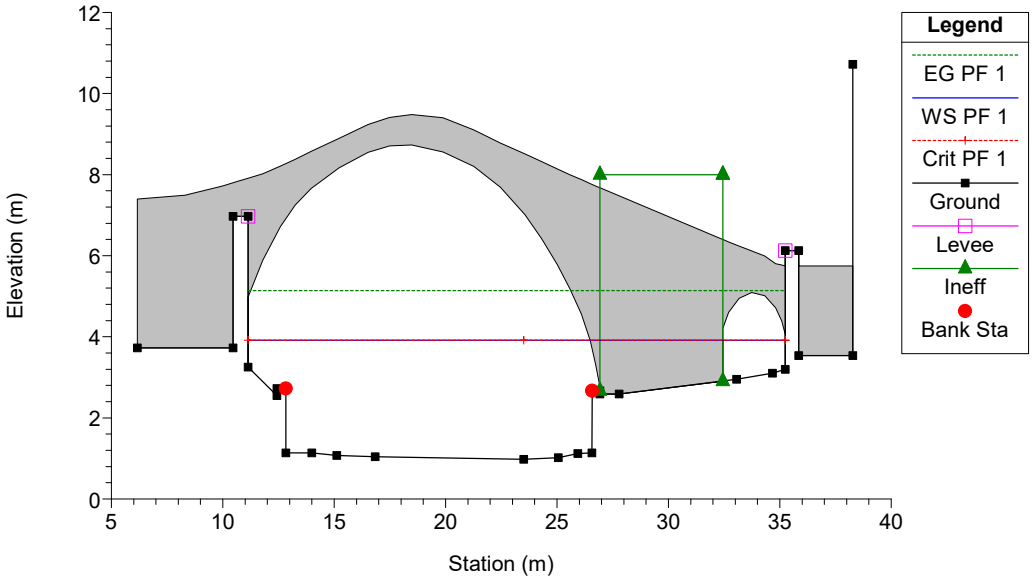
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.05 BR PONTE ROMANO



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

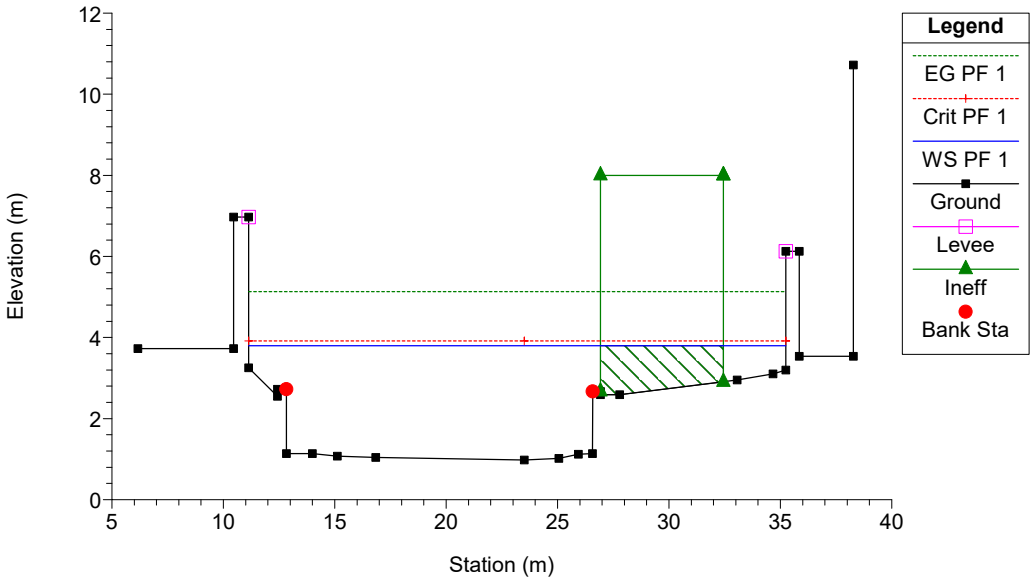
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.05 BR PONTE ROMANO



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

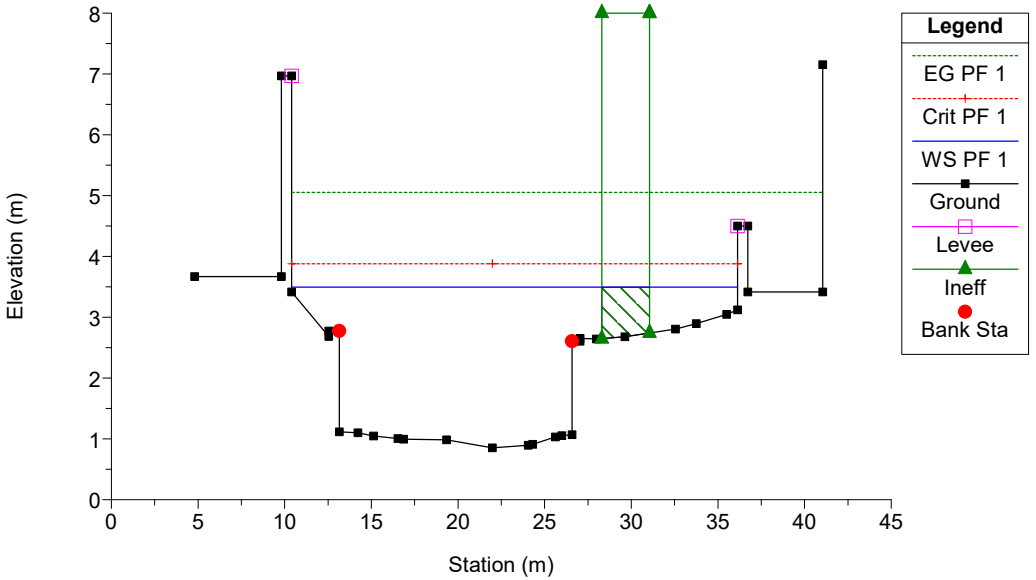
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10 10N - PONTE ROMANO - FV



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

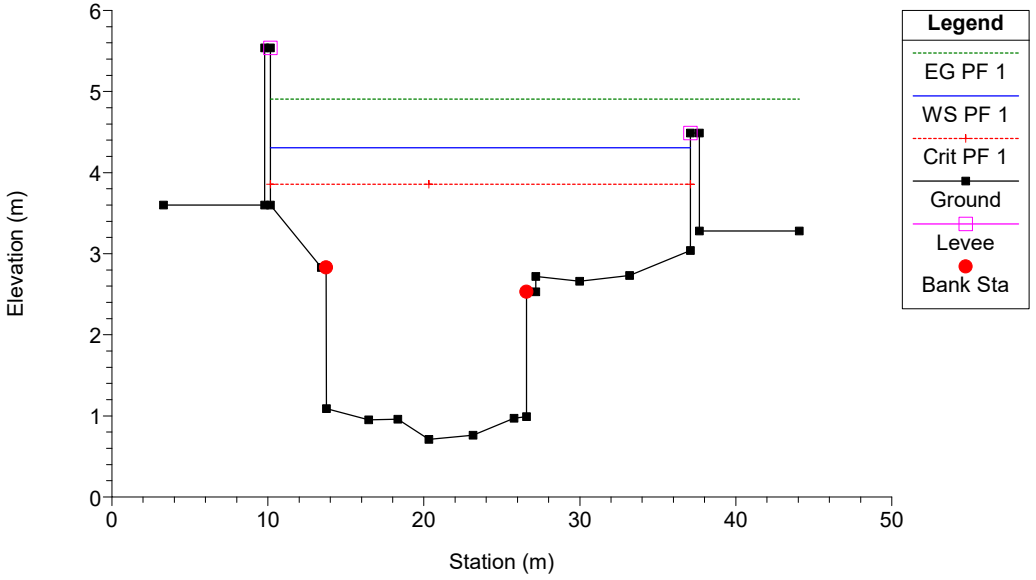
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 9.9 9.9 - PIEGA ARGINE



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

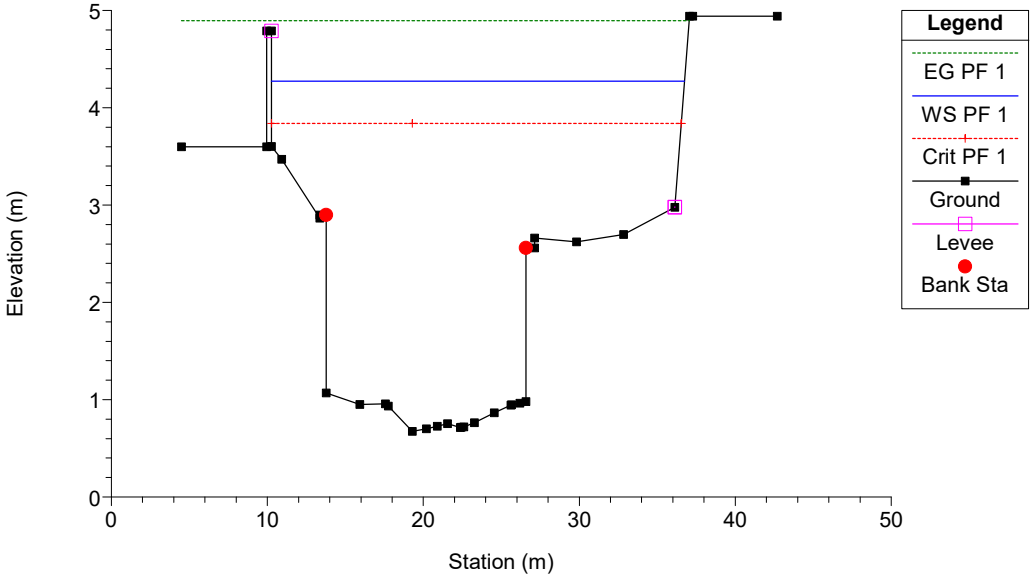
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 9 9N - PONTE ROMANO - V



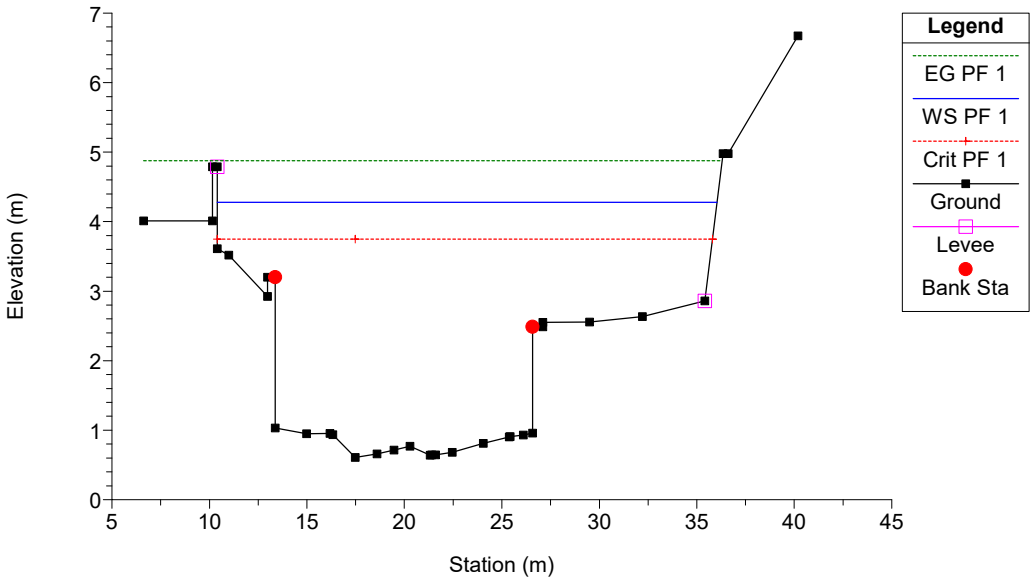
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

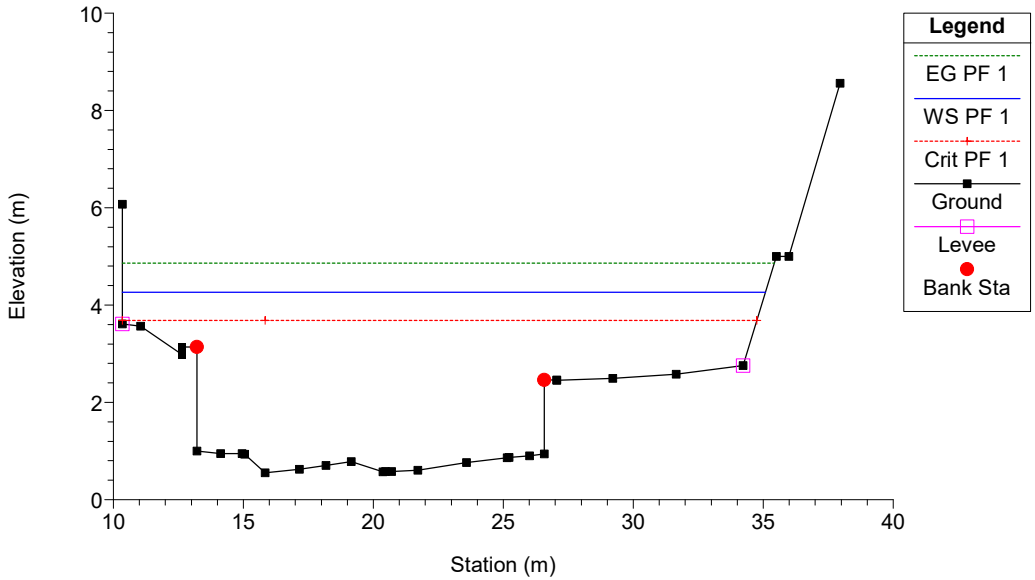
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.95 8.95 - FINE RAMPA



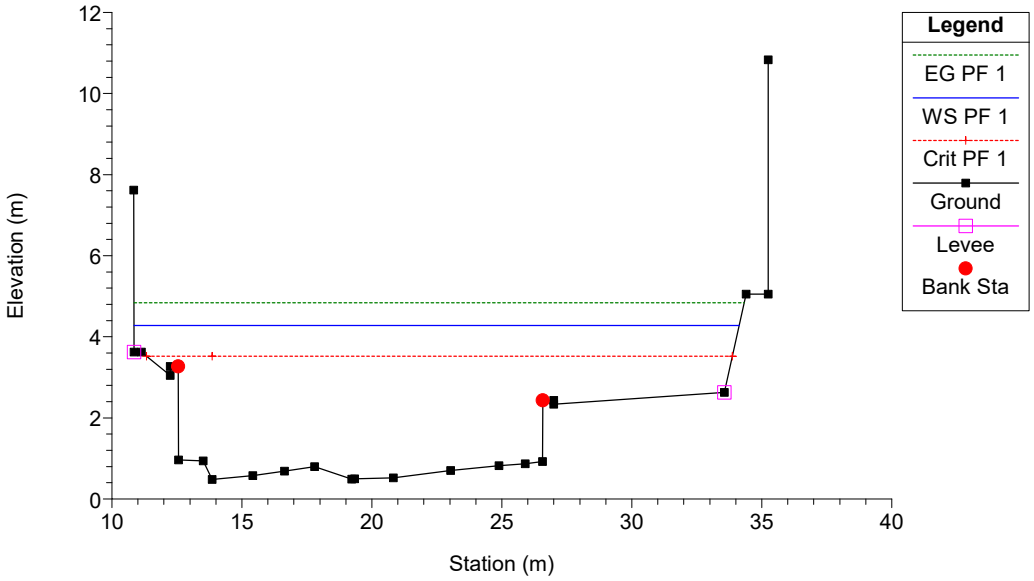
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.9 8.9 - FINE MURETTO



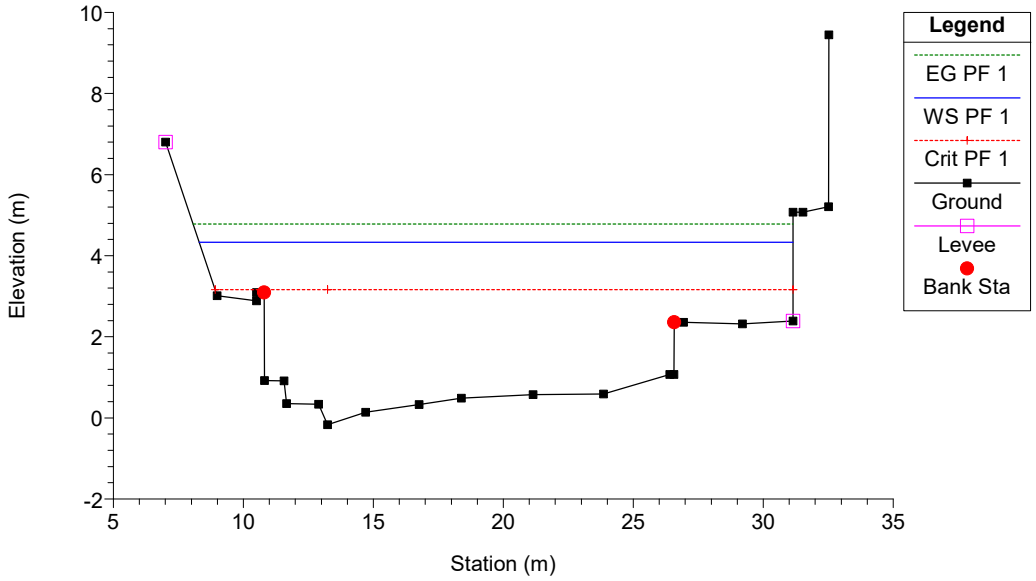
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.8 8.8 - INIZIO CASA



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8 8N



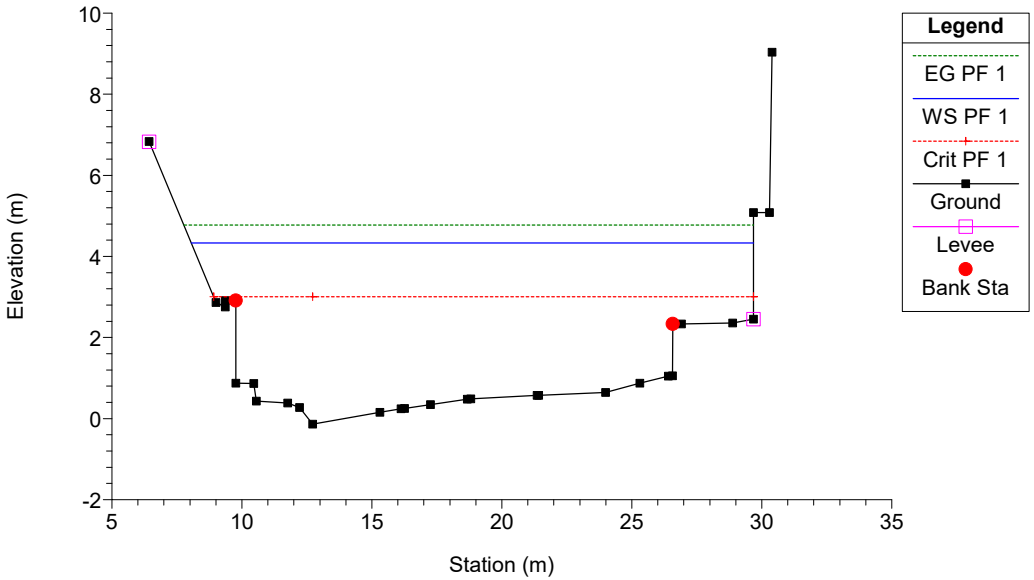
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 7 7N



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

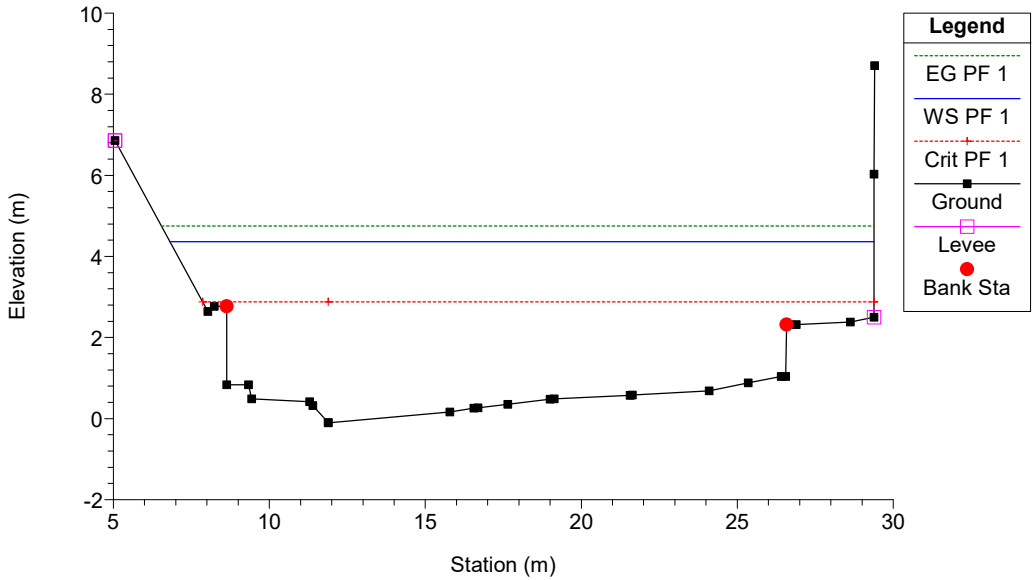
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.9 6.9 - INNESTO SPONDA



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

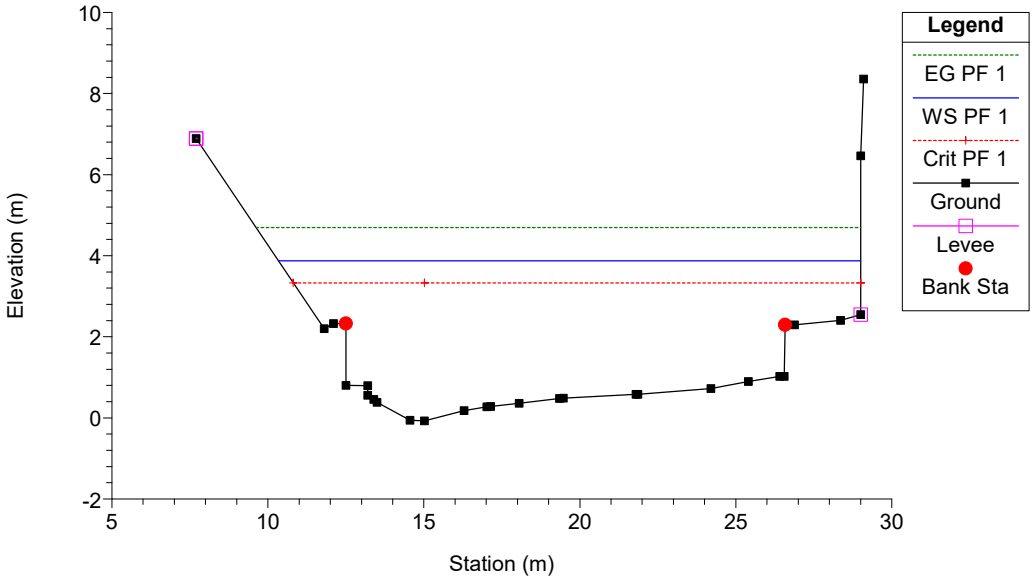
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.8 6.8 - INIZIO RESTR SX



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

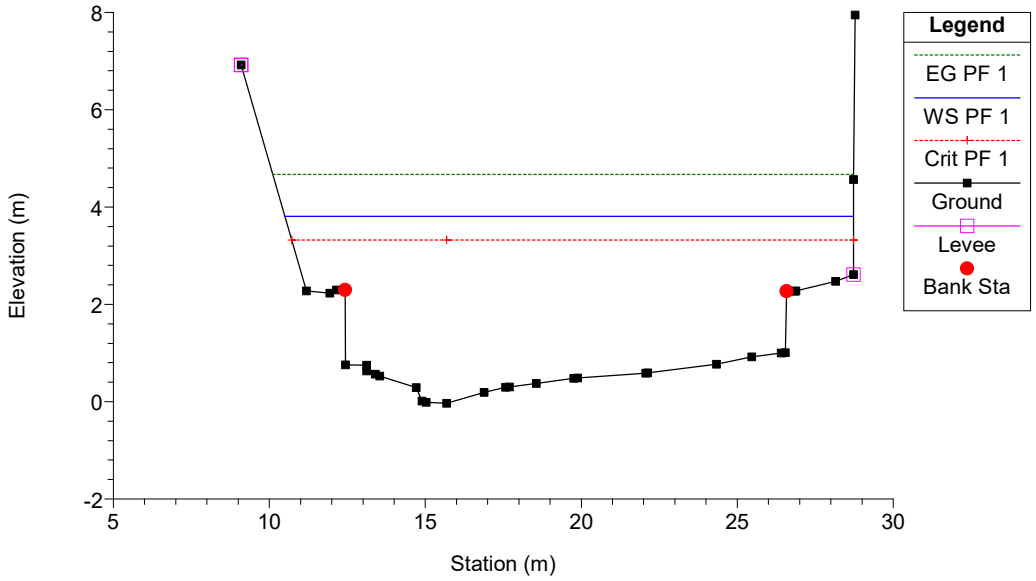
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.7 6.7 - FINE RESTR SX



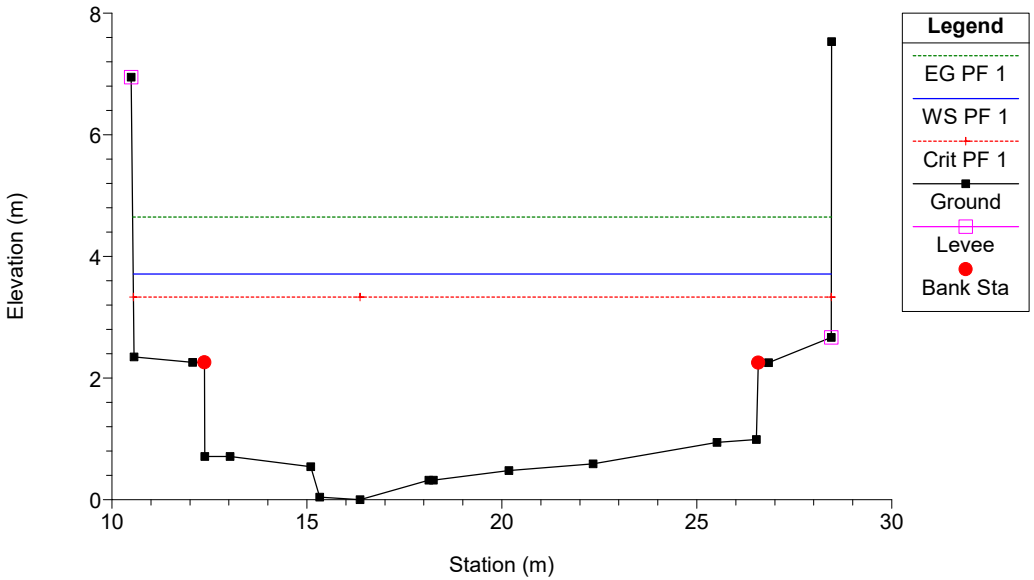
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

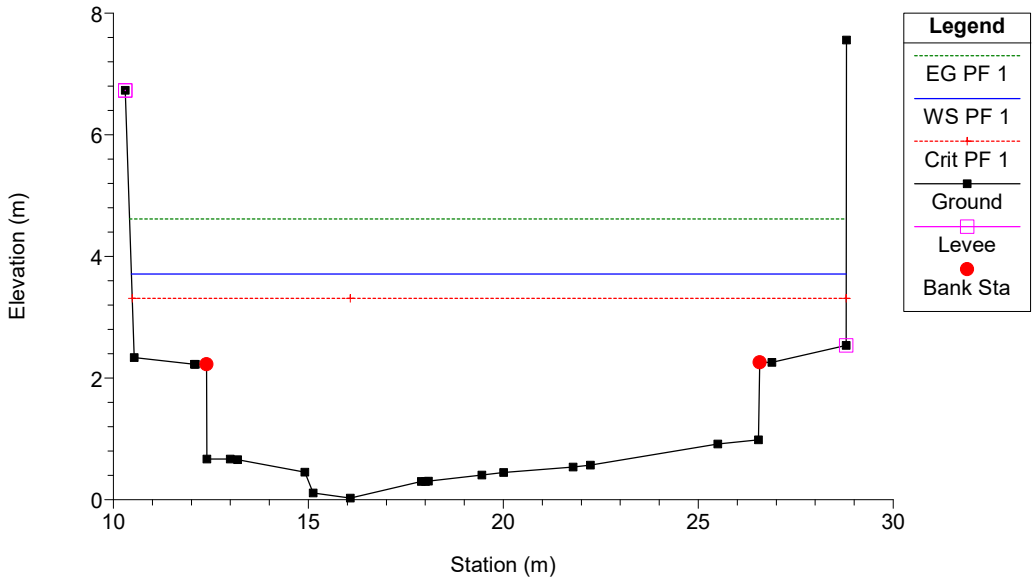
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.35 6.35 - SOGLIA MONTE



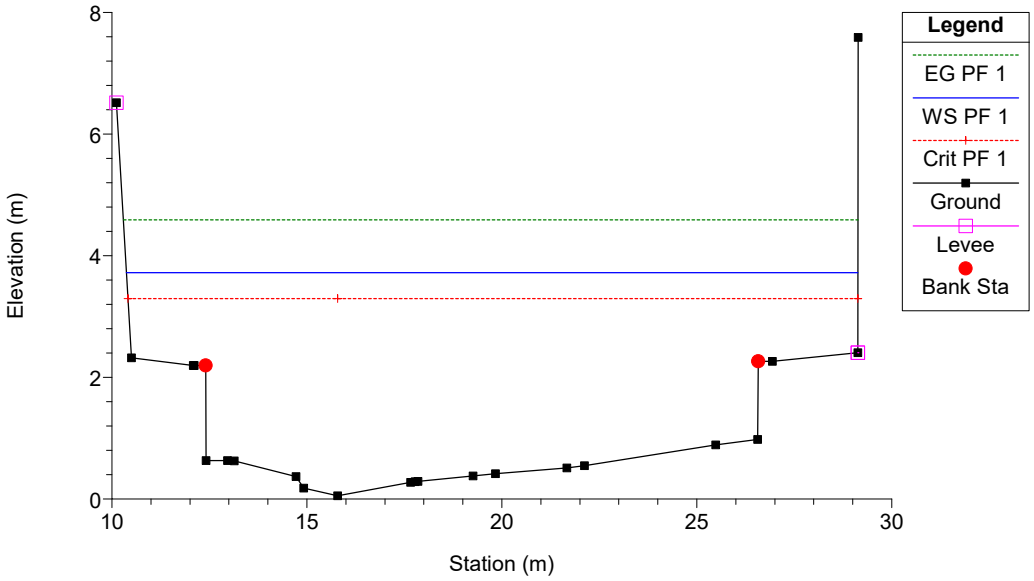
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6 6N - SOGLIA UP



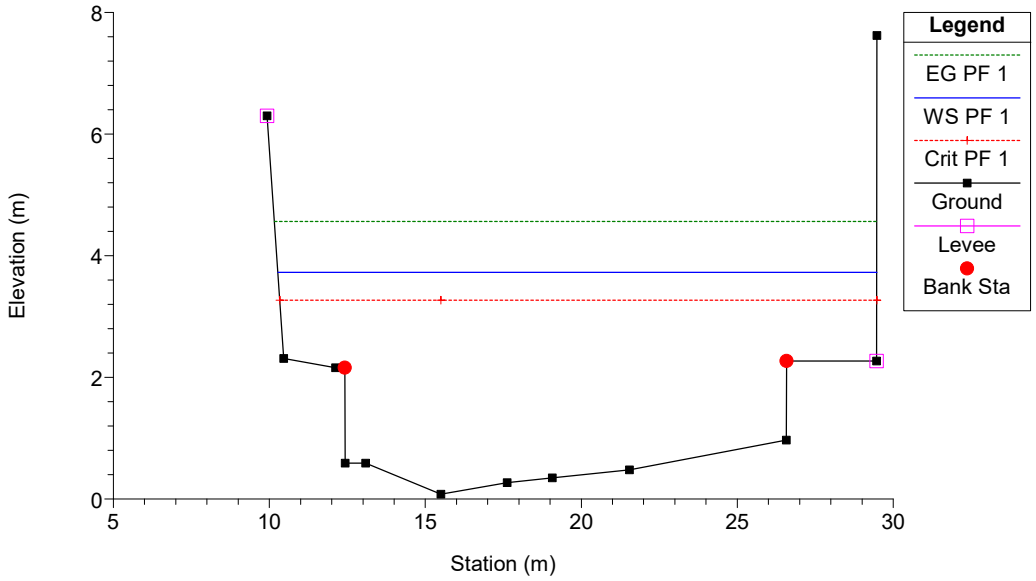
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5.65 5.65 - SOGLIA DOWN



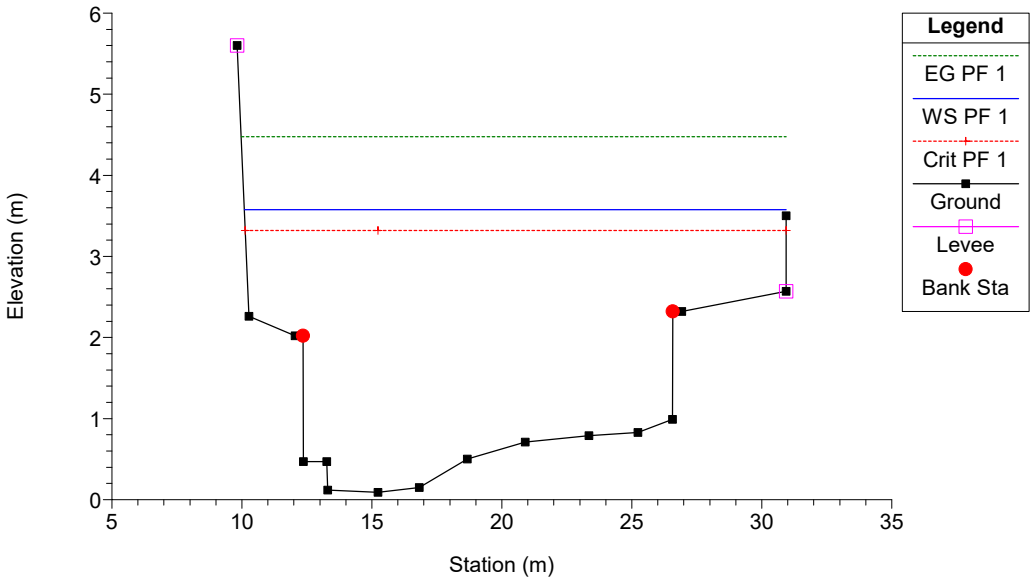
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5.35 5.35 - SOGLIA VALLE



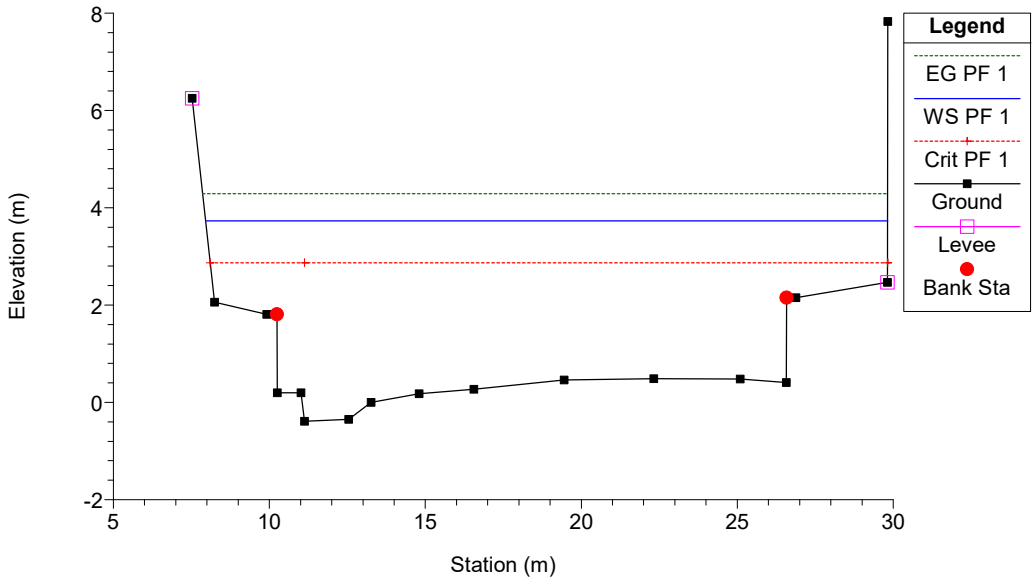
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5 5N



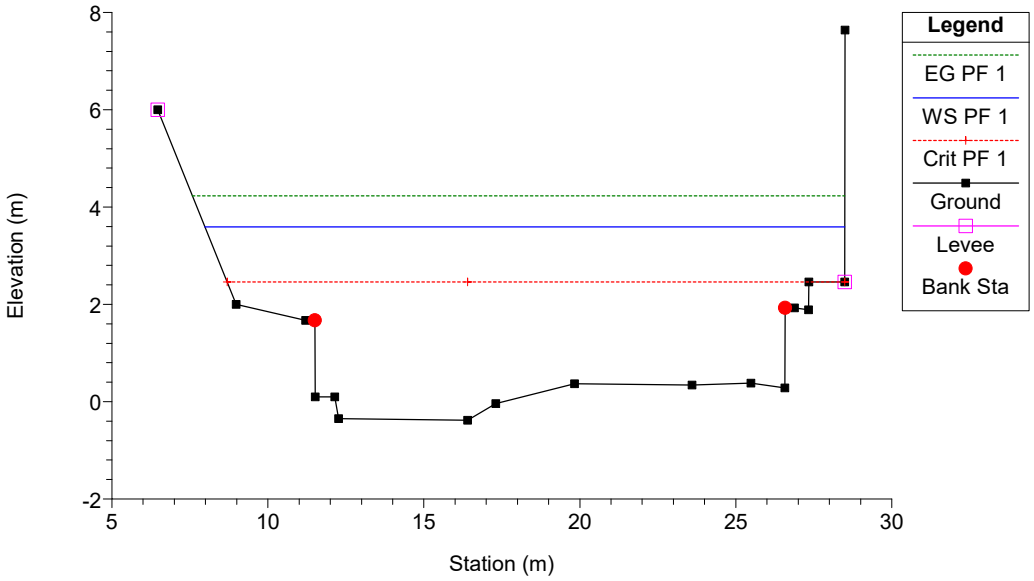
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 4 4N



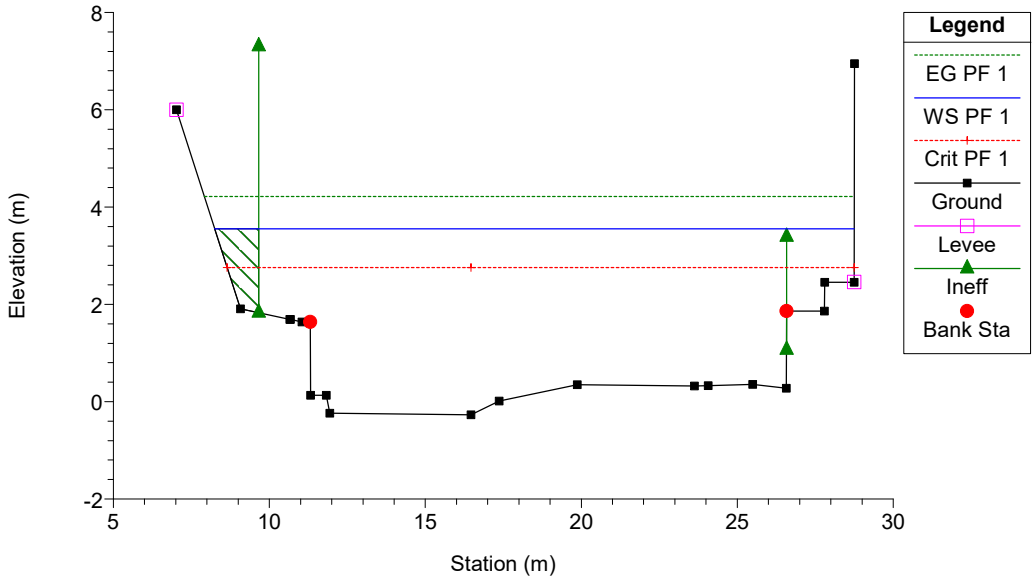
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 3 3N



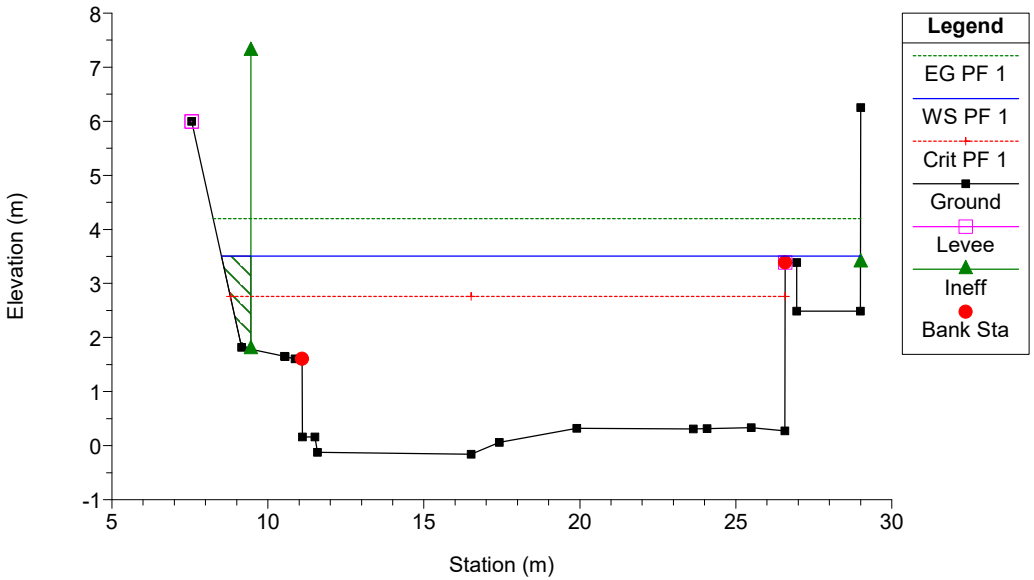
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 2 2N



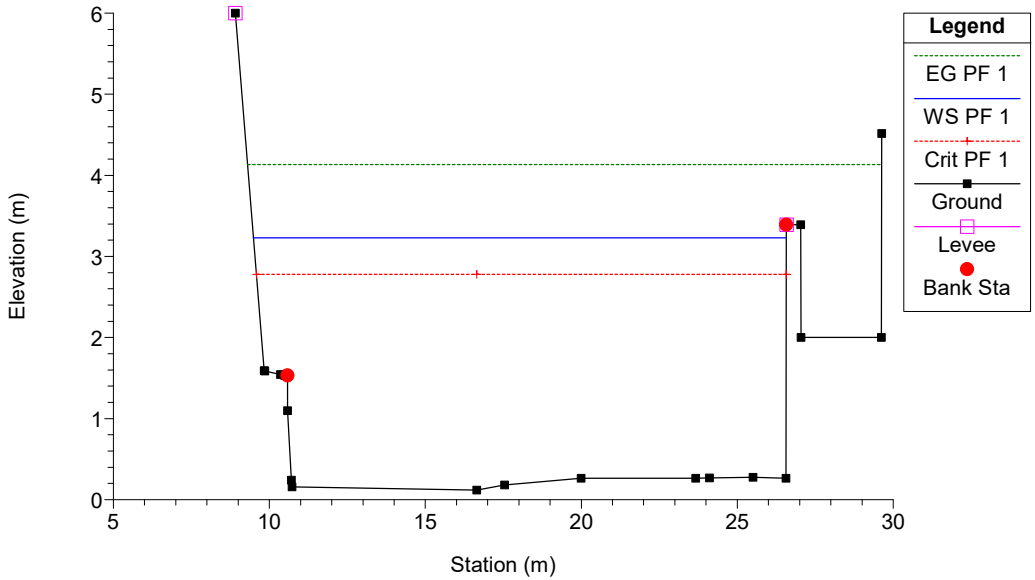
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.9 1.9N - RACCORDO MURO DX - PILA SX



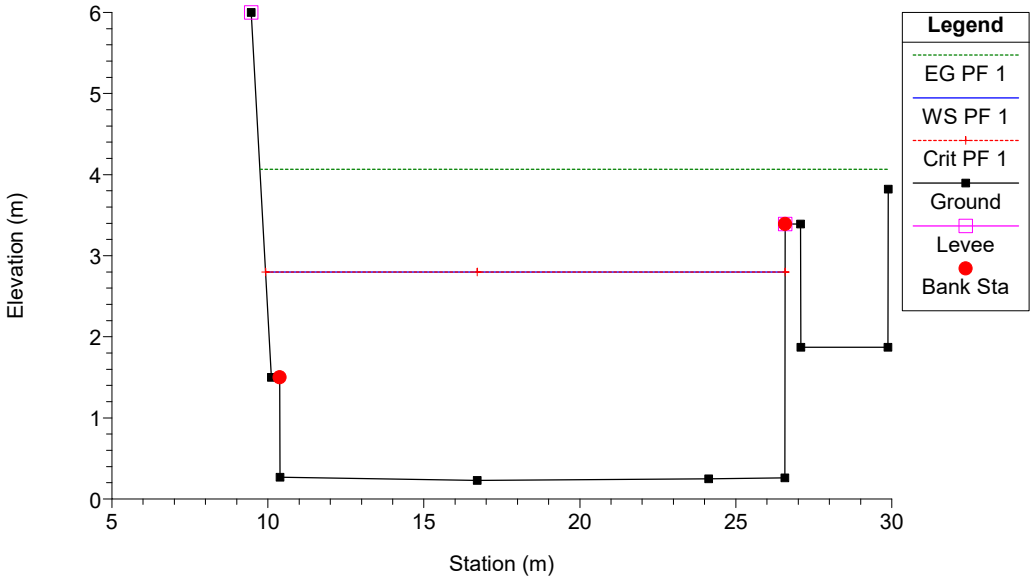
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.8 1.8N - PILA SX



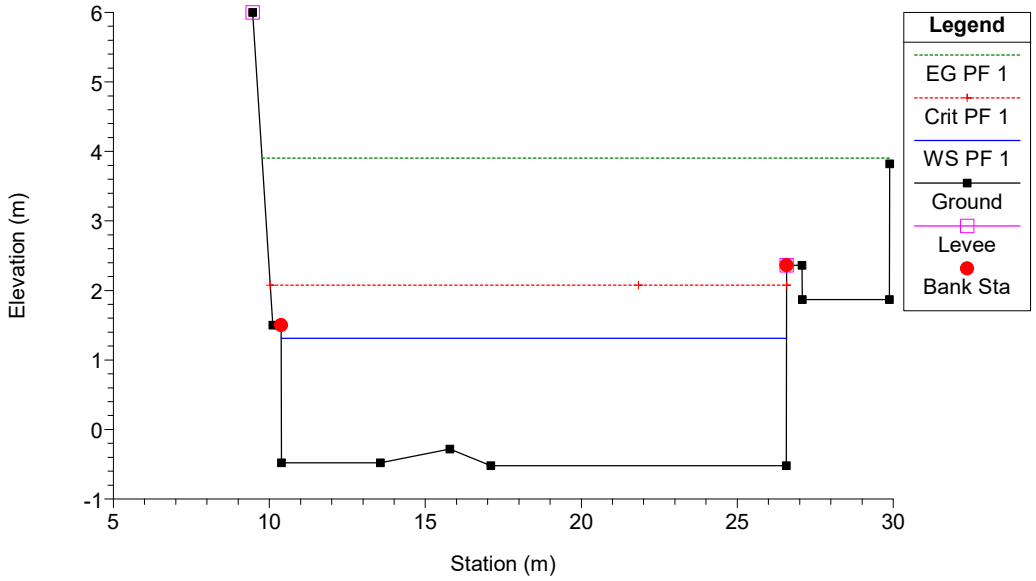
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.7 1.7N



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1 1N - TESTA SOGLIA



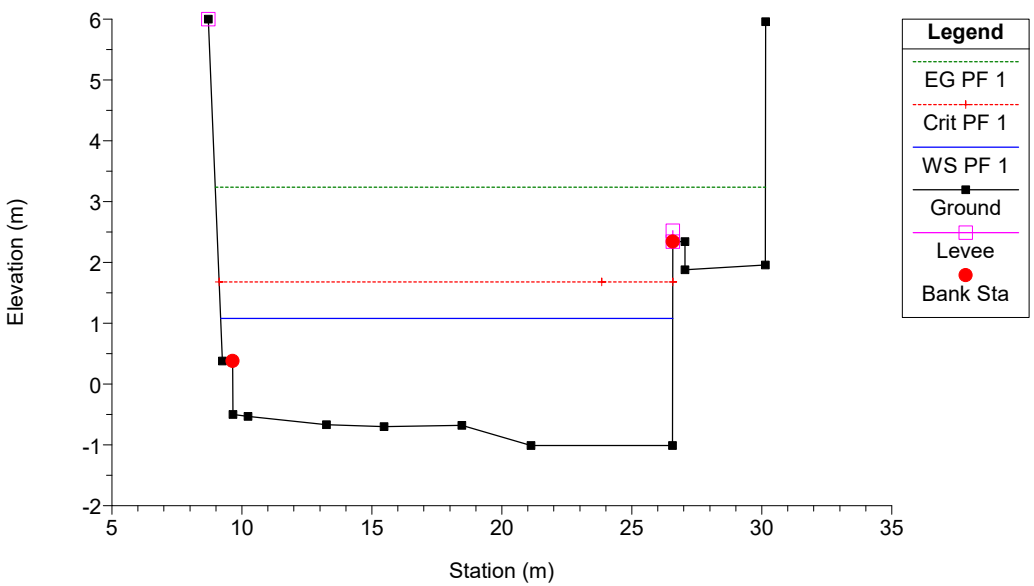
DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 0.9 0.9N - PIEDE SOGLIA



DEF2018_R5 Plan: STATO DI FATTO 09-Apr-19 2:47:17 PM

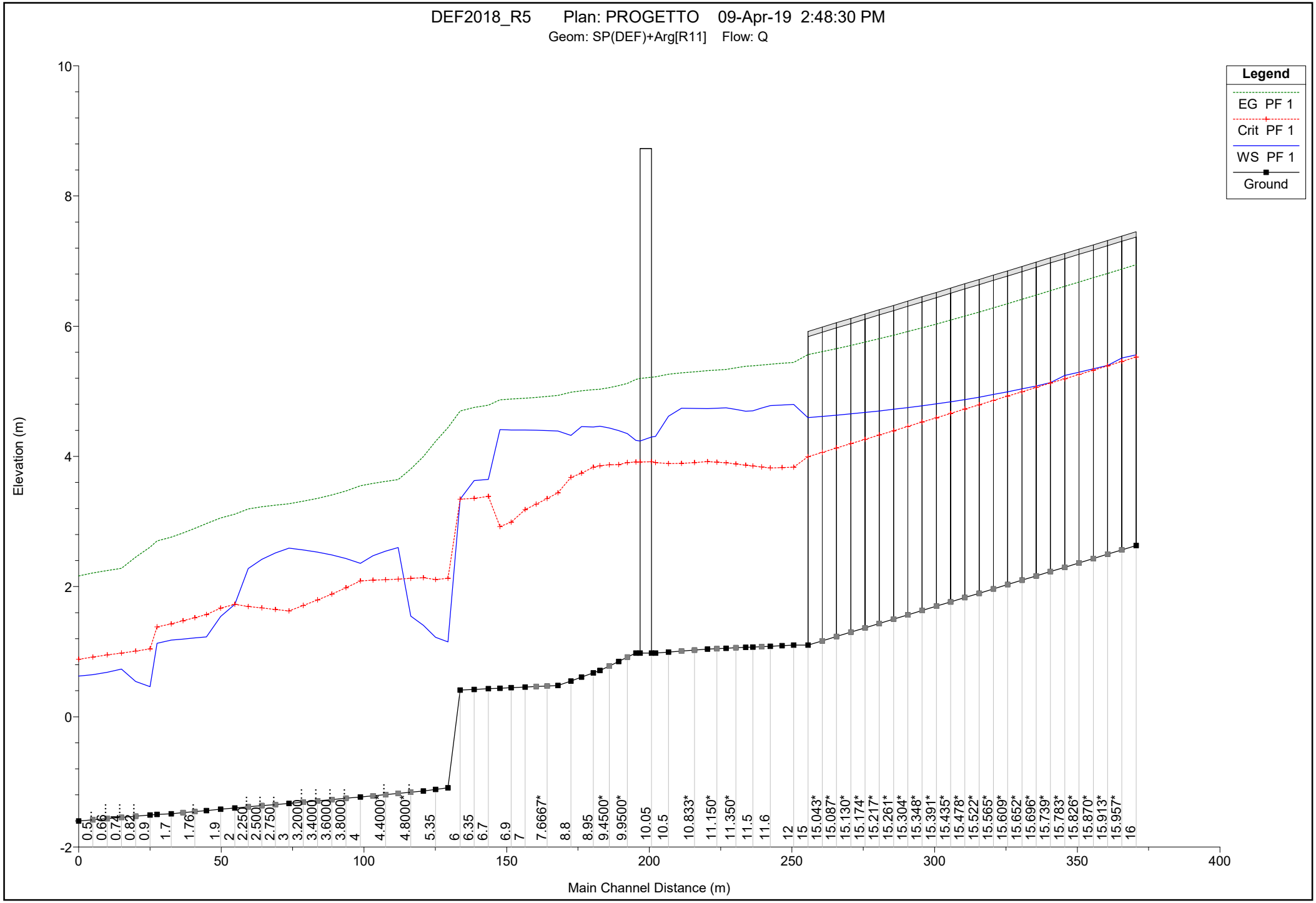
Geom: SF2017+Arg[R13]+IF Flow: Q

River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 0.5 0.5N



HEC-RAS Plan: SF2017+Arg[R13]+IF River: NERVI Reach: NERVI_FOCE Profile: PF 1

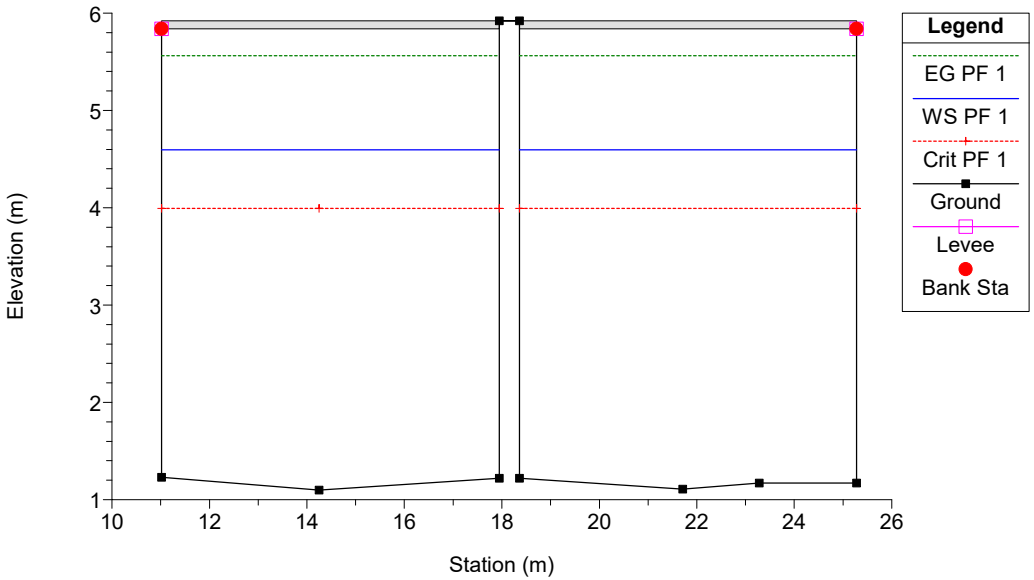
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
NERVI_FOCE	16	PF 1	207.00	2.63	5.53	5.53	6.94	0.012314	5.26	39.33	13.85	1.00
NERVI_FOCE	15	PF 1	207.00	1.10	4.42	4.00	5.49	0.008471	4.58	45.16	13.85	0.81
NERVI_FOCE	12	PF 1	207.00	1.10	4.66	3.83	5.36	0.003266	3.74	56.69	17.64	0.64
NERVI_FOCE	11.800	PF 1	207.00	1.09	4.64	3.83	5.34	0.003243	3.73	56.88	17.74	0.64
NERVI_FOCE	11.6	PF 1	207.00	1.08	4.67	3.83	5.31	0.002902	3.61	60.80	20.11	0.62
NERVI_FOCE	11.5	PF 1	207.00	1.07	4.66	3.86	5.29	0.002675	3.60	61.34	20.31	0.62
NERVI_FOCE	11.4	PF 1	207.00	1.07	4.66	3.88	5.28	0.002682	3.61	61.47	20.56	0.62
NERVI_FOCE	11.3	PF 1	207.00	1.05	4.65	3.91	5.26	0.002654	3.60	62.28	21.36	0.62
NERVI_FOCE	11	PF 1	207.00	1.04	4.63	3.92	5.24	0.002660	3.61	62.57	21.86	0.62
NERVI_FOCE	10.5	PF 1	207.00	0.99	4.53	3.89	5.20	0.002916	3.78	59.86	23.12	0.65
NERVI_FOCE	10.1	PF 1	207.00	0.98	4.08	3.91	5.14	0.005260	4.66	47.33	24.12	0.85
NERVI_FOCE	10.05		Bridge									
NERVI_FOCE	10	PF 1	207.00	0.98	3.80	3.91	5.13	0.007531	5.22	41.97	24.12	1.00
NERVI_FOCE	9.9	PF 1	207.00	0.85	3.50	3.88	5.05	0.010209	5.69	39.71	25.73	1.15
NERVI_FOCE	9	PF 1	207.00	0.71	4.31	3.85	4.91	0.002900	3.68	64.29	26.92	0.64
NERVI_FOCE	8.95	PF 1	207.00	0.67	4.27	3.84	4.89	0.003025	3.74	62.89	26.48	0.65
NERVI_FOCE	8.9	PF 1	207.00	0.61	4.28	3.75	4.87	0.002847	3.64	63.83	25.63	0.62
NERVI_FOCE	8.8	PF 1	207.00	0.55	4.26	3.68	4.86	0.002787	3.63	63.36	24.74	0.62
NERVI_FOCE	8	PF 1	207.00	0.48	4.28	3.52	4.84	0.002513	3.48	64.98	23.28	0.59
NERVI_FOCE	7	PF 1	207.00	-0.17	4.33	3.16	4.78	0.001756	3.08	72.65	22.85	0.50
NERVI_FOCE	6.9	PF 1	207.00	-0.13	4.33	3.00	4.77	0.001582	3.00	73.08	21.63	0.49
NERVI_FOCE	6.8	PF 1	207.00	-0.10	4.36	2.88	4.75	0.001316	2.80	78.04	22.57	0.45
NERVI_FOCE	6.7	PF 1	207.00	-0.07	3.87	3.33	4.70	0.003565	4.11	53.47	18.66	0.71
NERVI_FOCE	6.35	PF 1	207.00	-0.04	3.81	3.32	4.67	0.003803	4.20	52.20	18.23	0.74
NERVI_FOCE	6	PF 1	207.00	0.00	3.71	3.33	4.65	0.004338	4.37	50.05	17.91	0.78
NERVI_FOCE	5.65	PF 1	207.00	0.03	3.71	3.31	4.62	0.004141	4.31	51.07	18.33	0.77
NERVI_FOCE	5.35	PF 1	207.00	0.05	3.72	3.29	4.59	0.003946	4.24	52.17	18.76	0.75
NERVI_FOCE	5	PF 1	207.00	0.08	3.73	3.27	4.56	0.003769	4.17	53.33	19.20	0.74
NERVI_FOCE	4	PF 1	207.00	0.09	3.57	3.32	4.48	0.004537	4.34	51.58	20.85	0.79
NERVI_FOCE	3	PF 1	207.00	-0.39	3.73	2.87	4.29	0.002396	3.40	64.97	21.87	0.58
NERVI_FOCE	2	PF 1	207.00	-0.38	3.59	2.46	4.23	0.002671	3.63	60.88	20.51	0.62
NERVI_FOCE	1.9	PF 1	207.00	-0.27	3.56	2.76	4.22	0.002736	3.67	58.95	20.50	0.63
NERVI_FOCE	1.8	PF 1	207.00	-0.16	3.51	2.76	4.20	0.003192	3.73	57.52	20.49	0.65
NERVI_FOCE	1.7	PF 1	207.00	0.12	3.23	2.78	4.13	0.004542	4.23	49.84	17.09	0.78
NERVI_FOCE	1	PF 1	207.00	0.23	2.80	2.80	4.07	0.007665	4.99	41.80	16.66	1.00
NERVI_FOCE	0.9	PF 1	207.00	-0.52	1.31	2.07	3.90	0.024870	7.13	29.02	16.20	1.70
NERVI_FOCE	0.5	PF 1	207.00	-1.01	1.08	1.68	3.23	0.018542	6.51	31.99	17.39	1.52


DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM
Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
10
8
6
4
2
0
-2
0
50
100
150
200
250
300
350
400
0.5
0.66
0.74
0.82
0.9
1.7
1.76
1.9
2
2.250
2.500
2.750
3
3.200
3.400
3.600
3.800
4
4.4000*
4.8000*
5.35
6
6.35
6.7
6.9
7
7.6667*
8.8
8.95
9.4500*
9.9500*
10.05
10.5
10.833*
11.150*
11.350*
11.5
11.6
12
15
15.043*
15.087*
15.130*
15.174*
15.217*
15.261*
15.304*
15.348*
15.391*
15.435*
15.478*
15.522*
15.565*
15.609*
15.652*
15.696*
15.739*
15.783*
15.826*
15.870*
15.913*
15.957*
16

DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

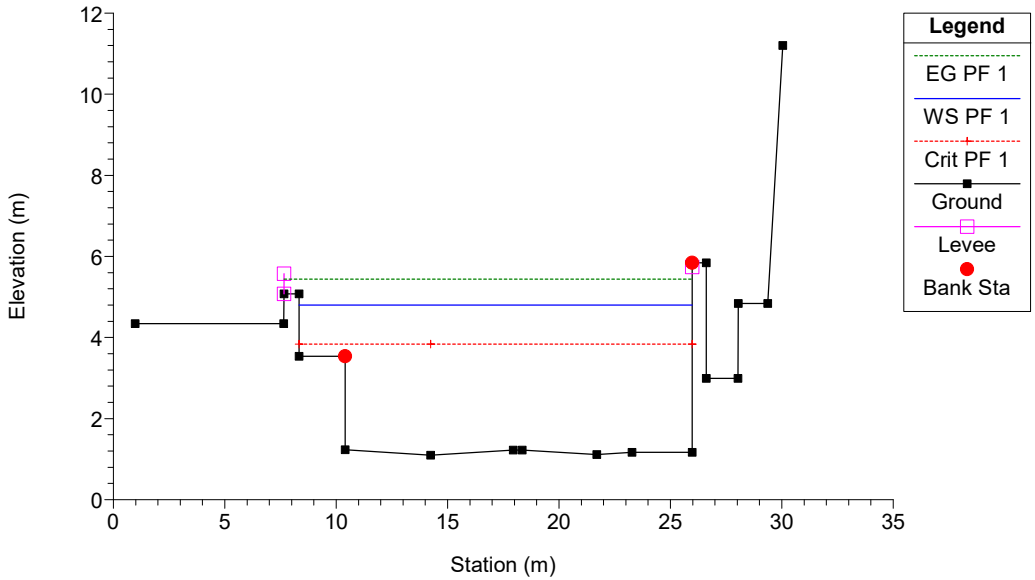
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 15 COPERTURA-SBOCCO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

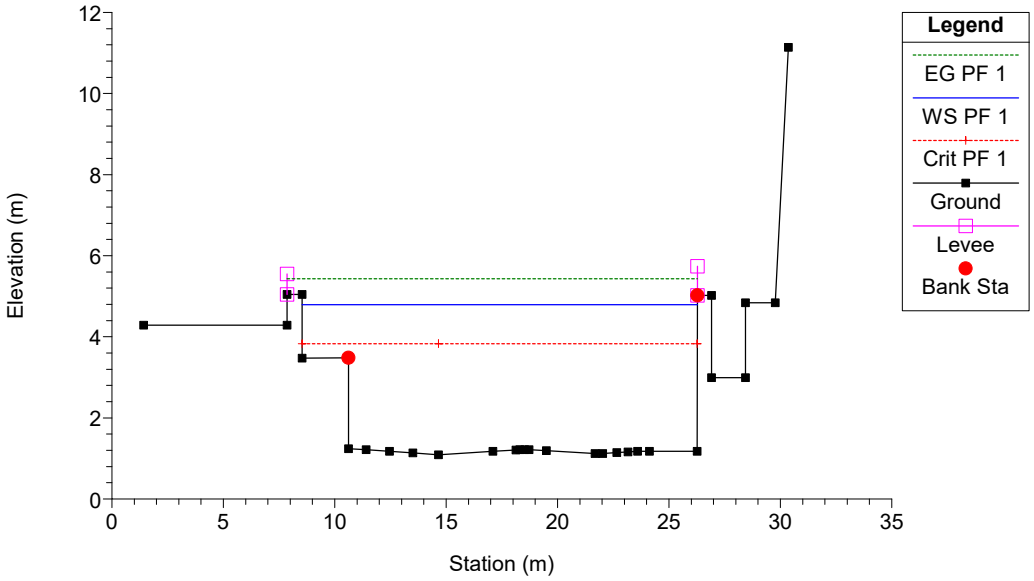
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 12 12 - SBOCCO COPERTURA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

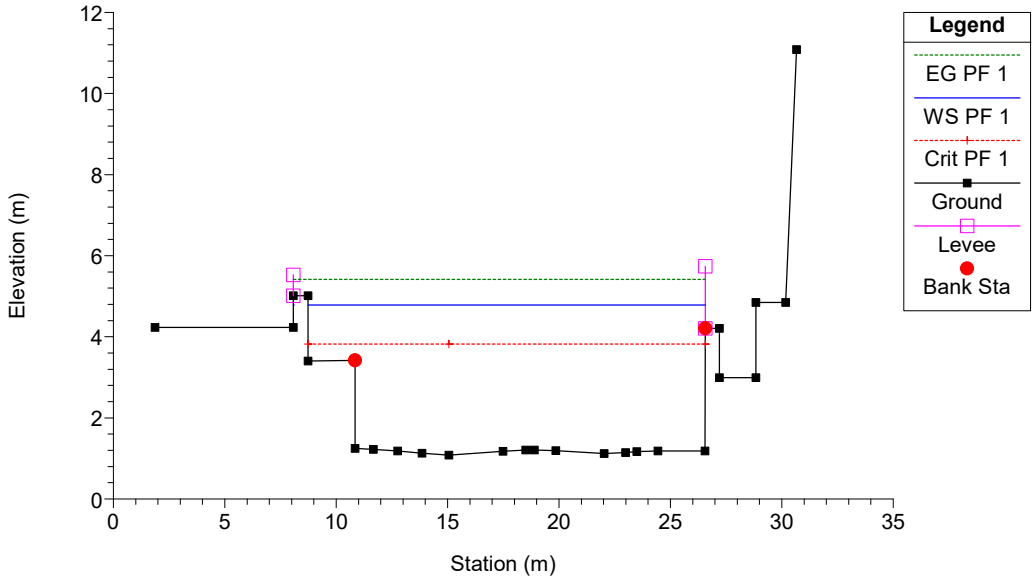
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.800



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

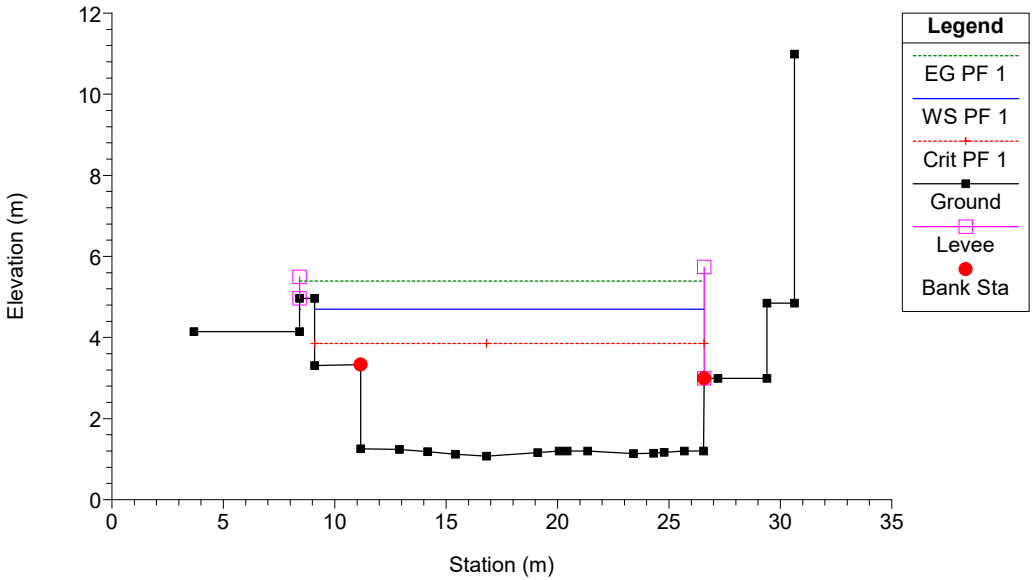
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.6 11.6N - INNESTO MURO LATERALE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

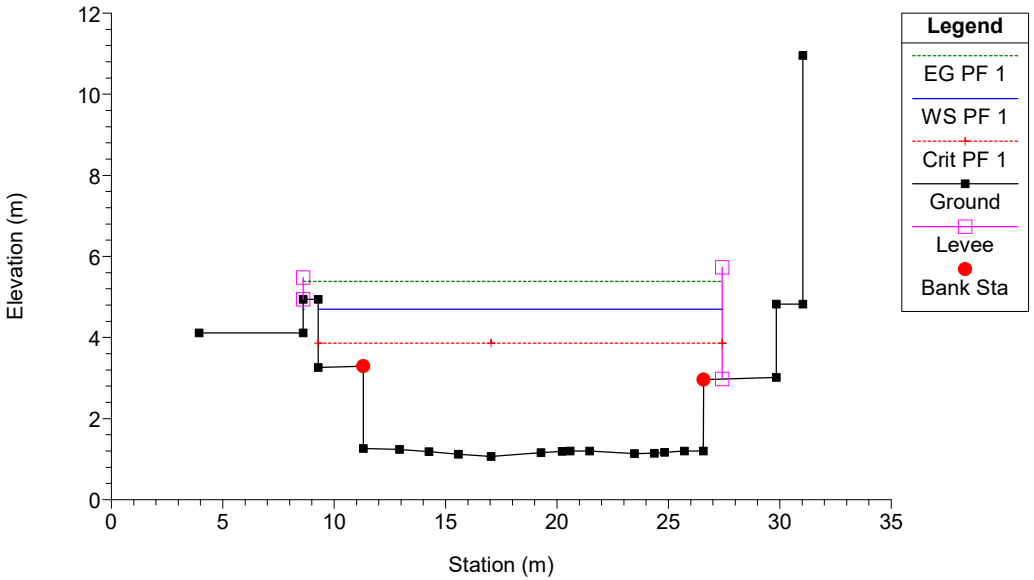
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.5 11.5N - FINE SPALLA INCLINATA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

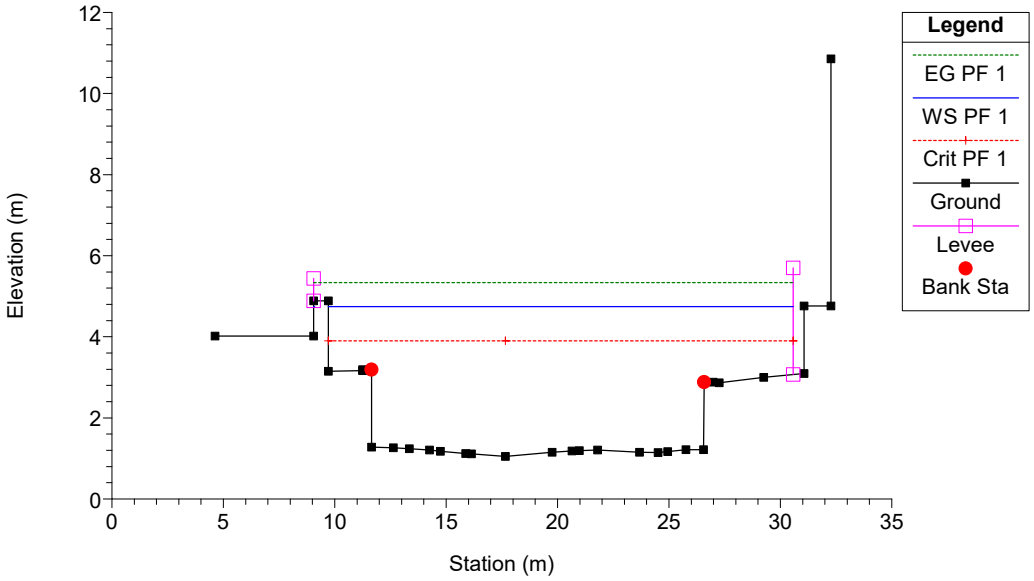
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.4 11.4 - INTERMEDIA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

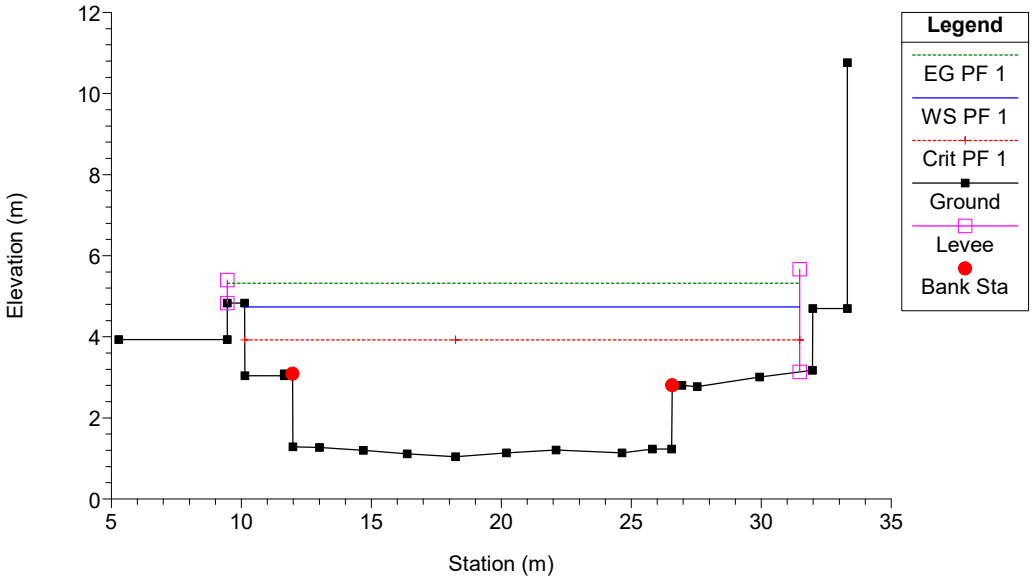
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.3 11.3 - VICINO AL POZZETTO ESISTENTE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

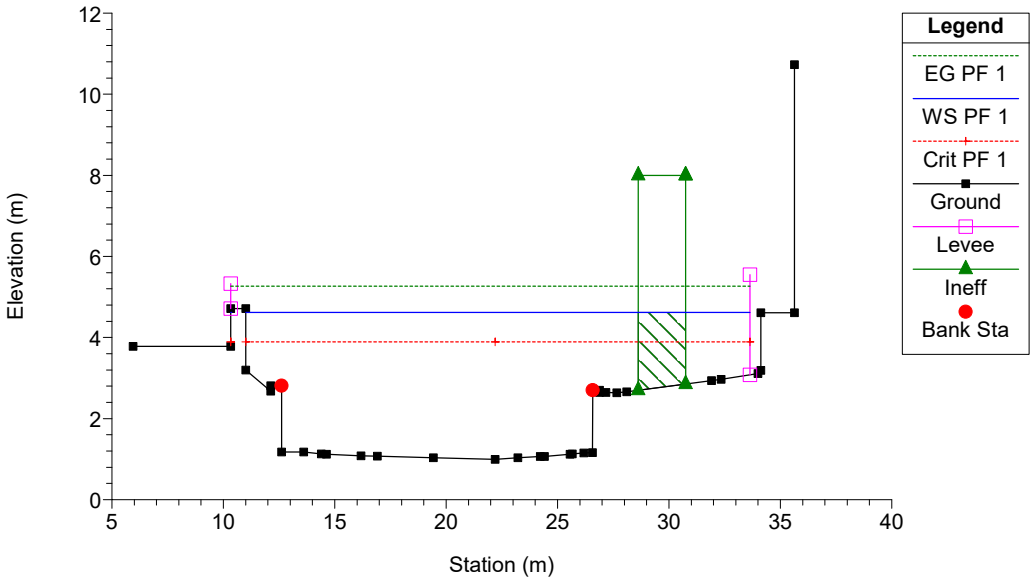
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11 11N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

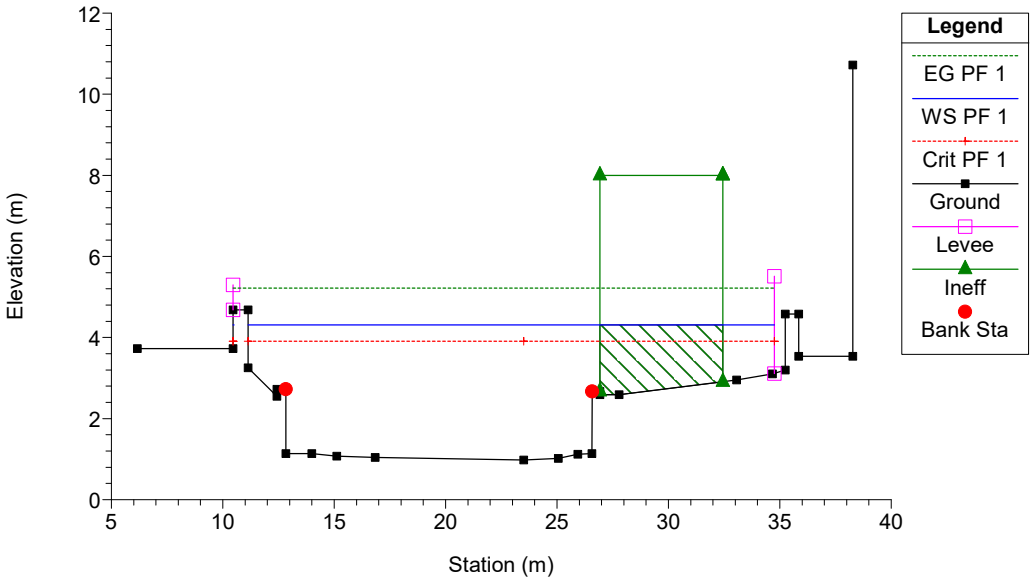
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.5 10.5N - PONTE ROMANO - M



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

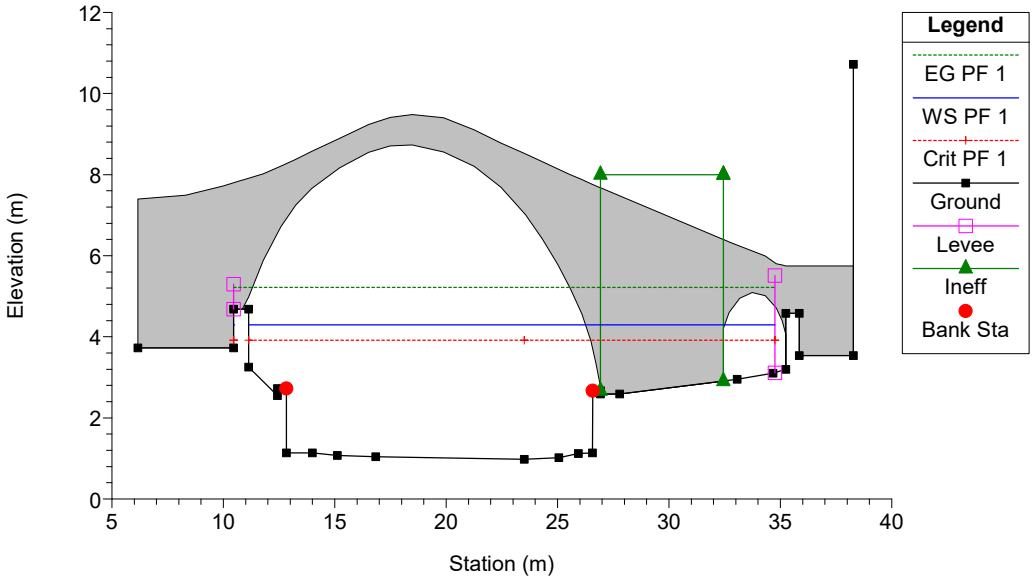
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.1 10.1N - PONTE ROMANO - FM



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

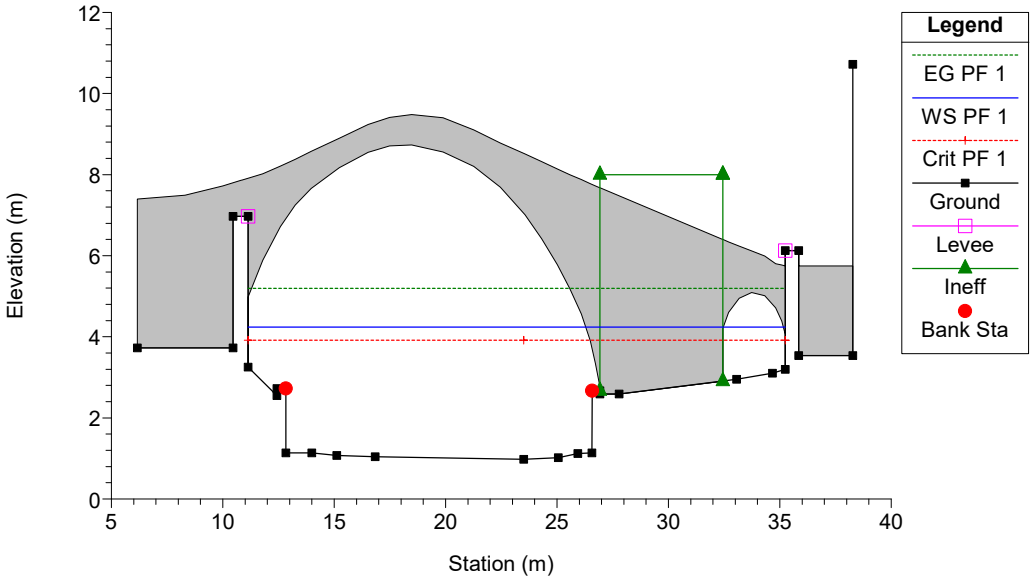
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.05 BR PONTE ROMANO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

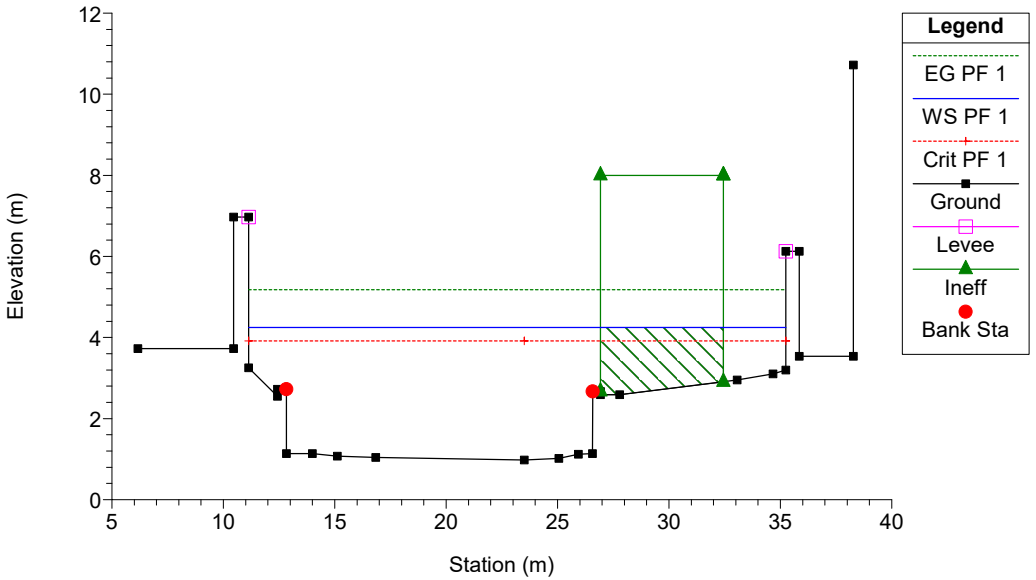
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.05 BR PONTE ROMANO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

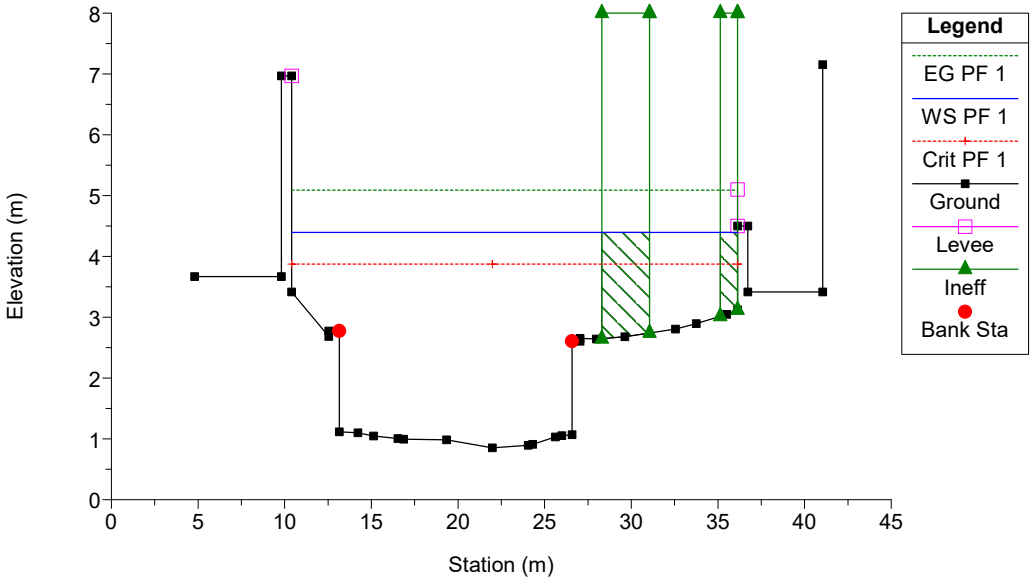
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10 10N - PONTE ROMANO - FV



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

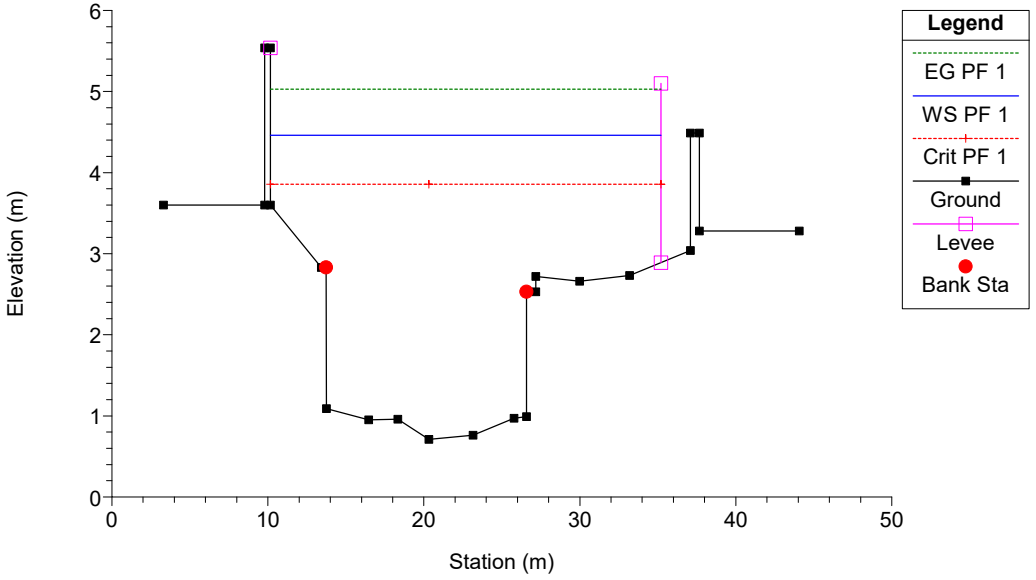
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 9.9 9.9 - PIEGA ARGINE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

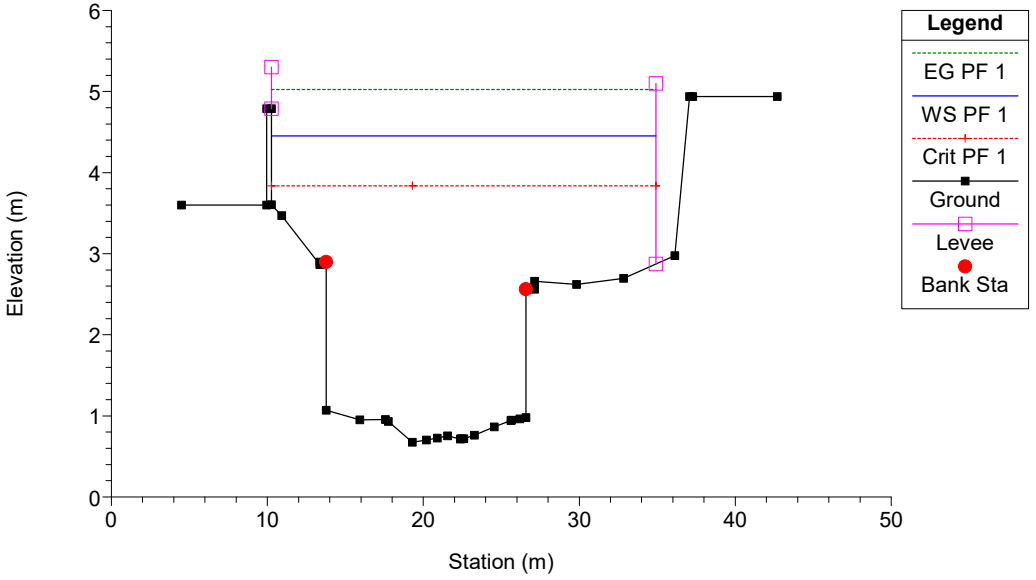
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 9 9N - PONTE ROMANO - V



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

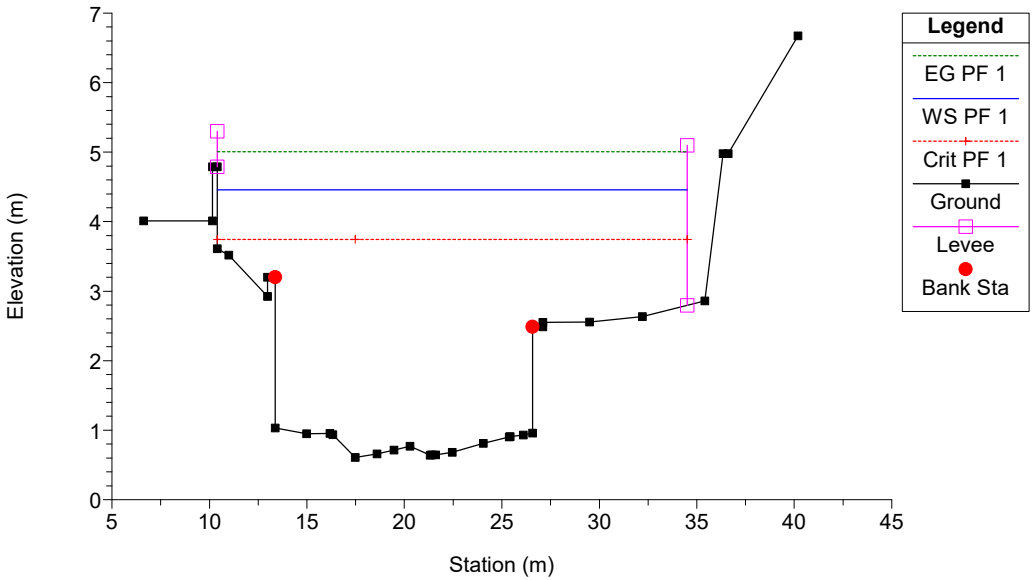
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.95 8.95 - FINE RAMPA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

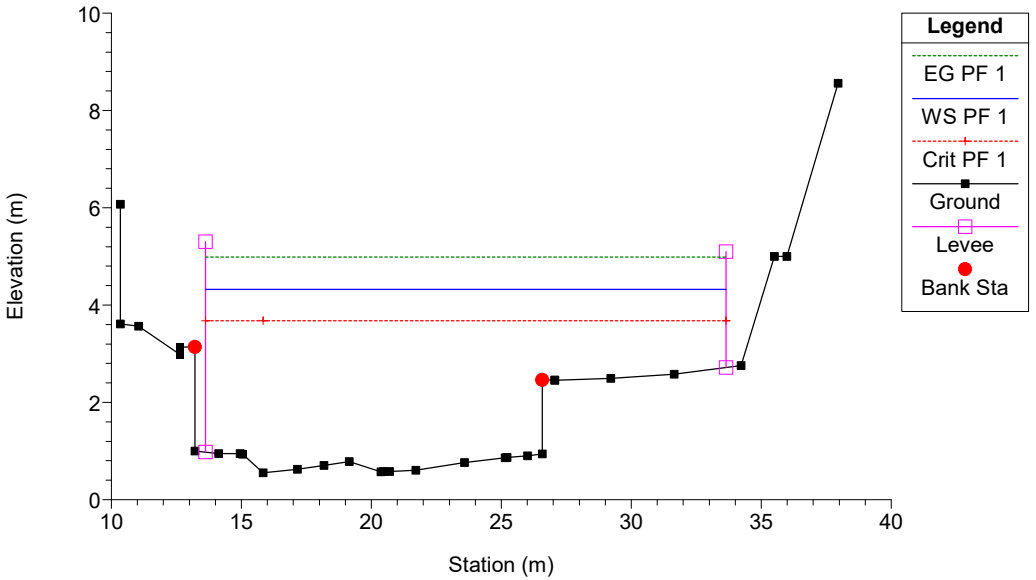
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.9 8.9 - FINE MURETTO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

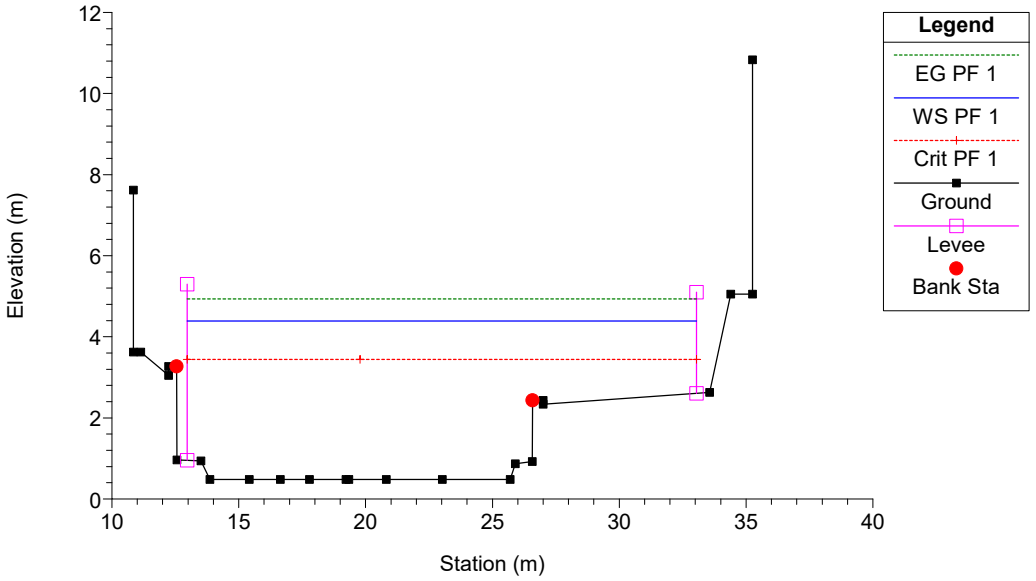
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.8 8.8 - INIZIO CASA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

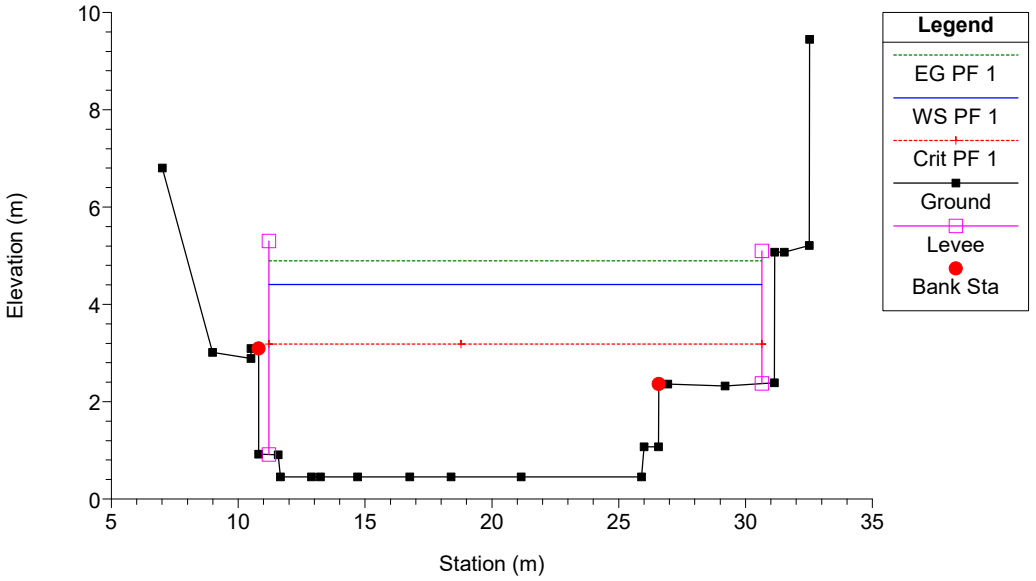
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8 8N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

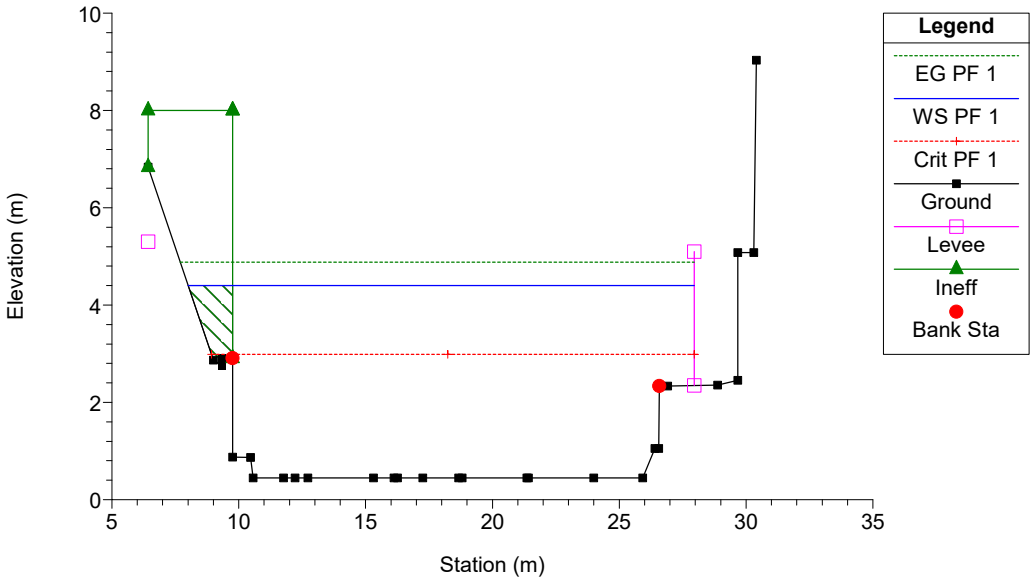
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 7 7N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

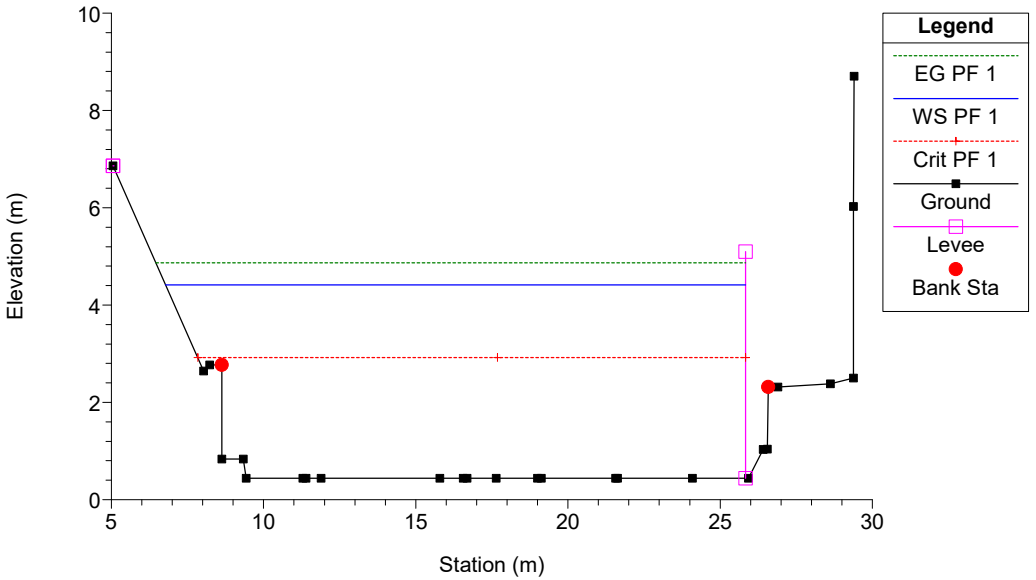
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.9 6.9 - INNESTO SPONDA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

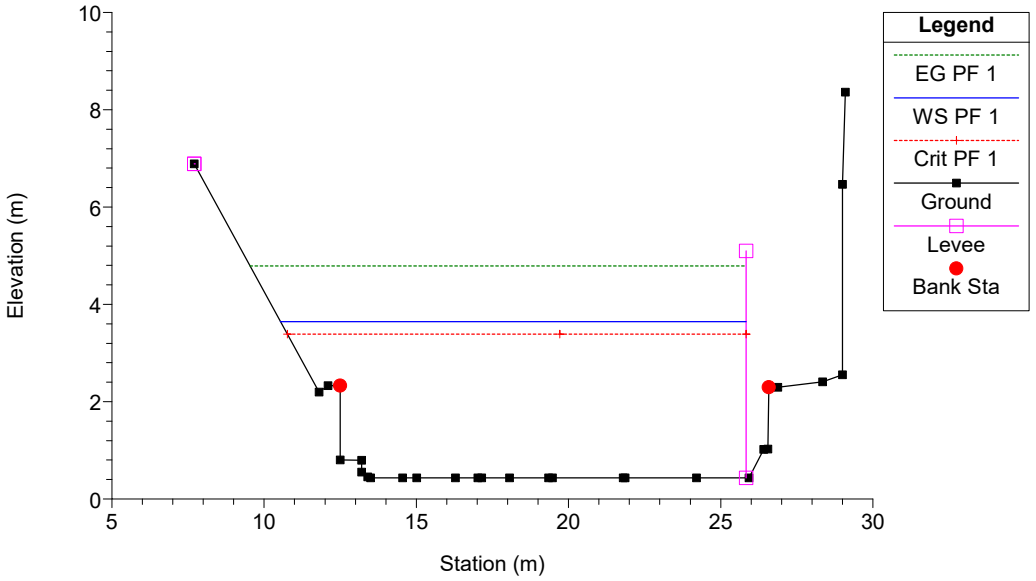
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.8 6.8 - INIZIO RESTR SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

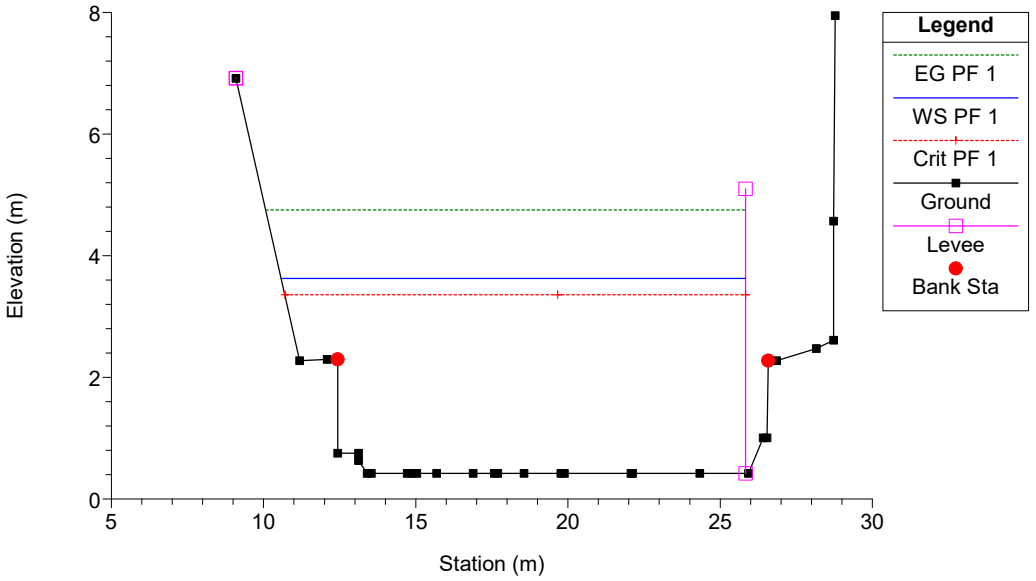
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.7 6.7 - FINE RESTR SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

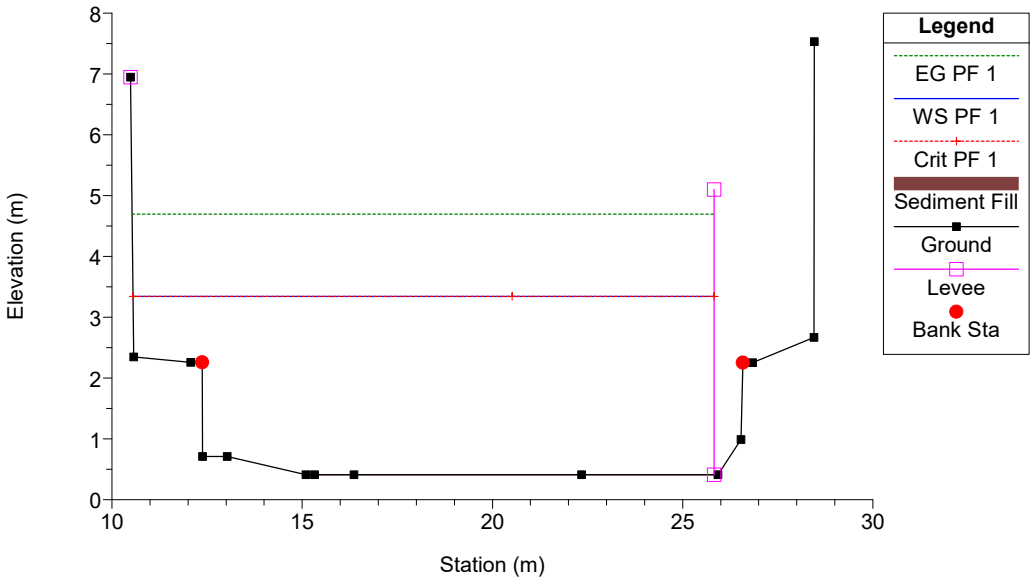
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.35 6.35 - SOGLIA MONTE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

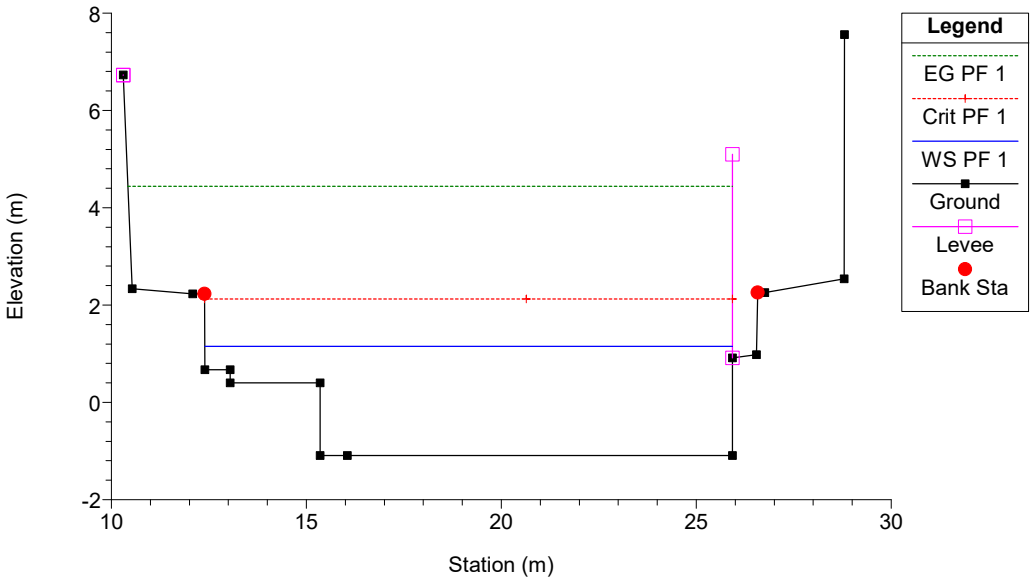
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6 6N - SOGLIA UP



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

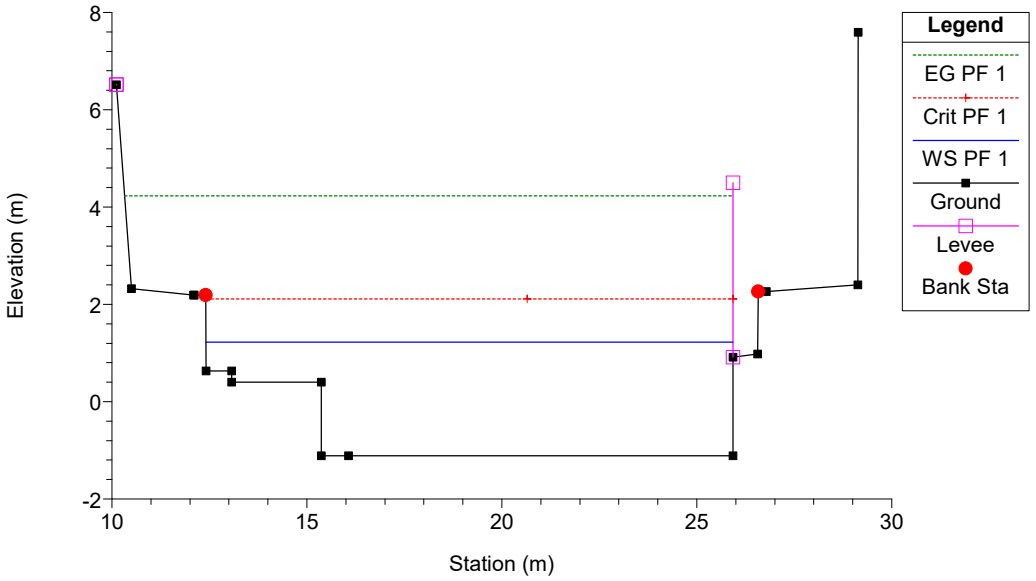
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5.65 5.65 - SOGLIA DOWN



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

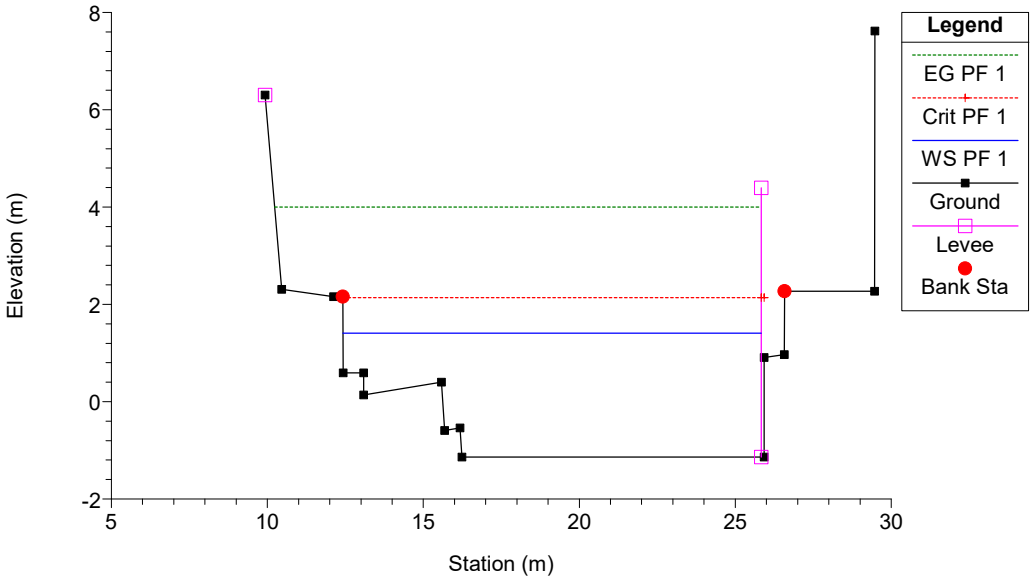
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5.35 5.35 - SOGLIA VALLE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

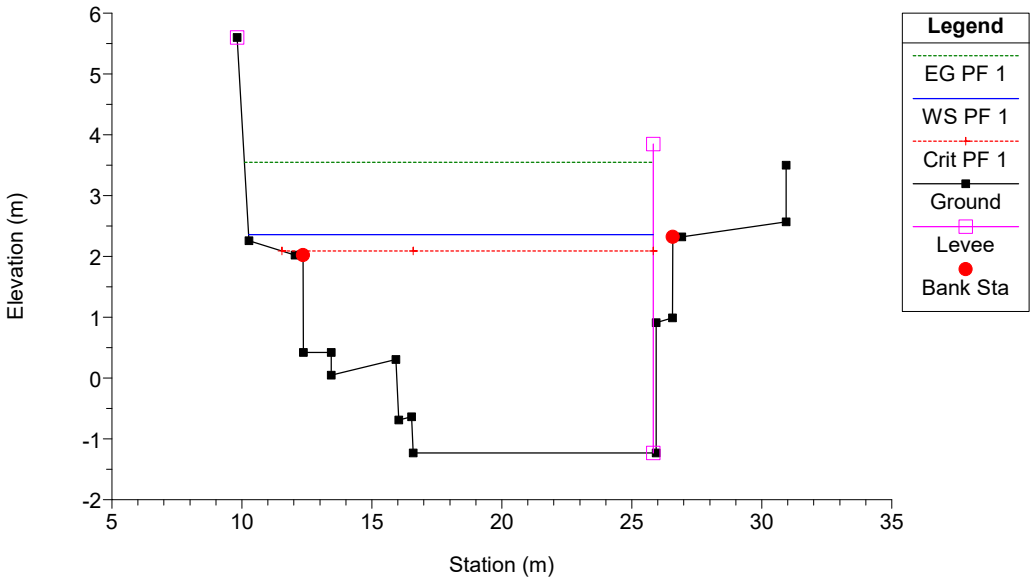
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5 5N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

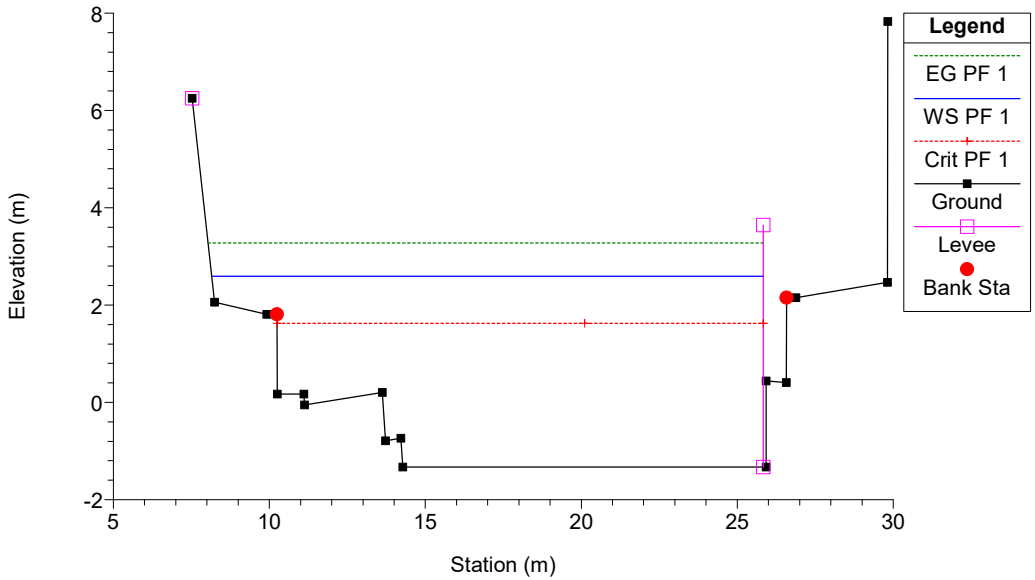
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 4 4N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

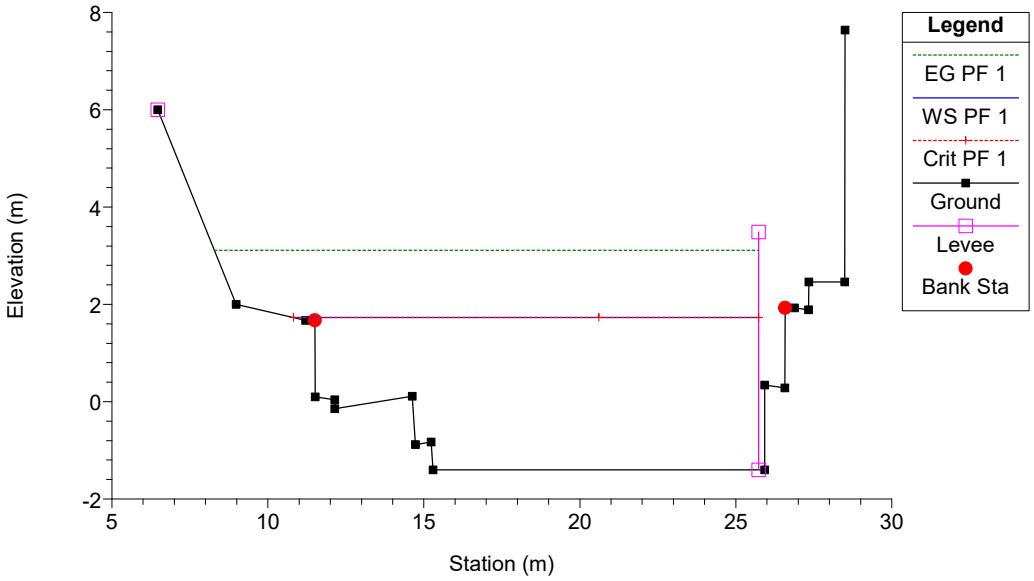
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 3 3N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

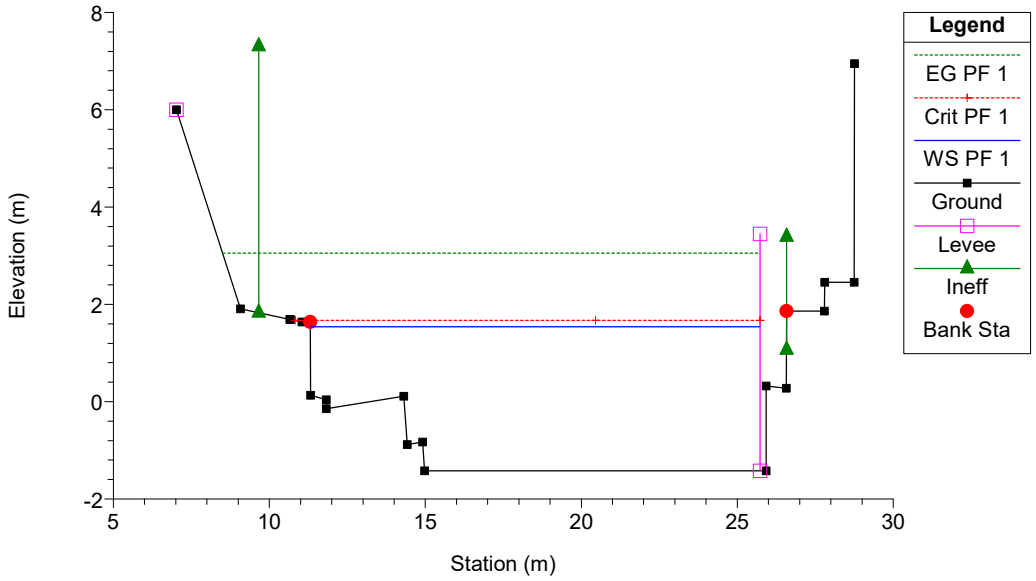
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 2 2N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

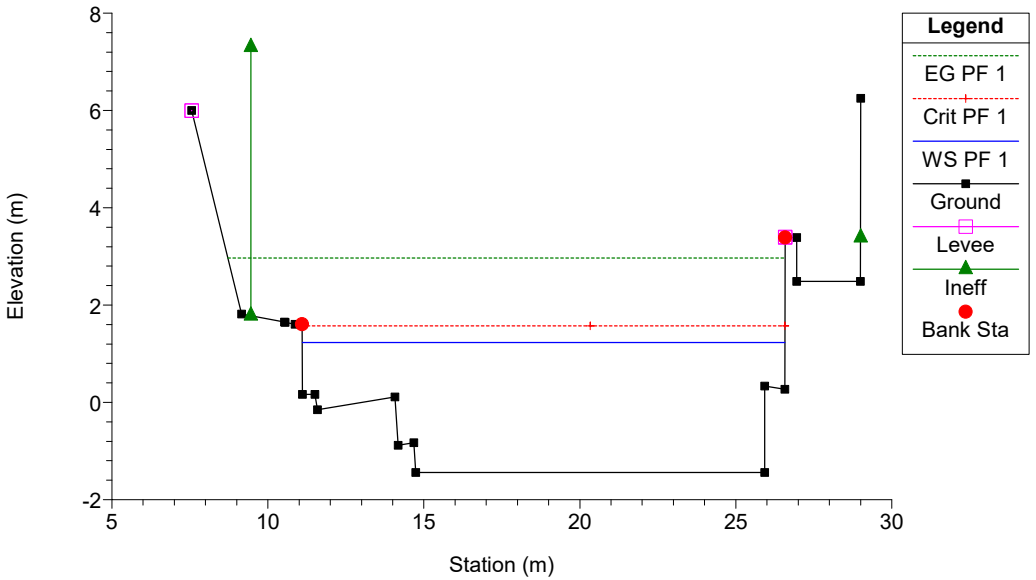
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.9 1.9N - RACCORDO MURO DX - PILA SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

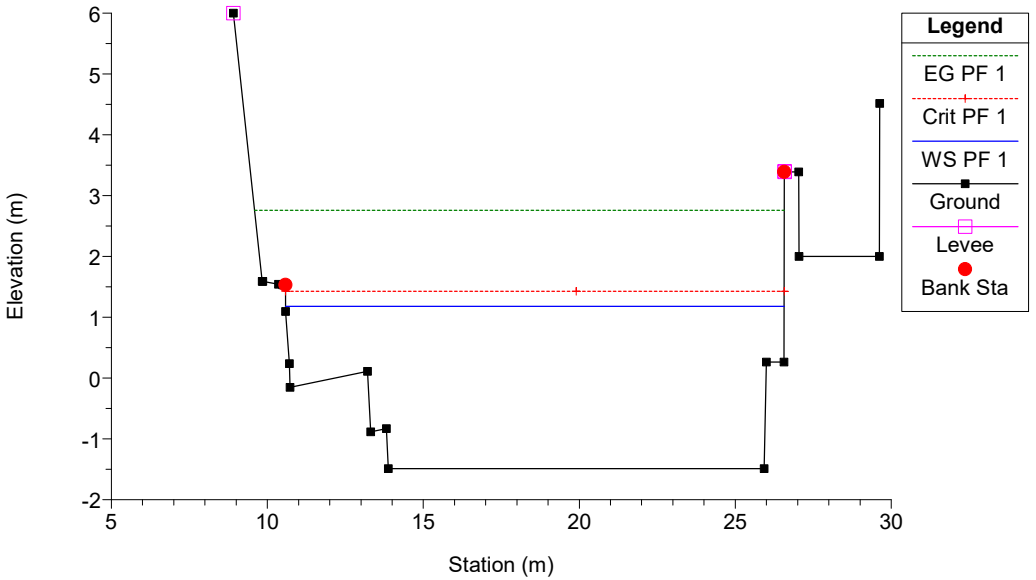
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.8 1.8N - PILA SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

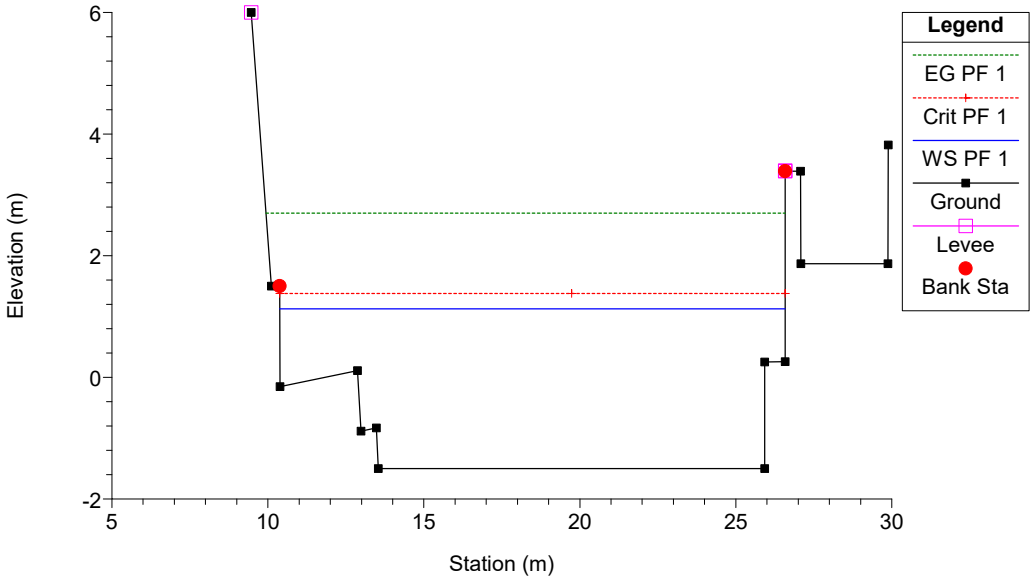
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.7 1.7N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

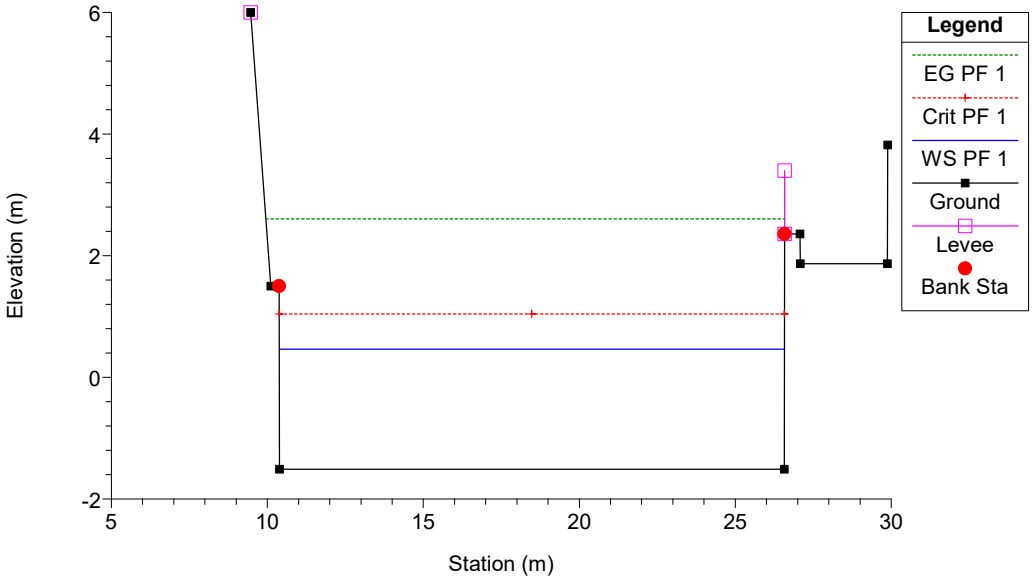
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1 1N - TESTA SOGLIA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

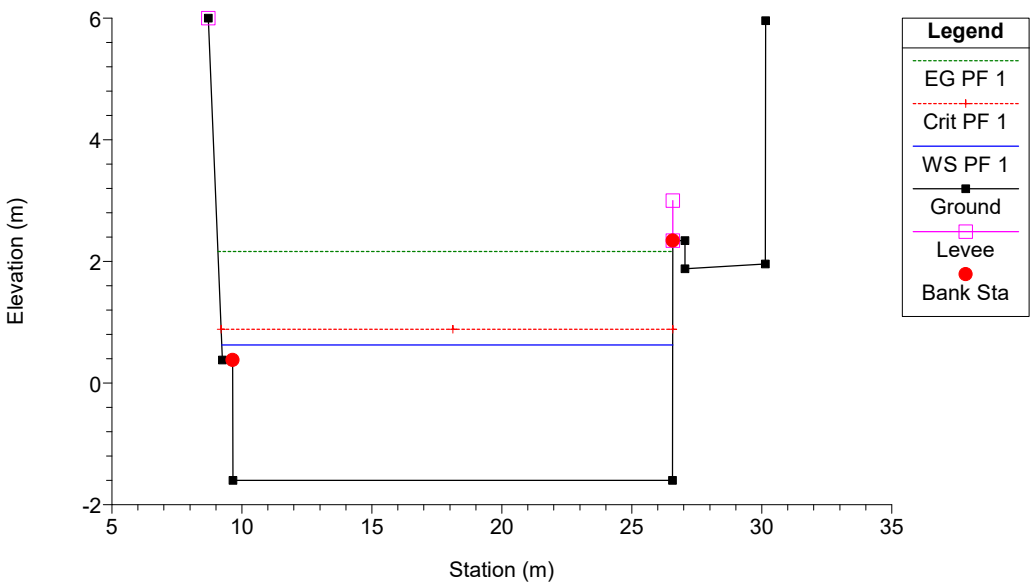
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 0.9 0.9N - PIEDE SOGLIA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO 09-Apr-19 2:48:30 PM

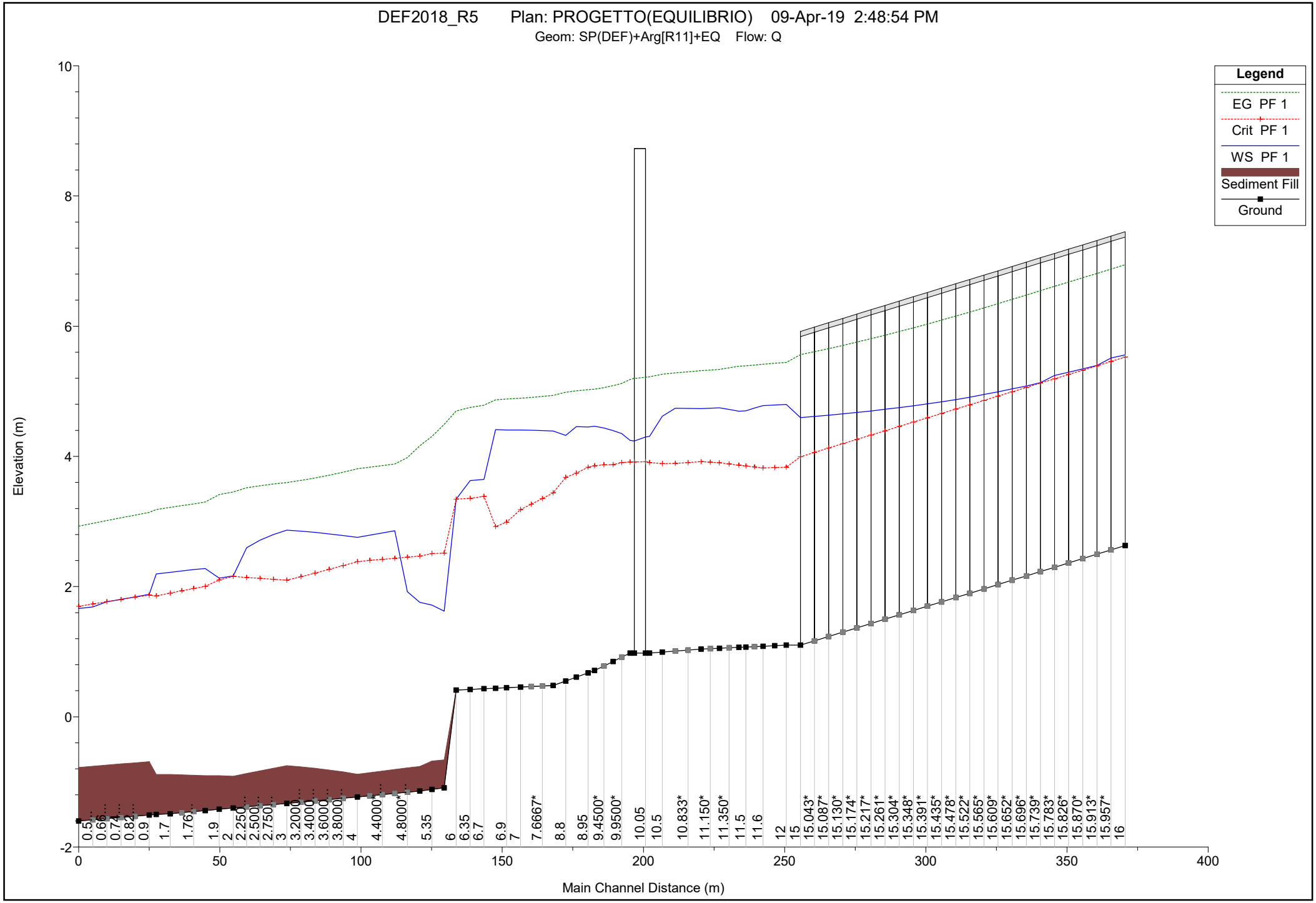
Geom: SP(DEF)+Arg[R11] Flow: Q

River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 0.5 0.5N



HEC-RAS Plan: SP River: NERVI Reach: NERVI_FOCE Profile: PF 1

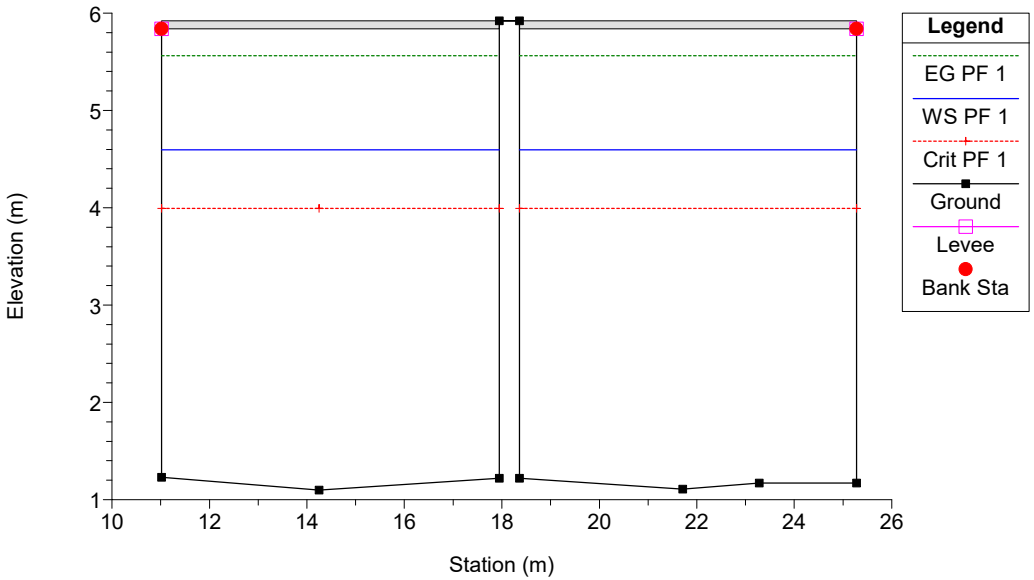
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
NERVI_FOCE	16	PF 1	207.00	2.63	5.56	5.53	6.94	0.011984	5.21	39.72	13.85	0.98
NERVI_FOCE	15	PF 1	207.00	1.10	4.60	4.00	5.56	0.007374	4.35	47.56	13.85	0.75
NERVI_FOCE	12	PF 1	207.00	1.10	4.80	3.84	5.44	0.002870	3.58	59.22	17.65	0.60
NERVI_FOCE	11.800	PF 1	207.00	1.09	4.79	3.83	5.43	0.002843	3.57	59.46	17.74	0.60
NERVI_FOCE	11.6	PF 1	207.00	1.08	4.78	3.82	5.42	0.002816	3.56	59.70	17.84	0.60
NERVI_FOCE	11.5	PF 1	207.00	1.07	4.70	3.85	5.39	0.002814	3.72	57.28	17.49	0.63
NERVI_FOCE	11.4	PF 1	207.00	1.07	4.70	3.86	5.38	0.002818	3.72	58.14	18.13	0.63
NERVI_FOCE	11.3	PF 1	207.00	1.05	4.75	3.90	5.34	0.002440	3.52	63.60	20.86	0.59
NERVI_FOCE	11	PF 1	207.00	1.04	4.73	3.92	5.32	0.002432	3.52	64.05	21.36	0.60
NERVI_FOCE	10.5	PF 1	207.00	0.99	4.62	3.89	5.26	0.002705	3.70	61.00	22.62	0.63
NERVI_FOCE	10.1	PF 1	207.00	0.98	4.31	3.91	5.22	0.004134	4.33	50.93	23.62	0.77
NERVI_FOCE	10.05		Bridge									
NERVI_FOCE	10	PF 1	207.00	0.98	4.25	3.91	5.18	0.004360	4.40	50.37	24.12	0.78
NERVI_FOCE	9.9	PF 1	207.00	0.85	4.39	3.87	5.09	0.003145	3.87	59.04	25.73	0.67
NERVI_FOCE	9	PF 1	207.00	0.71	4.46	3.86	5.03	0.002575	3.58	65.62	25.03	0.60
NERVI_FOCE	8.95	PF 1	207.00	0.67	4.45	3.84	5.02	0.002601	3.58	65.21	24.65	0.60
NERVI_FOCE	8.9	PF 1	207.00	0.61	4.46	3.74	5.01	0.002446	3.48	66.38	24.10	0.58
NERVI_FOCE	8.8	PF 1	207.00	0.55	4.32	3.68	4.99	0.003246	3.77	58.99	20.03	0.64
NERVI_FOCE	8	PF 1	207.00	0.48	4.39	3.44	4.94	0.002424	3.40	65.03	20.09	0.55
NERVI_FOCE	7	PF 1	207.00	0.46	4.41	3.18	4.89	0.002014	3.17	68.50	19.43	0.51
NERVI_FOCE	6.9	PF 1	207.00	0.45	4.40	2.99	4.88	0.001651	3.08	68.82	19.96	0.50
NERVI_FOCE	6.8	PF 1	207.00	0.44	4.41	2.92	4.87	0.001767	3.00	70.16	19.05	0.48
NERVI_FOCE	6.7	PF 1	207.00	0.43	3.65	3.39	4.79	0.005994	4.76	44.47	15.30	0.85
NERVI_FOCE	6.35	PF 1	207.00	0.42	3.63	3.36	4.75	0.005901	4.74	44.79	15.25	0.85
NERVI_FOCE	6	PF 1	207.00	0.41	3.34	3.34	4.70	0.007805	5.20	40.86	15.28	0.98
NERVI_FOCE	5.65	PF 1	207.00	-1.09	1.15	2.13	4.44	0.032543	8.03	25.76	13.54	1.86
NERVI_FOCE	5.35	PF 1	207.00	-1.11	1.22	2.11	4.23	0.028393	7.68	26.94	13.52	1.74
NERVI_FOCE	5	PF 1	207.00	-1.14	1.41	2.14	4.00	0.022896	7.13	29.03	13.41	1.55
NERVI_FOCE	4	PF 1	207.00	-1.23	2.36	2.09	3.55	0.007163	4.84	43.13	15.57	0.87
NERVI_FOCE	3	PF 1	207.00	-1.33	2.59	1.63	3.27	0.003308	3.67	57.28	17.68	0.62
NERVI_FOCE	2	PF 1	207.00	-1.40	1.73	1.73	3.11	0.009158	5.21	39.73	14.91	1.00
NERVI_FOCE	1.9	PF 1	207.00	-1.42	1.54	1.67	3.05	0.010535	5.45	37.99	14.42	1.07
NERVI_FOCE	1.8	PF 1	207.00	-1.44	1.23	1.57	2.97	0.013774	5.84	35.43	15.47	1.23
NERVI_FOCE	1.7	PF 1	207.00	-1.49	1.18	1.43	2.76	0.011970	5.57	37.18	15.99	1.17
NERVI_FOCE	1	PF 1	207.00	-1.50	1.13	1.38	2.70	0.012110	5.55	37.27	16.20	1.17
NERVI_FOCE	0.9	PF 1	207.00	-1.51	0.46	1.04	2.61	0.018446	6.48	31.93	16.19	1.47
NERVI_FOCE	0.5	PF 1	207.00	-1.60	0.62	0.88	2.16	0.011352	5.50	37.75	17.35	1.18


DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM
Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q
Legend
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Sediment Fill
Ground
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
10
8
6
4
2
0
-2
0
50
100
150
200
250
300
350
400
0.5
0.66
0.74
0.82
0.9
1.7
1.76
1.9
2
2.250
2.500
2.750
3
3.2000
3.4000
3.6000
3.8000
4
4.4000*
4.8000*
5.35
6
6.35
6.7
6.9
7
7.6667*
8.8
8.95
9.4500*
9.9500*
10.05
10.5
10.833*
11.150*
11.350*
11.5
11.6
12
15
15.043*
15.087*
15.130*
15.174*
15.217*
15.261*
15.304*
15.348*
15.391*
15.435*
15.478*
15.522*
15.565*
15.609*
15.652*
15.696*
15.739*
15.783*
15.826*
15.870*
15.913*
15.957*
16

DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

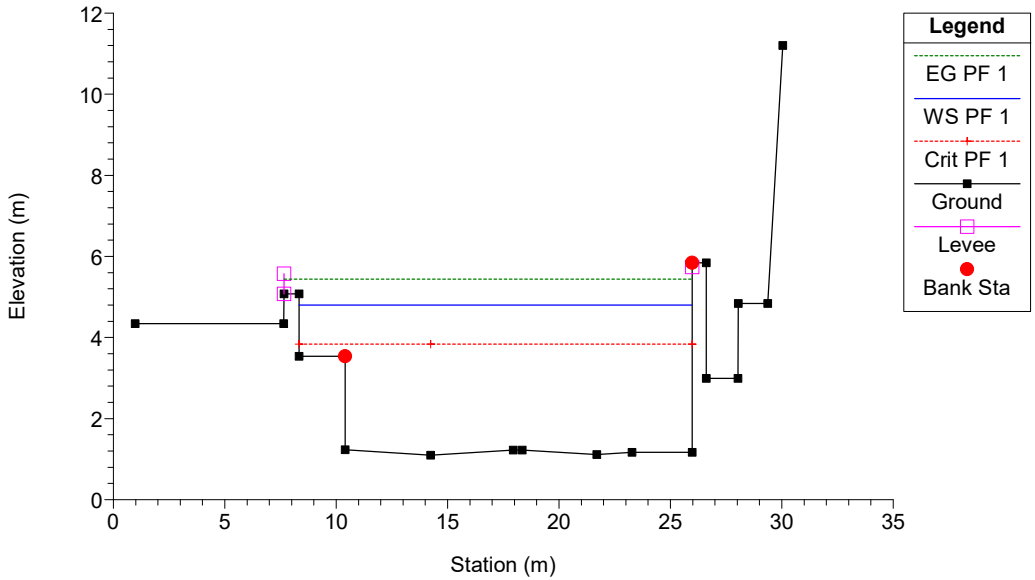
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 15 COPERTURA-SBOCCO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

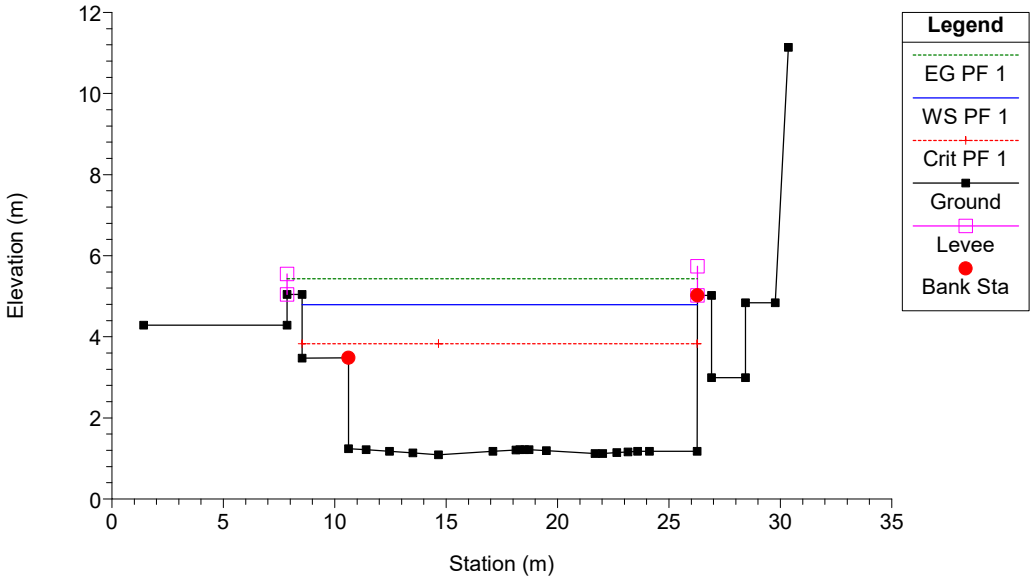
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 12 12 - SBOCCO COPERTURA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

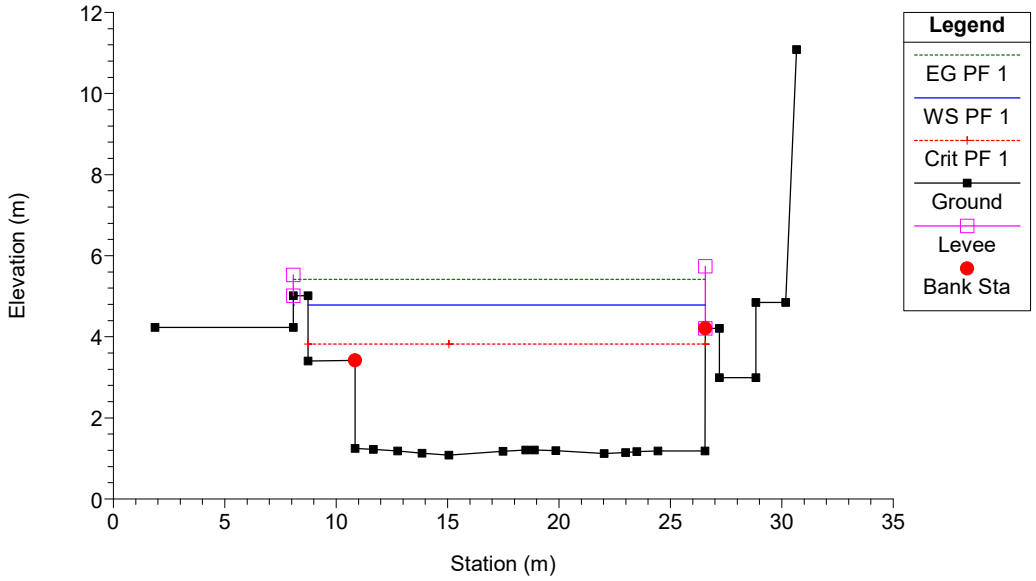
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.800



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

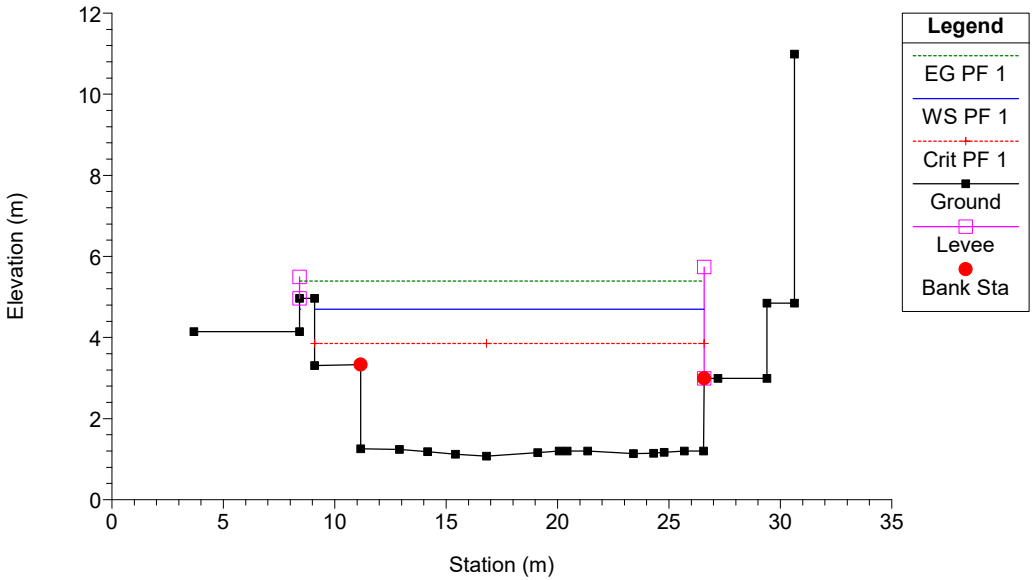
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.6 11.6N - INNESTO MURO LATERALE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

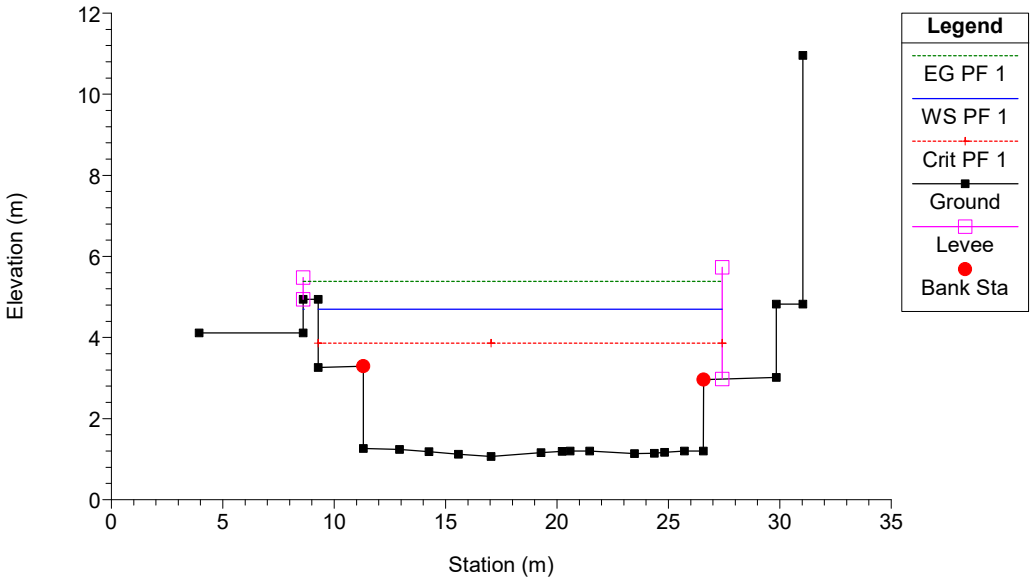
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.5 11.5N - FINE SPALLA INCLINATA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

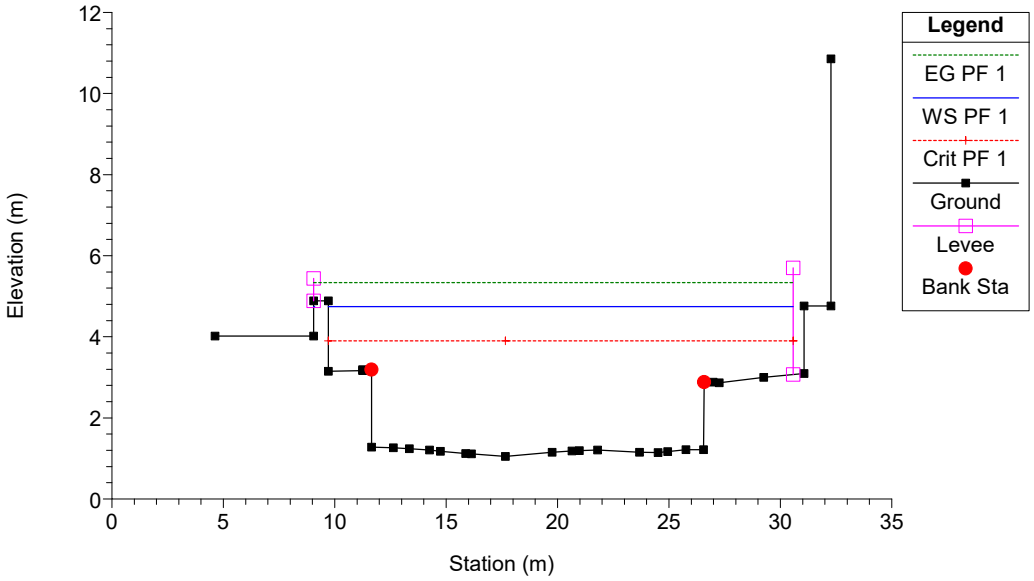
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.4 11.4 - INTERMEDIA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

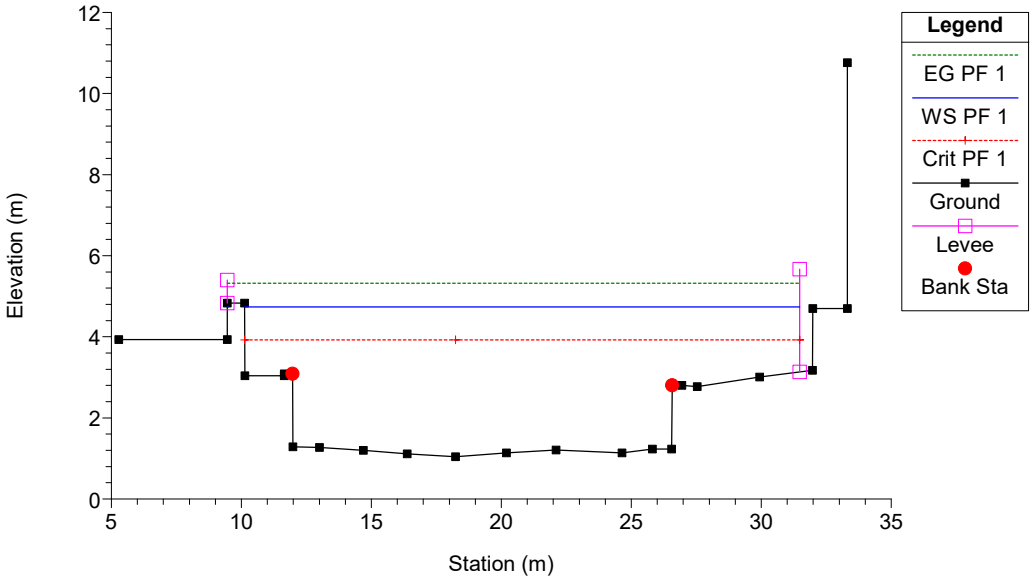
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11.3 11.3 - VICINO AL POZZETTO ESISTENTE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

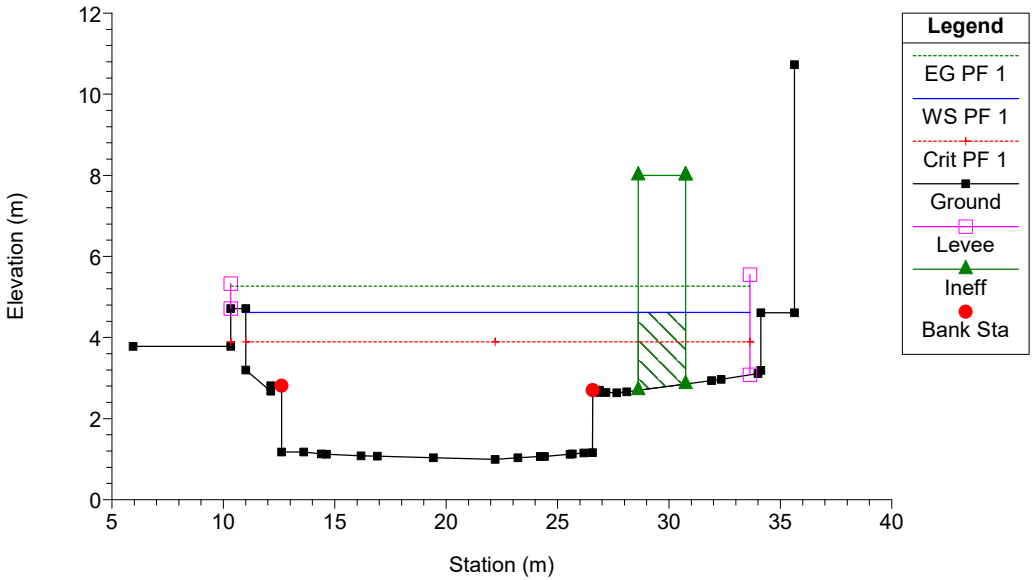
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 11 11N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

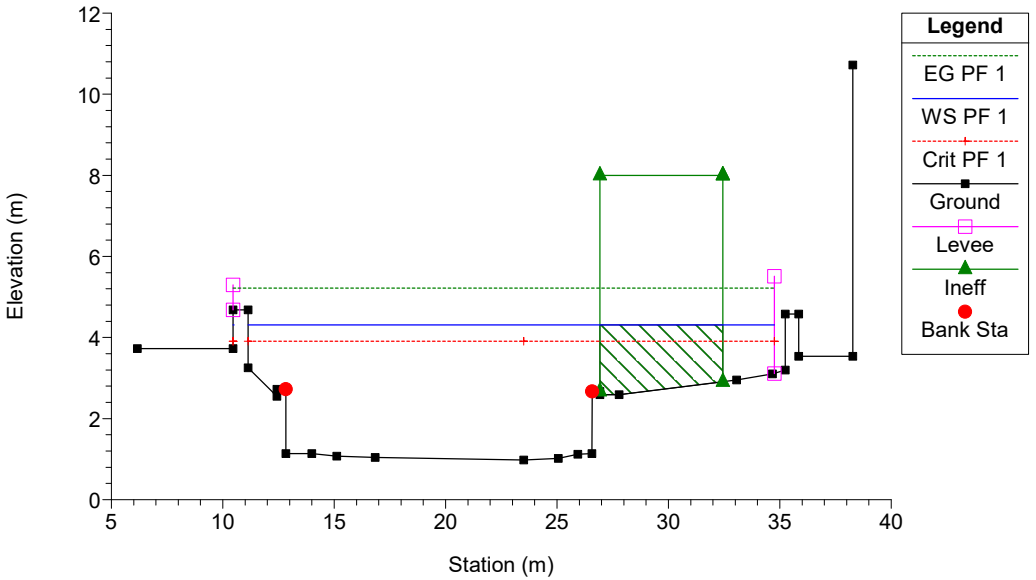
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.5 10.5N - PONTE ROMANO - M



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

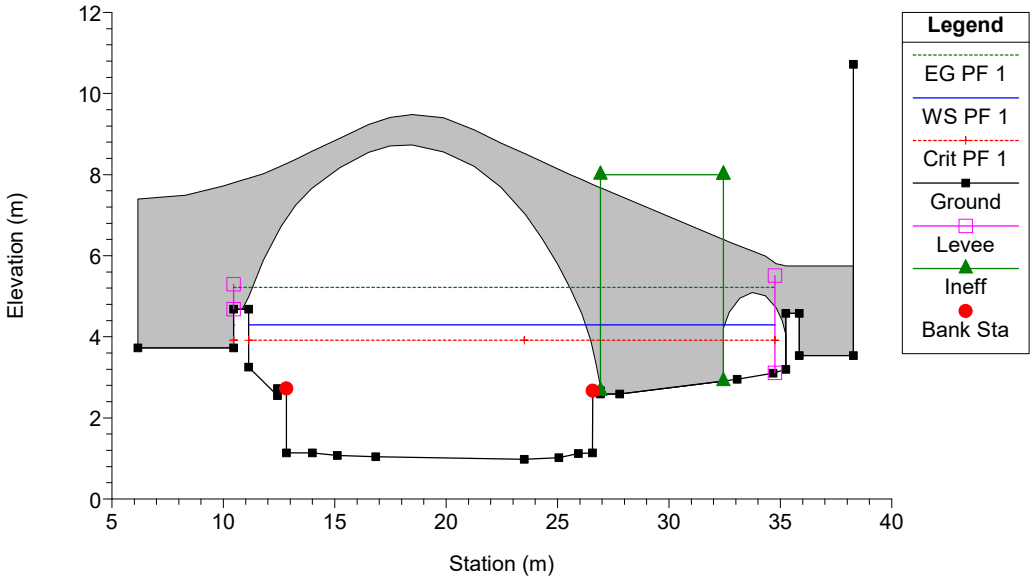
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.1 10.1N - PONTE ROMANO - FM



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

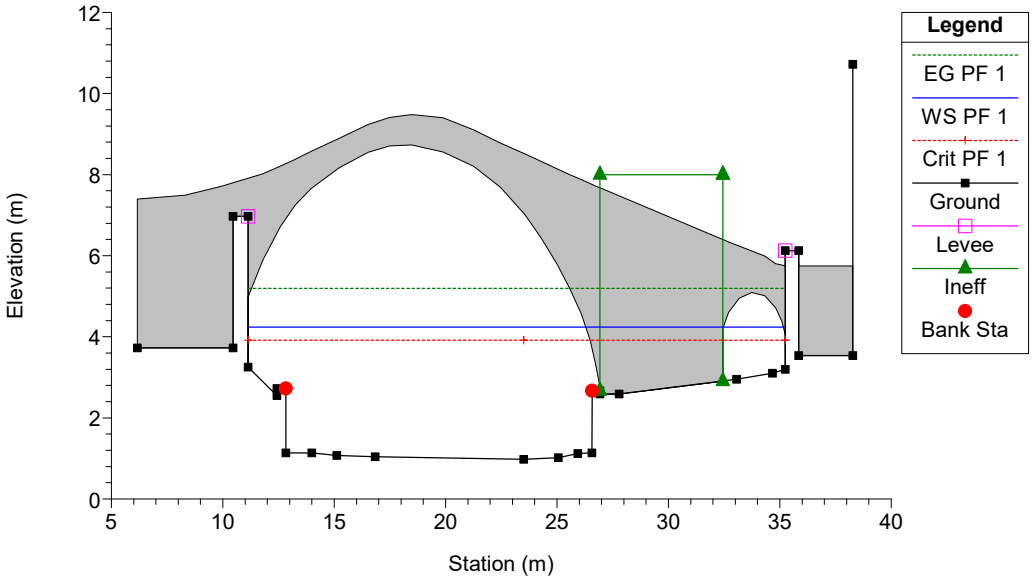
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.05 BR PONTE ROMANO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

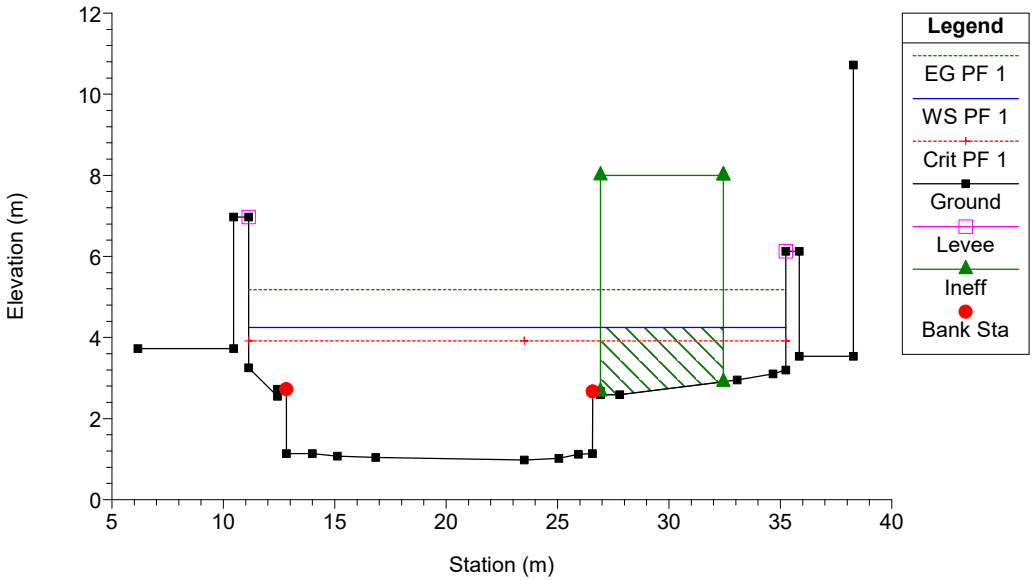
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10.05 BR PONTE ROMANO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

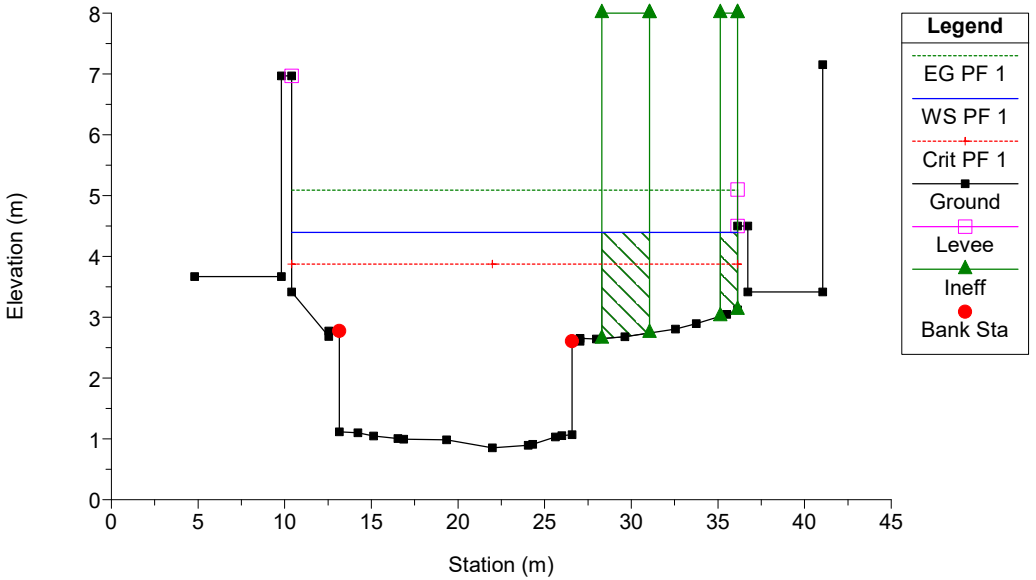
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 10 10N - PONTE ROMANO - FV



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

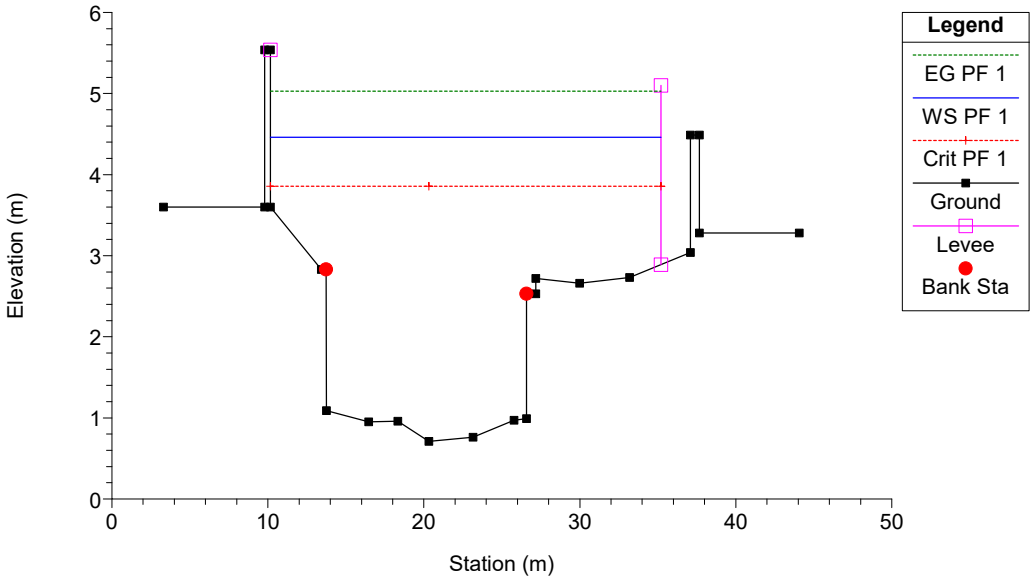
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 9.9 9.9 - PIEGA ARGINE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

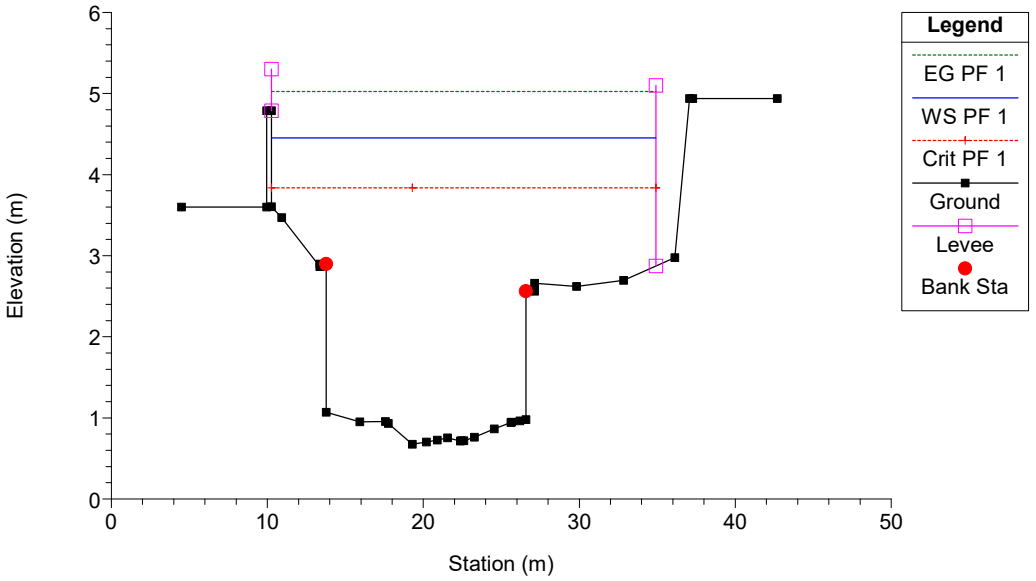
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 9 9N - PONTE ROMANO - V



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

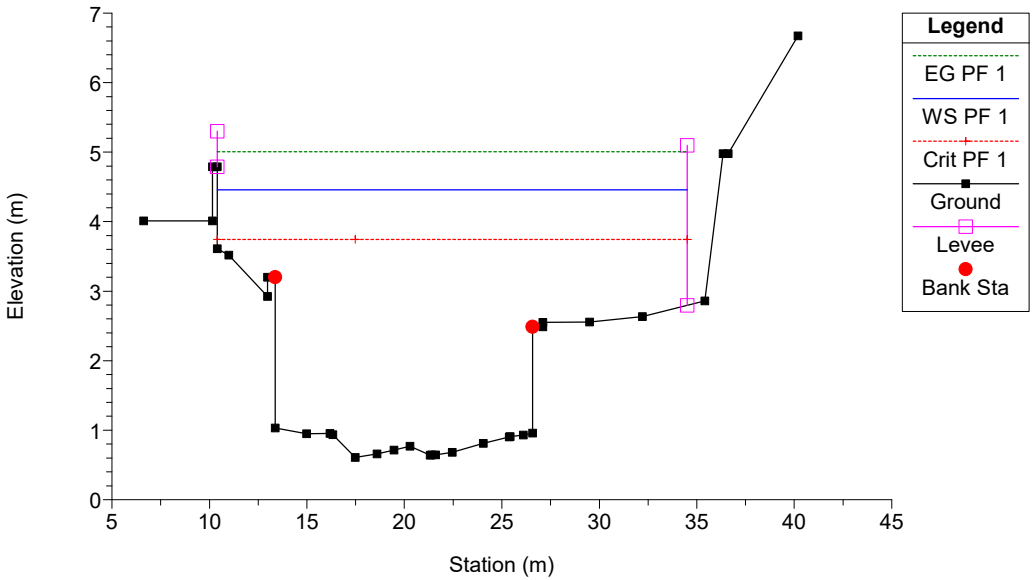
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.95 8.95 - FINE RAMPA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

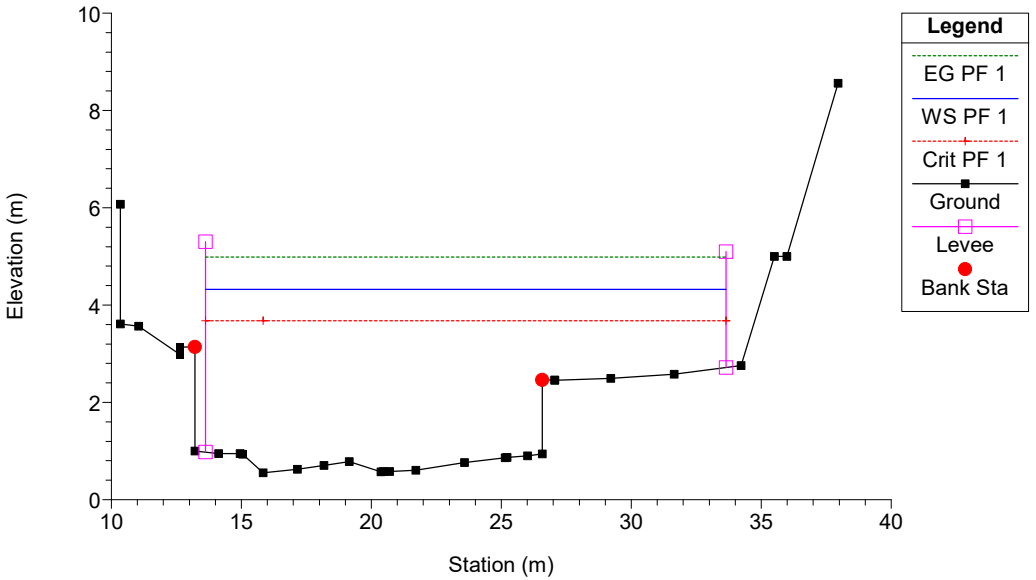
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.9 8.9 - FINE MURETTO



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

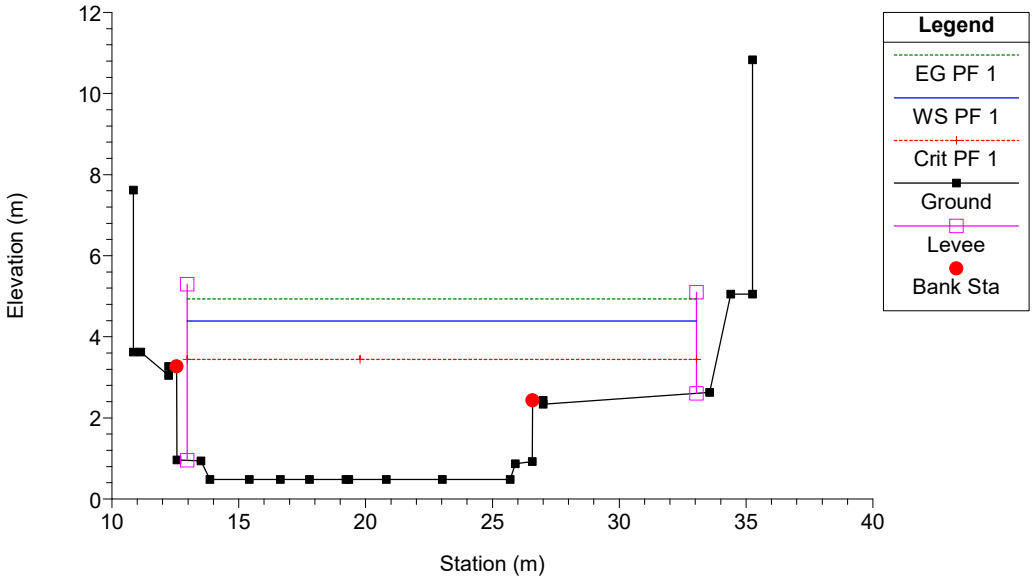
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8.8 8.8 - INIZIO CASA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

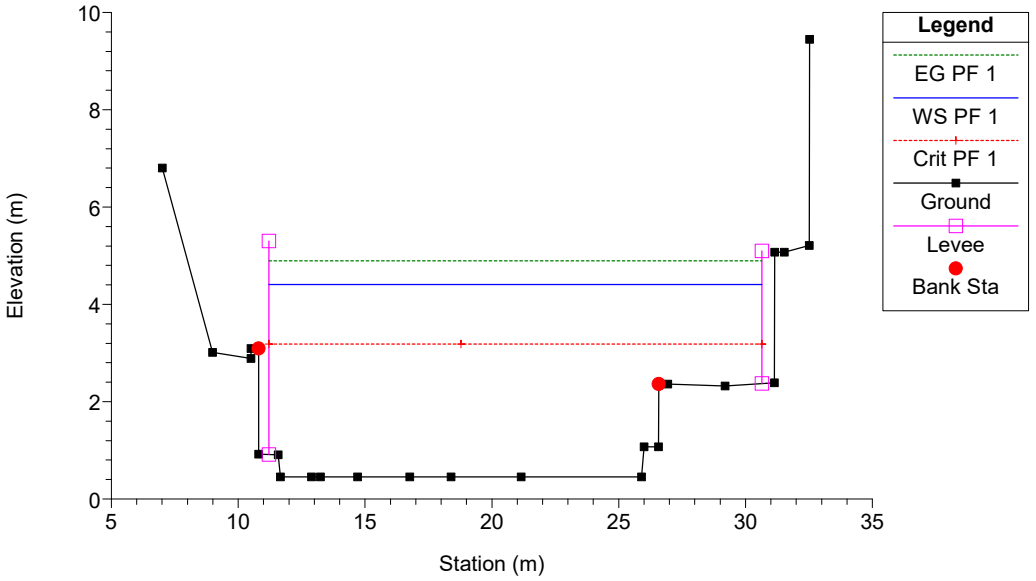
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 8 8N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

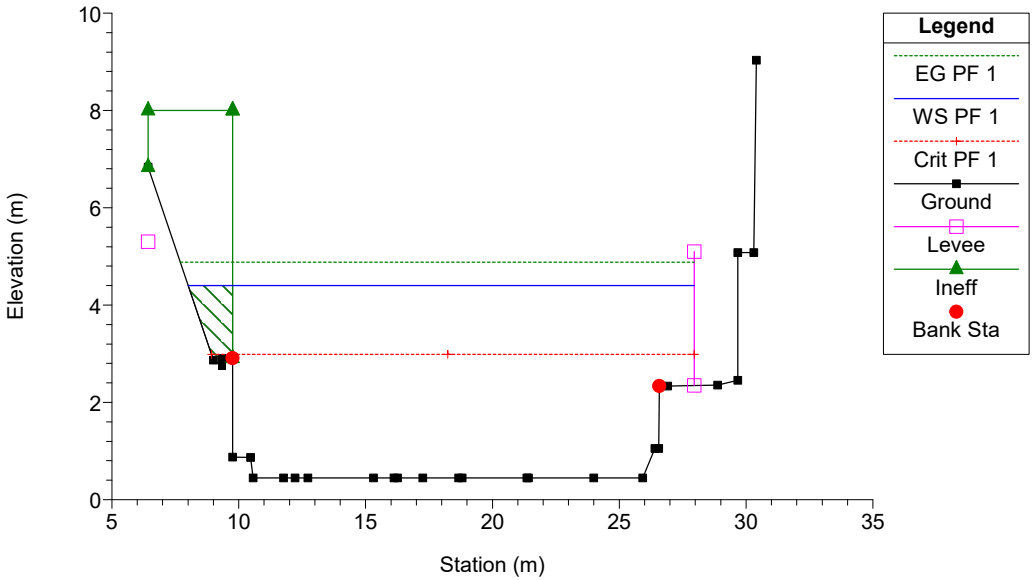
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 7 7N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

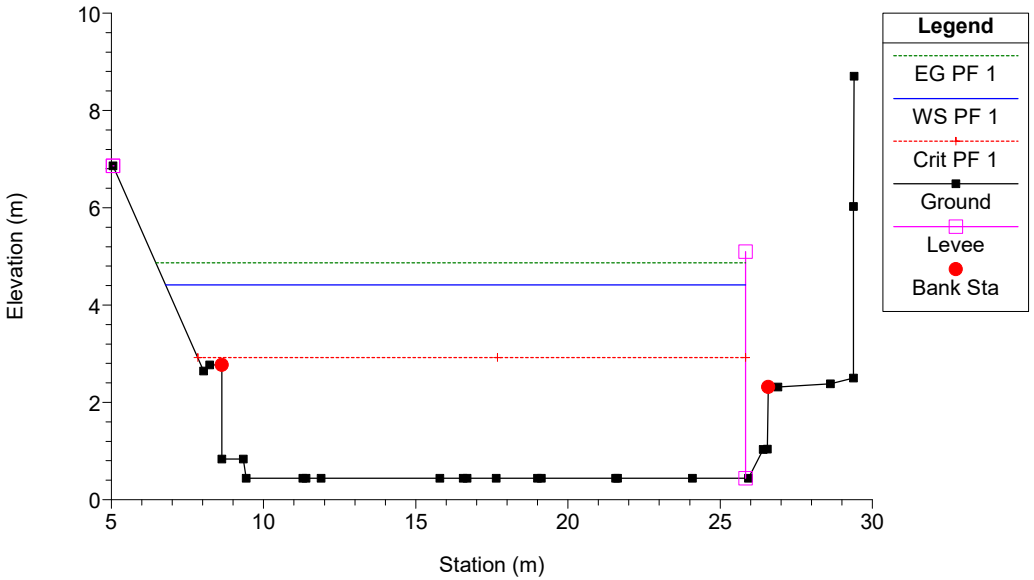
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.9 6.9 - INNESTO SPONDA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

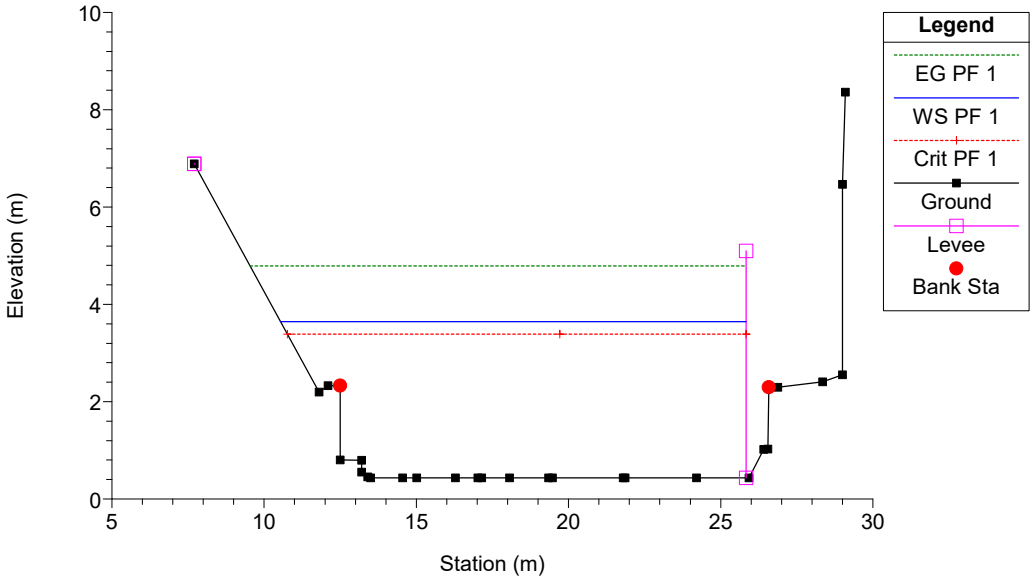
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.8 6.8 - INIZIO RESTR SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

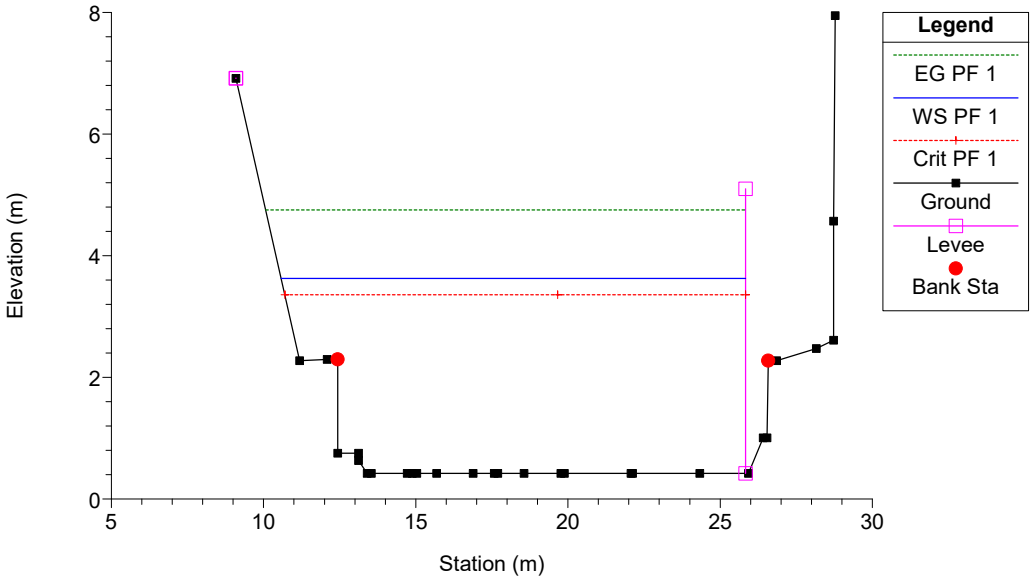
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.7 6.7 - FINE RESTR SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

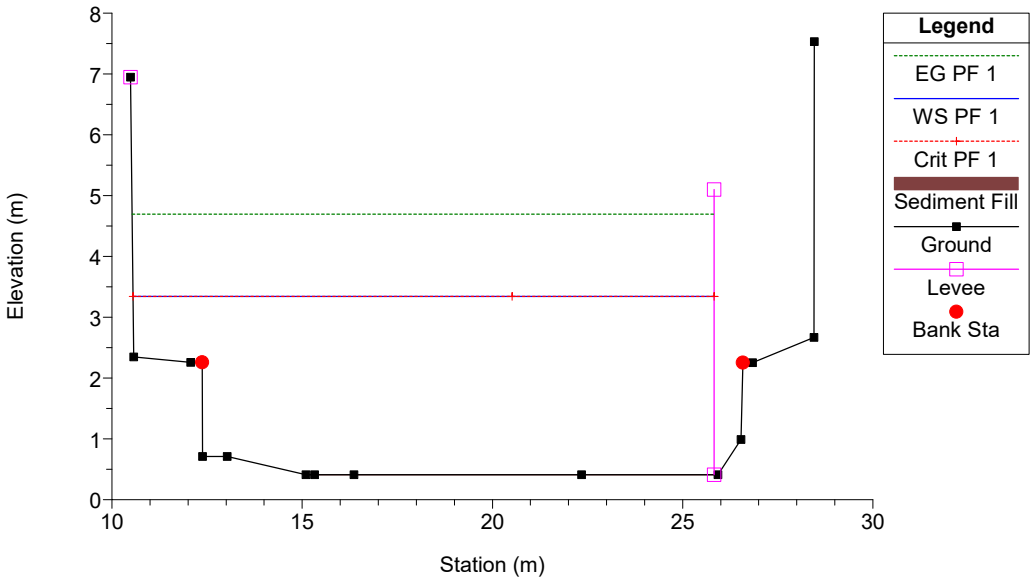
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6.35 6.35 - SOGLIA MONTE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

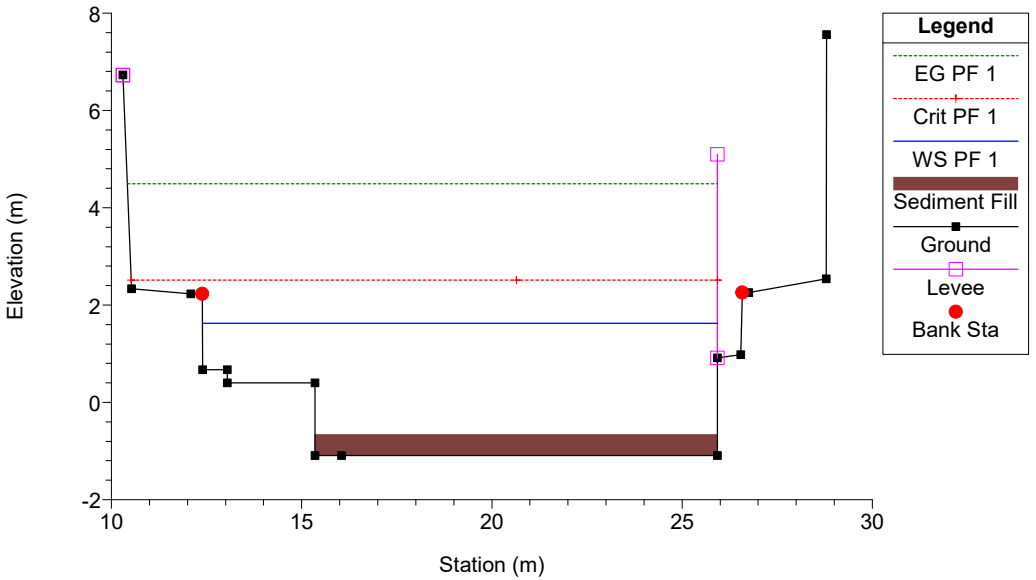
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 6 6N - SOGLIA UP



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

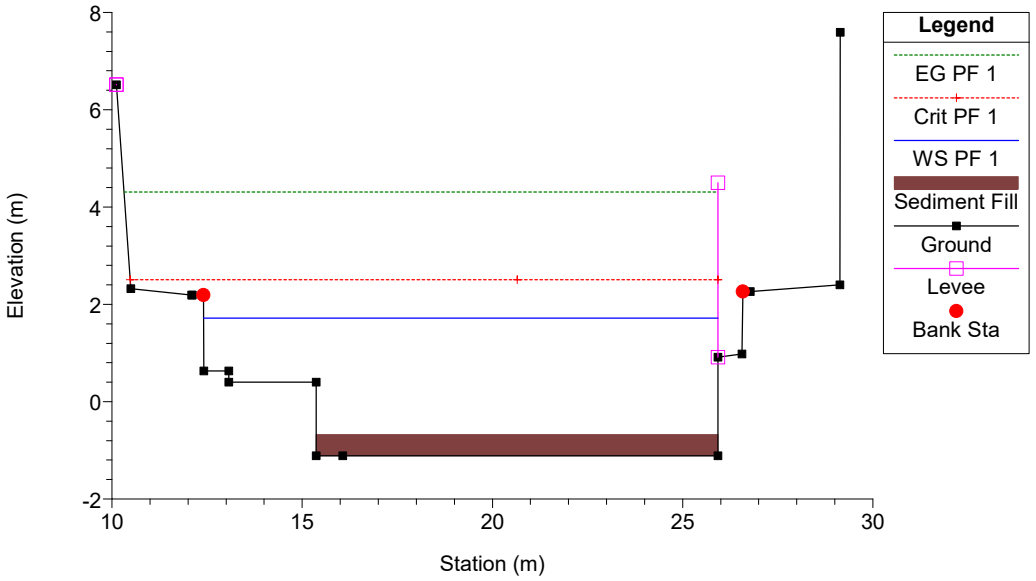
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5.65 5.65 - SOGLIA DOWN



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

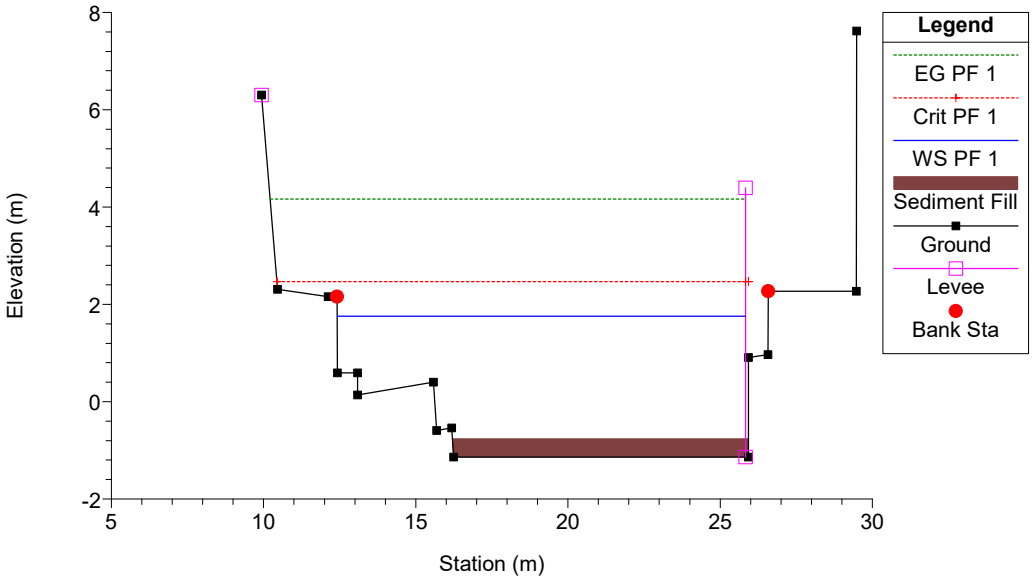
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5.35 5.35 - SOGLIA VALLE



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

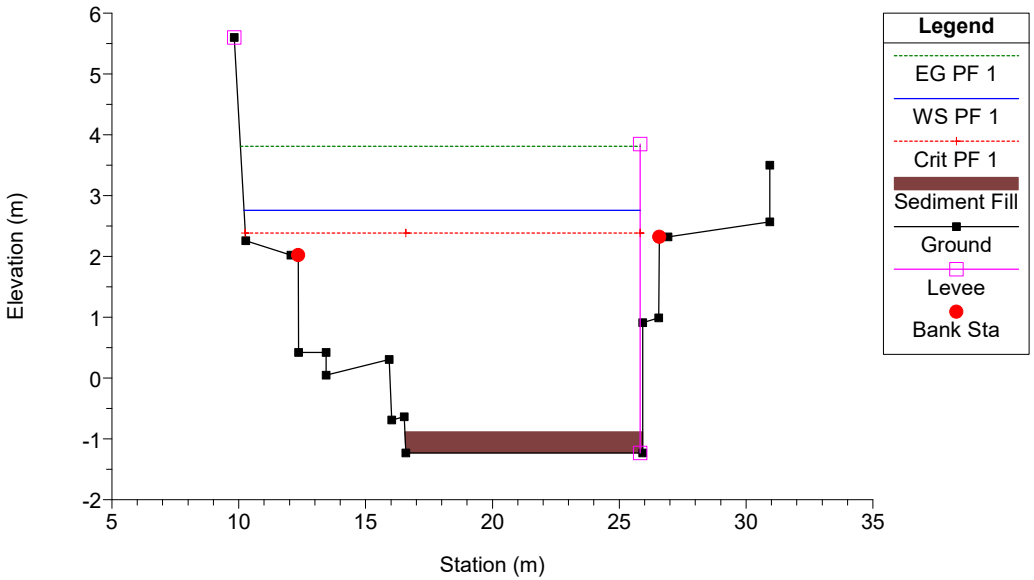
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 5 5N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

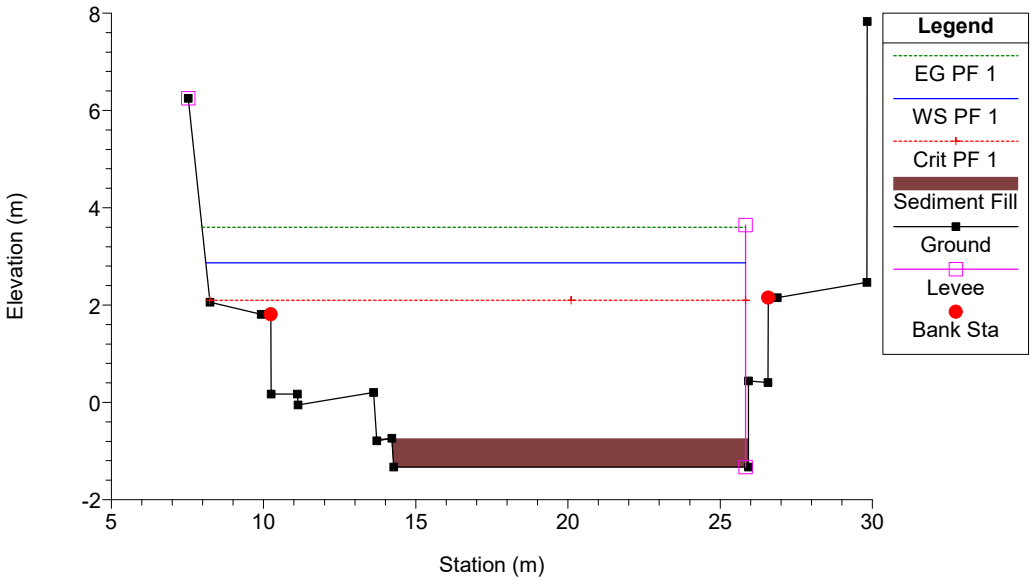
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 4 4N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

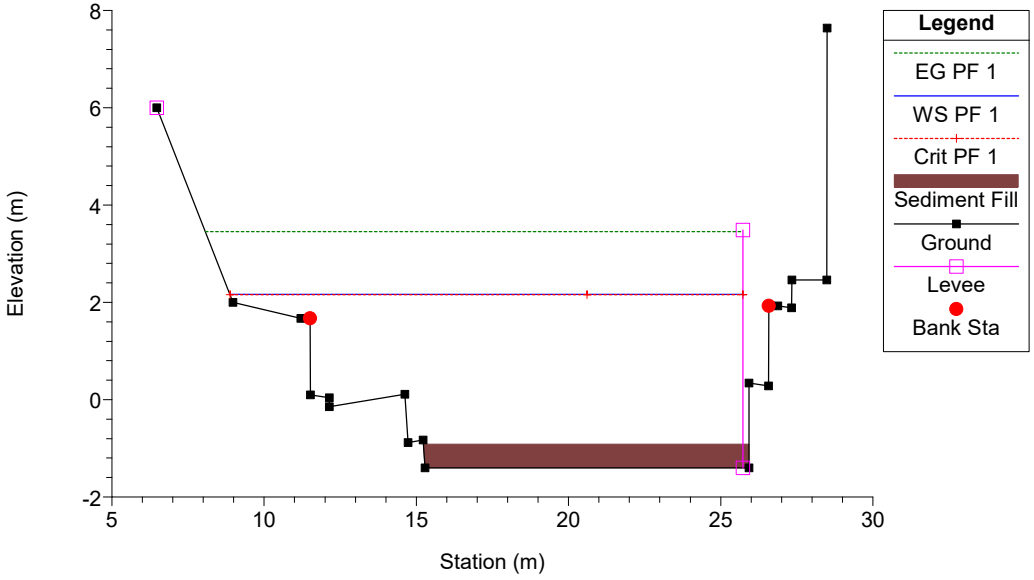
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 3 3N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

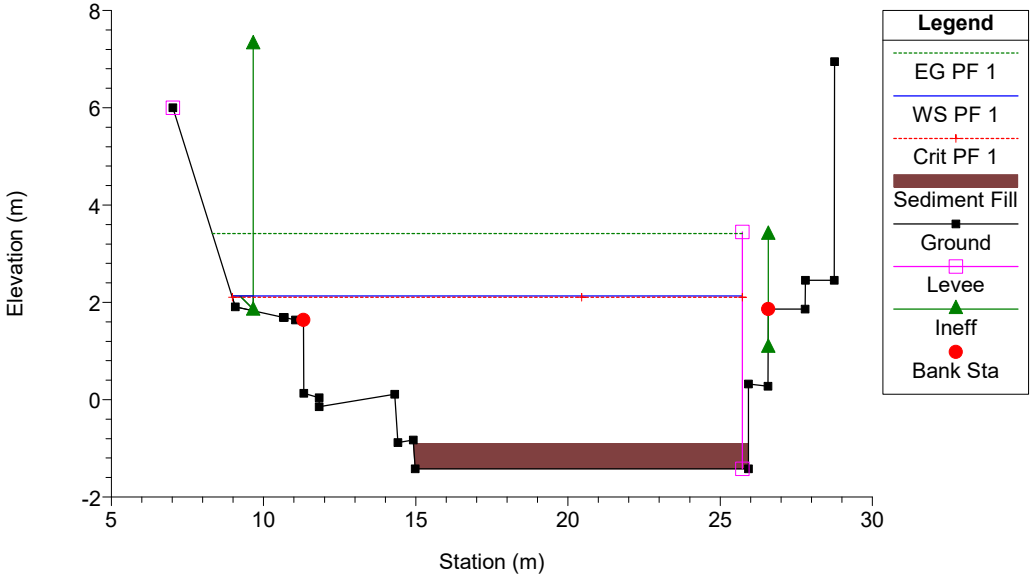
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 2 2N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

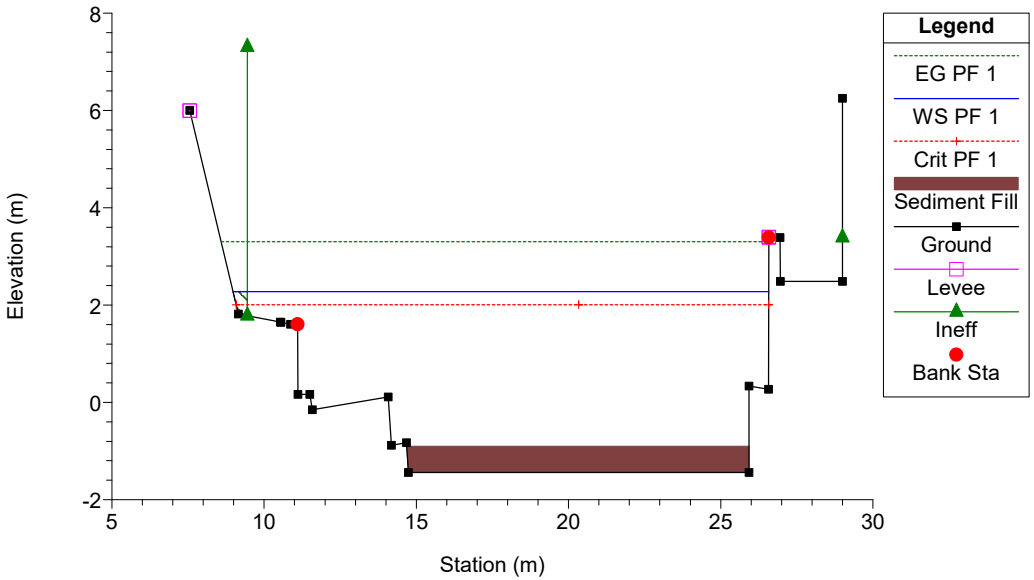
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.9 1.9N - RACCORDO MURO DX - PILA SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

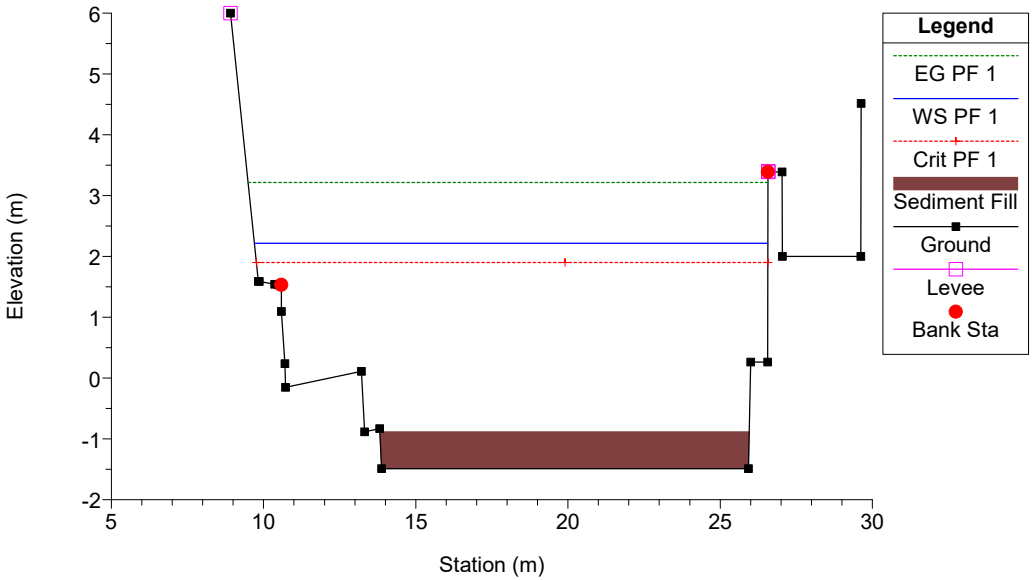
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.8 1.8N - PILA SX



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

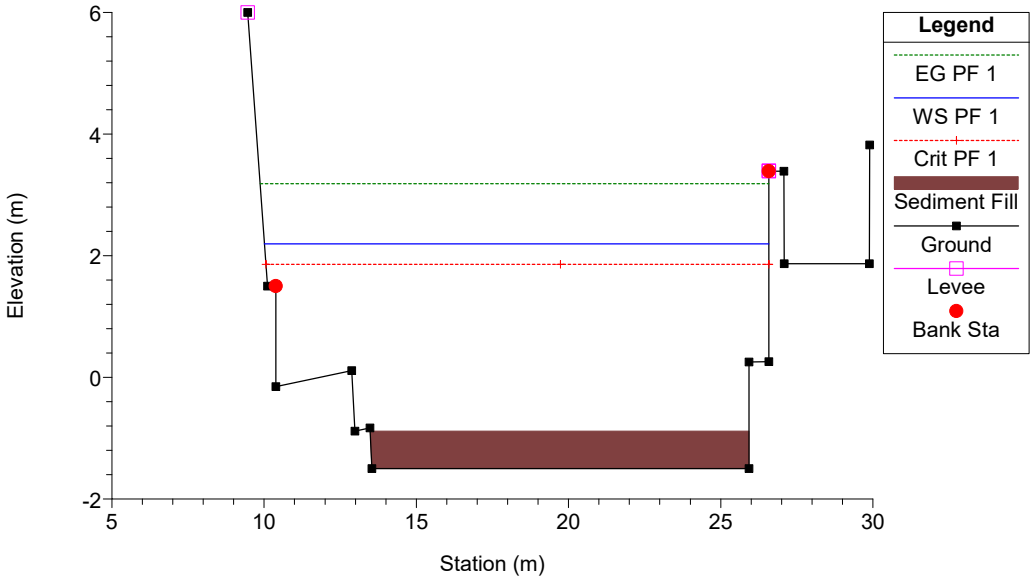
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1.7 1.7N



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

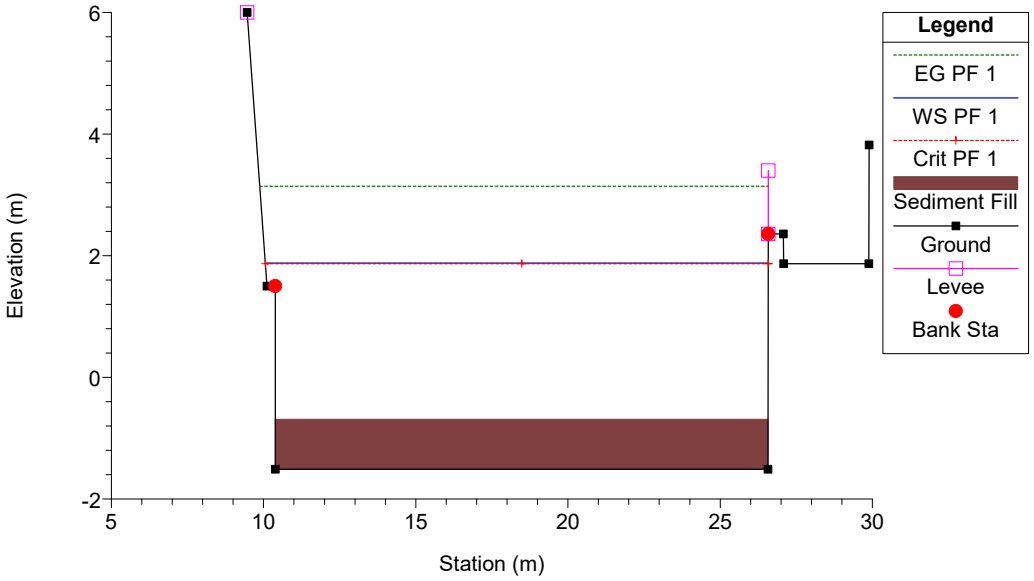
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 1 1N - TESTA SOGLIA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

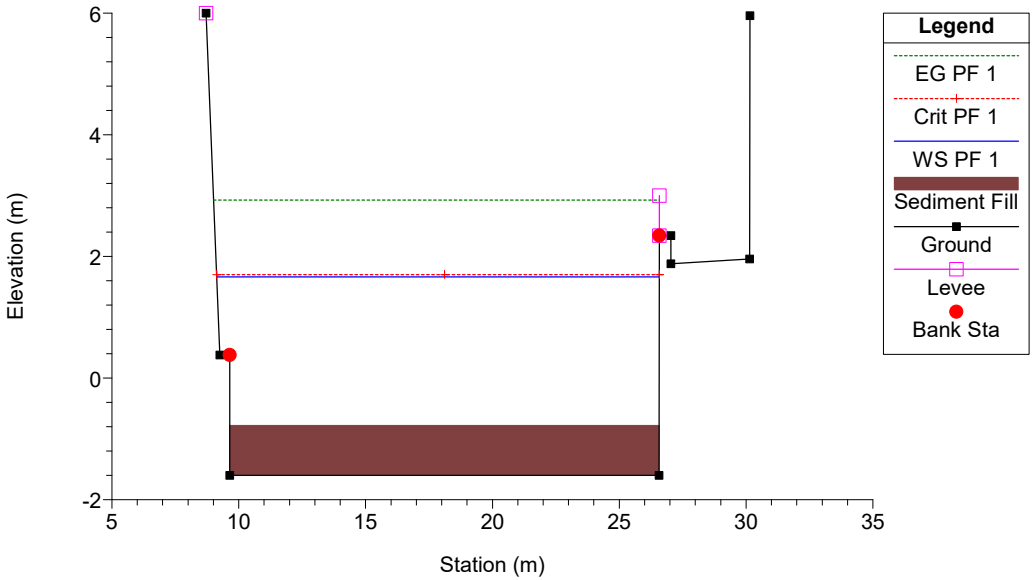
River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 0.9 0.9N - PIEDE SOGLIA



DEF2018_R5 Plan: PROGETTO(EQUILIBRIO) 09-Apr-19 2:48:54 PM

Geom: SP(DEF)+Arg[R11]+EQ Flow: Q

River = NERVI Reach = NERVI_FOCE RS = 0.5 0.5N



HEC-RAS Plan: SP(EQ) River: NERVI Reach: NERVI_FOCE Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
NERVI_FOCE	16	PF 1	207.00	2.63	5.56	5.53	6.94	0.011984	5.21	39.72	13.85	0.98
NERVI_FOCE	15	PF 1	207.00	1.10	4.60	4.00	5.56	0.007374	4.35	47.56	13.85	0.75
NERVI_FOCE	12	PF 1	207.00	1.10	4.80	3.84	5.44	0.002870	3.58	59.22	17.65	0.60
NERVI_FOCE	11.800	PF 1	207.00	1.09	4.79	3.83	5.43	0.002843	3.57	59.46	17.74	0.60
NERVI_FOCE	11.6	PF 1	207.00	1.08	4.78	3.82	5.42	0.002816	3.56	59.70	17.84	0.60
NERVI_FOCE	11.5	PF 1	207.00	1.07	4.70	3.85	5.39	0.002814	3.72	57.28	17.49	0.63
NERVI_FOCE	11.4	PF 1	207.00	1.07	4.70	3.86	5.38	0.002818	3.72	58.14	18.13	0.63
NERVI_FOCE	11.3	PF 1	207.00	1.05	4.75	3.90	5.34	0.002440	3.52	63.60	20.86	0.59
NERVI_FOCE	11	PF 1	207.00	1.04	4.73	3.92	5.32	0.002432	3.52	64.05	21.36	0.60
NERVI_FOCE	10.5	PF 1	207.00	0.99	4.62	3.89	5.26	0.002705	3.70	61.00	22.62	0.63
NERVI_FOCE	10.1	PF 1	207.00	0.98	4.31	3.91	5.22	0.004134	4.33	50.93	23.62	0.77
NERVI_FOCE	10.05		Bridge									
NERVI_FOCE	10	PF 1	207.00	0.98	4.25	3.91	5.18	0.004360	4.40	50.36	24.12	0.78
NERVI_FOCE	9.9	PF 1	207.00	0.85	4.39	3.87	5.09	0.003145	3.87	59.04	25.73	0.67
NERVI_FOCE	9	PF 1	207.00	0.71	4.46	3.86	5.03	0.002575	3.58	65.62	25.03	0.60
NERVI_FOCE	8.95	PF 1	207.00	0.67	4.45	3.84	5.02	0.002601	3.58	65.21	24.65	0.60
NERVI_FOCE	8.9	PF 1	207.00	0.61	4.46	3.74	5.01	0.002446	3.48	66.38	24.10	0.58
NERVI_FOCE	8.8	PF 1	207.00	0.55	4.32	3.68	4.99	0.003246	3.77	58.99	20.03	0.64
NERVI_FOCE	8	PF 1	207.00	0.48	4.39	3.44	4.94	0.002425	3.40	65.03	20.09	0.55
NERVI_FOCE	7	PF 1	207.00	0.46	4.41	3.18	4.89	0.002014	3.17	68.50	19.43	0.51
NERVI_FOCE	6.9	PF 1	207.00	0.45	4.40	2.99	4.88	0.001651	3.08	68.82	19.96	0.50
NERVI_FOCE	6.8	PF 1	207.00	0.44	4.41	2.92	4.87	0.001767	3.00	70.16	19.05	0.48
NERVI_FOCE	6.7	PF 1	207.00	0.43	3.65	3.39	4.79	0.005995	4.76	44.47	15.30	0.85
NERVI_FOCE	6.35	PF 1	207.00	0.42	3.63	3.36	4.75	0.005903	4.74	44.79	15.25	0.85
NERVI_FOCE	6	PF 1	207.00	0.41	3.34	3.34	4.70	0.007805	5.20	40.86	15.28	0.98
NERVI_FOCE	5.65	PF 1	207.00	-0.66	1.62	2.51	4.49	0.026027	7.50	27.60	13.54	1.68
NERVI_FOCE	5.35	PF 1	207.00	-0.68	1.72	2.51	4.31	0.022315	7.13	29.04	13.52	1.55
NERVI_FOCE	5	PF 1	207.00	-0.76	1.76	2.47	4.16	0.020186	6.87	30.15	13.41	1.46
NERVI_FOCE	4	PF 1	207.00	-0.88	2.76	2.38	3.81	0.005873	4.57	46.12	15.63	0.80
NERVI_FOCE	3	PF 1	207.00	-0.75	2.87	2.10	3.60	0.003593	3.81	55.44	17.73	0.66
NERVI_FOCE	2	PF 1	207.00	-0.91	2.16	2.16	3.45	0.007990	5.04	41.70	16.85	0.95
NERVI_FOCE	1.9	PF 1	207.00	-0.90	2.13	2.10	3.41	0.007971	5.03	41.61	16.77	0.95
NERVI_FOCE	1.8	PF 1	207.00	-0.90	2.28	2.01	3.30	0.005950	4.49	46.66	17.60	0.83
NERVI_FOCE	1.7	PF 1	207.00	-0.89	2.22	1.90	3.22	0.005724	4.43	47.05	16.87	0.83
NERVI_FOCE	1	PF 1	207.00	-0.88	2.20	1.86	3.18	0.005696	4.41	47.16	16.57	0.83
NERVI_FOCE	0.9	PF 1	207.00	-0.69	1.88	1.87	3.14	0.008045	4.97	41.71	16.52	0.99
NERVI_FOCE	0.5	PF 1	207.00	-0.78	1.66	1.70	2.93	0.007945	4.99	41.91	17.45	1.02