



Comune di Vogogna
Provincia di Verbano-Cusio-Ossola
Regione Piemonte



INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO IN SPONDA SINISTRA DEL FIUME TOCE

CUP: B18H21000190002 - CIG: B2FD9764D5

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

OGGETTO

02. STUDI AMBIENTALI, GEOLOGICI - GEOTECNICI E IDRAULICI

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

TIMBRI E FIRME

SRIA
s.r.l.
STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

ing. Luca AGAGLIATE
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.10452F

ing. Santo LA FERLITA
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.10943X

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE	
DATA	APR/2025	
COD. LAVORO	700/SR	
TIPOL. LAVORO	P	
LOTTO	-	
STRALCIO	-	
SETTORE	2	
TIPOL. ELAB.	RI	
TIPOL. DOC.	E	
ID ELABORATO	04	
VERSIONE	0	

REDATTO

ing. Francesca ALLIEGRO

CONTROLLATO

ing. Luca AGAGLIATE

APPROVATO

ing. Santo LA FERLITA

ELABORATO

P-2.4



INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GENERALE	4
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	5
2.2.1 Rio delle Chiese	7
2.2.2 Tocetta	11
2.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
3. PIANIFICAZIONE VIGENTE E STUDI ESISTENTI	16
3.1 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME TOCE – P.A.I.	16
3.2 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONALE – P.G.R.A.	23
3.3 PROGETTO DEGLI “INTERVENTI SULL’ARGINE IN SX DEL FIUME TOCE” – ENI REWIND	24
3.4 PIANO REGOLATORE COMUNALE DI VOGOGNA – P.R.G.C.	28
4. ANALISI IDROLOGICA	30
4.1 DELIMITAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI DI INTERESSE	30
4.2 TEMPI DI CORRIVAZIONE DEI BACINI	32
4.3 DEFINIZIONE DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN	34
4.4 CALCOLO DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA SULLA BASE DEI DATI ARPA PIEMONTE	36
4.5 DEFINIZIONE DELLE PIOGGIA DI PROGETTO	39
4.6 CALCOLO DELLE PORTATE LIQUIDE AL COLMO	39
4.6.1 Modello numerico afflussi – deflussi	39
4.6.1.1 Metodologia e input del modello	39
4.7 ANALISI DEL FIUME TOCE	42
5. VERIFICHE IDRAULICHE	45
5.1 MODELLO DI CALCOLO HEC – RAS MONODIMENSIONALE IN MOTO PERMANENTE	45
5.1.1 Geometria di riferimento	47
5.1.1.1 Parametri di scabrezza	49
5.1.2 Condizioni al contorno	49
5.1.3 Risultati delle simulazioni	50
6. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DA FENOMENI EROSIVI	54
6.1 VERIFICA SECONDO L’ANALISI DI MOTO INCIPIENTE	55
6.2 FORMULAZIONI EMPIRICHE DI NEILL E BOGARDI	57
7. VERIFICHE RILEVATO ARGINALE IN PROGETTO	59
7.1 CARATTERISTICHE DEL RILEVATO	59
7.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DI STABILITÀ DEL RILEVATO	60
7.2.1 Combinazioni delle Azioni	61
7.2.2 Metodi di analisi	63
7.2.1 Calcolo delle spinte	64
7.2.1.1 Calcolo della spinta attiva	64
7.2.1.2 Spinta in presenza di acqua a tergo della struttura	64
7.2.1 Verifica delle opere	65
7.3 VERIFICHE A SIFONAMENTO	65



ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Carta dei bacini idrografici –
- ALLEGATO 2 – Idrogrammi di progetto –
- ALLEGATO 3 – Planimetria delle sezioni di calcolo –
- ALLEGATO 4 – Risultati delle simulazioni idrauliche – Stato di fatto–
- ALLEGATO 5 – Risultati delle simulazioni idrauliche – Stato di progetto
- ALLEGATO 6 – Verifiche del rilevato arginale



1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del progetto di fattibilità tecnica ed economica relativo agli **interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del fiume Toce**, nel territorio del Comune di Vogogna (VB).

L'incarico per la redazione per presente progetto di fattibilità tecnico ed economica è stato affidato dal Comune di Vogogna allo Studio Rosso Ingegneri Associati, a seguito del precedente affidamento relativo allo *“Studio finalizzato alla definizione delle criticità idrauliche generate dal Fiume Toce in Comune di Vogogna e relativo proposta di interventi di mitigazione del rischio idraulico, alla luce degli estesi allagamenti provocati dall'evento alluvionale dell'ottobre 2020”*.

Il presente elaborato ha l'obiettivo di descrivere in modo dettagliato il contesto territoriale, idrografico e geologico dell'area oggetto di intervento, nonché di illustrare le analisi idrologiche e idrauliche svolte a supporto della progettazione.

Nella prima parte del documento vengono presentati l'inquadramento territoriale, idrografico e geologico dell'area di studio, seguiti da una ricognizione della pianificazione vigente e degli studi pregressi disponibili, tra cui i principali strumenti di pianificazione a livello di bacino (PAI e PGR), nonché documentazione tecnica relativa ad interventi precedentemente realizzati o in fase di progettazione nell'area.

Viene presentata l'analisi idrologica condotta per i bacini idrografici di interesse, attraverso la stima delle piogge di progetto e il calcolo delle portate al colmo mediante modellazione afflussi-deflussi. Tali dati costituiscono input fondamentale per le verifiche idrauliche effettuate tramite modello monodimensionale HEC-RAS in moto permanente, con lo scopo di valutare il comportamento idraulico del reticolo durante gli eventi di piena con diversi tempi di ritorno.

Infine, si effettua una valutazione degli effetti erosivi indotti dalla corrente sugli interventi in progetto.

L'elaborato costituisce quindi un riferimento per la definizione e la progettazione delle opere idrauliche necessarie al contenimento del rischio idraulico locale.



2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Gli interventi oggetto del presente progetto ricadono nel territorio comunale di Vogogna, in provincia del Verbano-Cusio-Ossola, situato nella parte centrale della Val d'Ossola. Il Comune, inserito nel circuito dei “*borghi più belli d'Italia*”, è stato insignito nel 2011 della “*Bandiera arancione*” del Touring Club Italiano. Il centro storico, di impianto medievale, è ben conservato e caratterizzato dalla presenza del Castello Visconteo, da un tessuto urbano compatto e da un sistema di viuzze lastricate e abitazioni in pietra, che ne valorizzano il pregio storico e architettonico.

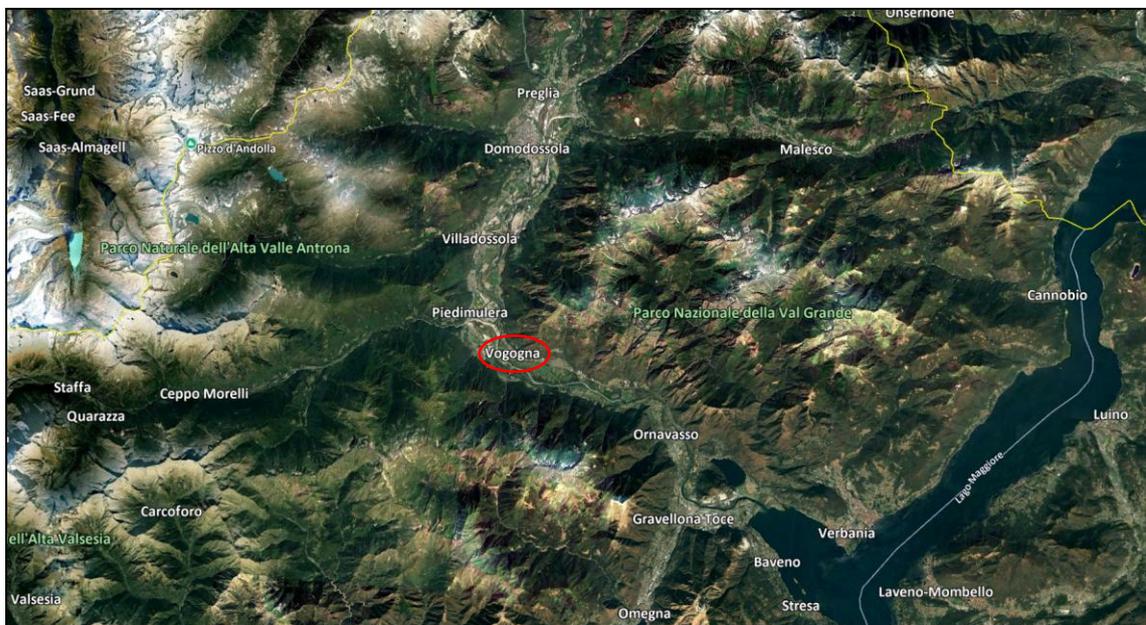


Figura 1 – Inquadramento geografico del Comune di Vogogna

L'area interessata dagli interventi si sviluppa in sponda sinistra del fiume Toce e interessa, in particolare, il tratto terminale del Rio delle Chiese, corso d'acqua secondario che attraversa parte dell'abitato.

Come evidenziato in Figura 2, le opere si localizzano nell'area compresa tra il rilevato ferroviario della linea Milano – Domodossola e la confluenza del Rio delle Chiese nel Fiume Toce.

Il contesto territoriale è caratterizzato da una stretta interazione tra elementi naturali e antropici, con la presenza di infrastrutture viarie e ferroviarie, aree urbanizzate e ambiti golenali, in un tratto vallivo che risulta particolarmente sensibile sotto il profilo idraulico e morfologico. Il comune di Vogogna, incluso nel Parco Nazionale della Val Grande, presenta un contesto ambientale di elevato valore naturalistico, soggetto tuttavia a criticità legate al rischio idraulico e all'instabilità delle dinamiche fluviali del Toce e dei suoi affluenti minori.

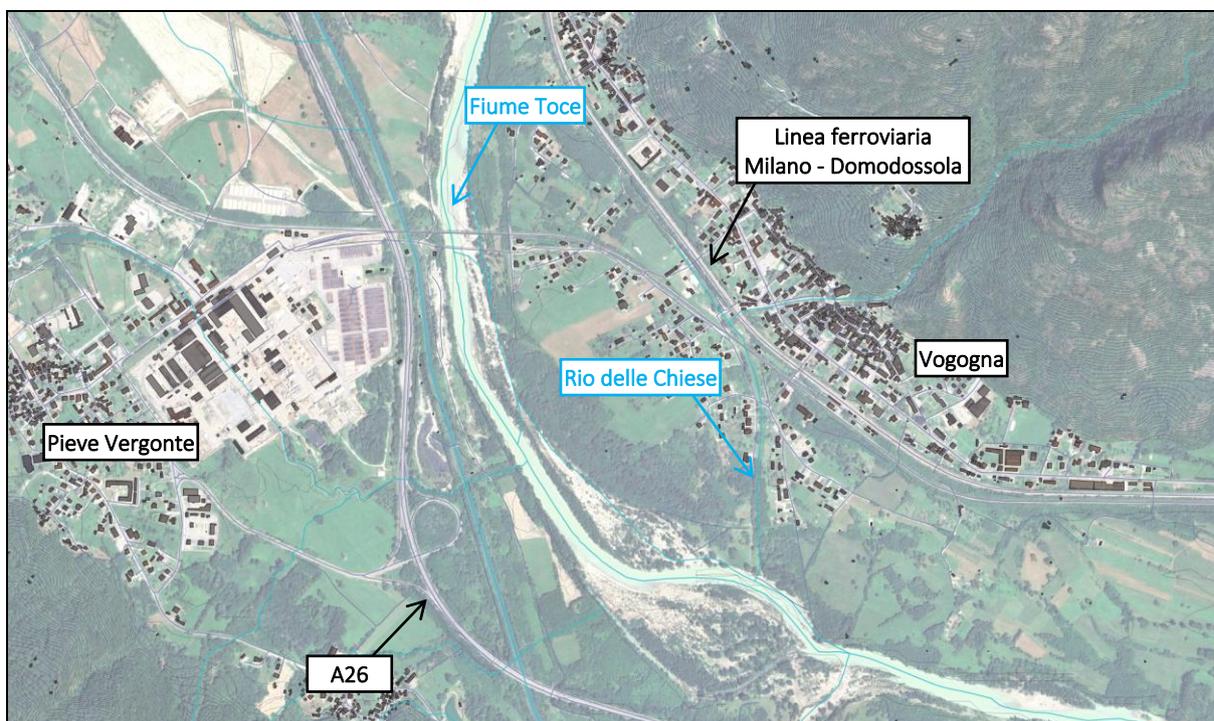


Figura 2 – Inquadramento dell'area oggetto d'intervento

2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico del fiume Toce si estende su una superficie complessiva di circa 1.778 km², dei quali circa il 90% (1.607 km²) ricade in territorio italiano e la restante parte in territorio svizzero. L'intero bacino si sviluppa in ambito montano e presenta una morfologia complessa, con elevati dislivelli altimetrici e diffuse aree glaciali e paraglaciali, che condizionano in modo significativo la risposta idrologica del sistema. Il Toce percorre per intero la Val d'Ossola, raccogliendo numerosi affluenti e risultando caratterizzato da elevati deflussi e da piene impulsive, favorite dall'elevata altitudine del bacino e dalle intense precipitazioni meteoriche tipiche dell'area.

Il fiume ha origine presso il Lago del Toggia, a quota 2.191 m s.l.m., in prossimità della Punta di Valrossa. Tra i principali affluenti di destra si annoverano i torrenti Devero, Diveria, Bogna, Ovesca, Anza e, in prossimità della foce, lo Strona; tra quelli di sinistra, i torrenti Isorno e Melezzo Occidentale, che confluiscono entrambi in corrispondenza dell'area di Domodossola. I corsi d'acqua affluenti sono caratterizzati dalla presenza di ampie conoidi di deiezione nel fondovalle, espressione dell'intensa attività erosiva nelle zone montane e del conseguente trasporto solido verso valle.

Nel tratto compreso tra la confluenza dell'Isorno e Piedimulera, il Toce assume un andamento sinuoso, con una struttura dell'alveo che passa da pluricursale ramificata a monocursale con barre instabili a partire da Villadossola fino a Ponte di Masone. In questo segmento confluiscono in destra idrografica i torrenti Bogna, Ovesca e Anza, e in sinistra l'Isorno e il Melezzo Occidentale. Nell'ampia piana alluvionale di Masera, caratterizzata da un assetto morfologico pianeggiante e aperto, il fiume conserva un regime ancora a carattere



torrentizio, con una tendenza alla divagazione e all'espansione. In prossimità di Domodossola, l'alveo si restringe e viene contenuto da due argini artificiali, che accompagnano il fiume fino alla fine dell'area urbana.

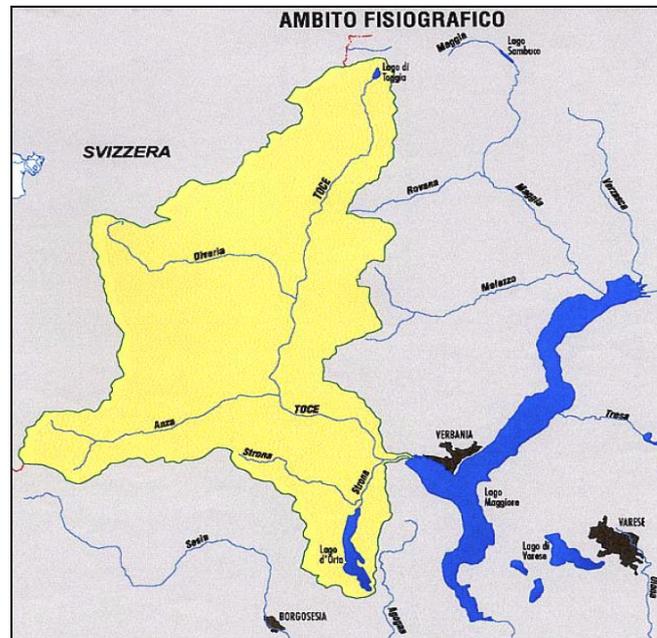


Figura 3 – Ambito fisiografico
(Fonte: Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi - Bacino del Toce)

A valle di Domodossola, la valle dell'Ossola assume le caratteristiche tipiche di una valle glaciale a "U", con versanti acclivi e un fondo valle ampio, dove il fiume presenta un tracciato sinuoso, parzialmente condizionato dalla presenza di infrastrutture stradali e ferroviarie disposte parallelamente al corso d'acqua. I fenomeni erosivi, prevalentemente localizzati, sono rilevabili lungo tutto il tratto che va da Domodossola allo sbocco nel Lago Maggiore, con intensità maggiori a monte di Megolo di Fondo e nel segmento tra Cuzzago e Ornavasso.

Il profilo longitudinale del Toce, nel tratto compreso tra la confluenza dell'Isorno e il Lago Maggiore, non mostra significative tendenze all'approfondimento dell'alveo, se non localmente. In alcuni settori si osserva una progressiva canalizzazione, accompagnata da una riduzione della lunghezza della linea di thalweg e dalla disattivazione di canali secondari, riutilizzati solo durante le piene. In particolare, il tratto tra Villadossola e Ponte di Masone risente del restringimento dell'alveo indotto dalla presenza del rilevato della superstrada Gravellona Toce–Domodossola, che ne segue il tracciato da vicino. La stessa tendenza è osservabile nel tratto finale, fino allo sbocco nel lago, dove il restringimento morfologico è accompagnato da squilibri planimetrici e longitudinali.

I principali elementi di instabilità sono riconducibili alla dinamica fluviale dell'alveo, in particolare nei nodi di confluenza dei principali affluenti (Diveria, Isorno, Melezzo, Bogna, Ovesca, Anza) e nei tratti con presenza di aree golenali parzialmente occupate da infrastrutture o insediamenti. Tali aree risultano vulnerabili sia a fenomeni di allagamento in occasione di eventi di piena che a erosione di fondo o di sponda. Il sistema difensivo, composto da arginature spesso discontinue, risulta inadeguato a garantire una protezione efficace e



omogenea, in particolare nel tratto compreso tra l'Isorno e Ornavasso, dove la presenza del solo rilevato stradale in destra idrografica non consente un contenimento efficace dei livelli idrici di piena. Per tale motivo, negli ultimi anni, A.I.Po ha avviato la realizzazione di nuove arginature, tra cui quelle previste anche in sponda sinistra, come nel caso del presente intervento nel Comune di Vogogna.

Ai fini del presente progetto è stata inoltre effettuata un'analisi approfondita del reticolo idrografico secondario locale, con particolare attenzione al Rio delle Chiese e alla Tocetta, corsi d'acqua minori che giocano un ruolo rilevante nella dinamica dei deflussi in occasione degli eventi di piena del Toce (cfr. Figura 4).

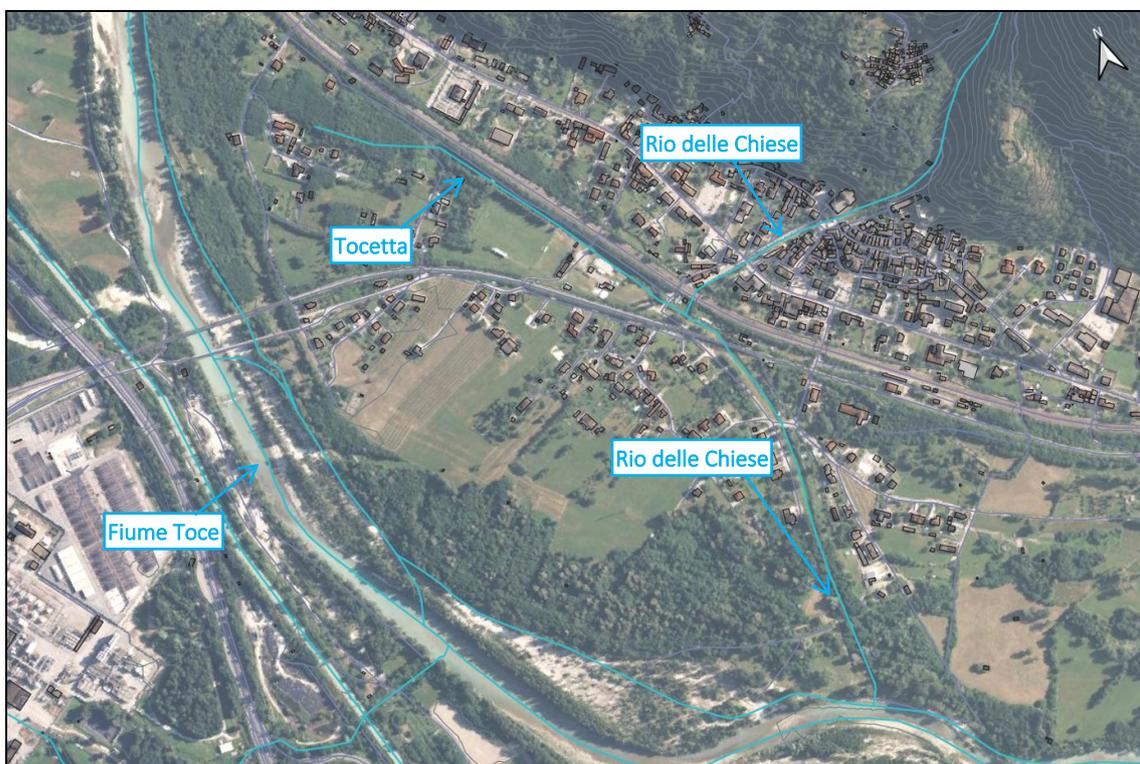


Figura 4 – Idrografia secondaria e principale dell'area oggetto di studio

2.2.1 Rio delle Chiese

Il Rio delle Chiese costituisce un elemento significativo del reticolo idrografico secondario del Comune di Vogogna, contribuendo in modo rilevante alla dinamica idraulica locale, soprattutto in occasione di eventi meteorici intensi.

Il corso d'acqua ha origine a circa 750 m s.l.m., in area montana, e nella sua porzione iniziale defluisce con orientamento Nord Est – Sud – Ovest, seguendo un tracciato inciso in un versante acclive. In questo tratto iniziale, la pendenza del fondo alveo è molto accentuata (circa 30%), che conferisce al corso d'acqua un carattere marcatamente torrentizio, con elevata capacità erosiva e di trasporto solido. Raggiunta l'area di conoide, il corso d'acqua si sviluppa lungo l'abitato storico del comune di Vogogna (cfr. Figura 5).

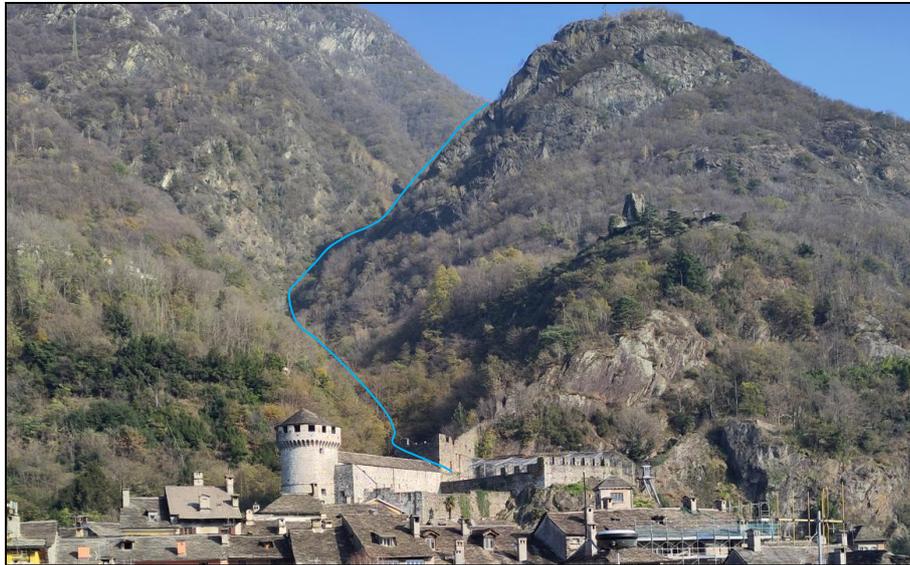


Figura 5 – Ripresa fotografica del versante lungo il quale defluisce il Rio delle Chiese nel tratto montano

Proseguendo verso valle, il Rio attraversa l'area urbanizzata, modificando progressivamente le proprie caratteristiche morfologiche e idrauliche. In corrispondenza della quota di circa 230 m s.l.m., il corso d'acqua defluisce tra due elementi di interesse storico e urbanistico: il Castello di Vogogna, situato in sinistra idraulica, e la Chiesa del Sacro Cuore di Gesù, in destra idraulica. All'interno del centro abitato, il Rio delle Chiese si presenta interamente canalizzato, con una sezione regolare di forma rettangolare, delimitata da muri spondali in pietrame e fondo rivestito, e defluisce con direzione prevalente Est – Ovest (cfr. Figura 6).



Figura 6 – Ripresa fotografica, da monte verso valle, del Rio delle Chiese nel tratto interferente con il centro abitato del Comune di Vogogna



In tale tratto la pendenza di fondo si riduce drasticamente, assestandosi attorno al 5 %, condizione che riduce la velocità del deflusso ma aumenta la vulnerabilità a possibili occlusioni di trasporto solido e flottanti.

Superata Via Nazionale, mediante un ponte ad arco in pietra, il Rio delle Chiese prosegue all'interno di una canalizzazione con sezione rettangolare. In questo segmento, il corso d'acqua è delimitato da un muro spondale in pietra in sinistra idraulica, mentre in destra idraulica è presente un muretto rivestito in pietrame, sulla cui sommità si sviluppa la viabilità locale di Piazza Pallone (cfr. Figura 7).



Figura 7 – Ripresa fotografica, da valle verso monte, del Rio delle Chiese a valle di Via Nazionale

Poco oltre, il Rio delle Chiese sottopassa il rilevato ferroviario della linea Milano – Domodossola, ricevendo subito dopo, in corrispondenza del tratto immediatamente a valle, gli apporti idrici della Tocetta (cfr. §2.2.2).

Poco a valle si inquadra anche la linea ferroviaria Novara – Domodossola, che attraversa l'area tramite un viadotto in travi reticolari, senza interferire con il deflusso idrico (cfr. Figura 8).



Figura 8 – Ripresa fotografica da monte verso valle del Rio delle Chiese a valle dell'interferenza con la linea ferroviaria Novara - Domodossola

Nel tratto compreso tra la linea ferroviaria Milano – Domodossola e la confluenza con il Fiume Toce, il Rio delle Chiese mantiene un orientamento prevalente Nord – Sud, con una sezione idraulica piuttosto regolare. In sinistra idraulica, parallelamente al corso d'acqua, si sviluppa Via Calami, mentre abitazioni e fabbricati si distribuiscono lungo entrambe le sponde.

Il corso d'acqua si estende per circa 630 m in questo tratto, fino alla confluenza nel Fiume Toce (cfr. Figura 9), che avviene con un angolo prossimo ai 90°, assumendo una conformazione a “T”. Tale geometria, in occasione di eventi di piena particolarmente gravosi del Fiume Toce, può ostacolare il deflusso naturale delle acque, causando fenomeni di rigurgito verso monte.

In quest'ultimo tratto è presente un solo manufatto di attraversamento del corso d'acqua: il ponte di Via Piano di Vogogna, ubicato a circa 480 m a monte della confluenza.

Le caratteristiche morfologiche, le interferenze infrastrutturali e le variazioni di pendenza lungo il tracciato del Rio delle Chiese rendono necessario un attento monitoraggio della dinamica idraulica, sia in condizioni ordinarie sia in occasione di eventi di piena, al fine di garantire la sicurezza idraulica del centro abitato e delle infrastrutture esistenti.



Figura 9 – Confluenza del Rio delle Chiese con il Fiume Toce

2.2.2 Tocetta

La Tocetta rappresenta un affluente in destra del Rio delle Chiese, confluendo in quest'ultimo a circa 30 metri a valle dell'interferenza con il rilevato ferroviario della linea Milano – Domodossola.

Dall'analisi di dettaglio del modello digitale del terreno (DTM) e dai sopralluoghi effettuati, emerge che il tracciato della Tocetta coincida verosimilmente con un antico ramo attivo del Fiume Toce, che in epoche passate scorreva in corrispondenza dell'attuale corpo idrografico (cfr. Figura 9).

Nel tempo, probabilmente a seguito di modificazioni naturali e antropiche della dinamica fluviale, il Toce ha progressivamente abbandonato questo ramo secondario, lasciando una traccia morfologica oggi riconoscibile lungo circa 750 metri, oltre i quali l'incisione si perde gradualmente nei terreni agricoli.

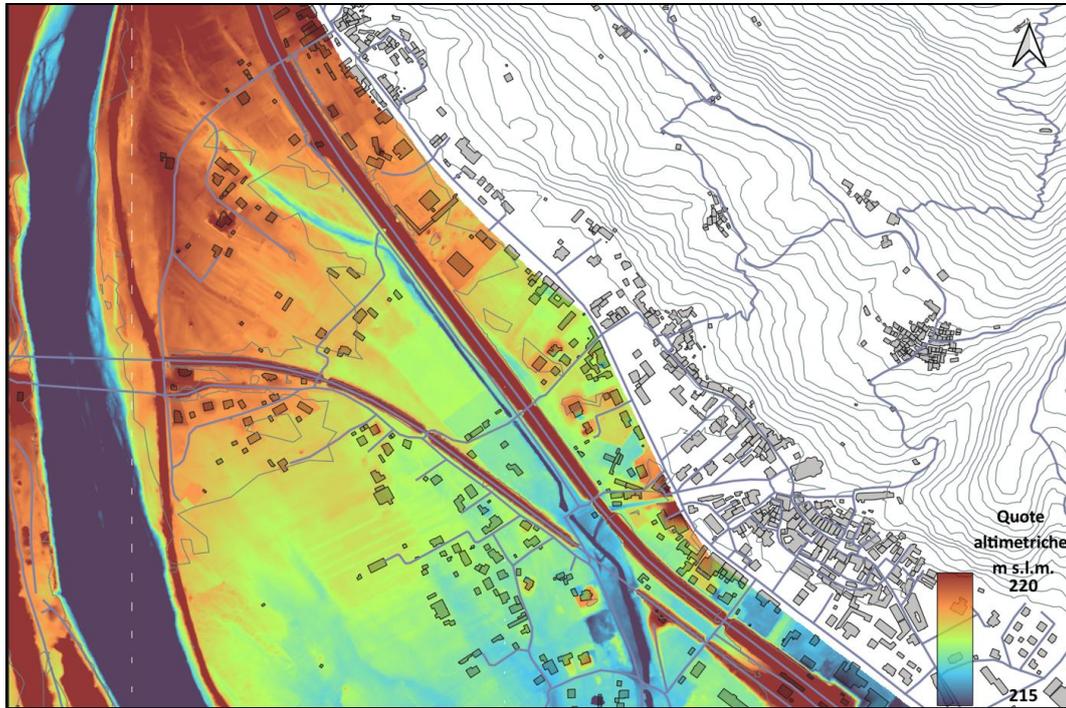


Figura 10 – Analisi del DTM 1 m (Ministero dell’Ambiente), dalla quale risulta evidente l’incisione dell’alveo della Tocetta nell’area golenale sinistra del Fiume Toce.

Analizzando il tracciato del Rio Tocetta nel dettaglio, si evidenziano variazioni morfologiche significative lungo il suo sviluppo. Procedendo da monte verso valle, la sezione del corso d’acqua risulta inizialmente ridotta e incisa, con un profilo più naturale.



Figura 11 – Tocetta – Tratto monte



Procedendo verso valle, la sezione trasversale del corso d'acqua si allarga progressivamente, assumendo un profilo più aperto e meno incassato. In questo tratto, in corrispondenza del campo sportivo comunale, si concentrano i principali interventi antropici di sistemazione. Le sponde sono infatti sostenute o da muretti spondali o da gabbioni metallici, posizionati per contenere l'erosione e regolarizzare il tracciato, anche in funzione della presenza delle opere di raccolta e convogliamento delle acque meteoriche urbane.

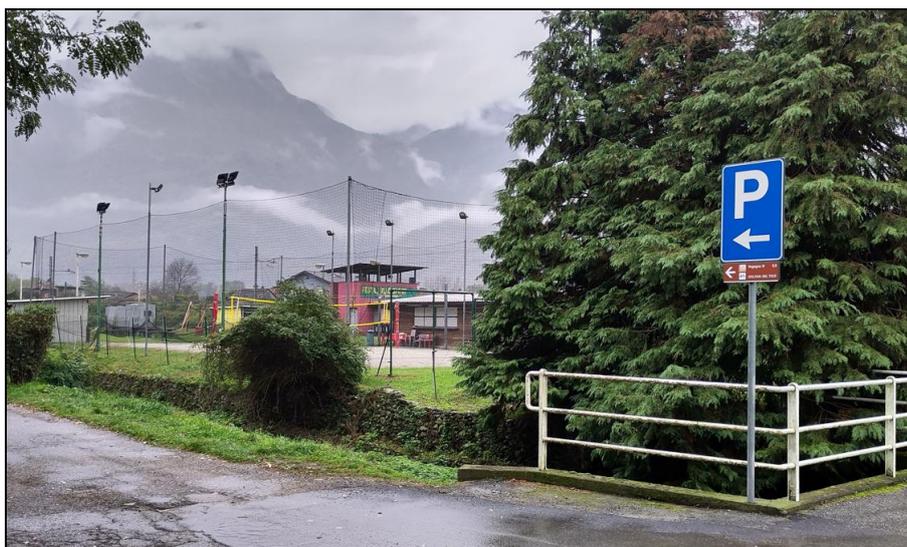


Figura 12 – Tratto di Tocetta che lambisce il campo sportivo comunale

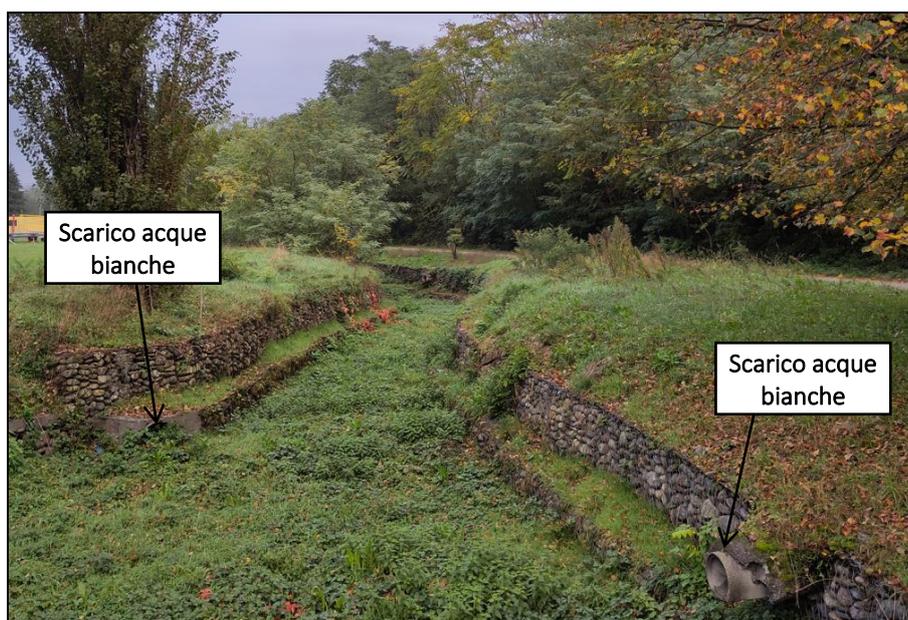


Figura 13 – Tocetta – Foto scattata dal manufatto di attraversamento sulla Tocetta, da valle verso monte



Il tratto ancora riconoscibile della Tocetta si sviluppa in direzione prevalente Nord-Ovest / Sud-Est, in una fascia compresa tra il rilevato ferroviario e il corpo edilizio dell'abitato. Lungo la sponda sinistra (idraulica) si sviluppa una viabilità secondaria, dapprima asfaltata e poi sterrata nel tratto a monte, che corre parallelamente al rilevato ferroviario della linea Milano – Domodossola.

A intervalli regolari si rilevano forniche nel rilevato ferroviario, che consentono l'attraversamento veicolare e costituiscono al contempo punti di deflusso per le acque meteoriche e superficiali provenienti dall'area posta a tergo del rilevato. Le acque sono convogliate all'interno del corpo idrografico della Tocetta tramite un sistema composito di fossi e canalette a pelo libero, oltre a tratti in tubazione utilizzati per attraversare la viabilità locale o altri elementi di interferenza.

La conformazione della Tocetta e la sua immissione nel Rio delle Chiese, impongono particolare attenzione nella valutazione idraulica del nodo di confluenza, soprattutto in occasione di eventi di piena del Toce o del Rio delle Chiese, che possono generare criticità legate al rigurgito e alla limitata capacità di smaltimento.

2.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

A grande scala, il territorio comunale di Vogogna è suddiviso in due ambienti, morfologicamente e litologicamente distinti tra loro, costituiti dal versante montuoso, con substrato roccioso qui ascrivibile alla formazione degli Scisti di Fobello-Rimella (micascisti muscovitici e gneiss granitoidi, localmente intercalati da filladi e quarziti), caratterizzato da un'accentuata acclività generale, addolcita solo nella fascia prossima al fondovalle per la presenza di estese placche di depositi incoerenti, mentre, al piede del versante, si estende la potente coltre di materiali depositati dalla dinamica del F. Toce e dall'attività torrentizia dei suoi affluenti, i quali hanno costruito estese e ben evidenti conoidi di deiezione ed un potente materasso alluvionale.

L'area d'intervento è impostata principalmente sulla piana alluvionale del F. Toce, ricadendo solo in parte sulle facies distali all'ampia conoide alluvionale, edificata dal Rio Val della Chiesa; morfologicamente, il settore in esame è pressoché pianeggiante, con presenza di talune blande ondulazioni nell'andamento del piano campagna, corrispondenti a testimonianze della passata attività fluviale, quali dossi e vallecicole relitte. Dal punto di vista geologico, i depositi alluvionali del F. Toce sono prevalentemente a granulometria da media a medio-grossolana, risultando costituiti da alternanze di sabbie, sabbie ghiaiose ed orizzonti ghiaiosi con ciottoli eterometrici arrotondati, con eventuale presenza di esigui livelli di sabbie limose; nel complesso, la sequenza litostratigrafica è formata da corpi tabulari, nastriformi o lentiformi, localmente interdigitati tra loro, costituiti da materiali a granulometria e permeabilità variabile; superficialmente, detti materiali risultano ricoperti da un orizzonte di terreno agrario discretamente sviluppato, in conseguenza dell'intenso sfruttamento agricolo di questi terreni.

Le acque di falda nella piana alluvionale, alimentate dai corsi d'acqua principali e dalle aste torrentizie minori che drenano i versanti, saturano l'acquifero, trovando vie di deflusso preferenziali, verticali e orizzontali che, di fatto, risultano intercomunicanti, con livelli abbastanza prossimi al piano campagna nei settori di territorio più prossimi al F. Toce, soprattutto se morfologicamente depressi; invece, nei settori in esame, la soggiacenza della



falda risulta essere dell'ordine di – 4,00 - 5.00 m dal p.c., come da dati disponibili, rilevati in corrispondenza di un pozzo per uso agricolo, ubicato nella zona d'intervento.

Per maggiori dettagli si rimanda allo specifico *Elab. P-2.3 – Relazione geologica, idrogeologica e geotecnica*.



3. PIANIFICAZIONE VIGENTE E STUDI ESISTENTI

3.1 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME TOCE – P.A.I.

Il Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI) è lo strumento attuato dall'Autorità di Bacino del fiume Po, ai sensi della L. 183/89, allo scopo di garantire al territorio del bacino del fiume Po un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico.

Data la natura del progetto, esso costituisce il principale strumento tecnico-normativo di riferimento, ai fini dell'analisi di conformità alla pianificazione e programmazione territoriale.

Il PAI, approvato con DPCM 24 maggio 2001, costituisce piano stralcio del piano di bacino del Po, ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183 del 18 maggio 1989 e ha valore di piano territoriale di settore (L.183/89, art.17, c.1) alle cui prescrizioni devono adeguarsi gli atti di pianificazione e programmazione regionali, provinciali e comunali (L.183/89, art.17, c. 6).

Nelle Norme tecniche del PAI, la tipologia d'intervento in esame è trattata al Titolo II "Norme per le fasce fluviali" che recepisce e integra il primo Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF), approvato con D.P.C.M. 4 luglio 1998 e pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 9 novembre 1998, n. 262.

L'ambito territoriale di riferimento del PSFF è costituito dal sistema idrografico dell'asta del Po e dei suoi affluenti (art.25 N.A.).

Il Piano, oltre a definire prescrizioni immediatamente vincolanti, prescrive che, ai sensi dell'art. 17, comma 6, della richiamata L. 183/1989, gli Enti territorialmente interessati dal Piano sono tenuti a rispettare le prescrizioni nel settore urbanistico, con l'obbligo di adeguare i propri strumenti urbanistici entro nove mesi dalla pubblicazione dell'atto di approvazione del Piano, fatte salve, in ogni caso, le disposizioni più restrittive di quelle previste nelle Norme (art. 27).

Per il perseguimento degli obiettivi di piano, l'ambito territoriale è classificato nelle seguenti fasce fluviali (art.28 N.A.):

- Fascia di deflusso della piena (**Fascia A**), costituita dalla porzione di alveo sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento¹, o costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- Fascia di esondazione (**Fascia B**), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento². Il Piano indica come "limite di

¹ - Fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia: la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali); il limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati). (Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" al Titolo II delle Norme tecniche di attuazione del PAI).

² - Si assume come portata di riferimento la piena con TR di 200 anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata. (Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" al Titolo II delle Norme tecniche di attuazione del PAI).



progetto tra la Fascia B e la Fascia C" le opere idrauliche programmate per la difesa del territorio, che una volta realizzate costituiranno i nuovi confini della Fascia B;

- Area di inondazione per piena catastrofica (**Fascia C**), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento³.

Nella Fascia A (art. 29 N.A.) il Piano persegue l'obiettivo di garantire le condizioni di sicurezza, assicurando il deflusso della piena di riferimento, il mantenimento e/o il recupero delle condizioni di equilibrio dinamico dell'alveo e quindi favorire, ovunque possibile, l'evoluzione naturale del fiume in rapporto alle esigenze di stabilità delle difese e delle fondazioni delle opere d'arte, nonché a quelle di mantenimento in quota dei livelli idrici di magra.

Per esigenze di carattere idraulico connesse a situazioni di rischio, l'Autorità idraulica preposta può in ogni momento effettuare o autorizzare tagli di controllo della vegetazione spontanea eventualmente presente nella Fascia A.

Nella Fascia B (art. 30 N.A.) il Piano persegue l'obiettivo di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica ai fini principali dell'invaso e della laminazione delle piene, unitamente alla conservazione e al miglioramento delle caratteristiche naturali e ambientali. Sono consentiti, oltre agli interventi previsti in Fascia A, gli interventi di sistemazione idraulica, quali argini o casse di espansione, e ogni altra misura idraulica atta ad incidere sulle dinamiche fluviali, solo se compatibili con l'assetto di progetto dell'alveo, derivante dalla delimitazione della fascia. Gli interventi consentiti debbono assicurare il mantenimento o il miglioramento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area, l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti e con la sicurezza delle opere di difesa esistenti.

Nella Fascia C (art. 31 N.A.) il Piano persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni, mediante la predisposizione prioritaria, da parte degli Enti competenti ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225 e, quindi, da parte delle Regioni o delle Province, di Programmi di previsione e prevenzione, tenuto conto delle ipotesi di rischio derivanti dalle indicazioni del PAI.

Nella prima versione del PAI, adottata nel novembre 1999, per la zona del comune di Vogogna posta in sinistra idraulica, era stata definita la perimetrazione con Fascia B di Progetto coincidente con un tratto di argine esistente dalla confluenza con il rio Dresio fino a circa 200m a valle dei ponti di via Resiga. Il tratto di argine seguente, fino alla confluenza con il rio delle Chiese, prevedeva la coincidenza di fascia A e B naturale con la sommità dello stesso argine esistente.

Si riporta nella figura che segue lo stralcio della tavola originaria del PAI relativa alla zona del comune di Vogogna.

³ - Si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni. (Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" al Titolo II delle Norme tecniche di attuazione del PAI).

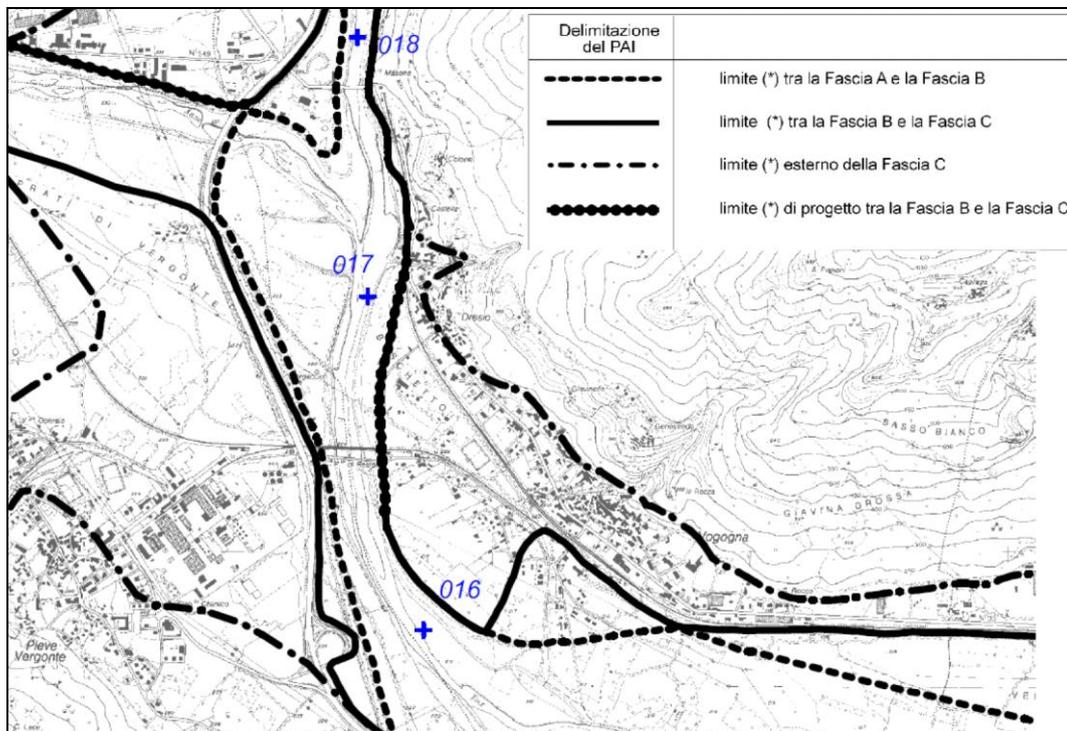


Figura 14 – Tracciato delle fasce fluviali del P.A.I. nella versione originaria (A.d.B.Po, 1999)

Lo stesso corso d'acqua è stato oggetto, successivamente alla prima pubblicazione del PAI, di un ulteriore approfondito studio da parte dell'A.d.B.Po denominato "Studio di Fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Toce nel tratto da Masera alla foce" (c.d. "Progettone", ottobre 2003).

Nell'ambito di tale studio la fascia fluviale precedentemente definita in Comune di Vogogna fu ridimensionata, prevedendo lo stralcio della fascia B di progetto e sostituendola con una fascia B naturale posta a tergo del rilevato arginale preesistente. Lo stesso studio individuava interventi di ristrutturazione delle protezioni in massi degli argini e la ristrutturazione delle berme poste a protezione del piede del rilevato.

La proposta di nuovo tracciato delle fasce fluviali nell'area in oggetto è riportata in Figura 15.

I risultati dell'approfondimento svolto nell'ambito dello Studio di Fattibilità furono successivamente ufficializzati attraverso la procedura di "Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" adottata dall'A.d.B.Po nell'ottobre 2004.

La tavola con il nuovo tracciato tuttora vigente delle fasce fluviali, così come modificato con la procedura Variante, riprende quanto proposto nello Studio di Fattibilità: la fascia B di progetto è stata eliminata, sostituendola con una fascia B naturale arretrata a tergo del rilevato arginale preesistente. Il tracciato delle fasce A e C è rimasto inalterato, come si può evincere dal confronto tra quanto rappresentato in Figura 14 e in Figura 16.



Figura 15 – Proposta di nuovo tracciato delle fasce fluviali del P.A.I. presentata nello “Studio di Fattibilità” (A.d.B.Po, 2003)

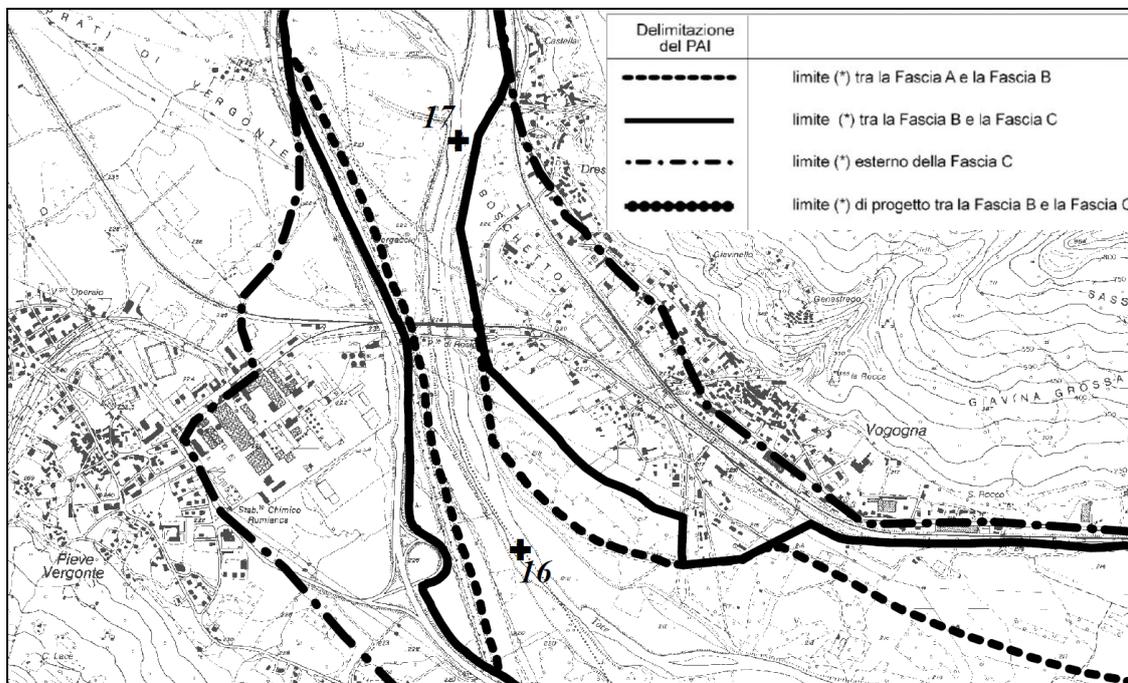


Figura 16 – Tracciato delle fasce fluviali del P.A.I. nella versione variata (A.d.B.Po, 2004)



Di seguito si riportano alcuni estratti ritenuti più significativi per l'obiettivo del presente studio della Relazione tecnica allegata alla citata Variante al P.A.I.

1.3. Caratteristiche geomorfologiche

1.3.1. Tronco 1: dalla Piana di Masera a valle della confluenza del torrente Anza.

L'area d'interesse inizia con l'ampia piana alluvionale di Masera, dove nel corso del Toce confluiscono diversi affluenti (Diveria, Isorno, Melezzo Occidentale, Bogna). In questo tratto il Toce occupa un'area estesa e pianeggiante, dove il corso del fiume, ancora a carattere quasi torrentizio, risulta relativamente libero di espandersi e divagare. La parte terminale della piana di Masera è in corrispondenza di Domodossola, dove l'alveo si restringe ad un centinaio di metri e scorre entro due linee arginali fino al termine dell'area urbana.

Superata Domodossola, la valle d'Ossola presenta la tipica morfologia ad U di una valle glaciale, con versanti scoscesi e fondovalle relativamente ampio, in cui il fiume assume un andamento sinuoso, anche se in parte condizionato dalla presenza delle importanti infrastrutture stradali e ferroviarie che scorrono parallele suo corso. Lungo il tratto tra Domodossola e Pieve Vergonte il Toce riceve il contributo di due altri significativi affluenti: l'Ovesca e l'Anza.

Lungo il tratto in esame, come sopra accennato, il corso d'acqua ha una naturale tendenza alla mobilità che, in assenza di opere per il contenimento dell'instabilità planimetrica, porterebbe l'alveo ad occupare, in tempi successivi, una fascia decisamente più ampia di quella consentitagli oggi dalle opere idrauliche presenti.

2. Assetto di progetto

Nel Progetto di Variante di P.A.I., di cui la presente relazione è parte integrante, è stato verificato e laddove necessario integrato e modificato, in relazione delle analisi svolte nell'ambito dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Toce", l'assetto di progetto definito nel P.A.I. .

Per ogni tratto omogeneo, così come definito nel paragrafo 3.1, di seguito si riportano gli elementi essenziali dell'assetto di progetto proposto nell'ambito del Progetto di Variante in questione.



2.1. Assetto di progetto del tronco omogeneo n° 1 : dalla Piana di Maserà a valle della confluenza del torrente Anza

Il tronco d'alveo in oggetto risulta già oggi per la quasi totalità delimitato da sistemi difensivi artificiali volti al contenimento dei livelli idrici. Proprio per la tendenza alla mobilità dell'alveo inciso ed alle caratteristiche pluricursali del corso d'acqua, la gran parte delle suddette arginature svolge anche funzioni di contenimento dell'instabilità planimetrica risultando, in più punti, realizzata in frodo o nelle immediate vicinanze della sponda incisa. In definitiva quindi, il corso d'acqua nel tratto in esame non possiede vere e proprie aree golenali; l'alveo inciso può infatti spostarsi – tra una piena e l'altra – occupando, di fatto, l'intera fascia compresa tra le linee arginali.

La pendenza del fondo medio risulta in generale decrescente da monte a valle con un massimo pari a circa l'1% e un minimo pari allo 0.2%: lungo l'intero tratto la pendenza media risulta pari allo 0.45%.

Lungo il tratto in esame le tendenze evolutive dell'alveo risultano pressoché totalmente vincolate dalla presenza di manufatti artificiali (arginature vere e proprie o rilevati stradali) continui su entrambe le sponde che, di fatto, delimitano in modo netto la fascia di mobilità compatibile entro cui può muoversi il corso d'acqua.

La presenza di insediamenti antropici e/o infrastrutture di primaria importanza nelle aree immediatamente retrostanti i suddetti manufatti, richiede infatti il mantenimento e, in alcuni casi, il consolidamento delle attuali linee difensive

Dal punto di vista dell'assetto altimetrico il tronco in esame presenta due punti fissi rappresentati dalla soglia posta in corrispondenza del ponte della Mizzoccola e dalla traversa di derivazione "Tessengerlo".

Per quanto riguarda la tendenza alla modificazione altimetrica del fondo alveo per la maggior parte del tronco, una condizione di equilibrio con la presenza di alcuni tratti (a monte del ponte della Mizzoccola e a valle della confluenza del torrente Anza) soggetti a deposito ed alcune zone (immediatamente a valle del ponte della Mizzoccola e immediatamente a monte della confluenza dell'Anza) soggette ad erosione.



Per il mantenimento delle condizioni di sicurezza definite con l'assetto di progetto lungo il tronco in esame non devono verificarsi apprezzabili variazioni delle attuali quote del fondo medio: un incremento di quota del fondo medio infatti si tradurrebbe, a parità di evento di piena, in una riduzione del franco di sicurezza rispetto alle quote di ritenuta del sistema arginale; viceversa, una significativa riduzione della quota del fondo medio risulterebbe incompatibile con le quote di imposta delle berme di fondazione delle protezioni in massi, che potrebbero conseguentemente essere scalzate.

L'attuale assetto difensivo del tronco di fiume Toce compreso tra la piana di Masera e la confluenza del torrente Anza appare sostanzialmente in discrete condizioni di sicurezza con l'esclusione di alcune aree di seguito elencate.

2.1.5. Area in comune di Vogogna

Area protetta da un'arginatura esistente che viene totalmente allagata in corrispondenza di livelli di piena per $t=200$ anni a causa della tracimazione dell'argine.

L'area in oggetto, che ha un'estensione di circa 0.15 km², e' attraversata dal rilevato ferroviario la cui quota di ritenuta risulta superiore al livello della piena bicentenaria: l'area retrostante il suddetto rilevato viene infatti allagata attraverso alcuni fornici presenti nel rilevato medesimo.

La ridelimitazione delle fasce fluviali prevede lo stralcio della fascia B di progetto, sostituita da una fascia B naturale posta in corrispondenza dell'attuale limite di allagamento per la piena bicentenaria; in quanto l'attuale linea arginale risulta già adeguata in relazione all'uso del suolo dell'area posta a tergo della stessa. L'opera, comunque, richiede interventi di ristrutturazione delle berme poste a protezione del piede del rilevato che risultano troppo elevate rispetto alle quote di fondo del thalweg.

Oltre alle sopracitate problematiche sono stati individuati lunghi tratti delle esistenti arginature che risultano inadeguati dal punto di vista strutturale soprattutto perché privi di protezione del petto lato fiume o privi di protezione del piede ovvero con protezione al piede posta a quota troppo elevata rispetto al fondo alveo; tali inefficienze risultano particolarmente preoccupanti nel tratto in esame proprio per la già ricordata tendenza del corso d'acqua a modificare il proprio tracciato ed a portarsi a ridosso dei sistemi difensivi presenti.

Il PAI vigente prevede dunque alcuni interventi di difesa idraulica anche in Comune di Vogogna che sono stati ricompresi e potenziati nell'ambito della Progettazione ENI Rewind, di cui si dirà nel prosieguo.



3.2 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONALE – P.G.R.A.

Nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvionale – P.G.R.A. è stato redatto il *Progetto esecutivo delle attività per la redazione di mappe della pericolosità e del rischio di alluvione*, approvato nella seduta di Comitato Tecnico del 31 gennaio 2012, che *“definisce le metodologie comuni che, in continuità con i processi di attuazione e aggiornamento della pianificazione di bacino vigente, consentano uno sviluppo coordinato e concertato a scala di distretto idrografico delle attività conoscitive da realizzare da parte dei diversi soggetti competenti ai fini dell'allineamento alle indicazioni delle Direttive europee. [...] Le specifiche in esso contenute sono orientate alla predisposizione delle mappe di pericolosità e di rischio.”*

“Coerentemente con l'approccio definito nel PAI, anche per l'attuazione della Direttiva Alluvioni si propone di assumere metodi di analisi differenziati in relazione alla tipologia ed importanza dei processi di alluvione prevalenti: viene proposto un metodo di analisi completo per i corsi d'acqua principali e un metodo di analisi semplificato a sua volta differenziato per il reticolo secondario collinare e montano, per il reticolo secondario di pianura e per le aree costiere lacuali e marine.”

“Sono stati infine individuati alcuni temi di interesse generale in relazione ai quali emerge la necessità di sviluppare specifiche attività di ricerca con un coordinamento tecnico - scientifico a livello nazionale:

- *cambiamenti climatici e loro influenza sulla mappatura e gestione del rischio di alluvione;*
- *mappatura delle aree allagabili nel caso di scenari di rischio residuale con rotture arginali;*
- *incidenza del trasporto solido sulla pericolosità idraulica;*
- *rischio di inondazione nelle aree urbane.”*

“L'attività è finalizzata alla mappatura della pericolosità idraulica per tre distinti scenari di piena (alluvioni rare TR 500 anni, poco frequenti TR 100 – 200 anni e frequenti TR 20 – 50 anni) e deve consentire la delimitazione del limite delle aree inondabili e la sua caratterizzazione in termini di livelli idrici e velocità.”

“Per la delimitazione del limite delle aree inondabili è necessario prevedere quattro fasi di attività:

- *Presa in carico dei risultati del modello idraulico: si prevede che a conclusione delle attività di modellazione idraulica sia fornita, oltre ai risultati delle simulazioni (livelli, velocità, portate, ecc.), la rappresentazione delle aree soggiacenti ai livelli di piena ottenuta tramite l'intersezione GIS del DEM liquido costruito a partire dalla stima dei livelli idrici nelle diverse sezioni trasversali e il DEM del terreno;*
- *Analisi dell'assetto plano-altimetrico e delimitazione del limite delle aree inondabili: interpretazione della carta delle aree soggiacenti ai livelli di piena e dei risultati del modello idraulico e delimitazione del limite delle aree inondabili sulla scorta dell'analisi degli elementi naturali (forme e processi morfologici) e artificiali (opere, infrastrutture, ecc.) che caratterizzano l'assetto plano-altimetrico dell'alveo e della regione fluviale. In particolare tale attività si basa su un'analisi integrata del DTM derivante dai rilievi laser scanner, delle ortofoto digitali e foto aeree e delle informazioni disponibili in relazione alle caratteristiche e all'evoluzione morfologica e al catasto delle opere idrauliche;*



- *Analisi degli effetti degli eventi di piena storici: verifica e validazione della delimitazione sulla scorta degli eventi di piena storici, per i quali sono disponibili cartografie di evento;*
- *Verifiche locali: verifica e validazione della delimitazione sulla scorta di documentazione fotografica ed indicazioni di campo derivanti da sopralluoghi mirati, nonché di segnalazioni di criticità pervenute da parte di enti locali, associazioni, privati cittadini.”*

Nello specifico, per le aree oggetto di studio si hanno le delimitazioni riportate nell’immagine a seguire, dove sono rappresentati diversi scenari alluvionali, relativi a diversi tempi di ritorno dell’evento di piena assunto.

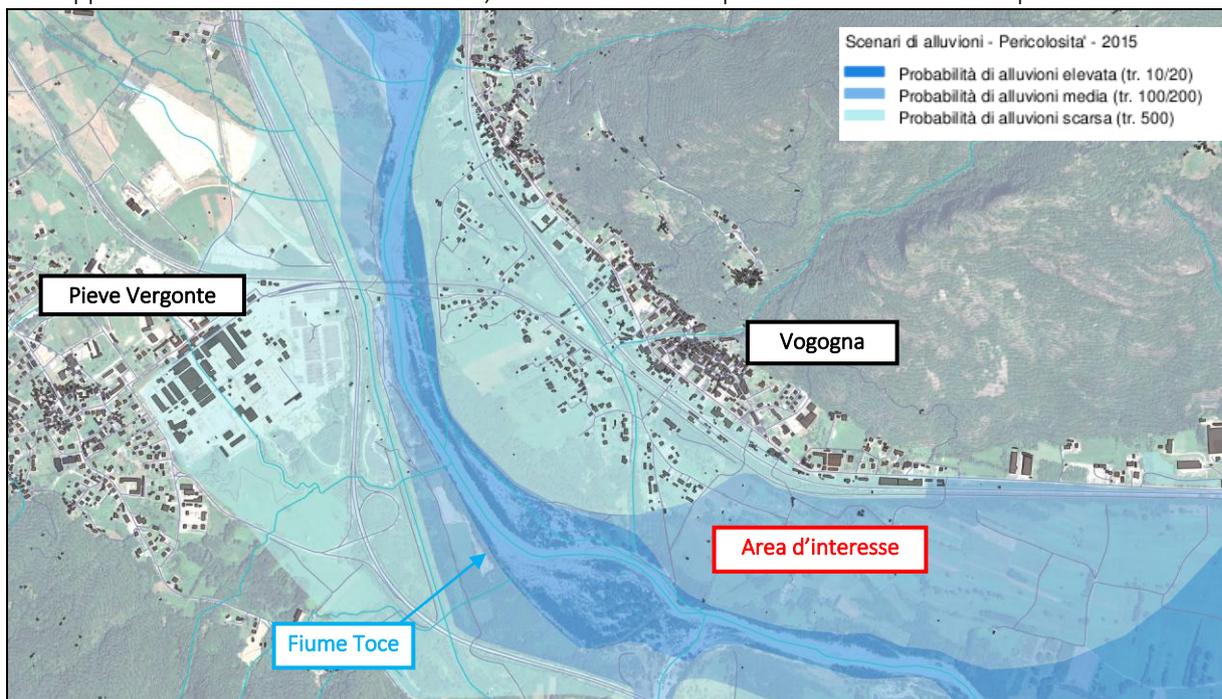


Figura 17 – Carta di pericolosità del reticolo idrografico principale con differenti probabilità di alluvione in funzione del tempo di ritorno dell’evento di piena – Direttiva Alluvioni 2007/60 CE – Aggiornamento 2025

L’osservazione della precedente immagine consente di verificare che l’area d’interesse ricade nella fascia di probabilità media d’essere interessata da alluvioni (TR = 100/200 anni).

3.3 PROGETTO DEGLI “INTERVENTI SULL’ARGINE IN SX DEL FIUME TOCE” – ENI REWIND

Le aree interessate dal progetto definitivo degli “Interventi sull’argine in sx del fiume Toce” ricadono nel tratto di gola del corso d’acqua compreso tra la confluenza del rio Dresio (a monte) e quella del rio delle Chiese (a valle).

Di seguito si riportano alcuni stralci significativi delle Relazione Generale allegata al progetto al fine di inquadrare adeguatamente la genesi dello stesso e la descrizione sommaria degli interventi previsti.



1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Il MATTM, con Decreto prot. n. 4599/Tri/DI/B del 21.10.13 (di seguito Decreto MATTM del 21.10.13), ha approvato, ai sensi dell'art. 252 del D.Lgs. 152/2006, il Progetto Operativo di Bonifica del Sito di Pieve Vergonte di proprietà Syndial (ora Eni Rewind S.p.A.) (di seguito per brevità "POB di Pieve Vergonte").

La deviazione del torrente Marmazza individuata tra gli interventi di bonifica ambientale nell'ambito del POB di Pieve Vergonte prevede tra le opere accessorie, la sistemazione della confluenza Toce-Marmazza mediante la realizzazione di una scogliera in massi in sponda sinistra del fiume Toce della lunghezza di circa 250 metri.

La DGR n.28-5712 del 23.04.13, relativa alla Procedura di Valutazione ex art. 12 della LR n.40/98 con contestuale Valutazione d'Incidenza per il progetto definitivo "Progetto operativo di bonifica del sito di Pieve Vergonte (VB)" contiene la raccomandazione con la quale si invita il proponente a valutare la possibilità di allineare la progettazione della scogliera con l'intervento di manutenzione straordinaria previsto dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Toce nel tratto da Masera alla foce" (di seguito Studio di Fattibilità) redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po a supporto della Variante delle fasce fluviali del fiume Toce nel tratto compreso tra l'immissione del rio Desio e l'immissione del rio Val delle Chiese.

L'intervento di manutenzione straordinaria secondo lo Studio di Fattibilità di cui sopra prevede il rifacimento della protezione in massi del rilevato arginale, della berma al piede dello stesso e, per circa 700-750 metri, il rialzo e la rimessa in sagoma dell'argine stesso.

La Direzione Regionale Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Montagna, Foreste Protezione Civile, Trasporti e Logistica, sulla scorta della sintetica descrizione dell'intervento contenuta nell'elaborato Eni Rewind S.p.A. (già Syndial) denominato "Riscontro alla riunione tecnica del 27.09.17 indetta dal MATTM" (aggiornamento 30.10.17), ha valutato che la difesa spondale proposta fosse in linea con l'intervento di manutenzione straordinaria previsto nello Studio di Fattibilità dell'Autorità di Bacino del fiume Po, configurandosi sostanzialmente quale attuazione dell'intervento di sistemazione idraulica TO-MS-09 previsto nello studio e ritenuto, nello studio medesimo, necessario per il conseguimento della configurazione di progetto del fiume Toce.

La Cabina di Regia tenutasi presso la Regione Piemonte – Direzione Ambiente, Governo e Tutela del Territorio "per la gestione delle fasi realizzative del Progetto Operativo di Bonifica del Sito di proprietà Eni Rewind S.p.A. ricadente nel Sito di Interesse Nazionale di Pieve Vergonte" nella terza seduta del 27.03.18 ha chiarito che "nella Raccomandazione contenuta nella DGR n. 28 – 5712 del 23 aprile 2013 per quello che riguarda le opere accessorie alla deviazione del Torrente Marmazza concernenti la sponda sinistra del fiume Toce si invita a valutare la possibilità di allineare la progettazione della scogliera in massi prevista dal progetto in esame (circa 250 m in sponda sinistra del fiume Toce, lato Comune di Vogogna) con l'intervento di manutenzione straordinaria previsto dallo studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Toce nel tratto da Masera alla foce redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po che a supporto della variante delle fasce fluviali del fiume Toce individua in prossimità della scogliera in massi prevista nel progetto un intervento



di manutenzione straordinaria consistente nell'adeguamento del sistema difensivo di Vogogna tra l'immissione del rio Dresio e l'immissione del rio Val delle Chiese. Tuttavia, appare coerente assicurare un omogeneo livello di protezione strutturale dell'argine anche per le parti (a monte e a valle) non ancora mantenute garantendo una contestualità degli interventi".

Con la Convenzione "Per la realizzazione dei lavori di adeguamento del sistema difensivo in sponda sx del Fiume Toce in Comune di Vogogna (VB)" stipulata in data 06.11.20 tra Eni Rewind e la Regione Piemonte ed il comune di Vogogna (VB) (di seguito "Convenzione"), Eni Rewind, alla luce dell'esigenza di garantire omogeneità tecnica al complessivo intervento sull'argine sinistro del fiume Toce e in una prospettiva di collaborazione con gli Enti, si è resa disponibile a eseguire i lavori di adeguamento degli argini per il tratto di sponda sinistra tra l'immissione del rio Dresio e l'immissione del rio Val delle Chiese.

Nella figura 1-1 successiva sono raffigurate le zone interessate degli interventi sull'argine in SX del fiume Toce, oggetto della presente progettazione definitiva, denominati di seguito nel testo Tratto 1 e Tratto 2.

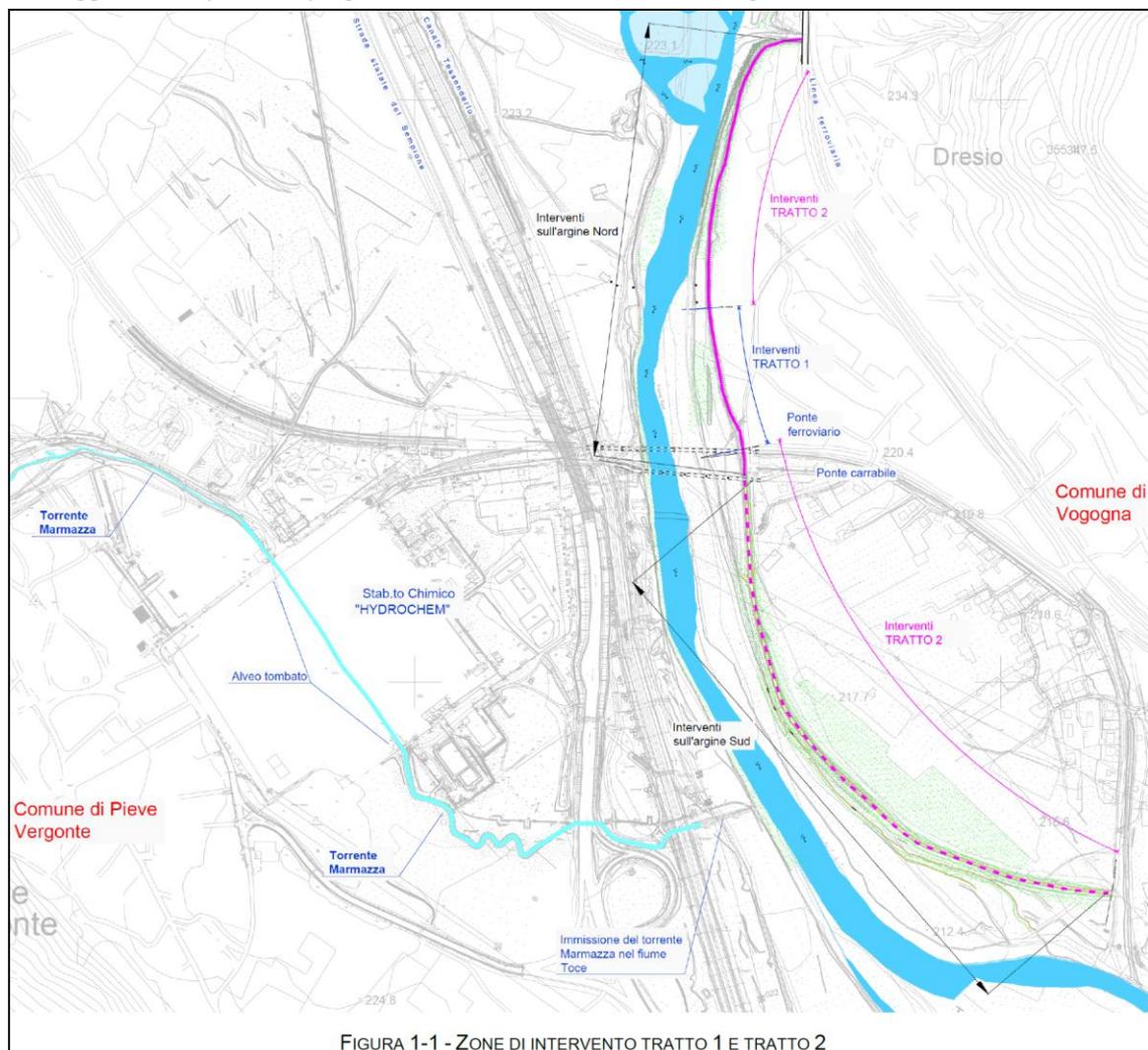


FIGURA 1-1 - ZONE DI INTERVENTO TRATTO 1 E TRATTO 2



L'esecuzione del Tratto 2 da parte dello stesso soggetto esecutore del Tratto 1 – dal punto di vista tecnico, procedimentale/amministrativo ed economico – consente di prevenire e ridurre i rischi connessi all'esecuzione dell'intervento per il Tratto 2 da parte di un soggetto diverso che potrebbe incidere sulla complessiva tenuta dell'argine e sui tempi di esecuzione dell'intero progetto.

La realizzazione delle opere del Tratto 1 in continuità con le opere del Tratto 2 garantisce anzitutto il completamento del sistema difensivo del Tratto 2, senza alcuna interruzione temporale connessa all'avvicinarsi di imprese e committenti differenti, che potrebbe incidere sulla complessiva tenuta dell'argine e sui tempi di esecuzione dell'intero progetto; inoltre permette di massimizzare la resa delle lavorazioni, di eliminare punti di discontinuità nelle opere, di ridurre il periodo di mancata protezione dalle piene della sponda, di utilizzare materiali e modalità di posa unitarie in grado di escludere possibili punti di debolezza delle opere arginali nei nodi di collegamento tra i tratti eventualmente realizzati da soggetti e in momenti diversi. Inoltre, assicura la qualità dei lavori, poiché Eni Rewind S.p.A. manterrebbe il controllo sulla corretta realizzazione della scogliera nella sua interezza, garantendone stabilità complessiva anche al fine di evitare possibili impatti negativi sul Tratto 1, ricompreso nel Progetto Operativo di Bonifica.

Come si evince dalla Convenzione stipulata tra Eni Rewind, la Regione Piemonte ed il Comune di Vogogna in data 06.11.20, l'intera sistemazione arginale (non solo, dunque, in corrispondenza della confluenza del nuovo torrente Marmazza, facente parte del POB autorizzato con Decreto MATTM del 21.10.13) verrà attuata prima della conclusione dei lavori di deviazione del Torrente Marmazza attualmente in corso al fine di garantire la protezione idraulica della sponda sinistra del fiume Toce.

L'intervento sul Tratto 2 risulta pertanto funzionale alla realizzazione dello stesso POB di Pieve Vergonte. L'intervento di adeguamento del sistema difensivo in sponda sx del Fiume Toce in Comune di Vogogna (VB) avverrà su sedime di proprietà demaniale, ed in parte su particelle catastali di proprietà privata insistenti nei fogli 15, 22, 26, 30, 31 C.T., sui tratti 1 e 2.

Dal punto di vista autorizzativo, gli interventi relativi al Tratto 1 ed al Tratto 2 sopra identificati ricadono formalmente in procedimenti di permitting distinti e realizzati in fasi temporali differenti:

- Il "Tratto 1" interesserà la realizzazione della prima parte dell'argine spondale sinistro, all'interno dell'argine Nord, per una lunghezza pari a 250 m, così come previsto nel Progetto Operativo di Bonifica del sito di Pieve Vergonte e autorizzato con la D.G.R. 28-5712/13.
- Il "Tratto 2" interesserà la realizzazione del completamento dell'argine spondale sinistro, tratto Nord fino al Rio Dresio, e del tratto Sud fino al Rio Chiese, per una lunghezza pari a circa 1.650 m. Tale intervento sarà autorizzato tramite un distinto P.A.U.R. – Procedimento Autorizzativo Unico Regionale (ex art. 27bis D.Lgs 152/06).

Il presente Progetto Definitivo, che costituirà parte integrante della documentazione di permitting predisposta per la procedura PAUR, descrive per le ragioni sopra riportate di forte connessione tra le opere di adeguamento previste per i due Trattati, oltre alle opere previste sul Tratto 2, anche le opere del Tratto 1 già approvate nell'ambito del Decreto MATTM del 21.10.13

Oltre alla sopra riportata identificazione del Tratto 1 e del Tratto 2, nel corso del loro sviluppo progettuale, gli interventi sull'argine sinistro del fiume Toce sono stati convenzionalmente suddivisi nelle seguenti due porzioni:

- Argine Nord o Tratto Nord per una lunghezza di circa 800m, a partire dal Rio Dresio fino a valle dei ponti di via Resiga;
- Argine Sud o Tratto Sud, per una lunghezza di circa 1.100m, a partire dai ponti di via Resiga fino al Rio Chiese.

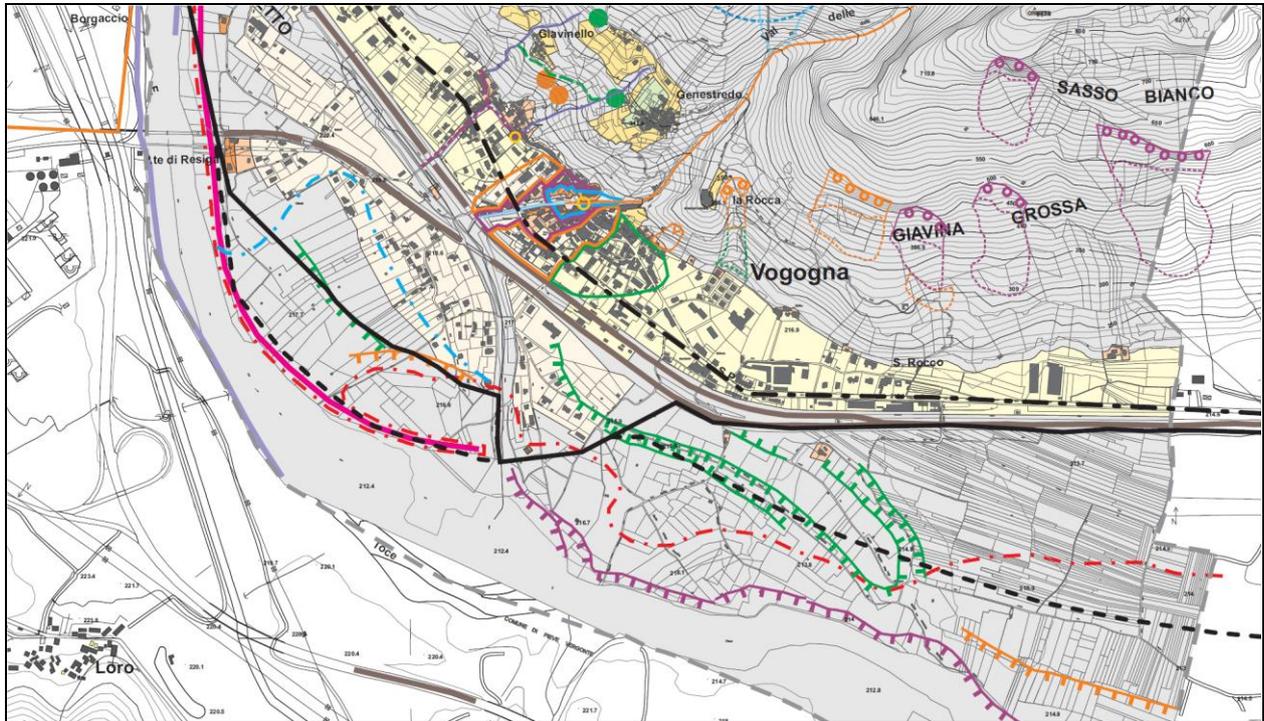


Figura 18 – Estratto della “Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell’ideoneità all’utilizzazione urbanistica” (P.R.G.C. Vogogna, 2007)

Tuttavia, come anticipato in precedenza e meglio descritto nel prosieguo, gli effetti dell’evento alluvionale dell’ottobre 2020 hanno condotto all’esigenza di rivalutare la pericolosità idraulica delle aree d’interesse prevedendo la realizzazione di ulteriori opere di difesa proposte nel presente Progetto di fattibilità tecnica ed economica.



4. ANALISI IDROLOGICA

Lo studio condotto è finalizzato all'analisi dei bacini idrografici che contribuiscono al deflusso del Rio delle Chiese, con l'obiettivo di quantificare le portate al colmo associate a diversi tempi di ritorno, in corrispondenza delle sezioni di interesse lungo il corso d'acqua.

Per quanto riguarda invece il Fiume Toce, ai fini del presente progetto si è ritenuto opportuno adottare i valori delle grandezze idrologiche caratteristiche (portate di piena e livelli idrometrici) già stimati e consolidati all'interno della pianificazione vigente. In particolare, si è fatto riferimento alle elaborazioni contenute nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) e nel progetto ENI Rewind, in quanto fonti riconosciute e coerenti con il quadro normativo e tecnico attuale.

4.1 DELIMITAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI DI INTERESSE

La delimitazione dei bacini idrografici afferenti al Rio delle Chiese è stata effettuata attraverso l'integrazione di diversi strumenti cartografici e modelli altimetrici, al fine di garantire un'analisi morfologica accurata del territorio oggetto di studio. In particolare sono stati utilizzati sia il Modello Digitale del Terreno (DTM) con risoluzione di 5 m, la Carta Tecnica Regionale (CTR) scala 1: 10.000, entrambi forniti dalla Regione Piemonte e il Modello Digitale del Terreno (DTM), con risoluzione di 1 m del Ministero dell'Ambiente. L'integrazione di questi strumenti ha consentito di ricostruire in maniera dettagliata la morfologia superficiale dell'area, individuando con precisione le linee spartiacque e i principali elementi di drenaggio superficiale. Tali dati hanno costituito la base per una corretta definizione dell'estensione areale e della struttura dei bacini idrografici secondari che contribuiscono al deflusso nel Rio delle Chiese.

Sulla base di questa analisi, sono stati individuati sei sottobacini idrografici principali, tutti ricadenti nel territorio comunale di Vogogna, che costituiscono il sistema di alimentazione del reticolo idrografico minore oggetto di studio. La configurazione e la distribuzione spaziale di tali sottobacini sono riportate in Figura 19 e in ALLEGATO 1. Dei sei sottobacini individuati, tre – denominati *“Rio delle Chiese”*, *“Tocetta_1”* e *“Tocetta_2”* – fanno riferimento a elementi del reticolo idrografico secondario esistenti, ossia corsi d'acqua riconoscibili sia cartograficamente sia sul terreno, con tracciati idraulicamente attivi e delimitabili morfologicamente. Per questi sottobacini è stato quindi possibile definire con buona accuratezza l'area drenante sulla base della morfologia superficiale e della rete idrografica esistente.

Gli altri tre sottobacini – denominati *“Golena_1”*, *“Golena_2”* e *“Urbano”* – non presentano invece corsi d'acqua chiaramente definiti o canali naturali di drenaggio. In questi casi, il deflusso delle acque meteoriche avviene prevalentemente sul piano campagna, seguendo le pendenze naturali del terreno, oppure viene intercettato dalla rete di smaltimento delle acque bianche dell'abitato, e convogliato verso valle attraverso un sistema di fossi, canalette a pelo libero e tubazioni. La delimitazione di questi sottobacini è stata pertanto condotta considerando non solo la morfologia superficiale, ma anche l'estensione e l'effettiva influenza del sistema urbano di raccolta e smaltimento delle acque.

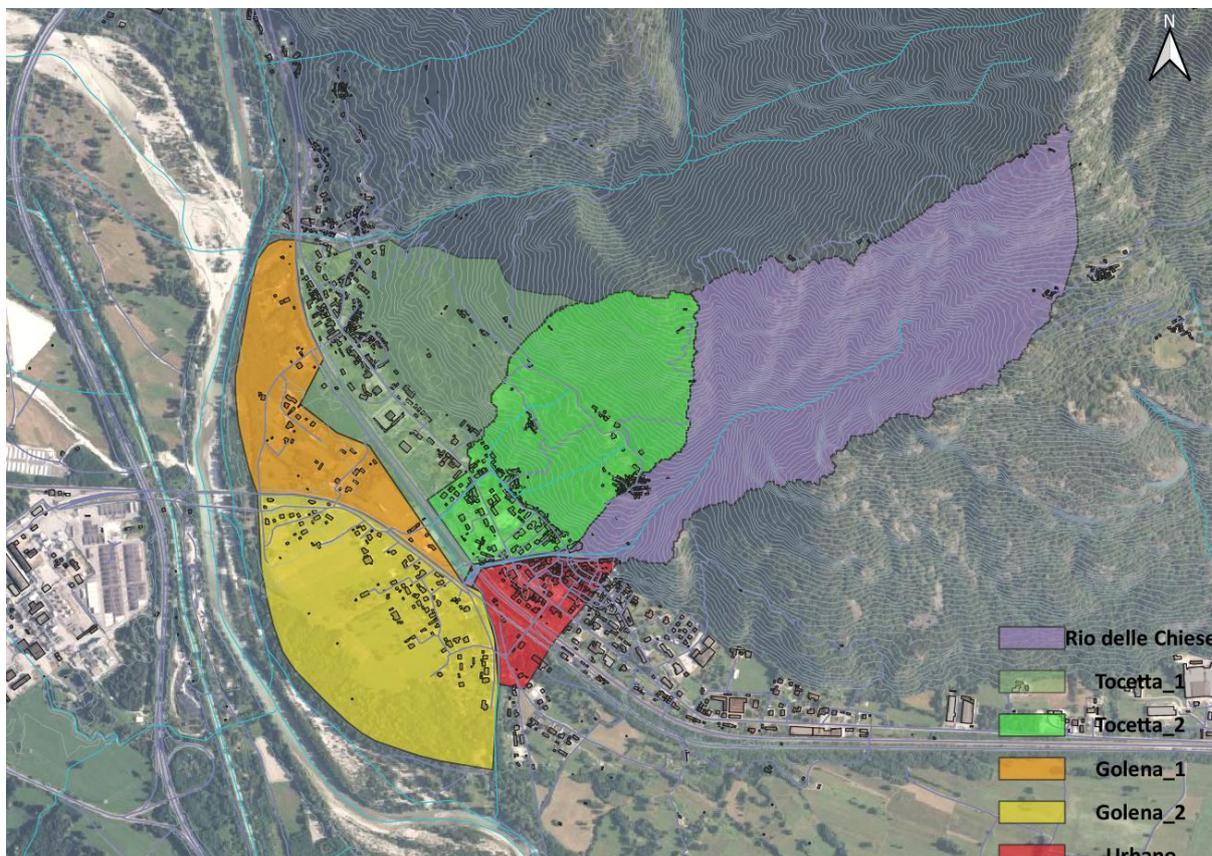


Figura 19 – Delimitazione dei bacini idrografici afferenti al Rio delle Chiese

Tabella 1 – Principali caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici oggetto di studio

Bacino	Area km ²	Lunghezza asta km	Quota testa bacino m s.l.m.	Quota chiusura m s.l.m.	Pendenza media asta m/m
Rio delle Chiese	0,65	1,5	1293	217	0,35
Tocetta_1	0,34	1,0	611	222	0,28
Tocetta_2	0,34	0,6	693	217	0,003
Golena_1	0,18	-	225	217	-
Golena_2	0,31	-	218	217	-
Urbano	0,09	-	245	217	-



4.2 TEMPI DI CORRIVAZIONE DEI BACINI

In molte schematizzazioni del processo di trasformazioni afflussi-deflussi, si assume che il tempo necessario affinché una particella d'acqua raggiunga la sezione di chiusura del bacino attraverso il deflusso superficiale sia una grandezza costante, dipendente esclusivamente dalla posizione del punto di caduta e dalle caratteristiche morfologiche del bacino.

Sebbene questa ipotesi presenti alcune limitazioni, risulta comunque utile nella pratica progettuale, poiché consente di ottenere, con calcoli relativamente semplici, un'indicazione del comportamento idrologico del bacino, indipendentemente dal metodo adottato per la stima della portata di piena.

Il tempo di corrivazione rappresenta l'intervallo di tempo necessario affinché una particella d'acqua raggiunga la sezione di chiusura del bacino. Ogni punto del bacino ha un proprio valore di tempo di corrivazione, ma assume particolare rilevanza quello relativo al punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, poiché determina il contributo finale al deflusso superficiale.

Il tempo di corrivazione del bacino corrisponde quindi al tempo massimo impiegato da una particella d'acqua per attraversare l'intera superficie del bacino, dall'origine fino alla sezione di chiusura.

Per ciascun bacino idrografico esaminato è possibile determinare il relativo tempo di corrivazione T_c , considerando che esso dipende da diversi fattori, riconducibili alle seguenti categorie:

- Caratteristiche topografiche e planimetriche del bacino, come la superficie, la lunghezza e la pendenza dell'asta principale, la larghezza media del bacino, la distanza del baricentro del bacino dal punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, la pendenza media dei versanti;
- Caratteristiche della rete idrografica quali la densità della rete, la capacità d'invaso nella rete e in bacini naturali e artificiali, le scabrezze degli alvei;
- Copertura vegetale, in relazione alla presenza di boschi, pascoli, seminativi o altre destinazioni d'uso del suolo, che influenza il deflusso superficiale;
- Caratteristiche geologiche e fisiche del suolo, tra cui la permeabilità e la capacità di trattenuta dell'acqua, che condizionano l'infiltrazione e il tempo di concentrazione delle acque meteoriche.

Data la complessità nel considerare tutti questi parametri, il tempo di corrivazione viene generalmente stimato mediante formule empiriche, derivate dall'analisi di numerosi casi reali. Tali formule forniscono una relazione tra il tempo di corrivazione e alcune grandezze caratteristiche del bacino, facilmente determinabili e rappresentative del suo comportamento idrologico.

Nel seguito si riportano le formulazioni utilizzate dagli scriventi per il calcolo del tempo di corrivazione maggiormente rappresentative dei bacini idrografici in esame.

1. La formulazione di *Pasini* per bacini di superficie $< 40 \text{ km}^2$:



$$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

S = superficie del sottobacino (Km²);

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

2. La formulazione proposta da *Ventura* (per bacini < 40 km²):

$$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i_f}}$$

Dove:

S = superficie del sottobacino (Km²);

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

3. La formulazione proposta dal *Soil Conservation Service*:

$$T_c = 0,0027 \cdot 1000L^{0,8} \cdot \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0,7} i_v^{-0,5}$$

Avendo indicato con:

CN = *Curve number*, funzione della tipologia e della copertura del suolo;

L = lunghezza dell'asta (Km);

i_v = Pendenza dei versanti (m/m)

4. La formulazione proposta da *Kirpich*, adatta a bacini di estensione inferiore a 10 km²:

$$t_c = 0.000325 \cdot (L \cdot 1000)^{0.77} \cdot i_b^{-0.385}$$

Avendo indicato con:

L = lunghezza dell'asta (Km);

i_b = Pendenza media dei versanti del bacino (m/m)



5. La formulazione proposta da Pezzoli:

$$t_c = 0.055 \cdot \frac{L}{i_a^{0.5}}$$

Avendo indicato con:

L = lunghezza dell'asta (Km);

i_a = Pendenza media dell'asta (m/m)

Per ciascun sottobacini è stata utilizzata la metodologia di calcolo più idonea alle sue caratteristiche morfologiche. Per i sottobacini "Rio delle Chiese", "Tocetta_1" e "Tocetta_2", dotati di un reticolo idrografico naturale ben definito, sono state applicate le formulazioni empiriche soprariportate. Per i sottobacini "Golena_1", "Golena_2" e "Urbano", privi di corsi d'acqua evidenti, la determinazione del tempo di corrivazione è stata condotta sulla base di un'analisi approfondita dell'orografia del territorio, della copertura del suolo e delle modalità di drenaggio superficiale. In Tabella 2 sono riportati i tempi di corrivazione stimati per ciascun sottobacino, ottenuti come media dei risultati derivanti dalle diverse formulazioni sopraindicate. Tali valori sono stati utilizzati come input per le successive elaborazioni.

Tabella 2 – Tempi di corrivazione dei bacini idrografici in esame

Bacino	Tempo di corrivazione
	ore
Rio delle Chiese	0,22
Tocetta_1	0,14
Tocetta_2	0,18
Golena_1	0,55
Golena_2	0,55
Urbano	0,15

4.3 DEFINIZIONE DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN

Il numero di curva adimensionale CN (*runoff curve number*) è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno. Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il *Soil Conservation Service* propone delle classificazioni, in modo da far rientrare la zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di CN corrispondente.

Generalmente, i terreni che costituiscono il bacino di riferimento devono essere ricondotti ad una delle quattro classi litologiche Tabella 3.



Tabella 3 – Gruppi idrogeologici assegnabili ai diversi litotipi

Classe	Tipologia di terreno
A	Accumuli di frana da crollo
B	Depositi da debris flow, alluvioni antiche, depositi colluviali, depositi gravitativi di falda e conoide, depositi glaciali di ablazione e indifferenziati
C	Depositi colluviali, prodotti colluviali
D	Calcarei dolomitici, serpentiniti, calcescisti, micascisti, gneiss indifferenziati, metabasiti

Tutti i bacini idrografici analizzati, in funzione delle caratteristiche litologiche, sono stati collocati nel gruppo C.

Il parametro CN viene calcolato come media pesata, considerando come pesi le percentuali areali di ciascuna classe d'uso del suolo, con riferimento a un grado di umidità iniziale del terreno a seguito di un evento meteorico, quindi un terreno saturo (condizione AMC III).

Difatti nel calcolo del CN si tiene inoltre conto di situazioni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diverse da quella media; il metodo classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- AMC I: potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;
- AMC II: condizione media;
- AMC III: potenziale di scorrimento superficiale massimo; il bacino è stato praticamente saturato dalle piogge precedenti.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa).

Tabella 4 – Condizioni di umidità in funzione della precipitazione antecedente

AMC	Precipitazione antecedente di 5 gg l'evento	
	Stagione di riposo (mm)	Stagione vegetativa (mm)
I	< 12,7	< 35,6
II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
III	> 27,9	> 53,3

I valori di CN corrispondenti alla categoria AMC I e AMC III si possono ricavare dal valore di CN che corrisponde alla categoria AMC II per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988), dove n, m e δ sono dei coefficienti numerici noti:

$$CN(I) = \frac{n \cdot CN(II)}{\delta - 0,058 \cdot CN(II)} \quad CN(III) = \frac{m \cdot CN(II)}{\delta + 0,13 \cdot CN(II)}$$

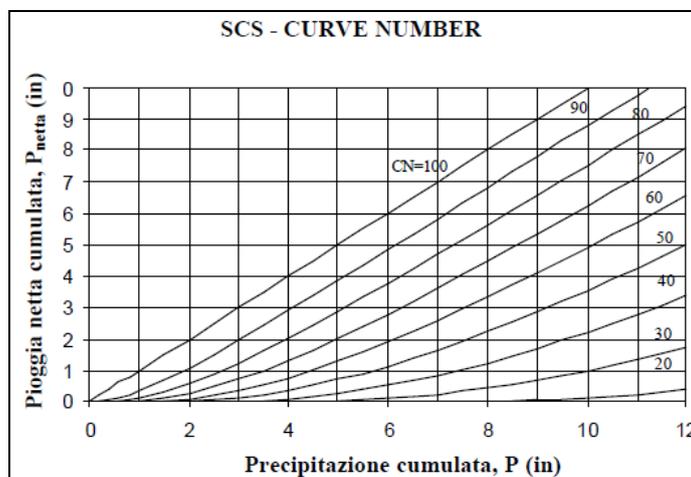


Figura 20 – Influenza del parametro CN nella stima del volume di pioggia netta

In Tabella 5 sono riportati i valori del parametro CN per ciascun sottobacino considerato, si precisa infine che nel caso in esame è stata considerata una condizione AMC III, maggiormente cautelativa ai fini della progettazione.

Tabella 5 – Parametri CN per ciascun sottobacino in esame, al variare delle condizioni di umidità del terreno

Bacino	AMC I	AMC II	AMC III
Rio delle Chiese	52	72	86
Tocetta_1	57	76	88
Tocetta_2	60	78	89
Golena_1	60	78	89
Golena_2	61	79	90
Urbano	74	87	94

4.4 CALCOLO DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA SULLA BASE DEI DATI ARPA PIEMONTE

La valutazione del regime idrologico dell'area d'interesse è stata condotta facendo riferimento alla metodologia elaborata dall'ARPA PIEMONTE – *Atlante delle piogge intense*.

Il servizio consente di ricavare in un qualsiasi punto del territorio regionale le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno per le durate da 10 minuti a 24 ore che rappresentano lo strumento essenziale nella progettazione idraulica e nella valutazione probabilistica delle portate di piena.

L'analisi statistica ha utilizzato tutta la base dati disponibile comprensiva delle stazioni storiche del Servizio Idrografico e Mareografico nazionale in funzione dal 1913 al 2002 e delle stazioni della rete regionale realizzata a partire dal 1987.



Lo scopo principale dell'analisi idrologica è quello di determinare l'entità delle massime portate di deflusso per l'area oggetto di studio.

La metodologia permette di selezionare graficamente l'area del bacino di interesse e scaricare i dati caratteristici di ogni maglia in tabelle rappresentative per la successiva elaborazione numerica. Le maglie hanno dimensione areale pari a 250 m x 250 m e ad ogni quadrato del reticolo sono assegnati i valori di a , n e K_t caratteristici per i quali, utilizzando le formule elaborate nella metodologia, è possibile calcolare dei valori di a e n in funzione del tempo di ritorno considerato, rappresentativi del bacino analizzato.

La figura seguente riporta un esempio della discretizzazione in celle del tessuto territoriale della Regione Piemonte reperibile dal portale cartografico Arpa per l'individuazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica in funzione dei vari tempi di ritorno dell'evento.

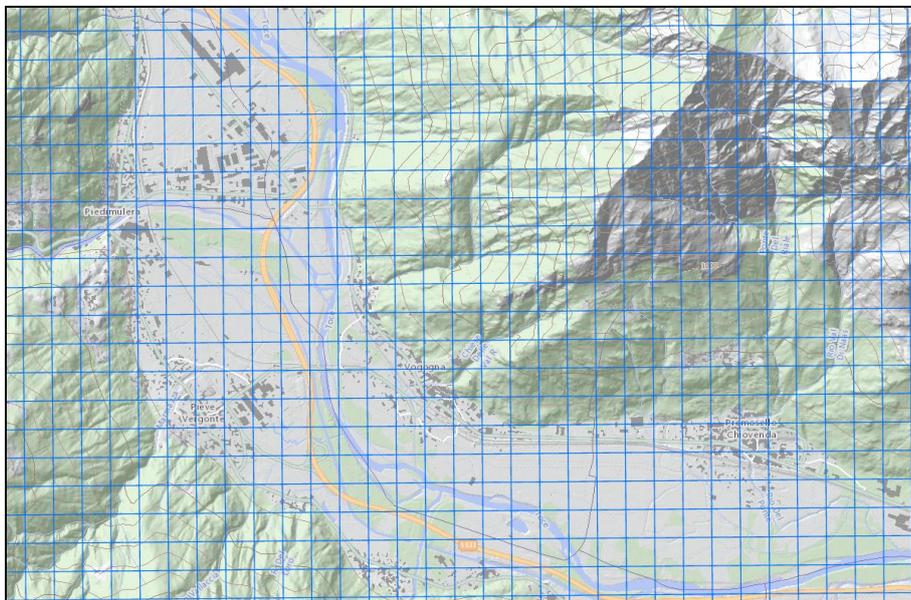


Figura 21 – Maglia della rete dell'Atlante delle Piogge (fonte: Geoviewer Arpa Piemonte)

Per i bacini idrografici individuati (cfr. Figura 19) è stato applicato tale sistema statistico di regionalizzazione, tramite la consultazione di tre differenti celle rappresentative e uniformemente distribuite. Pertanto i parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica utilizzati sono stati calcolati mediando, in maniera ponderata sulle aree, i parametri ottenuti dalla consultazione delle tre differenti celle sopracitate.

Le elaborazioni statistiche effettuate nella metodologia proposta da Arpa Piemonte consentono, per assegnato valore del tempo di ritorno, di ricavare per il bacino idrografico oggetto d'interesse le curve di massima possibilità pluviometrica, rappresentata dalla seguente funzione:

$$h = a t^n$$

avendo indicato con:



- h (mm): altezza di precipitazione;
- t (ore): tempo di pioggia;
- a (mm) e n (-): parametri della curva, definiti attraverso l'analisi del campione di altezze di precipitazione utilizzando leggi di regolarizzazione statistica.

Infine, si evidenzia che è stata utilizzata la distribuzione GEV, in quanto mediamente restituisce valori di altezze di pioggia maggiormente cautelativi rispetto quelli calcolati mediante l'applicazione della distribuzione Gumbel.

Il grafico delle curve di possibilità pluviometriche così determinate è riportato in Figura 22, mentre in Tabella 6 e Tabella 7 si riportano i valori del coefficiente *a* e dell'esponente *n* delle curve di possibilità pluviometrica.

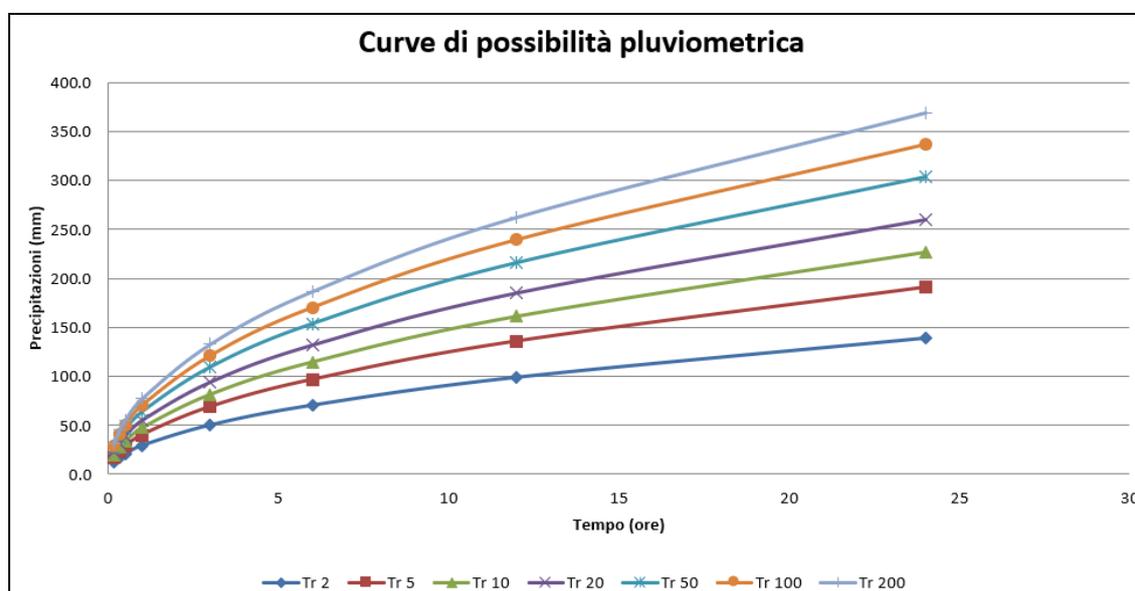


Figura 22 – Curve di possibilità pluviometrica calcolate per l'area in esame

Tabella 6 – Altezza di pioggia per differenti tempi di ritorno
(media di dati GEV Arpa Piemonte su 3 celle caratteristiche per l'area in esame)

Durata	Altezze di pioggia (mm) per assegnato tempo di ritorno (anni)						
	2	5	10	20	50	100	200
10 minuti	12.1	16.6	19.7	22.6	26.4	29.3	32.1
20 minuti	17.0	23.4	27.7	31.8	37.1	41.1	45.1
30 minuti	20.7	28.6	33.8	38.8	45.3	50.2	55.1
1 ora	29.1	40.2	47.5	54.6	63.7	70.6	77.5
3 ore	49.9	68.9	81.5	93.7	109.4	121.2	132.9
6 ore	70.2	96.9	114.6	131.7	153.8	170.4	186.9
12 ore	98.7	136.3	161.2	185.1	216.2	239.5	262.8
24 ore	138.8	191.6	226.6	260.3	304.1	336.8	369.6



Tabella 7 – Valori del coefficiente a ed esponente n determinati con le leggi di regolarizzazione dei dati pluviometrici

	a, n per assegnato tempo di ritorno (anni)						
	2	5	10	20	50	100	200
a	29.10	40.16	47.51	54.58	63.71	70.60	77.45
n	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49

4.5 DEFINIZIONE DELLE PIOGGIA DI PROGETTO

La pioggia di progetto è definita come un evento pluviometrico di riferimento utilizzato per il dimensionamento delle opere idrauliche. Per l'analisi dei bacini idrografici in esame è stato definito uno *ietogramma costante*, ossia un modello che assume una distribuzione uniforme dell'intensità di pioggia durante tutto l'evento.

4.6 CALCOLO DELLE PORTATE LIQUIDE AL COLMO

4.6.1 Modello numerico afflussi – deflussi

4.6.1.1 Metodologia e input del modello

La trasformazione afflussi-deflussi è il processo mediante il quale si passa dal dato di precipitazione al dato di portata in un corso d'acqua. Questo passaggio è regolato da modelli numerici che tengono conto di vari aspetti fondamentali, tra cui le caratteristiche morfologiche del bacino, i fenomeni di infiltrazione, ruscellamento, evaporazione e accumulo nelle depressioni superficiali.

Per il calcolo delle portate di piena associate a tempi di ritorno scelti, si è adottato un approccio modellistico che, a partire dalla precipitazione di progetto, consente di simulare il comportamento idrologico dei bacini in esame e di determinare gli idrogrammi alle sezioni di chiusura.

Il software utilizzato per l'analisi condotta è basato sul codice di calcolo HEC-HMS "Flood Hydrograph Package" sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center* dell'*U.S. Army Corps of Engineers*. Questo strumento consente di rappresentare il reticolo idrografico attraverso una schematizzazione di componenti idrologicamente interconnessi. Inoltre, consente di integrare informazioni relative alla geometria del bacino, alla permeabilità del suolo e alle sue caratteristiche idrologiche, restituendo gli idrogrammi di deflusso associati a specifici eventi meteorici. Uno degli aspetti critici della modellazione è la quantificazione delle perdite idrologiche, ovvero la frazione di precipitazione che non contribuisce al deflusso superficiale a causa di fenomeni come l'intercettazione della vegetazione, l'evapotraspirazione, l'infiltrazione nel suolo, l'accumulo in depressioni superficiali. La stima di tali perdite può essere effettuata con diversi metodi, ognuno dei quali richiede la conoscenza di parametri spesso difficili da definire con precisione, come la percentuale di area impermeabile del sottobacino, l'umidità iniziale del suolo, la conduttività idraulica e le perdite iniziali a regime.

Nel presente studio, per la stima delle perdite iniziali si è adottato il metodo SCS (*Soil Conservation Service*). Questo approccio consente di stimare la quantità di precipitazione che effettivamente contribuisce al deflusso superficiale, tenendo conto delle caratteristiche del suolo e dell'uso del territorio.



Per determinare le perdite iniziali (ossia la parte di precipitazione che non dà luogo a deflusso superficiale ma viene persa in intercettazione, infiltrazione, evapotraspirazione etc.) si possono utilizzare diverse metodologie che richiedono in ingresso, però, parametri di difficile determinazione. Nell'applicare il modello HEC – HMS ai bacini in studio, si è optato per il metodo sviluppato dal S.C.S., che richiede solo la conoscenza del numero adimensionale CN (cfr. Tabella 5) e delle perdite iniziali I_a , valutabili con la seguente relazione:

$$I_a = \alpha \cdot 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Con α pari a 0,2. Nella valutazione delle perdite iniziali può essere specificata la percentuale d'area impermeabile nel bacino, per la quale il codice di calcolo impone che gli afflussi vengano trasformati completamente in deflusso superficiale (ossia, le perdite risultano nulle). Il metodo di calcolo utilizzato richiede la conoscenza del tempo di ritardo (t_{lag}):

$$t_{LAG} = 0,6 T_c$$

dove T_c indica il tempo di corrivazione del bacino ed è espresso in minuti.

Il codice di calcolo consente, inoltre, la scelta tra diverse opzioni per la definizione dell'idrogramma unitario; questo, infatti, può essere fornito direttamente oppure descritto in funzione dei parametri di Clark, Snyder o dell'SCS (*Soil Conservation Service*). Nel presente studio si è utilizzata la tecnica elaborata dal S.C.S., che si basa sull'idrogramma unitario sintetico. L'evento meteorico di progetto è stato ricavato come evento ad intensità costante e di durata pari a 0,22 ore, che risulta essere il tempo di corrivazione del Rio delle Chiese.

In Figura 23 è riportato lo schema idrologico implementato nel software HEC-HMS, utilizzato per la modellazione degli afflussi – deflussi dei bacini idrografici individuati nel presente progetto.

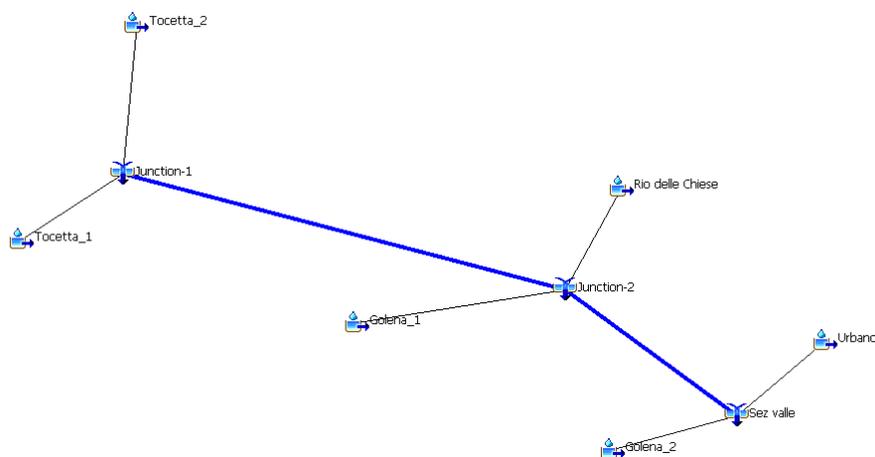


Figura 23 – Schema idrologico per il calcolo delle portate al colmo per i sottobacini oggetto d'interesse



Di seguito sono presentati, a titolo di esempio, gli idrogrammi ottenuti per il bacino idrografico Rio delle Chiese, elaborati secondo il procedimento descritto in precedenza per tempi di ritorno di 10, 50 e 200 anni. Nell'asse delle ascisse è rappresentato il tempo in ore, mentre nell'asse delle ordinate sono riportati i valori di portata espressi in m³/s.

Per la consultazione completa degli idrogrammi di progetto, per ciascun sottobacino analizzato, si rimanda all'ALLEGATO 2 della presente relazione.

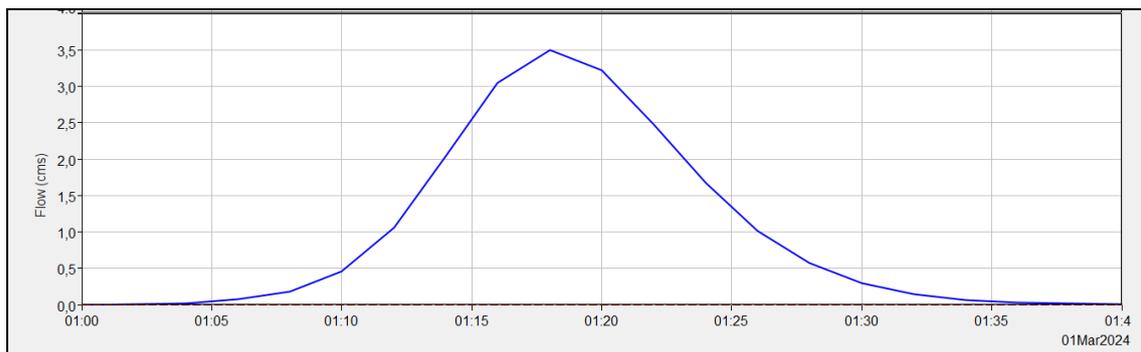


Figura 24 – Idrogramma di piena TR 10 anni per il bacino Rio delle Chiese

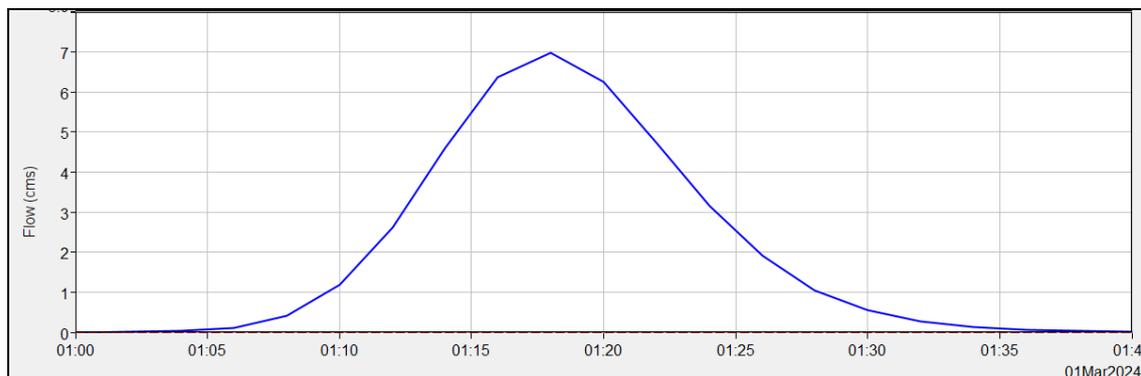


Figura 25 – Idrogramma di piena TR 50 anni per il bacino Rio delle Chiese

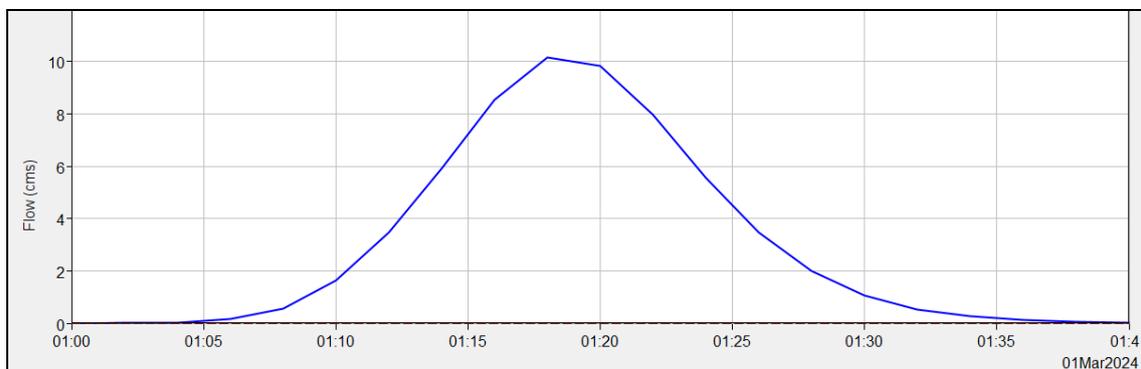


Figura 26 – Idrogramma di piena TR 200 anni per il bacino Rio delle Chiese



Infine, in Tabella 8 sono riportati i valori di portata al picco calcolati con la metodologia afflussi – deflussi, per ciascun sottobacino oggetto di studio.

Tabella 8 – Valori delle portate al picco calcolati con la metodologia afflussi – deflussi, al variare del tempo di ritorno

Bacino	Q TR 10 anni	Q TR 50 anni	Q TR 200 anni
	m^3/s	m^3/s	m^3/s
Rio delle Chiese	3,5	7,0	10,1
Tocetta_1	1,0	1,8	2,6
Tocetta_2	2,5	4,8	6,8
Golena_1	0,6	1,1	1,5
Golena_2	1,1	2,1	3,0
Urbano	1,2	1,9	2,4

4.7 ANALISI DEL FIUME TOCE

Oltre all’analisi idrologica dei bacini afferenti al Rio delle Chiese, si è ritenuto essenziale includere anche la valutazione del comportamento idraulico del Fiume Toce, in quanto rappresenta il corpo idrico recettore finale del reticolo minore oggetto di studio. La corretta rappresentazione del regime idraulico del Toce è infatti fondamentale per comprendere le possibili interazioni con il corso d’acqua minore, in particolare nei tratti terminali del Rio delle Chiese, dove può verificarsi un effetto di rigurgito durante eventi di piena.

Nel presente studio non sono state eseguite nuove elaborazioni idrologiche per il Fiume Toce. Al contrario si è scelto di adottare come riferimento i dati ufficiali disponibile nella pianificazione vigente e nel progetto esistente ENI Rewind. All’interno del PGRA è incluso il documento tecnico denominato “*Profili di piena dei corsi d’acqua del reticolo principale*”, che riporta i valori di portata e i livelli idrici associati a eventi di piena con diversi tempi di ritorno, riferiti a specifiche sezioni di calcolo lungo il corso del Fiume Toce.

Nel tratto di fiume in analisi, sono presenti diverse sezioni di calcolo PGRA, riportate in Figura 27. Per tali sezioni sono disponibili i valori dei livelli di piena corrispondenti a tempi di ritorno di 10, 100 e 500 anni (riportati in Tabella 9). Tuttavia, poiché le opere di mitigazione del rischio idraulico sono da progettare rispetto all’evento di piena associato al tempo di ritorno di 200 anni, si è resa necessaria una stima indiretta del relativo livello idrico del Fiume Toce. A tal fine, è stata applicata una regressione lineare sui valori noti (tempi di ritorno di 10, 100 e 500 anni), ottenendo così una stima interpolata attendibile del livello di piena per il tempo di ritorno di 200 anni.



Figura 27 – Sezioni di riferimento del PGRA lungo il tratto di Fiume Toce oggetto di analisi

Tabella 9 – Livelli di piena del Fiume Toce. Il livello associato al tempo di ritorno di 200 anni è stato calcolato dagli scriventi tramite regressione lineare
(Fonte: “Profili di piena dei corsi d’acqua del reticolo principale” – PGRA)

Sezione PGRA	Livello	Livello	Livello	Livello
	TR 10 anni <i>m s.l.m.</i>	TR 100 anni <i>m s.l.m.</i>	TR 200 anni <i>m s.l.m.</i>	TR 500 anni <i>m s.l.m.</i>
16	215,49	216,19	216,30	216,41
15.3	214,41	215,03	215,13	215,23
15.2	213,13	213,87	213,96	214,05

Inoltre, ai fini di una più completa e coerente definizione delle condizioni idrauliche del Fiume Toce è stato consultato anche il progetto “Interventi sull’argine in sx del Fiume Toce”, redatto da ENI Rewind (cfr. §3.3). In particolare, si è fatto riferimento agli elaborati relativi al Tratto 2 dell’intervento, che interessa il tratto di Fiume Toce nell’intorno della confluenza con il Rio delle Chiese. Gli interventi prevedono il completamento e il potenzialmente delle opere di difesa spondale lungo l’argine sinistro del Fiume Toce, in un’area strategicamente rilevante per la gestione del rischio idraulico.

Dalla consultazione degli elaborati grafici di progetto, sono disponibili le sezioni trasversali del Fiume Toce adottate per la progettazione, con indicazione del livello di piena associato all’evento con tempo di ritorno di 200 anni, utilizzato come riferimento progettuale. La sezione più prossima alla confluenza con il Rio delle Chiese è identificata con il n. 39, in corrispondenza della quale è definito il livello idrico di 215,51 m s.l.m..



Per garantire coerenza tra i diversi interventi progettuali e adottare un approccio cautelativo, si è scelto di adottare come condizioni al contorno di valle per il modello idraulico del Rio delle Chiese il livello di piena duecentennale riportato nel progetto ENI Rewind, pari a 215,51 m s.l.m.. Questo valore, leggermente superiore rispetto a quello stimato sulla base dei dati del PGRA (cfr. Tabella 9), è stato ritenuto più idoneo a rappresentare il fenomeno di rigurgito che si instaura lungo l'asta del Rio delle Chiese, in occasione di eventi di piena rilevanti.

Infine, l'analisi dell'evento alluvionale più recente verificatosi a ottobre 2020 nell'area d'interesse ha evidenziato come, in occasione di piene significative, il deflusso delle acque possa interessare i due forni presenti lungo il rilevato ferroviario della linea Milano – Domodossola. Tali attraversamenti consentono il passaggio delle acque verso le aree urbanizzate situate a tergo del rilevato, determinando condizioni di potenziale criticità. Alla luce di queste osservazioni, nella progettazione delle opere di difesa idrauliche finalizzate a impedire tali fenomeni di deflusso incontrollato, si è ritenuto opportuno fare riferimento ai livelli di piena riportati nella pianificazione vigente. In particolare, sono stati assunti come livelli idraulici di riferimento quelli definiti nell'ambito del PGRA per le sezioni n. 15.3 e n. 15.2 (cfr. Tabella 9).



5. VERIFICHE IDRAULICHE

Nel presente studio è stata sviluppata una modellazione idraulica monodimensionale finalizzata all'analisi del regime idrico del Rio delle Chiese, nel tratto compreso tra l'area urbanizzata di Vogogna e la sua confluenza nel Fiume Toce. L'obiettivo principale della modellazione è stato quello di simulare il comportamento idraulico del corso d'acqua in occasione di eventi meteorici significativi, al fine di individuare eventuali criticità presenti lungo il tracciato e, conseguentemente, definire gli interventi di mitigazione e adeguamento idraulico da inserire nel progetto.

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando il software **HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System)**, sviluppato dall'**US Army Corps of Engineers**. In particolare, è stata impiegata la versione **6.5** del programma, che consente di modellare il comportamento idraulico dei corsi d'acqua attraverso l'approccio delle **correnti a moto permanente**. Questo metodo si basa sull'ipotesi che la portata sia costante nel tempo lungo il tratto analizzato, permettendo di studiare il profilo della superficie libera dell'acqua in presenza di sezioni variabili.

Attraverso la modellazione, sia nello stato di fatto che nello scenario di progetto, è stato possibile ottenere un quadro dettagliato delle condizioni di deflusso per un evento di piena con **tempo di ritorno pari a 200 anni**, fornendo così un supporto tecnico essenziale per la progettazione e la verifica delle opere di mitigazione del rischio idraulico lungo le aree d'interesse.

5.1 MODELLO DI CALCOLO HEC – RAS MONODIMENSIONALE IN MOTO PERMANENTE

Il modello di calcolo HEC – RAS (River Analysis System), elaborato da Hydrologic Engineering Center di U.S. Army Corps of Engineers (Versione 6.5) è un software che consente di sviluppare i calcoli in moto permanente monodimensionale per una rete di canali (artificiali o naturali), ipotizzata la portata costante nel tempo e lungo il tratto d'alveo considerato. In particolare, risulta utile per il calcolo dei profili in moto permanente in regime di corrente lenta, veloce o che interessa entrambe. La sua affidabilità è riconosciuta a livello internazionale ed è impiegato in tutto il mondo. Il modello, in aggiunta alla determinazione dei profili di superficie libera negli alvei per portate caratterizzate da tempi di ritorno rappresentativi, consente di valutare gli effetti indotti sulla corrente da ostacoli e infrastrutture presenti in alveo (ad esempio, ponti, traverse, restringimenti di sezione, etc).

La procedura si basa sulla integrazione dell'equazione monodimensionale che rappresenta l'energia della corrente, nota come Standard Step Method. Le perdite di carico valutate sono quelle di attrito e quelle generate dalla contrazione o espansione della sezione. Imposte le condizioni al contorno (di valle o di monte, in funzione del regime che caratterizza il corso d'acqua) e la portata rispetto a cui si vuole effettuare la verifica, il modello determina il profilo longitudinale del pelo libero, a cui si aggiungono una serie di parametri che è possibile interrogare e analizzare.

Nello studio di una corrente gradualmente variata in alvei non prismatici, quali quelli naturali, la limitazione maggiore deriva dall'aver a disposizione informazioni relative solo a un numero piuttosto contenuto di sezioni



trasversali del corso d'acqua. Inoltre, per questi alvei non sono applicabili le usuali procedure di calcolo che prevedono la definizione della scala di deflusso o di altri parametri ipotizzati invariati lungo lo sviluppo longitudinale dell'alveo. Ne consegue che per determinare l'andamento del profilo del pelo libero lungo un tratto d'alveo è necessario procedere per tentativi e successive correzioni, assegnate le adeguate condizioni al contorno (di valle o di monte) in ragione del tipo di regime caratterizzante la corrente. Per determinare la profondità della corrente in ogni sezione, la procedura iterativa utilizza le seguenti relazioni:

$$Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} + h_e + h_f$$
$$h_e = L \cdot i_f$$
$$h_f = C \cdot \left| \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove: Z_1 e Z_2 rappresentano le quote assolute della superficie libera agli estremi del tratto; V_1 e V_2 la velocità media nella sezione, riferita agli estremi del tratto; g è l'accelerazione di gravità; h_e sono le perdite distribuite di energia e h_f le perdite di energia localizzate; L è la lunghezza del tratto considerato; i_f la pendenza di fondo nel tratto; C il coefficiente di perdita di carico dovuta a espansioni e/o contrazioni localizzate; α_1 e α_2 sono i coefficienti di Coriolis, funzione della distribuzione di velocità nella sezione trasversale.

Il modello di calcolo numerico, imposta la portata defluente in alveo e le condizioni al contorno, impiega il sistema di relazioni sopra esposto fra due sezioni adiacenti (iniziando da monte o da valle in funzione del regime di corrente ipotizzato) e lo risolve iterativamente, per determinare la quota \downarrow del pelo libero rispetto al fondo in ciascuna di esse. Il processo di calcolo, quindi, prosegue iterativamente alle sezioni successive, fino a interessare tutte le sezioni utilizzate per definire la geometria. In questo modo, risulta possibile determinare il profilo del pelo libero per il tratto d'alveo considerato.

Il codice di calcolo consente la suddivisione della corrente in rami paralleli, in modo da simulare il deflusso, oltre che nell'alveo, anche nelle aree golenali laterali, che possono essere caratterizzate con diversi indici di scabrezza. Nei calcoli possono, inoltre, essere considerati gli effetti dovuti alla presenza di infrastrutture "puntuali", quali i ponti, i sottopassi i manufatti tipo luci sotto battente o a stramazzo.

Per sviluppare un modello numerico che sia accurato, abbia sensibilità e stabilità di calcolo, occorre cercare il migliore compromesso tra i diversi parametri che rientrano nella simulazione, sempre tenendo presente quali sono i limiti delle equazioni utilizzate per simulare il moto. Tale compromesso si ottiene mediante un'opportuna analisi di sensibilità numerica.

Il modello di calcolo numerico permette di determinare diverse variabili idrauliche: il profilo longitudinale della superficie libera di deflusso, la profondità e la velocità della corrente in prossimità delle opere in progetto, l'eventuale ampiezza del rigurgito provocata dall'elemento interferente, e le principali caratteristiche idrauliche della corrente. Tutti elementi questi fondamentali per il confronto fra gli scenari di realtà diverse quella attuale e quelle possibili in presenza di interventi antropici con forme, ampiezze e caratteristiche differenti.



5.1.1 Geometria di riferimento

La modellazione idraulica è stata condotta su un tratto del Rio delle Chiese lungo circa 1 km, compreso tra l'area urbanizzata di Vogogna, in corrispondenza della Chiesa del Sacro Cuore di Gesù, e la confluenza nel Fiume Toce. Tale estensione è stata ritenuta adeguata per valutare le condizioni idrauliche del corso d'acqua e analizzare l'interazione tra le opere in progetto e il deflusso, tenendo conto anche delle principali criticità rilevate.

La definizione della geometria di calcolo si è basata sui dati topografici acquisiti durante una specifica campagna di rilievo eseguita dagli scriventi, integrati con i Modelli Digitali del Terreno (DTM) forniti dalla Regione Piemonte, con risoluzioni pari a 1x1 m e 5x5 m. L'elaborazione del modello ha previsto la discretizzazione dell'asta fluviale mediante 56 sezioni trasversali, opportunamente distribuite lungo il tracciato, al fine di rappresentare in modo dettagliato e realistico la morfologia dell'alveo e delle aree golenali (cfr. Figura 28).

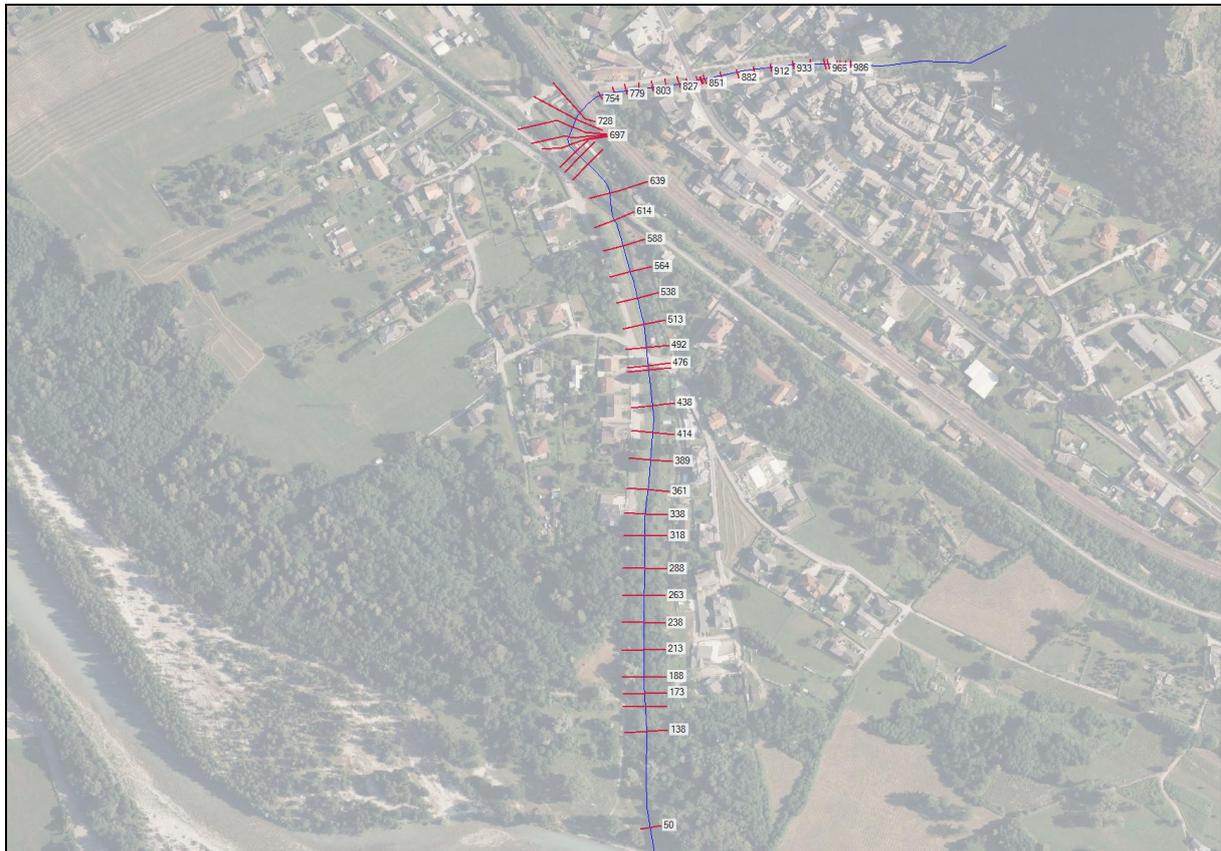


Figura 28 – Sezioni di calcolo del modello idraulico allestito

All'interno del modello sono state inserite anche le principali strutture che interferiscono con il deflusso del Rio delle Chiese, ovvero:

- Ponte ad arco in pietra di Piazza Chiesa (cfr. Figura 29);
- Passerella pedonale ubicata immediatamente a monte del ponte lungo la Via Nazionale (cfr. Figura 30);



- Ponte di Via Nazionale (cfr. Figura 30);
- Ponte di Via Calami (cfr. Figura 31).



Figura 29 – Ponte di Piazza Chiesa ripreso da valle (sx) e geometria inserita nel modello idraulico (dx)

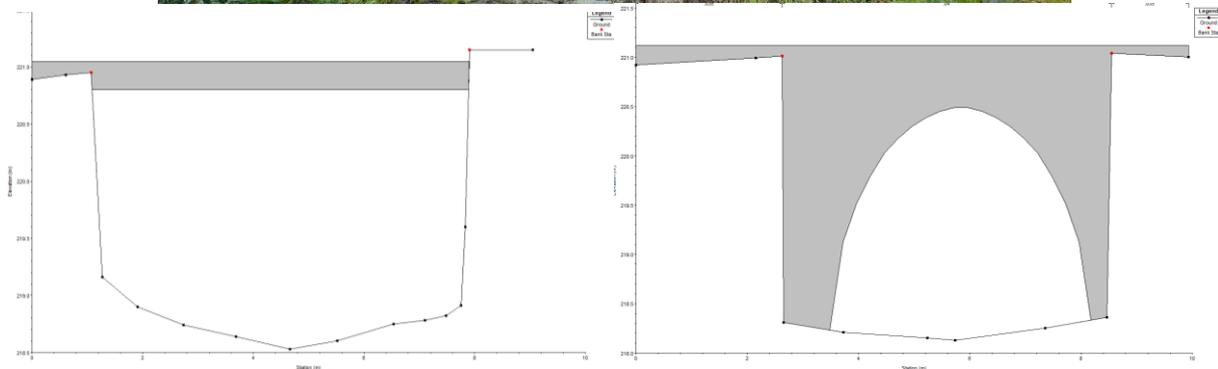


Figura 30 – Passerella pedonale e ponte di via Nazionale ripresi da monte (foto in alto) e geometrie inserite nel modello idraulico (immagini in basso)

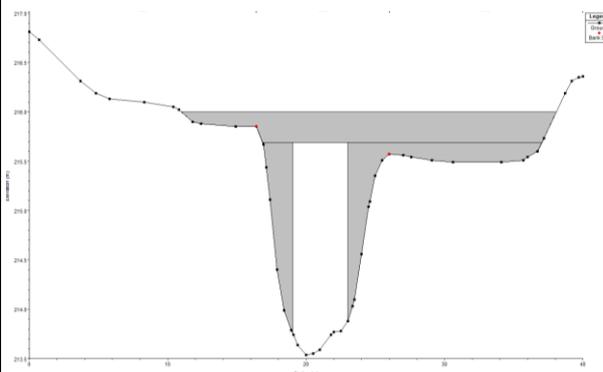


Figura 31 – Ponte di via Calami ripreso da monte (sx) e geometria inserita nel modello idraulico (dx)

Per lo sviluppo delle simulazioni idrauliche sono state predisposte due diverse configurazioni geometriche:

- **Stato di fatto**, rappresentante le attuali condizioni del corso d'acqua e delle opere esistenti;
- **Stato di progetto**, in cui sono state inserite le opere in progetto previste lungo il Rio delle Chiese, finalizzate alla regimazione del deflusso e alla riduzione del rischio idraulico nelle aree limitrofe.

L'utilizzo di dati topografici ad alta risoluzione ha consentito di costruire un modello dettagliato e affidabile, necessario per condurre analisi idrauliche accurate e supportare la progettazione degli interventi previsti.

5.1.1.1 Parametri di scabrezza

La definizione delle condizioni di resistenza al moto dell'area in esame viene effettuata attraverso l'assegnazione di coefficienti di scabrezza idonei, espressi mediante il parametro n di Manning, in $s/m^{1/3}$.

In generale, tale coefficiente dipende dalla granulometria del materiale presente in alveo, dalla regolarità delle sezioni, dall'andamento planimetrico del corso d'acqua, dalle caratteristiche idrauliche delle sponde e dalla possibilità che il materiale di fondo subisca fenomeni di trasporto.

Nel caso specifico, i parametri di scabrezza sono stati definiti a valle delle compagnie di rilievo condotte. I valori del coefficiente di Manning adottati sono i seguenti:

- Alveo rivestito in massi: $n = 0,04 \text{ s m}^{-1/3}$;
- Area naturale: $n = 0,033 \text{ s m}^{-1/3}$;
- Sponde vegetate: $0,035 \text{ s m}^{-1/3}$;

5.1.2 Condizioni al contorno

Le portate di verifica adottate nel presente studio derivano dall'analisi idrologica dettagliata al §4. Nella tabella a seguire sono sintetizzati i valori di portata, relativi al tempo di ritorno di 200 anni, associati alle specifiche sezioni di calcolo del modello idraulico in cui sono state simulate le immissioni di portata lungo il



corso d'acqua. Tali portate costituiscono gli input necessari a valutare il comportamento idraulico del Rio delle Chiese, in corrispondenza di un evento di piena estremo (TR 200 anni).

Tabella 10 – Portate di verifica del Rio delle Chiese utilizzate per la modellazione idraulica

Sezione Modello Idraulico	Q TR 200 anni (m ³ /s)
986	10,1
689	18,9
476	21,9

Come condizione al contorno in corrispondenza della sezione di valle del modello idraulico è stato imposto il livello idrico corrispondente alla piena duecentennale del Fiume Toce, pari a 215,51 m s.l.m., come definito dal Progetto di Eni Rewind (cfr. §4.7). Tale scelta è finalizzata a simulare correttamente l'effetto di rigurgito che il fiume Toce genera lungo il Rio delle Chiese durante eventi di piena, influenzando il deflusso e i livelli idrici.

5.1.3 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni idrauliche condotte sul modello monodimensionale, sviluppato per lo stato di fatto, hanno consentito di analizzare nel dettaglio il comportamento idraulico attuale del Rio delle Chiese lungo tutto il tratto di interesse, evidenziando le differenti condizioni di deflusso che si instaurano nelle diverse porzioni dell'asta.

Come evidente dalla consultazione del profilo riportato in Figura 32, nel tratto a monte, fino all'attraversamento della Via Nazionale, il corso d'acqua presenta una pendenza del fondo significativa (circa 5%), che determina un regime di moto veloce. In queste condizioni, l'alveo riesce a contenere efficacemente la portata di progetto (TR = 200 anni) e i principali manufatti di attraversamento – ponte in pietra di Piazza Chiesa, passerella pedonale e ponte della Via Nazionale – garantiscono il passaggio del deflusso senza attivare condizioni in pressione. Tuttavia, si segnala una ridotta altezza libera (franco) in corrispondenza del ponte in pietra di Piazza Chiesa, pari a circa 50 cm dalla chiave dell'arco, che rappresenta un potenziale punto critico in caso presenza di ostacoli o detriti trasportati dalla corrente.

A partire dal ponte di Via Nazionale e fino al rilevato ferroviario della linea Milano–Domodossola, la pendenza si riduce al 3%, ma il regime rimane ancora tendenzialmente torrentizio, con tiranti idrici che si mantengono comunque contenuti entro la sezione attiva del corso d'acqua.

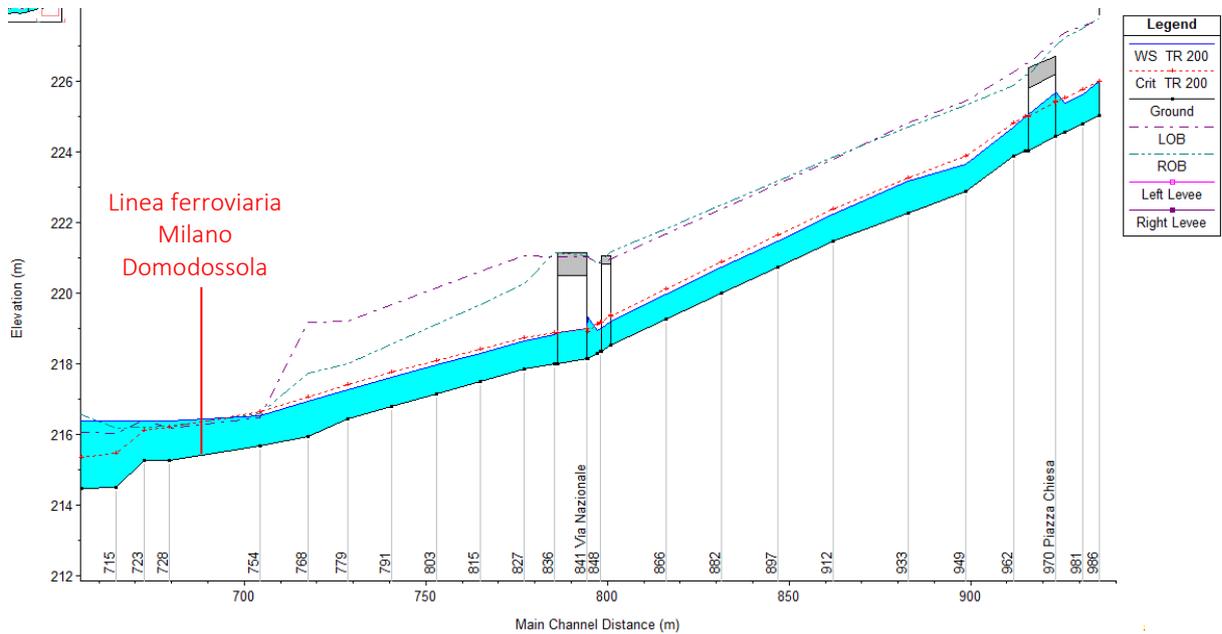


Figura 32 – Profilo di piena TR 200 anni del tratto di monte del Rio delle Chiese – Stato di fatto

A valle del rilevato ferroviario, la situazione idraulica cambia in modo sostanziale: la pendenza del fondo diminuisce drasticamente fino a valori medi dello 0,5% e si manifesta l'effetto di rigurgito del Fiume Toce, che si propaga risalendo lungo il Rio delle Chiese fino a questo punto (cfr. Figura 33). Di conseguenza, il deflusso in questo tratto non è più completamente contenuto nell'alveo attivo: si verificano fenomeni di esondazione che coinvolgono le aree esterne, interessando aree urbanizzate che lambiscono il corso d'acqua e le infrastrutture viarie presenti.

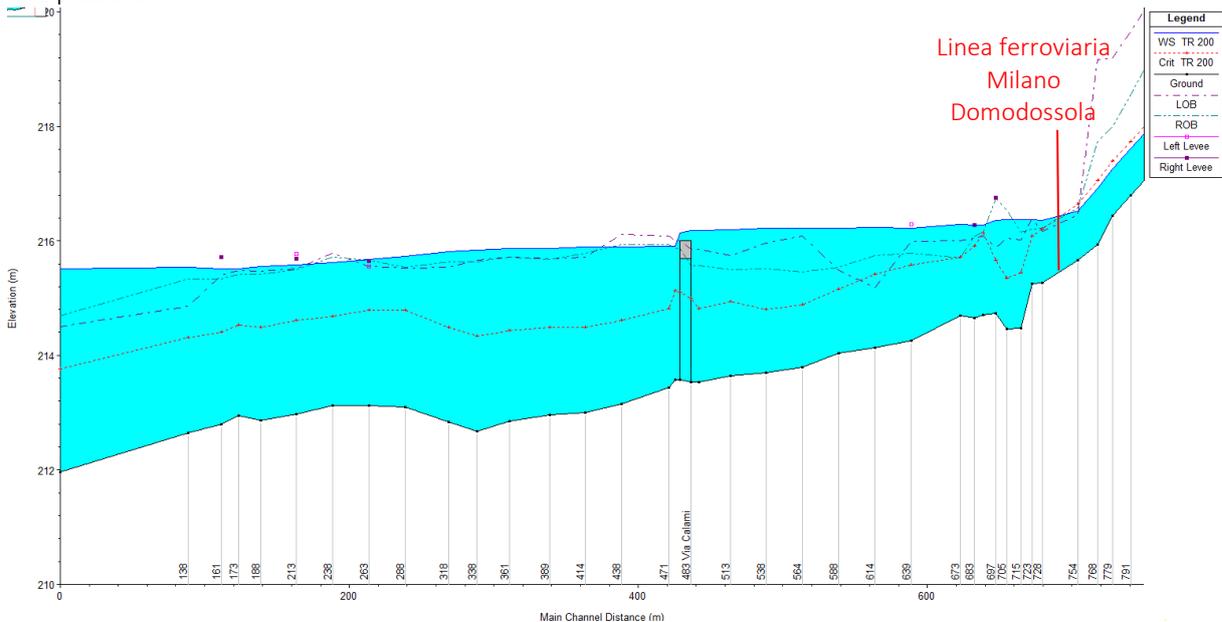


Figura 33 – Profilo di piena TR 200 anni del tratto di valle del Rio delle Chiese – Stato di fatto



Particolarmente critica risulta la sezione di attraversamento della Via Calami, il cui manufatto risulta sottodimensionato rispetto alla portata di progetto (cfr. Figura 34). In occasione dell'evento duecentennale, la simulazione evidenzia condizioni di deflusso in pressione all'interno dell'opera e tracimazione dell'impalcato, con conseguente allagamento della sede stradale.

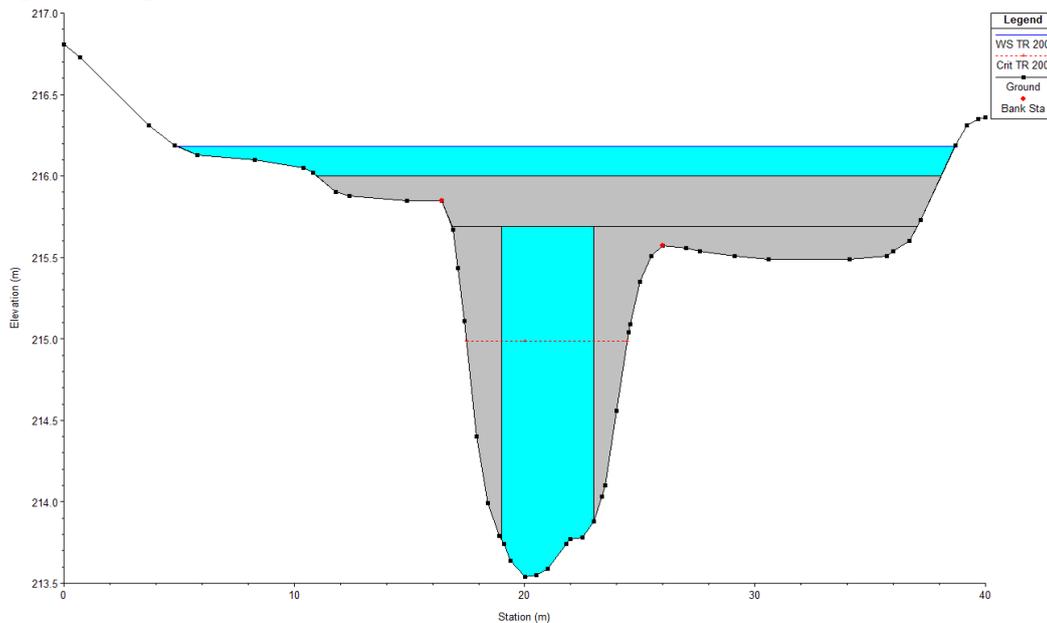


Figura 34 – Ponte di via Calami per un evento di piena TR 200 anni – Stato di fatto

Nella configurazione di progetto, la geometria del modello è stata aggiornata introducendo le **linee arginali previste** lungo il tratto di valle del Rio delle Chiese, che si estende dal rilevato ferroviario della Linea Milano – Domodossola sino alla confluenza nel Fiume Toce. Si prevede inoltre il rifacimento del manufatto di attraversamento di Via Calami, ritenuto elemento critico nella configurazione attuale.

Le simulazioni idrauliche condotte con queste modifiche hanno evidenziato un sensibile miglioramento del comportamento idraulico del corso d'acqua, in particolare nel tratto compreso tra il rilevato ferroviario e la confluenza con il Fiume Toce, ovvero nella porzione di valle del sistema, attualmente soggetta ai maggiori fenomeni di esondazione (cfr. Figura 35).

Grazie alla realizzazione delle arginature e al potenziamento dell'opera di attraversamento, il modello mostra come l'intera portata di progetto (TR = 200 anni) venga contenuta all'interno dell'alveo, senza interessare le aree esterne. I livelli idrometrici risultano ovunque inferiori alla quota degli argini e viene garantito un franco minimo di sicurezza pari a 1 metro, in linea con quanto previsto dalla normativa vigente per opere di mitigazione del rischio idraulico.

In particolare, il nuovo manufatto di Via Calami è stato dimensionato per garantire la compatibilità idraulica con le nuove condizioni di deflusso, eliminando il rischio di tracimazione e assicurando la continuità dell'infrastruttura anche in occasione degli eventi estremi.

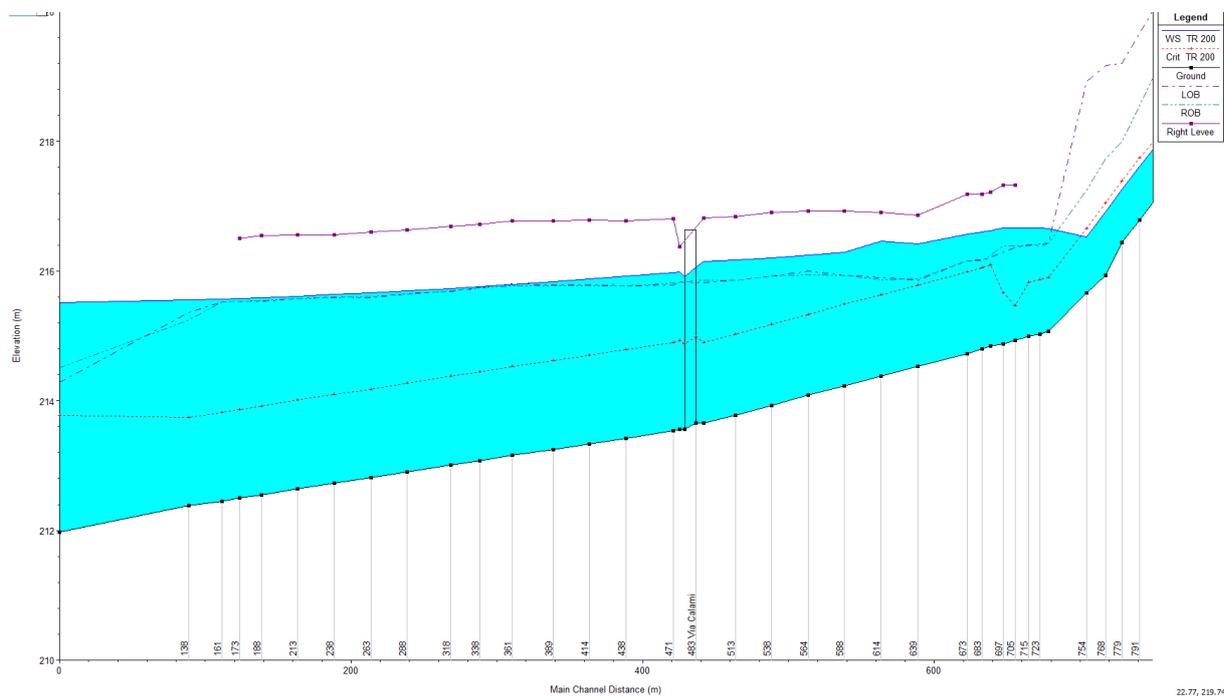


Figura 35 – Profilo di piena TR 200 anni del tratto di valle del Rio delle Chiese – Stato di progetto

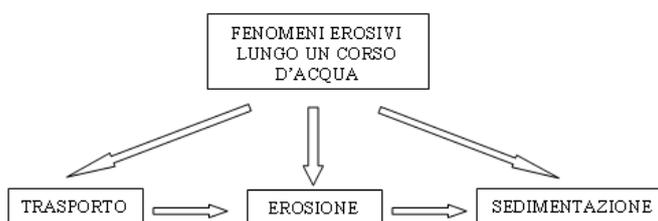
Inoltre, il modello aggiornato consente anche una valutazione puntuale delle principali grandezze idrauliche, come i tiranti d'acqua e le velocità di deflusso lungo l'alveo. Tali parametri risultano fondamentali per la verifica di stabilità delle scogliere in progetto, in particolare nei tratti in cui sono previste opere di difesa spondale in massi ciclopici.



6. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DA FENOMENI EROSIVI

Il passaggio della corrente nelle condizioni di massima piena sulle sponde e sul fondo del rio potrebbe indurre un'azione erosiva potenzialmente in grado di movimentare le particelle costituenti lo strato superficiale del materiale detritico che costituisce il fondo mobile.

La valutazione del fenomeno erosivo indotto può essere condotta con ragionevole approssimazione adottando la trattazione teorica relativa al trasporto solido in condizioni di moto uniforme. In via del tutto generale, il fenomeno può essere ricondotto alla successione di tre eventi distinti, secondo la seguente schematizzazione:



I fattori predominanti che caratterizzano ciascuno dei tre equilibri idrodinamici sono costituiti dalle caratteristiche cinematiche della corrente impattante e dalla granulometria del materiale costituente il fondo dell'alveo. Il regime idrodinamico della corrente può essere espresso attraverso il valore della velocità media nella sezione di deflusso, mentre la granulometria del materiale sottoposto all'azione erosiva viene caratterizzata con il valore del diametro medio delle particelle.

Nella Figura 36 viene riportato il grafico proposto da Hjulström, che descrive il fenomeno erosivo di fondo per un corso d'acqua in funzione della velocità media della corrente e del diametro medio delle particelle costituenti l'alveo.

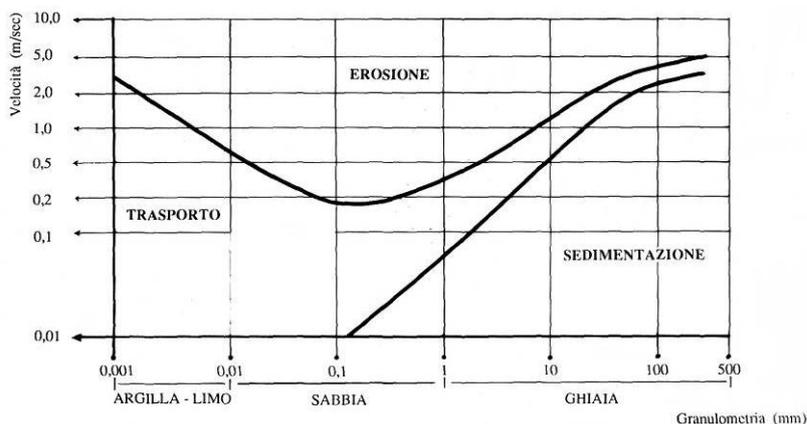


Figura 36 – Diagramma di Hjulström

Le problematiche legate al trasporto solido si riflettono sul corretto dimensionamento delle scogliere e dei massi costituenti le stesse.



Per la verifica al trascinamento del materiale costituente le difese in progetto, occorre considerare l'azione di trascinamento della corrente e verificare la capacità di resistenza al deflusso dell'opera

Per l'analisi si possono utilizzare differenti metodologie di calcolo:

- analisi della condizione di moto incipiente, sulla base delle formulazioni di sforzo tangenziale critico proposte da Shield e poi modificate da diversi autori;
- formulazioni empiriche per le fondazioni di pietrame in scogliera tratte da "Bridge Scour" (Water Resources Publications, LLC, 2000) con particolare attenzione alla formulazione unificata proposta da Pilarczyk;
- formulazioni empiriche di Neill e Bogardi, funzioni delle caratteristiche idrodinamiche della corrente.

6.1 VERIFICA SECONDO L'ANALISI DI MOTO INCIPIENTE

L'analisi della condizione di moto incipiente è affrontata sotto l'aspetto dinamico, prendendo in considerazione l'azione di trascinamento esercitata dalla corrente sulle sponde dell'alveo. In particolare, la movimentazione del materiale sul fondo, come sulle sponde, è considerato un fenomeno dipendente dalla tensione di trascinamento τ , il cui valore minimo τ_c perché abbia inizio il suo moto, individua appunto la condizione critica.

Lo sforzo tangenziale τ_0 esercitato dalla corrente sul materiale costituente la sponda può essere espresso come:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$

dove:

- ✓ γ : peso specifico dell'acqua;
- ✓ R : raggio idraulico della sezione;
- ✓ i : pendenza del fondo alveo.

Il valore di τ_0 deve essere confrontato con lo sforzo tangenziale critico τ_c (condizione di equilibrio limite per il moto delle particelle solide): nel caso in cui $\tau_0 \geq \tau_c$ si instaura la condizione di moto incipiente e le particelle vengono movimentate.

Lo sforzo tangenziale τ_0 esercitato dalla corrente sul materiale costituente il fondo dell'alveo può essere espresso come:

$$\tau_0 = \gamma \cdot h \cdot i$$

dove:

- g : peso specifico dell'acqua;
- h : altezza idrica della corrente in moto uniforme;
- i : pendenza del fondo alveo.



Il valore di τ_0 deve essere confrontato con lo sforzo tangenziale critico τ_c (condizione di equilibrio limite per il moto delle particelle solide): nel caso in cui $\tau_0 \geq \tau_c$ si instaura la condizione di moto incipiente e le particelle costituenti il fondo alveo (o in questo caso degli elementi costituenti la scogliera) vengono movimentate.

Nella condizione idraulica di micro-scabrezza (ovvero per tiranti idrici molto maggiori del diametro caratteristico delle particelle), il legame funzionale che esprime la tensione τ_c è:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = f(\text{Re}^*)$$

dove Re^* rappresenta il numero di Reynolds della corrente di fondo. La relazione precedente è stata ricavata da Shields (1936) ed è stata esplicitata dallo stesso autore attraverso un abaco (abaco di Shields). La funzione $f(\text{Re}^*)$ rappresenta un parametro adimensionale (parametro di Shields) dipendente dalle caratteristiche dei granuli, nonché ovviamente dal valore del numero di Re^* relativo alla velocità di attrito u^* .

In letteratura sono disponibili diverse formulazioni per la valutazione del parametro τ_c :

- Shields-Krey (1936), sviluppata per regimi di moto turbolento e in condizioni di $d \ll h$:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,047$$

- Zeller (1963), relativa a miscugli omogenei esclusivamente in regime turbolento:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

- Armanini (1990), applicabile per valori del diametro d confrontabili con il tirante idrico della corrente h (condizioni di sommergenza bassa):

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

- Egiazaroff (1950), applicabile per miscugli non omogenei in regime esclusivamente turbolento:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

- Kalinske, espressione che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante un effetto di mutuo incastro delle particelle

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,116$$

Per il dimensionamento degli elementi costituenti la scogliera, la formulazione che meglio approssima le condizioni in esame è quella di Kalinske, rappresentativa del mutuo incastro delle particelle.



6.2 FORMULAZIONI EMPIRICHE DI NEILL E BOGARDI

Una ulteriore metodologia di indagine considera l'azione di trascinamento della corrente e la capacità di resistenza al deflusso del medesimo.

La determinazione quantitativa del fenomeno erosivo lungo l'alveo di un corso d'acqua può quindi essere affrontata facendo riferimento allo studio della condizione di moto incipiente, ovvero della condizione di equilibrio limite di una particella solida sottoposta all'azione di trascinamento di una corrente.

Tale condizione può essere risolta ricorrendo a equazioni di equilibrio, in cui compaiono i valori critici delle variabili del moto: in particolare, si fa riferimento alla velocità critica della corrente V_C , definita come il valore medio della velocità della corrente che discrimina lo stato fisico di moto delle particelle solide costituenti l'alveo fluviale.

In letteratura sono presenti diversi approcci per la valutazione della velocità critica di trascinamento, sostanzialmente riconducibili a due tipologie. Quello assunto alla base delle seguenti analisi fornisce una relazione analitica che, sebbene semplificata, permette di tenere in considerazione anche le caratteristiche idrodinamiche della corrente. Seguendo l'approccio analitico, è possibile ottenere un legame funzionale tra la velocità critica della corrente, le caratteristiche fisiche del materiale (peso specifico e diametro medio caratteristico) e le caratteristiche idrodinamiche (viscosità dell'acqua, altezza della corrente). Tralasciando la trattazione analitica del problema, l'espressione finale della velocità critica della corrente V_C può essere espressa mediante la seguente espressione analitica proposta da Neill nel 1967:

$$V_C = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$$

dove:

- γ_s = peso specifico degli elementi lapidei costituenti la scogliera;
- γ = peso specifico dell'acqua;
- h = altezza idrica della corrente in moto uniforme;
- d = diametro medio delle particelle costituenti la scogliera.

Una seconda formulazione per il calcolo della velocità critica della corrente V_C è quella proposta da Bogardi, sintetizzando le esperienze condotte da differenti autori.

$$V_C = 6.84 \cdot h^{0.095} \cdot d^{0.405}$$

A partire dai valori dei battenti e delle velocità di deflusso ottenuti dalla modellazione idraulica allestita (cfr. §5.1) si procede alla determinazione del diametro medio dei massi necessari per la realizzazione di difesa spondale in progetto. Le analisi sono condotte in corrispondenza di due sezioni rappresentative del modello



idraulico, identificate come sezione n. 639 e n. 389, nelle quali si registrano i valori massimi del tirante idrico e velocità di deflusso in occasione dell'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni.

Per adottare un approccio maggiormente cautelativo, è stata effettuata una simulazione idraulica integrativa, modificando la condizione al contorno di valle. In particolare, al posto del livello di piena con tempo di ritorno di 200 anni del fiume Toce, è stata assunta la pendenza naturale del fondo del Rio delle Chiese. Questo scenario consente di simulare una piena del Rio delle Chiese con tempo di ritorno di 200 anni, in assenza di effetti di rigurgito indotti dal Toce, come potrebbe accadere durante un evento meno estremo su quest'ultimo.

Questa configurazione comporta velocità di deflusso più elevate, risultando quindi un caso più gravoso e conservativo, a garanzia della sicurezza idraulica dell'intervento.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di tirante e velocità della corrente per le due sezioni idrauliche di riferimento utilizzate per il dimensionamento delle opere di difesa spondale.

Tabella 11 – Tiranti idrici e velocità di deflusso di verifica, relativi alle sez. n. 639 e 389 del modello idraulico allestito, in occasione di un evento di piena TR 200 anni

Sezione Modello Idraulico	Tirante idrico <i>m</i>	Velocità di deflusso <i>m/s</i>
639	1,7	2,2
389	2,1	2,0

Sulla base delle relazioni analitiche presentate nei paragrafi precedenti, è stata effettuata la valutazione delle caratteristiche fisiche minime che devono possedere i massi destinati alla realizzazione delle opere di difesa spondale, con particolare riferimento alla resistenza all'azione di trascinamento da parte della corrente in condizioni di piena.

L'analisi ha portato alla determinazione di un **diametro equivalente minimo di 0,70 m** per ciascun blocco, tale da garantire la stabilità della scogliera anche nei punti più sollecitati dal deflusso. A tale dimensione corrisponde un **peso unitario minimo non inferiore a 800 kg**.

Questi valori rappresentano i criteri minimi di progetto da rispettare nella scelta e nella posa dei massi, al fine di assicurare l'efficacia e la durabilità dell'intervento di difesa idraulica anche in occasione di eventi estremi.



7. VERIFICHE RILEVATO ARGINALE IN PROGETTO

Nel presente paragrafo si riportano le verifiche effettuate per il rilevato arginale in terra in progetto. Per maggiori approfondimenti si rimanda all'*Elab. P-2.3 – Relazione geologica*.

7.1 CARATTERISTICHE DEL RILEVATO

I rilevati da realizzarsi saranno costituiti da materiali idonei, accuratamente scelti, scevri di radici, erbe, materie organiche, humus, terra vegetale e materie organiche in generale. Non si dovranno utilizzare sabbie pulite.

Con riferimento alla classificazione contenuta nelle norme CNR UNI 10006, le terre preferibilmente da utilizzare saranno di tipo argilloso e limoso (classi A-4, A-6, A-7-6 Tabella AASHO 145/49), con contenuto minimo di sabbia pari al 15% e con indice di plasticità inferiore a 25. Detti materiali saranno anzitutto reperiti tra i terreni provenienti dagli scavi sulla cui idoneità giudicherà insindacabilmente la Direzione Lavori, in base alle loro caratteristiche.

In mancanza dei materiali predetti, dovendo ricorrere a cave di prestito, queste dovranno fornire materiali corrispondenti alle terre appartenenti ai gruppi succitati.

In casi di accertata impossibilità di ottenere adeguate caratteristiche geotecniche con l'utilizzo di tale materiale, sarà facoltà della Direzione Lavori individuare aree alternative di prelievo e stabilire eventuali percentuali di miscelazione con il materiale di cui sopra, senza nulla pretendere.

In casi di accertata impossibilità di ottenere una classe di rilevato superiore a quella con classifica A-3 è facoltà dell'Ufficio di Direzione Lavori di accettare il materiale posto in opera, prescrivendo uno spessore non inferiore a 20 cm di terreno vegetale ove previsto.

Il materiale posto in opera dovrà avere valori del peso in volume allo stato secco pari al 95% del peso di volume secco ottenuto nella prova di compattazione Proctor normale con tolleranza di +/-1%; la corrispondente umidità dovrà avere i valori compresi fra +/- 2% dell'umidità ottimale ottenuta nella suddetta prova di compattazione. Definita anche la percentuale di umidità, questa deve essere mantenuta costante con una tolleranza di +/- 1%.

Nella costruzione dell'argine andranno seguite le indicazioni progettuali riportate nei disegni esecutivi, sia per quanto riguarda le dimensioni del rilevato e la pendenza delle scarpate, sia per quanto riguarda lo spessore degli strati, il tipo di macchina da utilizzare per il costipamento ed il numero di passate.

Il rilevato per tutta la sua altezza dovrà presentare i requisiti di densità riferita alla densità massima secca AASHO modificata non inferiore al 90%. Ogni strato sarà costipato alla densità sopra specificata procedendo alla preventiva essiccazione del materiale se troppo umido, oppure al suo inaffiamento, se troppo secco, in modo da conseguire una umidità non diversa da quella ottima predeterminata in laboratorio, ma sempre inferiore al limite di ritiro. L'Impresa non potrà procedere alla stesa degli strati successivi senza la preventiva approvazione della Direzione Lavori. Ogni strato dovrà presentare una superficie superiore conforme alla sagoma dell'opera finita così da evitare ristagni di acqua e danneggiamenti. Non si potrà sospendere la costruzione del rilevato,



comunque sia la causa, senza che ad esso sia stata data una configurazione e senza che nell'ultimo strato sia stata raggiunta la densità prescritta. Le attrezzature di costipamento saranno lasciate alla libera scelta dell'Impresa ma dovranno essere comunque atte ad esercitare sul materiale, a seconda del tipo di esso, un genere di energia costipante tale da assicurare il raggiungimento delle densità prescritte e previste per ogni singola categoria di lavoro.

Classificazione generale	Terre ghiaio - argillose Frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 ≤ 35%						Terre limo - argillose Frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 > 35%					Torbe e terre organiche palustri	
	A 1		A 3	A 2			A 4	A 5	A 6	A 7			A 8
Gruppo	A 1-a	A 1-b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7				A 7-5	A 7-6	
Analisi granulometrica Frazione passante allo staccio													
2 UNI 2332 %	≤ 50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,4 UNI 2332 %	≤ 30	≤ 50	> 50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,075 UNI 2332 %	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35	> 35
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0,4 UNI 2332													
Limite liquido	–	–	–	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40	> 40
Indice di plasticità	≤ 6	–	N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	IP ≤ LL - 30	IP > LL - 30	IP > LL - 30
Indice di gruppo	0		0	0			≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20		
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Ghiaia o breccia, ghiaia o breccia sabbiosa, sabbia grossa, pomice, scone vulcaniche, pozzolane		Sabbia fina	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi poco compressibili	Limi fortemente compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili plastiche	Torbe di recente o remota formazione, detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	Da eccellenti a buono						Da mediocre a scadente						Da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Nessuna e lieve			Media			Molto elevata	Media	Elevata	Media			
Ritiro o rigonfiamento	Nullo			Nullo o lieve			Lieve o medio	Elevato	Elevato	Molto elev.			
Permeabilità	Elevata			Media o scarsa			Scarsa o nulla						
Identificazione dei terreni in sito	Facilmente individuabili a vista		Aspri al tatto. Incoerenti allo stato asciutto	La maggior parte dei granuli sono individuabili ad occhio nudo. Aspri al tatto. Una tenacità media o elevata allo stato asciutto indica la presenza di argilla.			Reagiscono alla prova di scuotimento*. Polverulenti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido.	Non reagiscono alla prova di scuotimento*. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido.					Fibrosi di color bruno o nero. Facilmente individuabili a vista.

* Prova di cantiere che può servire a distinguere i limi dalle argille. Si esegue scuotendo nel palmo della mano un campione di terra bagnata e comprimendolo successivamente fra le dita. La terra reagisce alla prova se, dopo lo scuotimento, apparirà sulla superficie un velo lucido di acqua libera, che scomparirà comprimendo il campione fra le dita.

Figura 37 – Classificazione delle terre CNR-UNI 10006

Si rimanda in ogni caso a quanto previsto da Capitolato speciale d'appalto, elaborato da redigere nell'ambito della successiva fase di progettazione esecutiva.

7.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE DI STABILITÀ DEL RILEVATO

In accordo con il punto 2.5.1.3 delle NTC 2018 si definiscono, relativamente alle opere in oggetto:

- **G1** = valore caratteristico delle azioni permanenti del peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
- **G2** = valore caratteristico delle azioni permanenti del peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- **Q_{k1}** = valore caratteristico dei sovraccarichi di base;



- Q_{ki} = valori caratteristici dei sovraccarichi “d’accompagnamento”, che possono agire contemporaneamente a quelli di base;
- A = azioni eccezionali, quali ad esempio incendi, esplosioni, urti ed impatti;
- E = azioni derivanti dai terremoti (qualora da considerare).

7.2.1 Combinazioni delle Azioni

Le combinazioni di carico adoperate con i relativi coefficienti di sicurezza parziali sui carichi sono, relativamente alle opere in oggetto, con E_d = azione di calcolo da utilizzare nelle verifiche:

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E :

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A :

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell’azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

I precedenti coefficienti parziali di sicurezza (γ) e quelli di combinazione (ψ) sono dati dai seguenti prospetti:



Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qs}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti G_1 ;

γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali G_2 ;

γ_{Qs} coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.



Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

7.2.2 Metodi di analisi

Le verifiche da realizzare per il rilevato arginale in progetto sono le seguenti:

- verifica allo scivolamento;
- verifica al ribaltamento;

Verifica a scorrimento

Per mezzo di questa verifica viene assicurata la stabilità delle opere nei confronti di un meccanismo di collasso tale per cui l'intera opera di difesa va a scorrere sul piano di appoggio al terreno di fondazione. La verifica è espressa analiticamente dalla seguente relazione:

$$\frac{S_R}{S_S} \leq FS_{\text{scorrimento}}$$

Dove S_R è la risultante delle forze orizzontali che tendono a stabilizzare l'opera, mentre S_S è la risultante delle forze che tendono a destabilizzare l'opera. $FS_{\text{scorrimento}}$ è il fattore di sicurezza imposto nei confronti del collasso per scorrimento.

Verifica a ribaltamento

Per mezzo di questa verifica viene assicurata la stabilità dell'opera nei confronti di un meccanismo di collasso tale per cui l'intera opera tende a ruotare intorno ad un polo prefissato. Il polo prefissato va a coincidere con il punto dell'opera più basso e più a sinistra dell'opera (piede sinistro dell'opera). La verifica è espressa analiticamente dalla seguente relazione:

$$\frac{M_S}{M_R} \leq FS_{\text{ribaltamento}}$$

Dove M_S è il momento risultante stabilizzante mentre M_R è il momento risultante ribaltante. $FS_{\text{ribaltamento}}$ è il fattore di sicurezza imposto nei confronti del collasso per ribaltamento.



7.2.1 Calcolo delle spinte

7.2.1.1 Calcolo della spinta attiva

La spinta attiva è stata calcolata con il metodo di Coulomb, metodo capace di tenere in conto le variabili più significative, soprattutto con riguardo al fenomeno attritivo che si genera all'interfaccia paratia-terreno. Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione (valutata alla profondità z):

$$\sigma_h(z) = k_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta totale, che è l'integrale della relazione precedente su tutta l'altezza, è applicata ad $1/3$ di H e si calcola con la seguente espressione:

$$S_t(z) = \frac{1}{2} k_a \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Avendo indicato con k_a il valore del coefficiente di pressione attiva, determinabile con la seguente relazione:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_a = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta - \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \\ \text{con } \delta < (\beta - \phi - \varepsilon) \text{ secondo Muller-Breslau} \end{array} \right.$$

- γ_t = Peso unità di volume del terreno;
- β = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;
- ϕ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;
- δ = Angolo di attrito terreno-paratia (positivo se antiorario);
- ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale (positiva se antioraria).

7.2.1.2 Spinta in presenza di acqua a tergo della struttura

L'azione di un battente idrico H_w dalla base della struttura, induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z sono espresse come segue:

$$u(z) = \gamma_w \cdot z$$



La spinta idrostatica totale si ottiene per integrazione su tutta l'altezza della relazione precedente:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

Avendo indicato con H l'altezza totale di spinta e con γ_w il peso dell'unità di volume dell'acqua. La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ^t ($\gamma^t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso specifico del materiale immerso in acqua. In condizioni sismiche la sovraspinta esercitata dall'acqua viene valutata nel seguente modo:

$$\Delta S_w = \frac{7}{8} \gamma_w \cdot H_w^2 \cdot C$$

applicata a 2/3 dell'altezza della falda H_w [Matsuo O'Hara (1960) Geotecnica, R. Lancellotta].

7.2.1 Verifica delle opere

È stata condotta la verifica del rilevato arginale in progetto considerando l'azione di spinta dell'acqua e l'ipotesi di spinta del terreno nel caso di sedimentazione a ridosso del rilevato. I battenti considerati sono quelli desunti dalla consultazione delle simulazioni idrauliche condotte nell'ambito della presente progettazione, in occasione di un evento di piena duecentennale (cfr. §5.1).

Si riporta nel seguito la sintesi dei coefficienti di sicurezza calcolati per i rilevati arginali del Rio delle Chiese in corrispondenza di tre differenti sezioni di progetto, mentre per il dettaglio delle analisi condotte si rimanda all'Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..

VERIFICA SCIVOLAMENTO A1+M1+R3	FS	Verifica
Sezione 6	4.6	SI
Sezione 14	4.3	SI
Sezione 18	4.6	SI
VERIFICA A RIBALTAMENTO EQU+M2	FS	Verifica
Sezione 6	39.5	SI
Sezione 14	74.1	SI
Sezione 18	63.2	SI

7.3 VERIFICHE A SIFONAMENTO

Nel presente paragrafo viene descritta la verifica a sifonamento condotta sulla sezione n. 6 di progetto (cfr. Figura 38), selezionata in quanto rappresenta la condizione più sfavorevole rispetto ai fenomeni di sifonamento tra tutte le sezioni analizzate. Tale sezione, infatti, presenta le caratteristiche geometriche e idrauliche più critiche, risultando maggiormente sollecitata dai potenziali moti di filtrazione.



Tabella 12 – Verifica a sifonamento della sezione di progetto n. 6 attraverso l'analisi del reticolo di flusso stazionario.

Sezione di progetto	Battente lato fiume m	Peso di Volume sat (kN/m ³)	i_c	L_{filtr} m	i_e	FS	Verifica
6	0.7	18.5	0.85	8	0.09	9	SI

Il calcolo effettuato con la metodologia descritta ha permesso di stabilire che, nel caso si instaurasse un moto in regime stazionario tra la zona a valle del rilevato arginale e la zona a monte, in condizione di piena sorgerebbero filtrazioni che tuttavia non metterebbero a repentaglio la sicurezza dell'argine. Infatti, il percorso idraulicamente più breve per il moto di filtrazione garantisce comunque un fattore di sicurezza superiore al limite imposto. **L'argine risulta pertanto verificato al sifonamento.**

Analizzando il risultato ottenuto, è importante considerare che il margine di sicurezza nei confronti del sifonamento è stato calcolato sulla base di ipotesi idrauliche cautelative. Infatti, nella realtà, durante il transito di un'onda di piena il moto di filtrazione non fa normalmente in tempo a raggiungere il regime stazionario, poiché il livello idrico a valle del rilevato arginale varia, impedendo quindi l'instaurarsi di condizioni al contorno stazionarie che garantiscano una perdita di carico tra monte e valle costante nel tempo.

Inoltre, generalmente, la linea di imbibizione risale lungo il corpo del rilevato arginale con tempi più lunghi rispetto a quelli dell'evento stesso.



REGIONE PIEMONTE – Provincia del Verbano-Cusio-Ossola
Comune di Vogogna

Interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce

Progetto di fattibilità tecnica ed economica



ALLEGATI



REGIONE PIEMONTE – Provincia del Verbano-Cusio-Ossola
Comune di Vogogna

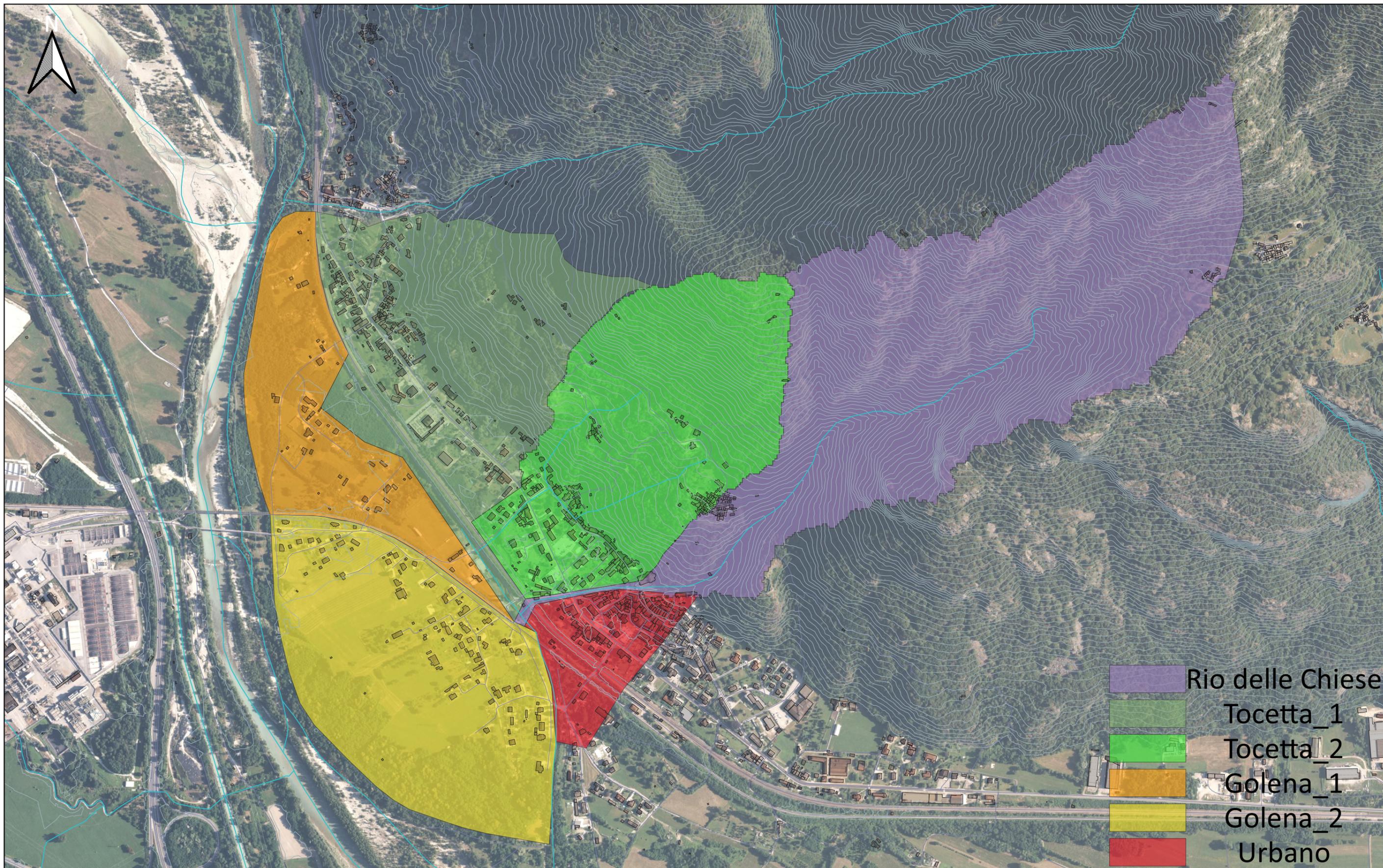
Interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce

Progetto di fattibilità tecnica ed economica



ALLEGATO 1

– Carta dei bacini idrografici –



ALLEGATO 1 - Carta dei bacini idrografici
Base carta: Bing Satellite - BDTRE Regione Piemonte
Scala 1:8.000



REGIONE PIEMONTE – Provincia del Verbano-Cusio-Ossola
Comune di Vogogna

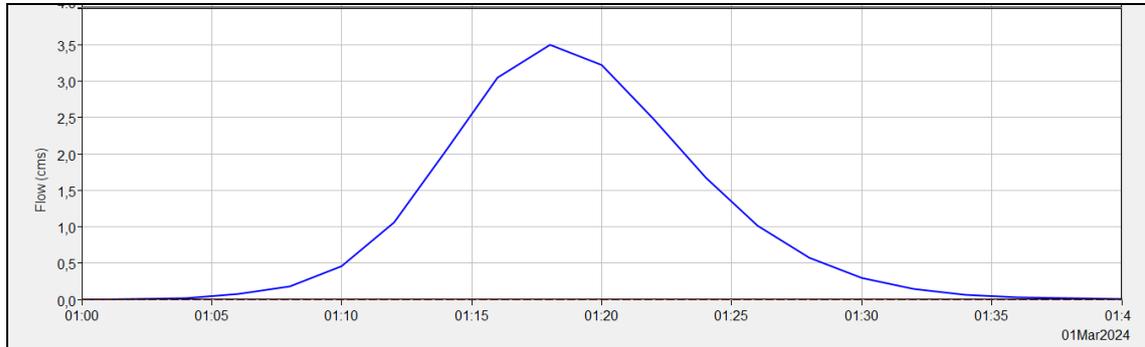
Interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

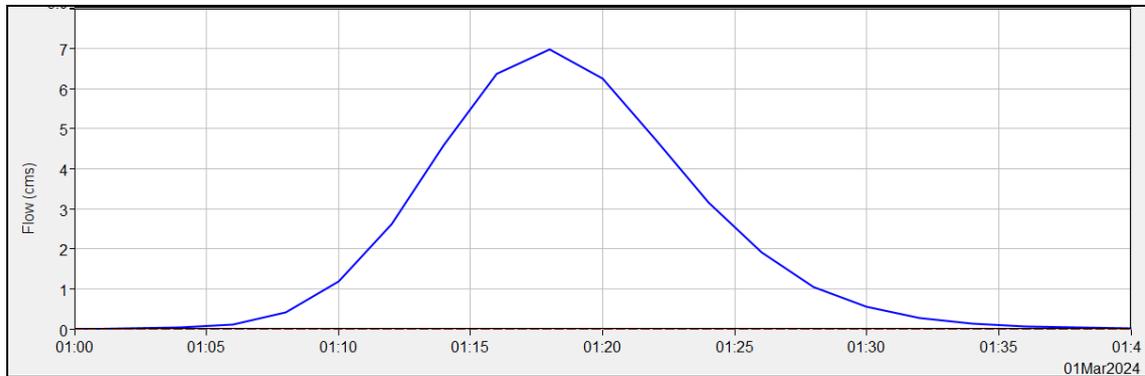


ALLEGATO 2

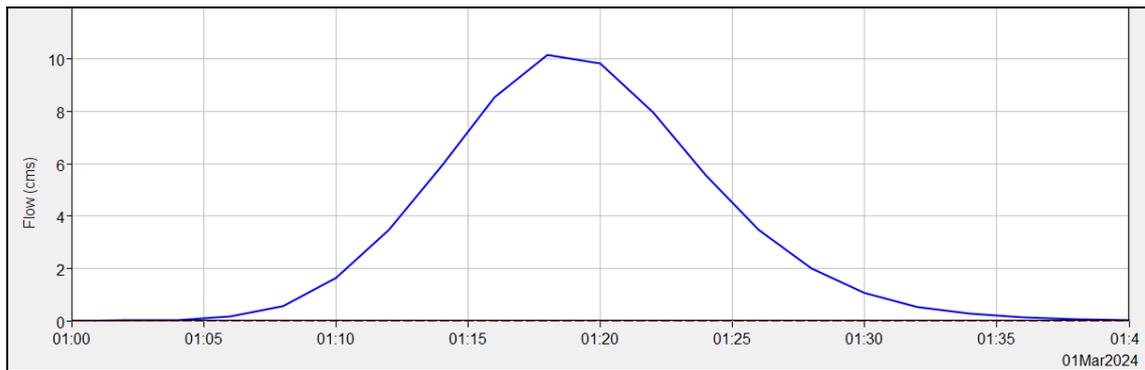
– Idrogrammi di progetto –



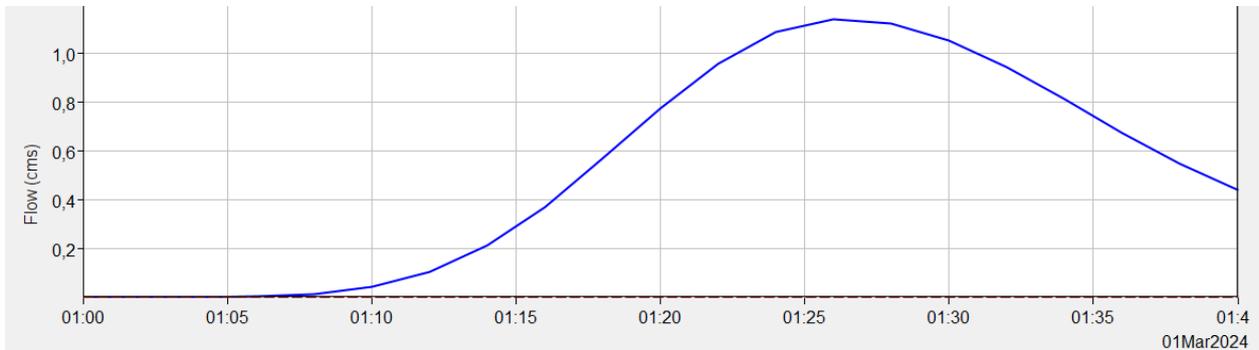
Idrogramma di piena TR 10 anni per il bacino Rio delle Chiese



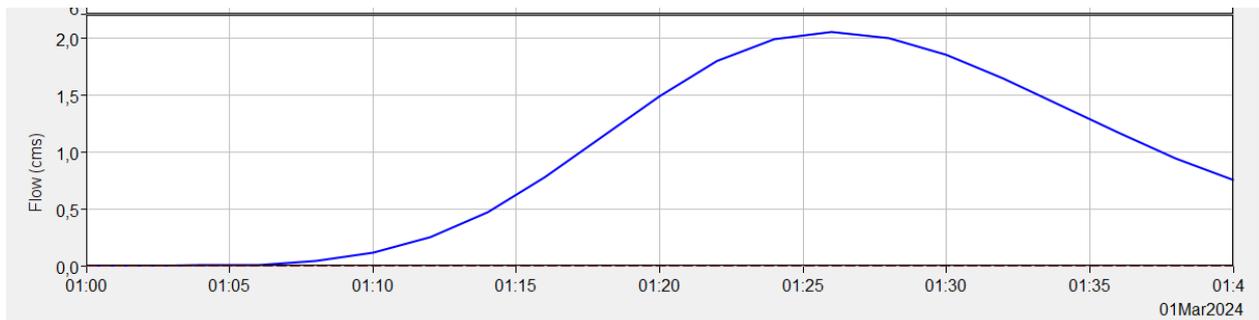
Idrogramma di piena TR 50 anni per il bacino Rio delle Chiese



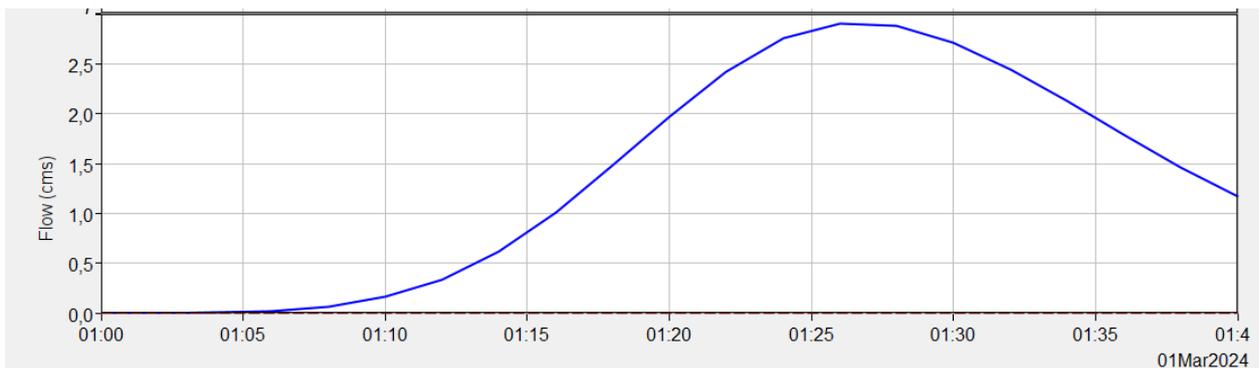
Idrogramma di piena TR 200 anni per il bacino Rio delle Chiese



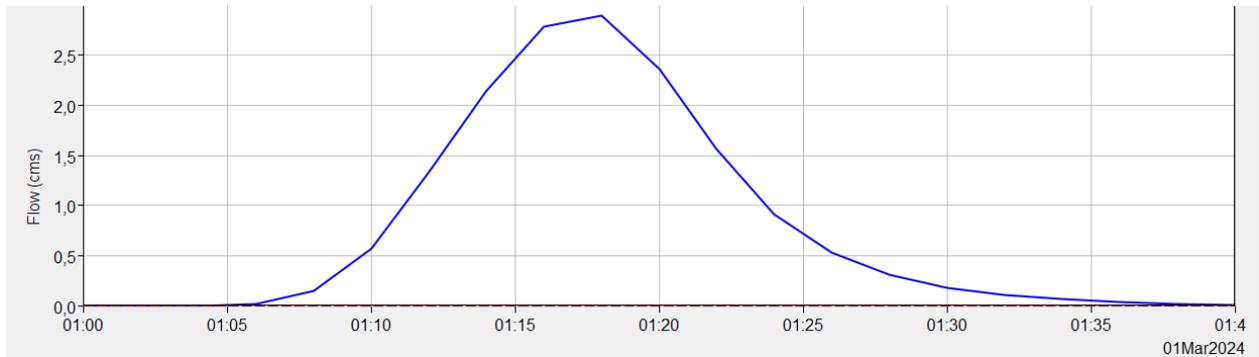
Idrogramma di piena TR 10 anni per il bacino Tocetta 1



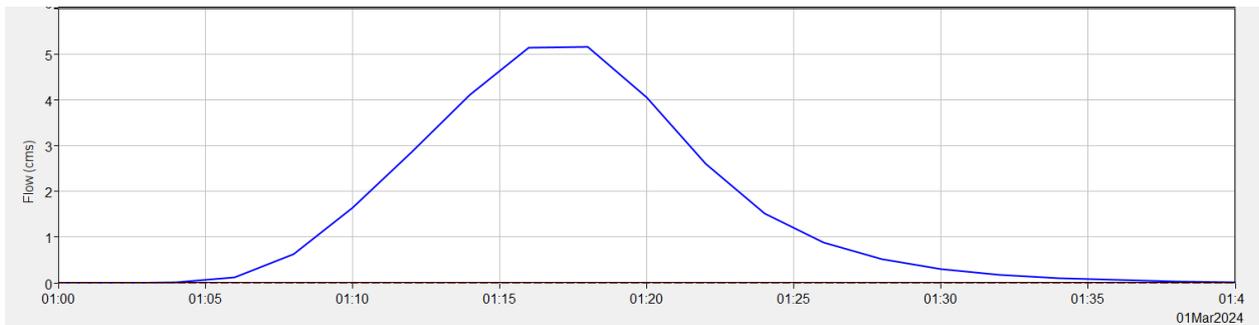
Idrogramma di piena TR 50 anni per il bacino Tocetta 1



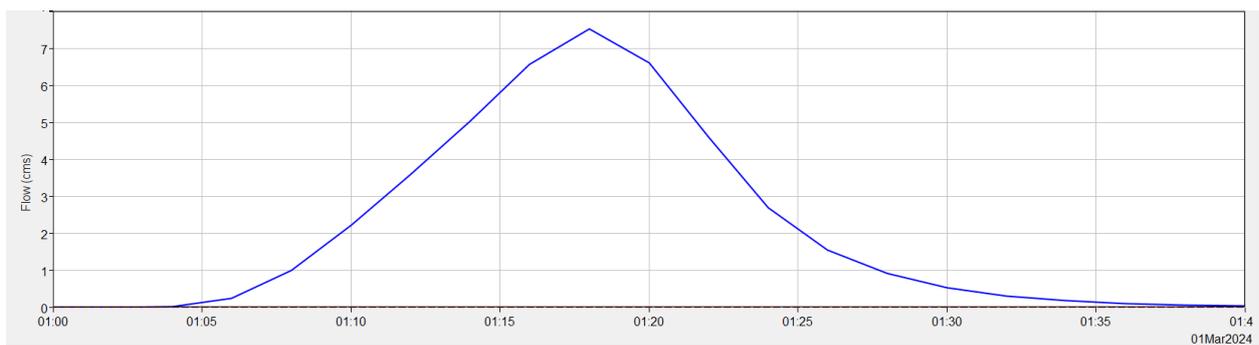
Idrogramma di piena TR 200 anni per il bacino Tocetta 1



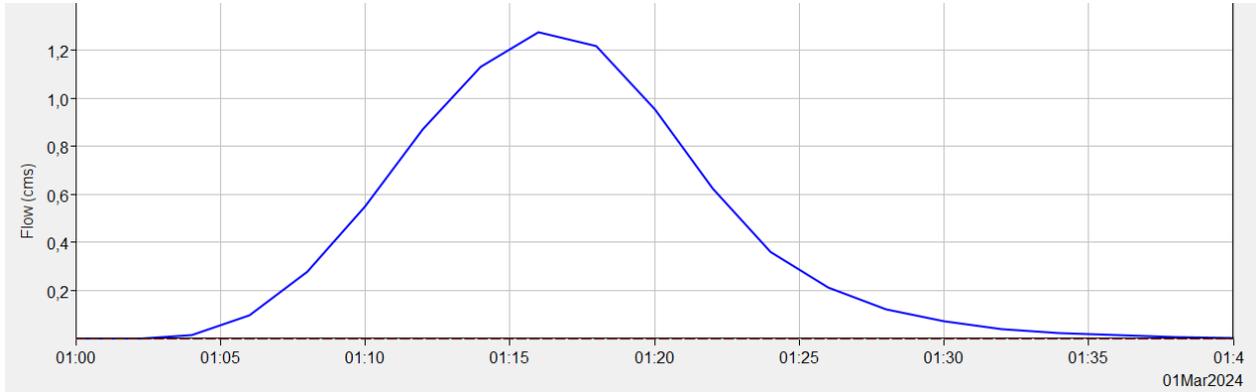
Idrogramma di piena TR 10 anni per il bacino Tocetta 2



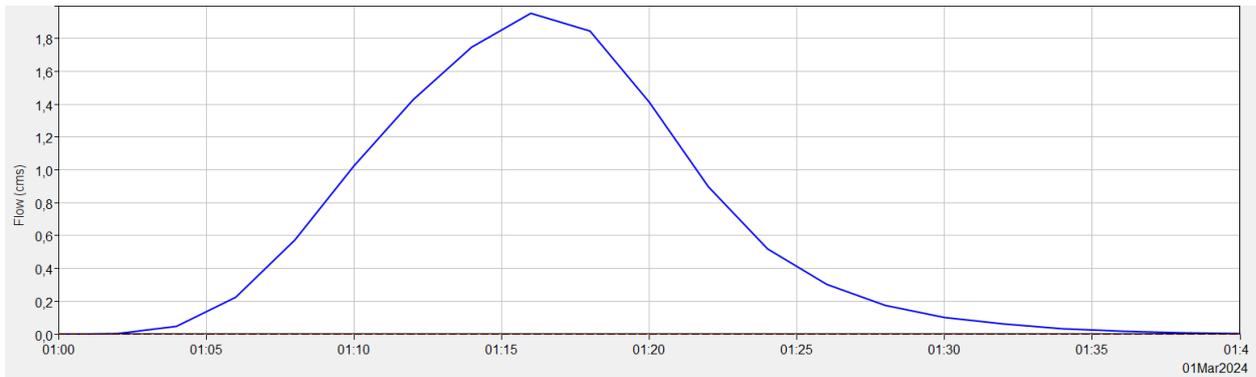
Idrogramma di piena TR 50 anni per il bacino Tocetta 2



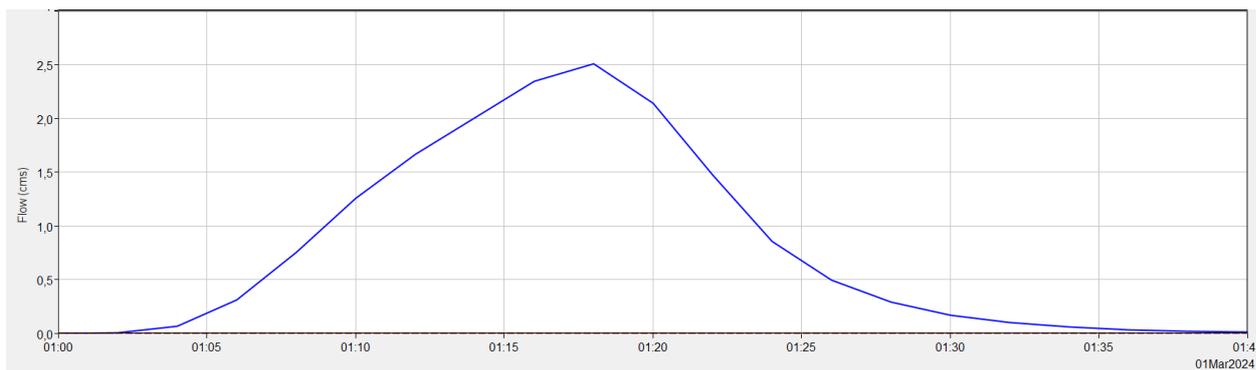
Idrogramma di piena TR 200 anni per il bacino Tocetta 2



Idrogramma di piena TR 10 anni per il bacino Urbano



Idrogramma di piena TR 50 anni per il bacino Urbano



Idrogramma di piena TR 200 anni per il bacino Urbano



REGIONE PIEMONTE – Provincia del Verbano-Cusio-Ossola
Comune di Vogogna

Interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce

Progetto di fattibilità tecnica ed economica



ALLEGATO 3

– Planimetria delle sezioni di calcolo –



ALLEGATO 3 - Planimetria delle sezioni di calcolo
Base carta: Bing Satellite - BDTRE Regione Piemonte
Scala 1:1.800



REGIONE PIEMONTE – Provincia del Verbano-Cusio-Ossola
Comune di Vogogna

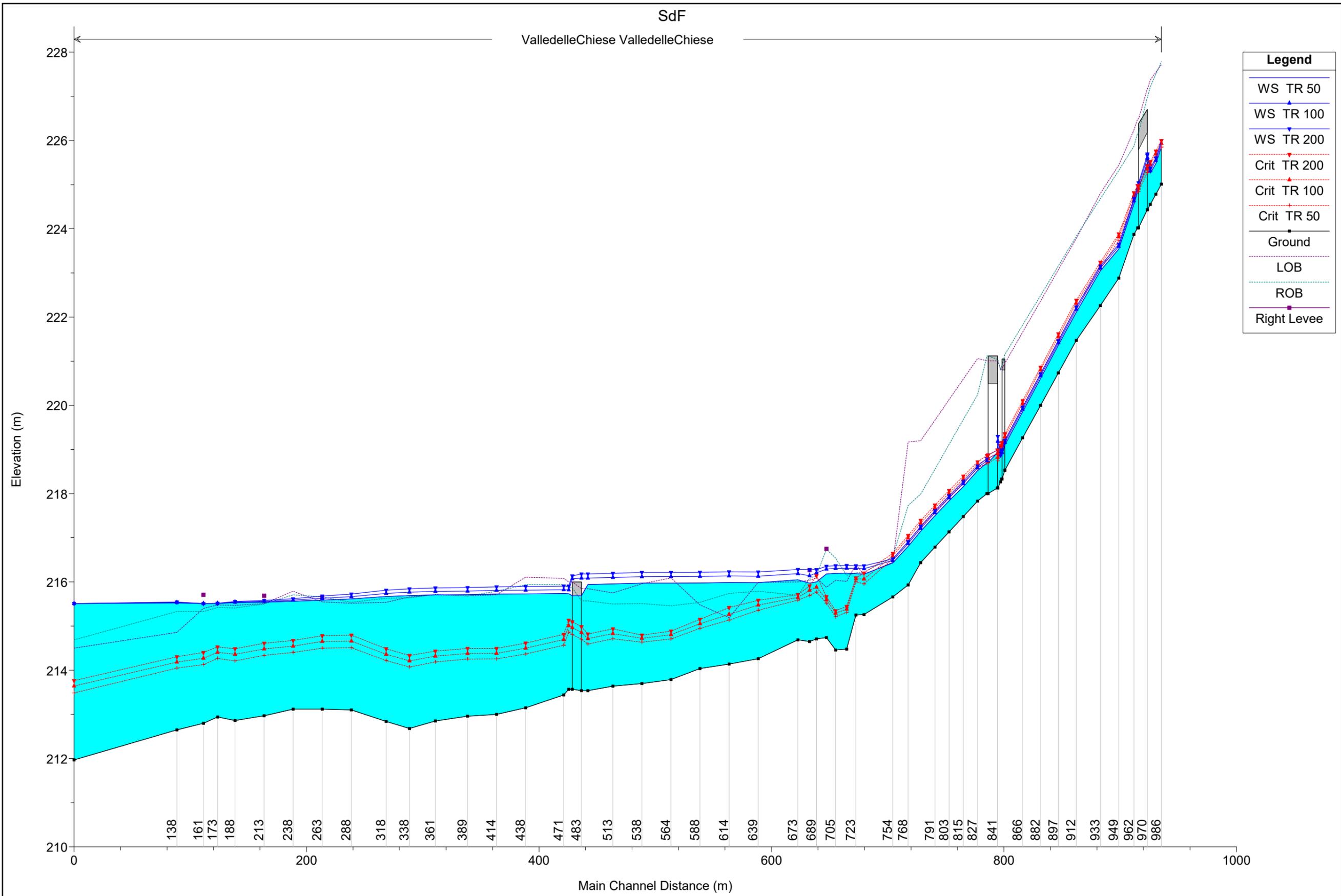
Interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce

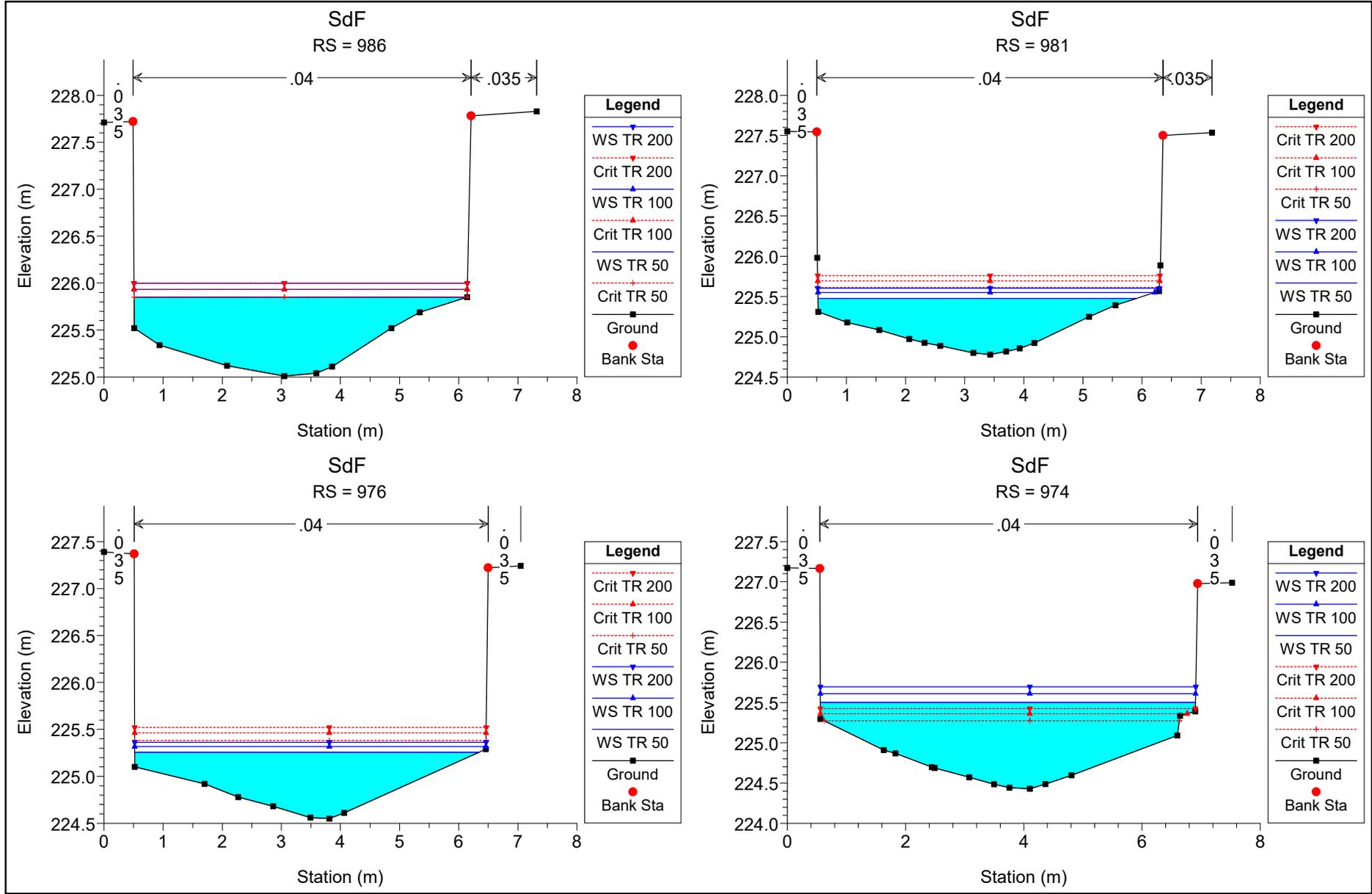
Progetto di fattibilità tecnica ed economica

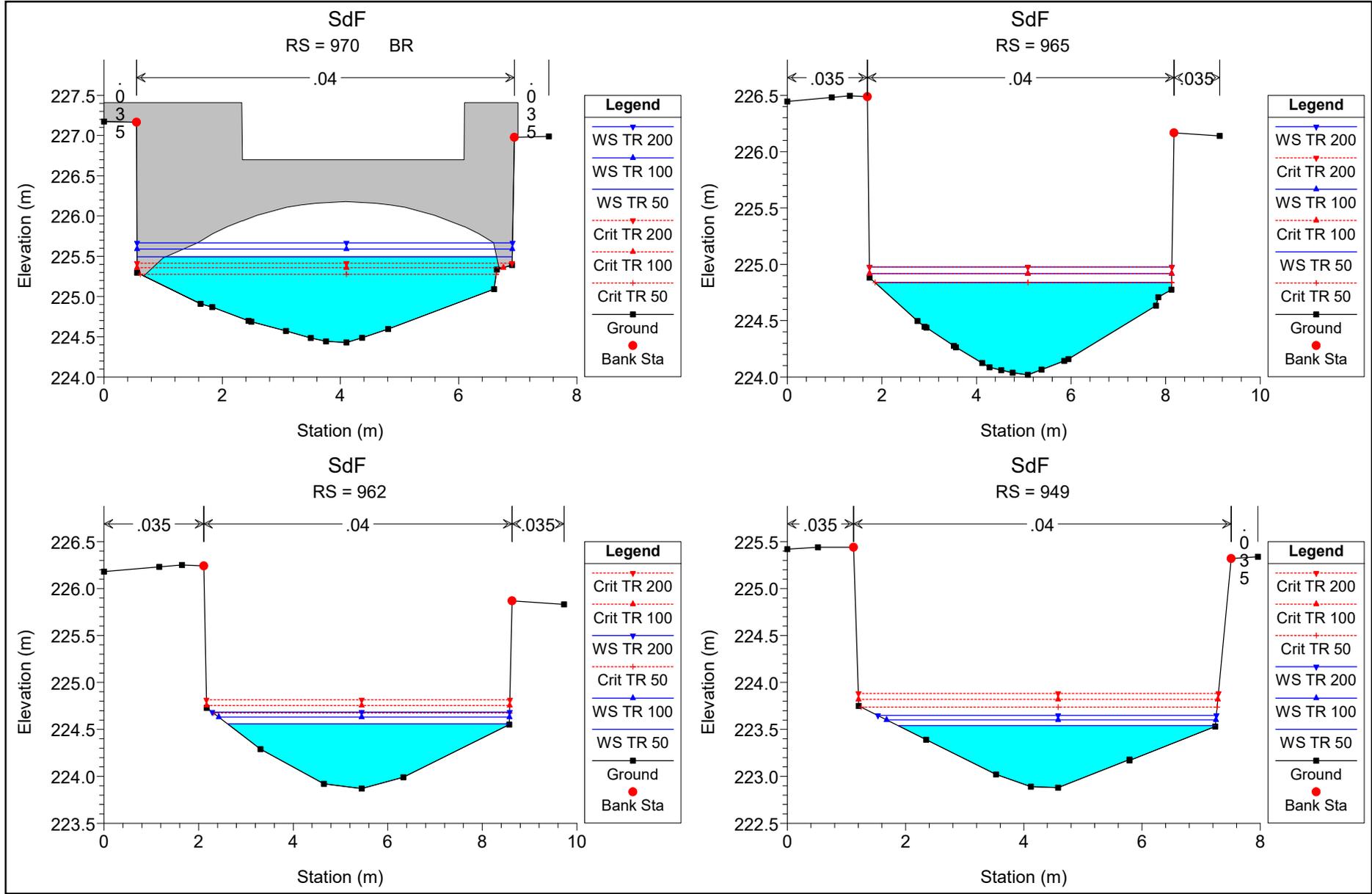


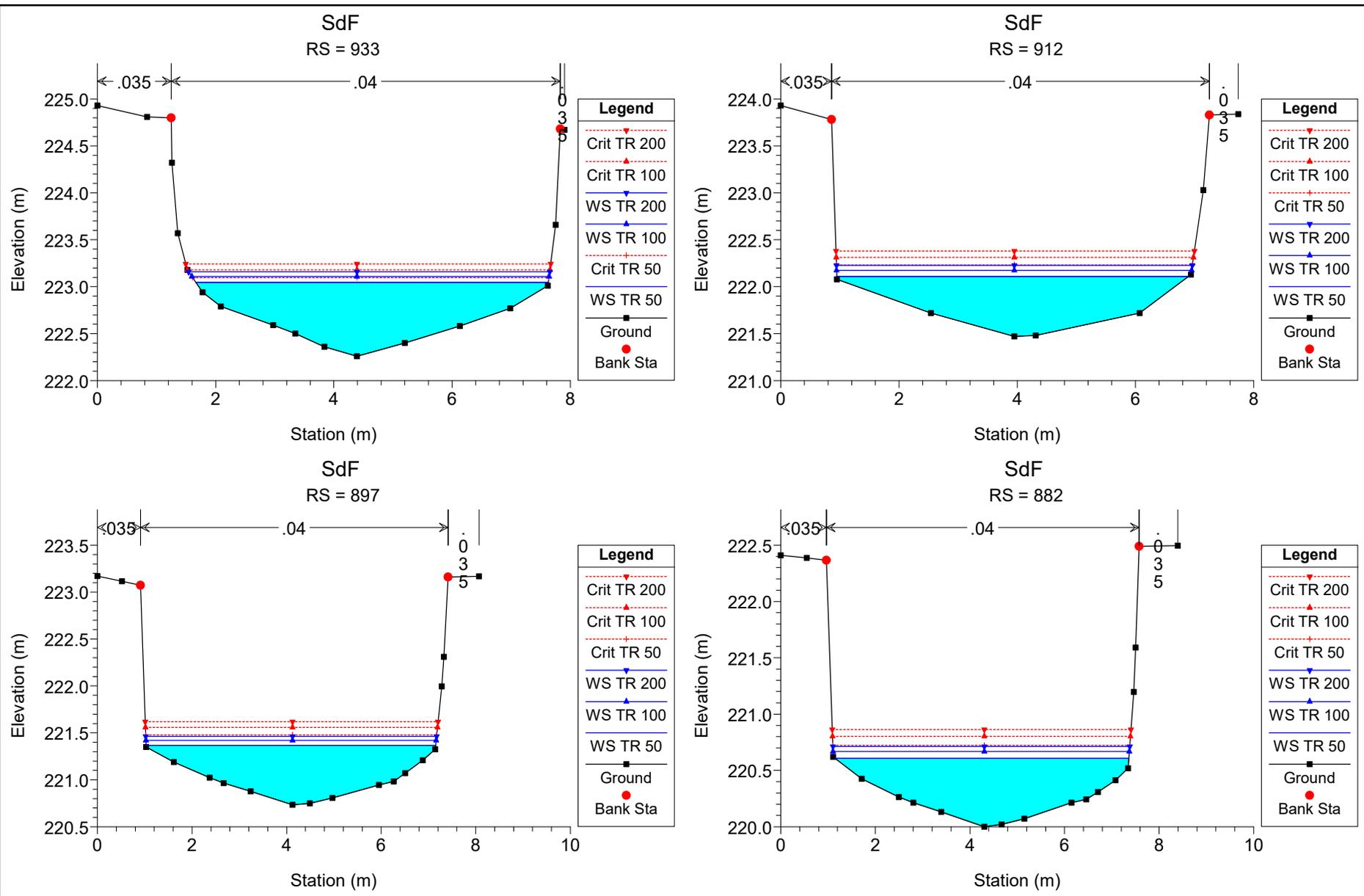
ALLEGATO 4

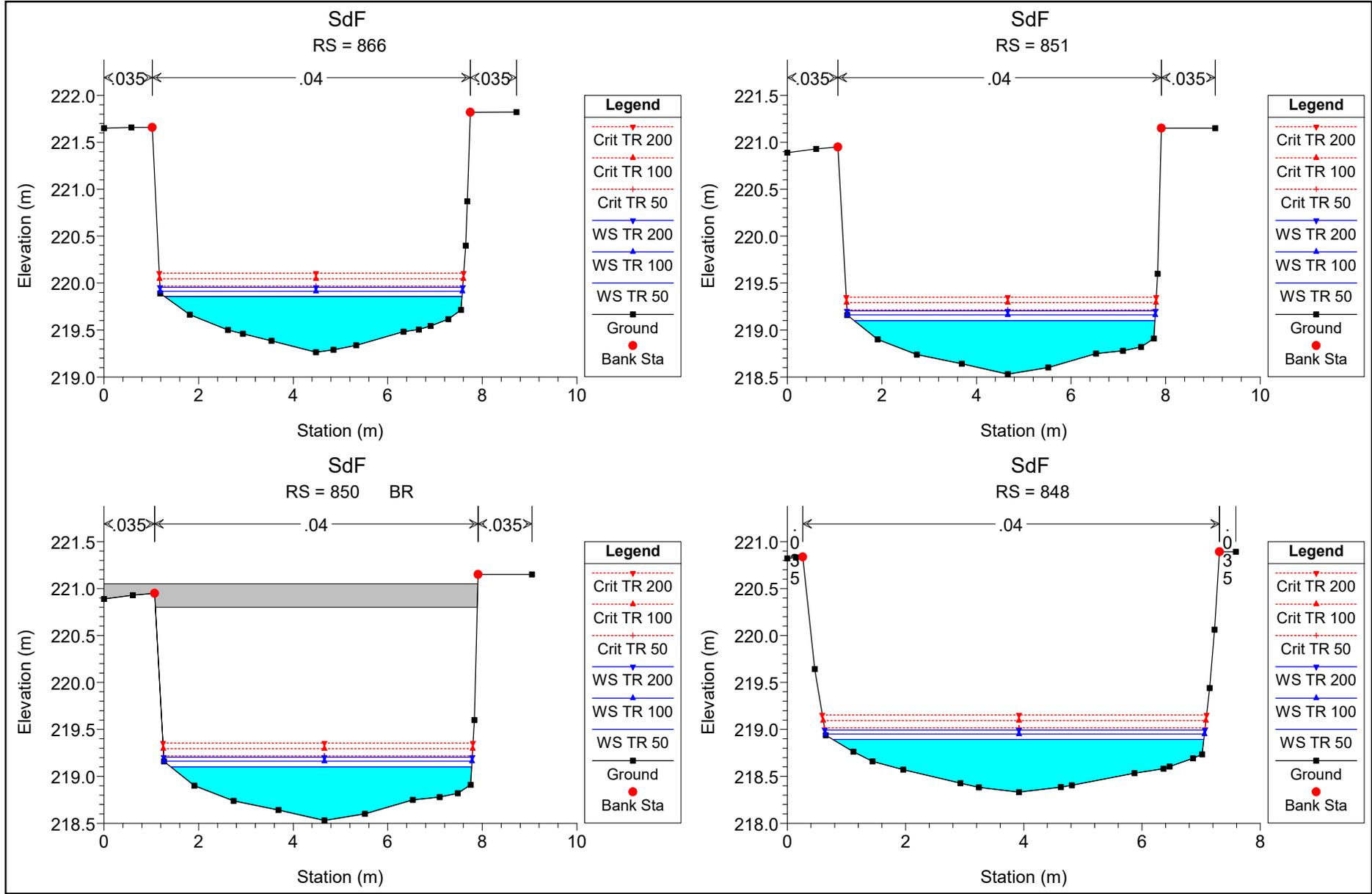
– Risultati delle simulazioni idrauliche – Stato di fatto–

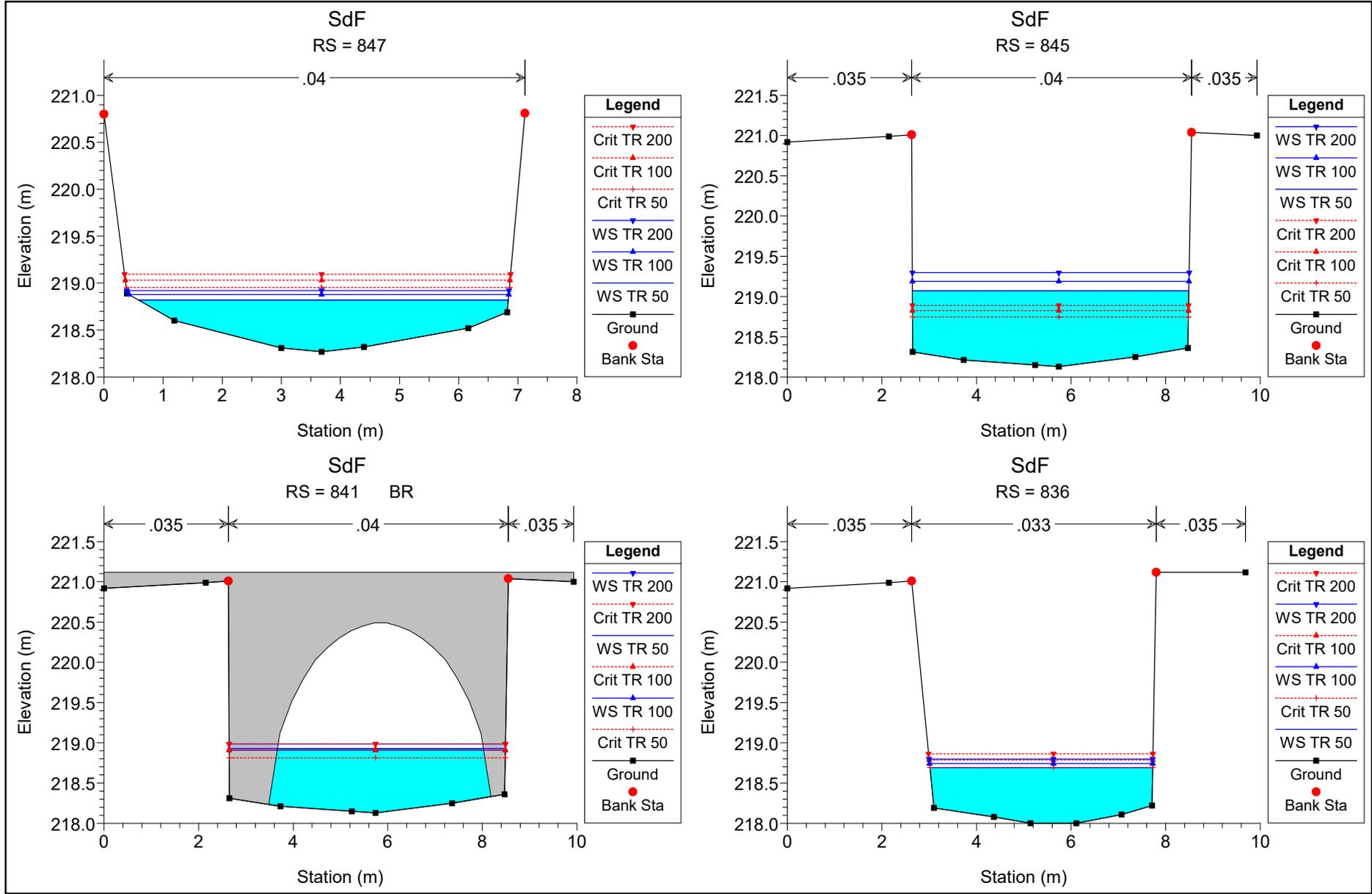


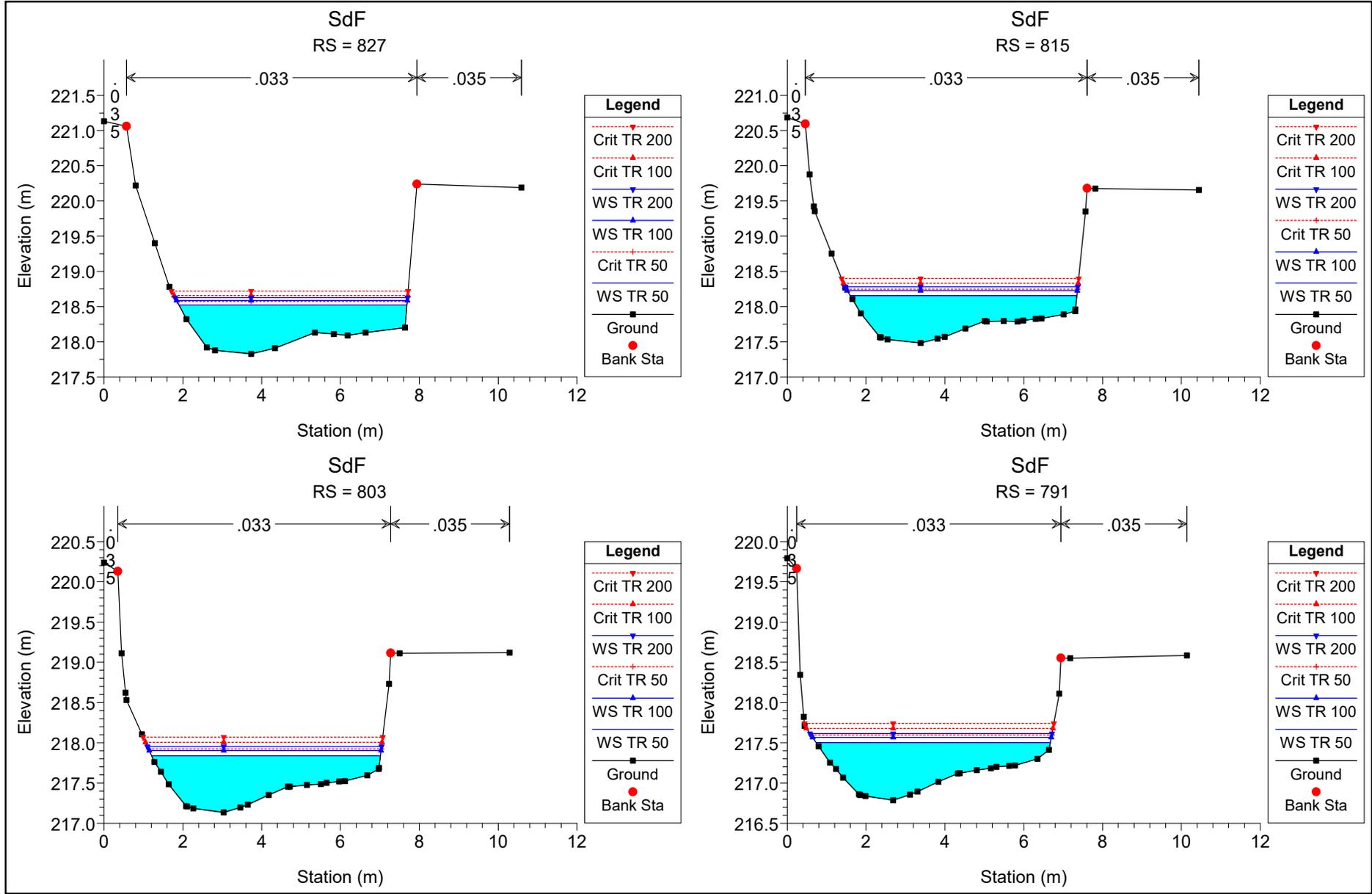


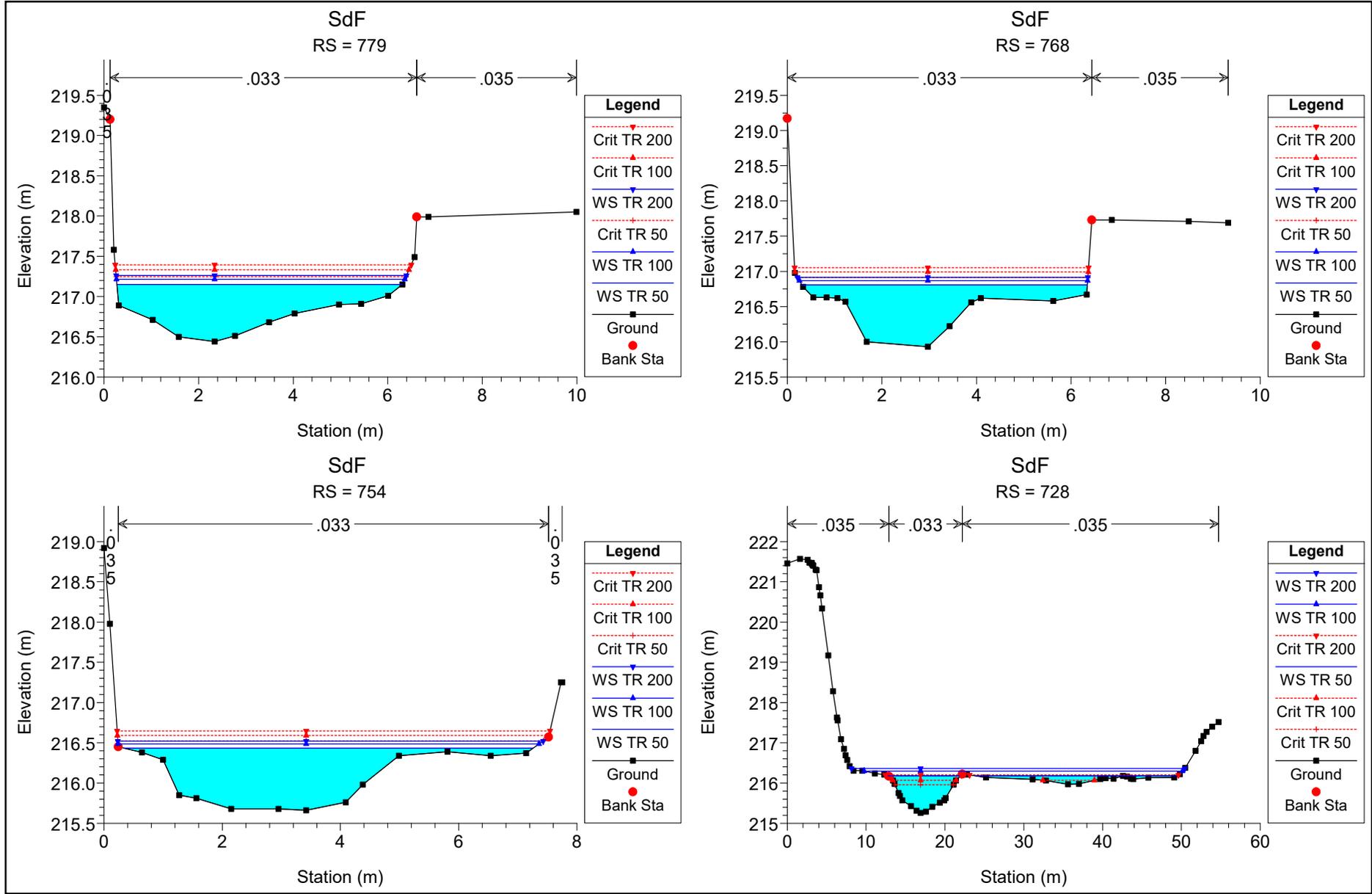


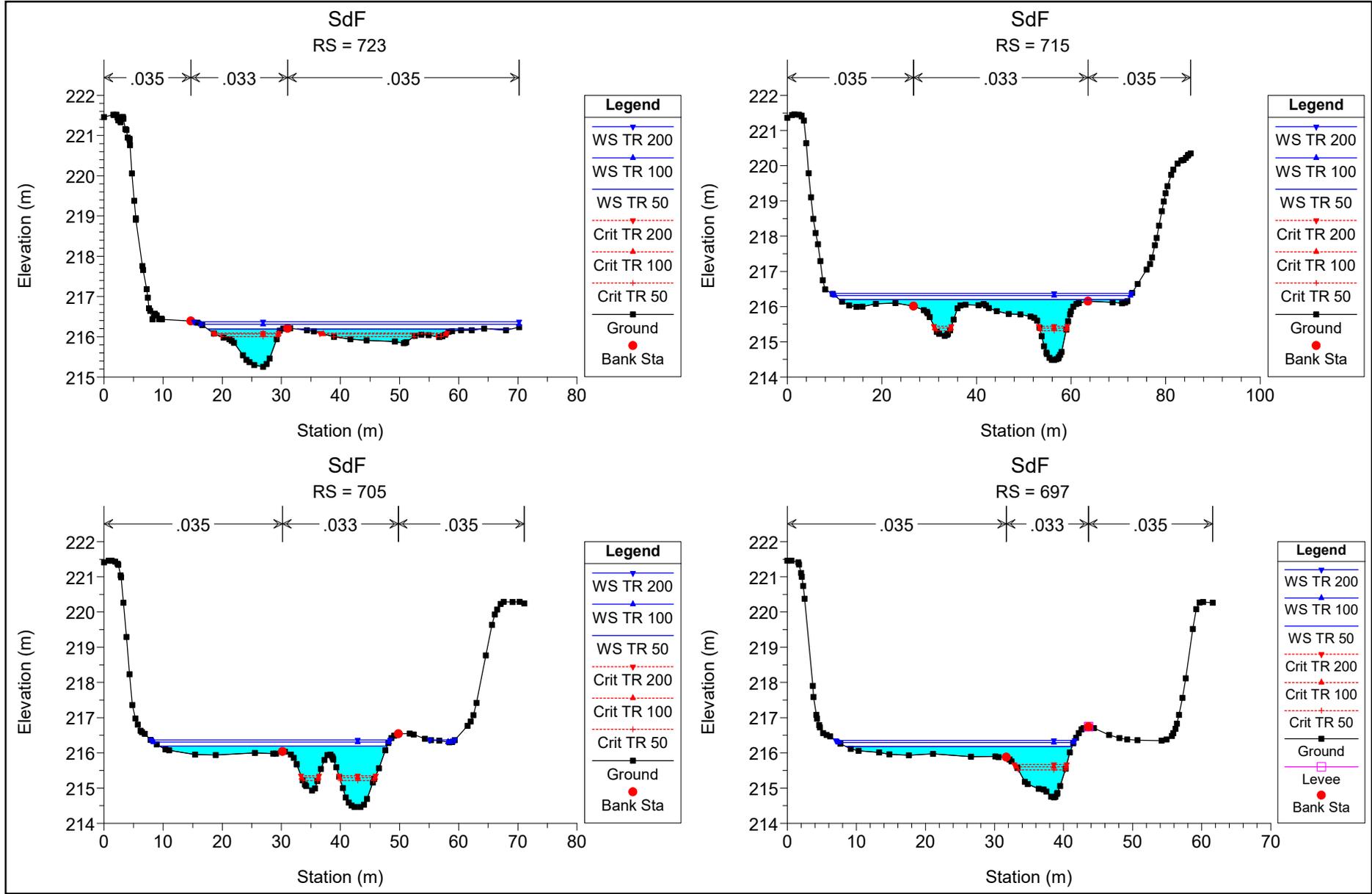


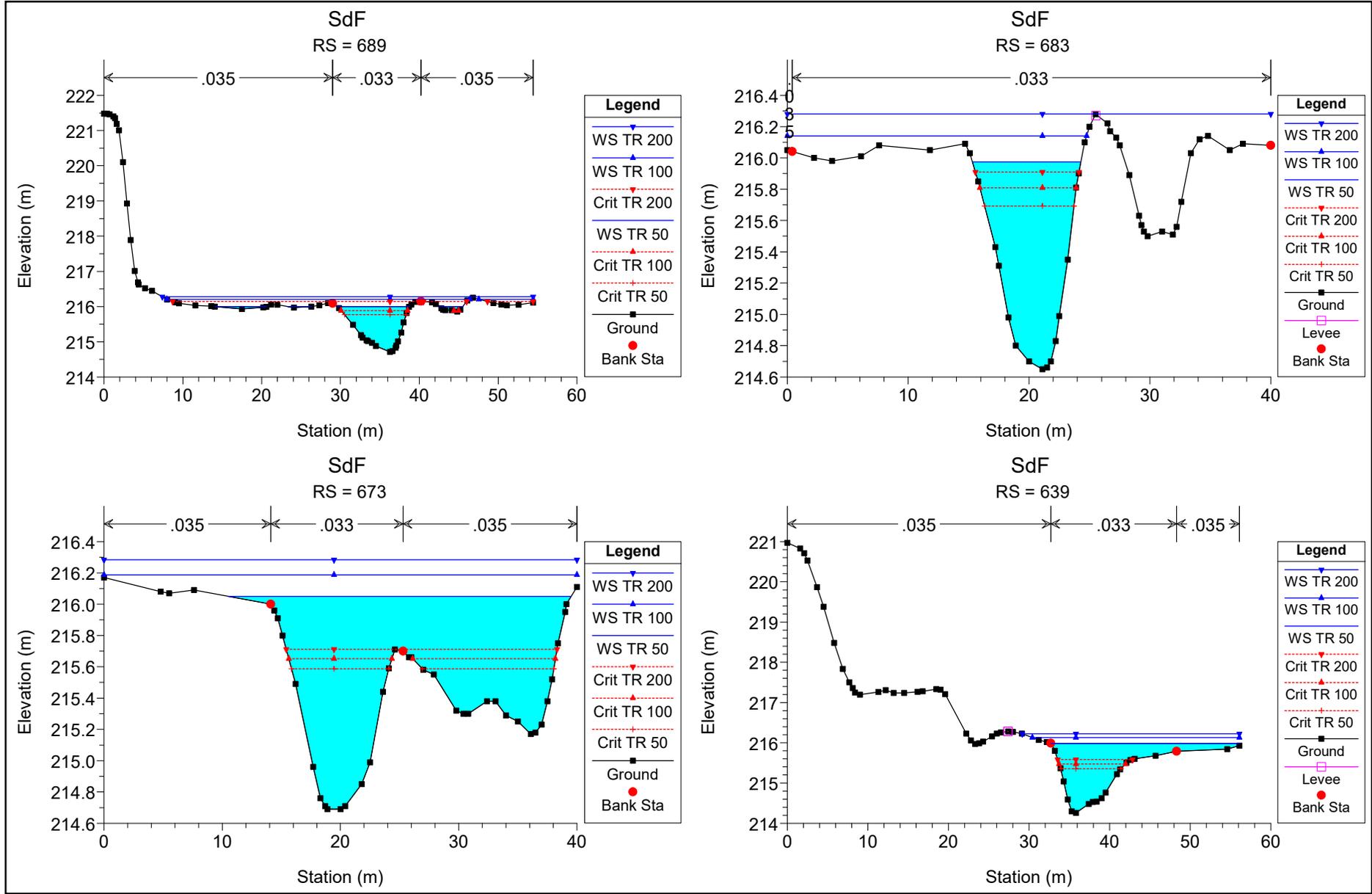


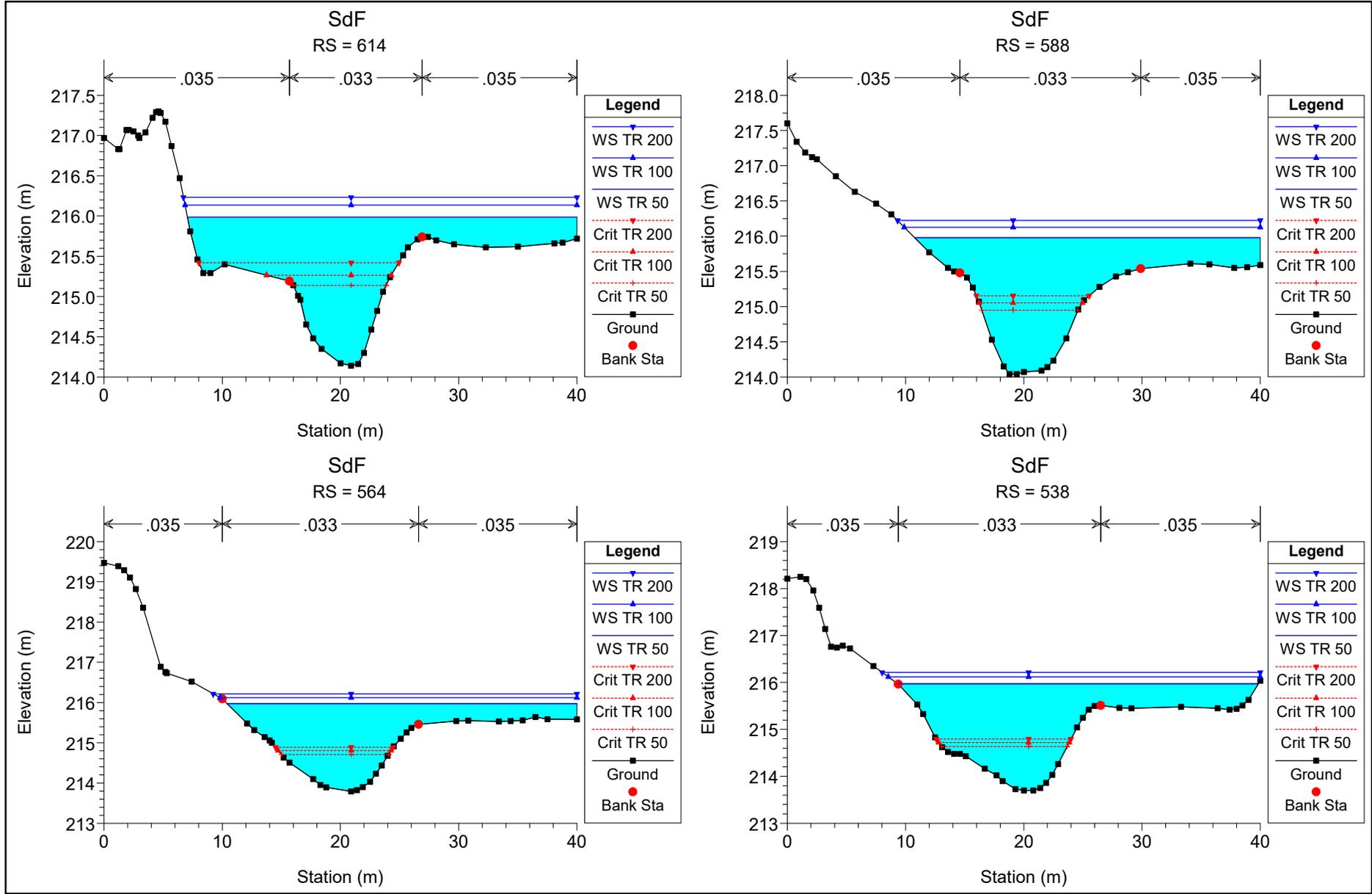


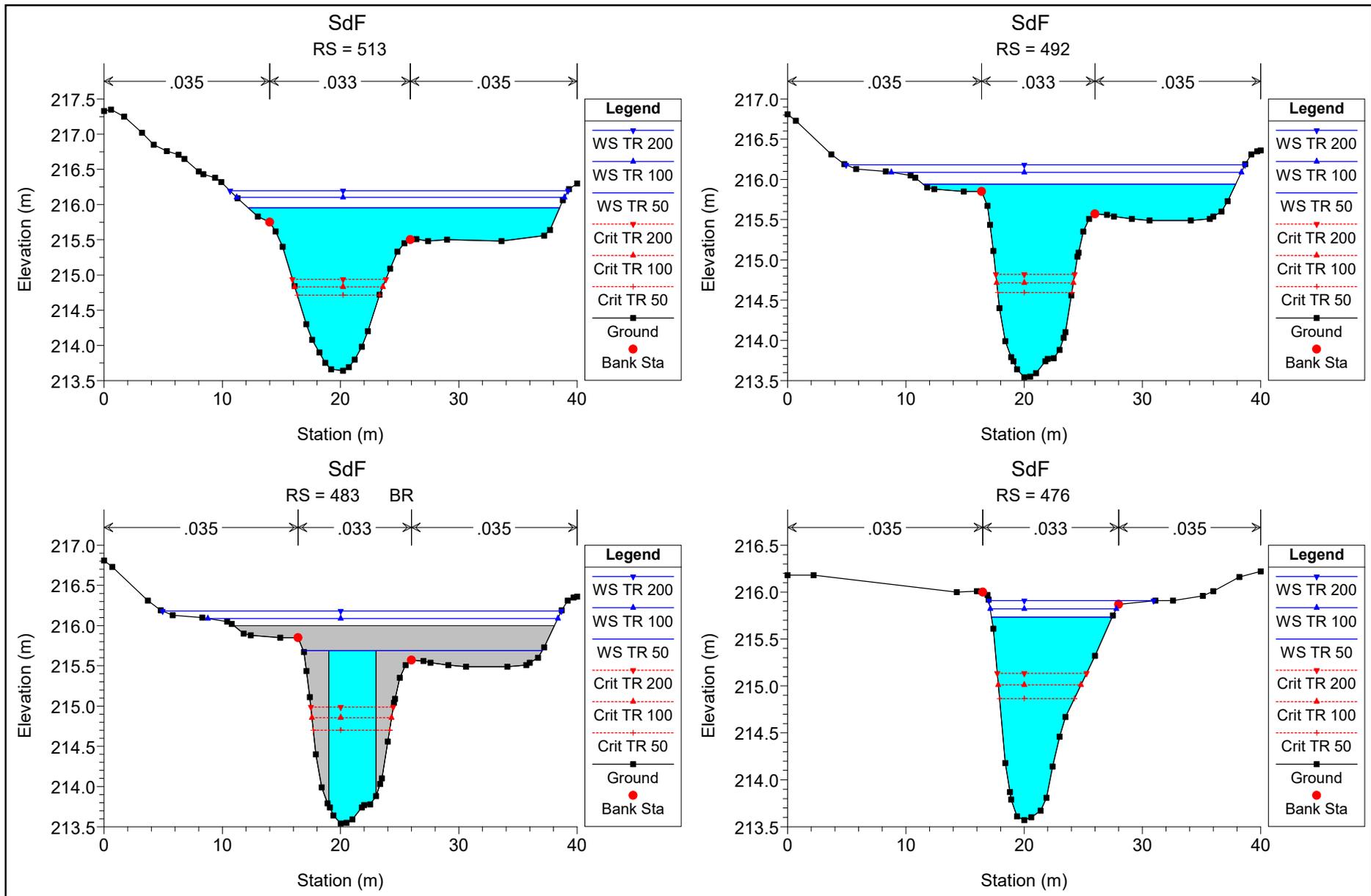


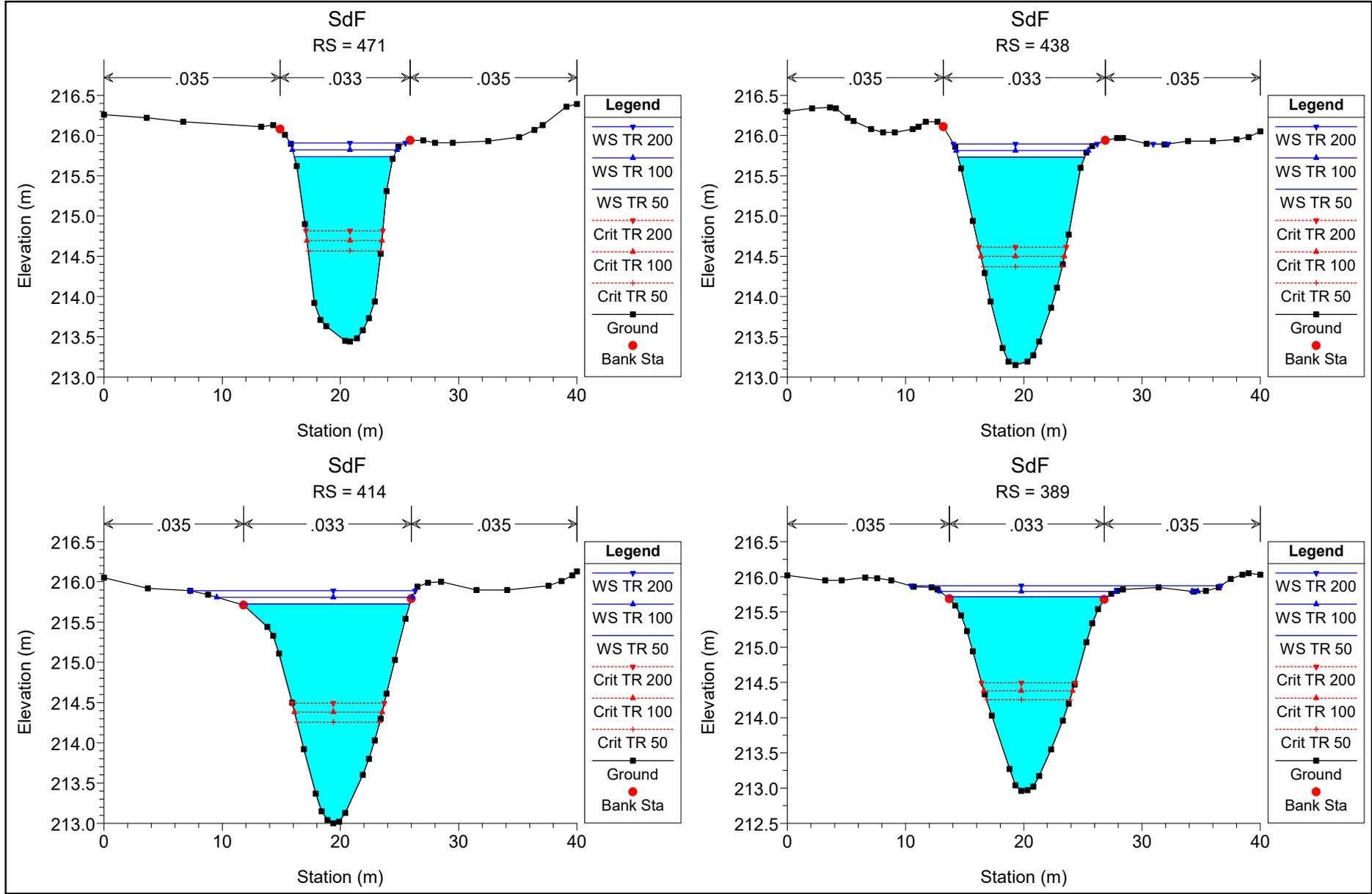


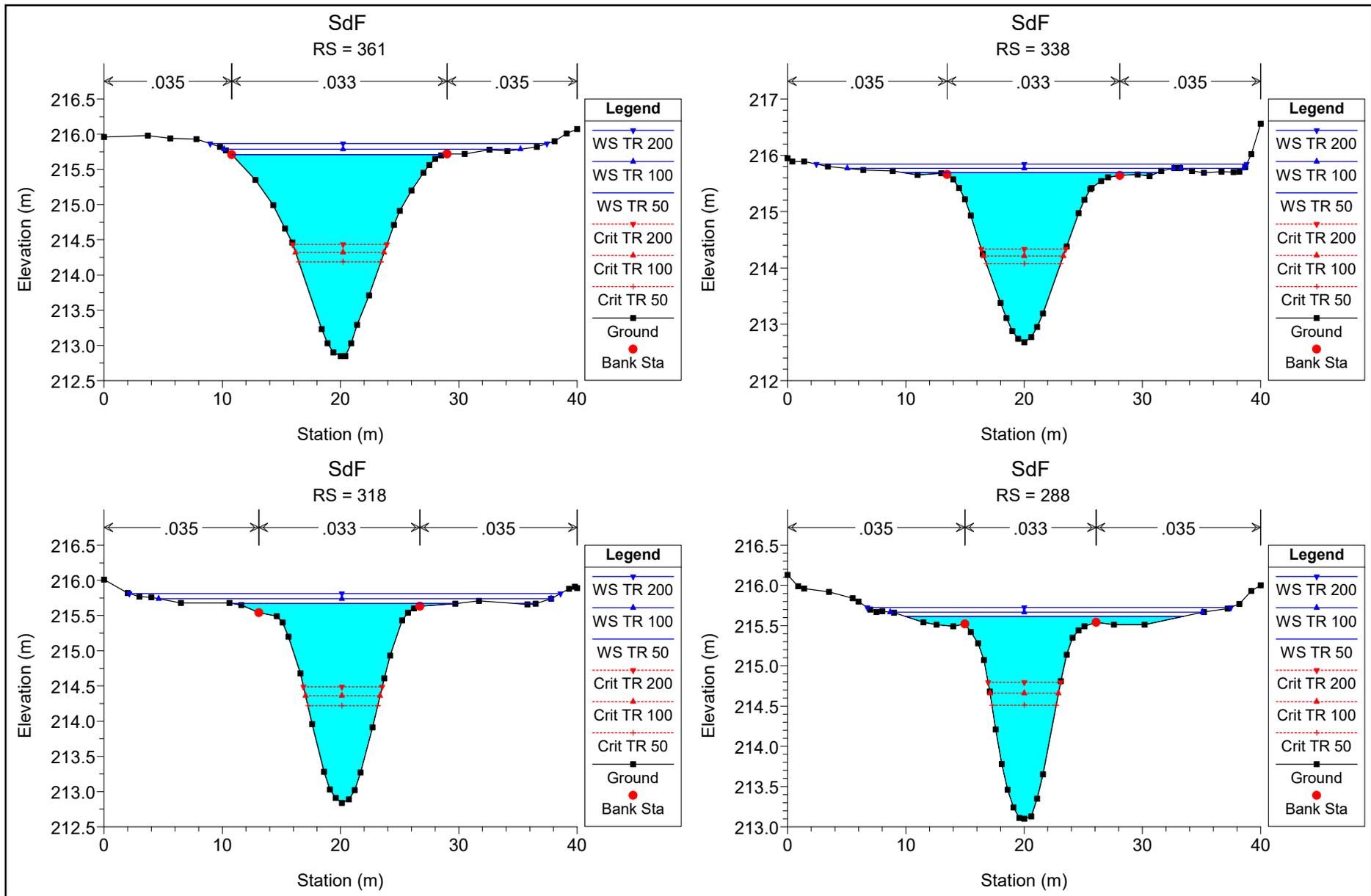


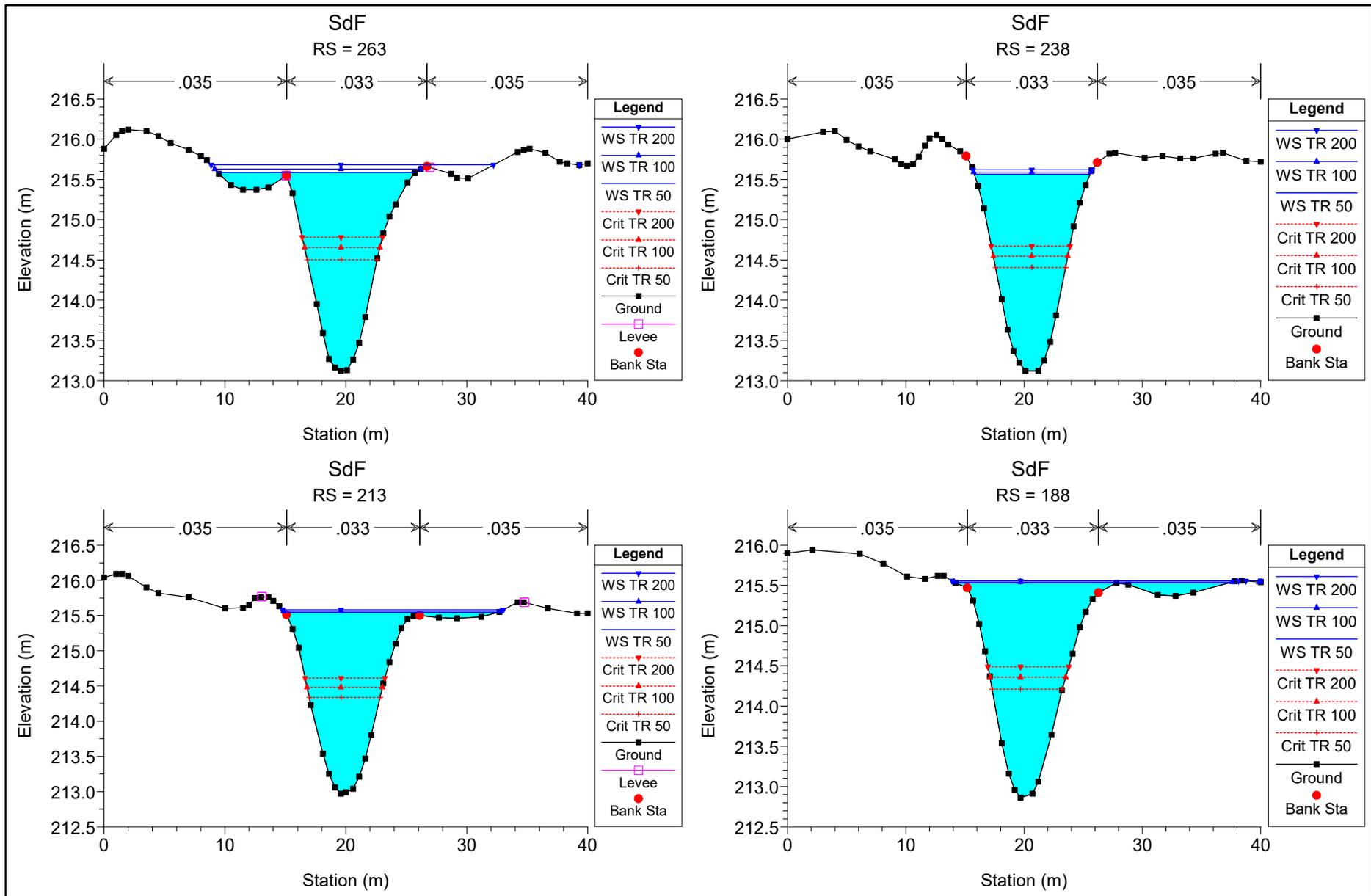


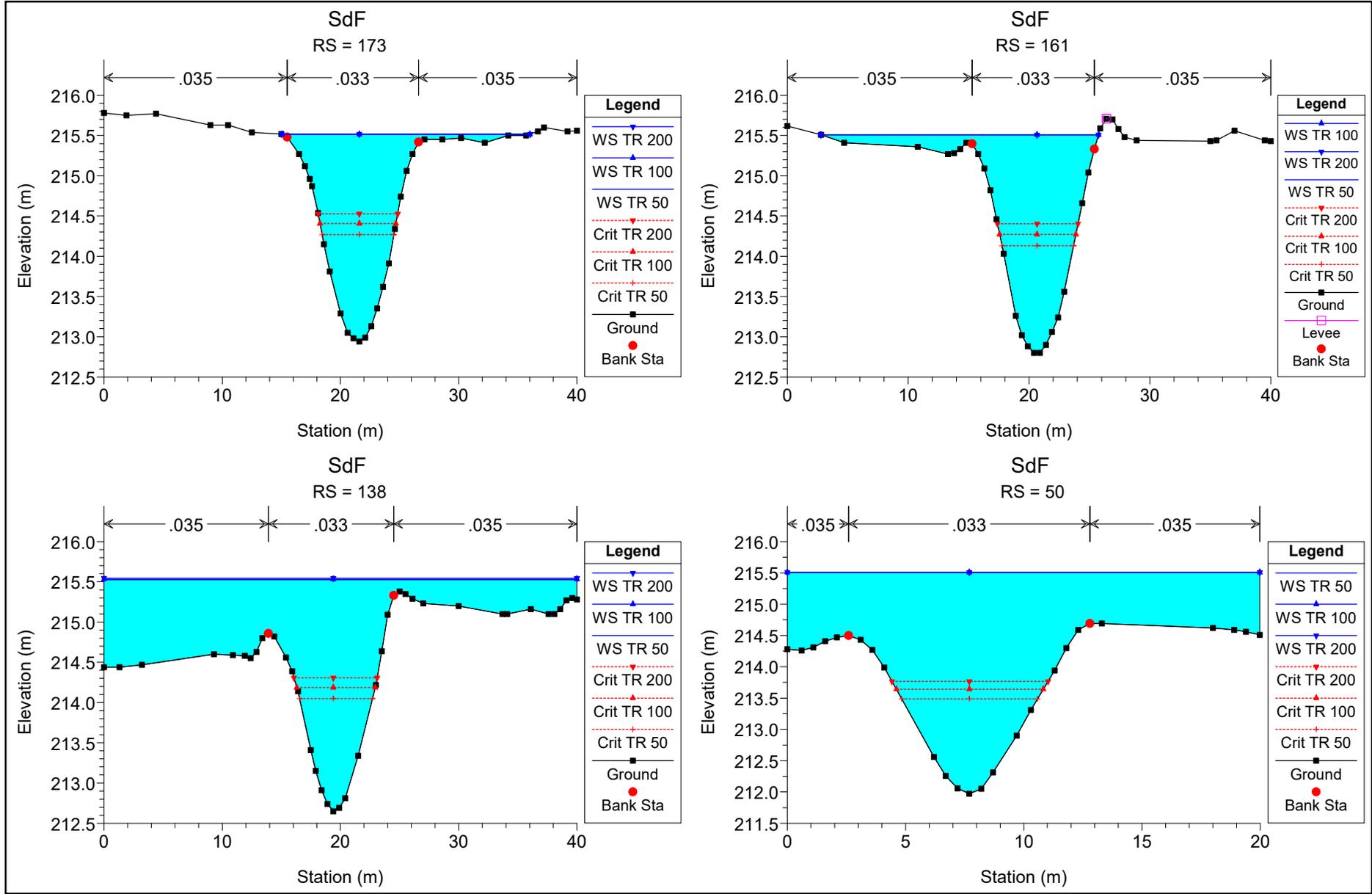












HEC-RAS Plan: SdF River: ValledelleChiese Reach: ValledelleChiese

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
ValledelleChiese	986	TR 50	7.00	225.01	225.85	225.85	226.12	0.022246	2.32	3.02	5.63	1.01
ValledelleChiese	986	TR 100	8.70	225.01	225.93	225.93	226.25	0.021912	2.49	3.49	5.64	1.01
ValledelleChiese	986	TR 200	10.10	225.01	226.00	226.00	226.35	0.021763	2.62	3.86	5.64	1.01
ValledelleChiese	981	TR 50	7.00	224.78	225.48	225.61	225.95	0.050567	3.06	2.29	5.39	1.50
ValledelleChiese	981	TR 100	8.70	224.78	225.55	225.69	226.08	0.049465	3.23	2.70	5.70	1.50
ValledelleChiese	981	TR 200	10.10	224.78	225.60	225.76	226.18	0.048204	3.36	3.00	5.78	1.49
ValledelleChiese	976	TR 50	7.00	224.55	225.26	225.38	225.70	0.049410	2.95	2.37	5.83	1.48
ValledelleChiese	976	TR 100	8.70	224.55	225.32	225.46	225.84	0.050681	3.20	2.72	5.94	1.51
ValledelleChiese	976	TR 200	10.10	224.55	225.36	225.52	225.94	0.050412	3.37	2.99	5.94	1.52
ValledelleChiese	974	TR 50	7.00	224.43	225.50	225.27	225.63	0.006996	1.55	4.52	6.35	0.59
ValledelleChiese	974	TR 100	8.70	224.43	225.61	225.36	225.75	0.007057	1.68	5.19	6.35	0.59
ValledelleChiese	974	TR 200	10.10	224.43	225.69	225.43	225.85	0.007041	1.76	5.74	6.35	0.59
ValledelleChiese	970		Bridge									
ValledelleChiese	965	TR 50	7.00	224.02	224.84	224.84	225.09	0.021436	2.23	3.13	6.27	1.01
ValledelleChiese	965	TR 100	8.70	224.02	224.92	224.92	225.21	0.021063	2.39	3.64	6.39	1.01
ValledelleChiese	965	TR 200	10.10	224.02	224.98	224.98	225.30	0.020831	2.51	4.02	6.39	1.01
ValledelleChiese	962	TR 50	7.00	223.87	224.56	224.67	224.98	0.045617	2.88	2.43	5.96	1.44
ValledelleChiese	962	TR 100	8.70	223.87	224.63	224.75	225.10	0.043070	3.03	2.87	6.15	1.42
ValledelleChiese	962	TR 200	10.10	223.87	224.69	224.81	225.19	0.041781	3.15	3.21	6.29	1.41
ValledelleChiese	949	TR 50	7.00	222.88	223.54	223.74	224.18	0.080158	3.55	1.97	5.37	1.87
ValledelleChiese	949	TR 100	8.70	222.88	223.60	223.82	224.33	0.078597	3.78	2.30	5.57	1.88
ValledelleChiese	949	TR 200	10.10	222.88	223.65	223.88	224.44	0.077095	3.93	2.57	5.72	1.87
ValledelleChiese	933	TR 50	7.00	222.26	223.05	223.10	223.37	0.029409	2.51	2.79	5.96	1.17
ValledelleChiese	933	TR 100	8.70	222.26	223.11	223.18	223.49	0.030641	2.74	3.17	6.04	1.21
ValledelleChiese	933	TR 200	10.10	222.26	223.16	223.24	223.59	0.031435	2.91	3.47	6.11	1.23
ValledelleChiese	912	TR 50	7.00	221.47	222.11	222.23	222.56	0.051600	2.99	2.34	5.95	1.52
ValledelleChiese	912	TR 100	8.70	221.47	222.18	222.31	222.69	0.049141	3.18	2.74	6.01	1.50
ValledelleChiese	912	TR 200	10.10	221.47	222.23	222.38	222.79	0.047400	3.32	3.05	6.02	1.49
ValledelleChiese	897	TR 50	7.00	220.73	221.37	221.48	221.79	0.047705	2.89	2.43	6.12	1.46
ValledelleChiese	897	TR 100	8.70	220.73	221.42	221.56	221.93	0.049585	3.16	2.75	6.14	1.51
ValledelleChiese	897	TR 200	10.10	220.73	221.46	221.62	222.03	0.049993	3.35	3.02	6.15	1.53
ValledelleChiese	882	TR 50	7.00	220.00	220.61	220.72	221.04	0.049827	2.91	2.41	6.21	1.49
ValledelleChiese	882	TR 100	8.70	220.00	220.67	220.80	221.17	0.048886	3.12	2.79	6.26	1.50
ValledelleChiese	882	TR 200	10.10	220.00	220.71	220.86	221.27	0.048876	3.30	3.06	6.28	1.51
ValledelleChiese	866	TR 50	7.00	219.26	219.86	219.97	220.28	0.049039	2.87	2.44	6.29	1.47
ValledelleChiese	866	TR 100	8.70	219.26	219.91	220.05	220.41	0.049922	3.12	2.79	6.39	1.51
ValledelleChiese	866	TR 200	10.10	219.26	219.96	220.11	220.51	0.050007	3.29	3.07	6.40	1.52
ValledelleChiese	851	TR 50	7.00	218.53	219.10	219.22	219.52	0.049680	2.86	2.44	6.36	1.48
ValledelleChiese	851	TR 100	8.70	218.53	219.16	219.29	219.64	0.049187	3.08	2.83	6.51	1.49
ValledelleChiese	851	TR 200	10.10	218.53	219.20	219.35	219.74	0.049281	3.25	3.11	6.52	1.50
ValledelleChiese	850		Bridge									
ValledelleChiese	848	TR 50	7.00	218.33	218.89	219.02	219.34	0.053809	2.96	2.37	6.28	1.54
ValledelleChiese	848	TR 100	8.70	218.33	218.95	219.10	219.47	0.053274	3.18	2.74	6.41	1.55
ValledelleChiese	848	TR 200	10.10	218.33	218.99	219.16	219.57	0.053141	3.35	3.01	6.43	1.56
ValledelleChiese	847	TR 50	7.00	218.27	218.82	218.95	219.29	0.058074	3.03	2.31	6.25	1.59
ValledelleChiese	847	TR 100	8.70	218.27	218.88	219.03	219.42	0.057294	3.25	2.68	6.42	1.61
ValledelleChiese	847	TR 200	10.10	218.27	218.92	219.09	219.52	0.057076	3.42	2.95	6.47	1.62
ValledelleChiese	845	TR 50	7.00	218.13	219.07	218.74	219.17	0.005269	1.41	4.98	5.85	0.49
ValledelleChiese	845	TR 100	8.70	218.13	219.19	218.83	219.31	0.005536	1.54	5.66	5.85	0.50
ValledelleChiese	845	TR 200	10.10	218.13	219.30	218.89	219.43	0.005433	1.60	6.30	5.86	0.49
ValledelleChiese	841		Bridge									
ValledelleChiese	836	TR 50	7.00	218.00	218.69	218.69	219.00	0.016194	2.45	2.85	4.71	1.01
ValledelleChiese	836	TR 100	8.70	218.00	218.74	218.79	219.15	0.019503	2.81	3.10	4.72	1.11
ValledelleChiese	836	TR 200	10.10	218.00	218.80	218.86	219.26	0.020659	3.01	3.35	4.73	1.14
ValledelleChiese	827	TR 50	7.00	217.83	218.52	218.57	218.85	0.021119	2.53	2.76	5.79	1.17
ValledelleChiese	827	TR 100	8.70	217.83	218.59	218.66	218.98	0.021833	2.77	3.15	5.86	1.20
ValledelleChiese	827	TR 200	10.10	217.83	218.63	218.72	219.08	0.023574	2.99	3.38	5.90	1.26
ValledelleChiese	815	TR 50	7.00	217.48	218.16	218.25	218.55	0.027628	2.77	2.53	5.75	1.34
ValledelleChiese	815	TR 100	8.70	217.48	218.23	218.33	218.68	0.026993	2.97	2.93	5.84	1.34
ValledelleChiese	815	TR 200	10.10	217.48	218.28	218.40	218.77	0.026435	3.11	3.25	5.91	1.34
ValledelleChiese	803	TR 50	7.00	217.13	217.84	217.92	218.22	0.025827	2.71	2.58	5.81	1.30
ValledelleChiese	803	TR 100	8.70	217.13	217.90	218.01	218.35	0.026366	2.95	2.95	5.88	1.33
ValledelleChiese	803	TR 200	10.10	217.13	217.95	218.07	218.45	0.026559	3.12	3.24	5.94	1.35
ValledelleChiese	791	TR 50	7.00	216.79	217.50	217.60	217.89	0.027430	2.75	2.54	5.94	1.34
ValledelleChiese	791	TR 100	8.70	216.79	217.57	217.68	218.02	0.027510	2.97	2.93	6.06	1.37

HEC-RAS Plan: SdF River: ValledelleChiese Reach: ValledelleChiese (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W. S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
ValledelleChiese	791	TR 200	10.10	216.79	217.62	217.74	218.12	0.027644	3.13	3.22	6.14	1.38
ValledelleChiese	779	TR 50	7.00	216.44	217.15	217.25	217.54	0.028981	2.77	2.53	6.04	1.37
ValledelleChiese	779	TR 100	8.70	216.44	217.21	217.33	217.67	0.028975	3.00	2.90	6.10	1.39
ValledelleChiese	779	TR 200	10.10	216.44	217.26	217.39	217.77	0.028914	3.16	3.20	6.14	1.40
ValledelleChiese	768	TR 50	7.00	215.93	216.81	216.91	217.21	0.032156	2.81	2.49	6.04	1.39
ValledelleChiese	768	TR 100	8.70	215.93	216.87	216.99	217.34	0.032299	3.04	2.86	6.10	1.42
ValledelleChiese	768	TR 200	10.10	215.93	216.92	217.05	217.44	0.032148	3.20	3.15	6.14	1.43
ValledelleChiese	754	TR 50	7.00	215.66	216.43	216.52	216.79	0.029684	2.64	2.66	6.93	1.36
ValledelleChiese	754	TR 100	8.70	215.66	216.49	216.59	216.91	0.030851	2.88	3.02	7.12	1.41
ValledelleChiese	754	TR 200	10.10	215.66	216.52	216.65	217.00	0.032090	3.08	3.28	7.20	1.45
ValledelleChiese	728	TR 50	7.00	215.26	216.18	215.95	216.25	0.003586	1.22	7.29	34.66	0.52
ValledelleChiese	728	TR 100	8.70	215.26	216.30	216.07	216.34	0.001958	1.01	11.92	40.40	0.39
ValledelleChiese	728	TR 200	10.10	215.26	216.36	216.20	216.40	0.001578	0.97	14.63	42.28	0.36
ValledelleChiese	723	TR 50	7.00	215.25	216.19	216.00	216.22	0.002015	0.82	11.33	47.08	0.38
ValledelleChiese	723	TR 100	8.70	215.25	216.31	216.07	216.32	0.001115	0.65	17.51	53.82	0.29
ValledelleChiese	723	TR 200	10.10	215.25	216.37	216.09	216.38	0.000903	0.60	21.00	54.97	0.26
ValledelleChiese	715	TR 50	7.00	214.48	216.20	215.31	216.20	0.000263	0.33	23.25	61.04	0.14
ValledelleChiese	715	TR 100	8.70	214.48	216.31	215.39	216.32	0.000199	0.32	30.14	62.52	0.13
ValledelleChiese	715	TR 200	10.10	214.48	216.37	215.44	216.38	0.000188	0.33	34.11	63.40	0.12
ValledelleChiese	705	TR 50	7.00	214.46	216.19	215.21	216.20	0.000217	0.40	20.16	38.50	0.13
ValledelleChiese	705	TR 100	8.70	214.46	216.31	215.29	216.31	0.000206	0.42	24.52	40.24	0.13
ValledelleChiese	705	TR 200	10.10	214.46	216.37	215.35	216.38	0.000216	0.44	27.16	44.73	0.14
ValledelleChiese	697	TR 50	7.00	214.74	216.18	215.52	216.20	0.000544	0.65	14.01	32.73	0.21
ValledelleChiese	697	TR 100	8.70	214.74	216.29	215.60	216.31	0.000474	0.64	17.80	34.00	0.20
ValledelleChiese	697	TR 200	10.10	214.74	216.36	215.67	216.37	0.000478	0.67	19.94	34.60	0.21
ValledelleChiese	689	TR 50	13.10	214.71	216.00	215.77	216.17	0.005514	1.82	7.66	21.90	0.66
ValledelleChiese	689	TR 100	16.10	214.71	216.21	215.88	216.29	0.003048	1.42	15.20	45.35	0.50
ValledelleChiese	689	TR 200	18.90	214.71	216.28	216.14	216.36	0.002667	1.41	18.52	47.04	0.48
ValledelleChiese	683	TR 50	13.10	214.65	215.97	215.69	216.14	0.004851	1.78	7.35	8.97	0.63
ValledelleChiese	683	TR 100	16.10	214.65	216.14	215.81	216.26	0.008367	1.55	10.43	24.76	0.76
ValledelleChiese	683	TR 200	18.90	214.65	216.28	215.91	216.33	0.003024	1.00	18.95	40.00	0.46
ValledelleChiese	673	TR 50	13.10	214.69	216.05	215.59	216.08	0.000909	0.81	18.38	29.03	0.28
ValledelleChiese	673	TR 100	16.10	214.69	216.19	215.65	216.22	0.000761	0.81	23.37	40.00	0.26
ValledelleChiese	673	TR 200	18.90	214.69	216.28	215.71	216.31	0.000706	0.83	27.19	40.00	0.26
ValledelleChiese	639	TR 50	13.10	214.26	215.98	215.36	216.04	0.001610	1.02	13.68	23.40	0.36
ValledelleChiese	639	TR 100	16.10	214.26	216.13	215.48	216.18	0.001283	1.02	17.29	25.71	0.33
ValledelleChiese	639	TR 200	18.90	214.26	216.23	215.58	216.28	0.001219	1.06	19.80	26.96	0.33
ValledelleChiese	614	TR 50	13.10	214.14	215.99	215.14	216.01	0.000432	0.70	23.49	32.94	0.20
ValledelleChiese	614	TR 100	16.10	214.14	216.14	215.26	216.16	0.000384	0.71	28.38	33.14	0.19
ValledelleChiese	614	TR 200	18.90	214.14	216.23	215.42	216.25	0.000388	0.75	31.58	33.28	0.20
ValledelleChiese	588	TR 50	13.10	214.04	215.98	214.95	216.00	0.000363	0.64	23.44	29.23	0.19
ValledelleChiese	588	TR 100	16.10	214.04	216.13	215.05	216.15	0.000341	0.67	27.84	30.11	0.18
ValledelleChiese	588	TR 200	18.90	214.04	216.22	215.15	216.24	0.000356	0.71	30.73	30.68	0.19
ValledelleChiese	564	TR 50	13.10	213.79	215.97	214.71	215.99	0.000222	0.54	27.52	29.60	0.15
ValledelleChiese	564	TR 100	16.10	213.79	216.12	214.81	216.14	0.000225	0.57	31.94	30.20	0.15
ValledelleChiese	564	TR 200	18.90	213.79	216.22	214.89	216.24	0.000241	0.62	34.84	30.78	0.16
ValledelleChiese	538	TR 50	13.10	213.70	215.97	214.64	215.98	0.000166	0.48	30.71	30.50	0.13
ValledelleChiese	538	TR 100	16.10	213.70	216.12	214.72	216.13	0.000168	0.52	35.30	31.46	0.13
ValledelleChiese	538	TR 200	18.90	213.70	216.22	214.80	216.23	0.000183	0.56	38.31	31.97	0.14
ValledelleChiese	513	TR 50	13.10	213.64	215.96	214.71	215.98	0.000331	0.67	22.74	26.35	0.18
ValledelleChiese	513	TR 100	16.10	213.64	216.10	214.83	216.13	0.000327	0.71	26.72	27.71	0.18
ValledelleChiese	513	TR 200	18.90	213.64	216.20	214.94	216.22	0.000352	0.77	29.34	28.57	0.19
ValledelleChiese	492	TR 50	13.10	213.54	215.94	214.60	215.97	0.000399	0.75	20.50	26.44	0.19
ValledelleChiese	492	TR 100	16.10	213.54	216.09	214.72	216.12	0.000401	0.80	24.55	29.60	0.19
ValledelleChiese	492	TR 200	18.90	213.54	216.18	214.82	216.21	0.000432	0.86	27.52	33.72	0.20
ValledelleChiese	483		Bridge									
ValledelleChiese	476	TR 50	15.20	213.57	215.73	214.87	215.81	0.001462	1.22	12.47	10.21	0.35
ValledelleChiese	476	TR 100	18.60	213.57	215.82	215.01	215.92	0.001837	1.39	13.36	10.66	0.40
ValledelleChiese	476	TR 200	21.90	213.57	215.91	215.13	216.03	0.002103	1.53	14.37	13.94	0.43
ValledelleChiese	471	TR 50	15.20	213.44	215.74	214.57	215.80	0.000930	1.12	13.58	8.40	0.28
ValledelleChiese	471	TR 100	18.60	213.44	215.82	214.70	215.91	0.001241	1.30	14.31	8.84	0.33
ValledelleChiese	471	TR 200	21.90	213.44	215.91	214.81	216.02	0.001610	1.45	15.10	9.74	0.37
ValledelleChiese	438	TR 50	15.20	213.15	215.73	214.37	215.77	0.000545	0.89	17.09	10.71	0.22
ValledelleChiese	438	TR 100	18.60	213.15	215.81	214.50	215.87	0.000725	1.03	18.00	11.17	0.26
ValledelleChiese	438	TR 200	21.90	213.15	215.90	214.61	215.96	0.000939	1.16	18.95	13.42	0.30

HEC-RAS Plan: SdF River: ValledelleChiese Reach: ValledelleChiese (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W. S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
ValledelleChiese	414	TR 50	15.20	213.00	215.73	214.26	215.76	0.000450	0.77	19.87	14.45	0.21
ValledelleChiese	414	TR 100	18.60	213.00	215.81	214.38	215.85	0.000563	0.88	21.15	16.55	0.23
ValledelleChiese	414	TR 200	21.90	213.00	215.89	214.49	215.94	0.000650	0.98	22.59	19.03	0.25
ValledelleChiese	389	TR 50	15.20	212.96	215.71	214.25	215.75	0.000429	0.77	19.63	13.55	0.20
ValledelleChiese	389	TR 100	18.60	212.96	215.79	214.38	215.83	0.000541	0.90	20.75	15.43	0.23
ValledelleChiese	389	TR 200	21.90	212.96	215.87	214.49	215.92	0.000635	1.01	22.41	26.23	0.25
ValledelleChiese	361	TR 50	15.20	212.85	215.71	214.19	215.73	0.000391	0.67	22.57	17.90	0.19
ValledelleChiese	361	TR 100	18.60	212.85	215.79	214.32	215.82	0.000487	0.77	24.23	25.07	0.22
ValledelleChiese	361	TR 200	21.90	212.85	215.87	214.43	215.90	0.000551	0.86	26.35	28.47	0.23
ValledelleChiese	338	TR 50	15.20	212.68	215.69	214.07	215.72	0.000449	0.75	20.46	21.90	0.20
ValledelleChiese	338	TR 100	18.60	212.68	215.77	214.21	215.80	0.000558	0.87	22.55	32.87	0.23
ValledelleChiese	338	TR 200	21.90	212.68	215.84	214.34	215.89	0.000632	0.95	25.24	36.38	0.25
ValledelleChiese	318	TR 50	15.20	212.84	215.67	214.22	215.71	0.000656	0.86	17.80	20.65	0.24
ValledelleChiese	318	TR 100	18.60	212.84	215.74	214.36	215.79	0.000814	0.99	19.82	33.19	0.27
ValledelleChiese	318	TR 200	21.90	212.84	215.81	214.49	215.87	0.000913	1.09	22.37	36.45	0.29
ValledelleChiese	288	TR 50	15.20	213.10	215.62	214.51	215.68	0.001312	1.14	14.19	23.54	0.33
ValledelleChiese	288	TR 100	18.60	213.10	215.67	214.66	215.75	0.001664	1.32	15.47	26.40	0.38
ValledelleChiese	288	TR 200	21.90	213.10	215.73	214.80	215.83	0.001896	1.45	17.23	30.74	0.41
ValledelleChiese	263	TR 50	15.20	213.12	215.59	214.50	215.65	0.001098	1.10	14.54	16.40	0.31
ValledelleChiese	263	TR 100	18.60	213.12	215.63	214.65	215.71	0.001527	1.29	15.22	17.03	0.37
ValledelleChiese	263	TR 200	21.90	213.12	215.68	214.78	215.78	0.001894	1.44	16.64	23.36	0.41
ValledelleChiese	238	TR 50	15.20	213.12	215.56	214.41	215.62	0.000948	1.09	14.01	9.78	0.29
ValledelleChiese	238	TR 100	18.60	213.12	215.59	214.55	215.68	0.001358	1.30	14.27	9.91	0.35
ValledelleChiese	238	TR 200	21.90	213.12	215.62	214.67	215.73	0.001795	1.50	14.56	10.08	0.40
ValledelleChiese	213	TR 50	15.20	212.97	215.54	214.34	215.60	0.000951	1.04	14.95	17.62	0.29
ValledelleChiese	213	TR 100	18.60	212.97	215.56	214.48	215.64	0.001360	1.26	15.26	17.96	0.35
ValledelleChiese	213	TR 200	21.90	212.97	215.58	214.61	215.69	0.001786	1.45	15.62	18.28	0.40
ValledelleChiese	188	TR 50	15.20	212.86	215.53	214.21	215.58	0.000677	0.94	17.07	23.13	0.25
ValledelleChiese	188	TR 100	18.60	212.86	215.54	214.36	215.61	0.000985	1.13	17.33	23.70	0.30
ValledelleChiese	188	TR 200	21.90	212.86	215.56	214.49	215.64	0.001318	1.32	17.67	25.48	0.35
ValledelleChiese	173	TR 50	15.20	212.94	215.51	214.27	215.56	0.000798	0.99	15.86	20.91	0.27
ValledelleChiese	173	TR 100	18.60	212.94	215.52	214.41	215.59	0.001189	1.21	15.90	20.97	0.33
ValledelleChiese	173	TR 200	21.90	212.94	215.52	214.53	215.62	0.001640	1.42	15.94	21.04	0.38
ValledelleChiese	161	TR 50	15.20	212.80	215.51	214.13	215.55	0.000588	0.92	17.90	22.97	0.23
ValledelleChiese	161	TR 100	18.60	212.80	215.51	214.27	215.57	0.000880	1.13	17.91	22.97	0.28
ValledelleChiese	161	TR 200	21.90	212.80	215.51	214.40	215.60	0.001220	1.33	17.91	22.97	0.33
ValledelleChiese	138	TR 50	15.20	212.65	215.53	214.05	215.54	0.000166	0.52	37.18	40.00	0.13
ValledelleChiese	138	TR 100	18.60	212.65	215.53	214.19	215.55	0.000243	0.63	37.51	40.00	0.15
ValledelleChiese	138	TR 200	21.90	212.65	215.54	214.31	215.57	0.000328	0.74	37.90	40.00	0.18
ValledelleChiese	50	TR 50	15.20	211.97	215.51	213.49	215.52	0.000136	0.55	32.03	19.98	0.12
ValledelleChiese	50	TR 100	18.60	211.97	215.51	213.64	215.53	0.000204	0.68	32.03	19.98	0.14
ValledelleChiese	50	TR 200	21.90	211.97	215.51	213.77	215.54	0.000283	0.80	32.03	19.98	0.17



REGIONE PIEMONTE – Provincia del Verbano-Cusio-Ossola
Comune di Vogogna

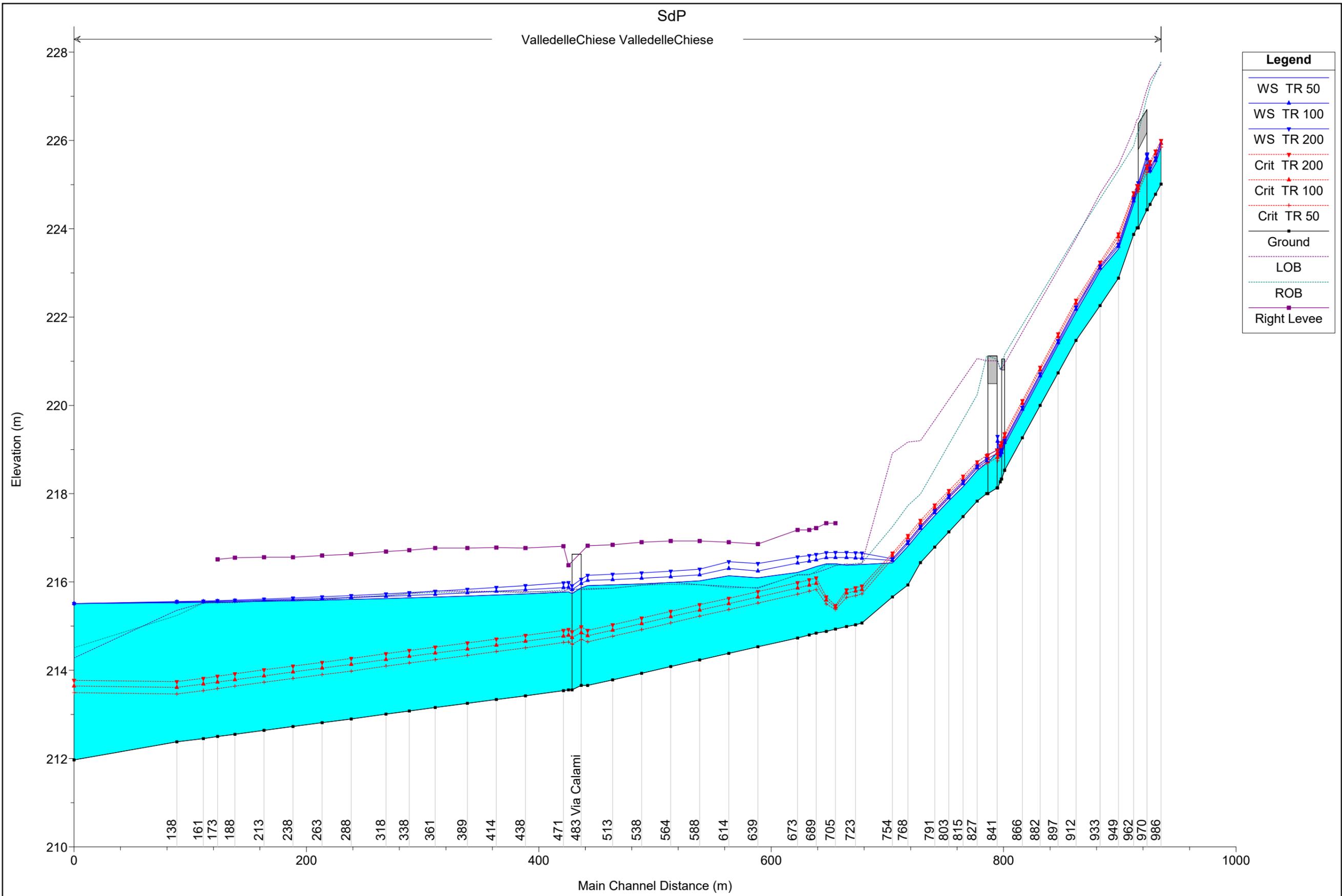
Interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce

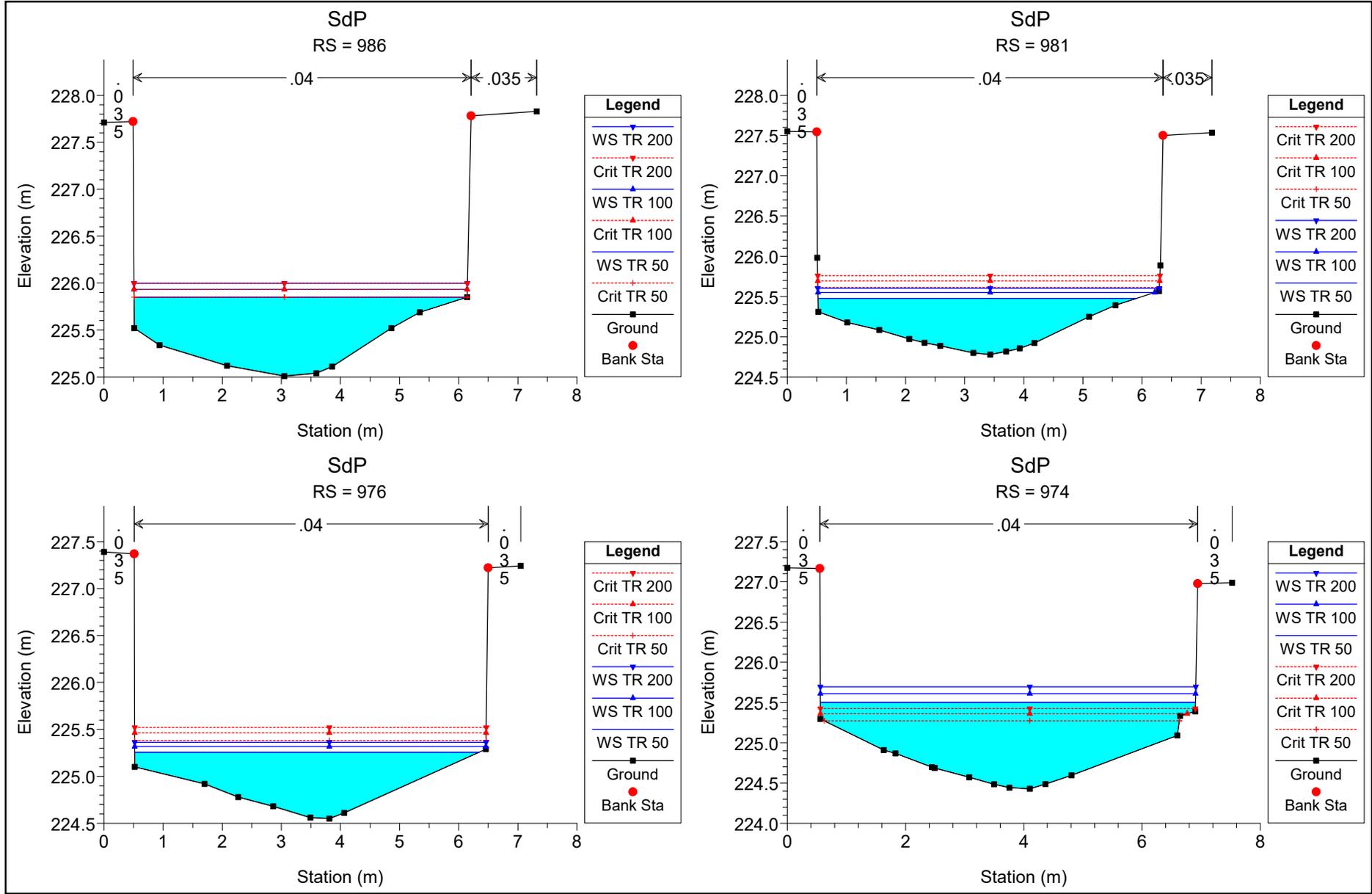
Progetto di fattibilità tecnica ed economica

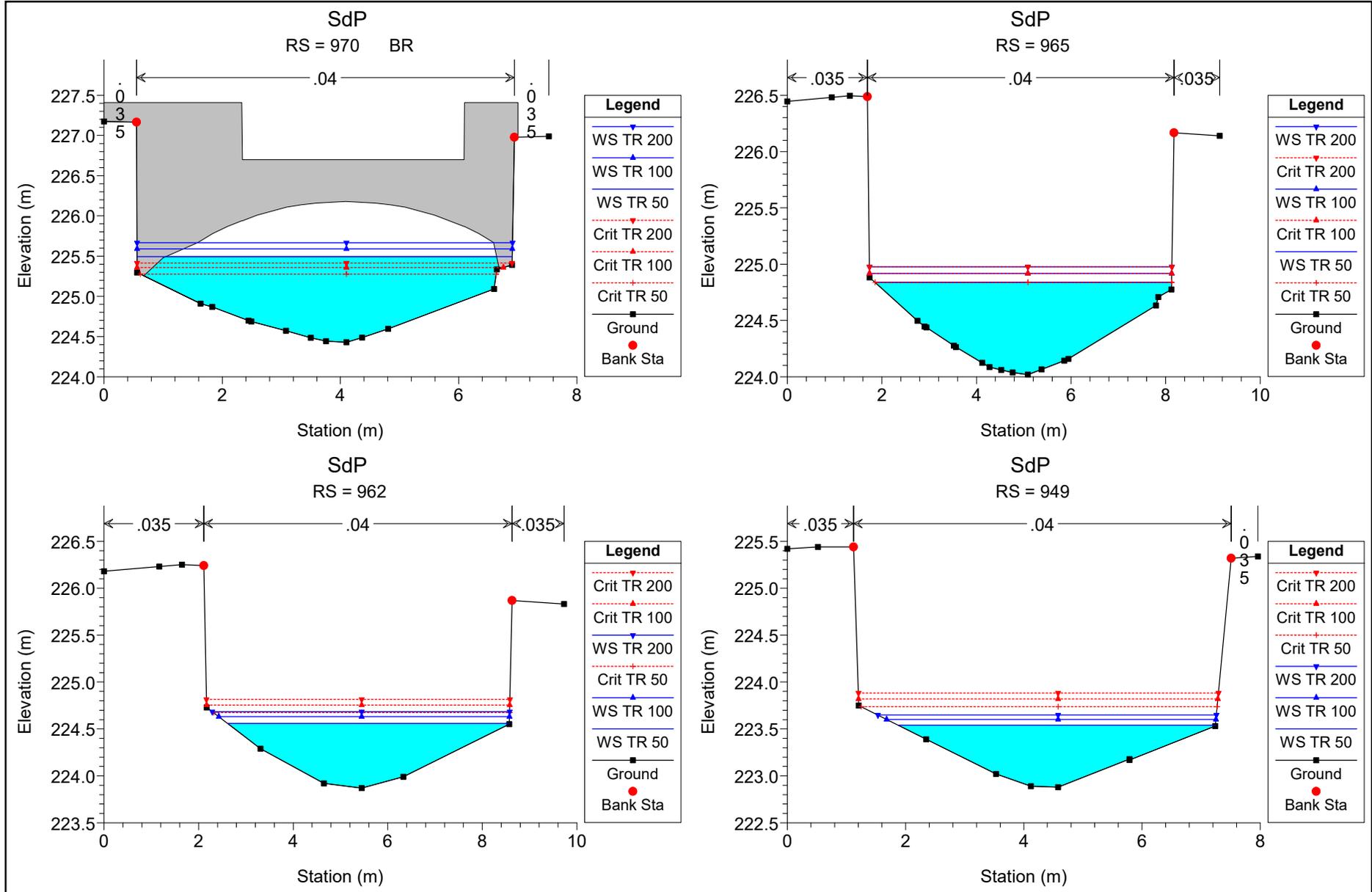


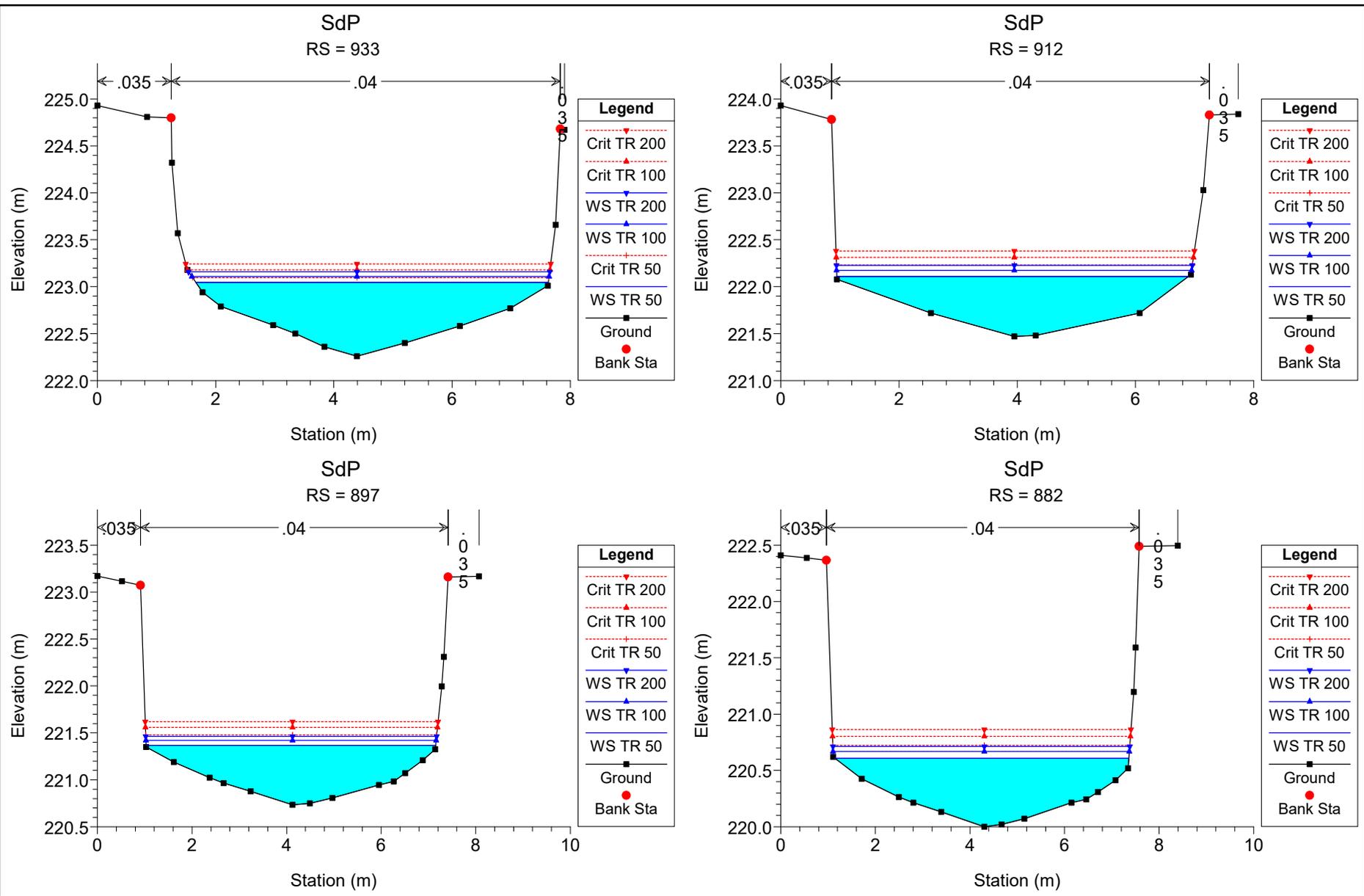
ALLEGATO 5

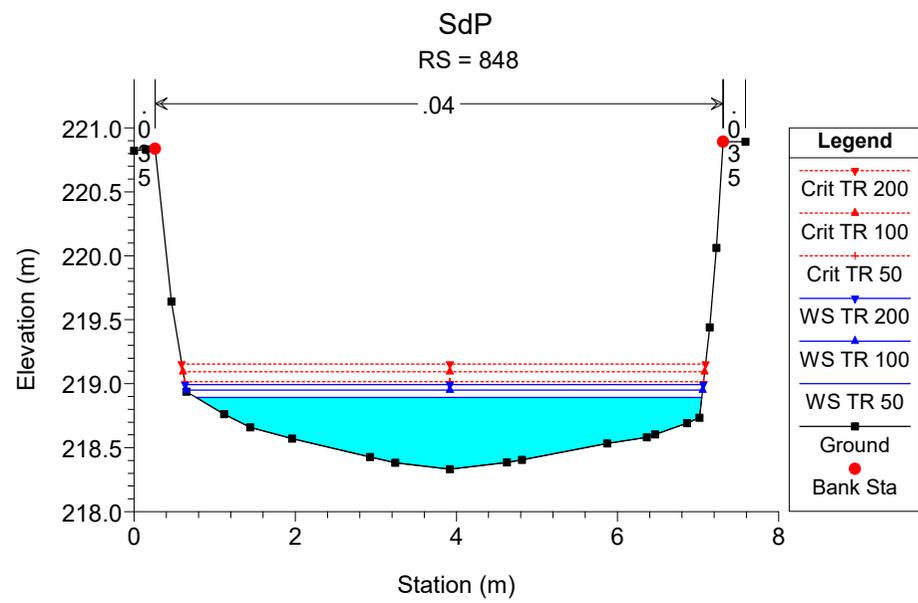
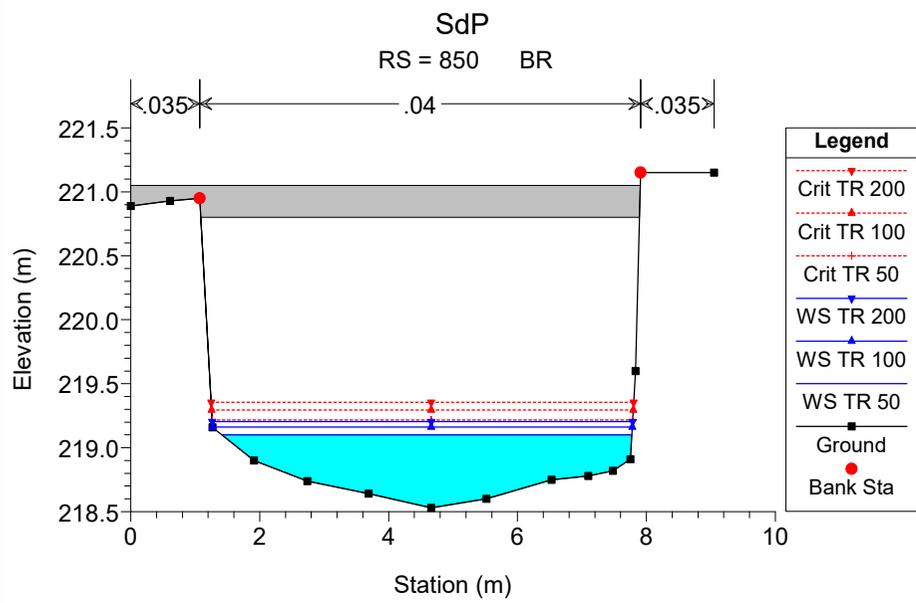
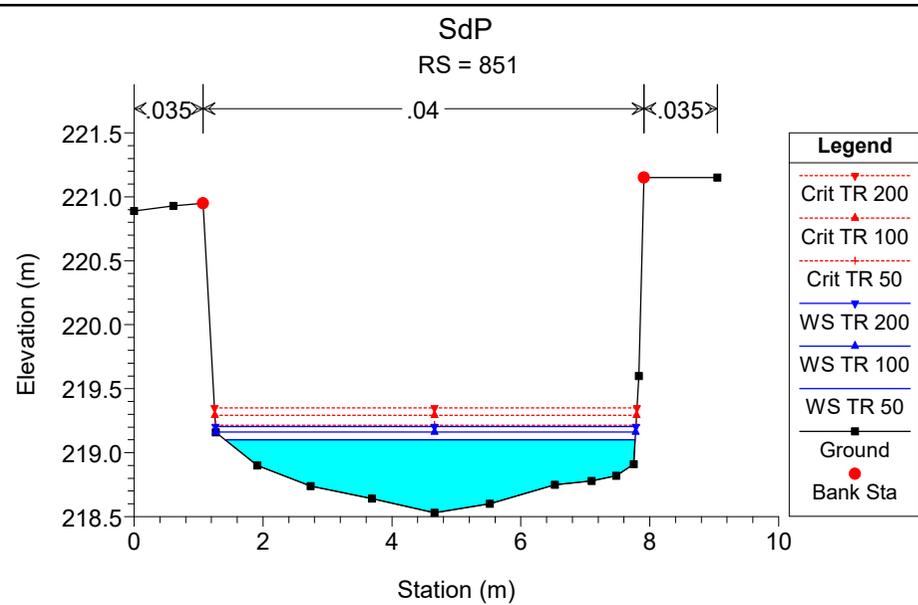
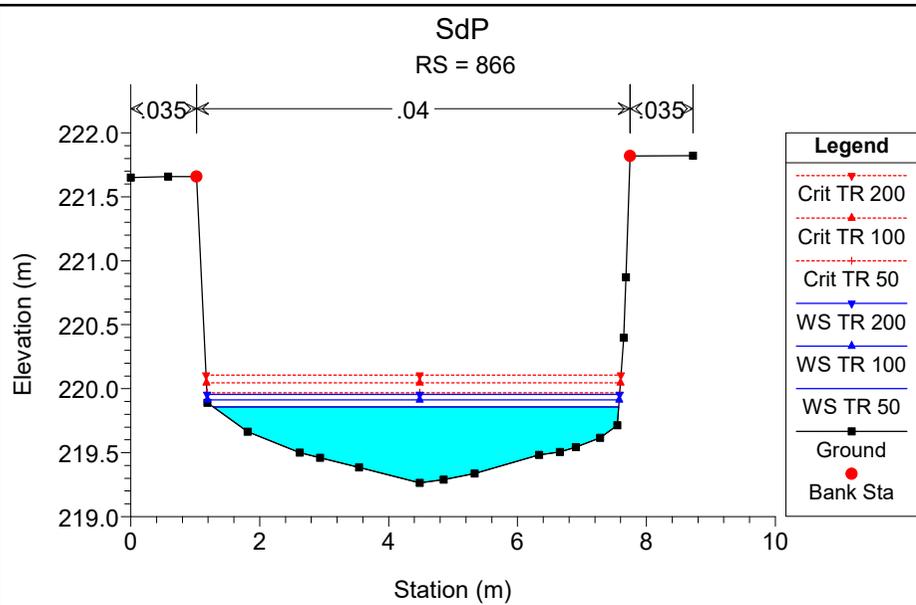
– Risultati delle simulazioni idrauliche – Stato di progetto

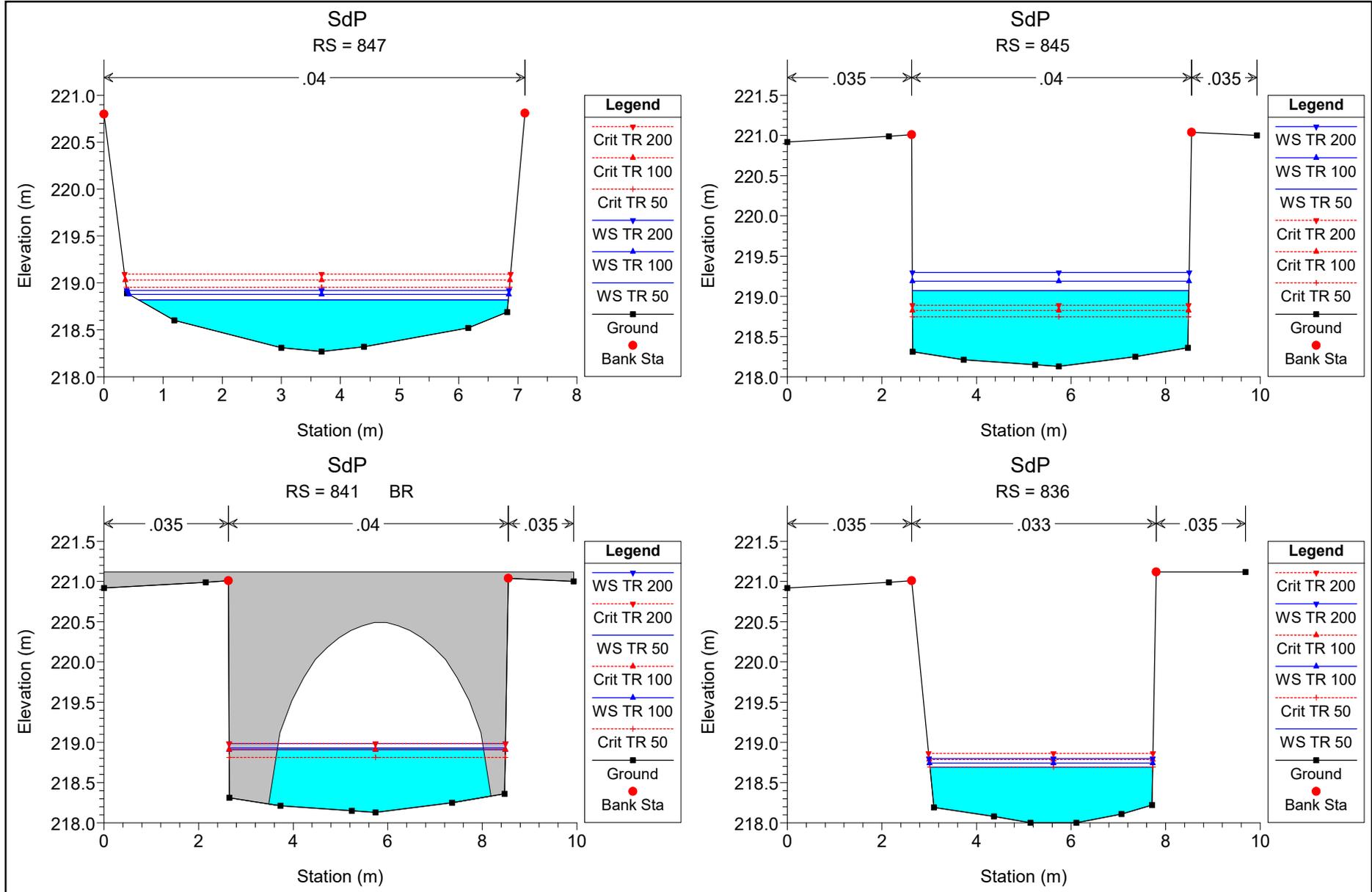


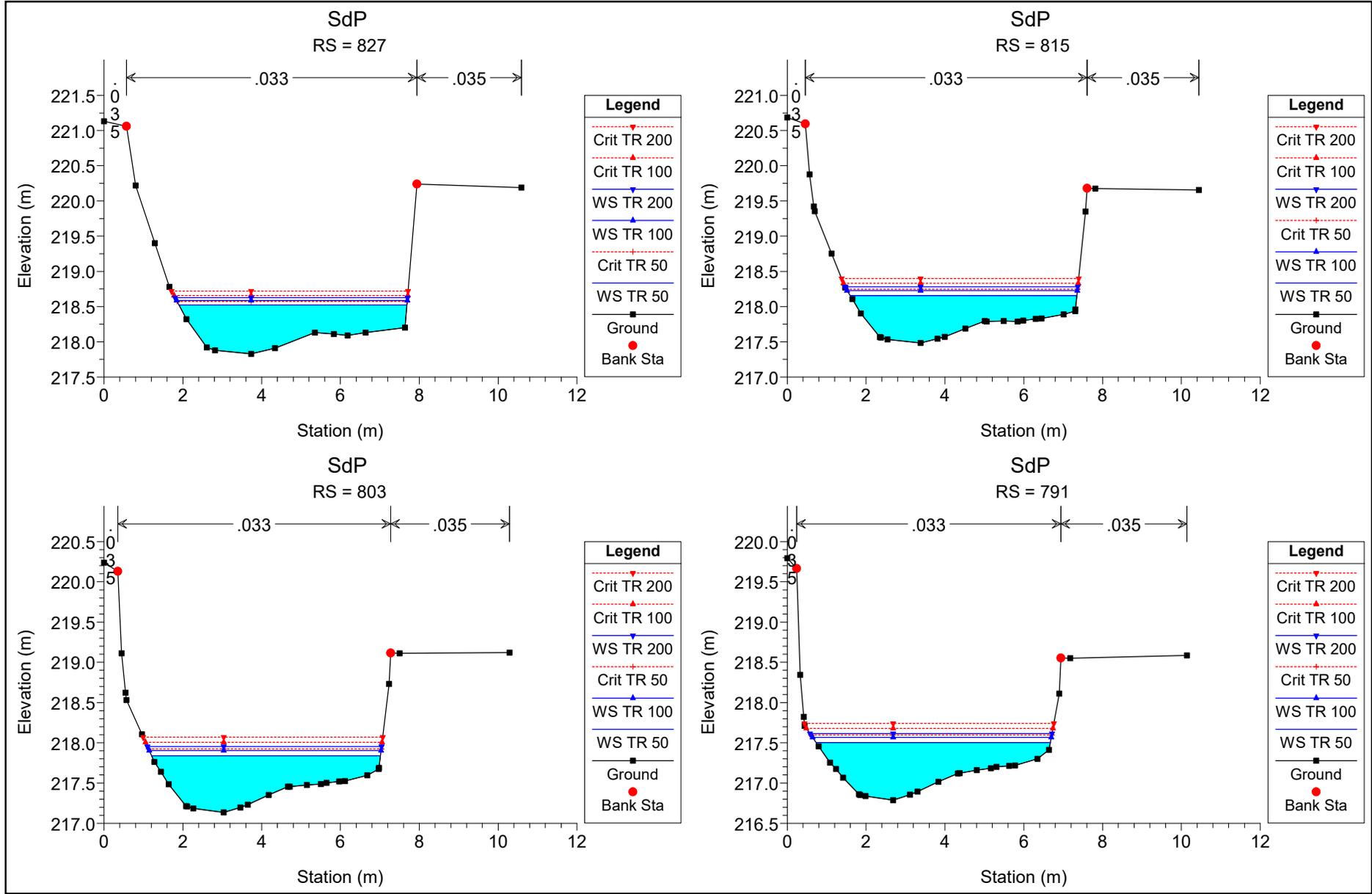


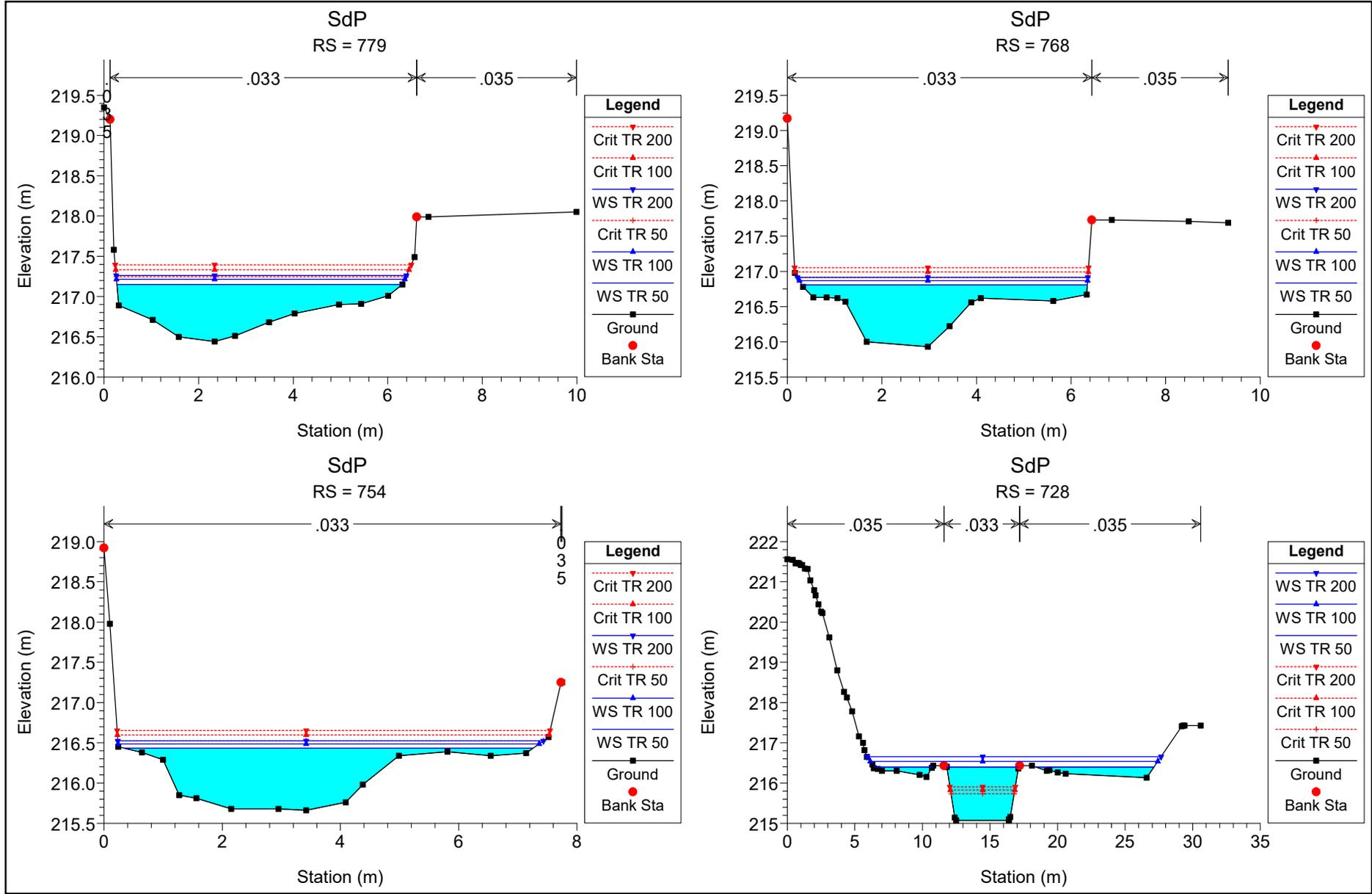


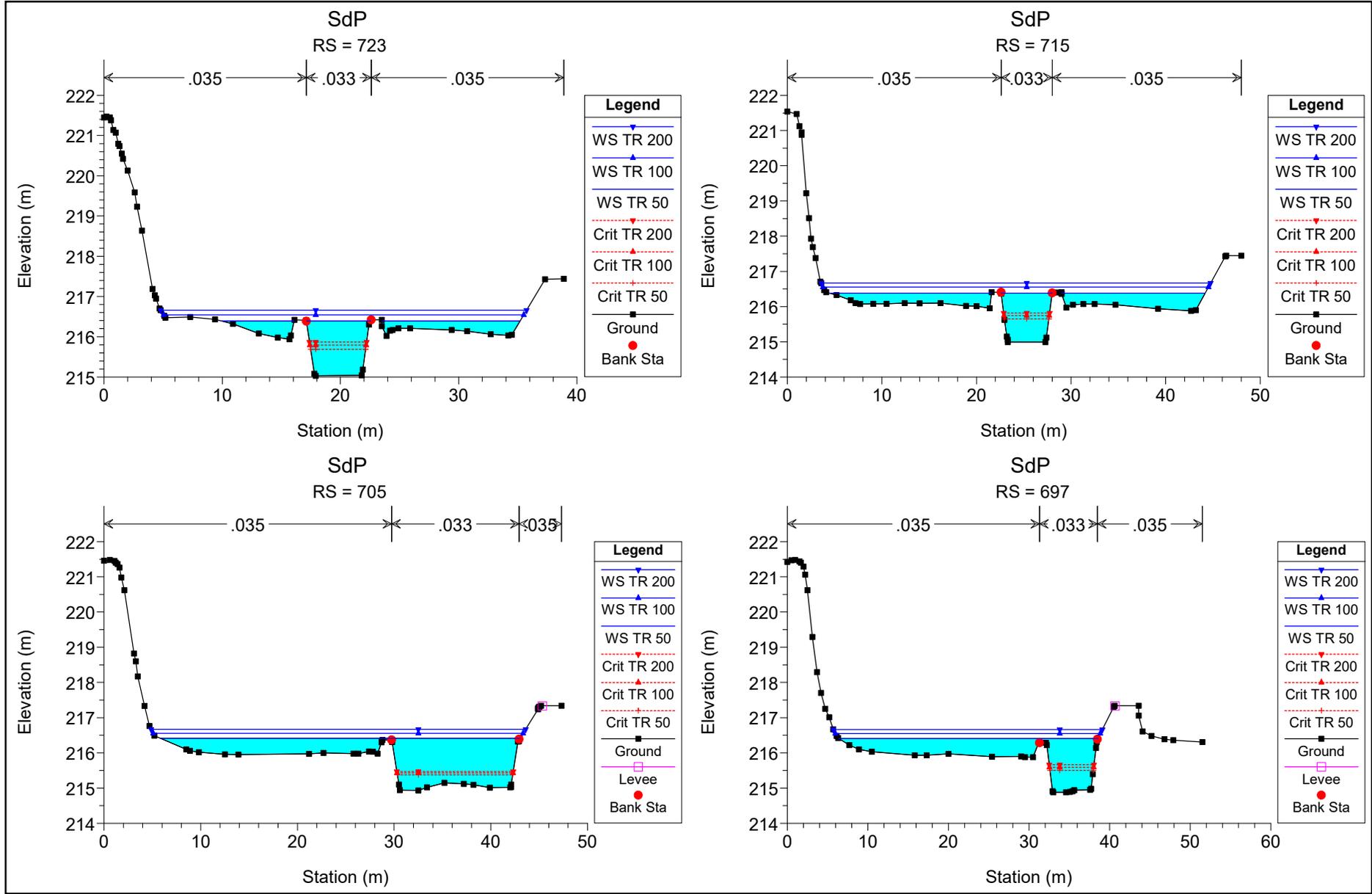


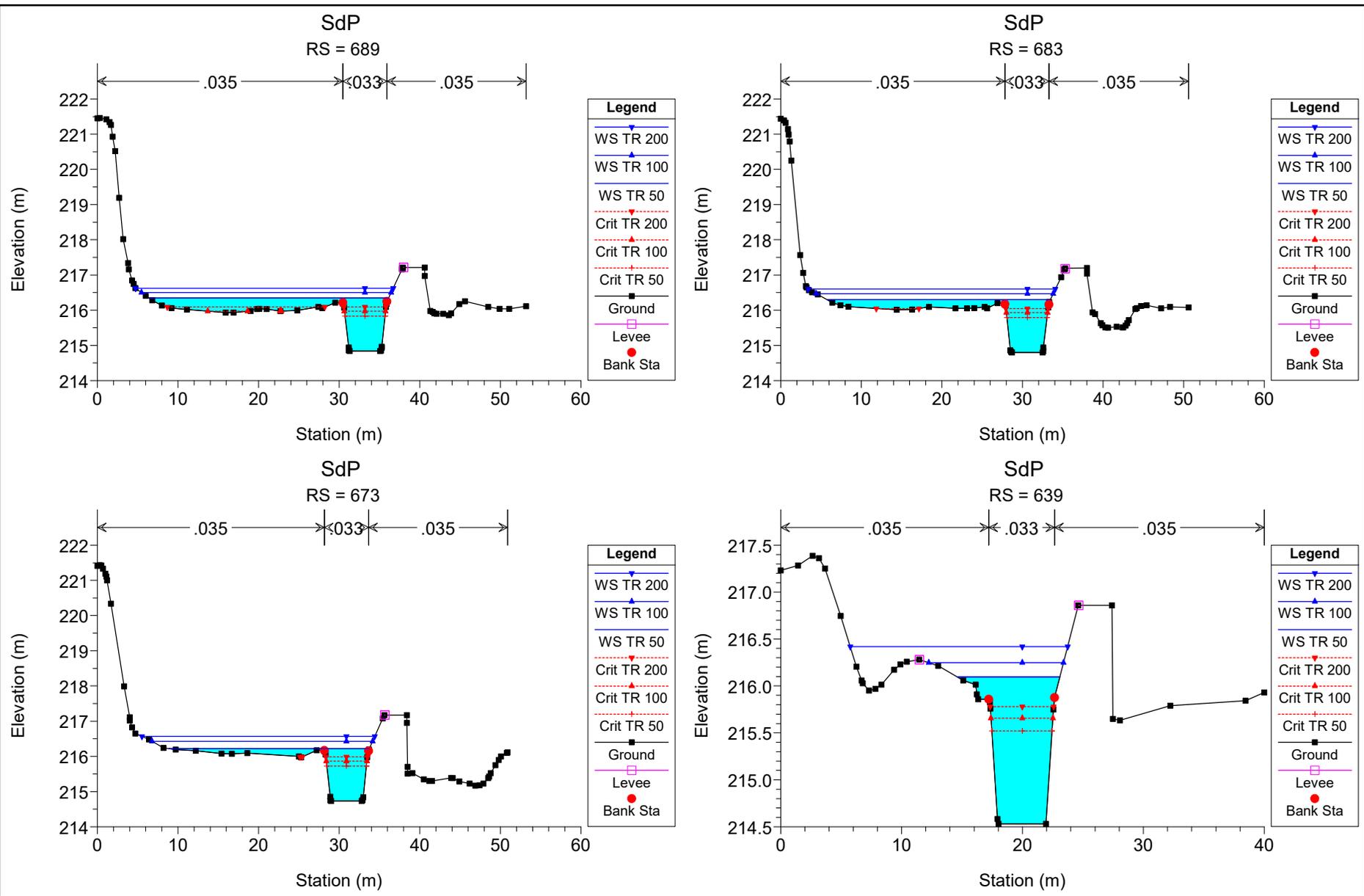


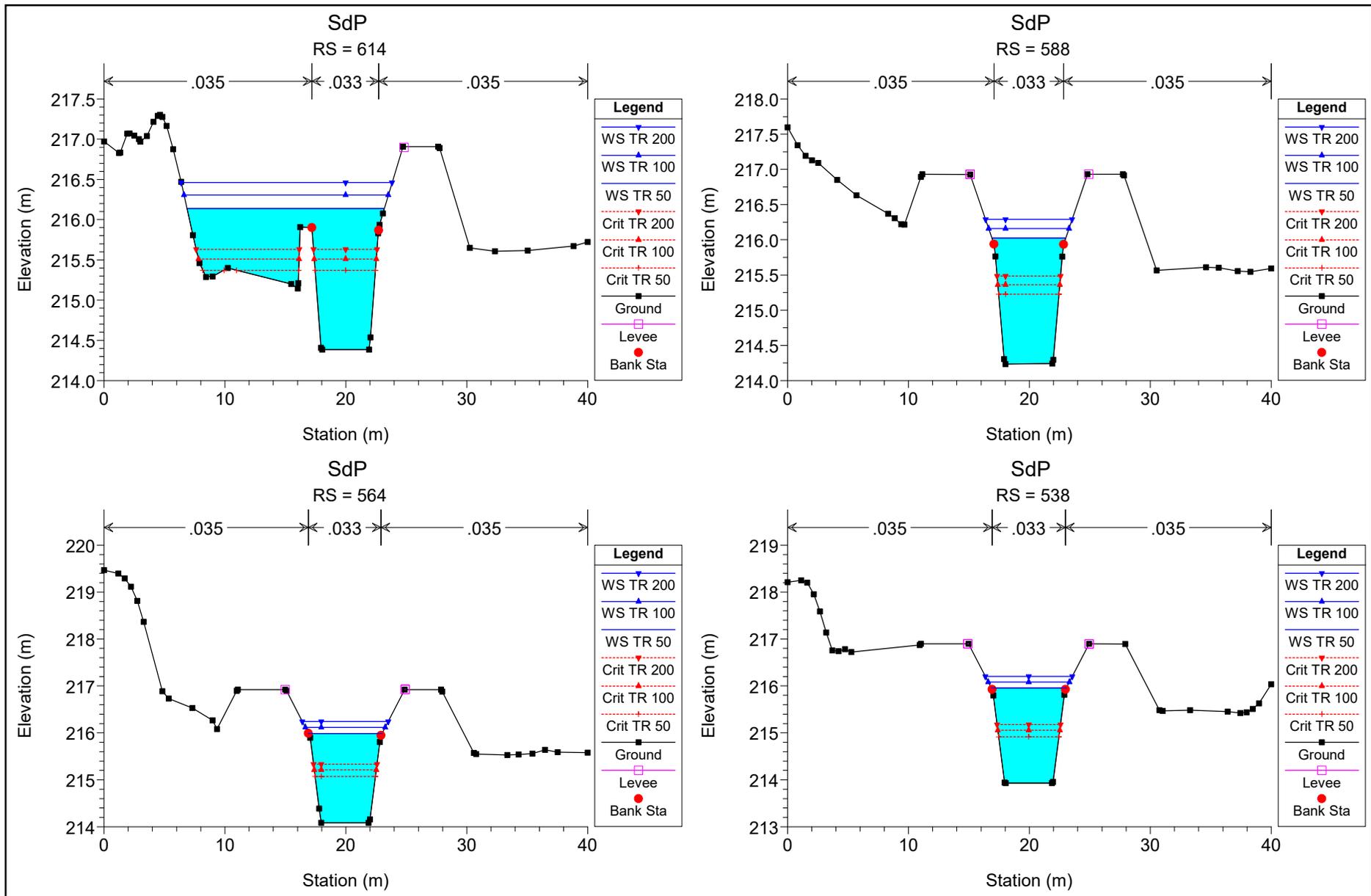


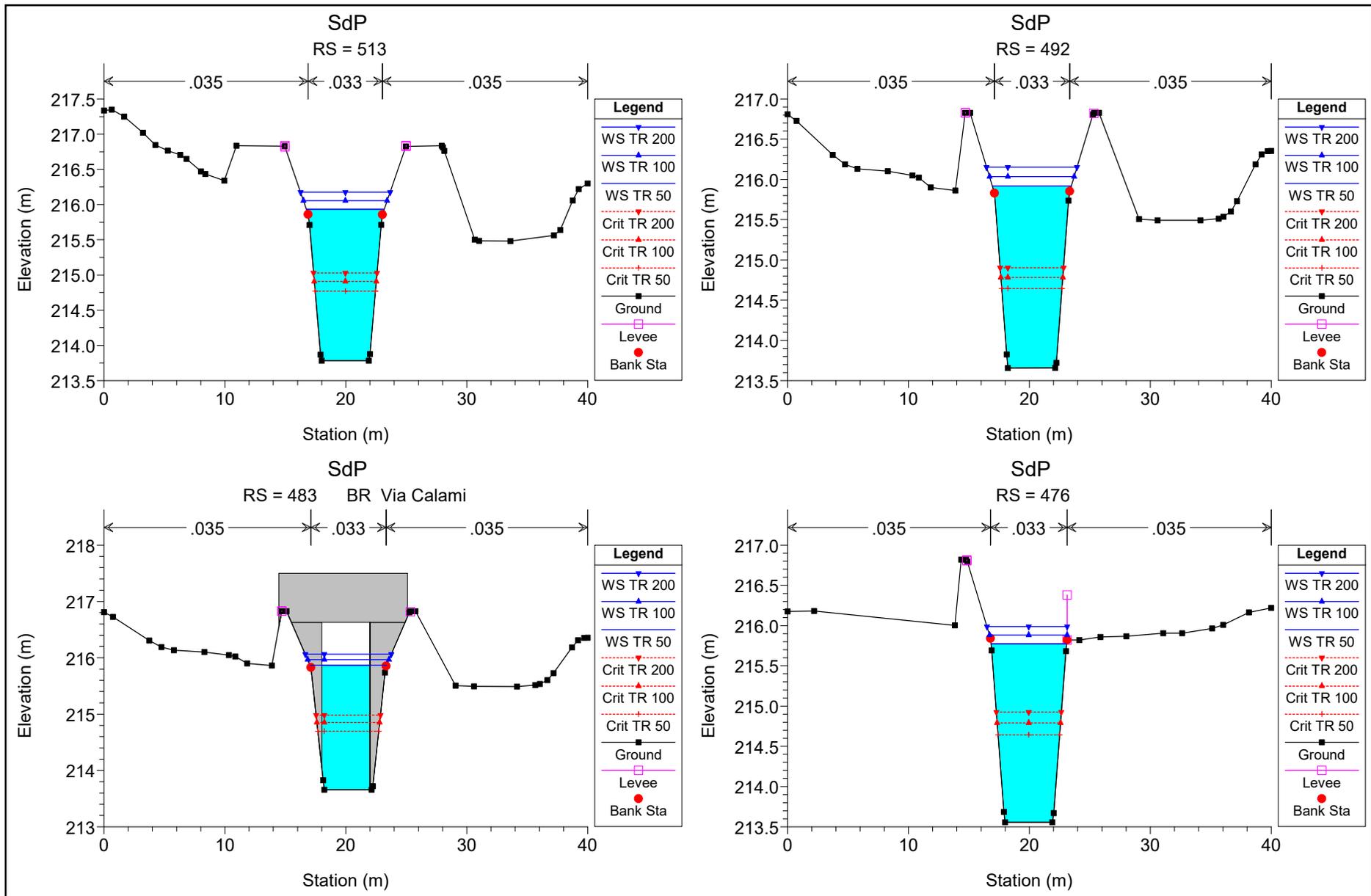


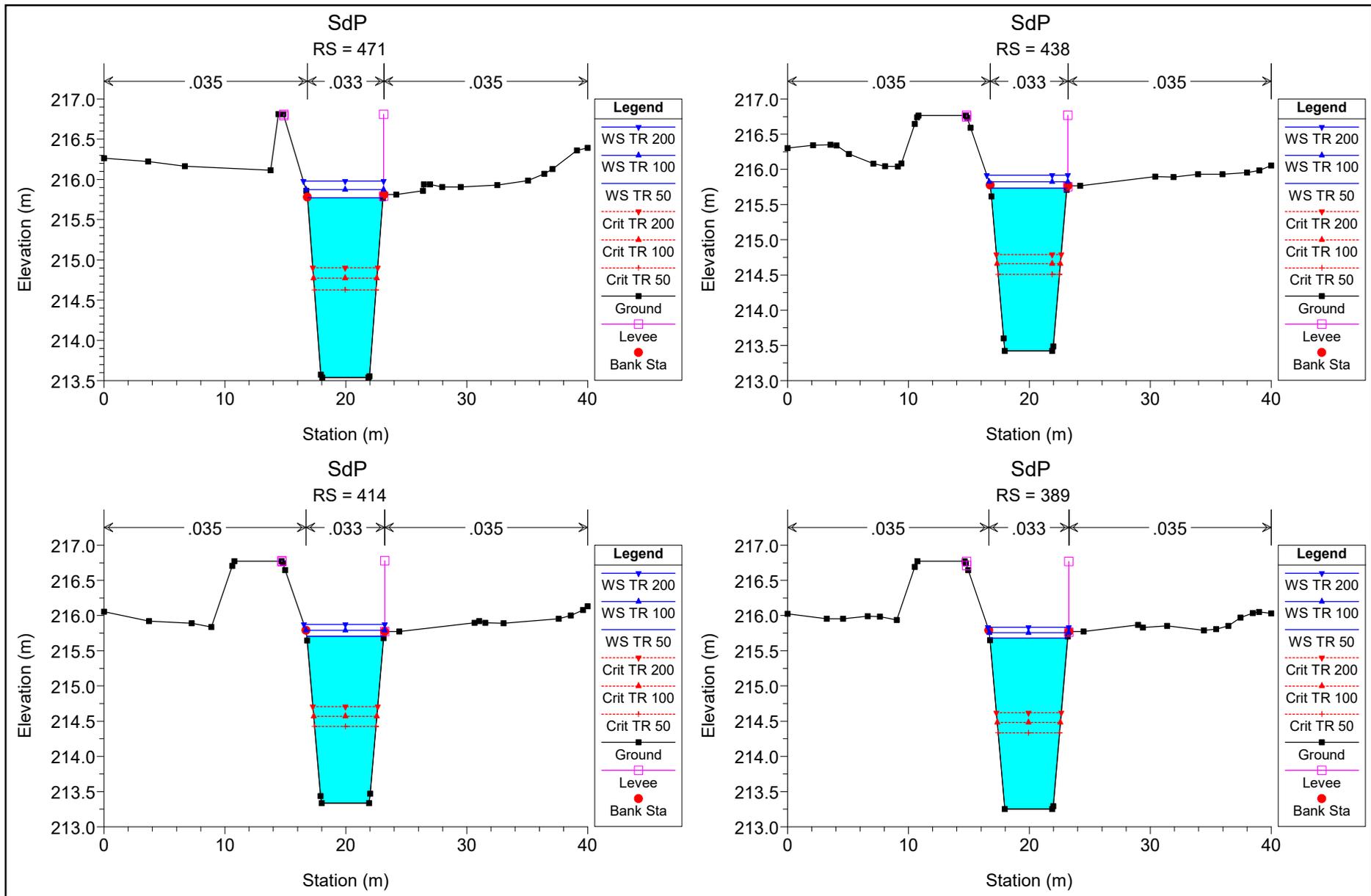


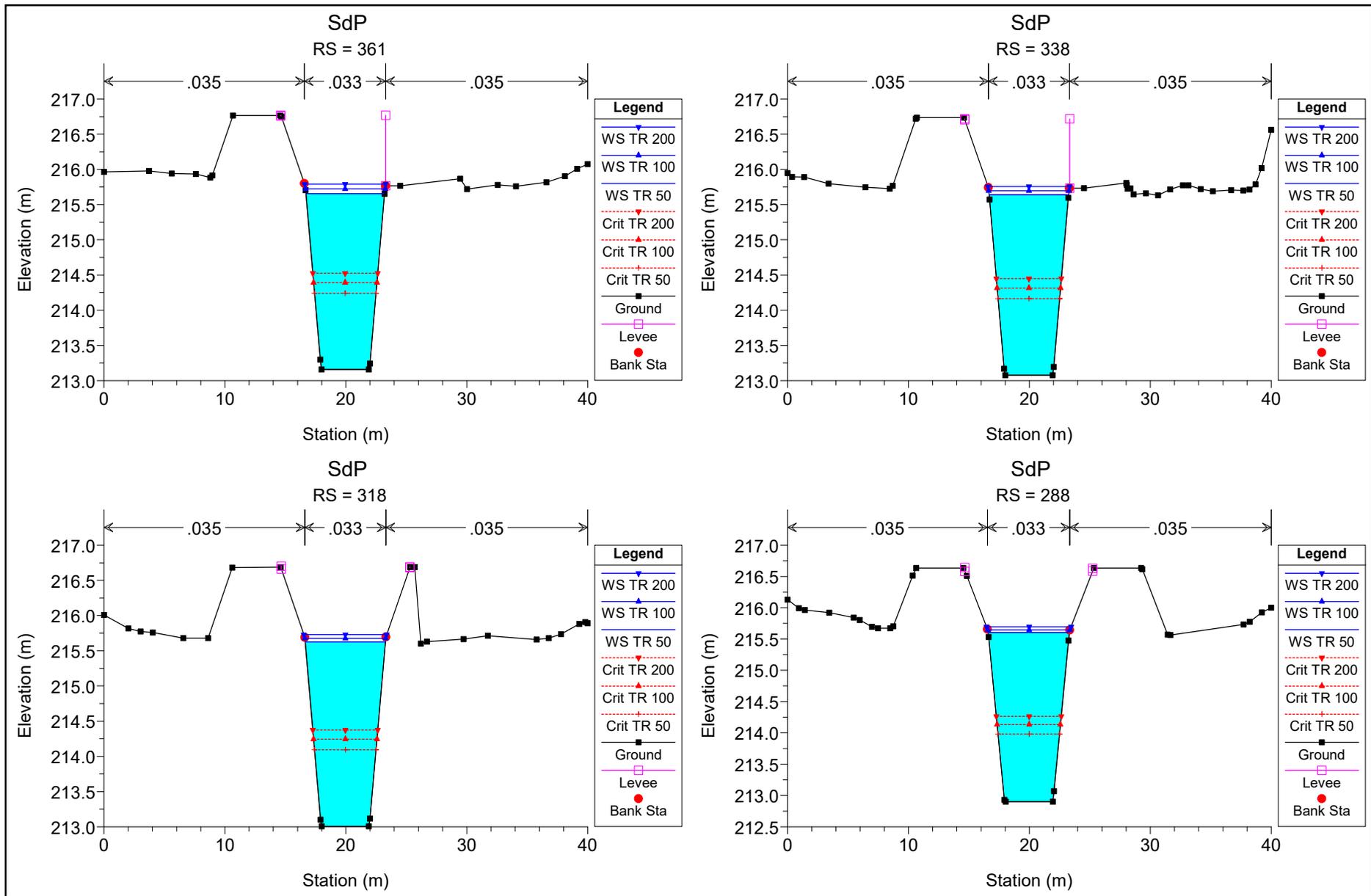


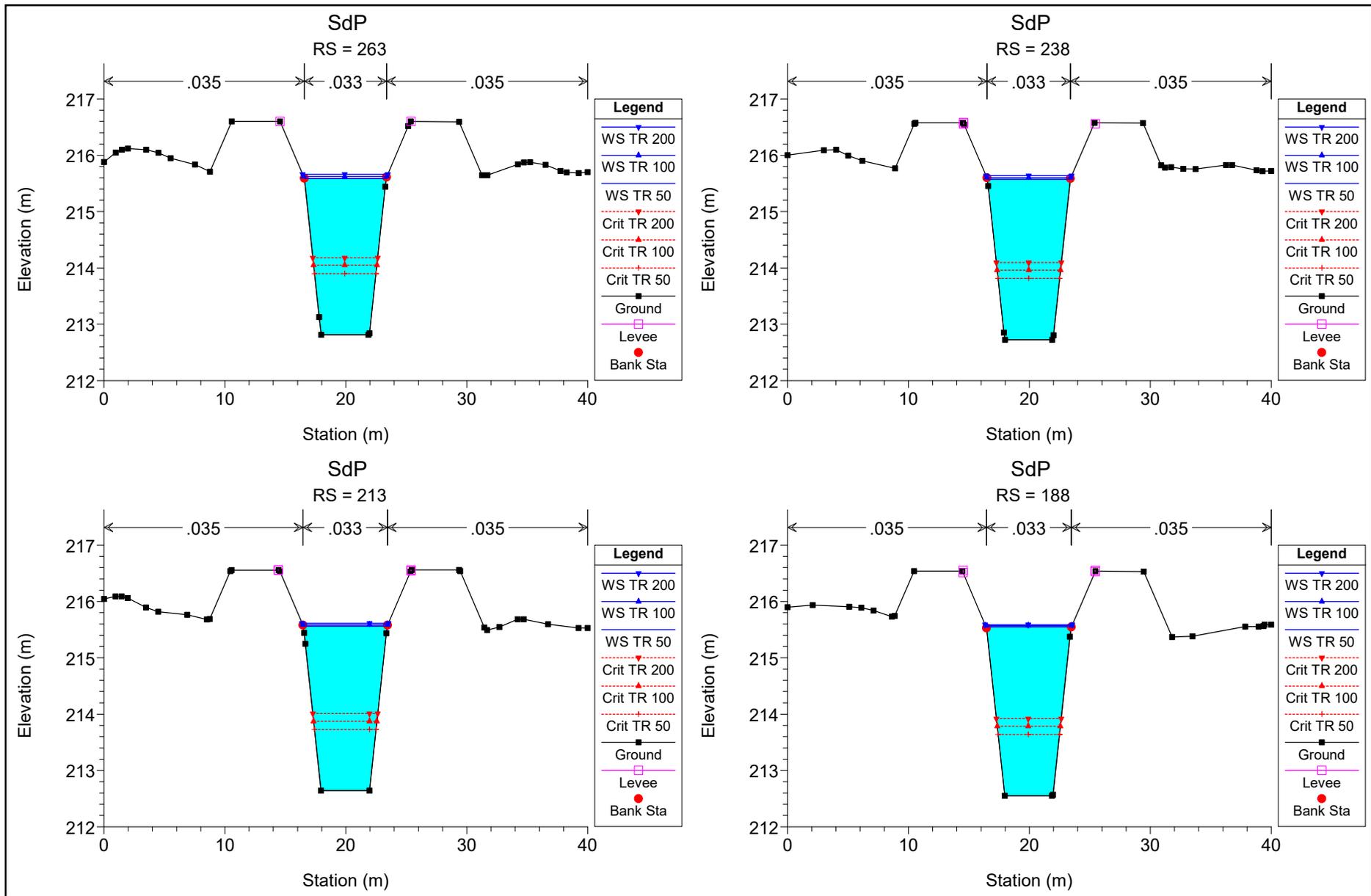


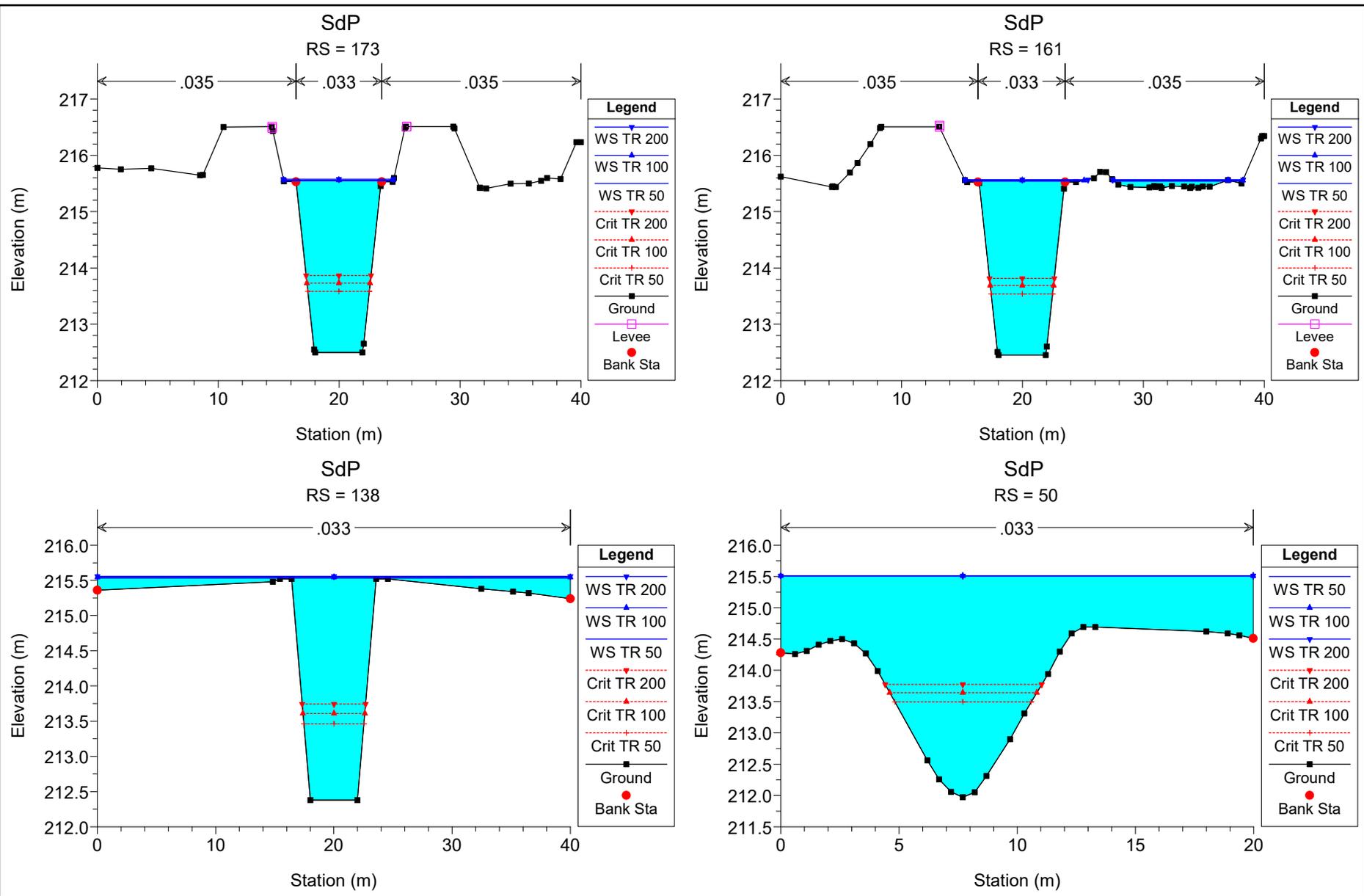












HEC-RAS Plan: SdP River: ValledelleChiese Reach: ValledelleChiese

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
ValledelleChiese	986	TR 50	7.00	225.01	225.85	225.85	226.12	0.022246	2.32	3.02	5.63	1.01
ValledelleChiese	986	TR 100	8.70	225.01	225.93	225.93	226.25	0.021912	2.49	3.49	5.64	1.01
ValledelleChiese	986	TR 200	10.10	225.01	226.00	226.00	226.35	0.021763	2.62	3.86	5.64	1.01
ValledelleChiese	981	TR 50	7.00	224.78	225.48	225.61	225.95	0.050567	3.06	2.29	5.39	1.50
ValledelleChiese	981	TR 100	8.70	224.78	225.55	225.69	226.08	0.049465	3.23	2.70	5.70	1.50
ValledelleChiese	981	TR 200	10.10	224.78	225.60	225.76	226.18	0.048204	3.36	3.00	5.78	1.49
ValledelleChiese	976	TR 50	7.00	224.55	225.26	225.38	225.70	0.049410	2.95	2.37	5.83	1.48
ValledelleChiese	976	TR 100	8.70	224.55	225.32	225.46	225.84	0.050681	3.20	2.72	5.94	1.51
ValledelleChiese	976	TR 200	10.10	224.55	225.36	225.52	225.94	0.050412	3.37	2.99	5.94	1.52
ValledelleChiese	974	TR 50	7.00	224.43	225.50	225.27	225.63	0.006996	1.55	4.52	6.35	0.59
ValledelleChiese	974	TR 100	8.70	224.43	225.61	225.36	225.75	0.007057	1.68	5.19	6.35	0.59
ValledelleChiese	974	TR 200	10.10	224.43	225.69	225.43	225.85	0.007041	1.76	5.74	6.35	0.59
ValledelleChiese	970		Bridge									
ValledelleChiese	965	TR 50	7.00	224.02	224.84	224.84	225.09	0.021436	2.23	3.13	6.27	1.01
ValledelleChiese	965	TR 100	8.70	224.02	224.92	224.92	225.21	0.021063	2.39	3.64	6.39	1.01
ValledelleChiese	965	TR 200	10.10	224.02	224.98	224.98	225.30	0.020831	2.51	4.02	6.39	1.01
ValledelleChiese	962	TR 50	7.00	223.87	224.56	224.67	224.98	0.045617	2.88	2.43	5.96	1.44
ValledelleChiese	962	TR 100	8.70	223.87	224.63	224.75	225.10	0.043070	3.03	2.87	6.15	1.42
ValledelleChiese	962	TR 200	10.10	223.87	224.69	224.81	225.19	0.041781	3.15	3.21	6.29	1.41
ValledelleChiese	949	TR 50	7.00	222.88	223.54	223.74	224.18	0.080158	3.55	1.97	5.37	1.87
ValledelleChiese	949	TR 100	8.70	222.88	223.60	223.82	224.33	0.078597	3.78	2.30	5.57	1.88
ValledelleChiese	949	TR 200	10.10	222.88	223.65	223.88	224.44	0.077095	3.93	2.57	5.72	1.87
ValledelleChiese	933	TR 50	7.00	222.26	223.05	223.10	223.37	0.029409	2.51	2.79	5.96	1.17
ValledelleChiese	933	TR 100	8.70	222.26	223.11	223.18	223.49	0.030641	2.74	3.17	6.04	1.21
ValledelleChiese	933	TR 200	10.10	222.26	223.16	223.24	223.59	0.031435	2.91	3.47	6.11	1.23
ValledelleChiese	912	TR 50	7.00	221.47	222.11	222.23	222.56	0.051600	2.99	2.34	5.95	1.52
ValledelleChiese	912	TR 100	8.70	221.47	222.18	222.31	222.69	0.049141	3.18	2.74	6.01	1.50
ValledelleChiese	912	TR 200	10.10	221.47	222.23	222.38	222.79	0.047400	3.32	3.05	6.02	1.49
ValledelleChiese	897	TR 50	7.00	220.73	221.37	221.48	221.79	0.047705	2.89	2.43	6.12	1.46
ValledelleChiese	897	TR 100	8.70	220.73	221.42	221.56	221.93	0.049585	3.16	2.75	6.14	1.51
ValledelleChiese	897	TR 200	10.10	220.73	221.46	221.62	222.03	0.049993	3.35	3.02	6.15	1.53
ValledelleChiese	882	TR 50	7.00	220.00	220.61	220.72	221.04	0.049827	2.91	2.41	6.21	1.49
ValledelleChiese	882	TR 100	8.70	220.00	220.67	220.80	221.17	0.048886	3.12	2.79	6.26	1.50
ValledelleChiese	882	TR 200	10.10	220.00	220.71	220.86	221.27	0.048876	3.30	3.06	6.28	1.51
ValledelleChiese	866	TR 50	7.00	219.26	219.86	219.97	220.28	0.049039	2.87	2.44	6.29	1.47
ValledelleChiese	866	TR 100	8.70	219.26	219.91	220.05	220.41	0.049922	3.12	2.79	6.39	1.51
ValledelleChiese	866	TR 200	10.10	219.26	219.96	220.11	220.51	0.050007	3.29	3.07	6.40	1.52
ValledelleChiese	851	TR 50	7.00	218.53	219.10	219.22	219.52	0.049680	2.86	2.44	6.36	1.48
ValledelleChiese	851	TR 100	8.70	218.53	219.16	219.29	219.64	0.049187	3.08	2.83	6.51	1.49
ValledelleChiese	851	TR 200	10.10	218.53	219.20	219.35	219.74	0.049281	3.25	3.11	6.52	1.50
ValledelleChiese	850		Bridge									
ValledelleChiese	848	TR 50	7.00	218.33	218.89	219.02	219.34	0.053809	2.96	2.37	6.28	1.54
ValledelleChiese	848	TR 100	8.70	218.33	218.95	219.10	219.47	0.053274	3.18	2.74	6.41	1.55
ValledelleChiese	848	TR 200	10.10	218.33	218.99	219.16	219.57	0.053141	3.35	3.01	6.43	1.56
ValledelleChiese	847	TR 50	7.00	218.27	218.82	218.95	219.29	0.058074	3.03	2.31	6.25	1.59
ValledelleChiese	847	TR 100	8.70	218.27	218.88	219.03	219.42	0.057294	3.25	2.68	6.42	1.61
ValledelleChiese	847	TR 200	10.10	218.27	218.92	219.09	219.52	0.057076	3.42	2.95	6.47	1.62
ValledelleChiese	845	TR 50	7.00	218.13	219.07	218.74	219.17	0.005269	1.41	4.98	5.85	0.49
ValledelleChiese	845	TR 100	8.70	218.13	219.19	218.83	219.31	0.005536	1.54	5.66	5.85	0.50
ValledelleChiese	845	TR 200	10.10	218.13	219.30	218.89	219.43	0.005433	1.60	6.30	5.86	0.49
ValledelleChiese	841		Bridge									
ValledelleChiese	836	TR 50	7.00	218.00	218.69	218.69	219.00	0.016194	2.45	2.85	4.71	1.01
ValledelleChiese	836	TR 100	8.70	218.00	218.74	218.79	219.15	0.019503	2.81	3.10	4.72	1.11
ValledelleChiese	836	TR 200	10.10	218.00	218.80	218.86	219.26	0.020663	3.01	3.35	4.73	1.14
ValledelleChiese	827	TR 50	7.00	217.83	218.52	218.57	218.85	0.021119	2.53	2.76	5.79	1.17
ValledelleChiese	827	TR 100	8.70	217.83	218.59	218.66	218.98	0.021833	2.77	3.15	5.86	1.20
ValledelleChiese	827	TR 200	10.10	217.83	218.63	218.72	219.08	0.023578	2.99	3.38	5.90	1.26
ValledelleChiese	815	TR 50	7.00	217.48	218.16	218.25	218.55	0.027628	2.77	2.53	5.75	1.34
ValledelleChiese	815	TR 100	8.70	217.48	218.23	218.33	218.68	0.026993	2.97	2.93	5.84	1.34
ValledelleChiese	815	TR 200	10.10	217.48	218.28	218.40	218.77	0.026438	3.11	3.25	5.91	1.34
ValledelleChiese	803	TR 50	7.00	217.13	217.84	217.92	218.22	0.025827	2.71	2.58	5.81	1.30
ValledelleChiese	803	TR 100	8.70	217.13	217.90	218.01	218.35	0.026366	2.95	2.95	5.88	1.33
ValledelleChiese	803	TR 200	10.10	217.13	217.95	218.07	218.45	0.026564	3.12	3.24	5.94	1.35
ValledelleChiese	791	TR 50	7.00	216.79	217.50	217.60	217.89	0.027430	2.75	2.54	5.94	1.34
ValledelleChiese	791	TR 100	8.70	216.79	217.57	217.68	218.02	0.027510	2.97	2.93	6.06	1.37

HEC-RAS Plan: SdP River: ValledelleChiese Reach: ValledelleChiese (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W. S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
ValledelleChiese	791	TR 200	10.10	216.79	217.62	217.74	218.12	0.027644	3.13	3.22	6.14	1.38
ValledelleChiese	779	TR 50	7.00	216.44	217.15	217.25	217.54	0.028981	2.77	2.53	6.04	1.37
ValledelleChiese	779	TR 100	8.70	216.44	217.21	217.33	217.67	0.028975	3.00	2.90	6.10	1.39
ValledelleChiese	779	TR 200	10.10	216.44	217.26	217.39	217.77	0.028914	3.16	3.20	6.14	1.40
ValledelleChiese	768	TR 50	7.00	215.93	216.81	216.91	217.21	0.032156	2.81	2.49	6.04	1.39
ValledelleChiese	768	TR 100	8.70	215.93	216.87	216.99	217.34	0.032299	3.04	2.86	6.10	1.42
ValledelleChiese	768	TR 200	10.10	215.93	216.92	217.05	217.44	0.032148	3.20	3.15	6.14	1.43
ValledelleChiese	754	TR 50	7.00	215.66	216.43	216.52	216.79	0.029684	2.64	2.66	6.93	1.36
ValledelleChiese	754	TR 100	8.70	215.66	216.49	216.60	216.91	0.030829	2.87	3.03	7.13	1.41
ValledelleChiese	754	TR 200	10.10	215.66	216.53	216.65	217.00	0.031699	3.05	3.31	7.20	1.44
ValledelleChiese	728	TR 50	7.00	215.07	216.40	215.73	216.46	0.001626	1.13	6.18	5.30	0.33
ValledelleChiese	728	TR 100	8.70	215.07	216.54	215.83	216.58	0.001164	1.00	11.21	21.29	0.29
ValledelleChiese	728	TR 200	10.10	215.07	216.65	215.91	216.69	0.000946	0.96	13.74	21.77	0.26
ValledelleChiese	723	TR 50	7.00	215.03	216.39	215.69	216.45	0.001545	1.11	6.32	5.44	0.33
ValledelleChiese	723	TR 100	8.70	215.03	216.54	215.79	216.57	0.000735	0.83	14.96	30.45	0.23
ValledelleChiese	723	TR 200	10.10	215.03	216.66	215.87	216.68	0.000567	0.77	18.59	30.95	0.21
ValledelleChiese	715	TR 50	7.00	214.99	216.38	215.65	216.44	0.001377	1.06	6.57	5.40	0.31
ValledelleChiese	715	TR 100	8.70	214.99	216.55	215.75	216.56	0.000287	0.53	23.94	40.75	0.14
ValledelleChiese	715	TR 200	10.10	214.99	216.67	215.82	216.68	0.000228	0.50	28.70	41.17	0.13
ValledelleChiese	705	TR 50	7.00	214.93	216.42	215.38	216.42	0.000101	0.33	26.10	37.19	0.09
ValledelleChiese	705	TR 100	8.70	214.93	216.55	215.43	216.56	0.000096	0.35	31.30	38.25	0.09
ValledelleChiese	705	TR 200	10.10	214.93	216.67	215.47	216.67	0.000089	0.35	35.75	38.72	0.09
ValledelleChiese	697	TR 50	7.00	214.88	216.41	215.50	216.42	0.000262	0.51	19.12	32.17	0.15
ValledelleChiese	697	TR 100	8.70	214.88	216.55	215.59	216.56	0.000221	0.50	23.62	32.89	0.14
ValledelleChiese	697	TR 200	10.10	214.88	216.66	215.66	216.67	0.000191	0.49	27.47	33.39	0.13
ValledelleChiese	689	TR 50	13.10	214.84	216.35	215.83	216.41	0.001749	1.25	14.74	29.77	0.35
ValledelleChiese	689	TR 100	16.10	214.84	216.50	215.97	216.55	0.001298	1.16	19.37	31.00	0.31
ValledelleChiese	689	TR 200	18.90	214.84	216.62	216.09	216.67	0.001090	1.12	23.18	31.96	0.28
ValledelleChiese	683	TR 50	13.10	214.80	216.30	215.79	216.39	0.002452	1.50	11.92	27.69	0.42
ValledelleChiese	683	TR 100	16.10	214.80	216.47	215.93	216.54	0.001674	1.35	16.83	29.43	0.35
ValledelleChiese	683	TR 200	18.90	214.80	216.60	216.05	216.66	0.001355	1.28	20.74	30.69	0.32
ValledelleChiese	673	TR 50	13.10	214.73	216.22	215.72	216.36	0.003424	1.73	9.39	24.89	0.49
ValledelleChiese	673	TR 100	16.10	214.73	216.43	215.86	216.52	0.002044	1.48	14.93	27.37	0.39
ValledelleChiese	673	TR 200	18.90	214.73	216.57	215.99	216.64	0.001611	1.40	18.84	28.90	0.35
ValledelleChiese	639	TR 50	13.10	214.53	216.10	215.52	216.25	0.003024	1.73	7.84	8.49	0.47
ValledelleChiese	639	TR 100	16.10	214.53	216.25	215.66	216.42	0.003091	1.88	9.31	11.15	0.49
ValledelleChiese	639	TR 200	18.90	214.53	216.42	215.78	216.57	0.002452	1.80	12.95	17.98	0.44
ValledelleChiese	614	TR 50	13.10	214.38	216.14	215.37	216.18	0.000839	0.97	16.13	16.33	0.25
ValledelleChiese	614	TR 100	16.10	214.38	216.31	215.51	216.35	0.000794	1.01	18.90	16.91	0.25
ValledelleChiese	614	TR 200	18.90	214.38	216.46	215.63	216.50	0.000745	1.04	21.54	17.44	0.24
ValledelleChiese	588	TR 50	13.10	214.23	216.02	215.23	216.14	0.002089	1.50	8.76	6.09	0.39
ValledelleChiese	588	TR 100	16.10	214.23	216.16	215.36	216.31	0.002364	1.69	9.63	6.63	0.42
ValledelleChiese	588	TR 200	18.90	214.23	216.29	215.49	216.46	0.002522	1.83	10.52	7.15	0.44
ValledelleChiese	564	TR 50	13.10	214.09	215.99	215.07	216.09	0.001765	1.39	9.42	6.10	0.35
ValledelleChiese	564	TR 100	16.10	214.09	216.12	215.21	216.24	0.002041	1.58	10.26	6.62	0.39
ValledelleChiese	564	TR 200	18.90	214.09	216.24	215.33	216.39	0.002206	1.72	11.12	7.12	0.41
ValledelleChiese	538	TR 50	13.10	213.93	215.96	214.92	216.04	0.001422	1.29	10.17	6.20	0.32
ValledelleChiese	538	TR 100	16.10	213.93	216.08	215.06	216.19	0.001684	1.47	10.98	6.71	0.35
ValledelleChiese	538	TR 200	18.90	213.93	216.21	215.18	216.34	0.001856	1.61	11.83	7.20	0.37
ValledelleChiese	513	TR 50	13.10	213.78	215.93	214.77	216.01	0.001142	1.20	10.94	6.44	0.29
ValledelleChiese	513	TR 100	16.10	213.78	216.05	214.91	216.15	0.001383	1.38	11.75	6.92	0.32
ValledelleChiese	513	TR 200	18.90	213.78	216.17	215.03	216.29	0.001549	1.52	12.60	7.40	0.34
ValledelleChiese	492	TR 50	13.10	213.66	215.92	214.64	215.98	0.000971	1.13	11.62	6.54	0.26
ValledelleChiese	492	TR 100	16.10	213.66	216.03	214.78	216.12	0.001195	1.30	12.41	7.01	0.30
ValledelleChiese	492	TR 200	18.90	213.66	216.15	214.90	216.26	0.001354	1.44	13.26	7.48	0.32
ValledelleChiese	483		Bridge									
ValledelleChiese	476	TR 50	15.20	213.56	215.77	214.64	215.87	0.001426	1.34	11.34	6.26	0.32
ValledelleChiese	476	TR 100	18.60	213.56	215.88	214.79	216.00	0.001798	1.55	12.01	6.42	0.36
ValledelleChiese	476	TR 200	21.90	213.56	215.99	214.93	216.14	0.002077	1.73	12.71	6.63	0.39
ValledelleChiese	471	TR 50	15.20	213.54	215.77	214.63	215.86	0.001404	1.33	11.40	6.24	0.31
ValledelleChiese	471	TR 100	18.60	213.54	215.87	214.77	216.00	0.001782	1.54	12.07	6.42	0.36
ValledelleChiese	471	TR 200	21.90	213.54	215.98	214.90	216.13	0.002099	1.72	12.75	6.63	0.39
ValledelleChiese	438	TR 50	15.20	213.42	215.73	214.51	215.81	0.001258	1.28	11.89	6.35	0.30
ValledelleChiese	438	TR 100	18.60	213.42	215.82	214.66	215.94	0.001640	1.49	12.48	6.51	0.34
ValledelleChiese	438	TR 200	21.90	213.42	215.92	214.79	216.06	0.001967	1.67	13.11	6.70	0.37

HEC-RAS Plan: SdP River: ValledelleChiese Reach: ValledelleChiese (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W. S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
ValledelleChiese	414	TR 50	15.20	213.34	215.70	214.42	215.78	0.001151	1.24	12.27	6.39	0.29
ValledelleChiese	414	TR 100	18.60	213.34	215.79	214.57	215.90	0.001540	1.45	12.81	6.52	0.33
ValledelleChiese	414	TR 200	21.90	213.34	215.87	214.71	216.01	0.001871	1.64	13.38	6.70	0.37
ValledelleChiese	389	TR 50	15.20	213.25	215.68	214.33	215.75	0.001057	1.20	12.66	6.43	0.27
ValledelleChiese	389	TR 100	18.60	213.25	215.76	214.48	215.86	0.001437	1.41	13.15	6.57	0.32
ValledelleChiese	389	TR 200	21.90	213.25	215.83	214.62	215.96	0.001783	1.60	13.67	6.69	0.36
ValledelleChiese	361	TR 50	15.20	213.16	215.66	214.24	215.72	0.000957	1.16	13.12	6.50	0.26
ValledelleChiese	361	TR 100	18.60	213.16	215.72	214.39	215.82	0.001318	1.37	13.55	6.60	0.31
ValledelleChiese	361	TR 200	21.90	213.16	215.79	214.53	215.91	0.001672	1.56	14.01	6.72	0.35
ValledelleChiese	338	TR 50	15.20	213.08	215.64	214.16	215.70	0.000884	1.12	13.52	6.58	0.25
ValledelleChiese	338	TR 100	18.60	213.08	215.70	214.31	215.79	0.001229	1.34	13.90	6.65	0.30
ValledelleChiese	338	TR 200	21.90	213.08	215.76	214.45	215.88	0.001567	1.53	14.31	6.76	0.33
ValledelleChiese	318	TR 50	15.20	213.01	215.62	214.09	215.68	0.000819	1.09	13.90	6.63	0.24
ValledelleChiese	318	TR 100	18.60	213.01	215.68	214.24	215.76	0.001148	1.31	14.24	6.68	0.29
ValledelleChiese	318	TR 200	21.90	213.01	215.73	214.37	215.85	0.001468	1.50	14.62	6.86	0.32
ValledelleChiese	288	TR 50	15.20	212.90	215.60	213.98	215.66	0.000738	1.05	14.47	6.74	0.23
ValledelleChiese	288	TR 100	18.60	212.90	215.65	214.13	215.73	0.001048	1.26	14.76	6.81	0.27
ValledelleChiese	288	TR 200	21.90	212.90	215.69	214.27	215.80	0.001355	1.45	15.08	6.98	0.31
ValledelleChiese	263	TR 50	15.20	212.81	215.59	213.90	215.64	0.000675	1.02	14.96	6.79	0.22
ValledelleChiese	263	TR 100	18.60	212.81	215.62	214.05	215.70	0.000961	1.22	15.20	6.89	0.26
ValledelleChiese	263	TR 200	21.90	212.81	215.66	214.18	215.77	0.001257	1.42	15.48	7.05	0.30
ValledelleChiese	238	TR 50	15.20	212.73	215.57	213.81	215.62	0.000616	0.98	15.46	6.88	0.21
ValledelleChiese	238	TR 100	18.60	212.73	215.60	213.96	215.68	0.000888	1.19	15.66	6.95	0.25
ValledelleChiese	238	TR 200	21.90	212.73	215.64	214.09	215.73	0.001174	1.38	15.89	7.08	0.29
ValledelleChiese	213	TR 50	15.20	212.64	215.56	213.73	215.61	0.000571	0.95	15.95	6.98	0.20
ValledelleChiese	213	TR 100	18.60	212.64	215.59	213.87	215.65	0.000829	1.15	16.12	7.03	0.24
ValledelleChiese	213	TR 200	21.90	212.64	215.61	214.01	215.70	0.001107	1.34	16.31	7.14	0.28
ValledelleChiese	188	TR 50	15.20	212.55	215.55	213.64	215.59	0.000518	0.92	16.49	7.05	0.19
ValledelleChiese	188	TR 100	18.60	212.55	215.57	213.79	215.63	0.000756	1.12	16.62	7.12	0.23
ValledelleChiese	188	TR 200	21.90	212.55	215.59	213.92	215.68	0.001019	1.31	16.77	7.20	0.27
ValledelleChiese	173	TR 50	15.20	212.50	215.54	213.58	215.59	0.000491	0.90	16.85	9.03	0.19
ValledelleChiese	173	TR 100	18.60	212.50	215.56	213.73	215.62	0.000720	1.10	16.99	9.07	0.23
ValledelleChiese	173	TR 200	21.90	212.50	215.58	213.87	215.66	0.000974	1.28	17.14	9.11	0.26
ValledelleChiese	161	TR 50	15.20	212.45	215.54	213.54	215.58	0.000467	0.88	17.99	19.50	0.18
ValledelleChiese	161	TR 100	18.60	212.45	215.55	213.69	215.61	0.000684	1.07	18.26	20.42	0.22
ValledelleChiese	161	TR 200	21.90	212.45	215.57	213.82	215.65	0.000924	1.25	18.57	21.02	0.26
ValledelleChiese	138	TR 50	15.20	212.38	215.53	213.46	215.56	0.001414	0.70	21.57	40.00	0.31
ValledelleChiese	138	TR 100	18.60	212.38	215.54	213.61	215.58	0.001975	0.84	22.03	40.00	0.36
ValledelleChiese	138	TR 200	21.90	212.38	215.56	213.74	215.61	0.002529	0.97	22.57	40.00	0.41
ValledelleChiese	50	TR 50	15.20	211.97	215.51	213.49	215.52	0.000164	0.47	32.03	19.98	0.12
ValledelleChiese	50	TR 100	18.60	211.97	215.51	213.64	215.53	0.000245	0.58	32.03	19.98	0.15
ValledelleChiese	50	TR 200	21.90	211.97	215.51	213.77	215.53	0.000340	0.68	32.03	19.98	0.17



REGIONE PIEMONTE – Provincia del Verbano-Cusio-Ossola
Comune di Vogogna

Interventi di mitigazione del rischio idraulico in sponda sinistra del Fiume Toce

Progetto di fattibilità tecnica ed economica



ALLEGATO 6

– Verifiche del rilevato arginale

VERIFICHE PER L'ARGINE IN PROGETTO - SEZIONI DI RIFERIMENTO RIO DELLE CHIESE:

Rilevato	Base B1 (m)	h1 (m)	B2 (m)
Sez 6	9	2	4
Sez 14	8	1	4
Sez 18	8	1.2	4

Parametri	Φ_{ril} (°)	γ_{ril} (kN/mc)	$\Phi_{rinf/terr}$ (°)	$\delta_{rinf/terr}$ (°)	$\gamma_{terreno}$ (kN/mc)	γ_{acqua} (kN/mc)	Sovr vert (kN/m ²)	h equivalente terreno (m)	$\Phi_{terreno}$ spinta °	k_a Coulomb - M	k_p	h_w tergo rilevato (m)
Sez 6	34	18.5	30.6	16.7	18.5	9.81	0.0	0.00	25	0.00	2.46	1.0
Sez 14	34	18.5	30.6	16.7	18.5	9.81	0.0	0.00	25	0.00	2.46	1.0
Sez 18	34	18.5	30.6	16.7	18.5	9.81	0.0	0.00	25	0.00	2.46	1.0

VERIFICA SCIVOLAMENTO A1+M1+R3	Spinta attiva terreno (kN/m)	Spinta terreno verticale (kN/m)	Spinta terreno orizzontale (kN/m)	Spinta idrostatica (kN/m)	Sottospinta falda (kN/m)	V_{RIL} (m ³ /m)	W_{RIL} (kN/m)	W carico in testa permanente terreno (kN/m)	R (kN/m)	FS	Verifica
Sez 6	19.5	5.6	18.7	7.4	44.1	13.0	240.5	0.0	119.4	4.6	verif
Sez 14	2.6	0.8	2.5	7.4	39.2	6.0	111.0	0.0	42.9	4.3	verif
Sez 18	5.1	1.5	4.9	7.4	39.2	7.2	133.2	0.0	56.4	4.6	verif

VERIFICA A RIBALTAMENTO EQU+M2	H_{eq} (m)	Sa+Sw (kN/m)	L (m)	Coeffi forze fav	Coeffi forze sfav	W_{RIL} (kN/m)	M_S (kN*m/m)	M_R (kN*m/m)	FS	Verifica
Sez 6	2.00	20.64	9	0.9	1.5	201.1	814.3	20.6	39.5	verif
Sez 14	1.00	7.04	8	0.9	1.5	72.4	260.6	3.5	74.1	verif
Sez 18	1.20	9.03	8	0.9	1.5	95.2	342.7	5.4	63.2	verif