

POLITECNICO DI TORINO

I Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

Modellazione Idraulica e Geomatica Di Scenari Alluvionali a Scala Urbana



Relatori:

Prof. Marco Piras

Prof. Pier Luigi Claps

Candidato:

Juan Sebastian Yepes M.

Luglio 2020

Sommario

Questo lavoro di tesi si propone l'obiettivo di definire, descrivere e valutare un processo operativo attraverso il quale è possibile generare un'integrazione delle geomatiche ed idrauliche per l'analisi del rischio alluvionale in aree urbane. Si sono utilizzati diversi software, come QGIS ed HEC-RAS, con lo scopo principale di ottenere un modello rappresentativo dell'area di interesse per poi fornire informazioni sulla vulnerabilità idraulica presentate dalle aree di studio. Si sono utilizzati unicamente dati e software di pubblico dominio, allo scopo di rendere la procedura utilizzabile con il massimo grado possibile di uniformità in altre aree urbane italiane. Anche i rilievi in situ sono stati pensati ed attuati con modalità che potessero essere facilmente replicabili senza apparecchiature particolarmente sofisticate.

L'area in esame è quella della collina di Torino posta subito a ridosso del fiume Po, che è caratterizzata da una pendenza abbastanza rilevante ed è spesso sede di fenomeni di dissesto ed è caratterizzata da un numero elevato di corsi d'acqua secondari.

L'analisi geomatica dell'area di interesse è stata ottenuta generando un DSM (Digital Surface Model) basato su DTM (Digital Terrain Model) ottenuti da diversi geoportali. Lo scopo di questo DSM è quello creare un gruppo di sezioni trasversali con l'informazione di elementi antropici come sono gli edifici, i marciapiedi i muretti, fra altre, lungo le strade che sono immerse nelle aree a maggior rischio, al fine di modellare il passaggio dell'acqua, ottenendo così un modello idraulico, realizzato mediante l'uso dell'Open Ras Mapper, strumento incluso nel software HEC-RAS.

È di notevole importanza concettuale avere in conto che per la ricostruzione dei flussi idrici in queste aree urbane si è considerato che il dominio del flusso idraulico è la strada e non il corso d'acqua, poiché questo risulta essere tombato. Allo stesso modo, viene presentata la modellazione delle sezioni in cui il corpo idrico passa da superficiale ad essere tombato, essendo questi i punti di alta vulnerabilità.

I rilievi in situ hanno consentito di mettere a punto una procedura di caratterizzazione di dettaglio dei punti critici sopra definiti, basata su elaborazione di fotografie effettuate con strumenti amatoriali. Si sono infine ricostruiti gli scenari di allagamento per mostrare le condizioni idrauliche in cui si trovano le diverse zone quando si generano naufragi forti, con lo scopo di valutare la vulnerabilità dei cittadini e dei veicoli.

Indice

Sommario.....	1
Introduzione	4
Problematica	4
Approccio alla ricerca.....	7
Capitolo 1- Caratterizzazione della Zona e Descrizione del problema.....	8
1. Inquadramento geo-morfologico	8
2. Caratteri climatici.....	11
3. Evidenza Storica della Vulnerabilità Idraulica della Collina Torinese.....	12
3.1. Analisi Eventi giornali.....	13
Capitolo 2- Descrizione della base cartografica e dati territoriali	15
1. Database Cartografici.....	15
2. Estrazione dei dati.....	17
3. Individuazione dei percorsi critici	23
3.1. Tratto critico: Val Salice o Pavese	26
3.2. Tratto critico: Val San Martino	27
3.3. Tratto Critico: Val Piana.....	28
4. DTM modificato	29
4.1. Descrizione dei database	29
4.2. Integrazione del dato altimetrico	32
4.3. DTM modificato.....	35
Capitolo 3- Tecniche di rilievo in campo e analisi dei dati	39
1. Descrizione dei Punti critici (tratti tombati)	39
2. Ricostruzione del modello tramite immagini ed accessori di supporto	42
3. Generazione di fotopiani o immagini raddrizzate.....	48
i. Raddrizzamento Geometrico.....	49
ii. Raddrizzamento Analitico	52
iii. Raddrizzamento analitico con il software RDF:.....	60
Capitolo 4- Dominio del Flusso Idraulico	66
1. Geometria del Modello Idraulico.....	66
2. Rifinitura del Modello.....	70
Capitolo 5 Analisi e Conclusioni	74

1. Analisi Di modello idraulico.....	74
2. Analisi di sezione tombata.....	83
3. Conclusioni	86
Bibliografia	88
Allegati.....	90
1. Guida dati vettoriali di BDTRE	90
2. Mappatura di dati vettoriale.....	93
3. Risultati del Modello idraulico.....	94
4. Risultati di Vulnerabilità	140

Introduzione

Lo scopo principale di questo progetto è di presentare i metodi speditivi per generare la modellazione di scenari di allagamenti in zone dove il fenomeno delle inondazioni urbane è stato registrato nel corso degli anni. Per la costruzione di questo scenari si sono scelti quelle precipitazioni di notevole intensità, registrati nei giornali, tali da produrre flusso d'acqua superficiale che la Protezione Civile non è stato in grado di prefigurare o mitigare.

Per creare il modello topografico nella zona di studio, si sono scelti quelli documenti a basso costo, o gratuiti, forniti da diversi enti pubblici. Questi dati, pur essendo accessibili al pubblico, sono in grado di consentire una buona rappresentazione altimetrica di tutte le strutture ed elementi antropici, trovati all'interno del dominio topografico. Dallo stesso modo, in questo progetto si presentano tecniche di rilievo in campo, con lo scopo principale da produrre un modello delle sezioni tombate, i quali sono considerati come punti critici dentro del fenomeno di inondazione urbane, per essere dove i corsi d'acqua superficiale diventano sotterranei.

Inoltre, in questo progetto si viene descritta la procedura eseguita per generare i modelli idraulici delle tre zone più colpite nella colina di Torino, Val Salice, San Martino e Val Piana, con la sua rispettiva analisi di vulnerabilità quando si presentano fenomeni de allagamento.

Problematica

“I fenomeni d'inondazioni urbane sono tra le principali cause di dissesto nelle are urbanizzate poiché le loro cause, si presentano con maggior frequenza rispetto ad eventi alluvionali collegati a piogge prolungate, o a carattere estremo” (Luciano, 2014)

Le inondazioni urbane non è causata quando un fiume trabocca sulle sponde, ma anche quando si presenta un deflusso d'acqua eccessivo nelle aree sviluppate in cui l'acqua non ha nessun posto dove andare, ma eseguire il corso della strada. Questo fenomeno è prodotto di tre componenti separate: le forti precipitazioni, l'aumento dell'urbanizzazione e l'insufficiente oppure obsoleta infrastruttura della rete fognaria o sistema di drenaggio urbano, i quali fanno che inondazioni urbani sia un problema complesso. (Anna, 2019)

Una questione importante evidenziata da questo fenomeno sono degli effetti sulla comunità all'interno della zona in rischio, come la perdita di ore di lavoro per non essere in grado di

mobilizzarsi, ore perse nelle sfide del traffico, interruzione nelle filiere locali, regionali e nazionali, o chiusure delle scuole, ristoranti, e negozi che si trovano vicino all'area vulnerabile. Nonostante, questo non include gli effetti sulla salute fisica e mentale legati alle inondazioni, come l'asma. (Anna, 2019)

Questo fenomeno può diventare più gravoso quando la sezione tombata dei corsi d'acqua che passano all'interno dell'area urbana, in eventi di pioggia di alta intensità, si riempie completamente, e di conseguenza il flusso si divide in due generando così un aumento del livello d'acqua che passa sulla strada, come è successo in Genova il 7 di novembre del 2011, dove si ha generato una piena in Via Fereggiano. Tale evento viene descritto in tre momenti:

1. Condizione normale, il canale contiene la corrente su tre lati, ma questo avviene fino a quando la superficie della corrente lambisce il bordo superiore. (Repubblica, 2011)

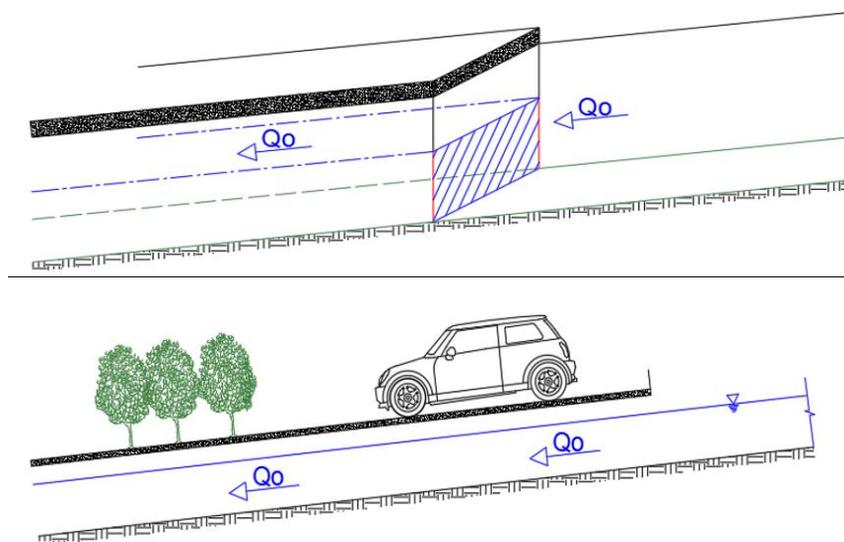


Figura 1 Primo momento flusso normale d'acqua.

2. Nel momento in cui la superficie della corrente entra in contatto con il bordo superiore il canale diventa un "tubo" e "frena" la corrente su quattro lati. Allora, per il brusco aumento della superficie di attrito, il canale rallenta il flusso e provoca l'istantanea uscita dell'acqua. (Repubblica, 2011)

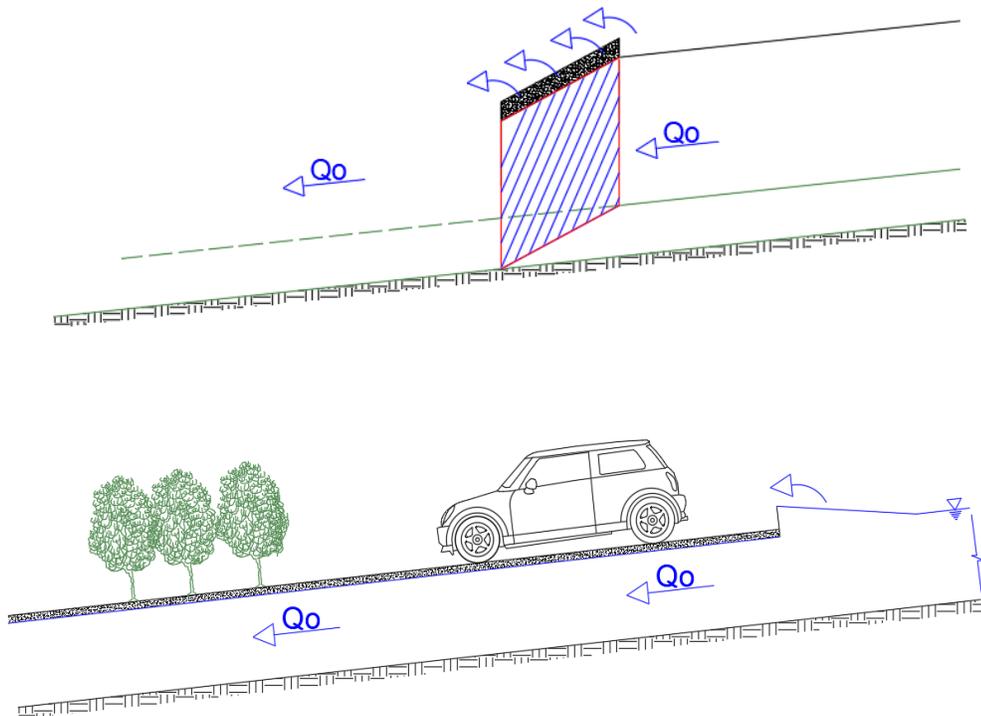


Figura 2 Secondo momento, contatto con il bordo superiore

3. L'ultimo momento è quando la portata non riesce a passare nel canale sotterraneo, e diventa una corrente che invade improvvisamente la strada sovrastante e si somma al flusso laterale proveniente da monte. (Repubblica, 2011)

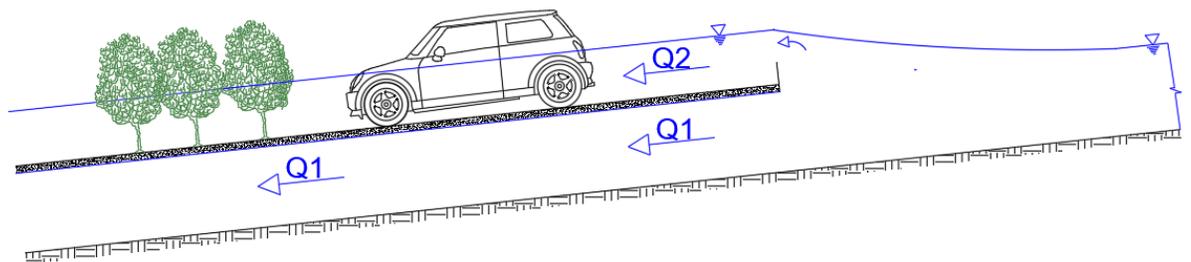


Figura 3 Riempimento della sezione

Le inondazione urbane è una fonte crescente significative di perdite economiche, disagi sociali e disuguaglianze abitative, nonostante, ci sono alcune regole che possono essere prese in considerazione per prevenire le inondazioni urbani come sono, creare una “città spugna”, tetti verdi, creare golene lungo fiumi, separare il sistema di raccolta dell’acqua piovana dal sistema

fognario, installare sistemi di infiltrazione e attenuazione dell'acqua piovana, avere il sistema fognario pulito, in modo di svolgere correttamente il proprio lavoro, drenaggio sostenibile, pavimentazione permeabile marciapiedi e giardini, pianificare per prevenire il peggio e migliorare i meccanismi di allarme delle inondazioni. (Wavin, 2016)

Approccio alla ricerca

Al fine di raggiungere l'obiettivo della ricerca, ovvero trovare un approccio integrato e speditivo alla valutazione del rischio delle piene improvvise in ambiente urbano con lo scopo ulteriore di pianificare per prevenire il peggio e migliorare i meccanismi di allarme delle inondazioni, si è proceduto con il seguente schema logico individuando i seguenti passaggi fondamentali:

1. Sviluppo della fase conoscitiva per consolidare le principali caratteristiche e problematiche della collina torinese ed individuare le aree maggiormente a rischio;
2. Ricerca speditiva dei dati topografici necessari.
3. Individuazione di un dominio topografico accurato mediante il software Qgis, avendo in conto diverse strutture, analizzando e lavorando su dati vettoriale e raster,
4. Modellazione dei punti critici (sezione trasversale) per la valutazione degli scenari possibili, attraverso di tecniche di rilievo in campo.
5. Elaborazione del modello idraulico con il software Hec-ras, con l'aiuto del suo strumento "Terrain" per il disegno di sezioni trasversali lungo le strade.
6. Analisi dei risultati del modello idraulico, con lo scopo di visualizzare le zone più in rischio avendo in conto il dominio di flusso scelto.

Capitolo 1- Caratterizzazione della Zona e Descrizione del problema

Al fine di generare un modello che descriva il rischio geografico causato dalle correnti d'acqua come i fiumi, è necessario conoscerne la forma, il rilievo e il clima, non solo con lo scopo di avere un punto di confronto con altri possibili scenari, ma al fine di presentare il perché della vulnerabilità idraulica di questo territorio. Di conseguenza, in questo capitolo viene registrata una caratterizzazione della collina di Torino, così come un breve analisi di articoli giornale in cui si riportano i problemi documentati della collina di Torino dagli anni 60,

1. Inquadramento geo-morfologico

La città di Torino è situata nel settore occidentale della Pianura Padana corrispondente a una fascia ristretta compresa tra la catena alpina e i rilievi collinari. La sua posizione è particolare, poiché non è ubicata al centro della pianura, ma in posizione marginale come si vede nella Figura 4.



Figura 4 Vista in sezione di Torino

Questo comune italiano è attraversato dal Fiume Po, che separa il settore di pianura da quello collinare. L'area di pianura, con quota compresa tra 200 e 350 slm, presenta una morfologia sub pianeggiante, con debole inclinazione verso E e NE. La morfologia risulta lievemente articolata per la presenza di forme di origine essenzialmente fluviale, dovuta a scarpate ridotte e depressioni connesse con alvei abbandonati. La morfologia dell'area di pianura risulta interessata in modo generalizzato dal rimodellamento antropico, particolarmente marcato in corrispondenza alle estese aree urbanizzate. Tale rimodellamento è responsabile della modificazione di numerose forme naturali e della creazione di nuove forme antropiche. (Luciano, 2014)

Questa città è drenata da importanti corsi d'acqua, essendo il Fiume Po il più importante, con andamento S-N e SW-NE e inclinazione dell'ordine 1/1000, i suoi affluenti in sinistra T. Pellice, T. Chisola, T. Sangone, F. Dora Riparia, T. Stura di Lanzo, T. Orco e F. Dora Baltea hanno un andamento variabile tra W-E e NW-SE con inclinazione anch'essa modesta del 1/4000. Tutti questi corsi d'acqua sono drenanti importanti di bacini alpini e sono caratterizzati da avere portate rilevanti tra 2 e 70 m³/s. Nella Figura 5 si rappresenta di forma grafica l'area in cui è edificata la Città di Torino, e anche i comuni di pianura (giallo) e collinari (verde), e tutti i corpi d'acqua. (Luciano, 2014)

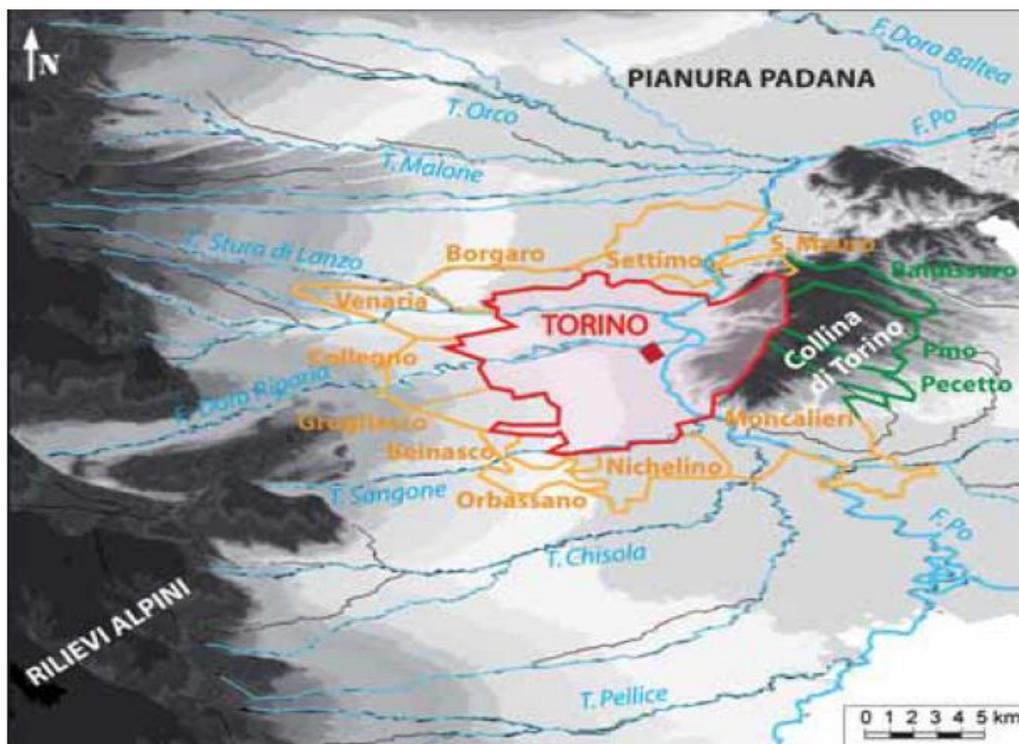


Figura 5 Vista globale della Pianura Padana

La configurazione fisico-ambientale del territorio torinese appare nettamente distinta in due aree come si ha detto prima: di pianura, e di collina. Il fronte collinare, di circa 2900 ettari, ha rilievi di 716 m s.l.m. al Bric della Maddalena, 727 m. s.l.m. a Superga, 884 m s.l.m. al Bric del Vai. (Luciano, 2014)

A differenza di quanto osservato nell'area di pianura, nel settore collinare gli interventi antropici sono limitati e localizzati, non determinando una modifica sostanziale della morfologia originaria. L'area collinare risulta drenata dagli affluenti in destra idrografica del F. Po, con importanza molto

minore rispetto a quello in sinistra e notevole acclività, di circa 1/5000, con andamento W-E nel versante occidentale e SE-NW, nel versante nordoccidentale. Tali corsi sono: R. Rubella, R. Sappone, R.Rovei, R.Pilonetto, R.Paese, R.San Martino, R. Reagle e R. Mongreno, che costituiscono un reticolato idrografico locale con portate estremamente variabili. (Luciano, 2014)

Per quanto riguarda la geomorfologia l'aspetto più caratteristico è rappresentato dalla notevole diversità dei due versanti maggiori della collina, quello a nord-ovest verso Torino e quello a sud-est verso Chieri. La prima differenza è la diversa inclinazione, mentre il versante sud-est degrada dolcemente verso la depressione astigiana, quello nord-occidentale si presenta con pendenze più marcate e ripide, valli corte e profondamente incise. Ciò è spiegabile considerando la forza erosiva del Po sul piede settentrionale della collina che tende ad accorciare la distanza tra lo spartiacque originario e la base del versante.

La seconda differenza è rappresentata dal reticolato idrografico: i due versanti hanno all'incirca lo stesso numero di corsi d'acqua principali ma su quello settentrionale gli affluenti sono più numerosi. Questo implica una maggiore densità di drenaggio accompagnata da una struttura evolutiva idrografica vicina a una situazione conservativa (maturità evolutiva).

Un altro fattore da tenere in considerazione per caratterizzare la collina di Torino è la disposizione degli strati geologici che risulta particolarmente significativa per la stabilità del terreno. Gli strati a reggi poggio, caratteristici del versante sud in direzione di Chieri, conferiscono al percorso dei torrenti un caratteristico andamento a piccole dighe e ciò limita la velocità di flusso e la conseguente erosione. Queste caratteristiche, più la maggiore esposizione al sole, fanno del versante meridionale una scelta insediativa migliore, come si può constatare dal numero di siti abitativi, antichi e attuali, sviluppatasi su di esso. (Luciano, 2014)

Nonostante la relativa maturità, i corsi d'acqua del versante settentrionale presentano un regime più spiccatamente torrentizio e, come già detto, con capacità erosiva maggiore (generalmente nel periodo delle piene). All'erosione degli alvei da parte dei torrenti fanno spesso seguito frane delle sponde, e successivamente delle esondazioni fluviali.

L'entità di tali smottamenti varia notevolmente da valle a valle, ma nell'insieme questi eventi giustificano uno sviluppo urbanistico minore. Questi caratteri infatti non si riscontrano sul versante

meridionale, dove, pur essendo le portate idriche paragonabili a quelle dell'altro versante, l'erosione è minore, l'alveo dei torrenti è più stabile e le frane più rare.

2. Caratteri climatici

La carta d'identità del clima torinese è (Mercalli, Napoli, & Grinza, 1999):

- ✓ Temperatura media annuale: tra 12 e 13 C
- ✓ Mese più freddo: gennaio con 1.9 C, mese più caldo luglio con 22.5 C.
- ✓ Temperatura Minima assoluta -21.1 C il 26 gennaio 1795.
- ✓ Temperatura Massima 38 C il 2 agosto 1928
- ✓ Numero di giorni con temperatura pari o inferiore a 0 C: circa 70
- ✓ Quantità di precipitazione annuale: 900mm
- ✓ Mese più piovoso: maggio con 125mm e mese più asciutto febbraio con 38mm.
- ✓ Numero di giorni con pioggia in un anno circa 80.
- ✓ Quantità di neve che cade in media ogni anno: 48cm in 8 giorni.

Le condizioni climatiche della Provincia di Torino sono fortemente influenzate dalla presenza delle Alpi, che hanno la peculiarità di potere ridurre la precipitazione sul versante torinese così come intensificarle. La protezione offerta dalle Alpi è evidente confrontando i valori termici della pianura torinese con quelli delle città della Svizzera e della Savoia: se a Torino la media annua è di 13 °C, a Ginevra si sfiorano appena i 10 °C per via della maggiore esposizione ai venti settentrionali. (Società Meteorologica Subalpina, 2008)

I giorni più freddi dell'anno si trovano nella prima metà di gennaio, avendo una temperatura attorno a -10 C nelle campagne fuori di Torino. Nonostante, ne l'estate raggiunge una temperatura massime diurne a 30 C nei mesi di luglio fino agosto. (Società Meteorologica Subalpina, 2008)

Allora, per quanto riguarda alla precipitazione, la sua quantità cresce avvicinandosi dalla pianura alle Alpi, per l'effetto di sollevamento forzato imposto dal rilievo sull'aria umida in arrivo dal Mediterraneo: il raffreddamento dell'aria che ne consegue e la condensazione del vapore si traduce in maggiore nuvolosità e precipitazioni. Durante l'anno la quantità di acqua precipitata si distribuisce secondo un regime pluviometrico definito come sublitoraneo occidentale, con due massimi in primavera e autunno. Tra metà aprile e inizio giugno si concentra solitamente il

maggior numero di eventi piovosi e la maggiore quantità di precipitazione. In particolare, il mese di maggio ha in media 150-200mm sulla fascia montana tra la val Pellice, la Val Sangone, le Valli di lanzo e l'alto Canavese.

3. Evidenza Storica della Vulnerabilità Idraulica della Collina Torinese

La città di Torino, se inserisce in un territorio ad alta sensibilità per quanto riguarda eventi meteo idrologici sia di durata prolungata ma intensità debole, sia di nubifragi tanto repentini quanto intensi. Il territorio torinese infatti è abbastanza vario dal punto di vista idraulico, in quanto si inseriscono allo stesso tempo aste fluviali di primaria importanza quali il Po e la Dora, ma anche diversi torrenti e rii. Questi ultimi si concentrano nella zona della collina torinese, riferito al territorio in destra del Po, che è controllato da un complesso sistema de formativo che viene rappresentato in una piega anticlinale fortemente asimmetrica, essendo il fianco nord, la zona più acclive e antropizzata, di conseguenza sono maggiori i fenomeni di instabilità dei versanti.

Focalizzando l'attenzione sulla collina torinese è scontato che eventi meteorologici con precipitazioni intense e prolungate possono determinare un avvicinamento dei livelli idrometrici sui corsi d'acqua, con conseguente possibile sviluppo di fenomeni di dissesto. Inoltre, questa zona è minacciata da collassi delle reti fognare, ruscellamento intenso di acque meteoriche, e franamenti superficiali, dovuto a la crescita incontrollata e mal programmata di edifici e infrastrutture, che non è stata fatta con uno sviluppo delle reti di drenaggio né dalla dovuta attenzione alle possibili conseguenze dell'alterazione di un territorio che già de perse si trova in condizioni delicate di equilibrio. (Provincia Di Torino, 2011)

Allo stesso modo, in occasione di violenti temporali, la rete stradali si converte in un sistema idrografico, per conseguenza di una esclusione della rete fognaria soggiacente, oppure della mancanza di manutenzione e spurgo periodico. Questo può tradursi in diversi scenari come sono:

- ✓ Allagamenti locali ad opera di rii e sistemi fognari, con coinvolgimento di strade e locali interrati;
- ✓ Problemi alla viabilità, alla fornitura di servizi e danni a persone o cose, cagionati dalla rottura di rami o alberi o dal sollevamento parziale o totale della copertura degli edifici in relazione a forti raffiche di vento;
- ✓ Danni alle coltivazioni e alla viabilità causati da grandine.

Quindi dal punto di vista dalla vulnerabilità del territorio collinare a scoscendimenti superficiali dovuti alle piogge estreme, va detto che si tratta di fenomenologie diffuse, di cui è difficile da prevedere la localizzazione e che possono determinare rilevanti pericoli per l'incolumità dei cittadini. Questi possono verificarsi nelle zone ad elevata pendenza ed in corrispondenza del reticolo stradale che, in molte aree collinari, presenta ampiezza molto ristretta anche come un maggiore acclivi.

La collina di Torino rappresenta un caso particolarmente critico, per quanto riguarda l'addensamento dei fenomeni di allegamenti, che si concentrano maggiormente nella parte più elevate. Va infine considerato che il territorio Torinese è stato finora relativamente poco sollecitato da eventi meteorologici ad elevata intensità (nubifragi, trombe d'aria, grandinate) la cui incidenza sta stabilmente crescendo alle nostre latitudini. Quindi appare di notevole interesse comune cercare di identificare i possibili scenari di allagamenti di centri urbani in modo da sensibilizzare gli enti preposti al controllo del territorio e, parimenti, l'opinione pubblica.

3.1. Analisi Eventi giornali.

Per svolgere la ricerca documentale, si è fatta la seguente tabella dove si trova un riassunto degli archivi di alcuni eventi storici che sono successi e registrati sulla città di Torino più in specifico nella collina dall'anno 1959 fino 2016. (La Stampa, s.d.)

<i>Eventi Storici</i>			
<i>Data</i>	<i>Zona</i>	<i>Info Generale</i>	<i>Fonte</i>
11 Agosto 1959	C.Casele	Un'ora di nubifragio, una ditta di mobili era stata investita da un torrente	La Stampa
5 Giugno 1963	C.Casele, Moncalieri	...Si è scatenato il nubifragio. La città paralizzata, allegato sulle zone	La Stampa
28 Maggio 1965	Moncalieri	...città investita da un nubifragio violento, corso coperto da 20 e 40 cm di grandine	La Stampa
29 Maggio 1968	Moncalieri	...nubifragio sulla zona collinare. Detriti sui corsi.	La Stampa
5 Luglio 1968	Moncalieri	... sono caduti 34mm di pioggia. Ci sono strade solcate da profondi squarci d'acqua	La Stampa
7 Luglio 1973	C. Casele	... il ponte Isabella sembrava un torrente. La valanga d'acqua impediva procedere a velocità normale.	La Stampa
12 Agosto 1975	Moncalieri	...si sono abbattuti violenti scrosci di pioggia. Le strade sono diventati torrenti...	La Stampa
4 Luglio 1986	Moncalieri	Dieci minuti hanno paralizzato la collina... strade si sono ridotte a torrenti... Automobile bloccate.	La Stampa
3 Luglio 1987	Moncalieri	Venti centimetri d'acqua in strade della zona collinari	La Stampa
20 Ottobre 1988	Moncalieri	.. Le vie e corsi sono stati sommersi dall'acqua che non trovava sfogo... Strade trasformate in torrenti.	La Stampa

<i>Eventi Storici</i>			
<i>Data</i>	<i>Zona</i>	<i>Info Generale</i>	<i>Fonte</i>
11 Luglio 1989	Reaglie, S.Vito	...37mm di acqua caduti in mezz'ora... ha fatto straripare alcuni rii e sradicato alberi...	La Stampa
9 Agosto 1991	Mongreno	26 semafori in tilt, corsi e piazze piene d'acqua, auto abbandonate in messo alle corsie.	La Stampa
23 Luglio 1992	Collina Torinese	...Decine d'interventi per allagamenti in collina...	La Stampa
2 Luglio 1993	Superga/ Collina	...decine di automobilistici si fermano per almeno 5 minuti... strade trasformate in torrente di 30cm	La Stampa
27 Giugno 1994	Thovez, C. Casele	grossi disagi in città... Molti tombini sono letteralmente saltati in aria, altri sono sprofondati dall'acqua	La Stampa
28 Maggio 1999	Collina, Moncalieri, Val Salice	Miliardi di danni. Corsi a piedi della collina sono stati invasi dall'acqua. Strade diventano torrenti	La Stampa
22 Settembre 2000	Collina Torinese, San Martino	violentissimo nubifragio... strada si era trasformata in un fiume impetuoso che portava massi	La Stampa
11 Agosto 2004	V. Thovez	violento nubifragio provoca disagi alla circolazione, strade e corsi in e propri torrenti, 10-15cm d'acqua	La Stampa
21 Agosto 2005	C.Casele, Mocalieri	2 ore di violento nubifragio, la circolazione è andata in tilt...	La Stampa
20 Giugno 2007	San martino, Salice, Casele, Moncalieri	64mm di pioggia un un'ora. Si sono creai vari e propri torrenti sulle strade in pendenza ...	Nimbus
20 giugno 2007	Collina Torinese	la città è andata in tilt... Alberi sradicati, strade in torrenti, 40cm acqua	La Stampa
20 Giugno 2007	San Martino	strade trasformata in un torrente, livello d'acqua alto, le vetture galleggiavano letteralmente come barche	La Repubblica
12 Luglio 2011	Salice, Thovez	strade trasformate in un torrente in piena e numerosi sono stati allegati.	Cronaca Quit
12 luglio 2011	Thovez, Salice	..l'acqua che scendeva dalla strada come un fiume in piena.. Affacciano decine di attivata	La Repubblica
8 Ottobre 2012	Collina Torinese	Marciapiedi in pessimo stato e strade fuori uso. Quando piove la zona collinare vive un vero incubo	TorinoToday
30 Agosto 2016	Collina	Un violento nubifragio si è abbattuto sulla cita, difficile circolazione sulle strade	La Stampa

I dati presentati nella tabella mostrano sufficiente informazione per produrre un attendibile quadro con le tipologie dei fenomeni, la loro localizzazione dentro della collina torinese, la loro dimensione e la sua frequenza, con riferimento alle condizioni degli eventi. È molto importante avere in considerazione che non si hanno messi tutti momenti in cui è successo una azione aggravanti, anche come non sempre se specifica la zona precisa in cui si è verificato l'evento, ma tutti si riferiscono a diverse zone all'interno della collina torinese.

Questo arco storico mostra che il territorio in studio è un'area molto vulnerabile quando si tratta di eventi di pioggia di bassa e alta intensità, tuttavia come già accennato, questo registro fornisce dati necessari per generare un modello dell'area, come i valori di altezze d'acqua per stimare la portata, al fine modellare scenari di allagamenti nel software HecRas.

Capitolo 2- Descrizione della base cartografica e dati territoriali

In qualsiasi progetto dove si vuole studiare nel dettaglio il territorio, è necessario l'utilizzo di dati geografici, che ci danno una rappresentazione reale delle diverse strutture o elementi topografici che se devono avere in conto. In questo capitolo si descrive come generare un modello topografico accurato della zona di studio, cominciando dalla estrazione dei dati, descrivendo così i luoghi dove si possono trovare così come i diversi dati da cercare. Dallo stesso modo si racconta come è stata la sua rifinitura, con lo scopo di avere una buona rappresentazione delle strutture antropiche

1. Database Cartografici

Come si ha detto prima, questa fase è quella di raccolta di dati. Questi sono modellati utilizzando un software di tipo GIS, o chiamato anche Sistema Informativo Territoriale, che permette di effettuare analisi e rappresentazioni dello spazio e degli eventi che si verificano in esso. In qualche modo, un software GIS è in grado di associare dei dati, alla loro posizione geografica sulla superficie, e di elaborarli per estrarne informazioni. Perciò, sono stati sviluppati diversi software come QGIS, ed essendo user friendly Open Source Geographic Information System e licenziata su GNU General Public License, si ha scelto di lavorare su queste software. (Team, 2019)

All'interno del software sono contenute due tipologie di dati:

- **Raster:** in inglese significa griglia, poiché è composta da una griglia di punti, dette celle, che hanno una forma quadrata. Un dataset raster è composto da righe (orizzontale) e colonne (verticale) di celle. Ogni cella rappresenta una regione, ed il valore della singola cella rappresenta una caratteristica di tale regione, per esempio l'altezza. La proprietà più importante di un raster è la risoluzione, che è data dalla quantità di pixel contenuti in una certa unità di misura, come si può osservare nella Figura 6.

Questo tipo di file, sono utilizzati per fornire una visualizzazione della mappa di base, come per esempio immagine satellitare, oppure foto aerea, dallo stesso modo possono rappresentare una mappa di superficie, con valori di altezze, precipitazione, temperatura, o densità di popolazione. Ugualmente, con i file raster si possono generare analisi di classificazione tramite operazione di geo-procesamenti. (Qgis, s.d.)

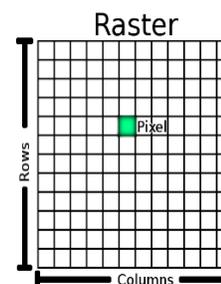


Figura 6 Esempio di Raster

- **Vettoriale:** Si basa sulle forme geometriche e matematiche come linee, punti, curve e poligoni per creare un elemento o layer. Nonostante, questi tipi di file hanno a disposizione una tabella di attributi la quale attribuisce caratteristiche che li descrivono. Come esempio si può trovare una layer chiamata Unita Volumetrica, che mostra l'ubicazione spaziale degli edifici e allo stesso modo, ha informazione sul nome, altezza e quota. (Qgis, s.d.)

Per iniziare la modellizzazione del territorio, dobbiamo cercare i dati, sia raster che vettoriali, che sono utili per rappresentare il dominio topografico della zona. L'accuratezza è la quantità dei dati da reperire dipenderanno dal database geografico che l'area in questione ha. Ora, questo data base è gestito, controllato ed esposto al pubblico gratuitamente da molti governi. Tuttavia, essendo gratuito, ci sono occasioni in cui la qualità dei dati non è la migliore, sia a causa della risoluzione del raster, della mancanza di attributi nei vettori o del non aggiornamento. Questo è il motivo per cui si consiglia di cercare in geo portali regionali, locali oppure statali e verificare la credibilità, confrontandoli con le foto aeree aggiornate, come sono GoogleMaps e Google Earth, al fine di garantire e verificare la qualità dei dati scaricati.

È importante notare che ci sono aziende che vendono questo tipo d'informazioni con un alto livello di dettaglio, così come un'alta diversità di dati. Nonostante i dati geografici possono essere ottenuti gratuitamente, sia scaricandogli (WFS) oppure solo visualizzargli (WMS), senza la necessità di autorizzazioni o effettuare un pagamento. Questa banca di dati si può anche trovare a disponibilità pubblica in tanti paesi come Spagna, Francia, Colombia, tra gli altri. La seguente tabella mostra alcuni dei molti geoportali esistenti, con il loro rispettivo link e verificando se sono o meno open source.

<i>Paese</i>	<i>Geoportale</i>	<i>Gratuito (WMS/WFS)</i>	<i>Link</i>
Espana	Si	Si	www.IDEE.es
Francia	si	Si	www.geoportail.gouv.fr
Colombia	Si	Si	geoportal.igac.gov.co
Svizzera	Si	Si	https://www.geo.admin.ch/
Italia	Si	Si	www.pcn.minambiente.it/mattm/en/

2. Estrazione dei dati

Per la modellizzazione topografica delle aree di interesse di questo progetto, sono stati presi in considerazione diversi geo portali italiani, nonché dati di tesi precedenti, che condividono le zone di studio. Adesso si verrà mostrato il passo per passo di come sono stati ottenuti i dati per questo modello in concreto.

L'Italia, essendo il paese in cui si trova l'area del progetto, ha il vantaggio di avere diversi geo-portali a livello nazionale e regionale. Allo stesso modo, città importanti come Torino e Milano hanno a disposizione una banca di dati a livello di città. In qualunque modo, per cercare dati di Torino si sono verificati i seguenti geo-portali:

- ✓ ISPRA: In questo sito sono disponibili i dati sullo stato dell'ambiente in Italia consultabili attraverso metadati nel formato INSPIRE. (<http://geoportale.isprambiente.it/>)
- ✓ Geo-Piemonte: Questo sito permette di ricercare le informazioni territoriali e ambientali della Regione Piemonte e degli altri enti Piemontesi. (<https://www.geoportale.piemonte.it/cms/>)
- ✓ Geo portale Città di Torino: Questo sito ha a disposizione i dati più in specifico della città di Torino, tra questi si possono trovare le norme urbanistiche mobilità di città, estratto urbanistico fra altri. (<http://geoportale.comune.torino.it/web/>)

Come si può osservare, nella ricerca dei dati c'erano diverse fonti da cui ottenere informazioni utili, per questo motivo si consiglia di cercare in tutti geo portali disponibile nella zona di studio, dovuto al fatto che non tutti hanno la stessa informazione neanche lo stesso dettaglio. Alla fine, si ha scelto il portale Piemontese (livello regionale) come il principale, poiché aveva il vantaggio di fornire i dati in forma compressa, senza la necessità di scaricare ogni file per separato. Allo stesso modo, questo sito fornisce dati con alto livello di dettaglio della collina di Torino, essendo questa zona di studio, così come avere servizi non solo di scarico ma anche di ricerca, consultazione, conversione e di posizionamento, e per ultimo o non meno importante la disponibilità di avere un BDTRE, il quale si spiega in seguito in questo capitolo.

Una volta deciso il sito, se procede a cercare il ‘catalogo’, vedere Figura 7, che in breve è il motore di ricerca dei documenti nel geo portale. Quando si accede a questa piattaforma, la pagina web entra in modalità di ricerca, dove è possibile cercare dati utilizzando titoli, descrizioni e parole chiave. Ora, la mappa da ottenere dovrebbe essere scaricabile, facilitando così la sua gestione nel software Qgis, e in caso contrario, l’opzione è avere un tipo di dato WMS (Web Map Service), il quale non può essere scaricato direttamente come un file, ma si potrà lavorare aggiungendolo al software Qgis, come un layer sterno. Comunque, se consiglia sempre di avere WFS, (Web Feature Service).



Figura 7 Icona di Catalogo sul Geoportale

Nella Figura 8 **Error! Reference source not found.** si osserva che la modalità di ricerca nel geo portale Piemontese ha una varietà di filtri che facilitano la raccolta dei dati. Per quanto riguarda a questo progetto in particolare, sono stati utilizzati il filtro di ‘Almeno una parola’, e l’opzione “Scaricabile” nel tipo de mappa. È importante notare che non solo il geo portale piemontese è organizzato in questo modo, ma anche il geo portale di Torino e quello nazionale.

Figura 8 Pagina di Ricerca, Catalogo

Un altro aspetto molto importante da tenere in conto è che esistono piattaforme come Open Street Map che offrono la possibilità di scaricare diversi dati vettoriali da qualsiasi parte del mondo. Tuttavia, è necessario prestare attenzione alle informazioni ottenute, perché si può evidenziare mancanza di attributi importanti e utili, nonostante, è un'alternativa di ricerca.

Successivamente si procede alla ricerca dei dati necessari. Inizialmente, sono scaricati file come corpi idrici, strade, edifici, aree pedonale, aree verdi tra gli altri, i quali avevano lo stesso formato:

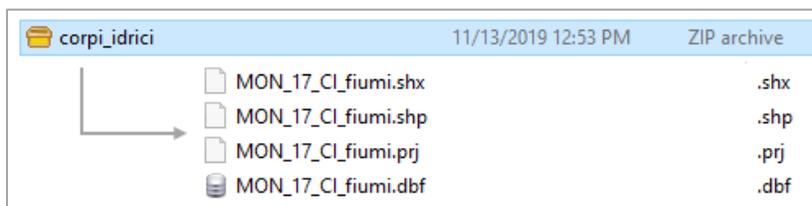


Figura 9 Esempio di un Shape file

Dove:

- Shp: il file che conserva le geometrie.
- Shx: il file che conserva l'indice delle geometrie.
- Dbf: il database degli attributi.
- Prj: il file che conserva l'informazione sul sistema di coordinate

In effetti, l'elaborazione del modello può essere sviluppata scaricando tutti i dati uno per uno, ma ciò comporta un ampio sforzo di ricerca e una grande quantità di dati scaricati, che richiede tempo e memoria. Dunque, si consiglia di scoprire l'esistenza di un BDTRE.

“La Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE), è la base di dati geografica del territorio piemontese promossa dalla Regione Piemonte, con i contenuti propri di una cartografia tecnica, strutturata, secondo le “Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geo topografici” nazionale e in primo luogo, finalizzata a supportare le attività di pianificazione, governo e tutela del territorio.” (Regione Piemonte, s.d.)

Allora, per scaricare questo file, è necessario utilizzare il motore di ricerca “almeno una parola”, e digitare BDTRE. Una volta fatto, si possono osservare i diversi risultati ottenuti, tra i quali è possibile trovare raster, PDF fra altri. Tuttavia, il file richiesto deve essere di tipo vettoriale. In questo caso, è stato possibile trovare un BDTRE con dati aggiornati fino al 15 di Giugno di 2019 di tutta la copertura del territorio della regione Piemonte come si vede nella seguente immagine.



Figura 10 BDTRE Scaricato dal geoportale

Quando si tenta di scaricare il BDTR, si aprirà una mappa in cui dovrebbe essere tracciato un disegno che inquadra l'area, ciò in questo caso, sarà l'intera collina di Torino. Per disegnare dare clic sul comando “Disegna sulla mappa l'area di interesse”, e una volta finito il disegno, fare clic su Scaricare. Ora appariranno diverse zip che devono essere scaricati per distinguere, con lo aiuto del software Qgis, quale il file che contiene le informazioni dell'area richiesta. La quantità di file da scaricare dipende dalla dimensione dell'area disegnata, ora, poiché Torino è sezionato da comuni, si può presentare che la zona di studio sia inclusa non solo dentro di un limite comunale, quindi è necessario vedere dove ogni file è geolocalizzato oppure il comune che rappresenta.



Figura 11 Geo-visualizzazione dei file su Qgis

Riguardo all'immagine precedente, ci sono tre comune, ma la zona alluvionale in questione si trova soltanto dentro del comune 001272. Perciò, i dati scaricati vengono contenuti in un zip con tutti gli shapefile. All'interno dello zip sono anche presenti file, in formato PDF, con indicazione della licenza, il relativo metadato e la guida. Di questi tre file, il più necessario quando si effettua un'analisi, è la guida, perché dentro c'è una tabella che presenta, in forma sintetica, i principali livelli disponibili con relativa descrizione, tipologia di geometria (punto, linea, poligono) ed

evidenziazione degli attributi specifici maggiormente significativi. In seguito, si riporta un esempio di questa tabella, tuttavia sarà incluso nella sezione di Allegati. (Regione Piemonte, 2019)

Nome classe	Descrizione	Tipo	Attributi specifici principali
A_PVEG	Aree di interesse agro-forestale ma che alla data del rilevamento sono prive di soprassuolo	Poligono	A_PVEG_CAU: cause che hanno determinato, alla data di acquisizione, la mancanza di copertura vegetale
A_TRAS	Area in trasformazione o non strutturata	Poligono	A_TRAS_TY: tipo_area (natura e funzionalità dell'area)
AATT	Area attrezzata del suolo	Poligono	AATT_TY: tipo
CV_AES	Area estrattiva	Poligono	CV_AES_TY: tipo CV_AES_ZON: Zone (sottoaree di attività all'interno)
CV_DIS	Area adibita a discarica di rifiuti di varia natura.	Poligono	CV_DIS_NOM: nome
CV_LIV	Curva di livello	Linea	CV_LIV_DT: determinazione (restituita, interpolata)
EL_VMS	Elemento viabilità mista secondaria	Linea	EL_VMS_TY: tipo (di carreccia, di mulattiera..)
ELE_CP	Elemento di copertura	Poligono	ELE_CP_TY: tipo di copertura (falda, terrazzo,...)
ES_AMM	Estesa amministrativa (definisce le caratteristiche dell'infrastruttura stradale secondo criteri amministrativi)	Linea	ES_AMM_PRO: proprietario (stato, regione,..) ES_AMM_CA: classifica amministrativa (strada statale, regionale,...) ES_AMM_CF: classifica tecnico-funzionale (autostrada, extraurbana,...)

Figura 12 Esempio di guida del file BDTRE

All'interno della cartella BDTRE oltre a contenere i file PDF menzionati, si trovano anche diverse cartelle che contengono i file vettoriali. Di seguito un elenco con i loro nomi e le loro rispettive informazioni.

- VIAB - Viabilità
- VEG - Vegetazione
- TOPO - Topografia
- SERV - Servizi
- PERT - Area administrative- Curve di livello
- ORO - Orografia
- IND -Toponimo Stradale
- IMM - Immobiliare
- IDRO GEO - Idrogeologica
- FOTO - Vertice di rete
- AMM - Amministrazione

Una volta scaricato il file BDTRE, con tutti i dati vettoriale, è necessario selezionare il DTM, essendo questo il più importante quando si deve generare il modello topografico. Per scaricarlo si

devono eseguire le istruzioni già menzionate, cercando di ottenere sempre il maggiore livello di dettaglio possibile. In questo caso si ha un DTM, il quale copre tutto il territorio regionale ed è stato acquisito con metodologia uniforme (LIDAR). La risoluzione della griglia è di 5m, con una precisione in quota di $\pm 0.3\text{m}$, creato il 2011-07-28. M, fornito dal geo portale di Piemonte. Questo file viene mostrato nella seguente immagine.

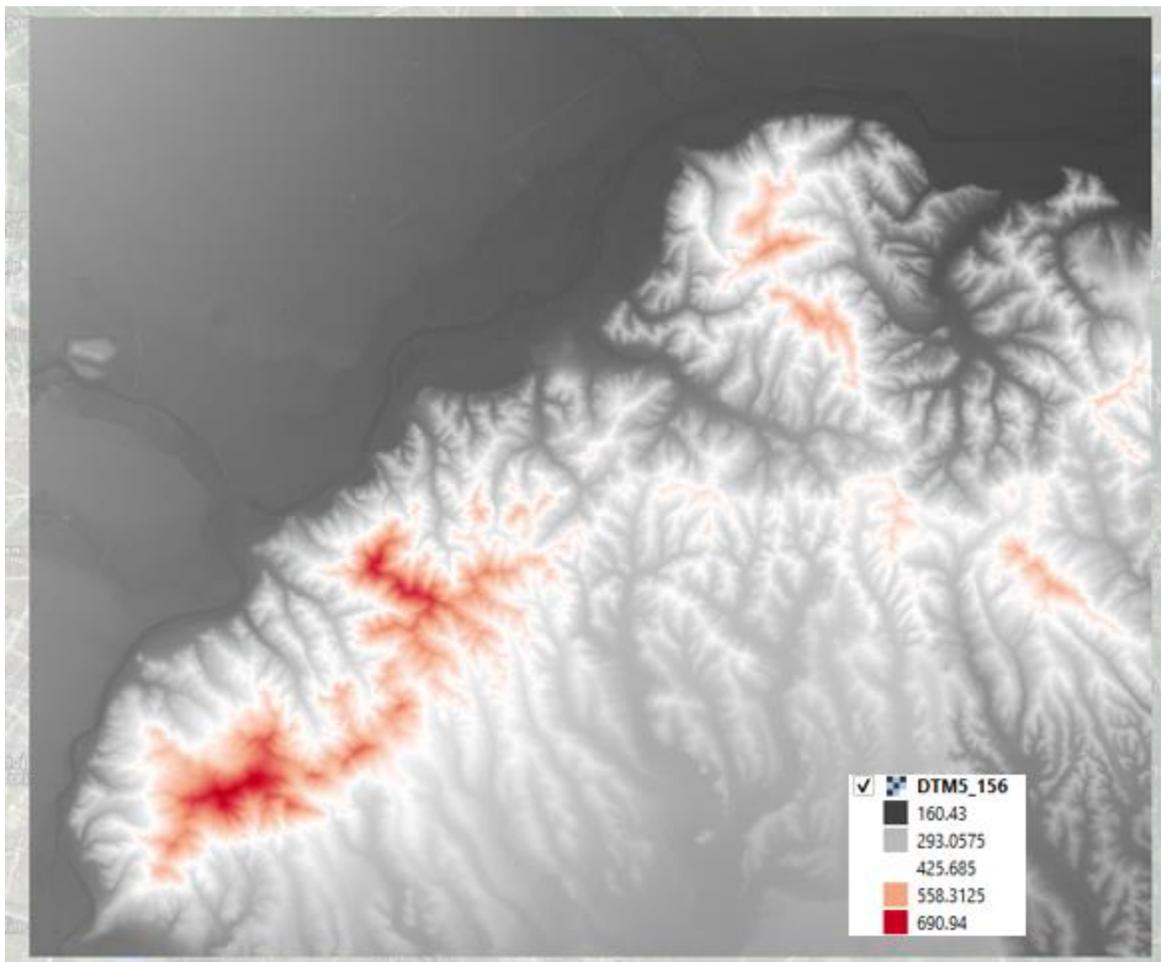


Figura 13 DTM 5m5m

Avendo già tutti i file essenziali, è possibile procedere con le diverse analisi richieste per la modellazione dell'area, che saranno spiegati nei titoli seguenti di questo capitolo.

3. Individuazione dei percorsi critici

Come si ha visto con anteriorità, la collina di Torino è una zona con alta vulnerabilità, dove si sono registrati numerosi eventi di allagamento. Nonostante si deve distinguere dove si trovano le aree più colpite, questo viene fatto con un'analisi di accumulazione d'acqua, il quale aiuta a definire i percorsi che sono soggetti, a causa della sua condizione altimetrica, a diventare flussi acqua quando si presentano eventi di pioggia.

Tanto per cominciare a lavorare è raccomandato di limitare l'area alluvionale in cui si desidera eseguire lo studio del flusso, per ridurre la quantità di tempo di analisi del software. In questo caso si vuole inquadrare tutta la collina di Torino, come si vede nella Figura 14. Una volta la zona è stata selezionata, si continua con il taglio del file raster, questo viene fatto con il comando Clipper che si trova nella finestra Raster>Extraction. Questo tool è utile poiché crea un file TIFF (raster) con le stesse caratteristiche dell'originale, ma la differenza sono la dimensione.

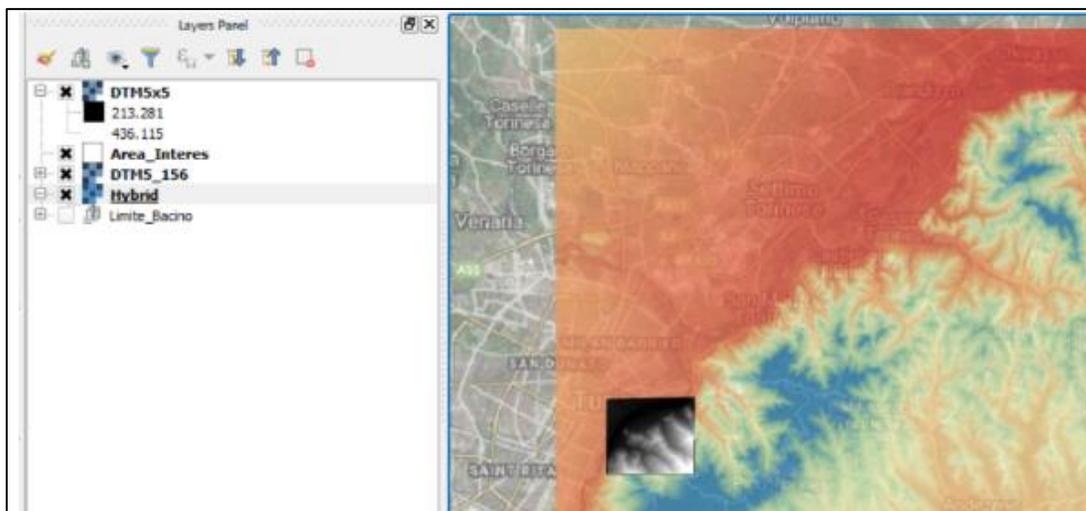


Figura 14 Confronto fra le due DTM

Una volta ridotto la dimensione, si prosegue con il lavoro su GRASS, per potere accedere a questa integrazione si dovrà attivarla dentro della finestra *Processing>Tool Box*. In questo modo si apre il pannello di controllo, dove se inseriscono i comandi da utilizzare dentro del processo. Il primo comando da inserire è **R.fill.dir** che genera un *Depression less* DTM, raster con la direzione di flusso, e per ultimo un DTM senza valori atipici. Rispetto alla creazione del layer, il software sempre, in tutti processi che fa, crea un file temporaneo, che verrà necessario guardarlo manualmente.

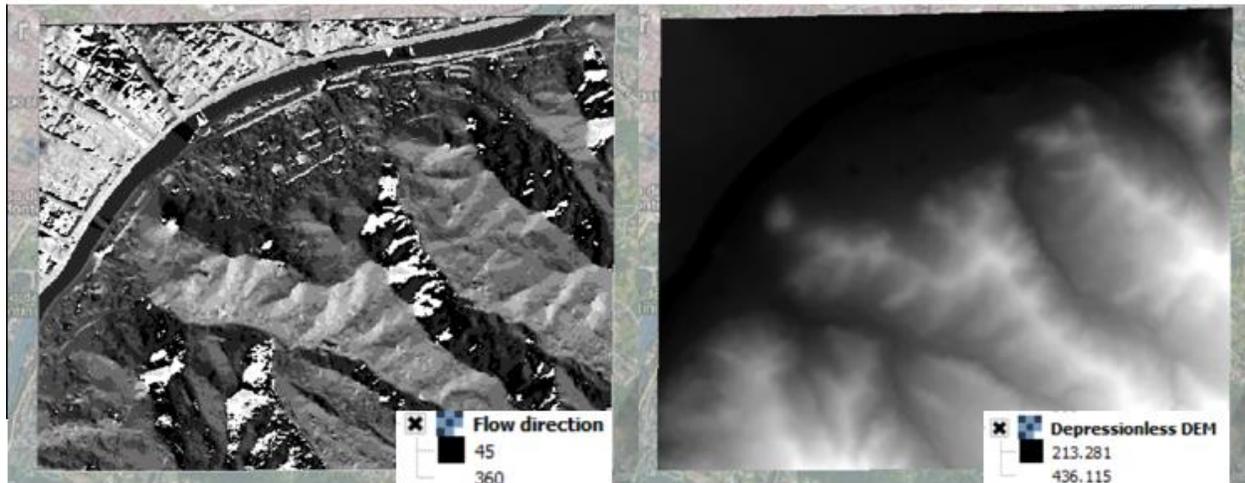


Figura 15 , a) DTM: Flow Direction, b) DTM: Depression-less

Il secondo comando da inserire nel pannello di controllo è **R.watershed**, questo è responsabile di generare diversi DTM, tra questi si trova il DTM d'accumulazione (numero di celle che drena su ogni cella) necessario per la limitazione dell'aree. Inoltre, per fare correre il comando si deve avere in conto delle seguenti dati:

- Elevation: Inserire il layer *Depression less*.
- Minimum Size of exterior watershed basin: le dimensione del pixel, in questo caso 5.
- Attivare: Enable Single Flow Direction (D8) Flow.

Come si può vedere nel nuovo DTM d'accumulazione, ci sono tre reti principali caratterizzate da un livello più basso e quindi sono le aree che saranno maggiormente a rischio nella presenza di precipitazione oppure eventi di piena. Dallo stesso modo si fa uno studio degli articoli giornale e un'analisi dei documenti redatti dal Comune, Variante Num 100 al Piano Regolare Generale per individuare i tratti da caratterizzare geometricamente al fine di svolgere l'elaborazione degli scenari di allagamento.

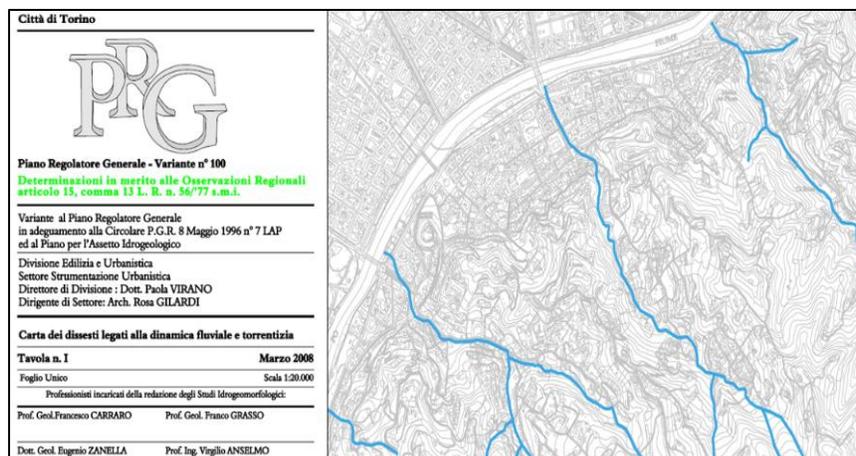


Figura 16 Piano Regolare Generale

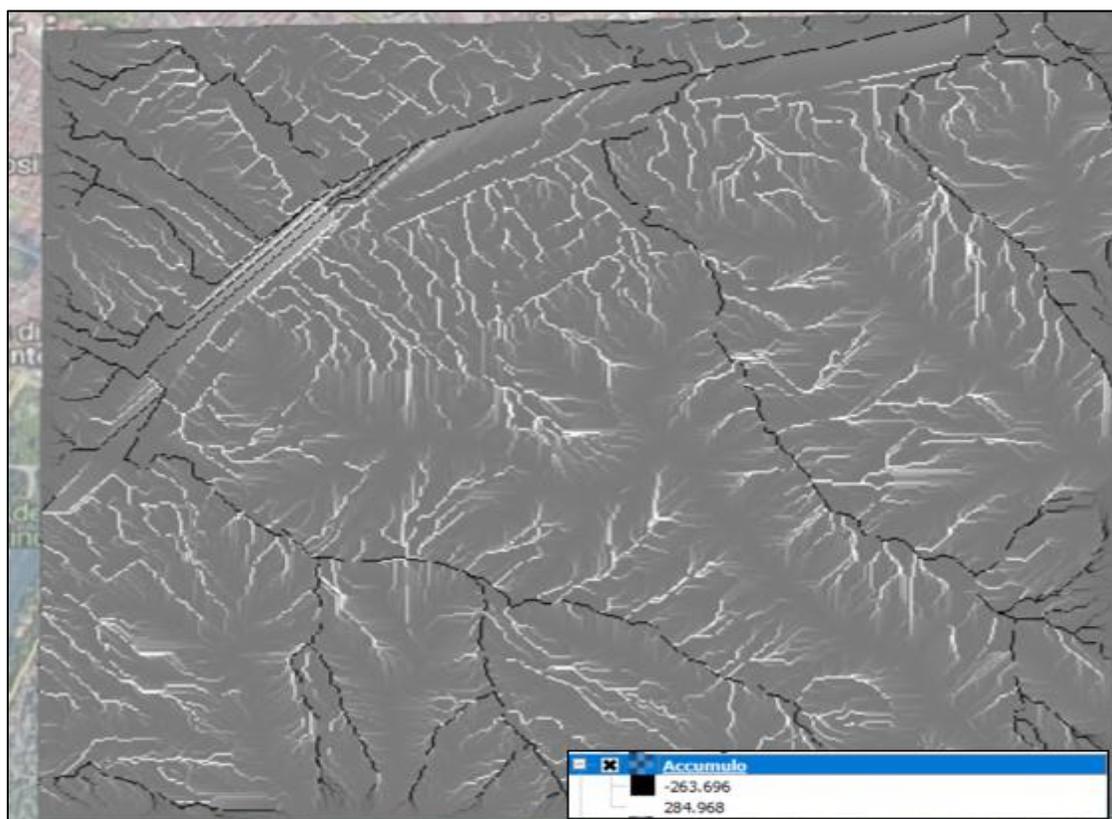


Figura 17 Raster di Accumulo

In questo modo, confrontando le due mappe sopra menzionate, e gli articoli giornali, si può evidenziare le strade che sono altamente vulnerabile, i quali sono presentati in seguito con la sua rispettiva localizzazione, e disegno del tratto tombato e cielo aperto.

3.2. Tratto critico: Val San Martino

Il secondo tratto stradale comprende le seguenti vie:

- ✓ Corso Alberto Picco
- ✓ Strada Comunale Val San Martino
- ✓ Piazza Hermada
- ✓ Corso Giuseppe Gabetti

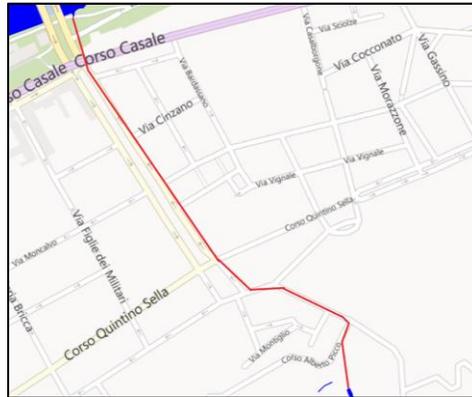


Figura 20 Tratto di Val San Martino, linea rossa rappresenta tratto tombato e in blu tratto a cielo aperto

In questo caso il rio risulta avere un unico tratto tombato, che inizia in una proprietà privata in corso Alberto Picco e arriva fino al Po. Il tratto su cui va ad inserirsi il flusso idraulico è quello raffigurato nella Figura 21.



Figura 21 Dominio del tratto critico Val San Martino

3.3.Tratto Critico: Val Piana

Il terzo tratto stradale comprende le seguenti vie:

- ✓ Via Tabacchi Odoardo
- ✓ Via Guido Cavalcanti

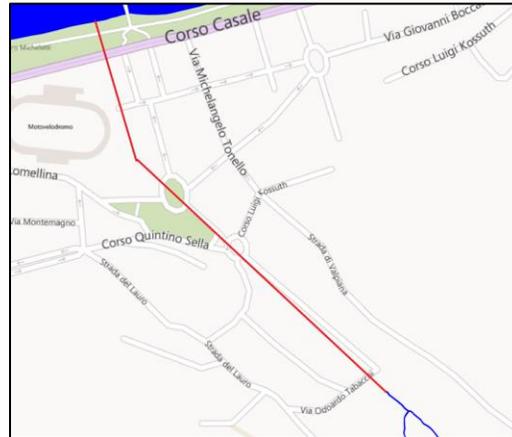


Figura 22 Tratto di Val Piana, linea rossa rappresenta tratto tombato e in blu tratto a cielo aperto

In questo caso in particolare ce anche solo un punto critico e si trova all’inizio del tratto. La seguente immagine mostra il percorso inserito nella modellazione.

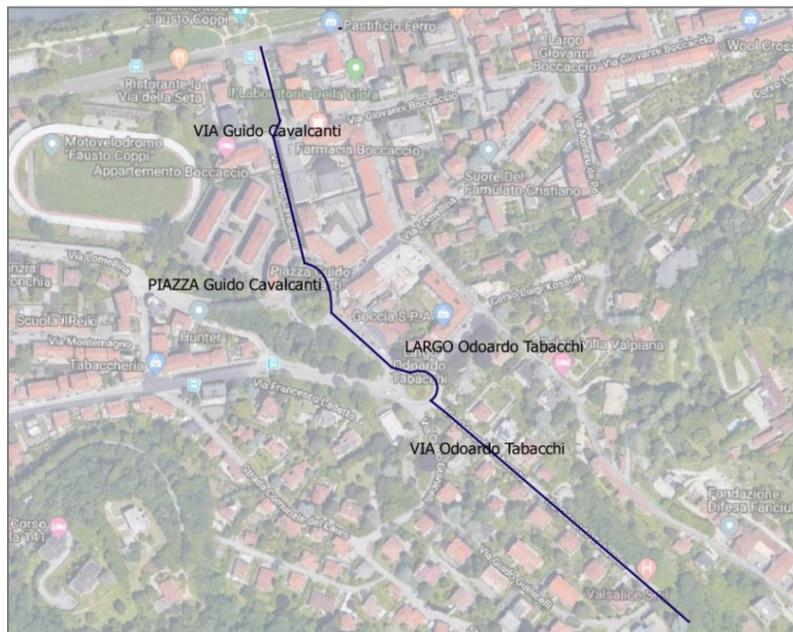


Figura 23 Dominio del tratto critico Val Piana

4. DTM modificato

Per generare un modello topografico dettagliato, è necessario avere accesso a un DTM con informazioni altimetriche. Questa ricerca si è basata inizialmente su un DTM di scarsa risoluzione (5m), quindi il problema ricade sul livello di dettaglio, in quanti non è possibile trovare altezze su elementi antropici come i muretti, i marciapiedi, e le infrastrutture di trasporto. Lo scopo di questo capitolo è di menzionare tutte le procedure che sono state fatte per ottenere un DTM modificato, avendo in conto tutti elementi antropici, con un livello de dettaglio di ogni 0.2m oppure 20cm.

Inoltre, si presenta in modo molto dettagliato tutti gli aspetti da tenere in considerazione nei dati vettoriale e raster, quando si lavora con il software QGIS e la sua estensione Q-GRASS. In effetti, ci sono diversi modi per ottenere il file raster (DSM), ma questo progetto si riferisce soltanto, al percorso seguito e suggerito, per la modellazione degli spazi alluvionali urbani. Tuttavia, poiché si tratta di un free software, che si aggiorna con molta frequenza, può occorre che alcuni degli strumenti o processi all'interno di QGIS non funzionino, pertanto si consiglia di scaricare diverse versioni di QGIS, come 2.18 Las Palmas, e 3.12 Bucaresti, e provare da lavorare in un'altra versione quando una non funziona.

4.1.Descrizione dei database

La prima cosa da fare nella modellazione topografica è quella di distinguere i diversi file vettoriali che si desidera prendere in considerazione, tuttavia, come visto in precedenza, all'interno della cartella BDTRE ci sono un gran numero di file, ma non tutti sono rilevanti quando si vuole fare una modellazione della zona urbana alluvionale. In questo caso particolare sono principalmente selezionati le seguenti file:

- ✓ VIAB: Da questa cartella vengono estratti i file vettoriali delle strade, dall'infrastruttura di trasporto i marciapiedi, e le giunzioni delle strade.
- ✓ IMM: Viene estratto il file vettoriale della unita volumetrica, essendo questa l'informazione di tutti gli edifici.
- ✓ ORO: Da questa cartella viene stratto le curve di livello, che sono indispensabile per avere informazione di altezze.

Una volta individuati i file, si procede con il taglio di questi, al fine di avere solo le informazioni richieste nelle aree in cui verrà generato lo studio idraulico. Per questo, le zone devono essere

prima disegnate, avendo in conti i tratti menzionati nel capitolo precedente, cioè devono includere elementi antropici situati a destra e sinistra delle strade già accennati, fino al punto di chiusura, oppure punto critico. Nella seguente immagine si illustrano le aree per le 3 zone.

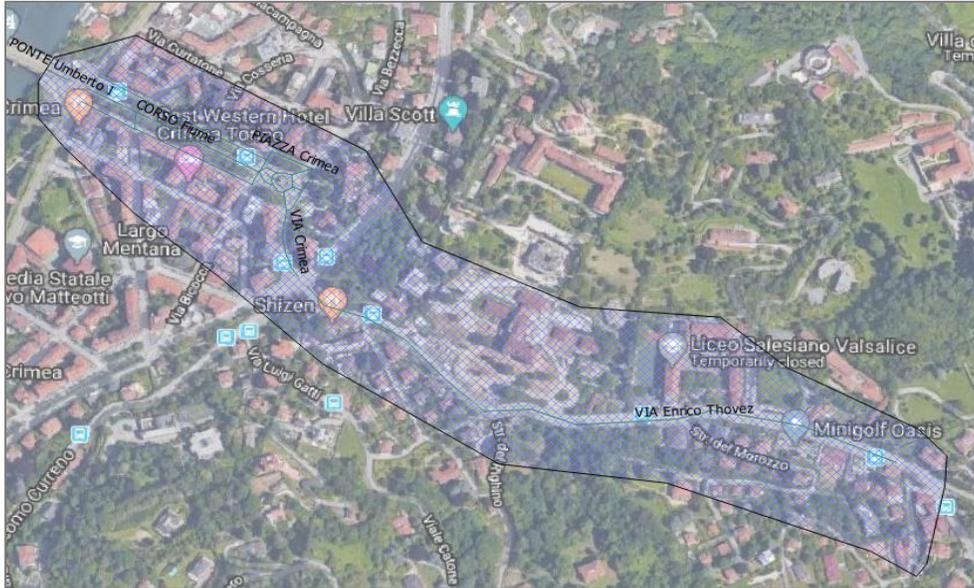


Figura 24 Area Zona 1, Val Salice

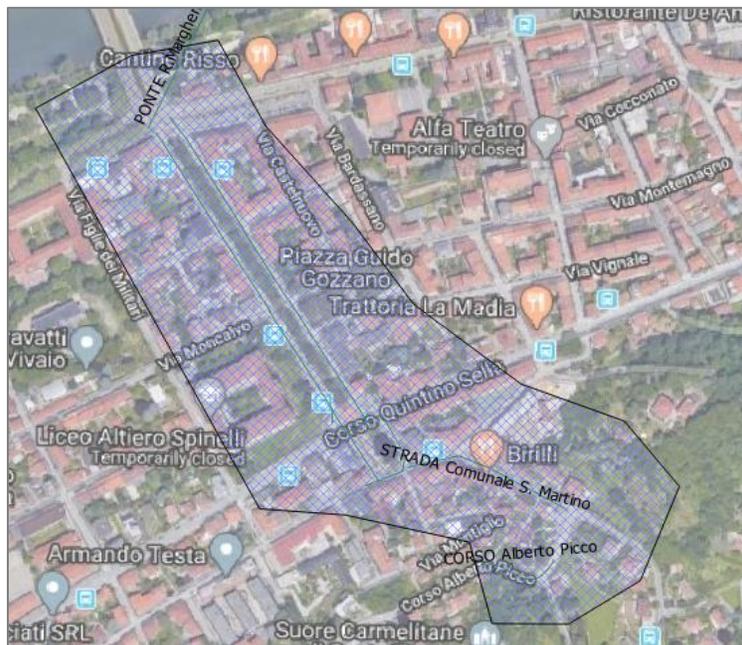


Figura 25 Area Zona 2, Val San Martino

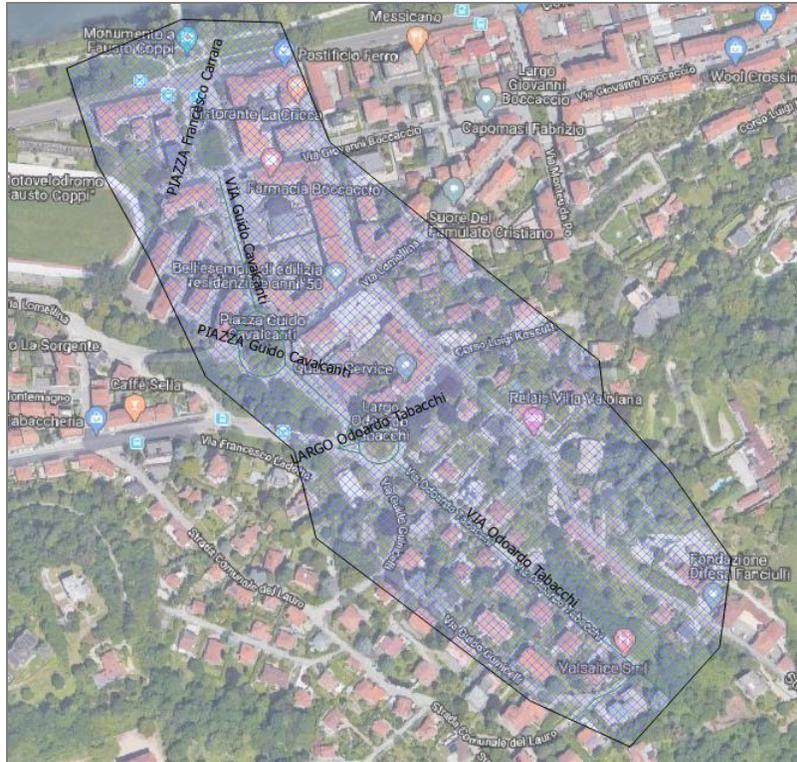


Figura 26 Area, Zona 3, Val Piana

Dopo aver già distinto le aree di studio, si procede al taglio dei diversi file selezionati. Per fare ciò, si deve usare lo strumento di QGis chiamato Clip, che si trova nella parte superiore dentro di Vectorial> Geoprocessin tools. Dopo diche, viene aperta una finestra in cui è necessario inserire prima il file che si desidera tagliare, e in secondo luogo le superficie d'interesse ovvero l'intera area in cui si fa il modello (Qgis, 2019).

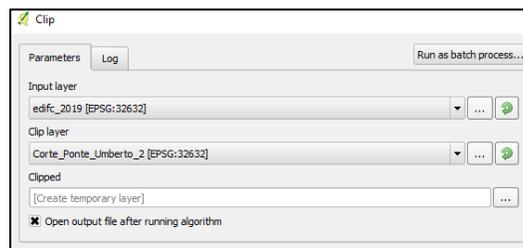


Figura 27 Finestra per Clip i file vettoriali

È importante tenere presente che in alcune versioni di QGis, quando si eseguono processi come il Clip, è necessario salvare manualmente il file creato. D'altra parte, questo stesso processo deve essere seguito per ogni uno dei file vettoriale. L'immagine seguente mostra la zona 1, Val Salice, con tutti i file tagliati, tuttavia, le altre mappe sono mostrate nella sezione degli allegati.

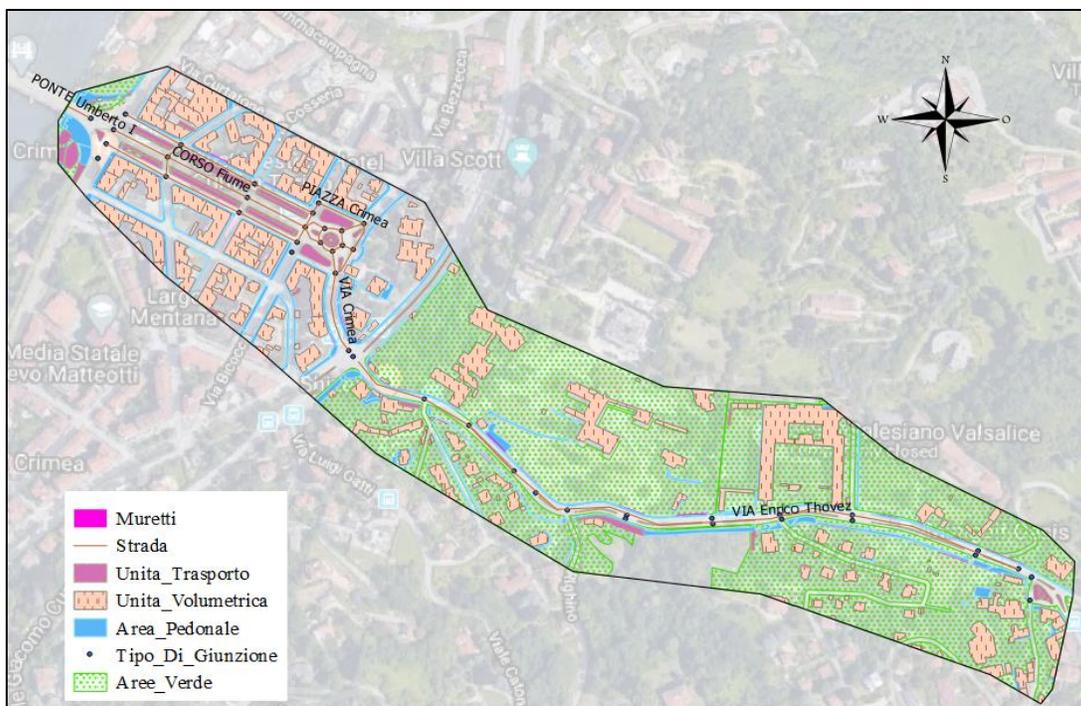


Figura 28 Mappa Zona 1, Val Salice

Come se può vedere sulla mappa, c'è un *layer* che non è stato estratto dal BDTRE, questo sono i muri che si trovano lungo le diverse strade, che devono essere disegnati manualmente creando un nuovo file vettoriale di tipo poligono tenendo in conto il sistema di riferimento del progetto WG84/ UTM Zone 32N.

Per una migliore gestione dei diversi file vettoriali dentro del software QGIS, si consiglia di modificare la tabella degli attributi, eliminando le colonne che contengono dati non rilevanti. Questo può essere fatto valutando la guida all'interno del BDTRE, poiché questa evidenza degli attributi specifici maggiormente significativi. Per fare ciò, è necessario accedere e modificare manualmente ciascuna delle tabelle degli attributi selezionando le colonne con informazione non importante, considerando che l'informazione necessario è quella di tipo altimetrica.

4.2. Integrazione del dato altimetrico

Può accadere che all'interno di ogni tabella degli attributi non ci siano informazioni sull'altezza di tutte le strutture, come in questo caso in particolare, ci sono solo dati sull'altezza degli edifici, di conseguenza è necessario cercare i valori di altezze per i file vettoriali che mancano.

Per i marcia-Piede, secondo l'articolo n.46- Passaggi Pedonali e Marciapiedi nel Regolamento municipale approvato con deliberazione del Consiglio Comunale in data 20 dicembre 2004,

Publicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte, i marciapiedi devono avere un dislivello rispetto al piano di transito veicolare di non oltre di *15cm*. (Comune di Torino, 2004)

D'altra parte, l'altezza della unita di trasporto di trasporto può variare troppo da 5cm fino 30cm, come si vede nell'immagine seguente:



Figura 29 Esempi di Unità di trasporto.

Tuttavia, per accelerare il processo di modellazione, se deve scegliere un'unica altezza per tutti questi elementi, essendo questa *30cm*. Per quanto riguarda a i muretti, succede lo stesso di avere una gran varietà di altezze, ma viene scelto un muretto standard di *2metri*.

Una volta che le informazioni altimetriche sono note, ora si procede al calcolo dell'elevazione totale di ogni elemento, sommandola con la quota del pavimento. Però fare ciò, vengono utilizzati le curve di livello, che rappresentano la quota rispetto al pavimento. Per avere le curve di livello della zona, ci sono diverse opzioni, la prima è usare quelle incluse nel BDTRE oppure scaricata da un geo portale, però, la distanza tra le curve deve essere presa in considerazione poiché se è molto distanziata, si perde informazioni rilevanti d'altezze. Tuttavia, esiste la possibilità di ottenere queste curve con intervalli più stretti, questa è la seconda opzione nella quale si utilizza il software QGis e il suo strumento chiamato Contour situato nella finestra di Raster>Extraction.

Una volta dentro il software richiede un file raster e l'intervallo desiderato. In questo progetto viene scelto il DTM originale scaricato direttamente dal geoportale con un intervallo di 20 centimetri (0.2 metri), come si vede nella seguente figura.

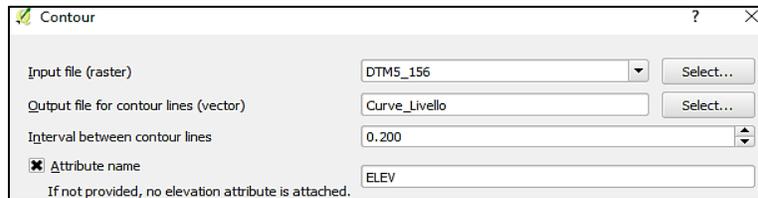


Figura 30 Tool per Generare Curve Livello.

Avendo già le linee di contorno, il passo successivo è quello di raccogliere le informazioni di elevazione in ciascuno dei file che si vuole includere nella modellazione topografica. Per fare ciò, esiste uno strumento di geoprocessing il quale addiziona attributi in base alla loro posizione, questo funziona in modo tale che quando una curva de livello tocca o interseca qualsiasi poligono, viene aggiunto l'informazione d'altezza a questo poligono. Ora, quando si ha una gran quantità di linee all'interno dello stesso, è consigliabile dividerlo in modo da poter avere una migliore precisione. Questo strumento si trova dentro della finestra Vector> Management Tool e richiede due input file, che sono, in primo luogo il file vettoriale a cui si desidera aggiungere una colonna con l'informazione di quota e, in secondo luogo, il file che contiene le curve di livello.



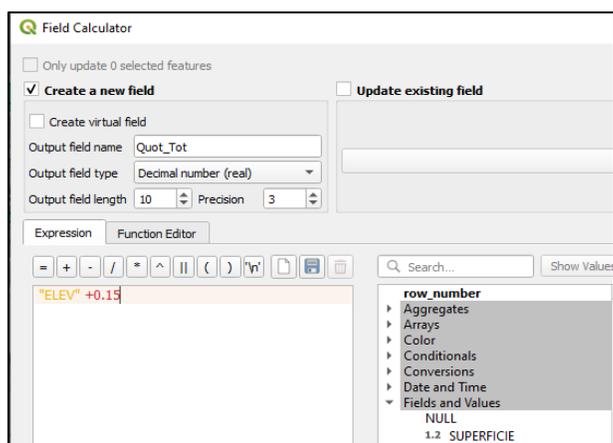
Figura 31 Finestra di geoprocessing.

Consecutivamente, si viene aggiunta una nuova colonna alla tabella degli attributi con l'informazione di altezza di ogni area. Nella seguente immagine si mostra la tabella generata per il file vettoriale di Unita volumetrica, dove si vede l'altezza, il sottolivello degli edifici, il formato di database, la elevazione, informazione aggiunta con il processo descritto con anteriorità.

	UN_VOL_AV	UN_VOL_POR	FME_DATASE	ELEV
1	22.000000000000...	al suolo	BDTRE	217.100
2	21.000000000000...	al suolo	BDTRE	223.700
3	20.000000000000...	al suolo	BDTRE	223.000
4	20.000000000000...	al suolo	BDTRE	223.900
5	20.000000000000...	al suolo	BDTRE	225.100
6	19.000000000000...	al suolo	BDTRE	224.600
7	19.000000000000...	al suolo	BDTRE	225.400
8	19.000000000000...	al suolo	BDTRE	225.600
9	19.000000000000...	al suolo	BDTRE	226.200
10	19.000000000000...	al suolo	BDTRE	227.100

Figura 32 Esempio di tabella di attributi dopo aggiungere l'elevazione.

Fino a questo punto si ha a disposizione l'informazione altimetrica, ora il passo successivo è eseguire la somma di questi due attributi per generare una quota finale. Questo viene fatto all'interno della tabella degli attributi di ciascuno dei file, utilizzando l'opzione Field Calculator, dove è necessario cercare la colonna con le informazioni sull'altezza e sommarli l'elevazione corrispondente come si mostra nella figura seguente.



	SUPERFICIE	ZONA	FONDO	ELEV	Quot_Tot
1	40.02000	su marciapiede s...	pavimentato con ...	242.10000	242.25000
2	10.62000	su marciapiede s...	pavimentato con ...	232.10000	232.25000
3	9.96000	su marciapiede s...	pavimentato con ...	230.70000	230.85000

Figura 33 Finestra di: Field Calculator ed esempio di Tabella di attributi con la modifica altimetrica

4.3. DTM modificato

Per completare il modello topografico è essenziale generare un file raster per ogni file vettoriali che sono stati modificati, ciò può essere fatto perché le informazioni sull'altezza sono già conosciute. Questa trasformazione si ottiene con il comando Vector To Raster, che può essere visto nella seguente immagine.

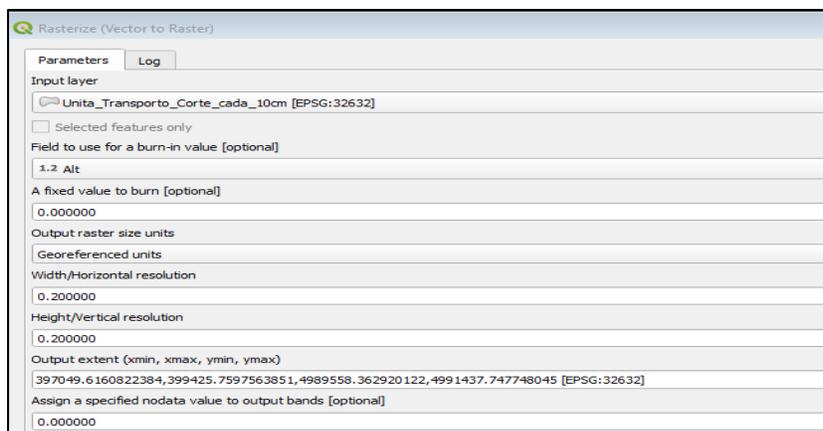


Figura 34 Finestra: Vector To Raster

Tuttavia, ci sono diverse cose da considerare:

- ✓ Quando si convertono file vettoriali in file raster, questi devono avere una dimensione in pixel ridotta, poiché scegliere pixel elevate consente di perdere molta informazione perché l'area in questione sono piccole. In questo progetto si ha scelto una dimensione di 20cm.
- ✓ Nella parte di Output Extent, si deve sempre scegliere lo stesso file che si vuole trasformare,
- ✓ La parte di Fixed Value deve sempre essere presa in considerazione, poiché ciò limita la trasformazione a solo gli elementi che contengono le informazioni sull'altezza.

La seguente mappa mostra la zona di Val Salice con tutti i file vettoriale trasformati.

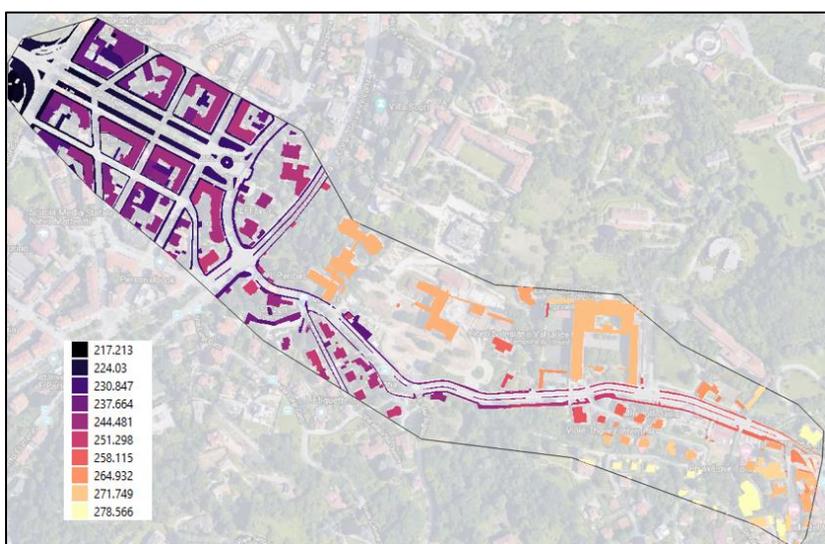


Figura 35 Zona 1 Val Salice, DTM

Una volta che tutti i file vettoriali sono trasformati, questi devono essere sommati al DTM originale. Tuttavia, la risoluzione alla quale si trova il DTM deve essere cambiata, poiché se la dimensione del pixel differisce a quella dei raster trasformati, l'unione o ben chiamata. Merge non sarà generata. Ugualmente, il software QGIS ha la capacità di modificare pixel dentro di un file raster, usando il *raster calcolato* aumentando così il numero di colonne e di righe, ma c'è anche la possibilità di salvare di nuovo il file raster scegliendo così la dimensione dei pixel dentro della finestra, come si mostra in seguito.

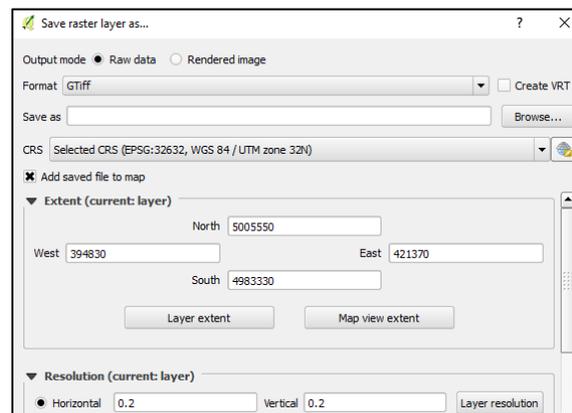
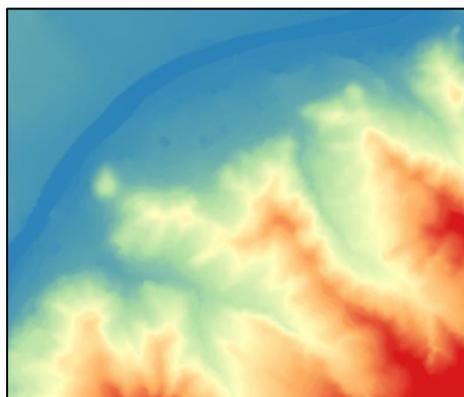


Figura 36 Aumento di risoluzione del raster.

Avendo già il DTM con la dimensione di pixel desiderata, in questo caso 20cm x20cm, il passo da seguire è quello di fare la somma per generare il DSM. Tale è la parte più importante del modello topografico, poiché è questa da dove si vanno ad essere stratti tutte le sezioni trasversali per generare anche il modello idraulico, il quale deve includere tutti gli elementi antropici che si possono trovare all'interno delle diverse zone. Quest'ultimo passaggio può essere fatto nello stesso software QGIS, con lo strumento Q-Ras, così come nel software di modellazione idraulica Hec-Ras. Comunque, l'immagine seguente mostra un esempio di come si vede un DTM dopo essere modificato.



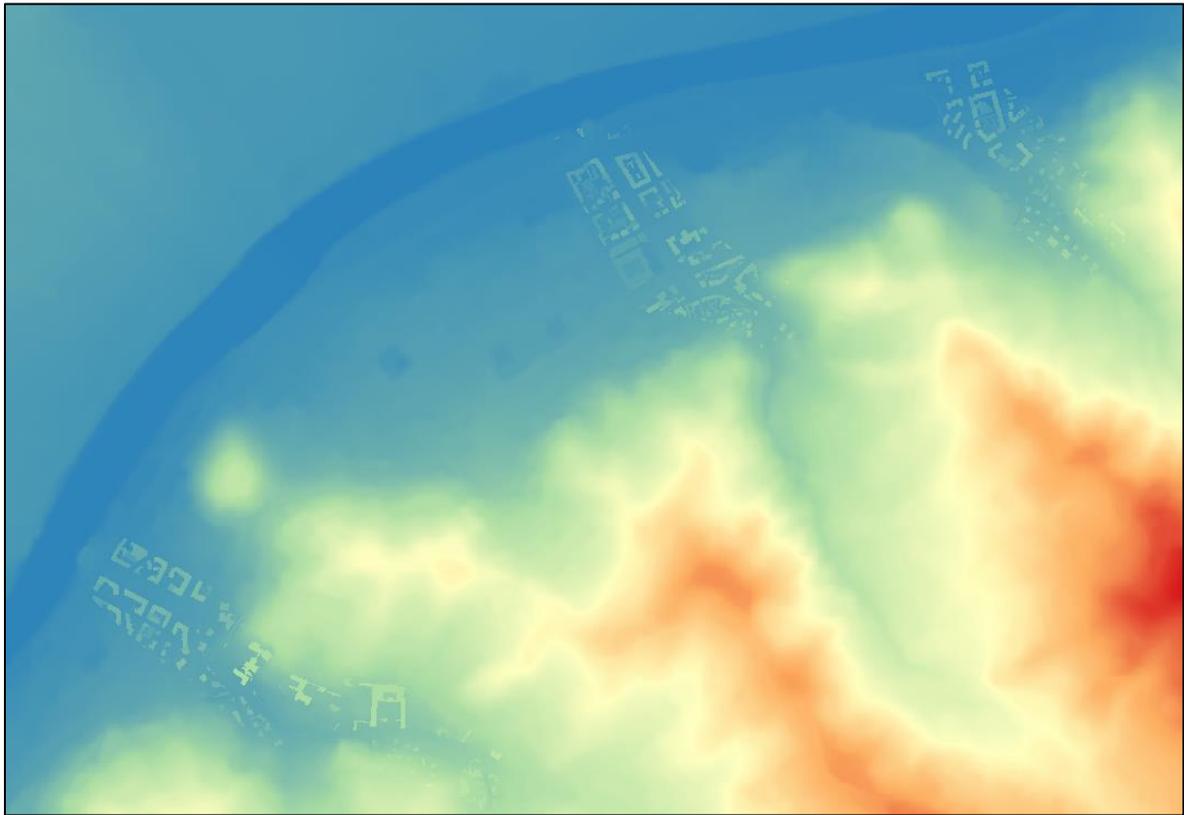


Figura 37 Imagen del DSM

Capitolo 3- Tecniche di rilievo in campo e analisi dei dati

Con l'obiettivo principale di creare una caratterizzazione topografica delle aree in studio è importante tener in conto non solo dei dati ottenuti mediante la ricerca in diversi portali, ma anche dei dati ottenuti nel campo. In questo caso in particolare, i dati ottenuti sul campo sono quelli che descrivono il rilievo dei diversi punti critici, essendo questi di grande importanza al momento dello studio del rischio.

Dentro del capitolo verrà spiegato come generare il modello delle sezioni tombate, e inoltre come ottenere l'informazione necessaria, cioè, le foto e il loro processo di raddrizzamento con lo scopo di avere registro della sua geometria.

1. Descrizione dei Punti critici (tratti tombati)

Durante lo sviluppo della modellazione sono state prese in considerazione le sezioni a partire dalle quali i canali vengono interrati (tombati). Questi sono definiti come la sezione attraverso la quale il corpo idrico o canale, smette di essere una corrente di superficie e diventa sotterranea. Ora, la generazione di un modello significativo di queste sezioni dipende molto dalla raccolta dei dati, essendo la fotografia la principale. Questo a sua volta è limitato dalla difficoltà di accesso ai luoghi in cui si trovano questi punti. A causa di ciò, è stata generata una classificazione qualitativa e all'interno di questa stessa classificazione, vengono presentate alternative per scattare delle foto e anche delle informazioni necessarie per la sua modellazione.

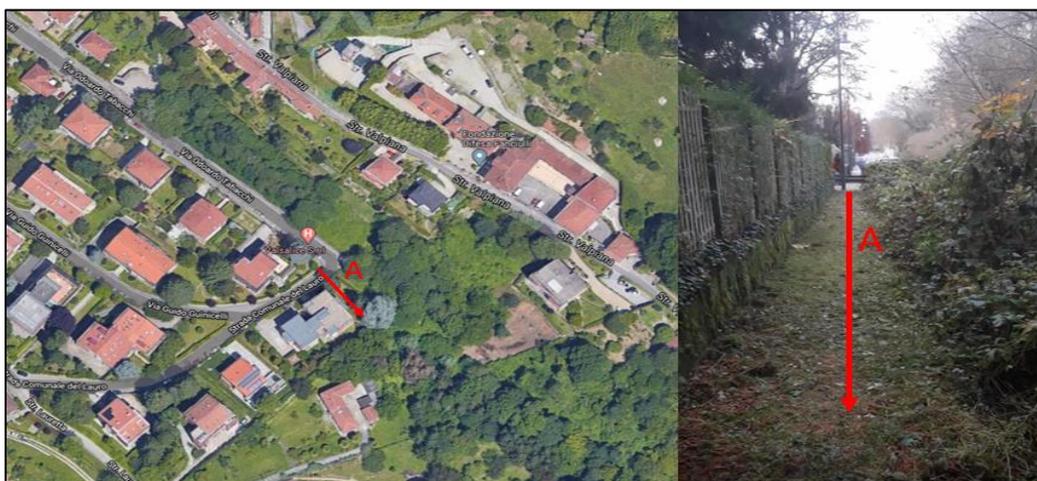


Figura 38 Esempio di Facile Accesso.

A. *Facile Accesso*: All'interno di questa classificazione si trovano tutti quei punti che localizzano in aree in cui gli utenti possono accedere senza troppe difficoltà, dove non ci siano pendenze molto ripide alle sponde del canale. Queste zone consentono all'utente di scattare delle foto e misurare con abbastanza comodità. Un esempio particolare di questa area potrebbe essere osservato nel punto di interrimento trovato in Passarella Chiavez. Per quanto riguarda al suo accesso, è stato necessario soltanto attraversare un percorso di meno di 50 metri come si può osservare nella Figura 38.

Una volta che il sentiero fu attraversato, si arriva in uno spazio ben illuminato con abbastanza vegetazione, compresi alberi e arbusti, che circondava l'area intera, ma questi non interferirono con la raccolta dei dati. Inoltre, la leggera inclinazione del terreno e la poca profondità del corpo idrico hanno favorito la mobilitazione delle attrezzature e le misurazioni pertinenti, sufficienti per poter modellare la sezione. L'immagine seguente mostra tutto ciò che è stato precedentemente descritto.



Figura 39. A) Foto della zona, si osserva la poca pendenza e la copertura vegetale, B) e C) la poca profondità d'acqua e il punto de interrimento

In questa classificazione si consiglia di utilizzare strumenti come:

- ✓ Fotocamera: utile per lo scatto delle foto, può essere una fotocamera digitale, oppure la videocamera inclusa nello Smart phone.
- ✓ Metro a nastro
- ✓ Stazione totale: utile per generare la pioggia di punti necessari per la modellazione. È consigliabile fare un disegno manuale delle sezioni con il rispettivo posizionamento dei punti presi con la stazione totale.



Figura 40 Foto del flessometro (destra), e la stazione totale (sinistra)

- B. Difficile Accesso: in questa classificazione sono presenti tutte quelle aree in cui non è possibile avere una mobilità attorno al punto d'interramento, perché la zona non permette avere un buon posizionamento della telecamera oppure della stazione totale, poiché la sezione si trova in un luogo con scarsa visibilità o accessibilità. Allo stesso modo, si possono trovare pendenze molto elevate nelle sponde del canale, così come un'alta percentuale di vegetazione che può ostacolare il campo visivo del punto. Per avere un chiaro esempio di questo tipo de accesso vengono presentate le seguenti immagini.



Figura 41 Esempio di zone con sponde molto pendentata



Figura 42 Esempio di sezione con visibilità lontana, e con troppa vegetazione rispettivamente.

Come si può vedere dalle foto, non è stato possibile ottenere un punto di posizionamento per la stazione totale, né un angolo ottimale per la telecamera in cui la sezione sia osservata con chiarezza, per poter ottenere la pioggia di punti richiesta. Allo stesso modo, si possono trovare casi con una visibilità molto più bassa, in cui la sezione può essere osservata soltanto da un punto distante come si vede nella Figura 42, oppure a causa della grande presenza di vegetazione, che la rende inaccessibile all'utente. Vedere anche la Figura 42.

2. Ricostruzione del modello tramite immagini ed accessori di supporto

Per casi con molta difficoltà è possibile utilizzare diversi accessori o strumenti, che facilitano lavoro per poter ottenere le informazioni richieste. Tra questi si possono trovare pali di estensione, gru per telecamere e droni.

- **Pali di estensione:** sono pali della fotocamera robusti e scanalati, che possono venire in diversi materiali ad alta resistenza, nonché numerose sezioni per una maggiore lunghezza. Questi facilitano lo scatto di fotografie aeree e luoghi di difficile accesso. La seguente tabella mostra alcuni esempi di questi accessori, dell'azienda B&H, con le loro rispettive caratteristiche.

Pali di Estensione						
Modello	Materiale	Lunghezza Min (m)	Lunghezza Max (m)	Capacità di carga (kg)	Peso Proprio (kg)	Costo
Nodal Collapsible	Carbon Fiber	0.5	29.1	2	0.97	€ 259.00
Camera Pole	Glass fiber	1.7	10	2	5.6	€ 393.50
Camera Pole	Carbon Fiber	1.7	10	2	3.4	€ 607.70

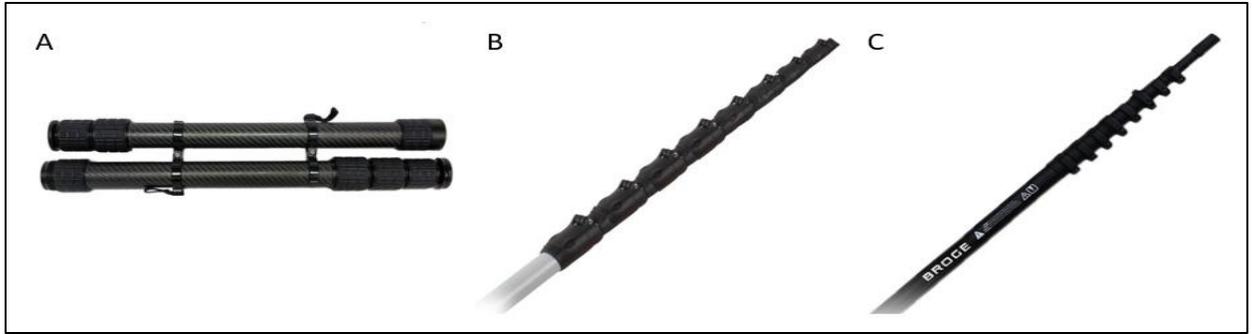


Figura 43 Foto di: A Nodal Collapsible, B Palo Camera Pole, C Palo Camera Pole

Come si può vedere, le pali per le fotocamere hanno una gamma alta, anche un prezzo non così elevato rispetto ad altre opzioni che verranno presentate di seguito. Questo strumento ha un grande vantaggio a causa del suo peso ridotto e della facilità con cui l'utente può trasportarlo, ma il suo uso non è altamente raccomandato perché è necessario acquistare altri accessori, come lo stabilizzatore per fotocamere, poiché devono essere installate sulla punta del palo, perciò se la lunghezza è maggiore, maggiore sarà il rumore e la non precisione della foto.

- **Gru:** Le mini-gru sono bracci compatti portatili con una struttura in fibra di carbonio leggera, presentano un tubo telescopico a braccio quadrato e molteplici opzioni di montaggio. La forma del tubo aiuta a ridurre, al minimo possibile, l'agitazione durante il funzionamento. Questi tipi di strumenti hanno due bracci, un braccio e un contrappeso, che aiutano a stabilizzare la telecamera, che dovrebbe essere sempre posizionata sull'estremità del braccio. Inoltre, questo assemblaggio aiuta molto nelle sezioni che sono al di sotto del livello in cui si trova l'utente, questo può essere abbastanza evidente nei ponti veicolari dove c'è una sezione in basso. Le gru hanno il vantaggio che da sotto la quota, si può vedere senza difficoltà e pericolo dovuto a che si sta in un punto sicuro nella superficie. Inoltre, ce una migliore maneggevolezza della videocamera dall'estremità del braccio del contrappeso. La seguente tabella mostra le caratteristiche di due tipi di gru disponibili sul mercato. Questi modelli sono prodotti dalla azienda B&H.

Crane for Cameras						
Modello	Materiale	Lunghezza Max (m)	Capacità di carga (kg)	Peso Proprio (kg)	Tripode	Costo
M1 Crane Jib Arm	Carbon fiber	1.2	10	3.8	No	€ 459.08
Teris JQ40	Carbon Fiber	4	7	2.5	Si	€ 735.08

In relazione a questo tipo di strumento, si può vedere che i prezzi sono un po' più elevati rispetto ai pali. Allo stesso modo, il prezzo della gru varia se, al momento dell'acquisto, ha incluso un treppiede, trattandosi di un accessorio molto importante poiché è necessario un supporto per posizionare i 2 bracci. Come risultato della necessità di un treppiede, se deve cercare uno spazio per la sua installazione, proprio come una stazione totale. Questo può essere un grande svantaggio, poiché la presenza di vegetazione o le ripide pendenze, caratteristica distintiva di questi punti, non consentono il posizionamento ottimale del treppiede. Inoltre, la lunghezza delle braccia e il contrappeso, sono caratteristiche limitanti quando si sceglie questa opzione, poiché potrebbe essere necessario ricorrere a lunghezze del braccio molto lunghe, quindi maggiori contrappesi che comporterebbe un aumento sostanzialmente dal prezzo dell'istrumento.

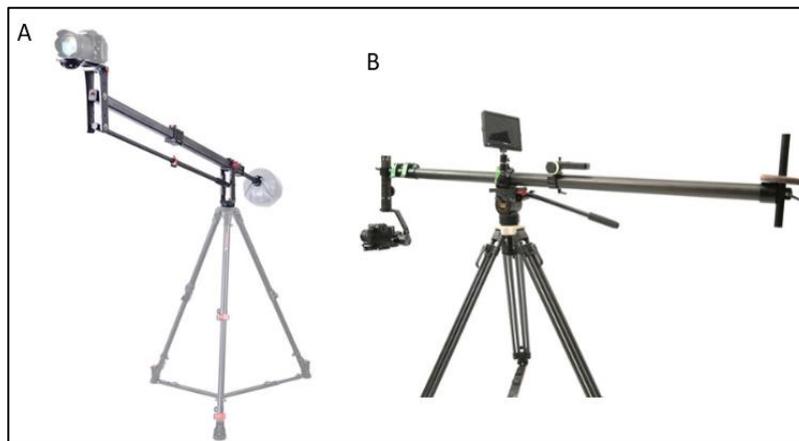


Figura 44. Foto delle gru, A. M1 Crane, B Teris JQ40

- **Drone:** i droni secondo il regolamento ENAC (Ente Nazionale per L'Aviazione) è un dispositivo a pilotaggio remoto, senza persone a bordo, impiegato esclusivamente nell'ambito di organizzazioni legalmente riconosciute in uno Stato Membro esclusivamente per scopi ludico e sportivo. Non è dotato di equipaggiamenti che ne permettono un volo autonomo, e che vola sotto il controllo visivo diretto e costante dell'aeromodellista, senza l'ausilio di aiuti visivi. Anche se intende un SAPR, come un sistema aeromobile a pilotaggio remoto. Questo strumento è molto utile per le sezioni che si trovano in luoghi con accesso difficile o con visibilità distante, come visto in precedenza **Error! Reference source not found..** Ora,

sul mercato ci sono un gran numero di modelli di droni, la selezione di questo dipenderà dall'accessibilità economica dell'utente, dal dettaglio della foto che è richiesto o dal tipo di manovre da eseguire al fine di ottenere le informazioni richieste. Poiché la fotocamera e i sensori dipenderanno da questo. La seguente tabella mostra un confronto tra i modelli che sono disponibili su la pagina di DJI.

Modello	Dimensioni (mm) (Lun-Lar-Al)	Peso (g)	Autonomia Di volo Stazionario (min)	Fotografia	
				Sensore	MP
Mavic-Mini	245x290x55	249	29	CMOS 1/2.3"	12
Mavic Air	168x184x64	430	20	CMOS 1/2.3"	12
Mavic Pro Platinum	305x244x85	734	27	CMOS 1/2.3"	12
Mavic 2 Zoom	322x242x84	905	29	CMOS 1/2.3"	20
Mavic 2 Pro	322x242x84	907	29	CMOS 1"	20
Phantom 4 Pro V2.0	289.5x289.5x196	1375	28	CMSOS 1"	20

Modello	Dist. Trasmissione (m)	GNSS	Acuratezza Del volo Stazionario (m)		Apertura di Fotocamera	Costo
			Verticale (+/-)	Orizzontale (+/-)		
Mavic-Mini	2500-4000	GPS+ GLONASS	0.1-0.5	0.1-1.5	f/2.8	€ 399.00
Mavic Air	2000-4000	GPS+ GLONASS	0.1-0.5	0.1-1.5	f/2.8	€ 849.00
Mavic Pro Platinum	5000-8000	GPS+ GLONASS	0.1-0.5	0.3-1.5	f/2.2	€ 999.00
Mavic 2 Zoom	5000-8000	GPS+ GLONASS	0.1-0.5	0.3-1.5	f/2.8-3.8	€ 1,249.00
Mavic 2 Pro	5000-8000	GPS+ GLONASS	0.1-0.5	0.3-1.5	f/2.8-11	€ 1,499.00
Phantom 4 Pro V2.0	5000-8000	GPS+ GLONASS	0.1-0.5	0.3-1.5	f2.8-11	€ 1,699.00

A



B



C



D



E



F



I droni sono veicoli telecomandati che possono causare incidenti, motivo per cui esistono normative che variano in base al Paese in cui è richiesta l'operazione. In questo caso verranno discusse alcune delle regole da seguire imposte in Italia, stabilite dall'ENAC nel regolamento di mezzi aerei a pilotaggio remoto edizione 3 del 11 novembre 2019. (ENAC, 2019)

- ✓ **Sezione I. Art 6.** Classificazione degli APR: sono classificati in base alla massa operativa al decollo del mezzo in:
 - A. Mezzi aerei di massa operativa al decollo minore di 25kg
 - B. Mezzi aerei di massa operativa al decollo uguale o maggiore di 25kg
- ✓ **Sezione II. Art. 8.** Gli operatori di SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) impiegati per uso professionale, indipendentemente dal peso, e gli operatori e/o i proprietari di APR di massa uguale o maggiore di 250g impiegati per attività ricreative hanno l'obbligo di registrarsi sul portale D-flight e di apporre il codice identificativo QR sull'APR .
- ✓ **Sezione II. Art 9.** Per operazioni “non critiche” si intendono quelle operazioni condotte in VLOS (Visual line of sight) che non prevedono il sorvolo di:
 - A. Aree congestionate, assembramenti di persone,
 - B. Agglomerati urbani,
 - C. Infrastrutture sensibili

Tali operazioni devono essere condotte ad una distanza orizzontale di sicurezza di almeno 150m dalle aree congestionate, e ad almeno 50m dalle persone che non siano sotto il diretto controllo del pilota di APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto).

- ✓ **Sezione II. Art 9.** Assicurare che tutte le persone indispensabili alle operazioni ed addestrate allo scopo siano state informate dei possibili rischi connessi ed abbiano dato un esplicito consenso alla partecipazione.
- ✓ **Sezione II Art 10.** È consentito il sorvolo delle aree urbane in condizioni VLOS (Visual Line of Sight) agli APR che dimostrino un adeguato livello di sicurezza. La conformità a tale requisito è ritenuta soddisfatta ove il SAPR sia dotato di:

- A. Un sistema primario di comando e controllo il cui software sia conforme agli standard aeronautici di cui alla specifica EUROCAE ED-12 almeno al livello di affidabilità progettuale D,
 - B. Sistemi idonei a mantenere il controllo delle operazioni in caso di perdita del data link o mitigarne gli effetti,
 - C. Un sistema di terminazioni del volo il cui comando sia indipendente e dissimilare dal sistema di comando e controllo e che, ove attivato, consenta una moderata esposizione a potenziali danni da impatto.
- ✓ **Sezione II Art 10.** Le operazioni in condizioni BLVOS (Beyond Visual Line of Sight) sono consentite ai SAPR che dimostrino un adeguato livello di sicurezza determinato tramite l'effettuazione di un'analisi del rischio basata sul documento SORA emesso dal JARUS.
- ✓ **Sezione V Art 24.** Le operazioni degli APR sono consentite, senza riserva di spazio aereo, nel rispetto delle seguenti condizioni:
- A. VLOS/EVLOS
 - B. Altezza non superiore a 120m AGL (Above ground Level)
 - C. Massa operativa al decollo minore a 25kg.

Allora, con lo scopo di evidenziare meglio i vantaggi e svantaggi dei diversi strumenti già menzionati, in seguito si mostra una tabella dove si parla sulle caratteristiche più favorevole e de favorevole di ogni uno.

<i>Strumento</i>	<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
<i>Pali Di Estensione</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Economici • Lunghezza variabile • Facile trasporto per essere piegabile e avere peso ridotto • Facile da acquistare sul mercato • Il cellulare o smartphone può essere utilizzato come fotocamera 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessità di prendere altri accessori come stabilizzatori per la fotocamera. • Lunghezza limitata • Poco controllo dello scatto della immagine quando la lunghezza è troppo alta. • Più lungo il palo, più costoso sarà lo strumento. • Uso limitato quando ci sono forti venti.
<i>Gru</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Riduce il rumore nel momento dello scatto della foto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prezzo un più elevato

<i>Strumento</i>	<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • Lunghezza variabile • Possibilità di vedere la foto prima dello scatto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Strumento più pesante e grande, lo quale difficoltà il trasporto dello stesso. • Ha bisogno di altri accessori, e il prezzo diventa maggiore • Limitato movimento dell'utente intorno al punto, per il posizionamento del tripode. • Mercato più limitato, non è facile da trovare questo strumento.
<i>Drone</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Alta variabilità di opzione di prezzi sul mercato. • Alta mobilità della fotocamera intorno al punto. • Controllo elevato dello scatto delle foto. • Non è necessario acquisire altri strumenti. • Strumento facile di acquisire sul mercato. <ul style="list-style-type: none"> • La fotocamera può essere rimpiazzata per uno smartphone. • Visualizzazione prima dello scatto della foto. • Il rumore della foto dipende dalla accuratezza dell'oggetto ma non dell'utente. • Facile trasporto e mobilità dello strumento. 	<ul style="list-style-type: none"> • È uno strumento con una probabilità considerevole de causare incidenti, perciò si devono avere in conto delle normative. • Alta vulnerabilità quando ci sono forti venti. <ul style="list-style-type: none"> • Distanza di trasmissione limitata. • Costo elevato quando si vogliono droni con alto rendimento. • Si deve avere speranza nel volo dei droni per potere fare una operazione.

Una volta si sceglie lo strumento si deve proseguire ad acquisire delle foto, dopo diche queste si devono raddrizzare con la finalità di potere modellare la geometria della sezione.

3. Generazione di fotopiani o immagini raddrizzate

Con l'aito dei diversi strumenti menzionati nella sezione precedente, è possibile ottenere i dati sufficienti per generare il modello della sezione desiderata. In questa parte del progetto viene spiegato come ottenere la dimensione della sezione tombate mediante un'analisi delle foto, usando il software RDF, il quale realizza il raddrizzamento di immagine digitali di oggetti piani o che possono essere considerati tali. Questa procedura si può realizzare di forma analitica, o di forma geometrica, e ulteriormente, si fa un confronto delle sezioni ottenute con i due metodi.

i. Raddrizzamento Geometrico

La operazione da eseguire in questo metodo è più corta d'altro, dovuto al fatto che la quantità d'informazione da aggiungere al programma, e calcoli da fare sono pochi. Per iniziare il processo, prima si deve aprire la immagine da raddrizzare, avendo in conto che il software RDF solo apre quelli file con formato BMP e JPG. Una volta caricata la foto si deve orientare l'immagine, questo si fa tracciando delle rette orizzontali e verticali, indicando così al software qual è il piano da lavorare.



Figura 46 Immagine iniziale, rette orizzontale e verticale.

Per quando riguarda al tracciato delle linee, si consiglia sempre di disegnargli da sinistra verso destra, altrimenti i risultati possono essere sbagliati. Dall'altra parte, il software richiede di calcolare i punti di fuga e i parametri per poter realizzare la trasformazione, questi vengono calcolati dal software stesso, una volta che si sono individuate le rette. La seguente immagine mostra i risultati per la sezione quadrata in studio.

Individua rette parallele		Tabella dei parametri		
N° rette orizzontali		nome valore va		
2		aa1	67.79907	/
N° rette verticali		aa2	14.32341	/
2		bb1	0.09052	/
Punto di fuga orizzontale		bb2	0.45968	/
40056.718		cc1	563.67562	/
8462.490		cc2	272.68849	/
Punto di fuga verticale				
879.001				
4463.888				

Figura 47 Tabella dei parametri per raddrizzamento Geometrico

Una volta calcolati questi valori, si prosegue a selezionare l'area di campionamento, essendo questa tutta l'area che vuole essere raddrizzata dal programma. Dopodiché, si deve stabilire un fattore di scala per la dimensione X e Y, dove se bisogna immettere le misure note di una dimensione della X e una della Y in rapporto all'unità di misura che RDF, il metro. In questo caso in particolare si hanno inserito la seguente dimensione:

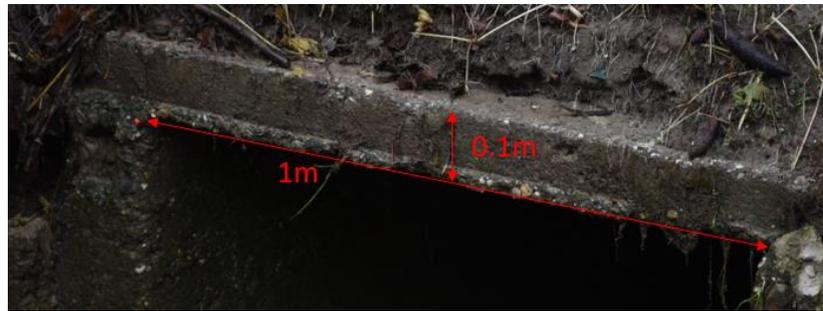


Figura 48 Dimensione X e Y della sezione

Nella fase di indicazione della larghezza e dell'altezza sull'immagine, usare sempre la stessa accortezza da sinistra a destra per le larghezze e, dal basso verso l'alto per le altezze. Ugualmente è necessario scegliere la risoluzione della immagine corretta (DPI), e il valore in metro di un pixel, che viene generato dal programma automaticamente. Questo procedimento rappresenta la parte più importante del raddrizzamento poiché fornisce al programma un fattore di scala con il quale rapportarsi.

In questo caso in particolare, come si vede nella Figura 48, si ha scelto una larghezza di 1 metro per la dimensione orizzontale che ha la sezione, e 0.1m (10cm) per la altezza della stessa. Anche, una risoluzione di immagine corretta (dpi) di 300.

Terminata la procedura del fattore di scala, ora il programma può effettuare il raddrizzamento dell'immagine tramite una sorta di scansione. Una volta corretta l'immagine ce la opzione di salvarla e quindi importarla dove vogliamo oppure, se può lavorare all'interno del programma sull'immagine corretta creando per esempio un DXF, o prendendo altre misure sull'immagine stessa. In seguito, si presenta l'immagine dopo il processo di raddrizzamento, una tabella con le coordinate dei diversi punti lungo la sezione e il suo rispettivo disegno.



Nome	x	y
1	0.6735	1.2065
2	0.686	1.7315
3	0.6735	2.286
4	1.2275	2.2815
5	1.668	2.2775
6	1.668	1.939
7	1.6635	1.617
8	1.6725	2.396
9	1.2275	2.4045
10	0.69	2.4045

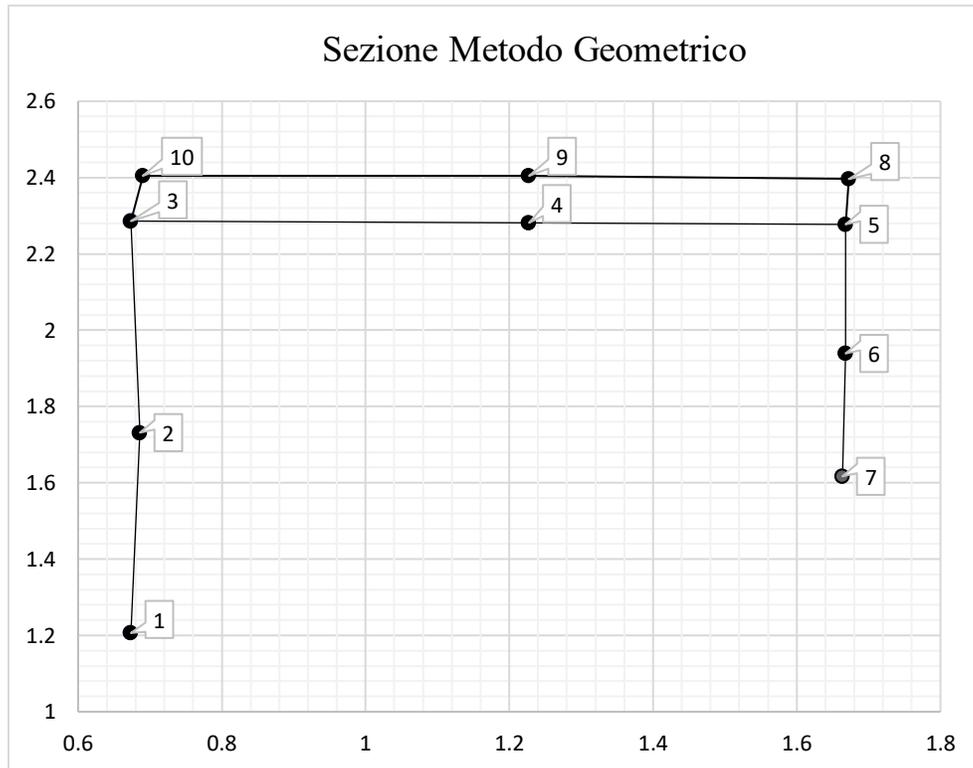
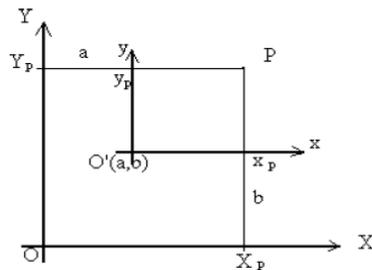


Figura 49 Sezione dopo raddrizzamento geometrico

ii. Raddrizzamento Analitico

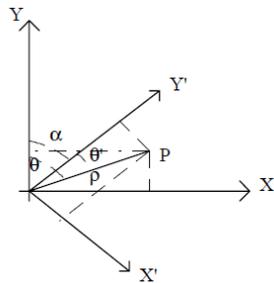
Il raddrizzamento analitico ha bisogno di avere i punti misurati con la stazione totale, il problema è che il sistema di riferimento del GPS e la stazione non sono compatibili tra loro, e occorre eseguire le trasformazioni dirette e inverse tra questi. Nel problema geometrico di trasformazione si possono trovare le seguenti casi (Lingua & Albery):

- ✓ **Traslazione:** trasformazione da un sistema locale (O', X, Y) ad uno globale (O, X, Y) e che gli assi detti sistemi siano tra loro paralleli.



$$\begin{aligned} X_p &= x_p + a \\ Y_p &= y_p + b \end{aligned}$$

- ✓ **Rotazione intorno all'origine:** Trasformazione da un sistema globale (O, X, Y), ad uno locale (O, X', Y') e che gli assi siano tra loro ruotati.



$$\alpha = \vartheta - \vartheta'$$

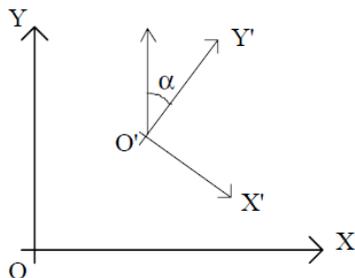
$$X_p = \rho \sin \vartheta$$

$$Y_p = \rho \cos \vartheta$$

$$X_{p'} = \rho \sin \vartheta'$$

$$Y_{p'} = \rho \cos \vartheta'$$

- ✓ **Rotazione Senza Variazione Di Scale:** Risulta dalla combinazione dei due casi precedenti, cioè, la trasformazione da un sistema locale (O, X', Y') ad uno globale (O, X, Y) e che gli sistemi siano tra loro ruotati e traslati.



$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_0 \\ Y'_0 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X'_p \\ Y'_p \end{pmatrix}$$

- ✓ **Rotazione con variazione di scala isotropica:** la trasformazione è analoga a quella precedente, ma in questo caso si contempla che i due sistemi di riferimento siano in una scala diversa, in conseguenza è necessario conoscere 4 parametri, i 3 precedenti più un fattore di scala λ .

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_0 \\ Y'_0 \end{pmatrix} + \lambda \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X'_P \\ Y'_P \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_0 \\ Y'_0 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X'_P \\ Y'_P \end{pmatrix}$$

Avendo in conto dei tipi di trasformazione che esistono, si ha messo in considerazione una rototraslazione senza variazione di scala. In seguito, si rappresenta i calcoli seguenti.

$$X_{P1} = X'_0 + X'_P \cos \alpha - Y'_P \sin \alpha$$

$$Y_{P1} = Y'_0 + X'_P \sin \alpha + Y'_P \cos \alpha$$

Dove:

- $\sin \alpha \rightarrow a$
- $\cos \alpha \rightarrow b$
- $X'_0 \rightarrow c$
- $Y'_0 \rightarrow d$

Sostituisco nelle equazioni principali:

$$X_P = c + X'_P b - Y'_P a$$

$$Y_P = d + X'_P a + Y'_P b$$

Ci sono quindi 4 incognite, per risolvere il problema si deve scegliere 2 punti dal sistema locale, di conseguenza si hanno 2 equazioni in più.

$$X_{P1} = c + X'_{P1} b - Y'_{P1} a$$

$$Y_{P1} = d + X'_{P1} a + Y'_{P1} b$$

$$X_{P2} = c + X'_{P2} b - Y'_{P2} a$$

$$Y_{P2} = d + X'_{P2} a + Y'_{P2} b$$

Dove:

- X'_{P1}, X'_{P2} : sono le coordinate X del primo e secondo punto rispettivamente, riferito al sistema locale.
- Y'_{P1}, Y'_{P2} : sono le coordinate Y del primo e secondo punto rispettivamente, riferito al sistema locale.
- X_{P1}, X_{P2} : sono le coordinate X del sistema globale, in questo caso le coordinate X'_{P1}, X'_{P2} sono uguali a 1000.
- Y_{P1}, Y_{P2} : sono le coordinate Y del sistema globale, $Y_{P1} = 1000$, ma per avere il Y_{P2} si fa la seguente equazione:

$$Y_{P2} = Y_{P1} + \sqrt{(X'_{P1} + X'_{P2})^2 + (Y'_{P1} + Y'_{P2})^2}$$

Se può anche scrivere come:

$$X_{P1} = -Y'_{P1} a + X'_{P1} b + c$$

$$Y_{P1} = X'_{P1} a + Y'_{P1} b + d$$

$$X_{P2} = -Y'_{P2} a + X'_{P2} b + c$$

$$Y_{P2} = X'_{P2} a + Y'_{P2} b + d$$

In notazione matriciale:

$$\begin{pmatrix} -Y'_{P1} & X'_{P1} & 1 & 0 \\ X'_{P1} & Y'_{P1} & 0 & 1 \\ -Y'_{P2} & X'_{P2} & 1 & 0 \\ X'_{P2} & Y'_{P2} & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_{P1} \\ Y_{P1} \\ X_{P2} \\ Y_{P2} \end{Bmatrix}$$

$$A * T = X^G$$

$$A^I * A * T = A^I * X^G$$

$$I * T = A^I * X^G$$

$$T = A^I * X^G$$

$$T = \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix}$$

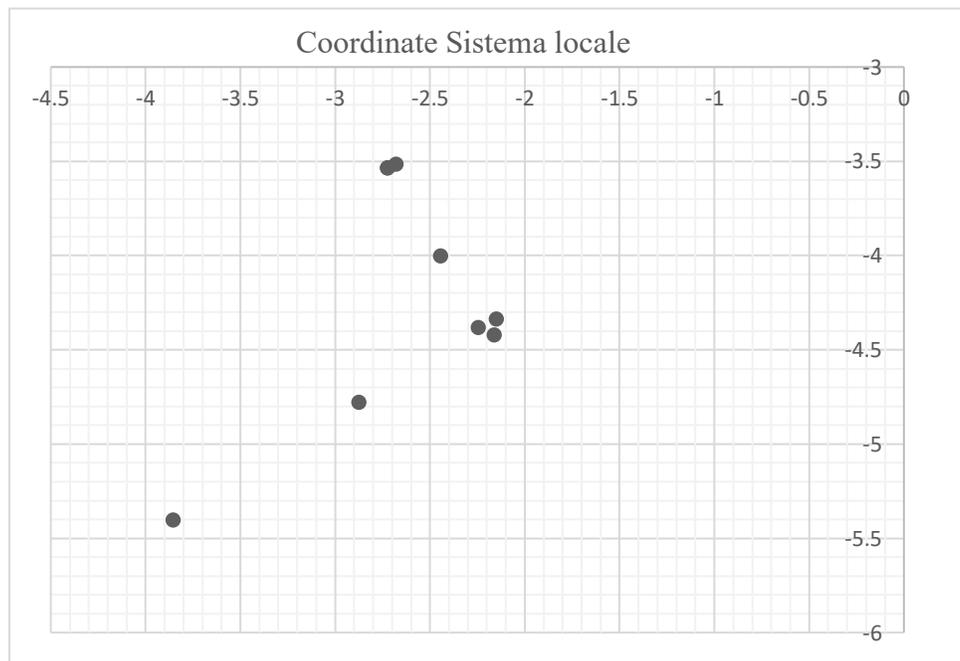
In questo progetto si ha fatto dei calcoli di trasformazione a due sezioni, i dati e i voleri ottenuti sono descritti in seguito.

Tombatura 1

<i>Coordinate Sistema Locale</i>			
<i>N</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
1001	-2.1478	-4.3402	-1.4937
1002	-2.16	-4.4244	-0.5685
1003	-2.6757	-3.5175	-1.0306
1004	-2.7219	-3.5373	-0.5337
1005	-2.7216	-3.5369	-0.5334
1006	-2.2438	-4.3837	-1.5371
1007	-2.8722	-4.7797	-1.5792
1008	-3.8527	-5.4055	-1.6628
1009	-2.443	-4.0035	-0.5483

<i>Punti per orientamento nel sistema fotogrammetrico</i>		
<i>N</i>	<i>X'p</i>	<i>Y'p</i>
1001	-2.15	-4.34
1009	-2.44	-4.00

<i>Origine</i>	
<i>Xp</i>	<i>Yp</i>
1000	1000
1000	1000.448*



$$* Y_{P2} = Y_{P1} + \sqrt{(X'_{P1} + X'_{P2})^2 + (Y'_{P1} + Y'_{P2})^2}$$

$$Y_{P2} = 1000 + \sqrt{(-2.44 - 2.15)^2 + (-4.00 - 4.34)^2}$$

$$Y_{P2} = 1000.448$$

Fino questo punto si ha la seguente equazione:

$$X_{P1} = -Y'_{P1} a + X'_{P1} b + c$$

$$1000 = -4.34 a - 2.148 b + 1 c + 0 d$$

$$Y_{P1} = X'_{P1} a + Y'_{P1} b + d$$

$$1000 = -2.148 a - 4.340 b + 0 c + 1 d$$

$$X_{P2} = -Y'_{P2} a + X'_{P2} b + c$$

$$1000 = 4.004 a - 2.443 b + 1 c + 0 d$$

$$Y_{P2} = X'_{P2} a + Y'_{P2} b + d$$

$$1000.448 = -2.443 a - 4.004 b + 0 c + 1 d$$

Notazione matriciale:

$$A = \begin{pmatrix} 4.340 & -2.148 & 1 & 0 \\ -2.148 & -4.340 & 0 & 1 \\ 4.004 & -2.443 & 1 & 0 \\ -2.443 & -4.004 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$T = \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix}$$

$$X_G = \begin{Bmatrix} 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000.448 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 4.340 & -2.148 & 1 & 0 \\ -2.148 & -4.340 & 0 & 1 \\ 4.004 & -2.443 & 1 & 0 \\ -2.443 & -4.004 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{Bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000.448 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 4.340 & -2.148 & 1 & 0 \\ -2.148 & -4.340 & 0 & 1 \\ 4.004 & -2.443 & 1 & 0 \\ -2.443 & -4.004 & 0 & 1 \end{pmatrix}^I = \begin{pmatrix} 1.679 & 1.472 & 1.679 & -1.472 \\ 1.472 & -1.679 & -1.472 & 1.679 \\ -3.126 & -9.996 & 4.126 & 9.996 \\ 9.996 & -3.126 & -9.996 & 4.126 \end{pmatrix}$$

$$T = A^I * X^G$$

$$T = \begin{pmatrix} 1.679 & 1.472 & 1.679 & -1.472 \\ 1.472 & -1.679 & -1.472 & 1.679 \\ -3.126 & -9.996 & 4.126 & 9.996 \\ 9.996 & -3.126 & -9.996 & 4.126 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1000 \\ 1000 \\ 1000 \\ 1000.448 \end{pmatrix}$$

$$T = \begin{pmatrix} -0.6595 \\ 0.751926 \\ 1004.476 \\ 1001.848 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \\ X'_0 \\ Y'_0 \end{pmatrix}$$

Una volta calcolata tutte le incognite si dovrà procedere a con una verifica, che sarà una identità trigonometrica.

$$\sqrt{(\cos \alpha)^2 + (\sin \alpha)^2} = 1$$

$$\sqrt{(-0.6595)^2 + (0.751926)^2} = 1$$

Avendo già i dati e le rispettive verifiche, si procede alla trasformazione di ciascuno dei punti riferiti al sistema locale della sezione, con la seguente equazione:

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_0 \\ Y'_0 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X'_P \\ Y'_P \end{pmatrix}$$

➤ Calcolo della trasformazione punto 1004:

$$X_{P4} = -Y'_{P2} a + X'_{P2} b + c$$

$$X_{P4} = -3.573(-0.65925) - 2.7219(0.751926) + 1004.476$$

$$X_{P4} = 1000.0976$$

$$Y_{P1} = X'_{P1} a + Y'_{P1} b + d$$

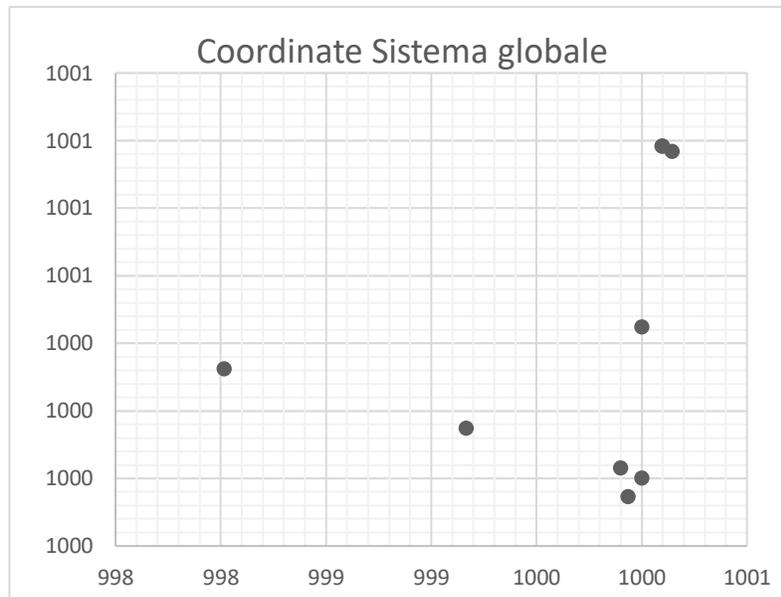
$$Y_{P1} = -2.7219(-0.65925) - 3.5373(0.751926) + 1001.848$$

$$Y_{P1} = 1000.985195$$

La seguente tabella fa un riassunto de tutti punti trasformati.

<i>Coordinate Trasformate- Sistema Globale</i>			
<i>N</i>	<i>Xe</i>	<i>Ye</i>	<i>Ze</i>
1001	1000.000	1000.000	-1.494
1002	999.935	999.945	-0.569
1003	1000.145	1000.967	-1.031
1004	1000.098	1000.982	-0.534
1005	1000.098	1000.982	-0.533
1006	999.899	1000.031	-1.537
1007	999.166	1000.147	-1.579

Coordinate Trasformate- Sistema Globale			
1008	998.016	1000.323	-1.663
1009	1000.000	1000.448	-0.548

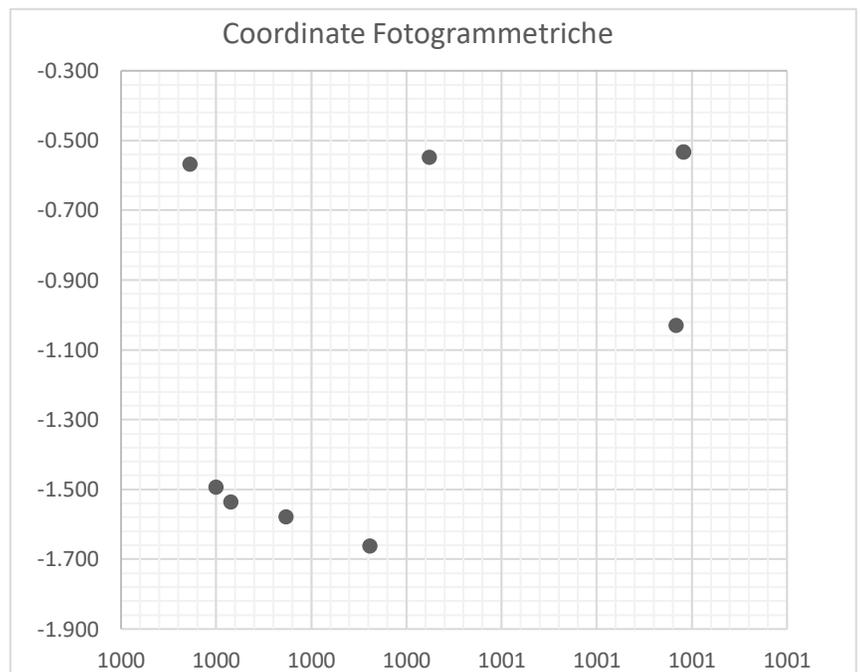


Successivamente si dovrà cambiare l'ordina delle coordinate, cioè:

✓ $X_f = Y_e$

✓ $Y_f = Z_e$

Coordinate FOTOGRAMMETRICHE			
N	X_f	Y_f	Z_f
1001	1000.000	-1.494	1000.000
1002	999.945	-0.569	999.935
1003	1000.967	-1.031	1000.145
1004	1000.982	-0.534	1000.098
1005	1000.982	-0.533	1000.098
1006	1000.031	-1.537	999.899
1007	1000.147	-1.579	999.166
1008	1000.323	-1.663	998.016
1009	1000.448	-0.548	1000.000



Come si può osservare nel grafico, ci sono alcuni punti che non descrivono bene la sezione, per questo motivo si hanno tolto. Le ultimi dati che si hanno messo per potere raddrizzare la foto sono:

<i>Coordinate-Disegno di Sezione</i>			
<i>N</i>	<i>X_f</i>	<i>Y_f</i>	<i>Z_f</i>
1003	1000.967	-1.0306	1000.145
1004	1000.982	-0.5337	1000.098
1009	1000.448	-0.5483	1000
1002	999.9447	-0.5685	999.9353
1001	1000	-1.4937	1000

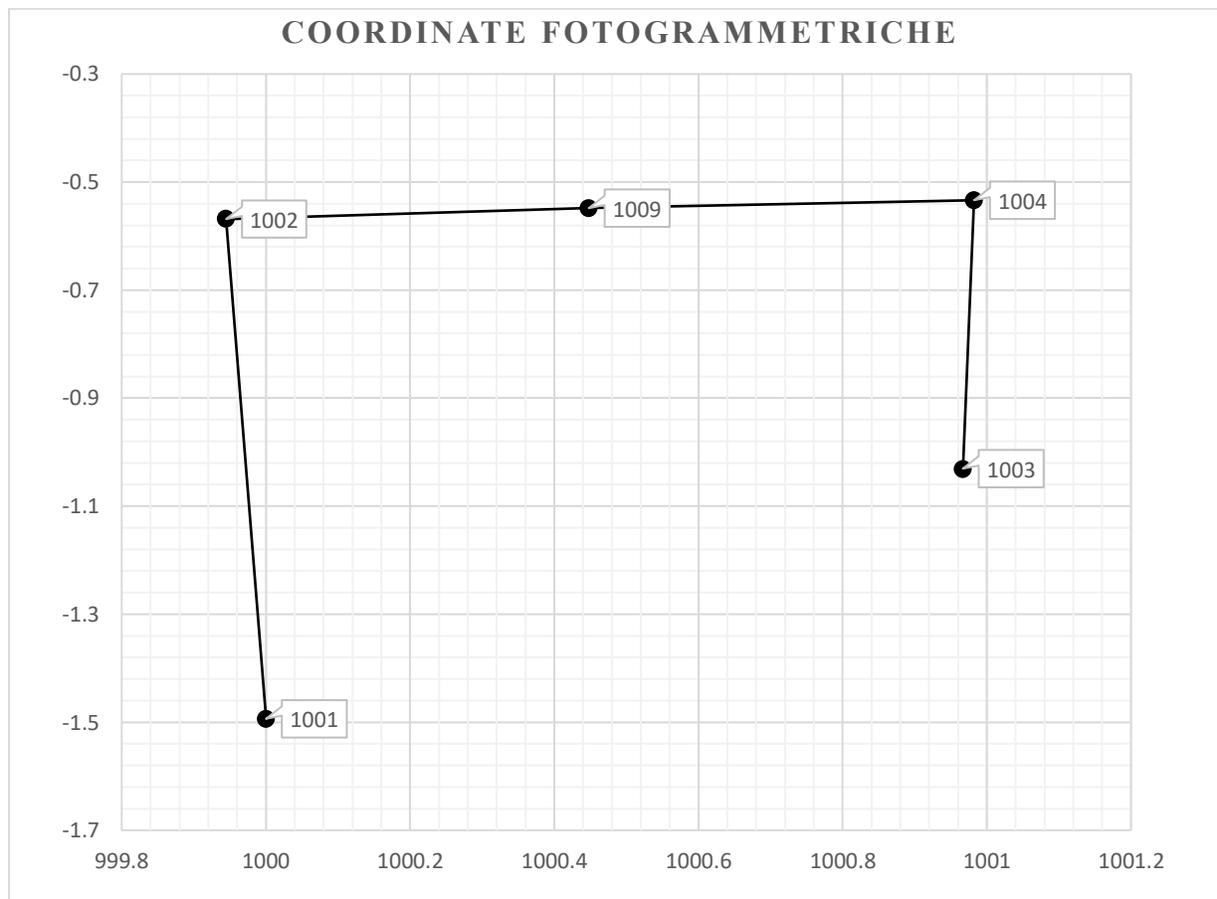


Figura 50 Coordinate Fotogrammetriche della sezione 1

iii. Raddrizzamento analitico con il software RDF:

Per effettuare un raddrizzamento con il programma RDF, è necessario disporre di un'immagine digitale dell'oggetto (sezione nel nostro caso di studio), cioè di una fotografia digitale o digitalizzata. I file caricabili sono quelli con formato BMP e JPG come si è spiegato nel raddrizzamento geometrico. Una volta l'immagine è stata caricata, si deve disegnare i punti dove si vuole avere delle coordinate riferiti al sistema locale. A questo punto bisogna collimare i punti sull'immagine (senza preoccuparsi della sequenza); per cominciare, si deve cercare nella finestra del menu principale e cliccare *inizio collimazione*, e con il tasto sinistro del mouse selezionare il punto desiderato sull'immagine.

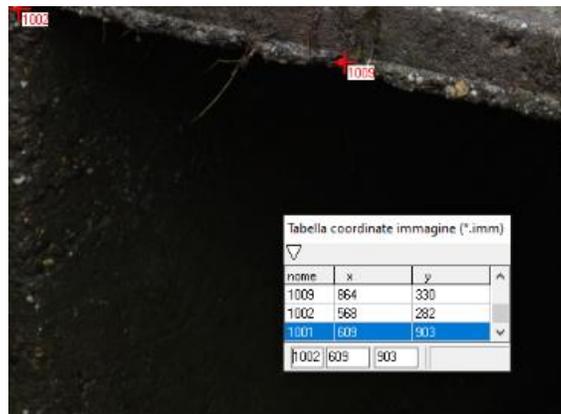


Figura 51 Tabella di coordinate immagine originale

Nella parte bassa della finestra ci sono tre caselle: nome, coordinata X e coordinata Y del punto collimato, tuttavia nel nome viene assegnato un numero progressivo di default, e deve essere cambiato per renderlo uguale al nome del corrispondente punto della tabella oggetto. Adesso, per inserire il punto disegnato nella tabella, selezionare *registra punto*.

D'altra parte, il software RDF richiede di alcuni parametri di trasformazione da immagine iniziale ad immagine raddrizzata, per calcolarli è necessario conoscere le coordinate di almeno quattro punti. Anche, per effettuare un raddrizzamento corretto e inoltre necessario che i punti siano distribuiti sul bordo dell'immagine in modo omogeneo. La tabella dei punti si può caricare da un editor testi (WordPad) tenendo presente che ogni punto deve stare su una riga ed essere composto dal nome, coordinata X e Y, con uno o più spazi che separino i tre valori. Ciò nonostante, RDF ha la facilità di potere inserirgli di forma manuale, essendo l'ordine nome, coordinata X e coordinata Y. Ugualmente, si deve avere in conto che i punti devono appartenere ad un piano ed il sistema di riferimento a cui si riferiscono le loro coordinate devono essere tale che le X siano crescenti verso destra e le Y siano crescenti verso l'alto.

<i>N</i>	<i>X_f</i>	<i>Y_f</i>
1003	1000.967	-1.0306
1004	1000.982	-0.5337
1009	1000.448	-0.5483
1002	999.9447	-0.5685
1001	1000	-1.4937

Una volta creata la tabella di coordinate immagine, si procede a produrre un file in cui vengano lasciate le coordinate oggetto di ogni punto d'appoggio, alle corrispondenti coordinate immagine. Nel software viene assegnata l'estensione fot come rappresentazione della unione dei due file. La struttura di questo file viene data nella seguente immagine dove x,y sono riferite alle coordinate immagine, e X, Y alle coordinate oggetto.

nome	x	y	X	Y	*
1001	609	902	1000	-1.4937	
1002	564	282	999.9447	-0.5685	
1003	1193	744	1000.967	-1.0306	
1004	1225	409	1000.982	-0.5337	
1009	859	329	1000.448	-0.5483	

Figura 52 Tabella Coordinate Unione

Anche si deve avere in conto che i punti abbiano lo stesso nome, perché il software fa un confronto sul nome per ogni punto immagine e il corrispondente punto oggetto. Allo stesso modo, si deve calcolare dei residui, i quelli vengono fatti automaticamente.

nome	x	y	res x	res y	res stand x	res stand y
1001	1000.002	-1.498	0.002	-0.004	1.200	-1.295
1002	999.953	-0.568	0.008	0.001	1.386	0.057
1003	1000.964	-1.023	-0.004	0.008	-1.227	1.333
1004	1000.992	-0.543	0.011	-0.010	1.333	-1.157
1009	1000.431	-0.543	-0.018	0.006	-1.367	0.365

sam: 0.0003745585

Figura 53 Tabella di coordinate oggetto e dei residui

Questa operazione si fa per controllare la bontà metrica del risultato finale. Ugualmente, serve per capire se i punti sono stati collimati in modo corretto e per fare un'analisi dei residui, se si trova degli errori nelle coordinate oggetto. Avendo aperto la tabella dei residui si possono:

- ✓ **Calcola parametri diretti:** questa opzione calcola i parametri della trasformazione da coordinate immagine a coordinate oggetto e, a partire da questi, ricalcola le coordinate oggetto dei punti d'appoggio e i residui corrispondenti a ciascun punto, ovvero la differenza tra le coordinate oggetto inserite e quelle ricalcolate.
- ✓ **Calcola parametri inversi:** ricalcola il valore delle coordinate immagine espresse in pixel

Nel caso di avere residui alti, sarà possibile eliminare dal calcolo tali punto e ripetere l'operazione. Per farlo è necessario aprire la *Tabella Coordinare Immagine/Oggetto*, e inserire nell'ultima colonna, nella riga corrispondente al punto, un asterisco (*). Per evidenziare quali sono i punti con i residui maggiori è necessario utilizzare *disegna residui* e vedere la distanza fra i punti inserite nella immagine e i nuovi disegnati, ed è necessario avere almeno quattro punti.

Dopo fare i diversi calcoli, si deve procedere all'inquadramento d'area di raddrizzamento, questo si fa dalla stessa forma come nel metodo geometrico, allora, nella **Error! Reference source not found.** si può vedere l'area selezionata disegnata con una linea tratteggiata.

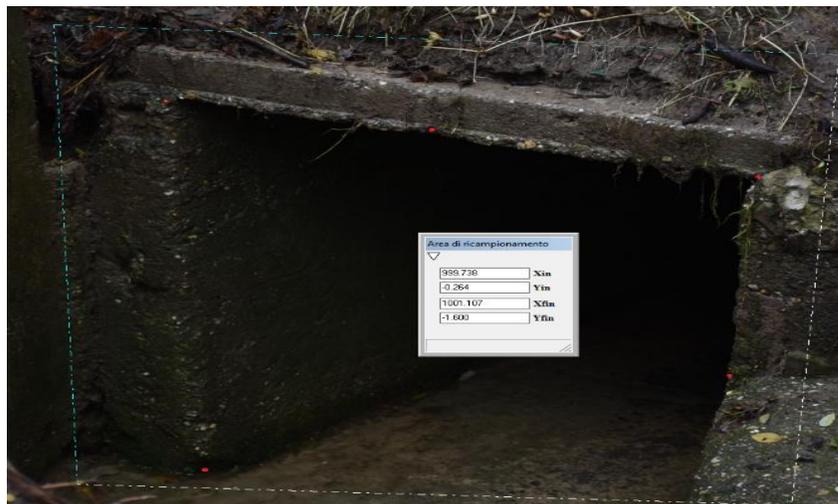


Figura 54 Area di raddrizzamento Analitico

Una volta stabilita l'area, è fondamentale aggiungere il passo di ri-campionamento, questo valore rappresenta la dimensione, in unita oggetto, di ogni pixel dell'immagine finale raddrizzata. Questi valori di scala sono presenti nella seguente immagine.

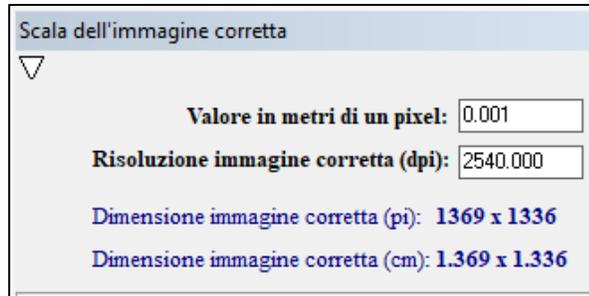


Figura 55 Scala dell'immagine corretta

Bisogna far attenzione al valore inserito per che:

- ✓ Il valore in metri di un pixel è direttamente proporzionale alla risoluzione che avrà l'immagine corretta, poiché la risoluzione R si calcola come:

$$R = \frac{2.54}{px}$$

$$R = \frac{2.54}{0.001} = 2540$$

In questo caso si ha scelto un valore in metri di un pixel di 0.001 perché questo valore garantisce una dimensione di foto ottimale per generare un file DXF.

- ✓ Se è troppo piccolo si rischia di ottenere un'immagine di dimensioni troppo grandi e quindi non gestibile dal sistema, anzi, se è troppo grande si ottiene un'immagine piccola e non visibile.

Una volta inserito il valore di un pixel, il software ha a disposizione il comando *Anteprima*, dal menu della finestra di Scala dell'immagine corretta, il quale fa vedere in anticipo l'immagine corretta, e in questo modo correggere ciò che è necessario prima di fare il raddrizzamento.

Dentro del software ci sono disponibili due tipi d'interpolazione, una *lineare* e una *bilineare*. Eleggere una delle due opzioni determinerà la qualità dell'immagine finale e il tempo impiegato dal sistema per effettuare il raddrizzamento. In questo caso si ha scelto una interpolazione *Bilineare*. Se tutte le operazioni descritte con anteriorità sono state eseguite correttamente, si può, finalmente, fare correre il programma. Sullo schermo se verrà l'immagine corretta, e una barra di scorrimento che indicherà lo stato di avanzamento della trasformazione. Il tempo del sistema per raggiungere i risultati dipenderà dalla

grandezza delle foto e la sua risoluzione. Anche, una volta raddrizzata l'immagine il software permette:

- ✓ Visualizzare contemporaneamente la immagine iniziale e quella corretta con il comando
- ✓ Salvare l'immagine in formato Bmp dal comando: Immagine Correta>Salva, e contemporaneamente viene creato un file di testo che contiene le informazioni principali dell'immagine.

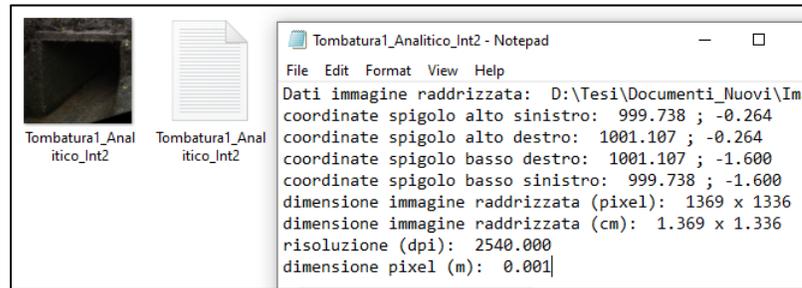


Figura 56 Foto dei file dopo raddrizzamento

Una volta che la foto è stata raddrizzata, è possibile generare una pioggia di punti per fare il modello della sezione, per fare ciò, deve essere eseguito lo stesso processo descritto nel passaggio numero sette del raddrizzamento geometrico. Le seguenti immagine mostrano l'ubicazione dei punti, e un disegno della sezione su Excel, allo stesso modo si aggiunge la sua rispettiva tabella di coordinate.

<i>Nome</i>	<i>x'</i>	<i>y</i>	<i>x</i>
1	1.00	-1.51	1000.00
2	1.00	-0.89	1000.00
3	0.99	-0.54	999.99
4	1.45	-0.55	1000.45
5	1.98	-0.55	1000.98
6	1.98	-0.81	1000.98
7	1.98	-1.01	1000.98
8	1.98	-0.47	1000.98
9	1.46	-0.46	1000.46
10	0.99	-0.44	999.99

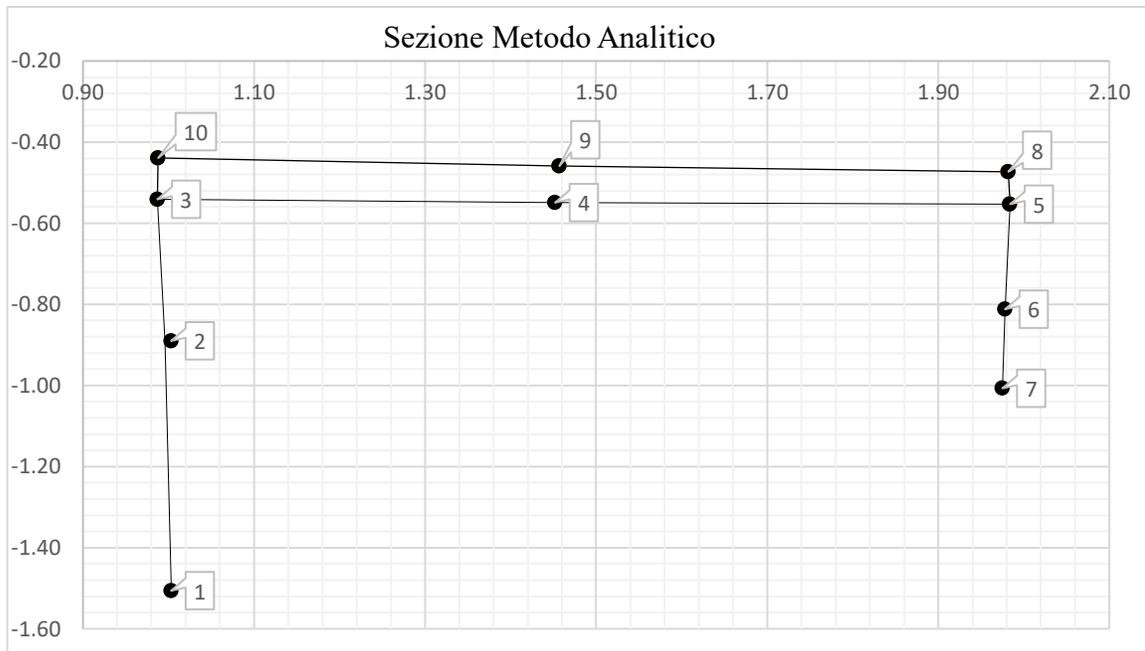


Figura 57 Sezione Metodo Analitico

Di seguito è riportato i risultati dei due modelli, sia geometrico che analitico, con lo scopo di dimostrare che qualsiasi raddrizzamento serve a produrre il disegno della sezione richiesta, tuttavia, si deve tener conto del fatto che il secondo processo descritto è molto più preciso a causa della quantità d'informazioni richieste.

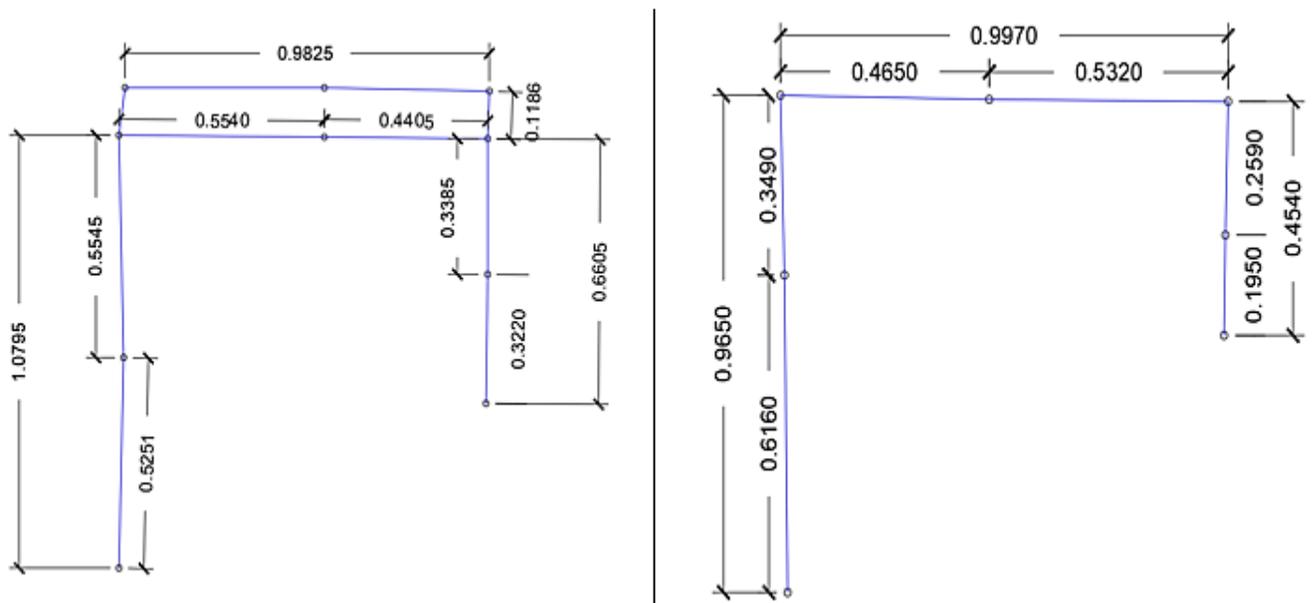


Figura 58 Modello finale della sezione in studio

Capitolo 4- Dominio del Flusso Idraulico

Una volta definite tutte le aree d'interesse, tanto in più il rispettivo modello tipografico, è possibile proseguire con la simulazione idraulica con il dominio del flusso che si sono già menzionati nel Capitolo 1- Caratterizzazione della Zona e Descrizione del problema. Tuttavia, è ancora indispensabile definire alcuni parametri all'interno del modello per poter ricostruire in dettaglio gli scenari di allegamento. Inizialmente questo capitolo parala di come creare la geometria richiesta utilizzando il software Hec-Ras facendo uso dello strumento di RAS Mapper, da cui è possibile estrarre tutte le informazioni necessarie. Inoltre, viene spiegato come è stato ottenuto il valore di portata per generare l'altezza registrata nei dati storici della città. Successivamente, viene calcolato il flusso che passa nella sezione tombata al fine di effettuare un'analisi dessa stessa, infine i risultati di ciascuna dell'area vengono mostrati.

1. Geometria del Modello Idraulico

Come accennato nell'introduzione, la prima cosa da fare per ricreare la geometria è usando il Ras Mapper. All'interno di questa estensione di Hec-Ras si deve prima impostare la proiezione del progetto, questa opzione è indispensabile per poter allineare tutti i file caricati nel programma, assi come fornire al progetto un sistema di georeferenziazione che sarà, in questo caso, WG84 /UTM Zone 32N. Questa proiezione viene data da un file con una estensione tipo. prj. (Us Army Corps Of Engineers, 2016)

Una volta definita, se prosegue con la creazione del Terrain, che viene fatto usufruendo l'opzione di Nuovo Terrain, che apre così una finestra, in cui si deve caricare il file DTM, in particolare il DSM creato nel capitolo Capitolo 2- . Altrimenti, si possono caricare uno a uno dei file vettoriale trasformati, e il DTM originale, poiché, all'interno dello stesso software esiste la possibilità di generare un merge. Dopodiché, si avrà a disposizione, dentro de software Hec-Ras, tutta l'informazione altimetrica, e planimetrica delle diverse zone di studio, Val Salice, Val San Martino, e Val Piana. La seguente immagine mostra il *terrain* fatto, e usato per la creazione della geometria impiegata nella modellazione idraulica dentro del software.

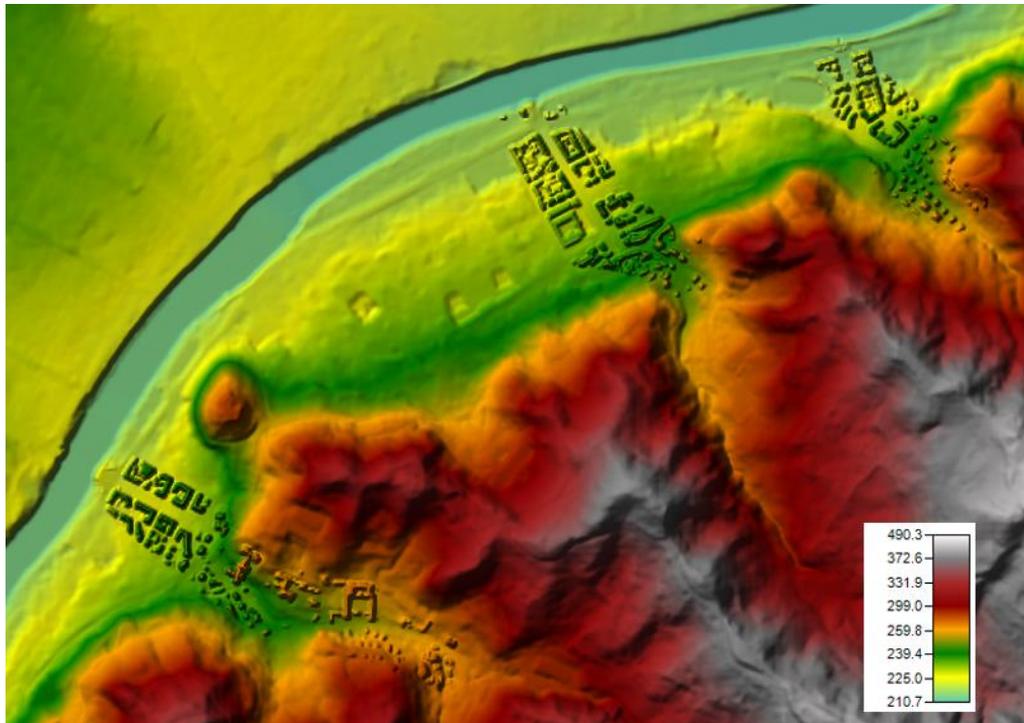


Figura 59 Terrain delle 3 Zone in studio.

Dopo aver caricato il file raster sul Ras-Mapper, il passo successivo sarebbe l'estrazione delle sezioni trasversali di tutte le tre zone. Questo viene fatto creando una nuova geometria, e ciò consente di iniziare a disegnare i diversi dati di entrata necessari per fare correre il modello.

Avere a disposizione il terreno offre la possibilità di generare un modello 1D e anche 2D, però, in questo progetto viene generato solo il modello 1D. Per fare ciò, prima si deve disegnare il tratto del fiume. Questa viene tratteggiata su tutti percorsi menzionate nella pagina 23, cominciando da monte verso valle. Dopo dicche, si limita la posizione dei *Bank Lines*, tracciando due linee, una destra e un'altra a sinistra usando IL fiume fatto con anteriorità come riferimento. Queste linee vanno ad essere inserite sui marciapiedi, perché sono questi che limitano i percorsi d'acqua. Fino a questo punto l'unica cosa che manca, prima delle sezioni trasversali, sono delle linee di flusso, che vanno ad essere progettati come *i Banks Lines* ma più distanziate, dovuto al fatto che QUESTI delimitano la zona di allegamento.

Definite queste cinque linee, si procede con il disegno delle sezioni trasversali. Questi sono generate tracciandogli sulla mappa avendo in conto di eseguire lo stesso percorso, cioè da destra a sinistra o da sinistra a destra. Inoltre, sempre se deve cercare l'ortogonalità tra la linea di sezione e il corso del fiume. La seguente immagine mostra lo descritto con anteriorità dentro delle tre zone.

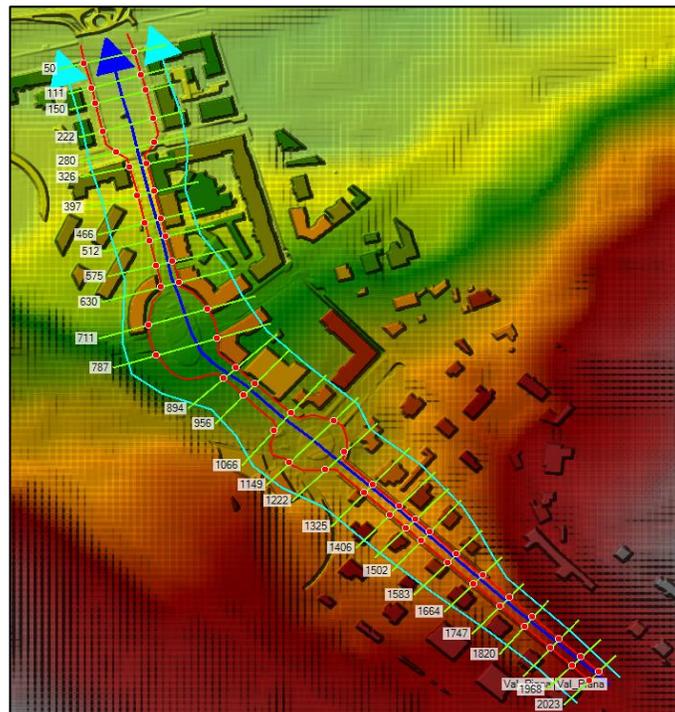
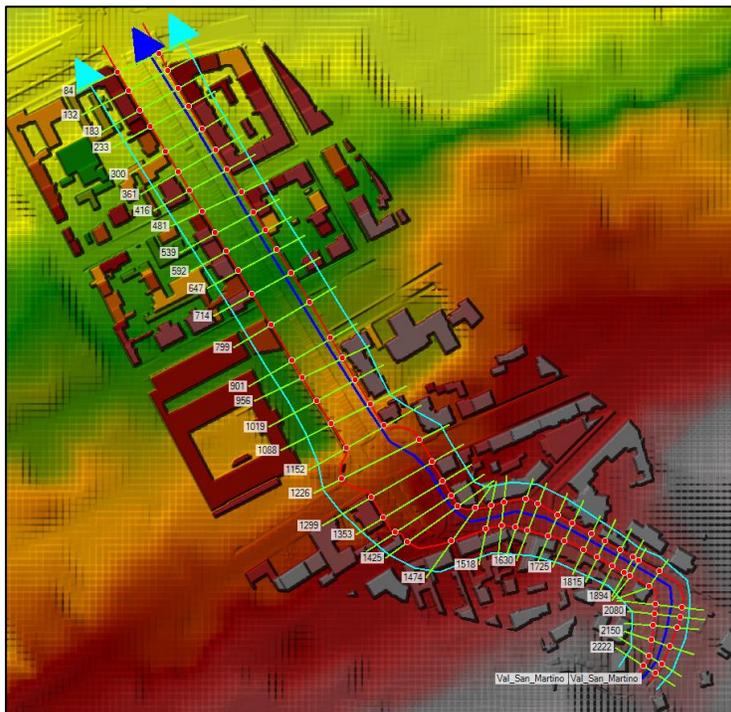
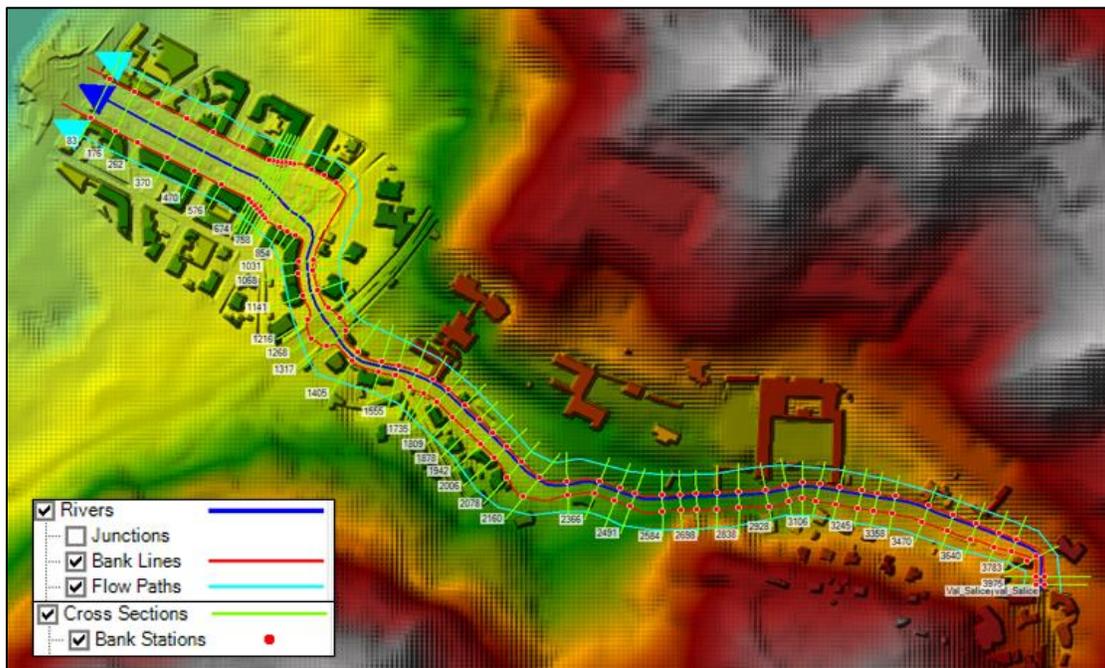
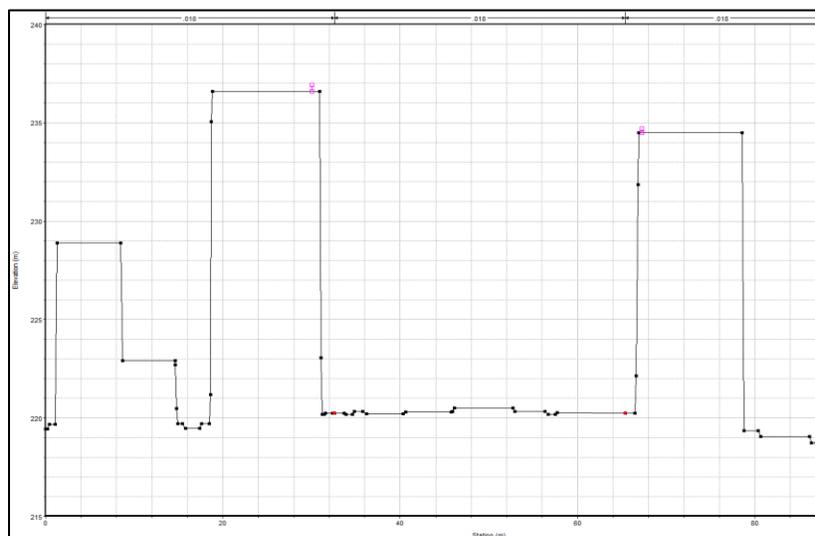
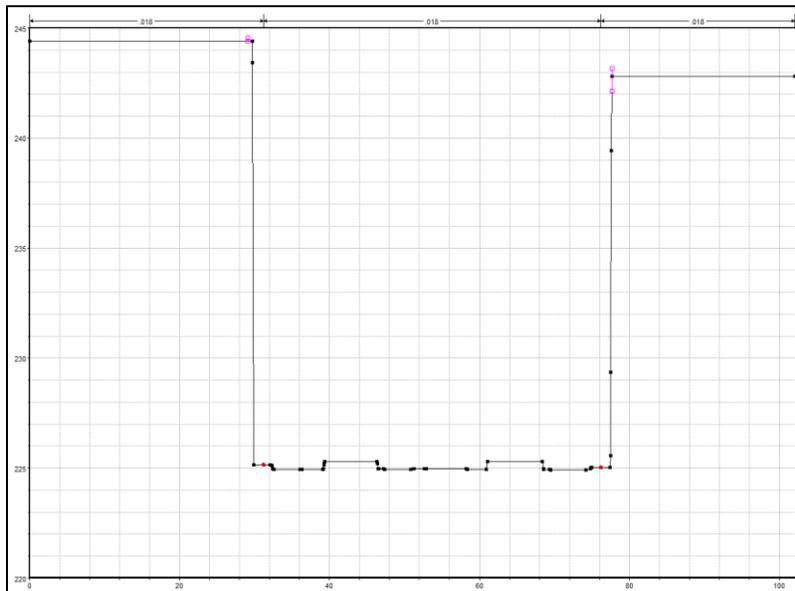


Figura 60 Pre-Process di: Val Salice, Val San Martino, Val Piana

Si deve avere in considerazione, che quando una sezione è completamente inserita in un incrocio, si prende le sezioni sorgenti in prossimità del cambio di geometria, ovvero posizionando una sezione subito prima dell'incrocio una nell'incrocio stesso e una subito dopo. Al contrario, se non viene fatto di questa maniera, la sezione nel centro non potrà avere un proprio canale principale pertanto le bank stations saranno poste rispettivamente nel primo o nell'ultimo punto della sezione in studio. In seguito, si mostra una sezione tipo per ciascuna delle zone, con la finalità di fare notare come si vedono tutti elementi antropici aggiunti nel file raster originale, quando si trapassano dal Ras mapper al Geometri editor.



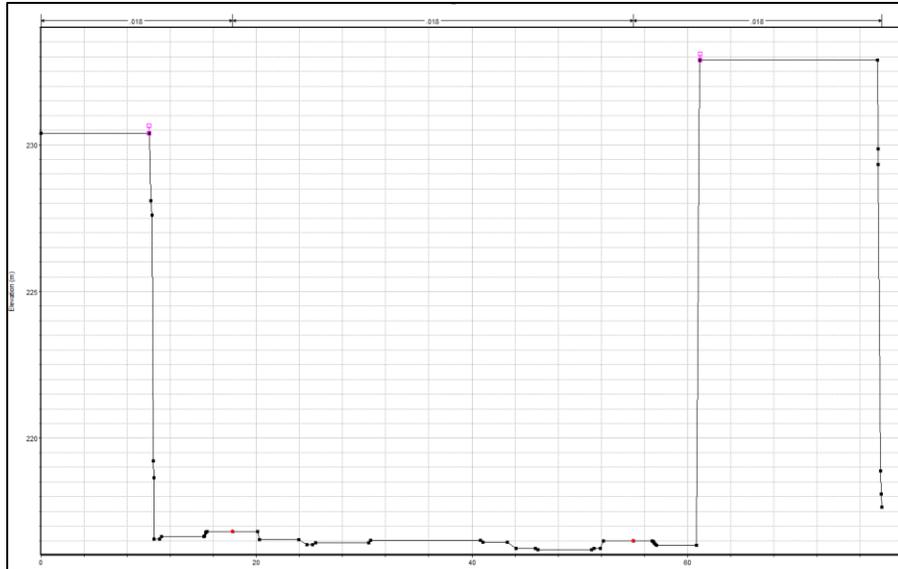


Figura 61 Sezione Tipo delle zone Val Salice, Val San Martino, Val Piana, rispettivamente.

2. Rifinitura del Modello

Successivamente in questa modellazione si deve selezionare il coefficiente di scabrezza, che per il software HecRas viene chiamato come coefficiente di Manning. Nonostante, il problema ricade su la grande difficoltà per determinare questo valore, perché non esiste un metodo esatto per la sua selezione. Adesso vengono descritti quattro approcci generali (Chow, 1959):

1. Comprendere i fattori che influenzano il valore di scabrezza e quindi acquisire una conoscenza di base del problema per restringere la vasta gamma di congetture.
2. Consultare le tabelle con i valori tipici per canali di vari tipi.
3. Esaminare e conoscere l'aspetto di alcuni canali tipici e il suo coefficiente di scabrezza per confrontarlo con il canale in studio.
4. Determinare il valore di Manning usando una procedura analitica basata sulla distribuzione teorica della velocità dei coefficienti di scabrezza.

In questo progetto, viene utilizzato il secondo metodo, avendo in conto che il tipo di materiale nella zona di studio è asfalto grezzo, il quale, secondo la seguente tabella estratta dal libro di Ven Te chow, ha un valore di 0.016.

Type of channel and description	Minimum	Normal	Maximum
i. Asphalt			
1. Smooth	0.013	0.013	
2. Rough	0.016	0.016	
j. Vegetal lining	0.030	0.500

Comunque, nel modello idraulico viene stato utilizzato un valore di 0.018, cioè un 10% in più dal valore originale, come coefficiente di Manning, in modo da tener in considerazione delle possibili alterazioni del manto stradale.

Nel modello idraulico si è scelto di svolgere una simulazione tramite un flusso costante in moto permanente, con la condizione al contorno le pendenze dei tratti a monte e a valle. Adesso bisogna definire nel software Hec-Ras questa condizione al contorno in cui va ad inserirsi l'informazione di portata. La seguente tabella fa in riassunto dei dati ottenuti:

Zona	P. Monte	P.Valle
Val Salice	0.0405	0.0257
Val San Martino	0.044	0.0346
Val Piana	0.0664	0.057

Fino questo punto l'unico che manca nel modello idraulico è ricostruire lo scenario di allegamento con la finalità di avere un valore di portata. Questo viene fatto coincidendo il livello d'acqua registrato, riferito all'evento successo nell'anno 2007, con il livello d'acqua ottenuto mediante la simulazione, procedendo in tale maniera che si inseriscono diverso valore di portate fino ad ottenere, indicativamente, quella più vicina alla ricostruzione dell'evento. In seguito, vengono riportati i valori di portata che raggiungono il livello d'acqua richiesto per ogni zona.

<i>Val salice</i>			
Corso	Livello Registrato	Portata	Livello Simulazione
Fiume	40cm	50m ³ /s	30-40cm
<i>Val San Martino</i>			
Corso	Livello Registrato	Portata	Livello Simulazione
Giuseppe Gabetti	40cm	50m ³ /s	30-40cm
<i>Val Piana</i>			
Corso	Livello Registrato	Portata	Livello Simulazione
Odoardo Tabacchi	40cm	30m ³ /s	40-50

Dalla tabella precedente, si può osservare che due delle zone raggiungono il livello registrato nell'evento del avendo un valore di portata di $50\text{m}^3/\text{s}$, tuttavia, la terza zona lo raggiunge con $30\text{m}^3/\text{s}$, ciò è dovuto alla lunghezza che hanno le sezioni, poiché Val salice e Val San Martino hanno sezione significativamente maggiore in estensione, e per conseguenza hanno bisogno di valori di portate più alte. Oltretutto, è di estrema importanza avere in conoscenza che questi dati di flusso sono generati dall'analisi degli eventi passati registrati sul giornale, al fine di ottenere un ordine di grandezza della quantità di acqua che passa attraverso la strada.

Una volta si ha la geometria della zona, le condizioni al contorno, come il coefficiente di scabrezza e le pendenze, e la portata da inserire, per ogni zona in studio, si può procedere a fare correre il software, avendo in considerazione, che il regime di flusso deve essere inserito come un misto fra subcritico e supercritico, poiché questi due si possono trovare dentro del modello idraulico. D'altra parte, si possono presentare alcuni errori sulla geometria, essendo questi i più comuni nell'interno della modellazione, comunque il software Hec Ras permette di correggergli nella de la finestra di Graphical Cross Section Editor che si trova nella parte di Geometria.

Allora, con la correzione degli errori il software sarà pronto per generare i risultati. Questi risultati si possono rappresentare in una tabella, dove si rapporta i valori de diversi valori idrici, assi come immagine della sezione e una mappatura. In seguito, si mostrano i risultati per la zona 1, Val Salice.

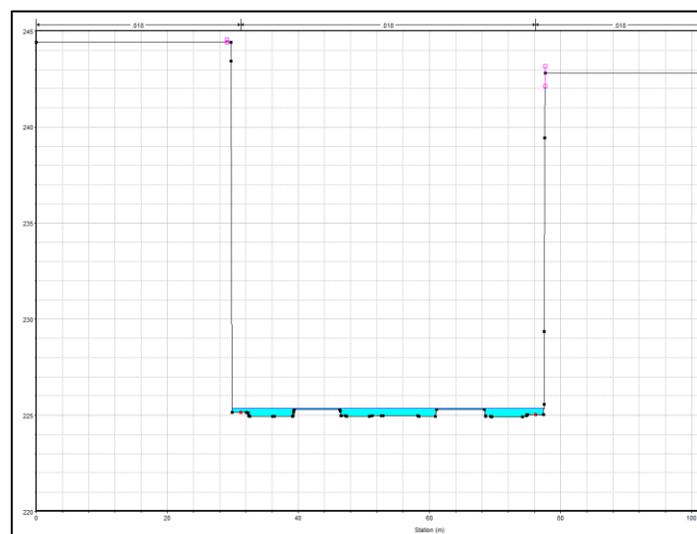


Figura 62 Sezione Tipo con acqua delle zone Val Salice, Val San Martino, Val Piana, rispettivamente

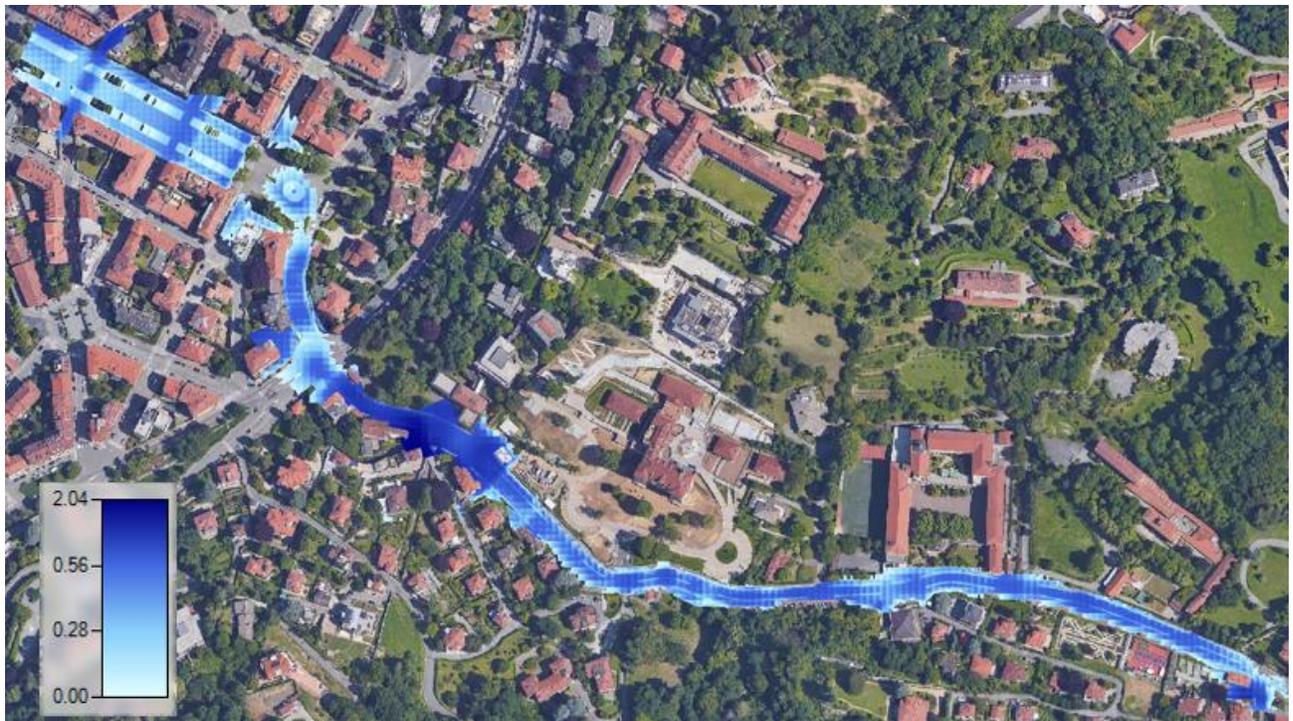


Figura 63 Mappatura di Altezza d'acqua Val Salice

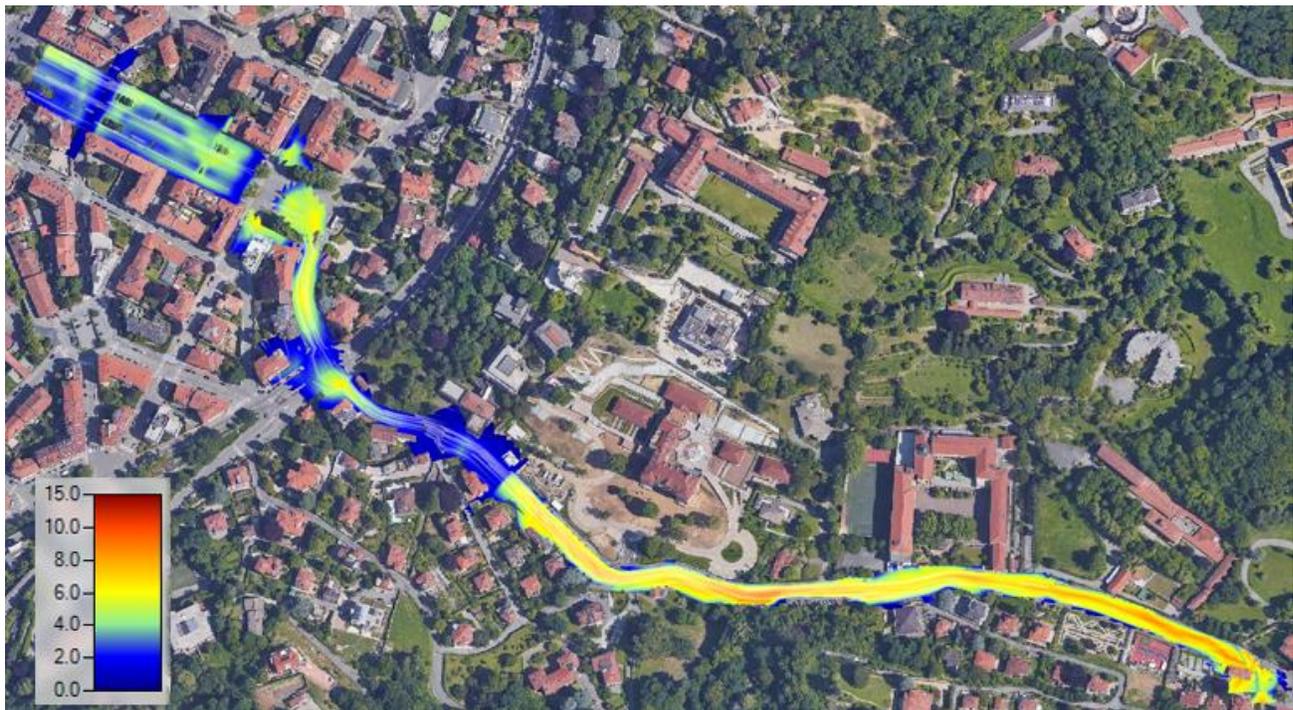


Figura 64 Mappatura di Velocità d'acqua Val Salice

Capitolo 5 Analisi e Conclusioni

1. Analisi Di modello idraulico

In molti casi è possibile quantificare gli scenari di pericolosità ad un costo del tutto confrontabile con quelli da allocare per la predisposizione di un piano di protezione civile. In ogni modo, con i risultati del modello idraulico se può avere i dati di velocità della corrente, il quale è fondamentale per valutare il rischio per le persone ed i veicoli. La vulnerabilità del veicolo si valuta in mediante equilibrio tra forza di trascinamento della corrente e peso relativo, essi dipendono fortemente dall'interazione dinamica. Per altra parte, la vulnerabilità del singolo cittadino, si valuta studiando la stabilità del corpo umano in una corrente di piena, la sua interazione idrodinamica e i principali elementi di sensitività. Allora, per avere un valore rappresentativo di questi voleri, si hanno la seguente equazione (Politecnico di Torino, 2020):

- ✓ $\frac{H_{crV}}{H_V} = -0.05 * Fr + 0.34$, dove H_V è altezza del veicolo, H_{crV} è l'altezza idrica limite, e Fr è il numero de Froude.
- ✓ $\frac{H_{crP}}{H_P} = \frac{0.29}{0.24+Fr}$, dove, H_P è altezza del cittadino, H_{crP} è l'altezza idrica limite, e Fr è il numero de Froude.

Nonostante, per potere generare una mappatura della pericolosità idraulica per i pedoni e veicoli parcheggiati, si deve avere in conto il seguente rapporto:

$$IV = H/H_{cr}(Fr)$$

Dove H è l'altezza effettiva idrica della corrente per il dato scenario alluvionale, H_{cr} è l'altezza idrica limite, di incipiente movimento, che dipende dal numero de Froude nello stesso scenario e dall'altezza effettiva del pedone o del veicolo. Questo valore di IV , essendo adimensionale, ha una classificazione con lo scopo de identificare lo stato di vulnerabilità della zona, i quali sono:

- ✓ $IV = 1$, la persona o il veicolo si trovano in equilibrio
- ✓ $IV < 0.5$, Bassa vulnerabilità
- ✓ $0.5 < IV < 1$, Vulnerabilità media
- ✓ $IV \geq 1$, Altamente vulnerabile rispetto alla corrente idrica.

Per calcolare il valore de IV in questo progetto prima si deve avere la mappa di velocita e di altezze, con la finalit  di ottenere il numero de Froude, comunque, il software Hec-Ras permette di calcolare questo valore per ogni sezione. Avendo il numero di Froude se prosegue al rapporto del valore di $\frac{H_{crP}}{H_P}$ oppure $\frac{H_{crV}}{H_V}$ con le equazioni menzionate sopra. Una volta si ha questo valore adimensionale si dovr  calcolare H_{cr} , altezza idrica limite, avendo in considerazione che H_P , e H_V , sono valori fissati di 1.70m. Alla fine il valore di IV se calcola con la divisione fra H , altezza effettiva idria della corrente, la quale   fornita dal software, e H_{cr} valore appena ottenuto. La seguente tabelle mostrano i risultati per la zona 1, Val Salice, gli altri risultati si mostrano in allegati.

River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
3975	50	7.21	7.78	19.2	3.32	0.4	0.174	1.7	0.296	1.352	0.081	1.700	0.138	2.888
3948	50	5.69	10.01	14.49	1.81	0.69	0.2495	1.7	0.424	1.627	0.141	1.700	0.240	2.869
3865.50*	50	7.35	6.93	18.52	3.8	0.37	0.15	1.7	0.255	1.451	0.072	1.700	0.122	3.032
3783	50	7.25	7.49	24.44	3.88	0.31	0.146	1.7	0.248	1.249	0.070	1.700	0.120	2.591
3767.50*	50	7.04	7.95	24.69	3.46	0.32	0.167	1.7	0.284	1.127	0.078	1.700	0.133	2.402
3752.00*	50	6.84	7.89	22.07	3.22	0.36	0.179	1.7	0.304	1.183	0.084	1.700	0.142	2.527
3736.50*	50	6.78	7.72	19.76	3.17	0.39	0.1815	1.7	0.309	1.264	0.085	1.700	0.145	2.698
3721	50	6.79	7.51	17.34	3.2	0.43	0.18	1.7	0.306	1.405	0.084	1.700	0.143	3.000
3704.80*	50	6.83	7.44	17.54	3.25	0.42	0.1775	1.7	0.302	1.392	0.083	1.700	0.141	2.973
3688.60*	50	6.87	7.36	16.8	3.28	0.44	0.176	1.7	0.299	1.471	0.082	1.700	0.140	3.142
3672.40*	50	6.93	7.3	16.82	3.32	0.43	0.174	1.7	0.296	1.454	0.081	1.700	0.138	3.105
3656.20*	50	6.98	7.24	17	3.37	0.43	0.1715	1.7	0.292	1.475	0.080	1.700	0.137	3.149
3640	50	7.05	7.16	15.4	3.24	0.47	0.178	1.7	0.303	1.553	0.083	1.700	0.142	3.318
3623.60*	50	7.11	7.11	15.36	3.28	0.46	0.176	1.7	0.299	1.537	0.082	1.700	0.140	3.284
3607.20*	50	7.15	7.1	15.75	3.3	0.45	0.175	1.7	0.298	1.513	0.082	1.700	0.139	3.231
3590.80*	50	7.23	7.1	15.17	3.26	0.47	0.177	1.7	0.301	1.562	0.083	1.700	0.141	3.337
3574.40*	50	7.35	7.07	15.91	3.39	0.44	0.1705	1.7	0.290	1.518	0.080	1.700	0.136	3.240
3558	50	7.38	6.94	16.01	3.55	0.43	0.1625	1.7	0.276	1.557	0.077	1.700	0.130	3.306
3543.33*	50	7.13	7.19	16.03	3.35	0.45	0.1725	1.7	0.293	1.535	0.081	1.700	0.137	3.277
3528.67*	50	6.94	7.41	16.05	3.2	0.46	0.18	1.7	0.306	1.503	0.084	1.700	0.143	3.210
3514.00*	50	6.79	7.56	15.97	3.1	0.47	0.185	1.7	0.315	1.494	0.087	1.700	0.148	3.184
3499.33*	50	6.67	7.7	15.98	3.02	0.48	0.189	1.7	0.321	1.494	0.089	1.700	0.151	3.174
3484.67*	50	6.58	7.81	16	2.95	0.49	0.1925	1.7	0.327	1.497	0.091	1.700	0.155	3.171
3470	50	6.5	7.91	16.02	2.9	0.49	0.195	1.7	0.332	1.478	0.092	1.700	0.157	3.121
3358	50	6.73	7.5	13.21	2.82	0.57	0.199	1.7	0.338	1.685	0.095	1.700	0.161	3.538

River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
3343.25*	50	6.82	7.61	14.41	2.94	0.53	0.193	1.7	0.328	1.615	0.091	1.700	0.155	3.419
3328.50*	50	6.79	7.83	17.22	3.03	0.45	0.1885	1.7	0.320	1.404	0.089	1.700	0.151	2.985
3313.75*	50	6.74	7.99	22.84	3.37	0.35	0.1715	1.7	0.292	1.200	0.080	1.700	0.137	2.563
3299	50	6.55	8	24.29	3.48	0.33	0.166	1.7	0.282	1.169	0.078	1.700	0.133	2.490
3285.50*	50	6.66	8.21	21.4	3.12	0.38	0.184	1.7	0.313	1.215	0.086	1.700	0.147	2.590
3272.00*	50	6.6	8.01	19.52	3.12	0.41	0.184	1.7	0.313	1.311	0.086	1.700	0.147	2.794
3258.50*	50	6.65	7.96	20.03	3.19	0.4	0.1805	1.7	0.307	1.304	0.085	1.700	0.144	2.783
3245	50	6.69	7.93	20.55	3.25	0.39	0.1775	1.7	0.302	1.292	0.083	1.700	0.141	2.761
3230.40*	50	6.21	8.2	15.75	2.74	0.52	0.203	1.7	0.345	1.507	0.097	1.700	0.165	3.143
3215.80*	50	6.19	8.24	15.49	2.7	0.53	0.205	1.7	0.349	1.521	0.099	1.700	0.168	3.161
3201.20*	50	6.17	8.27	15.22	2.66	0.54	0.207	1.7	0.352	1.535	0.100	1.700	0.170	3.176
3186.60*	50	6.17	8.29	14.89	2.63	0.56	0.2085	1.7	0.354	1.580	0.101	1.700	0.172	3.260
3172	50	6.19	8.29	14.26	2.57	0.58	0.2115	1.7	0.360	1.613	0.103	1.700	0.175	3.306
3158.80*	50	6.29	8.17	17.88	2.97	0.46	0.1915	1.7	0.326	1.413	0.090	1.700	0.154	2.995
3145.60*	50	6.39	8.07	17.83	3	0.45	0.19	1.7	0.323	1.393	0.090	1.700	0.152	2.957
3132.40*	50	6.48	7.95	17.81	3.04	0.45	0.188	1.7	0.320	1.408	0.088	1.700	0.150	2.994
3119.20*	50	6.56	7.84	17.81	3.07	0.44	0.1865	1.7	0.317	1.388	0.088	1.700	0.149	2.954
3106	50	6.69	7.81	20.15	3.16	0.39	0.182	1.7	0.309	1.261	0.085	1.700	0.145	2.690
3050	50	6.11	8.33	19.78	2.98	0.42	0.191	1.7	0.325	1.294	0.090	1.700	0.153	2.743
2996	50	5.74	9.12	28.06	3	0.32	0.19	1.7	0.323	0.991	0.090	1.700	0.152	2.103
2982.40*	50	5.72	9	25.06	2.91	0.36	0.1945	1.7	0.331	1.089	0.092	1.700	0.157	2.300
2968.80*	50	5.87	8.96	25.12	3.01	0.36	0.1895	1.7	0.322	1.117	0.089	1.700	0.152	2.373
2955.20*	50	5.87	8.87	25.1	3.06	0.35	0.187	1.7	0.318	1.101	0.088	1.700	0.149	2.343
2941.60*	50	5.83	8.81	25.36	3.1	0.35	0.185	1.7	0.315	1.113	0.087	1.700	0.148	2.371
2928	50	5.76	8.78	25.64	3.13	0.34	0.1835	1.7	0.312	1.090	0.086	1.700	0.146	2.324
2913.00*	50	5.99	8.78	25.53	3.13	0.34	0.1835	1.7	0.312	1.090	0.086	1.700	0.146	2.324
2898.00*	50	6.07	8.72	24.2	3.06	0.36	0.187	1.7	0.318	1.132	0.088	1.700	0.149	2.410
2883.00*	50	6.16	8.72	24.01	3.01	0.36	0.1895	1.7	0.322	1.117	0.089	1.700	0.152	2.373
2868.00*	50	6.2	8.68	24.83	3.01	0.35	0.1895	1.7	0.322	1.086	0.089	1.700	0.152	2.307
2853.00*	50	6.25	8.59	25.53	2.99	0.34	0.1905	1.7	0.324	1.050	0.090	1.700	0.153	2.228
2838	50	6.38	8.22	21.78	3.09	0.38	0.1855	1.7	0.315	1.205	0.087	1.700	0.148	2.567
2823.60*	50	6.37	8.19	19.38	3	0.42	0.19	1.7	0.323	1.300	0.090	1.700	0.152	2.760
2809.20*	50	6.37	8.08	19.27	3.09	0.42	0.1855	1.7	0.315	1.332	0.087	1.700	0.148	2.837
2794.80*	50	6.51	8.02	15.36	2.79	0.52	0.2005	1.7	0.341	1.526	0.096	1.700	0.163	3.196
2780.40*	50	6.67	7.81	15.02	2.87	0.52	0.1965	1.7	0.334	1.557	0.093	1.700	0.159	3.280
2766	50	6.82	7.63	14.68	2.95	0.52	0.1925	1.7	0.327	1.589	0.091	1.700	0.155	3.365
2752.40*	50	6.77	7.86	14.3	2.76	0.55	0.202	1.7	0.343	1.602	0.097	1.700	0.164	3.347
2738.80*	50	6.69	7.77	12.02	2.61	0.65	0.2095	1.7	0.356	1.825	0.102	1.700	0.173	3.758

River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
2725.20*	50	6.73	7.58	11.29	2.59	0.67	0.2105	1.7	0.358	1.872	0.102	1.700	0.174	3.846
2711.60*	50	6.83	7.47	11.1	2.63	0.67	0.2085	1.7	0.354	1.890	0.101	1.700	0.172	3.900
2698	50	6.92	7.37	10.94	2.67	0.67	0.2065	1.7	0.351	1.909	0.100	1.700	0.169	3.955
2684.75*	50	6.98	7.31	10.93	2.7	0.67	0.205	1.7	0.349	1.923	0.099	1.700	0.168	3.996
2671.50*	50	7.04	7.24	10.92	2.73	0.66	0.2035	1.7	0.346	1.908	0.098	1.700	0.166	3.976
2658.25*	50	7.15	7.14	9.67	2.59	0.74	0.2105	1.7	0.358	2.068	0.102	1.700	0.174	4.248
2645	50	7.33	7.02	10.15	2.71	0.69	0.2045	1.7	0.348	1.985	0.098	1.700	0.167	4.129
2629.75*	50	7.61	6.76	10.57	2.93	0.64	0.1935	1.7	0.329	1.946	0.091	1.700	0.156	4.115
2614.50*	50	7.85	6.56	11.27	3.17	0.58	0.1815	1.7	0.309	1.880	0.085	1.700	0.145	4.012
2599.25*	50	8.07	6.36	14.53	3.79	0.44	0.1505	1.7	0.256	1.720	0.072	1.700	0.122	3.597
2584	50	8.19	6.23	17.25	4.23	0.36	0.1285	1.7	0.218	1.648	0.065	1.700	0.110	3.264
2491	50	7.47	7	17.76	3.53	0.39	0.1635	1.7	0.278	1.403	0.077	1.700	0.131	2.982
2477.50*	50	7.28	7.35	22.38	3.38	0.33	0.171	1.7	0.291	1.135	0.080	1.700	0.136	2.423
2464.00*	50	7.3	7.48	22.55	3.49	0.33	0.1655	1.7	0.281	1.173	0.078	1.700	0.132	2.497
2450.50*	50	7.27	7.51	22.78	3.61	0.33	0.1595	1.7	0.271	1.217	0.075	1.700	0.128	2.577
2437	50	7.07	7.5	22.63	3.68	0.33	0.156	1.7	0.265	1.244	0.074	1.700	0.126	2.624
2422.80*	50	6.76	7.69	20.74	3.4	0.37	0.17	1.7	0.289	1.280	0.080	1.700	0.135	2.732
2408.60*	50	6.65	7.82	20.13	3.31	0.39	0.1745	1.7	0.297	1.315	0.082	1.700	0.139	2.808
2394.40*	50	6.58	7.91	20.1	3.25	0.39	0.1775	1.7	0.302	1.292	0.083	1.700	0.141	2.761
2380.20*	50	6.56	7.98	19.8	3.17	0.4	0.1815	1.7	0.309	1.296	0.085	1.700	0.145	2.767
2366	50	6.53	8.02	19.77	3.14	0.41	0.183	1.7	0.311	1.318	0.086	1.700	0.146	2.811
2260	50	6.11	8.8	20.48	2.78	0.43	0.201	1.7	0.342	1.258	0.096	1.700	0.163	2.634
2160	50	6.9	7.25	20.49	3.7	0.35	0.155	1.7	0.264	1.328	0.074	1.700	0.125	2.797
2143.60*	50	6.76	7.39	20.4	3.59	0.36	0.1605	1.7	0.273	1.319	0.076	1.700	0.129	2.797
2127.20*	50	6.69	7.48	20.06	3.5	0.37	0.165	1.7	0.281	1.319	0.078	1.700	0.132	2.807
2110.80*	50	6.65	7.51	19.71	3.44	0.38	0.168	1.7	0.286	1.331	0.079	1.700	0.134	2.837
2094.40*	50	6.65	7.52	19.31	3.4	0.39	0.17	1.7	0.289	1.349	0.080	1.700	0.135	2.880
2078	50	6.68	7.49	17.48	3.26	0.43	0.177	1.7	0.301	1.429	0.083	1.700	0.141	3.053
2006	50	6.63	7.67	17.44	3.16	0.44	0.182	1.7	0.309	1.422	0.085	1.700	0.145	3.034
1990.00*	50	6.56	7.76	17.58	3.13	0.44	0.1835	1.7	0.312	1.410	0.086	1.700	0.146	3.008
1974.00*	50	6.52	7.8	17.69	3.13	0.44	0.1835	1.7	0.312	1.410	0.086	1.700	0.146	3.008
1958.00*	50	6.49	7.81	17.79	3.13	0.44	0.1835	1.7	0.312	1.410	0.086	1.700	0.146	3.008
1942	50	6.96	7.67	27.43	3.94	0.28	0.143	1.7	0.243	1.152	0.069	1.700	0.118	2.374
1926.00*	50	6.31	8.21	24.31	3.38	0.34	0.171	1.7	0.291	1.170	0.080	1.700	0.136	2.497
1910.00*	50	6.12	8.67	23.63	3.06	0.37	0.187	1.7	0.318	1.164	0.088	1.700	0.149	2.477
1894.00*	50	5.87	8.89	20.27	2.7	0.44	0.205	1.7	0.349	1.263	0.099	1.700	0.168	2.624
1878	50	5.79	8.7	17.25	2.55	0.5	0.2125	1.7	0.361	1.384	0.104	1.700	0.177	2.830
1864.20*	50	5.46	9.49	21.19	2.44	0.45	0.218	1.7	0.371	1.214	0.108	1.700	0.184	2.446

River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
1850.40*	50	5.19	10.21	23.7	2.33	0.43	0.2235	1.7	0.380	1.132	0.113	1.700	0.192	2.242
1836.60*	50	4.86	11.15	26.22	2.15	0.43	0.2325	1.7	0.395	1.088	0.121	1.700	0.206	2.085
1822.80*	50	4.52	12.4	30.52	1.95	0.41	0.2425	1.7	0.412	0.995	0.132	1.700	0.225	1.821
1809	50	1.43	42.89	49.06	0.43	0.87	0.3185	1.7	0.541	1.607	0.433	1.700	0.736	1.182
1794.20*	50	1.65	33.77	35.43	0.5	0.95	0.315	1.7	0.536	1.774	0.392	1.700	0.666	1.426
1779.40*	50	1.54	35.91	35.28	0.46	1.02	0.317	1.7	0.539	1.893	0.414	1.700	0.704	1.448
1764.60*	50	1.47	38.08	37.05	0.43	1.03	0.3185	1.7	0.541	1.902	0.433	1.700	0.736	1.400
1749.80*	50	1.38	40.32	36.96	0.4	1.09	0.32	1.7	0.544	2.004	0.453	1.700	0.770	1.415
1735	50	1.33	42.77	40.97	0.39	1.04	0.3205	1.7	0.545	1.909	0.460	1.700	0.783	1.329
1672	50	3.01	17.61	20.77	1.04	0.85	0.288	1.7	0.490	1.736	0.227	1.700	0.385	2.207
1613	50	0.75	66	48.34	0.21	1.37	0.3295	1.7	0.560	2.446	0.644	1.700	1.096	1.251
1555	50	0.79	59.02	32.88	0.2	1.8	0.33	1.7	0.561	3.209	0.659	1.700	1.120	1.606
1497	50	2.48	21.23	16.62	0.71	1.28	0.3045	1.7	0.518	2.473	0.305	1.700	0.519	2.467
1405	50	3.52	15.05	12.84	1.03	1.17	0.2885	1.7	0.490	2.386	0.228	1.700	0.388	3.014
1317	50	5.59	9.89	34.17	2.95	0.29	0.1925	1.7	0.327	0.886	0.091	1.700	0.155	1.876
1268	50	3.35	15.85	43.02	1.63	0.37	0.2585	1.7	0.439	0.842	0.155	1.700	0.264	1.403
1216	50	1.72	19.17	60.62	1.29	0.32	0.2755	1.7	0.468	0.683	0.190	1.700	0.322	0.993
1141	50	4.4	12.04	20.04	1.8	0.6	0.25	1.7	0.425	1.412	0.142	1.700	0.242	2.483
1068	50	5.73	9.13	18.55	2.53	0.49	0.2135	1.7	0.363	1.350	0.105	1.700	0.178	2.753
1031	50	5.2	10.05	19.64	2.28	0.51	0.226	1.7	0.384	1.327	0.115	1.700	0.196	2.607
890	50	5.67	8.82	30.4	3.36	0.29	0.172	1.7	0.292	0.992	0.081	1.700	0.137	2.118
854	50	4.73	10.61	38.86	2.9	0.27	0.195	1.7	0.332	0.814	0.092	1.700	0.157	1.720
820	50	4.77	10.54	42.79	3.05	0.25	0.1875	1.7	0.319	0.784	0.088	1.700	0.150	1.668
758	50	5.99	10.53	50.98	3.41	0.21	0.1695	1.7	0.288	0.729	0.079	1.700	0.135	1.555
744.00*	50	4.63	12.85	53.31	2.53	0.24	0.2135	1.7	0.363	0.661	0.105	1.700	0.178	1.348
730.00*	50	4.51	13.05	62.12	2.74	0.21	0.203	1.7	0.345	0.609	0.097	1.700	0.165	1.269
716.00*	50	4.27	12.73	55.37	2.86	0.23	0.197	1.7	0.335	0.687	0.094	1.700	0.159	1.446
702.00*	50	3.56	13.41	59.84	2.77	0.22	0.2015	1.7	0.343	0.642	0.096	1.700	0.164	1.343
688.00*	50	1.05	54.72	86.06	0.41	0.64	0.3195	1.7	0.543	1.178	0.446	1.700	0.758	0.844
674	50	2.2	22.99	47.43	1	0.48	0.29	1.7	0.493	0.974	0.234	1.700	0.398	1.207
657.67*	50	3.4	14.77	47.34	1.93	0.31	0.2435	1.7	0.414	0.749	0.134	1.700	0.227	1.365
641.33*	50	3.82	13.14	46.4	2.29	0.28	0.2255	1.7	0.383	0.730	0.115	1.700	0.195	1.437
625.00*	50	4.07	12.34	46.36	2.51	0.27	0.2145	1.7	0.365	0.740	0.105	1.700	0.179	1.506
608.67*	50	4.24	11.87	46.4	2.66	0.26	0.207	1.7	0.352	0.739	0.100	1.700	0.170	1.529
592.33*	50	4.35	11.58	46.51	2.76	0.25	0.202	1.7	0.343	0.728	0.097	1.700	0.164	1.521
576	50	4.51	10.92	46.89	3.01	0.23	0.1895	1.7	0.322	0.714	0.089	1.700	0.152	1.516
560.86*	50	3.96	12.76	47.4	2.4	0.27	0.22	1.7	0.374	0.722	0.110	1.700	0.187	1.446
545.71*	50	3.86	13.09	47.4	2.31	0.28	0.2245	1.7	0.382	0.734	0.114	1.700	0.193	1.448

River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
530.57*	50	3.79	13.34	47.39	2.25	0.28	0.2275	1.7	0.387	0.724	0.116	1.700	0.198	1.414
515.43*	50	3.74	13.51	47.4	2.21	0.29	0.2295	1.7	0.390	0.743	0.118	1.700	0.201	1.441
500.29*	50	3.7	13.65	47.42	2.18	0.29	0.231	1.7	0.393	0.738	0.120	1.700	0.204	1.424
485.14*	50	3.67	13.76	47.53	2.16	0.29	0.232	1.7	0.394	0.735	0.121	1.700	0.205	1.412
470	50	3.64	13.85	47.56	2.14	0.29	0.233	1.7	0.396	0.732	0.122	1.700	0.207	1.400
455.71*	50	3.53	14.24	47.44	2.05	0.3	0.2375	1.7	0.404	0.743	0.127	1.700	0.215	1.394
441.43*	50	3.47	14.48	47.43	2	0.31	0.24	1.7	0.408	0.760	0.129	1.700	0.220	1.409
427.14*	50	3.44	14.57	47.41	1.98	0.31	0.241	1.7	0.410	0.757	0.131	1.700	0.222	1.396
412.86*	50	3.41	14.67	47.41	1.96	0.31	0.242	1.7	0.411	0.754	0.132	1.700	0.224	1.383
398.57*	50	3.38	14.77	47.43	1.94	0.31	0.243	1.7	0.413	0.750	0.133	1.700	0.226	1.371
384.29*	50	3.35	14.86	47.45	1.92	0.31	0.244	1.7	0.415	0.747	0.134	1.700	0.228	1.358
370	50	3.33	14.9	47.47	1.91	0.31	0.2445	1.7	0.416	0.746	0.135	1.700	0.229	1.352
354.57*	50	3.62	13.73	47.47	2.16	0.29	0.232	1.7	0.394	0.735	0.121	1.700	0.205	1.412
339.14*	50	3.76	13.25	47.48	2.28	0.28	0.226	1.7	0.384	0.729	0.115	1.700	0.196	1.431
323.71*	50	3.82	13.09	47.4	2.33	0.28	0.2235	1.7	0.380	0.737	0.113	1.700	0.192	1.460
308.29*	50	3.81	13.19	47.27	2.31	0.28	0.2245	1.7	0.382	0.734	0.114	1.700	0.193	1.448
292.86*	50	3.7	13.58	47.06	2.21	0.29	0.2295	1.7	0.390	0.743	0.118	1.700	0.201	1.441
277.43*	50	0.75	48.89	70.3	0.35	0.7	0.3225	1.7	0.548	1.277	0.492	1.700	0.836	0.838
262	50	0.53	73.92	96.35	0.23	0.77	0.3285	1.7	0.558	1.379	0.617	1.700	1.049	0.734
247.67*	50	2.21	22.82	47.03	1.02	0.49	0.289	1.7	0.491	0.997	0.230	1.700	0.391	1.252
233.33*	50	3.08	16.31	47.31	1.69	0.34	0.2555	1.7	0.434	0.783	0.150	1.700	0.255	1.331
219.00*	50	3.3	15.19	47.51	1.88	0.32	0.246	1.7	0.418	0.765	0.137	1.700	0.233	1.376
204.67*	50	3.36	14.93	47.5	1.92	0.31	0.244	1.7	0.415	0.747	0.134	1.700	0.228	1.358
190.33*	50	3.29	15.19	47.51	1.87	0.32	0.2465	1.7	0.419	0.764	0.137	1.700	0.234	1.370
176	50	3.08	16.22	47.54	1.7	0.34	0.255	1.7	0.434	0.784	0.149	1.700	0.254	1.338
160.50*	50	3.35	14.93	43.82	1.84	0.34	0.248	1.7	0.422	0.806	0.139	1.700	0.237	1.434
145.00*	50	3.56	13.99	43.66	2.02	0.32	0.239	1.7	0.406	0.788	0.128	1.700	0.218	1.467
129.50*	50	3.74	13.32	40.72	2.1	0.33	0.235	1.7	0.400	0.826	0.124	1.700	0.211	1.566
114.00*	50	3.88	12.8	38.54	2.18	0.33	0.231	1.7	0.393	0.840	0.120	1.700	0.204	1.620
98.50*	50	4	12.41	38.19	2.27	0.32	0.2265	1.7	0.385	0.831	0.116	1.700	0.196	1.629
83	50	4.08	12.14	37.87	2.35	0.32	0.2225	1.7	0.378	0.846	0.112	1.700	0.190	1.681

Per potere visualizzare meglio l'informazione della tabella, oppure le aree con maggiore vulnerabilità sia per i veicoli o per i pedoni, si presentano le seguenti mappe.



Figura 65 Mappa di Vulnerabilità dei veicoli parcheggiati



Figura 66 Vulnerabilità di pedoni su strada

Dalla informazione presentata con anteriorità si può vedere che avendo una portata di 50 m³/s, nella zona 1: Val Salice si produce un alto livello di vulnerabilità con almeno un 65% d'area dove i veicoli parcheggiati possono essere trasportati dalle alluvioni, e un 90% d'area dove gli abitanti che vivono vicino a strade possono essere trascinati dalla corrente. Questo è dovuto al fatto di avere un flusso d'acqua con alta velocità e con altezza sufficiente per destabilizzare l'equilibrio tra forza di trascinamento della corrente e peso relativo dell'oggetto in studio.

Per quanto riguarda le altre zone, i risultati presentano che la vulnerabilità per i veicoli a 'interno della strada è bassa, lo quale indica che altezza d'acqua e la velocità raggiunta per il flusso non è sufficiente per generare rischio per le macchine, poiché i valori ottenuti di IV sempre sono minori da 0.5 (Tabelle mostrati negli allegati). Nonostante, questo valore di IV, per le due zone, è lo sufficientemente elevato per generare un'alta vulnerabilità per le persone. La mappatura della pericolosità idraulica per veicoli e pedoni zona 2: San Martino, e zona 3: Val Piana, rispettivamente, si presentano in seguito.



Figura 67 Mappatura di vulnerabilità a) veicoli b) pedoni per Zona 2: San Martino

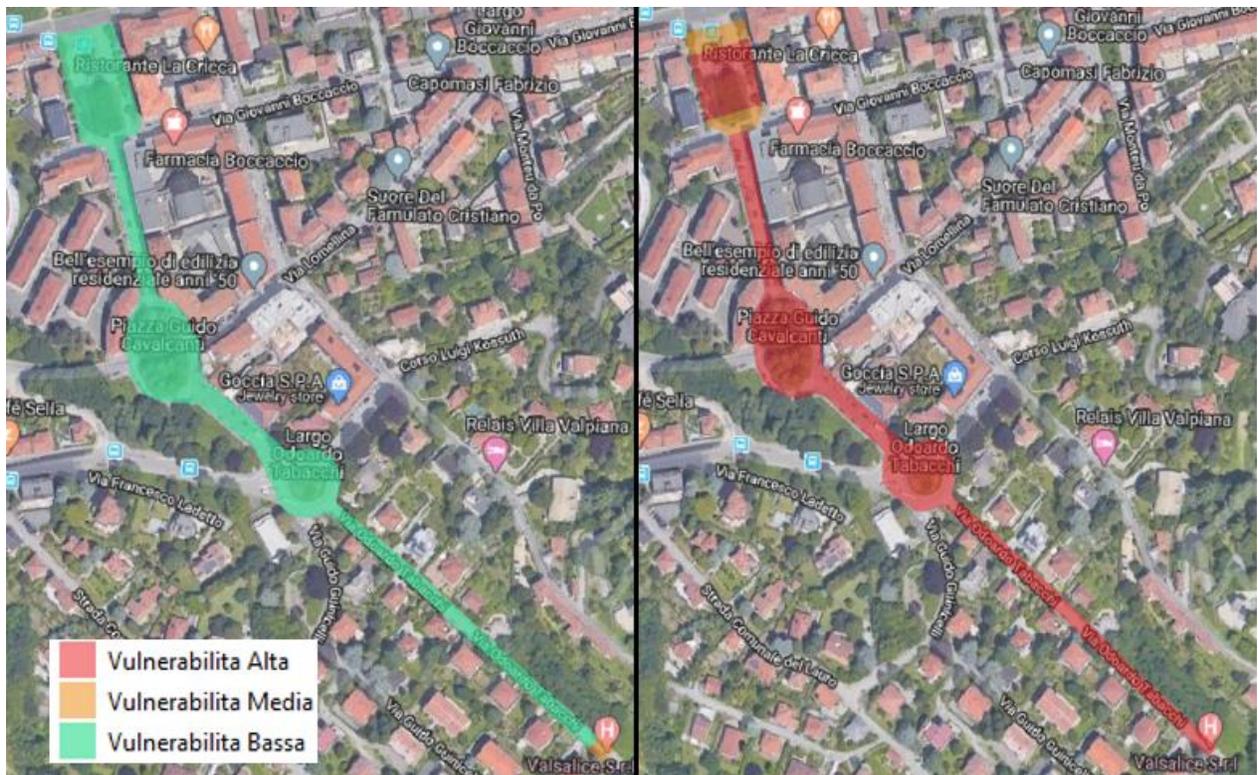


Figura 68 Mappatura di vulnerabilità di a) veicoli, b) pedoni per Zona 3: Val Piana

2. Analisi di sezione tombata

Le sezioni tombate sono importanti da analizzare dovuto al fatto che si tratta del punto in cui il flusso è diviso in due, uno che va sottoterra, e l'altro superficiale, caratterizzato dall'uso della strada come canale principale, essendo questo un pericolo per tutti gli abitanti all'interno dell'area.

Lo studio di questa sezione comincia con la estrazione della geometria, la quale viene spiegata nel Capitolo 3- Tecniche di rilievo in campo e analisi dei dati, questa viene presentata nella seguente immagine.

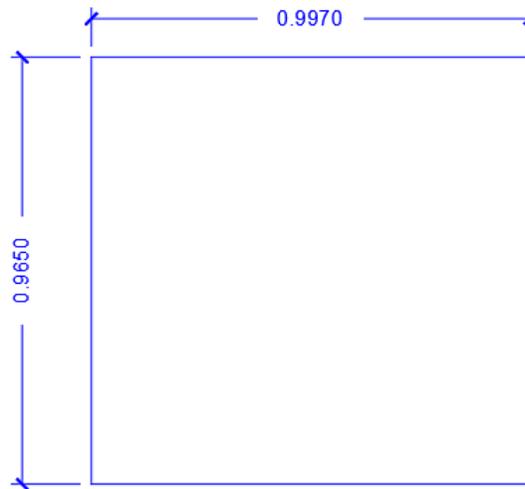


Figura 69 Dimensione di sezione tombata dopo raddrizzamento

Adesso con la formula di Chezy si possono determinare la scala di velocità $V(h)$ e la scala di portata $Q(h)$ rispettivamente con: (Paoletti, 2020)

$$V(h) = C(h) \sqrt{R(h)i} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$Q(h) = A(h) * V(h) \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Dove:

- *Radio idraulico* $(R(h)) = \frac{Ah}{Pb} = \frac{b \cdot h}{(b + 2 \cdot h)} \text{ (m)}$
- *Area Bagnata* $(A(h)) = b * h \text{ (m}^2\text{)}$
- *Perimetro Bagnato* $(P(h)) = b + 2h \text{ (m)}$
- *Pendenza del canale* (i)

- Altezza d'acqua(h)
- Coefficiente C , formula di Manning

$$C = (1/n)R(h)^{1/6}$$

- Coefficiente C, Formula Strickler

$$C = KR(h)^{1/6}$$

In seguito, si presentano i valori usati.

Manning	0.013
Pendenza	0.068
Base (m)	0.997

Avendo tutti dati necessari, si prosegue con il calcolo de la portata, ma l'altezza d'acqua (h) non sarà quella nuota nella geometria, se no 1mm meno, perché in è questo momento dove si vuole sapere cosa avviene con la velocita e la portata.

y(m)	Ah (m2)	Pm (m)	Radio H. (m)	V (m/s)	Q (m3/s)
0.1	0.100	1.197	0.083	3.826	0.381
0.2	0.199	1.397	0.143	5.479	1.092
0.3	0.299	1.597	0.187	6.566	1.964
0.4	0.399	1.797	0.222	7.353	2.932
0.5	0.499	1.997	0.250	7.952	3.964
0.6	0.598	2.197	0.272	8.427	5.041
0.7	0.698	2.397	0.291	8.812	6.150
0.8	0.798	2.597	0.307	9.131	7.283
0.9	0.897	2.797	0.321	9.400	8.435
0.96	0.957	2.917	0.328	9.543	9.133

Quando latezza d'acqua raggiunge il lato superiore della sezione, questa entra in pressione, dove la formula di Chezy è ancora valida, ma viene adottata esprimendo il coefficiente C con le espressioni di Manning o di Strickler (Paoletti, 2020). Dallo stesso modo il calore del perimetro cambia, essendo:

$$Pm = 2b + 2y = 2 * 0.965 + 2 * 0.997 = 3.924$$

Come si vede, il perimetro bagnato aumenta, e di conseguenza il radio idraulico e la velocita diminuiscono, facendo che la portata sia minore per le due formule,

$$Rh = \frac{0.962}{3.924} = 0.245 \text{ m}$$

✓ *Formula Maning*

$$V(h) = C(h)\sqrt{R(h)i} \left(\frac{m}{s}\right)$$

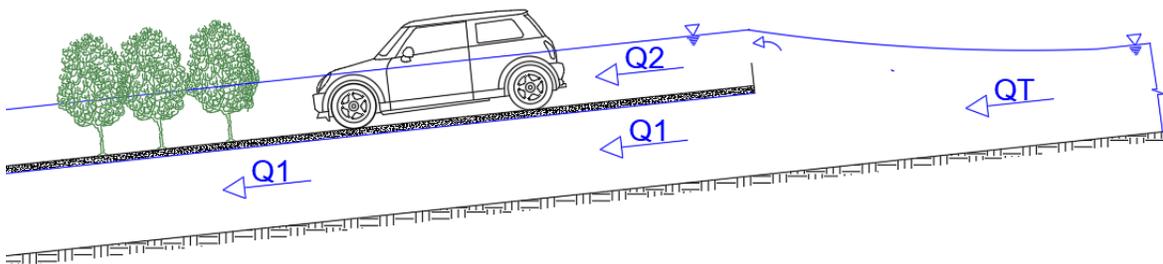
$$C(h) = (1/n^*)R(h)^{1/6} = (1/0.013) * 0.245^{1/6} = 60.85$$

$$V(h) = 60.85 * \sqrt{0.245 * 0.068} = 7.85 \frac{m}{s}$$

$$Q = 7.85 * 0.962 = 7.55 \frac{m^3}{s}$$

In definitiva si ottiene che la portata della sezione in pressione è di $7.55 \frac{m^3}{s}$, dunque la portata totale, che genera un riempimento nella sezione tombata, è la somma fra questa (Q1), il valore di portata messa nel modello idraulico (Q2) essendo:

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$



$$Q_t = 30 \frac{m^3}{s} + 7.550 \frac{m^3}{s} = 37.550 \frac{m^3}{s}$$

Con lo quale si evidenzia che si deve produrre una portata di almeno $37.560 \frac{m^3}{s}$ nella sezione tombata della zona 3: Val Piana, per generare un flusso su addizionale sulla strada.

3. Conclusioni

Uno degli obiettivi di questa tesi è stato quello di presentare una metodologia che permettesse di ricostruire scenari di allagamento in zone abitate dove sono evidenziate fenomeni di inondazione urbane, a partire da dati forniti gratuitamente da enti pubblici ed attraverso di software open source. L'area di interesse è stata quella della collina di Torino, ma questa procedura si intende di essere replicabile in zone con caratteristiche geo-morfologiche, o climatiche similare, e che sono soggetti ad allagamenti di strade, aree private e pubbliche, come è successo nella collina di Torino evidenziato negli articoli giornali dal 1959, dove si raccontano eventi meteorologici che hanno causato danni alla viabilità e alle abitazioni dei cittadini.

Ulteriormente, considerando le elevate pendenze e le piccole dimensione dei bacini, risulta indispensabile l'utilizzo di un DTM ad alta risoluzione, nonostante nel caso in esame, è stato usato uno file raster scaricato dal Geoportale Piemonte, con un passo di cinque metri, e con una precisione di quota altimetrica di +/- 0.30 metri, il quale evidenzia una scarsa informazione sul territorio urbano. In qualunque modo, è stato poi possibile aggiornare il DTM base, usando altra informazione relativa agli elementi antropici presenti sul territorio, con la finalità di costruire un nuovo modello digitale del terreno, DSM, che, oltre a rappresentare le variazioni altimetriche del suolo, riporta informazioni su tutti quegli elementi antropici come sono gli edifici, i marcia piedi, e le infrastrutture di trasporto, compresi nelle diverse zone di interesse. Tutta la modellazione del territorio è stata fatta nel software Qgis, che pur essendo gratuito, consente di lavorare di maniera comoda e dettagliata su tutti questi file topografici. Nel progetto si è ottenuto un DSM con risoluzione sufficiente per raggiungere il dettaglio desiderato, comunque, questo può essere migliorato, dal punto di visto altimetrico, se si ha a disposizione dati più dettagliati.

Allo stesso modo, in questo progetto si è presentato tecniche di rilievi con campo i quelli permettono di generare la geometria delle sezioni tombate mediante lo scatto di foto. Si è evidenziato che queste tecniche devono avere in conto l'ubicazione e la condizione al contorno che presenta questo punto, poiché da tale dipenderà il metodo, e lo strumento da utilizzare. Pali di estensione, gru, e droni son gli istrumenti presentate come opzione per ottenere le foto, informazione necessaria, per valutare la geometria della sezione tombata. Insomma, se può dire che la scelta dello strumento da utilizzare dipenderà dal tipo di accesso, la disponibilità economica

del usurio, così come il livello di dettaglio al quale si vuole arrivare. Allo stesso modo, si dimostra che questa informazione le foto, hanno bisogno di essere rifiniti mediante il software RDF, che consente il raddrizzamento delle foto di forma geometrica o analitica, con la finalità di ottenere il modello della sezione per poi analizzare la portata che passa attraverso de si stessa.

Per studiare il percorso del flusso si è utilizzato il software Hec-Ras, e il suo nuovo strumento chiamato Ras Mapper, che risulta molto utile per fare un modello 1D del percorso idrico, anche come un approccio all'identificazione del rischio alluvionale in ambiente urbano. All'interno di questa modellazione si sono dovute usare alcune semplificazioni concettuali e geometriche, tali come la scelta di non considerare l'acqua che può arrivare nei cortili, limitandolo con i bank station. In ogni modo, i risultati che si sono ottenuti rispecchiano gli scenari che si volevano ottenere, essendo questi quelli presentati nell'analisi giornali. Nel caso specifico riguardo alle 3 zone analizzate, Zona 1: Val Salice, Zona 2: San Martino, Zona 3: Val Piana, si è potuto ottenere informazione d'altezze, e velocità d'acqua che presentano i flussi generati per fenomeni di allagamento, così come un'analisi della vulnerabilità che presentano i veicoli e i pedoni in queste zone.

Un altro aspetto importante da concludere è che il Ras Mapper è molto pratico e più veloce per generare tutto il modello idraulico della zona, sia 1D e 2D, così come per visualizzare meglio i risultati del modello, poiché si può generare una mappatura dei risultati come sono l'altezza d'acqua e la velocità, di tutta zona del dominio idraulico.

Le inondazioni urbane sono un fenomeno frequente, come si ha evidenziato nella collina di Torino. Quasi ogni città è vulnerabile alle inondazioni urbane in un modo o nell'altro, ma la mancanza di dati, o di informazione su questi eventi non deve essere ragione per passarlo in secondo piano, perché come si ha visto nel corso di questo progetto, si possono generare modelli di allagamento con dati gratuiti, e con software open source, con un alto livello di dettaglio con lo scopo di capire il comportamento del flusso dentro della zona urbana, e così pianificare meglio e migliorare i meccanismi di prevenzione delle inondazioni. In definitiva si può dire che la procedura eseguita in questo progetto può essere replicabile in qualunque zona, dove ce accessibilità ai dati topografici.

Bibliografia

- Anna, W. (2019, Gennaio 15). *NRDC*. Tratto da NRDC, Expert Blog: <https://www.nrdc.org/experts/anna-weber/what-urban-flooding>
- Chow, V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw Hill Book Company.
- Comune di Torino. (2004). *Regolamento Edilizio*. Torino: Comune Di Torino.
- ENAC. (2019). *Regolamento, Mezzi aeri a pilotaggio remoto*. ENAC.
- La Stampa. (s.d.). *Archivio La Stampa*. Tratto da La Stampa, Archivio Storico Dal 1867: <http://www.archiviolaStampa.it/>
- Lingua , A., & Albery, E. (s.d.). *Sistemi di riferimento piani e trasformazioni*. Torino: Politecnico di Torino, Dipartimento di Georisorse e Territorio.
- Luciano, M. (2014). *Geologia dell'Ambiente*. Torino: ProGeo.
- Mercalli, L., Napoli, G., & Grinza, L. (1999, 9 12). *Nimbus*. Tratto da Nimbus, Societa Meteorologica Subalpina: <http://www.nimbus.it/nimbusonline/tresecoliclimatorino.htm>
- Paoletti, A. (2020). *Manuale Ingenere, Idraulica*.
- Politecnico di Torino. (2020). *Elementi Chiave dei Piani di Protezione Civile*. (p. 36). Torino: Politenico Di Torino.
- Provincia Di Torino. (2011). *I Rischi naturali sul territorio Provinciale*. Torino.
- Qgis. (2019). *Qgis User Guide*.
- Qgis. (s.d.). *QGis Documentation*. Tratto da QGis Documentation: https://docs.qgis.org/2.8/it/docs/gentle_gis_introduction/index.html
- Regione Piemonte. (2019). *Guida all'uso dei dati vettoriali di BDTRE- Regione Piemonte*. Torino: GEO Piemonte.
- Regione Piemonte. (s.d.). *Geoportale*. Tratto da Regione Piemonte, Geoportale: <https://www.geoportale.piemonte.it/cms/bdtre/bdtre-2>
- Repubblica, L. (2011, Novembre 7). *La Repubblica*. Tratto da RepTv: <https://video.repubblica.it/dossier/genova-alluvione-4novembre/ecco-cosa-e-successo-in-via-feregiano-la-videoricostruzione/80143/78533>
- Societa Meteorologica Subalpina. (2008). *Cambiamenti Climaitici e Governo del Teritorio in Provincia di Torino*. Torino: Provincia di Torino.
- Team, G. D. (2019, Giugno 2). *Grass Gis*. Tratto da Grass Gis: <https://grass.osgeo.org/documentation/general-overview/>
- Us Army Corps Of Engineers. (2016). *HEC-RAS River Analysis System, User Manual*.

Wavin. (2016, Novembre 13). *Wavin*. Tratto da Wavin: <https://www.wavin.com/it-it/news/news/10-regole-per-prevenire-le-inondazioni-urbane>

Allegati

1. Guida dati vettoriali di BDTRE

Questa tabella presenta in forma sintetica il principale livelli disponibile nei file in scarico con relativa descrizione, tipologia di geometria ed evidenziazione degli attributi specifici maggiore significativi. (Regione Piemonte, 2019)

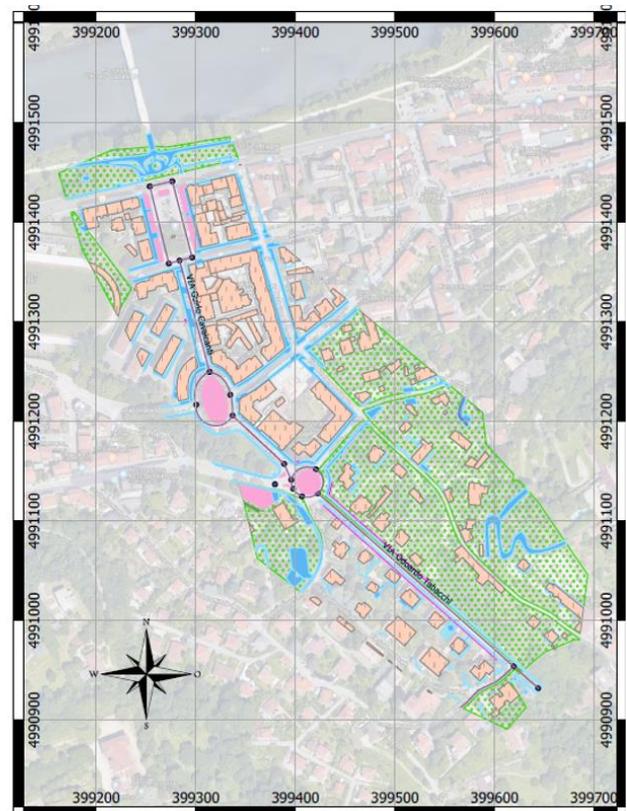
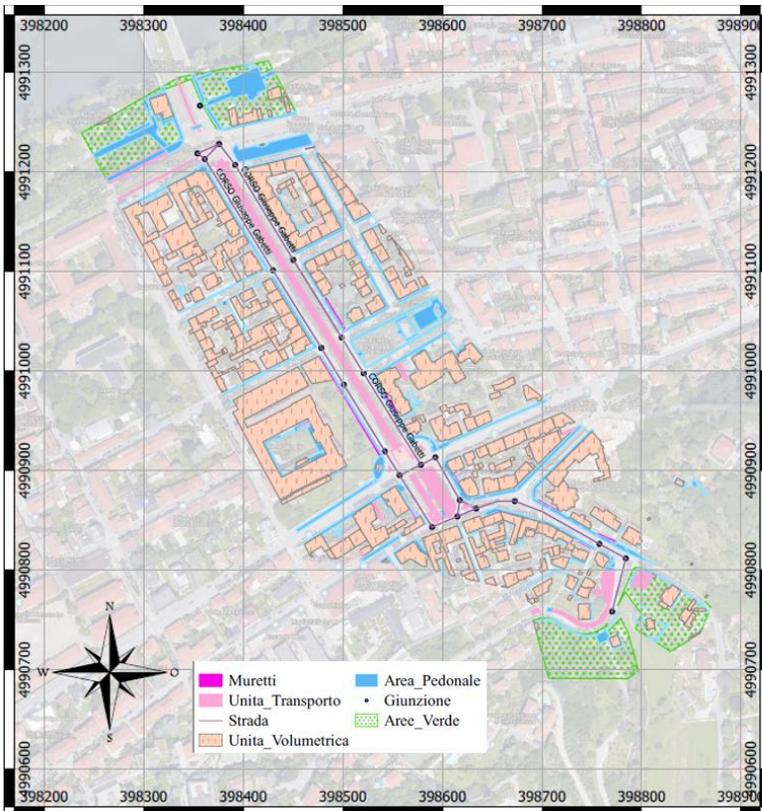
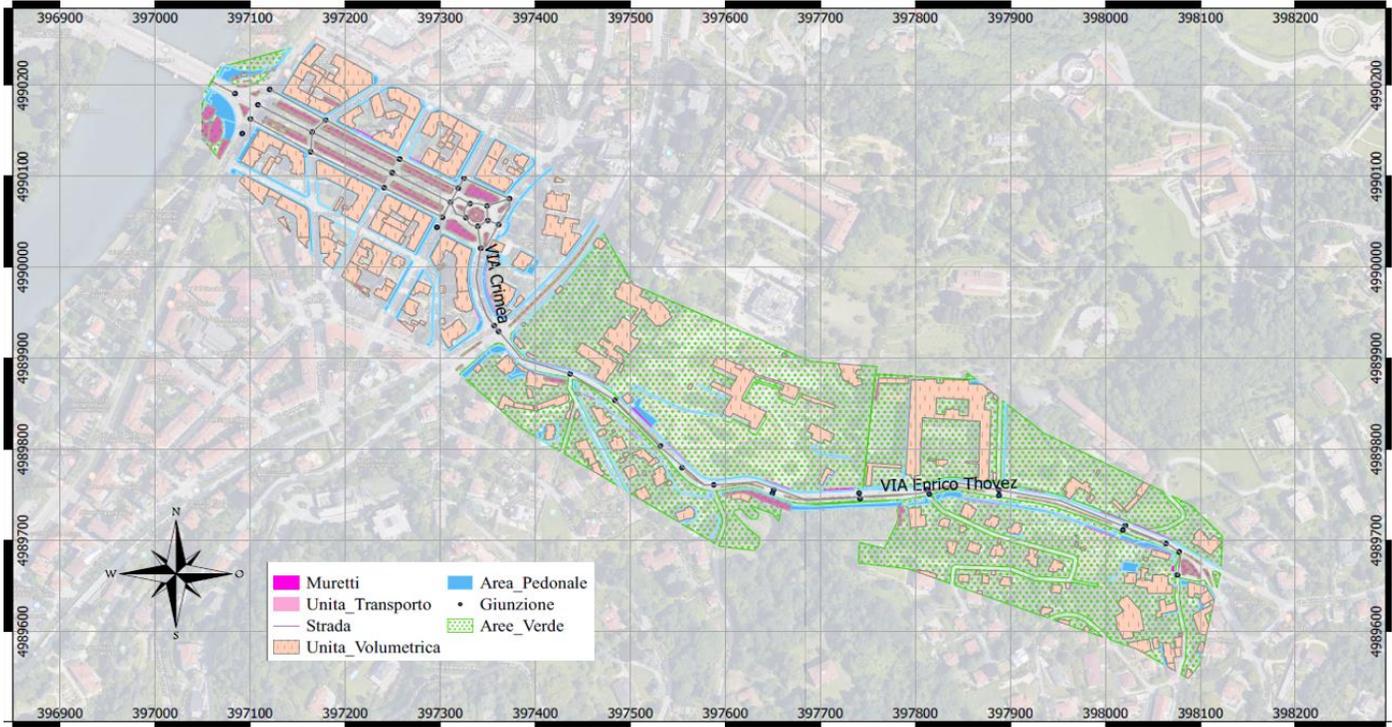
Nome classe	Descrizione	Tipo	Attributi specifici principali
AB_CDA	Area bagnata di corso d'acqua	Poligono	AB_CDA_SED: Sede (pensile o sotterranea) AB_CDA_LIV: Livello (in sottopasso, non in sottopasso)
AC_CIC	Area di circolazione ciclabile	Poligono	AC_CIC_POS: identifica se l'area di pista ciclabile si trova all'interno della piattaforma stradale o se è in sede isolata e specifica AC_CIC_FON: Tipo di pavimentazione dell'area di circolazione ciclabile AC_CIC_SED: definisce in quale rapporto l'area di circolazione si trova rispetto al terreno circostante (ponte, viadotto,..) AC_CIC_LIV: Livello (in sottopasso, non in sottopasso) AC_CIC_TY: tipo pista (ciclabile, ciclopedonale)
AC_PED	Area di circolazione pedonale	Poligono	AC_PED_POS: identifica se l'area di pista pedonale si trova all'interno della piattaforma stradale o se è in sede isolata e specifica AC_PED_ZON: zona (qualifica la transitabilità dei pedoni in funzione delle caratteristiche strutturali della sede del flusso pedonale) AC_PED_FON: Fondo (tipo di pavimentazione) AC_PED_SED: Sede (ponte, galleria,..) AC_PED_LIV: Livello (in sottopasso, non in sottopasso)
AC_VEI	Area di circolazione veicolare	Poligono	AC_VEI_ZON: Zona (qualifica le differenti zone di transitabilità dei veicoli in funzione delle caratteristiche della corrente veicolare) AC_VEI_FON: Fondo (tipo di pavimentazione) AC_VEI_SED: Sede (ponte, viadotto,..) AC_VEI_LIV: Livello (in sottopasso, non in sottopasso)
ACC_INT	Accesso interno	Punto	ACC_INT_NR: numero interno
ACC_PC_CIVICO_TP_STR	Lo shape deriva dall'unione (join) delle classi CIVICO , ACC_PC (geometria puntuale) e TP_STR (Nome della strada, località) e fornisce le informazioni relative	Punto	CIVICO_NUM: numero CIVICO_SUB: subalterno ACC_PC_TY: tipo (specifica se si tratta di un accesso diretto o indiretto, e se corrisponde o meno ad un passo carrabile) ACC_PC_GEO: tipo georeferenziazione (interpolato o puntuale) TP_STR_NOM: Nome della strada, via o piazza o largo, etc., comprensivo di apposizione TP_STR_LOC: nome di Località o Frazione

AR_VRD	Area Verde	Poligono	AR_VRD_TY: tipo di entità che caratterizza la disposizione a verde della zona AR_VRD_PA: patrimonialità (pubblico o privato)
ARGINE	Entità che costituiscono forme di ritenuta e raccolta delle acque	Poligono	ARGN_TY: tipologia dell'argine (argine,arginello, in froldo,...) ARGN_MAT: materiale (materiali sciolti, muratura, terra rinforzata) ARGN_CLASS: classificazione ufficiale (prima, seconda,...)
ATTR_SP	Attrezzatura sportiva	Poligono	ATTR_SP_TY: tipo
BOSCO	Bosco	Poligono	BOSCO_TY: Tipo di bosco BOSCO_ESSZ: Tipo di essenza BOSCO_GOV: forma di governo
CL_AGR	Coltura agricola	Poligono	CL_AGR_TY: tipo di area agricolturale
COMUNE	Comune	Poligono	COMUNE_NOM: nome comune COMUNE_IST: codice istat comune COMUNE_BEL: codice Belfiore comune
CV_AES	Area estrattiva	Poligono	CV_AES_TY: tipo CV_AES_ZON: Zone (sottoaree di attività all'interno)
CV_DIS	Area adibita a discarica di rifiuti di varia natura.	Poligono	CV_DIS_NOM: nome
CV_LIV	Curva di livello	Linea	CV_LIV_DT: determinazione (restituita, interpolata) CV_LIV_TY : tipo (direttrice, ordinaria, ausiliaria) CV_LIV_Q: quota
DIGA	Diga	Poligono	DIGA_TY: tipologia (in muratura, materiali sciolti,...) DIGA_CLASS: classificazione ufficiale DIGA_NOM: nome DIGA_ZONA: zona di acquisibilità dell'opera (coronamento, rinfianco)
DRE_SUP	Drenaggi superficiali	Linea	DRE_SUP_TY: tipo (fosso, scolina,..)
EDI_MIN	Edificio minore	Poligono	EDIFC_TY: tipologia edilizia EDIFC_STAT: stato (in costruzione, rudere,..)

EL_VMS	Elemento viabilità' mista secondaria	Linea	EL_VMS_TY: tipo (di carrereccia, di mulattiera..)
ELE_CP	Elemento di copertura	Poligono	ELE_CP_TY: tipo di copertura (falda, terrazzo,...)
ES_AMM	Estesa amministrativa (definisce le caratteristiche dell'infrastruttura stradale secondo criteri amministrativi)	Linea	ES_AMM_PRO: proprietario (stato, regione,..) ES_AMM_CA: classifica amministrativa (strada statale, regionale,...) ES_AMM_CF: classifica tecnico-funzionale (autostrada, extraurbana,...)
F_NTER	Forma naturale del terreno	Poligono	F_NTER_TY: caratteristica orografica del terreno (rocce, frana, morena,...)
FIL_AL	Filare alberi	Linea	FIL_AL_TY: tipo (alberi, siepi,...) FIL_AL_FUN: funzione (viale, divisorio,..) FIL_AL_ESS: essenze
FOR_PC	Formazione particolare	Poligono	FOR_PC_TY: tipo di formazione forestale con caratteristiche peculiari (riparie, rupestri,...)
GALLER	Galleria	Poligono	GALLER_USO: uso (autostradale, ferroviario,...)
GHI_NV	Ghiacciaio-nevaio perenne	Poligono	GHI_NV_TY : tipo (ghiacciaio o nevaio perenne) GHI_NV_NOM: nome (eventuale) del ghiacciaio
GZ_FER	Giunzione ferroviaria	Punto	GZ_FER_TY: tipo di giunzione (confluenza, biforcazione)
GZ_STR	Giunzione stradale	Punto	GZ_STR_TY: tipo di giunzione che si considera (intersezione, minirotoratoria, inizio/fine elemento,...)

PS_INC	Pascolo o incolto	Poligono	PS_INC_TY: tipo di area di pascolo od incolta
SD_FER	Sede di trasporto su ferro	Poligono	SD_FER_TY: tipo di trasporto su ferro SD_FER_FON: Fondo (pavimentato, non pavimentato) SD_FER_SED: Sede (ponte, viadotto,...) SD_FER_LIV: Livello (in sottopasso, non in sottopasso)
SED_AMM	Sede amministrazione	Punto	SED_AMM_EN: sede amministrativa di Regioni, Enti di area vasta e Comuni SED_AMM_TY: tipo sede (principale e secondaria)
SP_ACQ	Specchio d'acqua	Poligono	SP_ACQ_TY: tipo di specchio d'acqua (laghi, stagni, paludi, lagune) SP_ACQ_NOM: nome SP_ACQ_ACQ: tipo di acqua (interna o di transizione)
TOPONOMASTICA (*)	Toponomastica utilizzata per l'allestimento	Punto	CATEGORIA (comuni, idrografia, quote,...) NOME
TP_STR	Toponimo stradale	Linea	TP_STR_NOM: Nome della strada, via o piazza o largo, etc., comprensivo di apposizione TP_STR_TOP: tipo toponimo (di infrastruttura stradale, di via d'acqua,...) TP_STR_LOC: nome di Località o Frazione
TR_ELE	Tratta di linea della rete elettrica	Linea	TR_ELE_TY: tipo TR_ELE_NOM: denominazione del gestore
TR_STR	Tratto stradale	Linea	TR_STR_TY: tipologia del tratto stradale TR_STR_STA: Stato di esercizio TR_STR_SED: Sede (ponte, viadotto,...) TR_STR_LIV :Livello (in sottopasso, non in sottopasso)
TRALIC	Sostegno a traliccio	Poligono	TRAL_TY: tipo (antenna, traliccio) TRAL_IMP: impianto (di cabinovia, di seggiovia,..)
UN_VOL	Unita' volumetrica (volume elementare riferito ad un edificio)	Poligono	UN_VOL_AV: altezza volume UN_VOL_POR: tipo di porzione (al suolo, ad aggetto,...)
V_RETE	Vertice di rete	Punto	V_RETE_TY: qualificatore

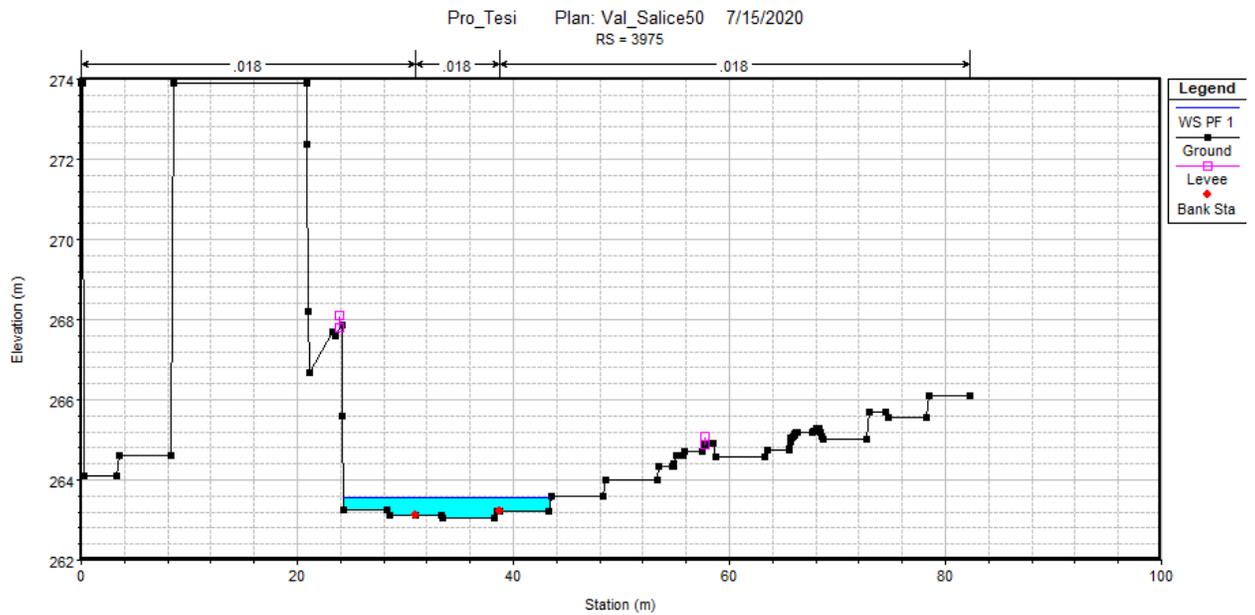
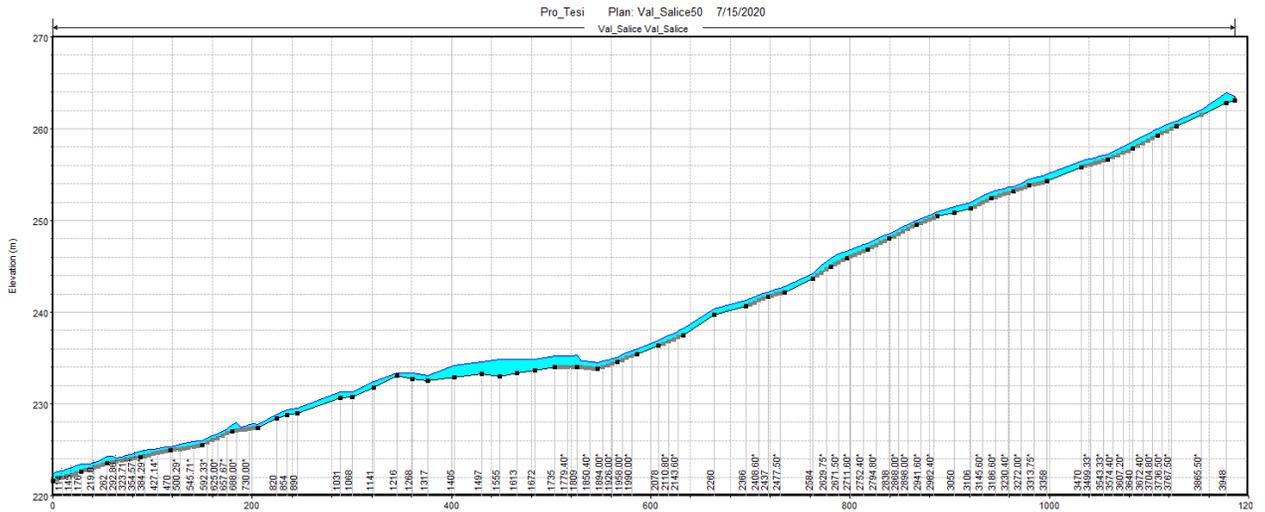
2. Mappatura di dati vettoriale

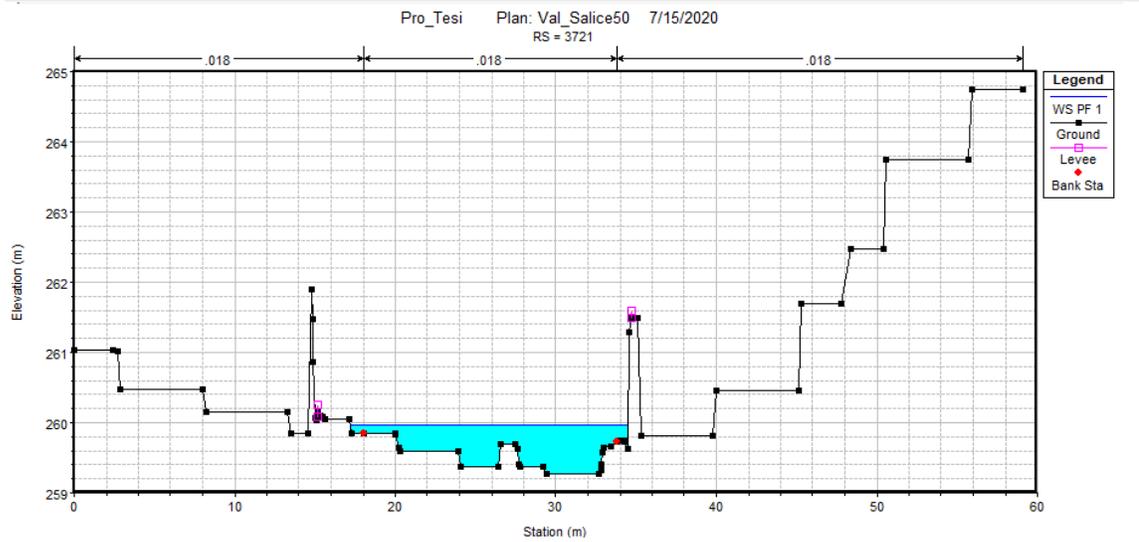
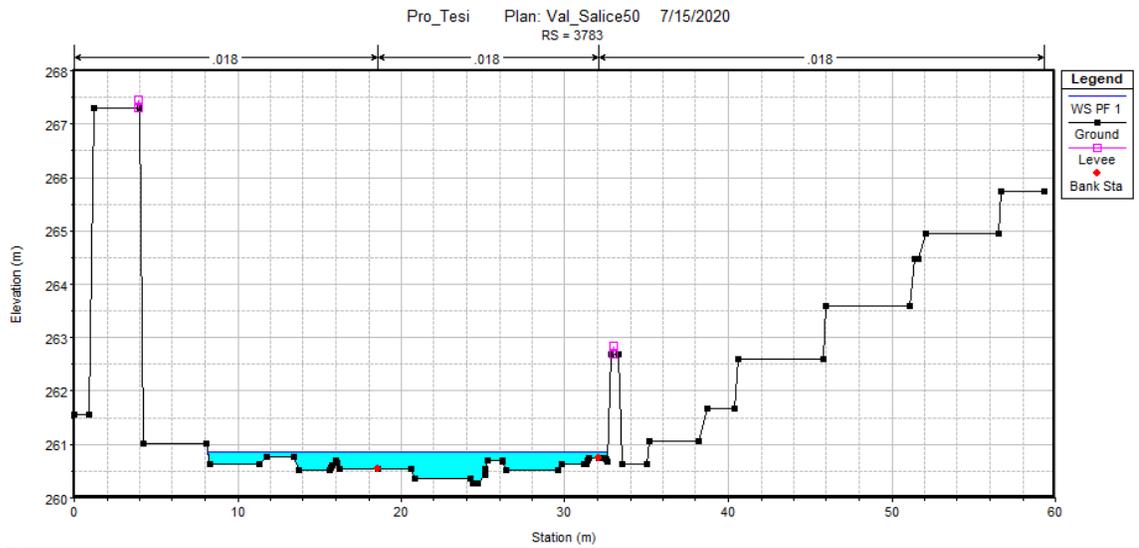
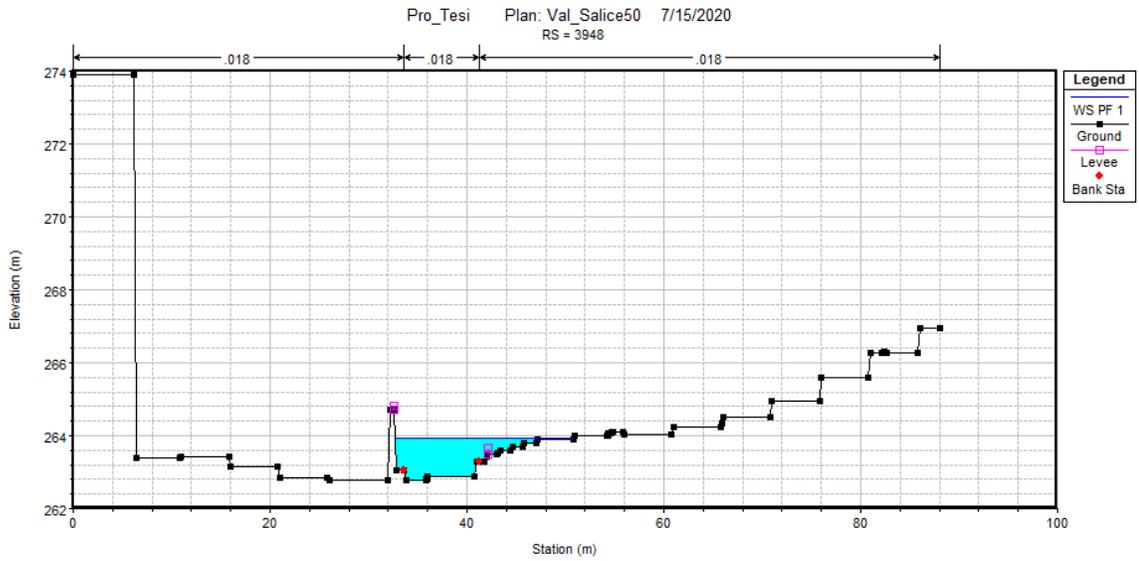


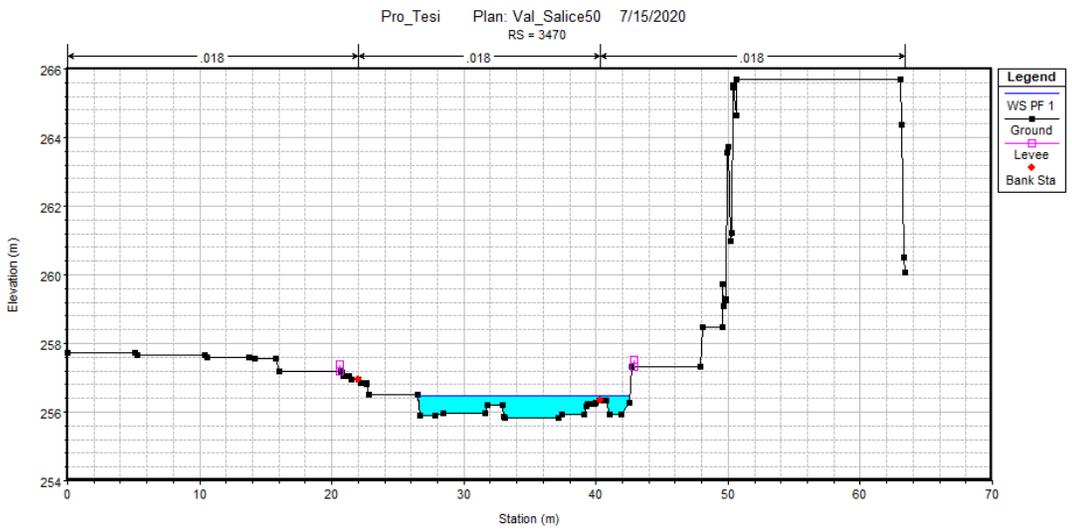
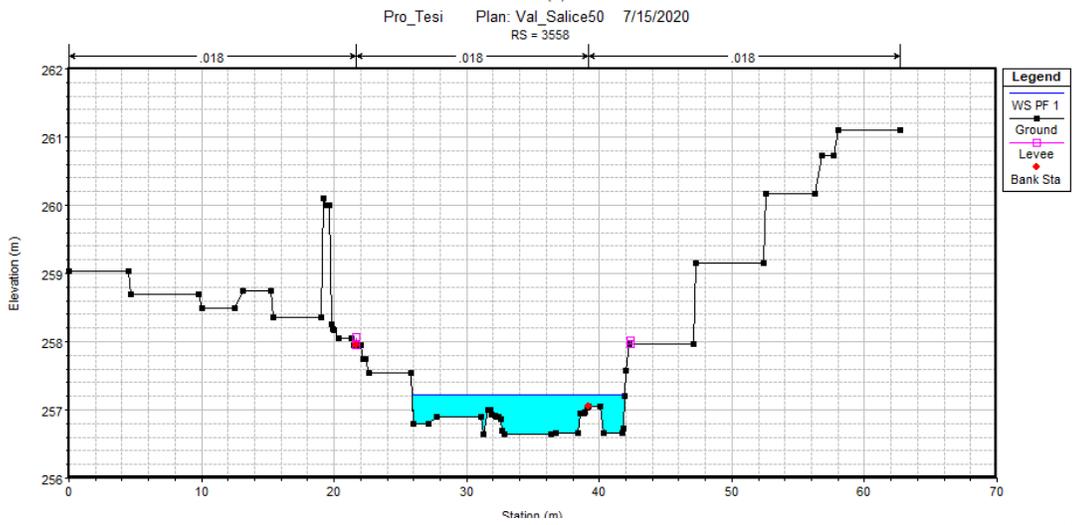
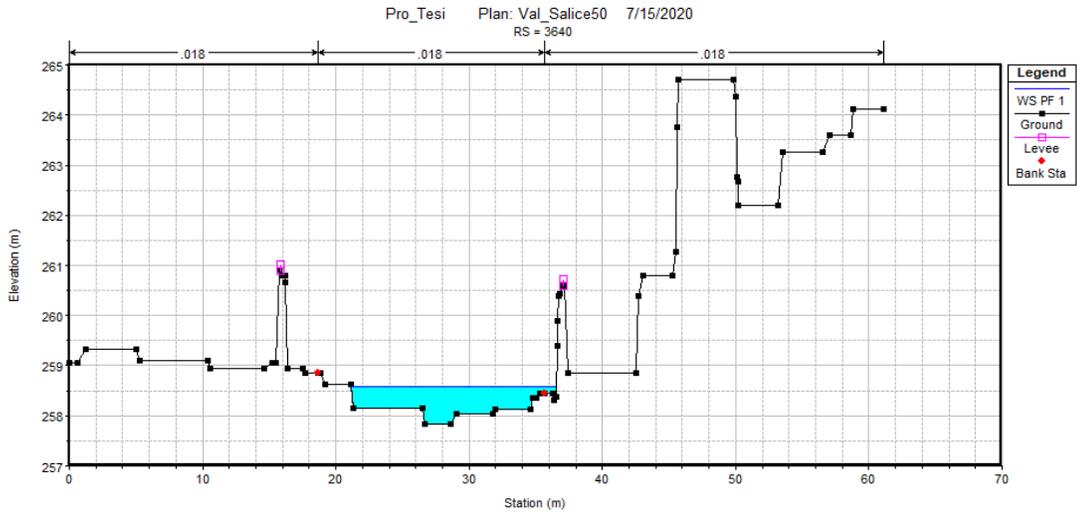
3. Risultati del Modello idraulico.

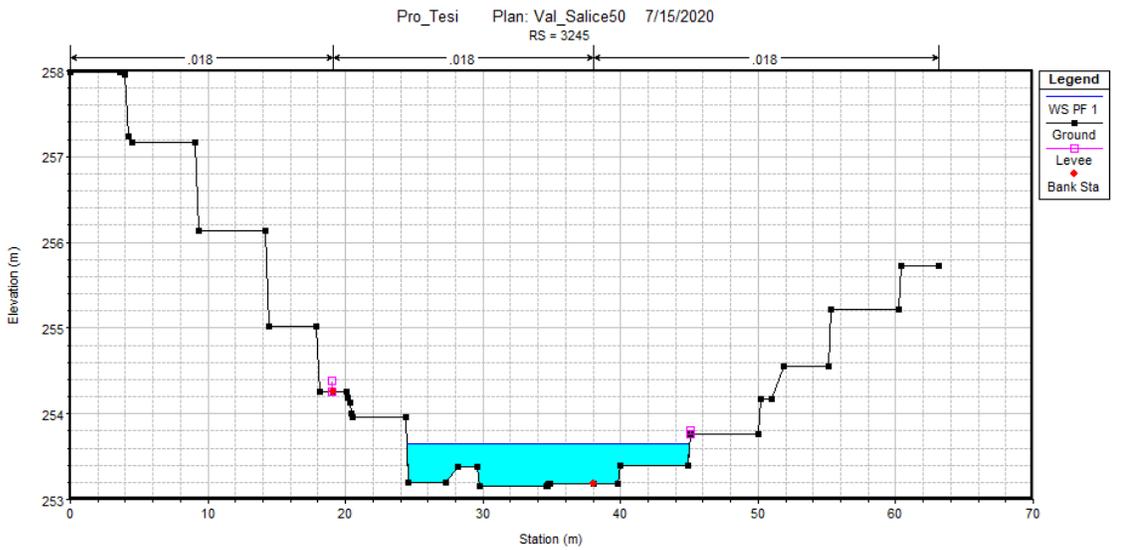
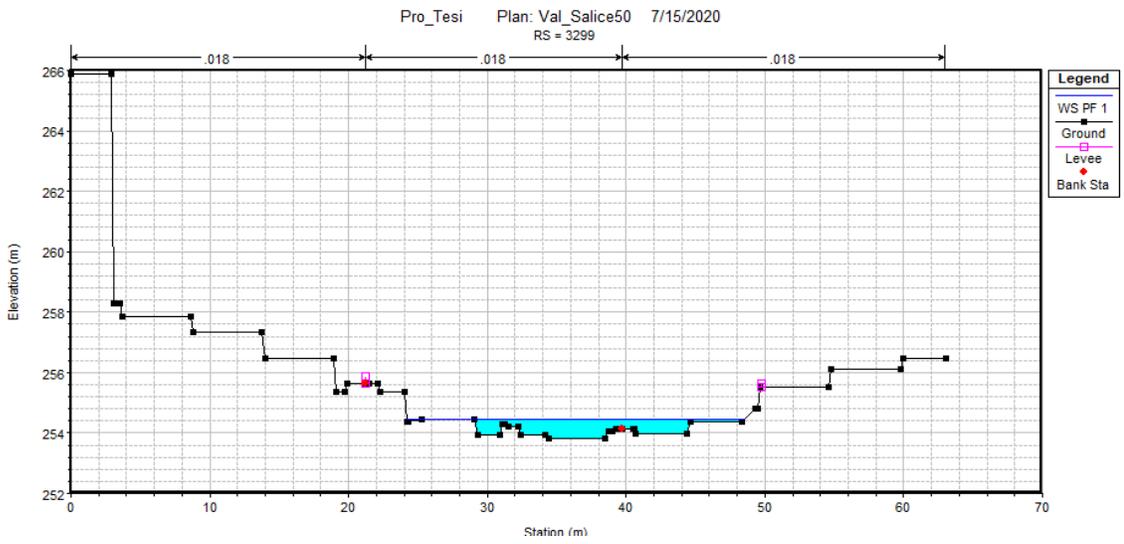
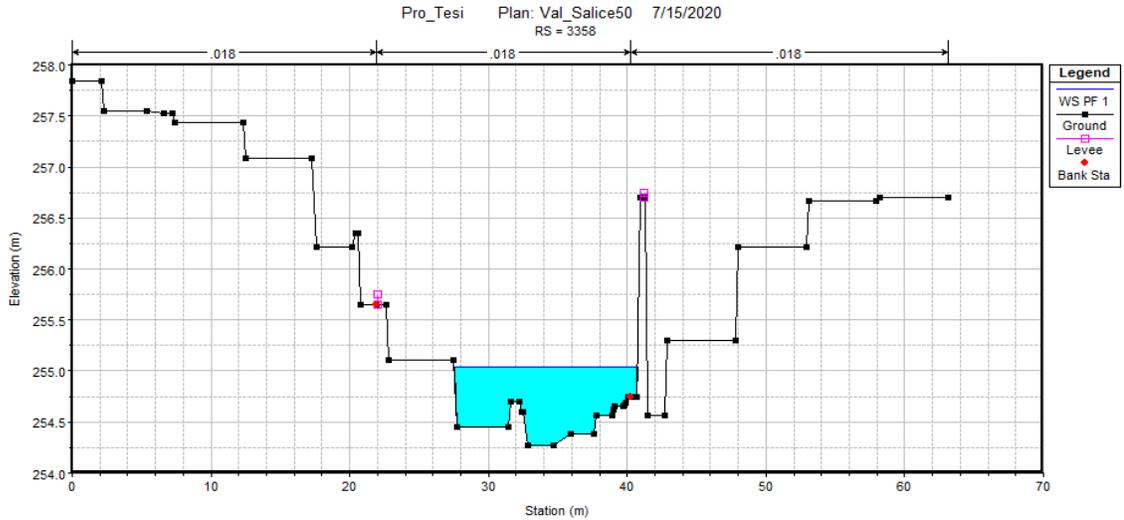
In seguito, si fa un rapporto di tutte le sezioni delle tre zone, così come il suo profilo, e la mappature della velocità e altezza d'acqua.

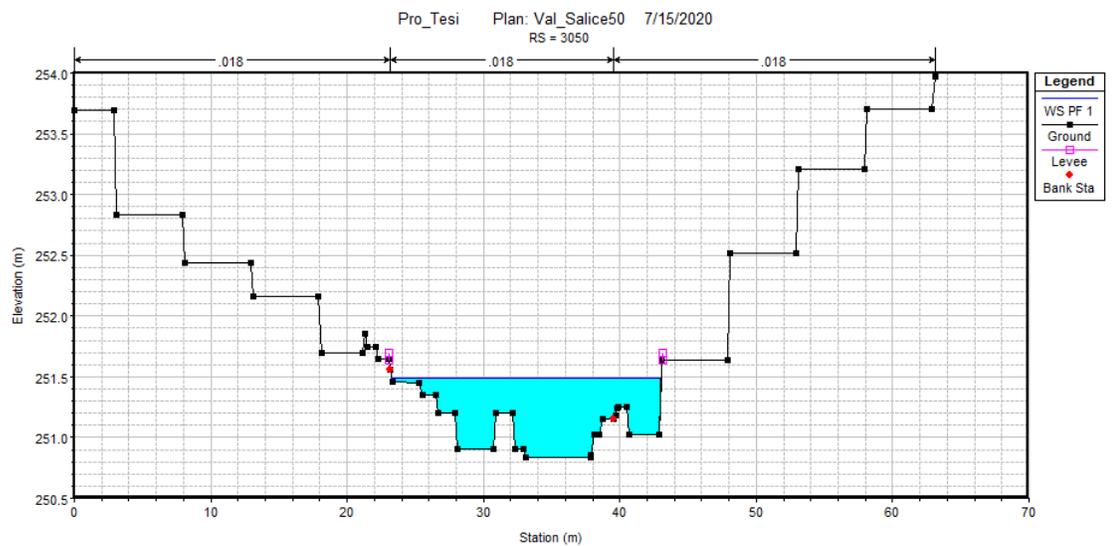
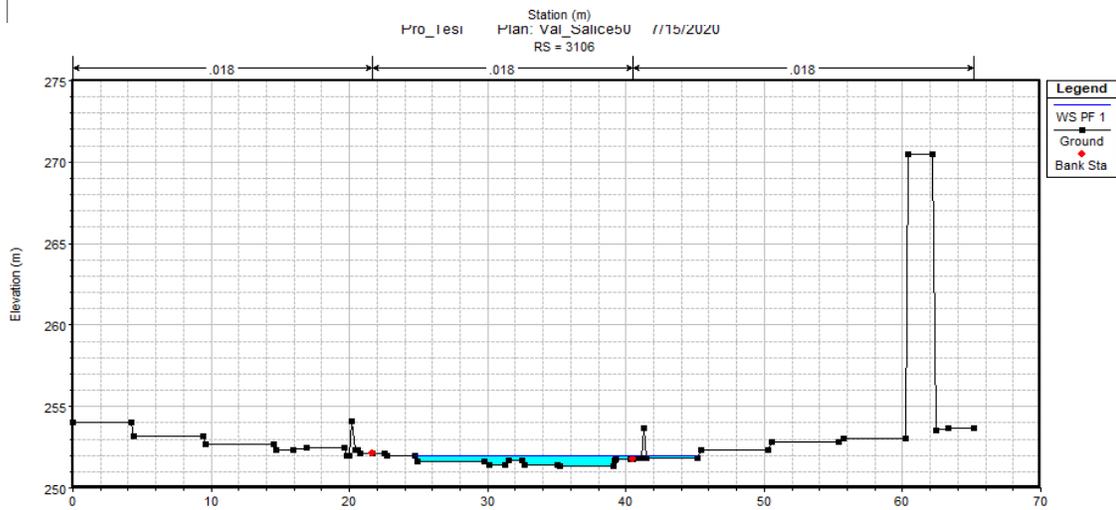
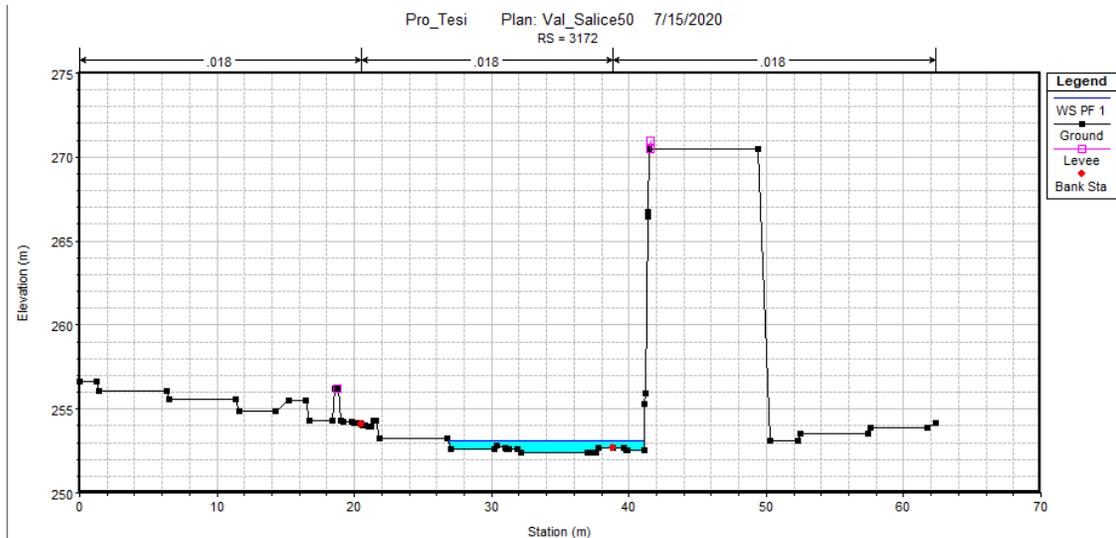
✓ Val Salice

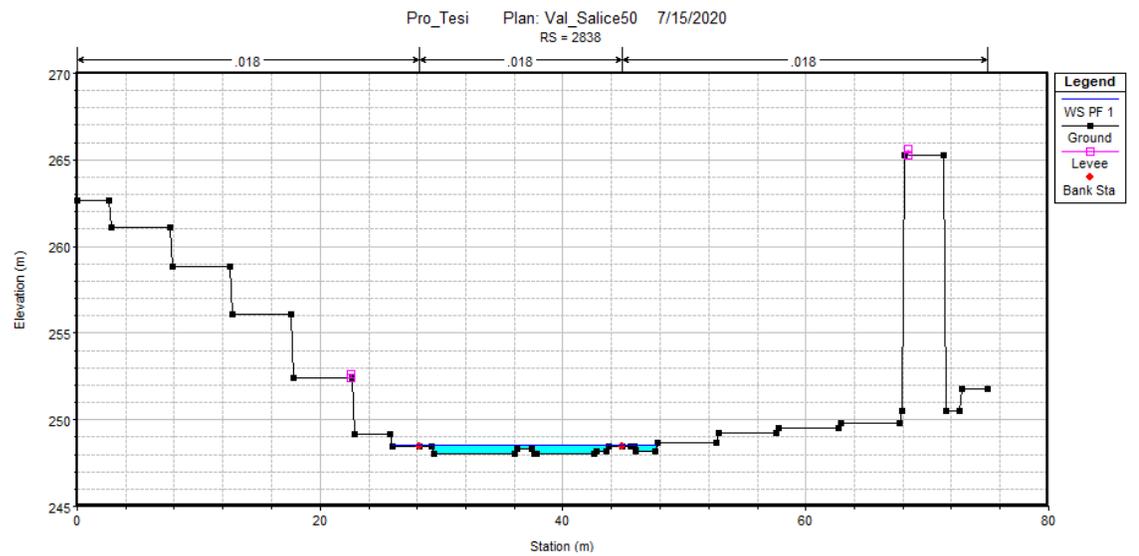
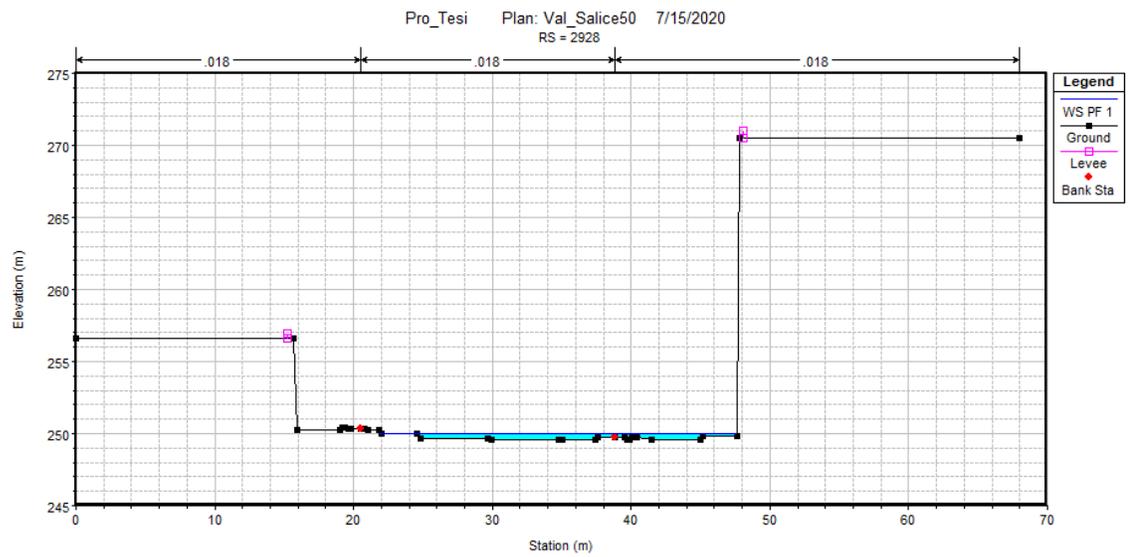
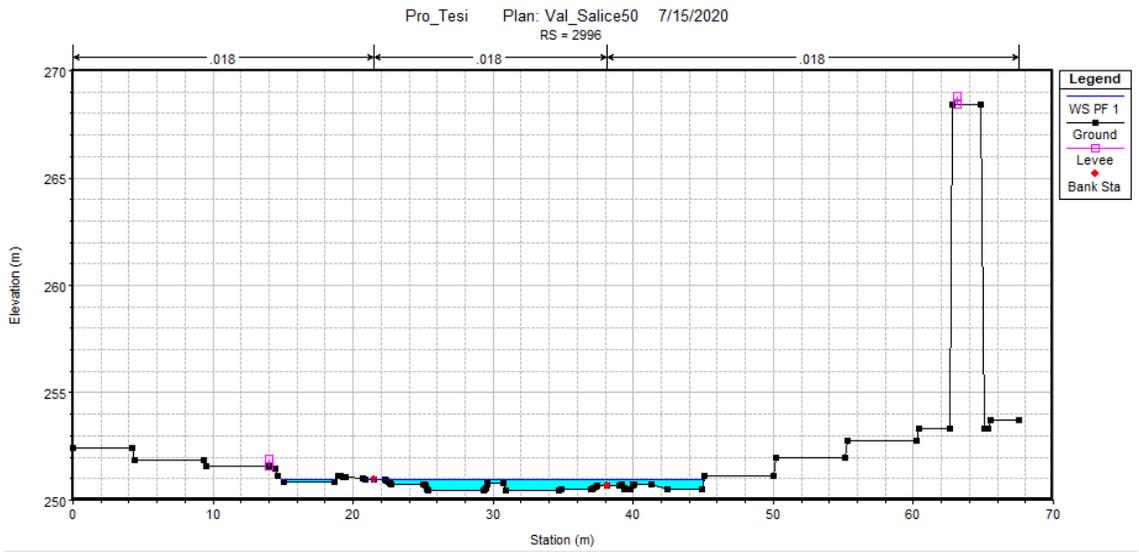


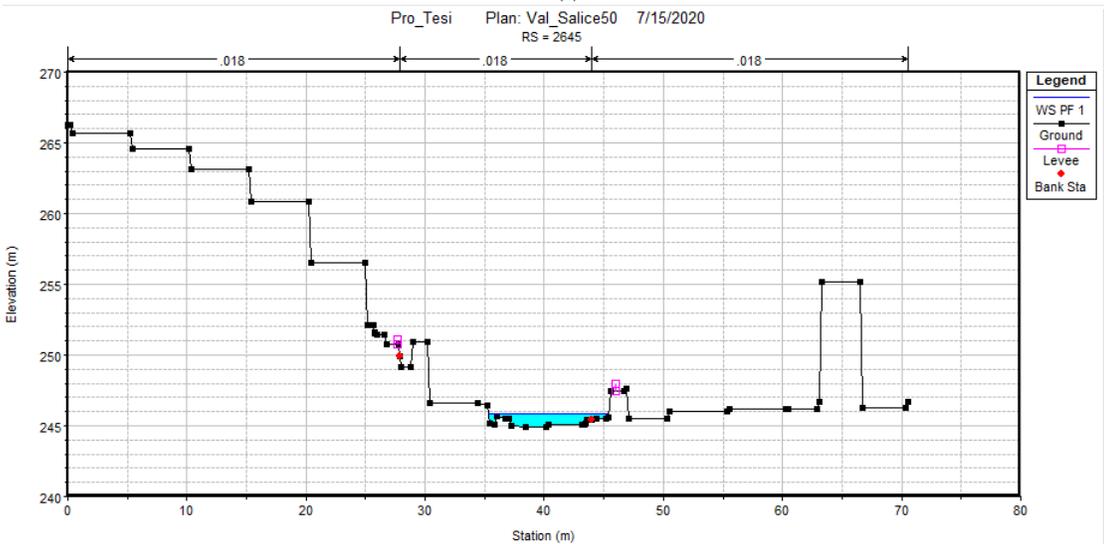
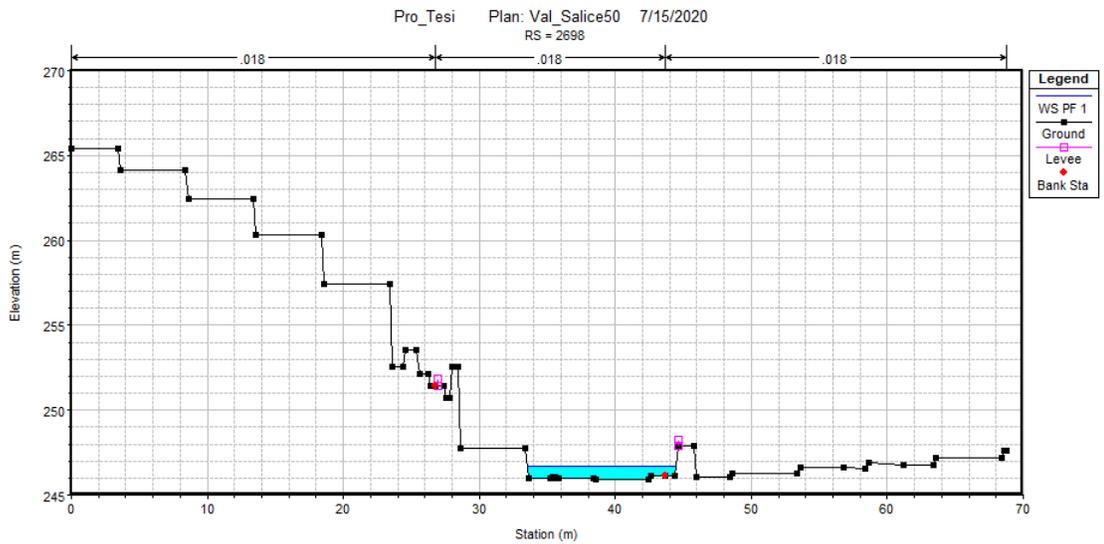
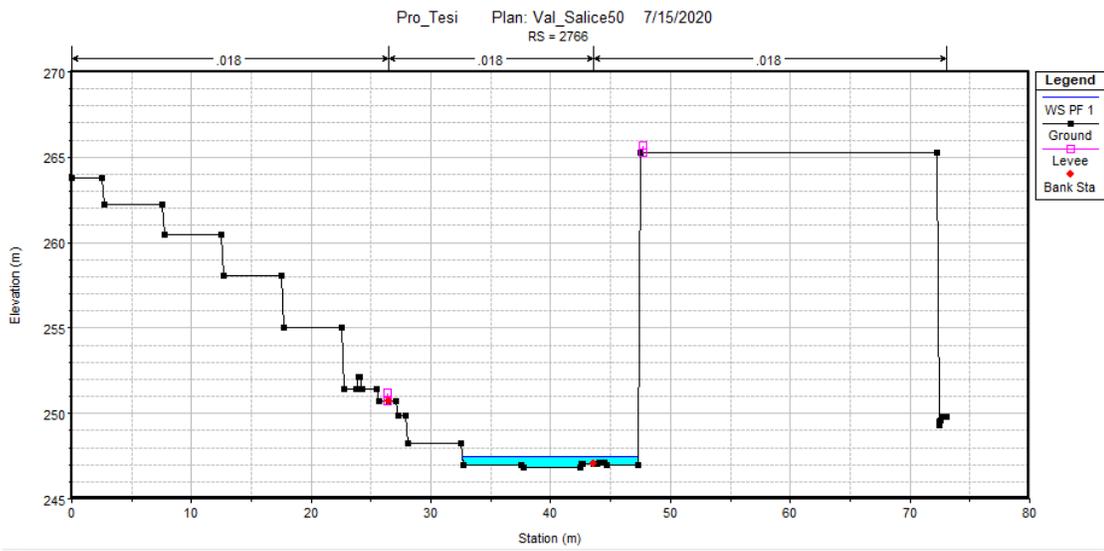


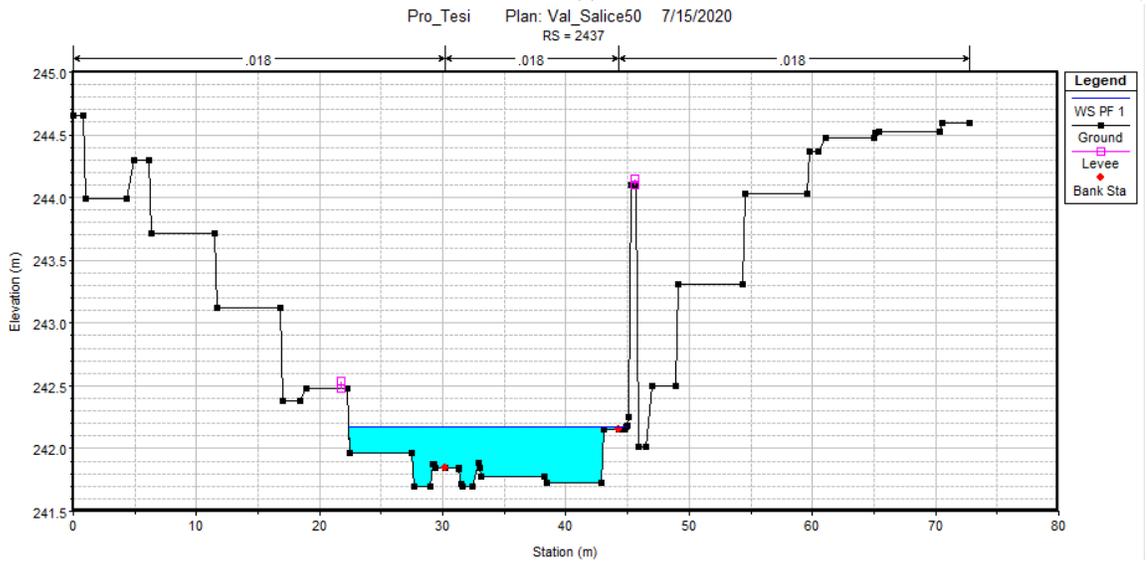
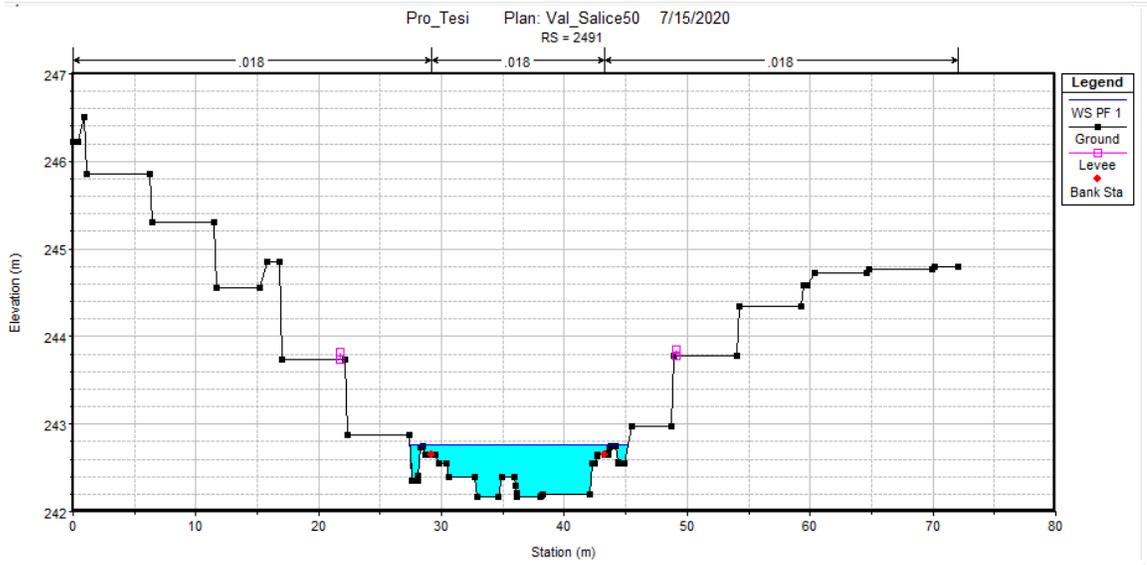
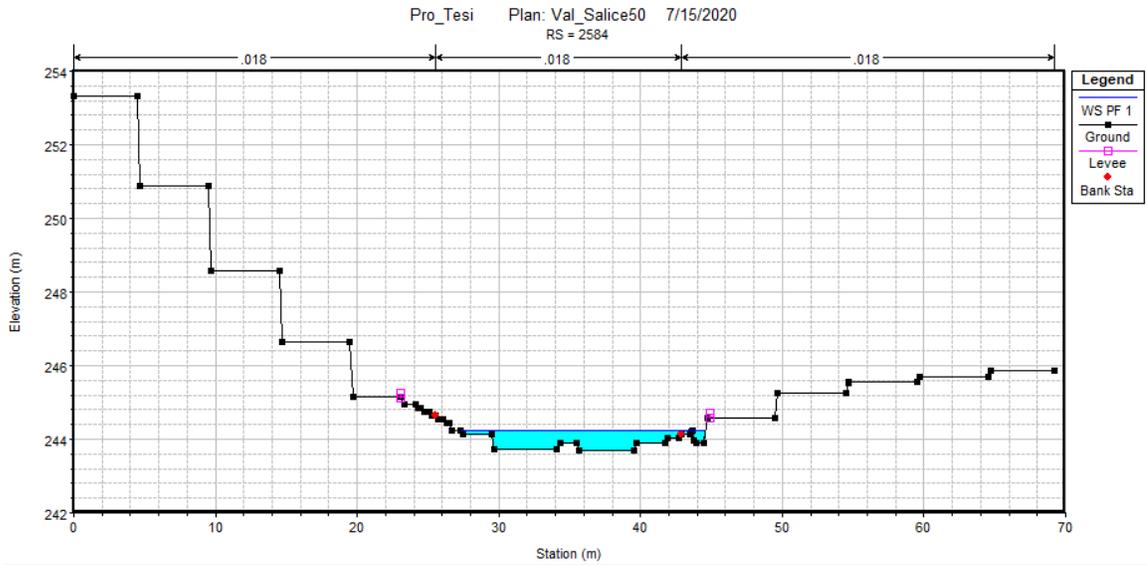


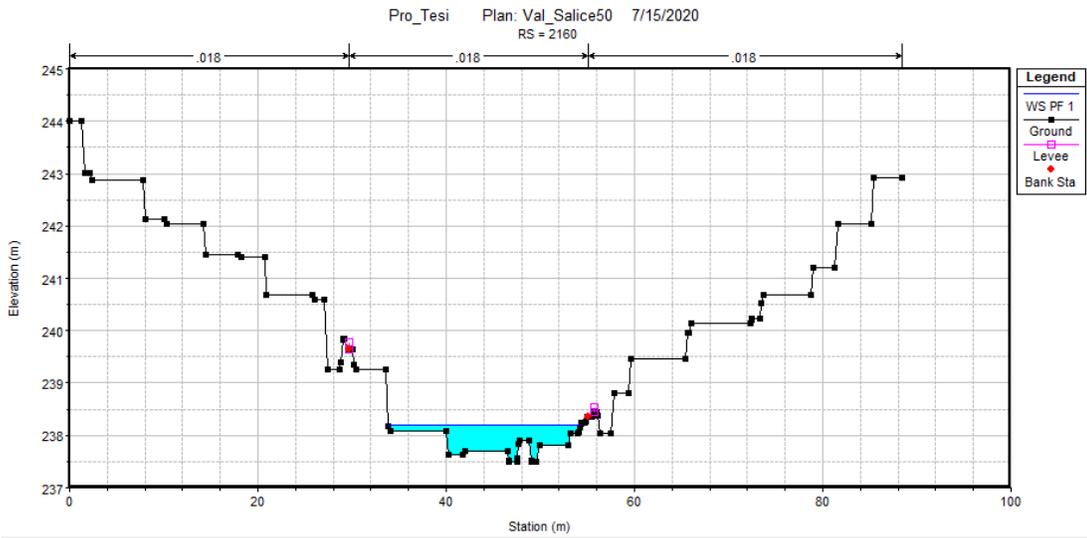
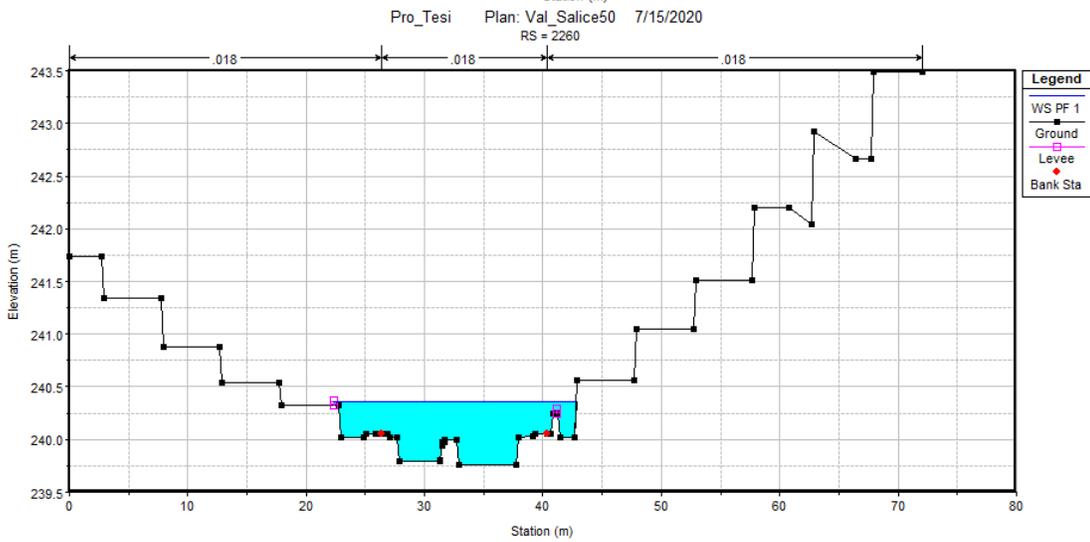
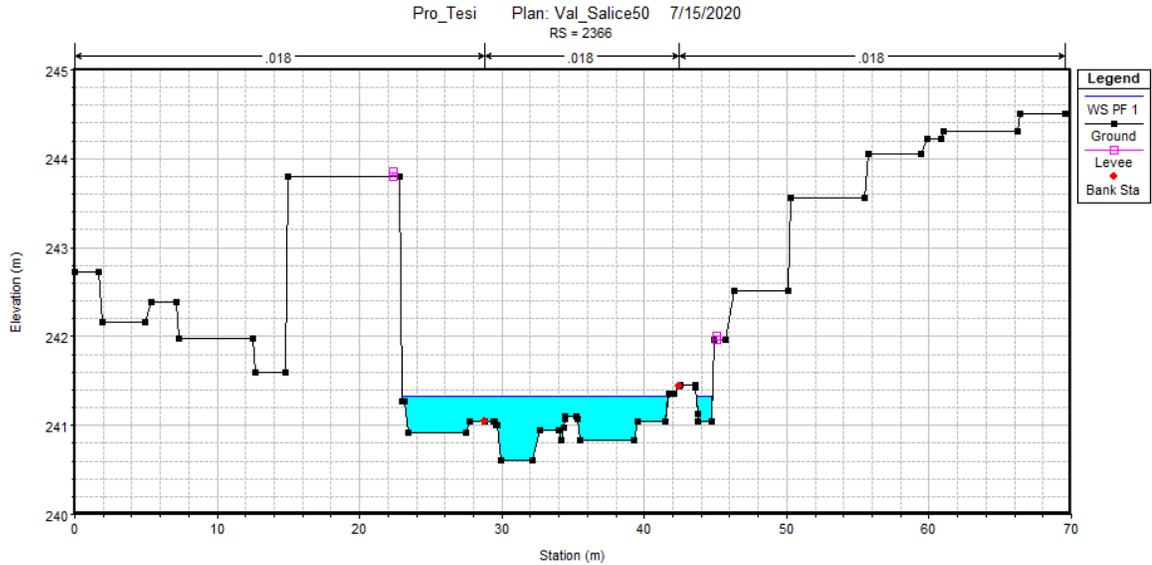


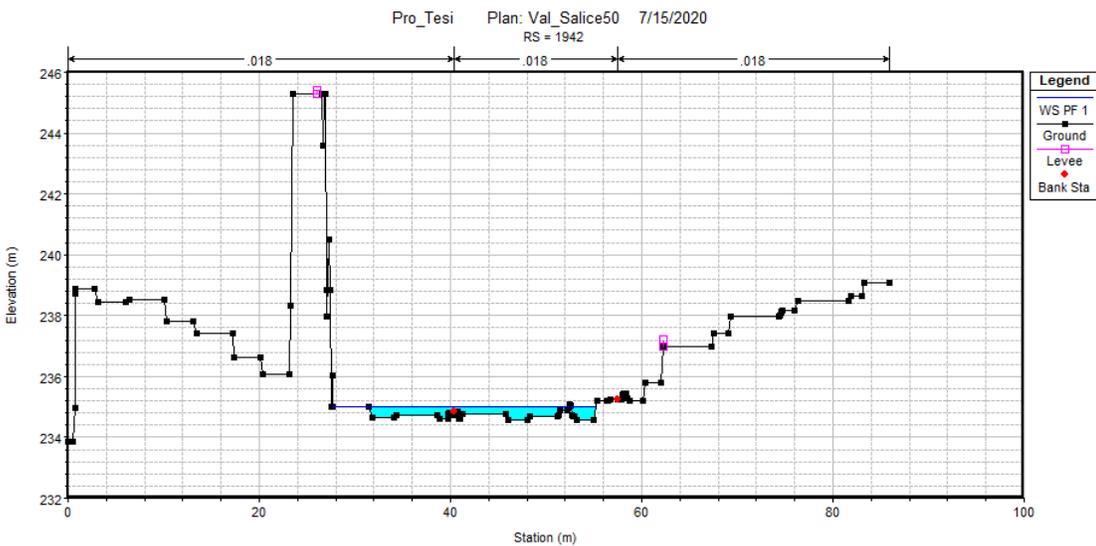
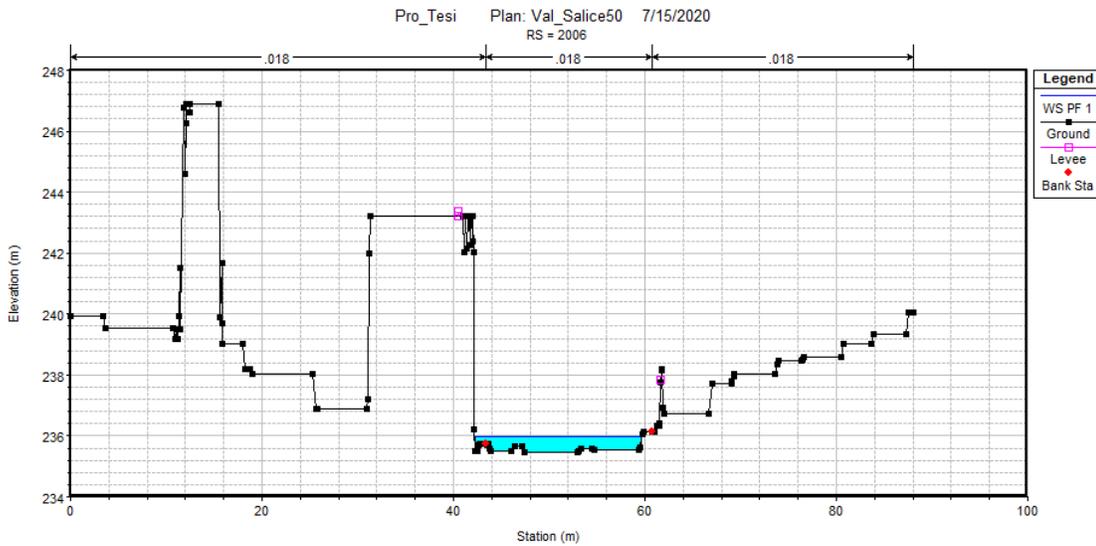
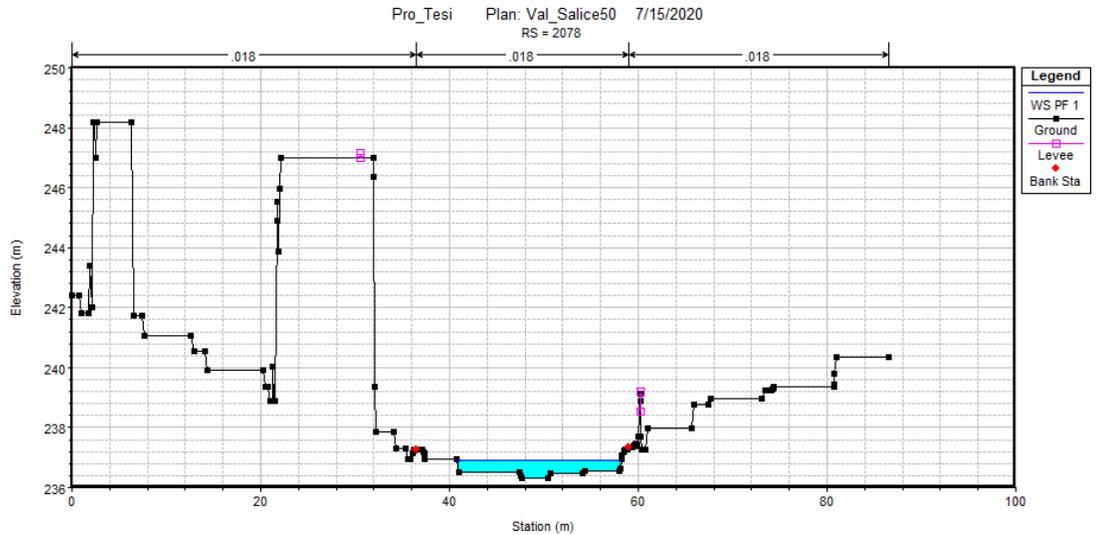


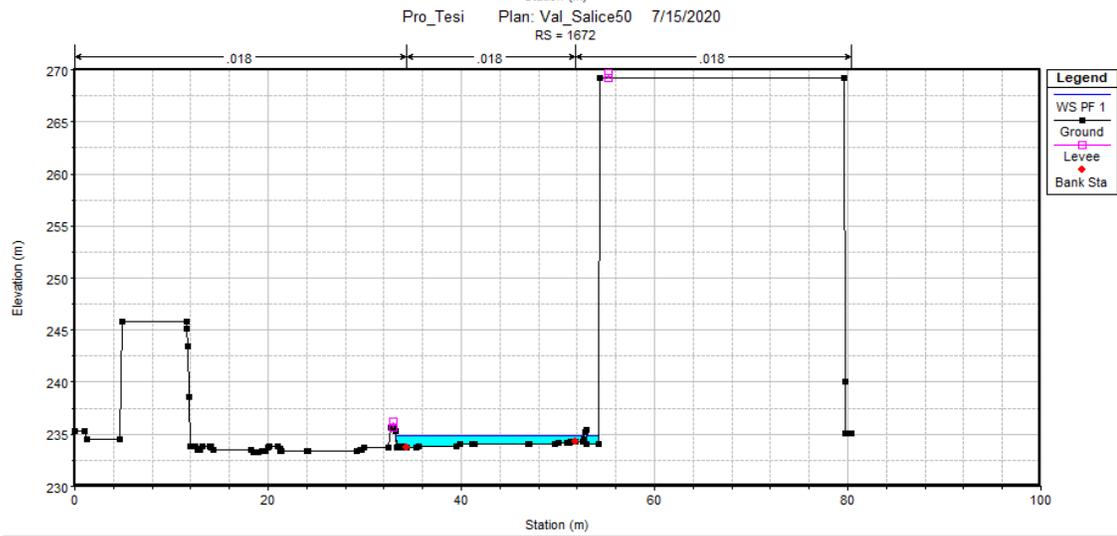
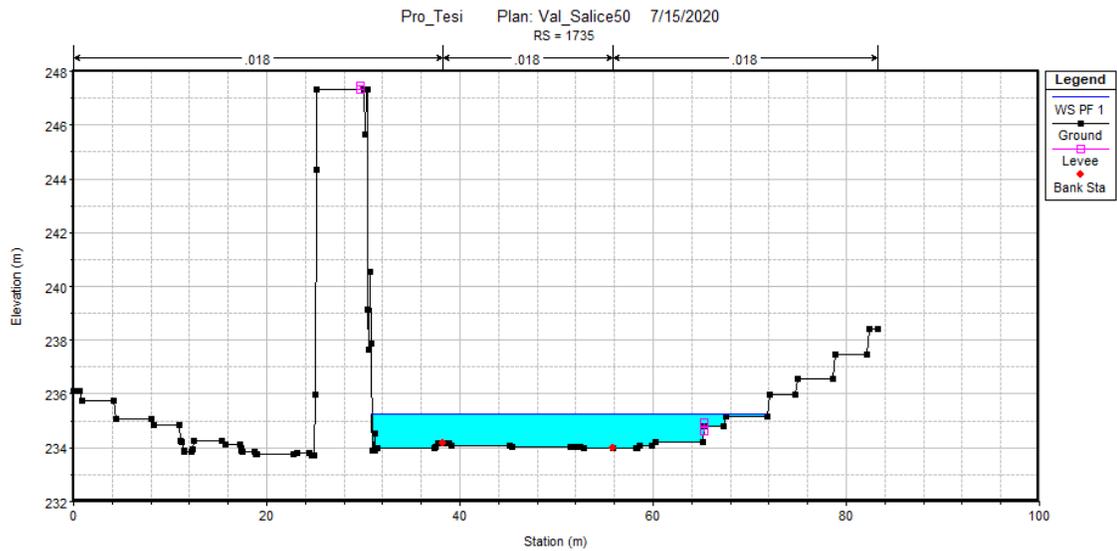
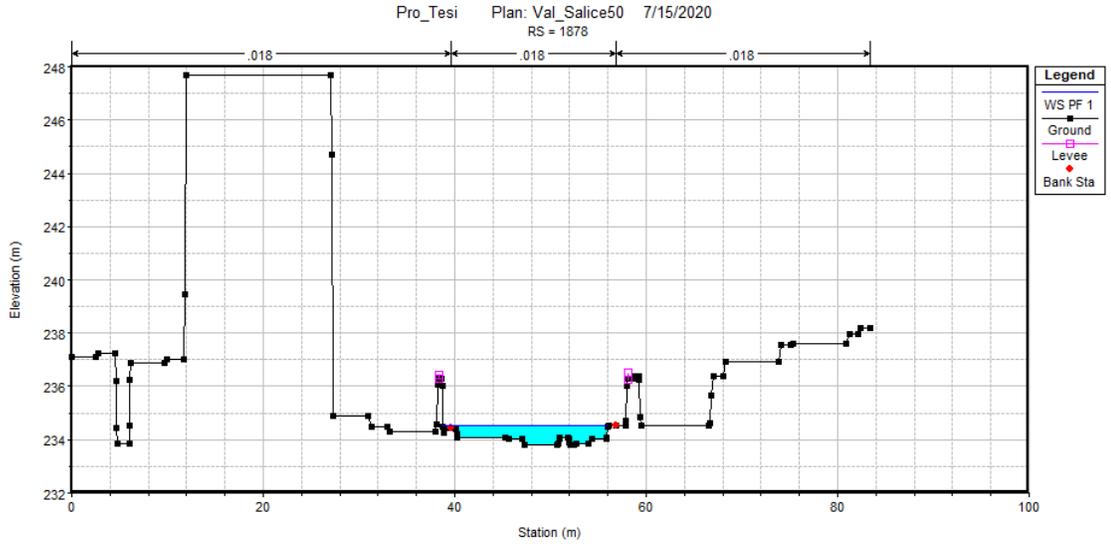


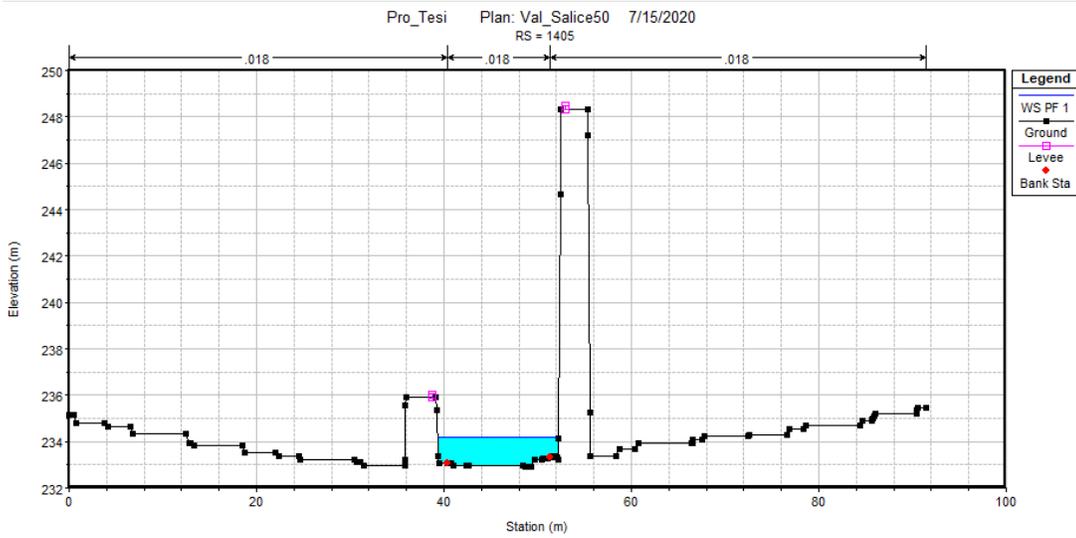
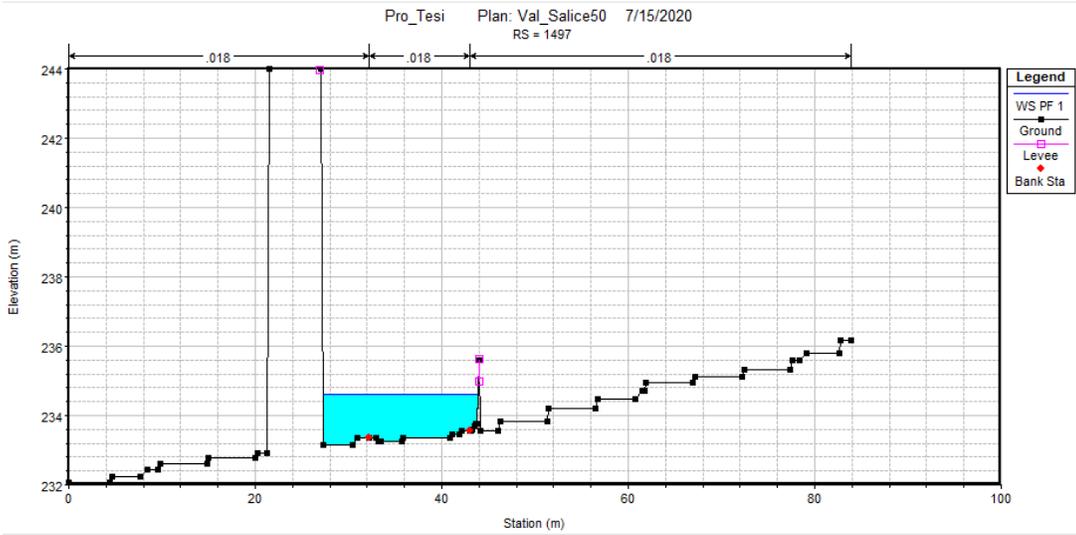
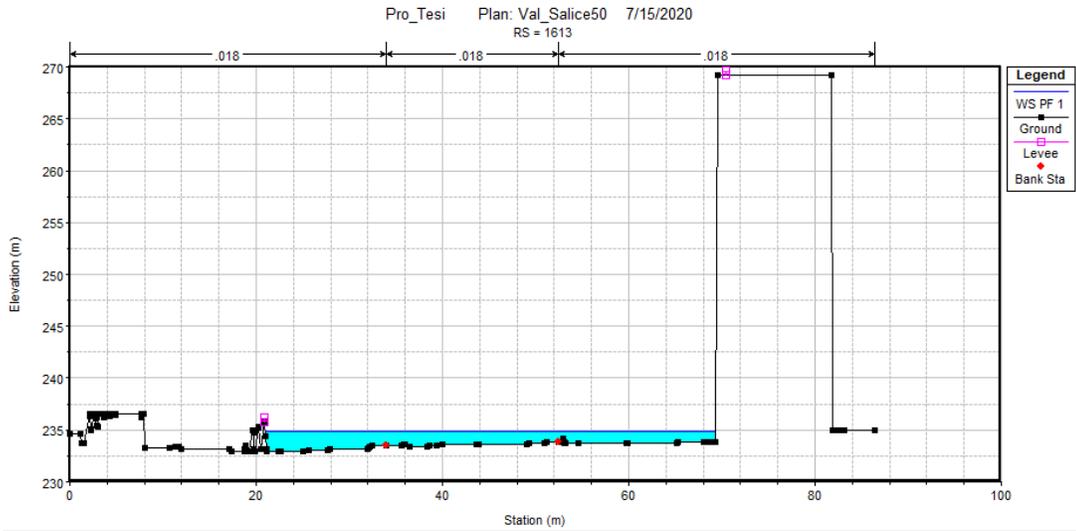


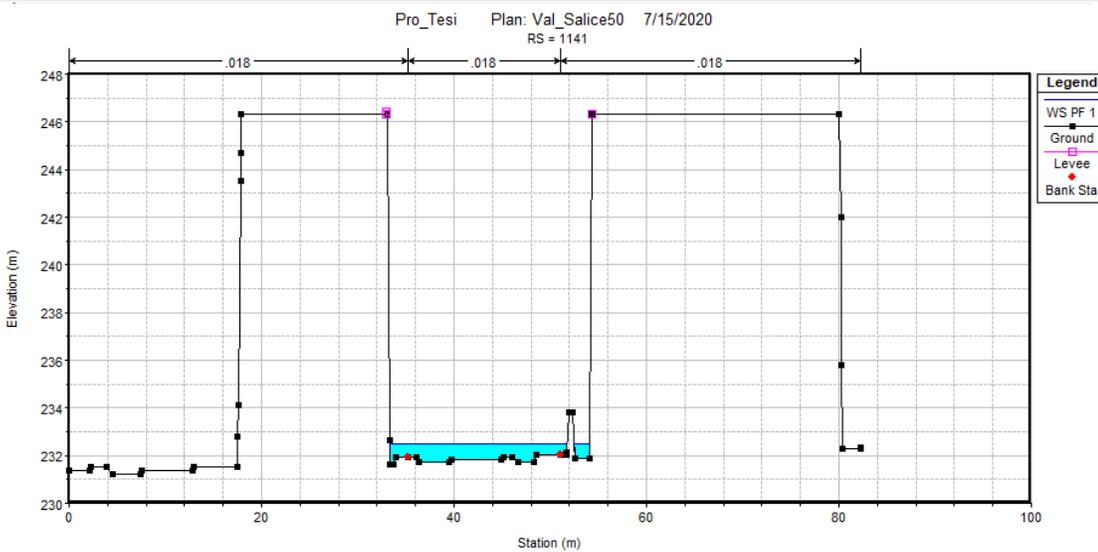
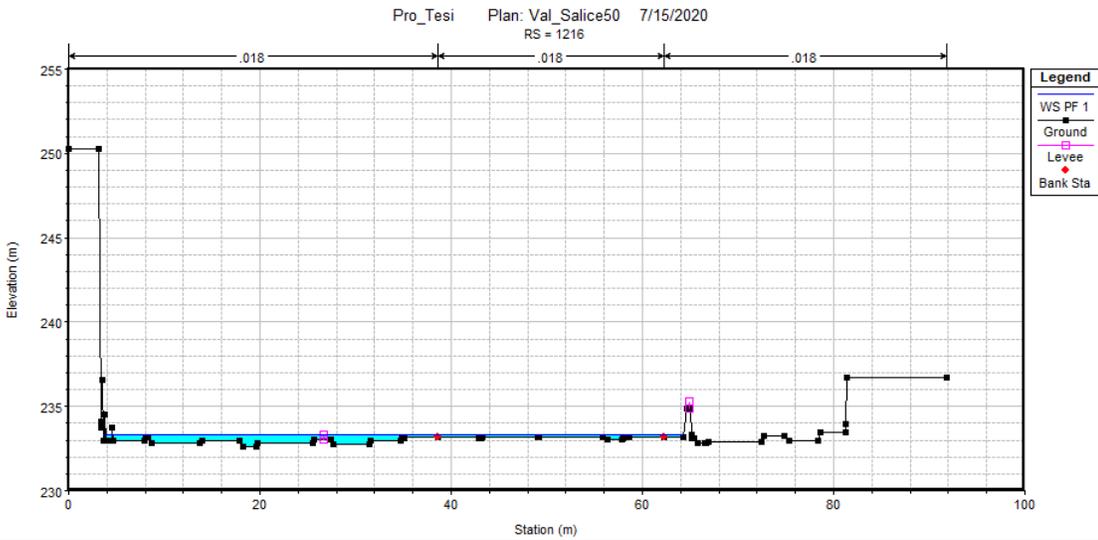
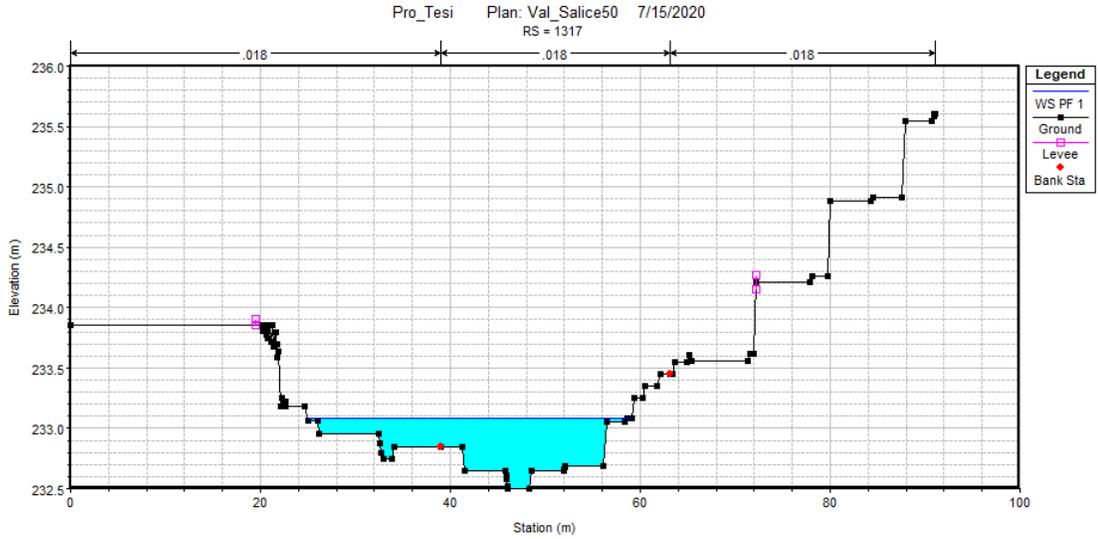


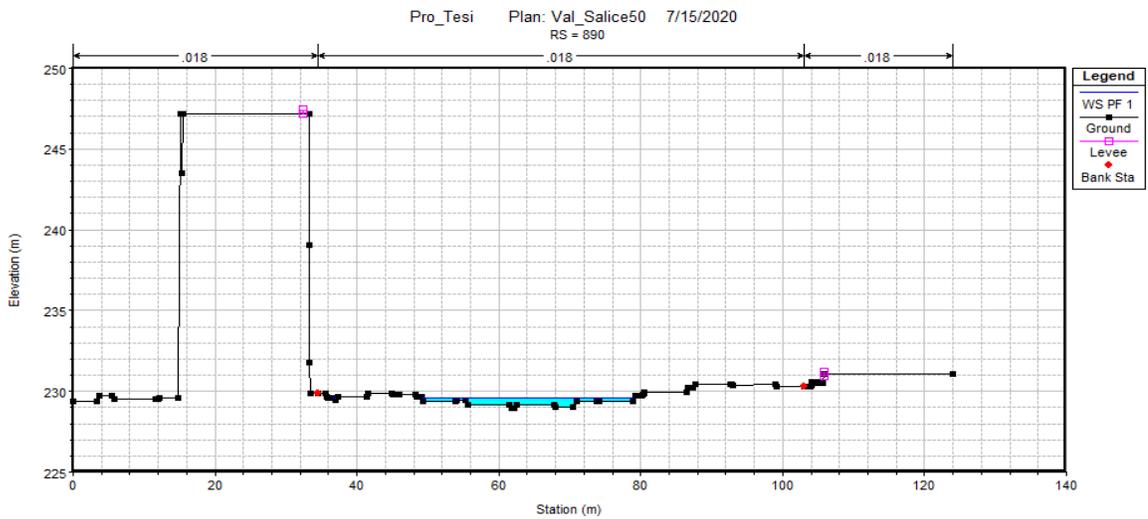
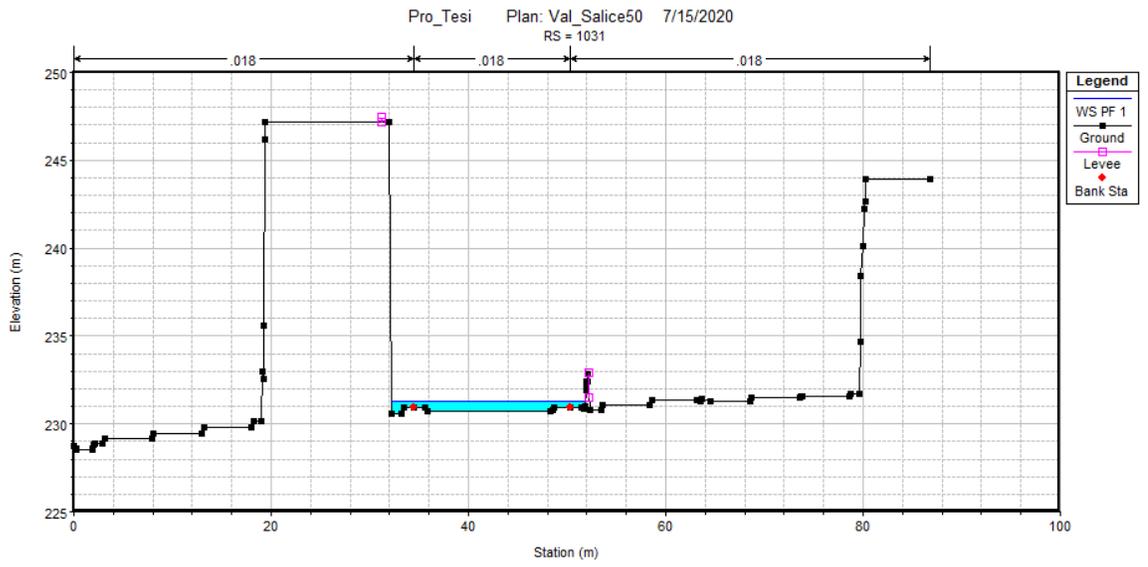
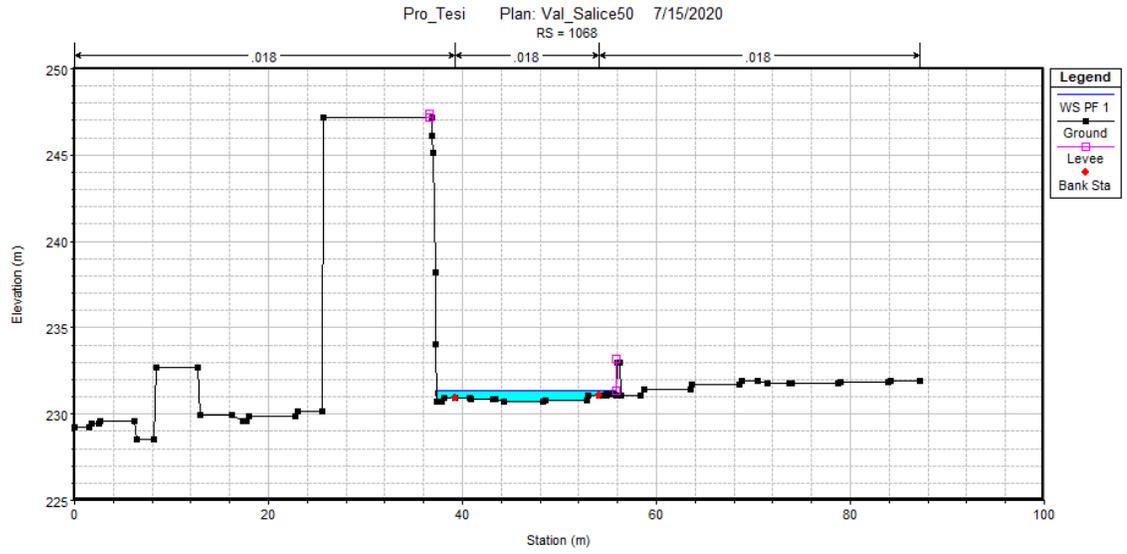


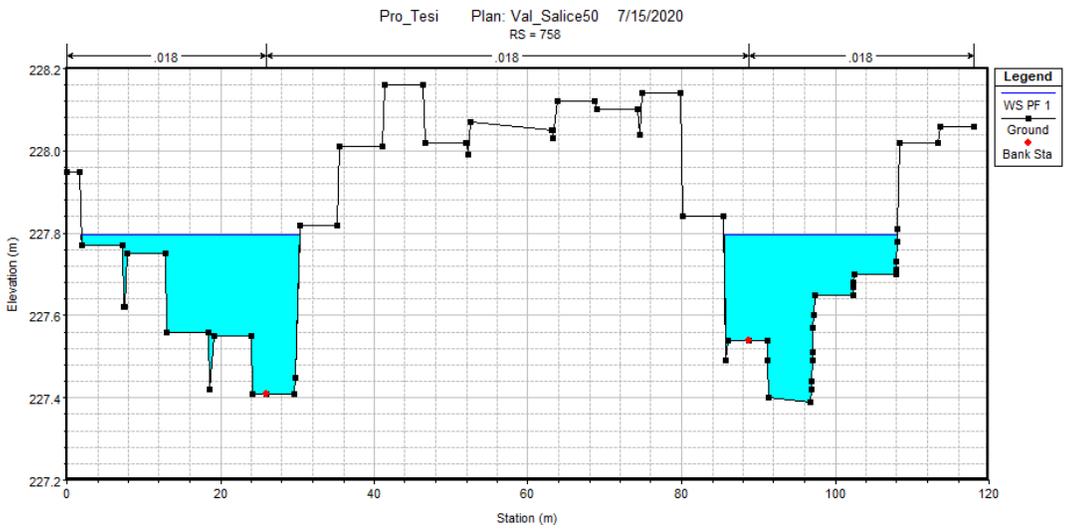
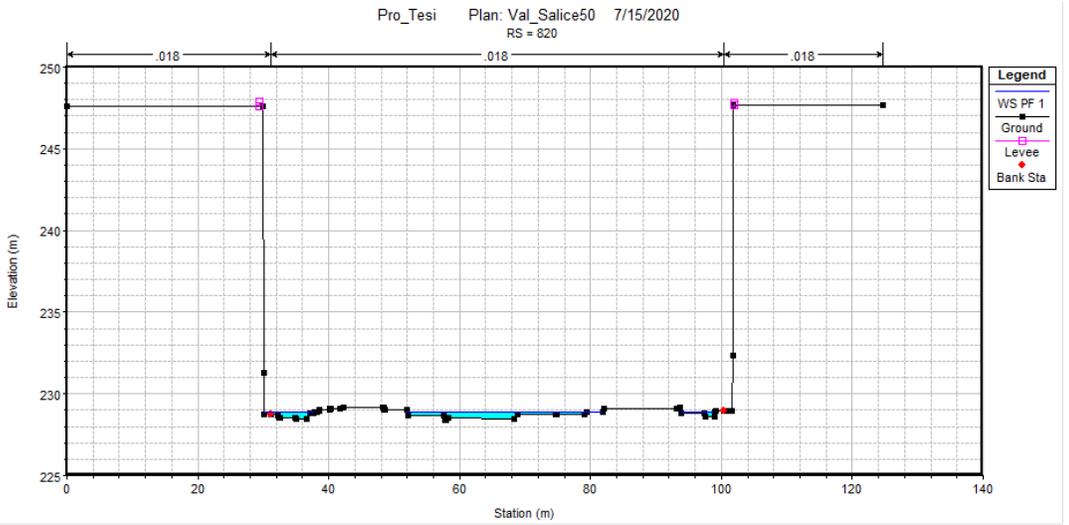
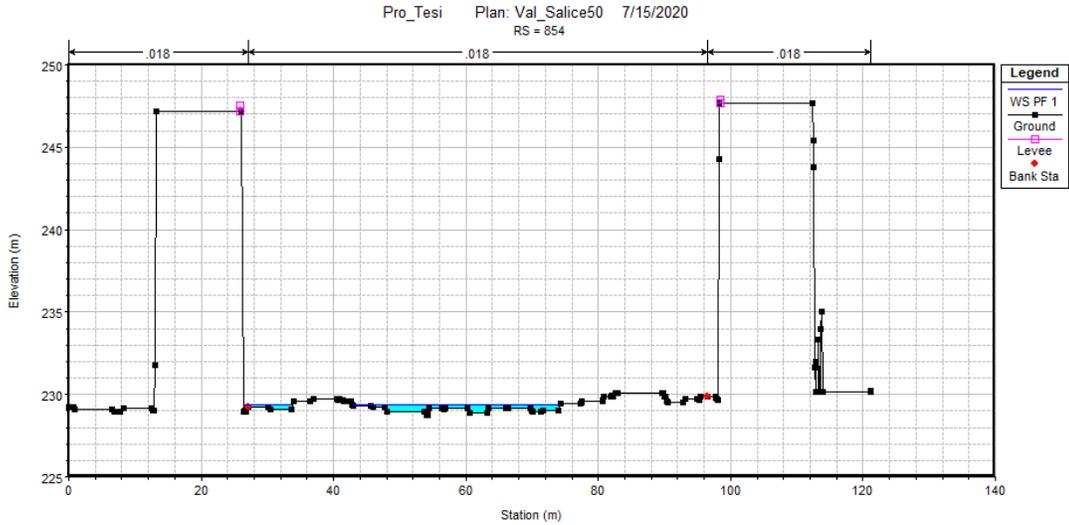


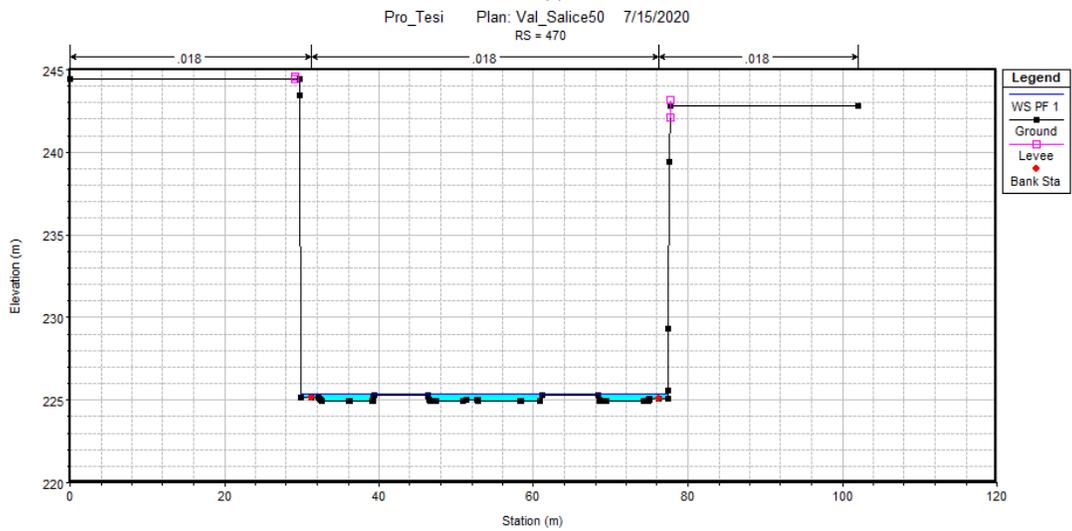
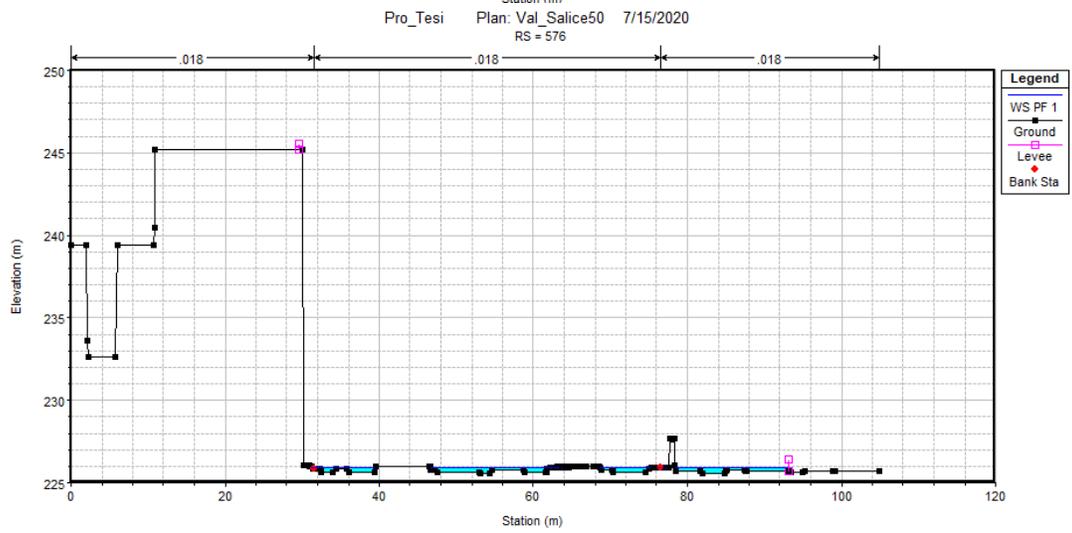
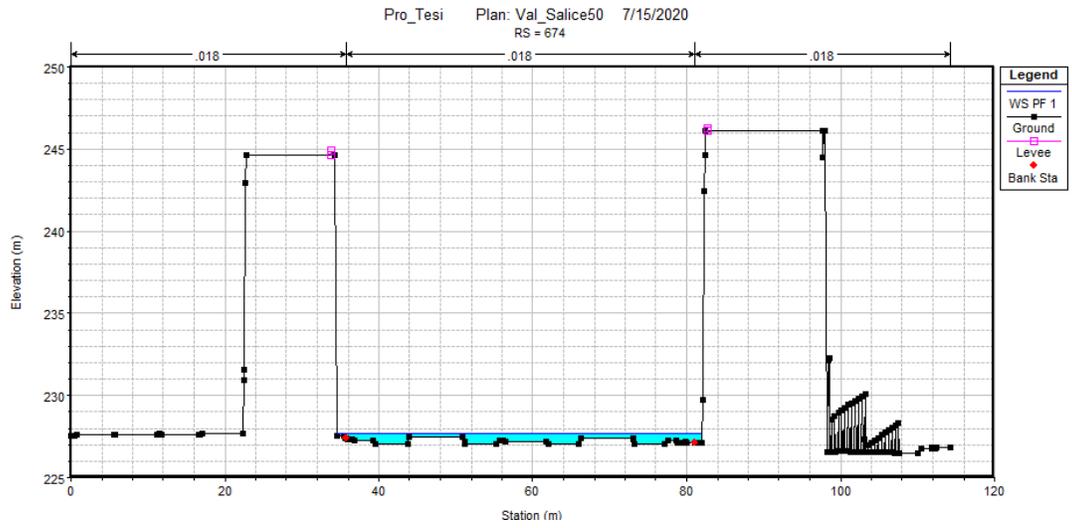


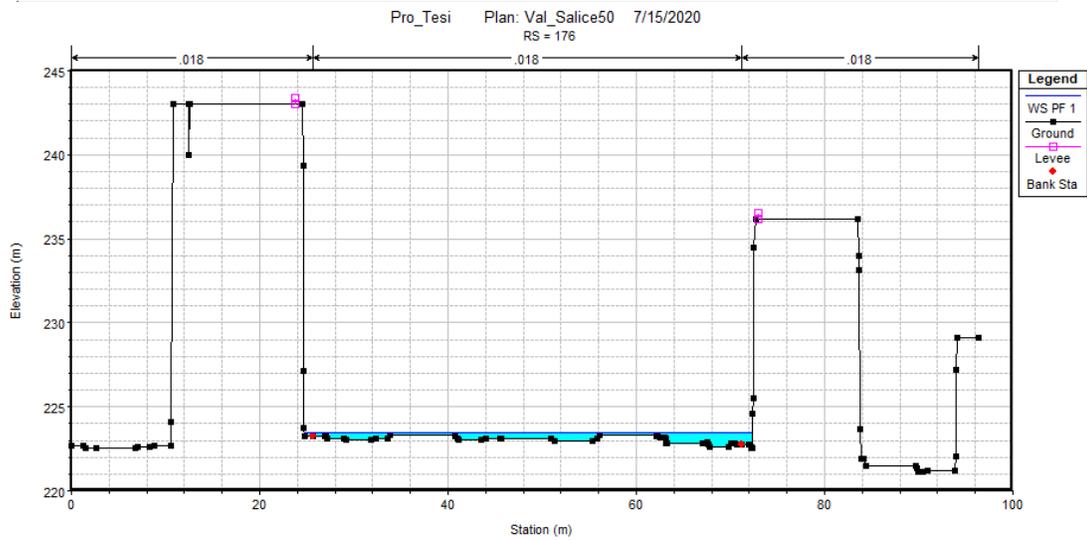
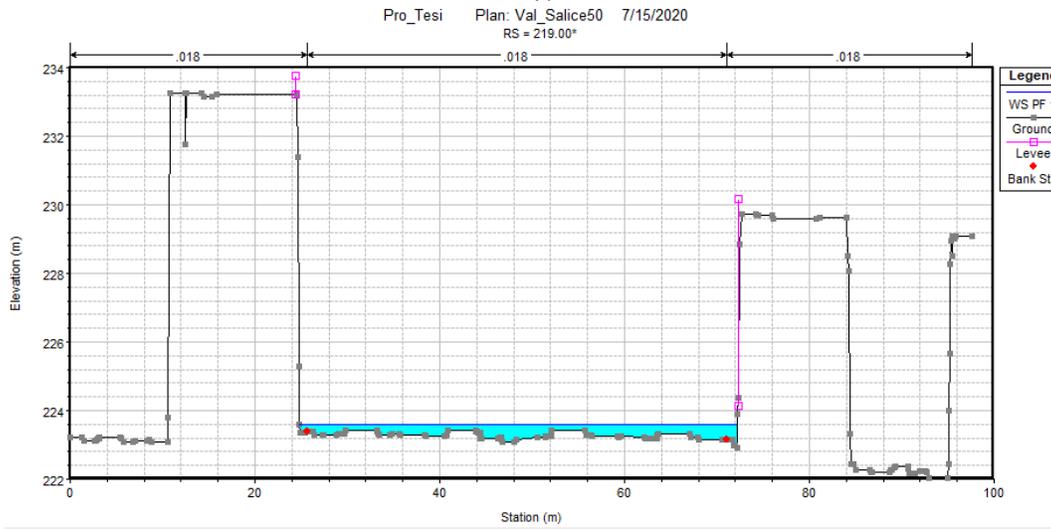
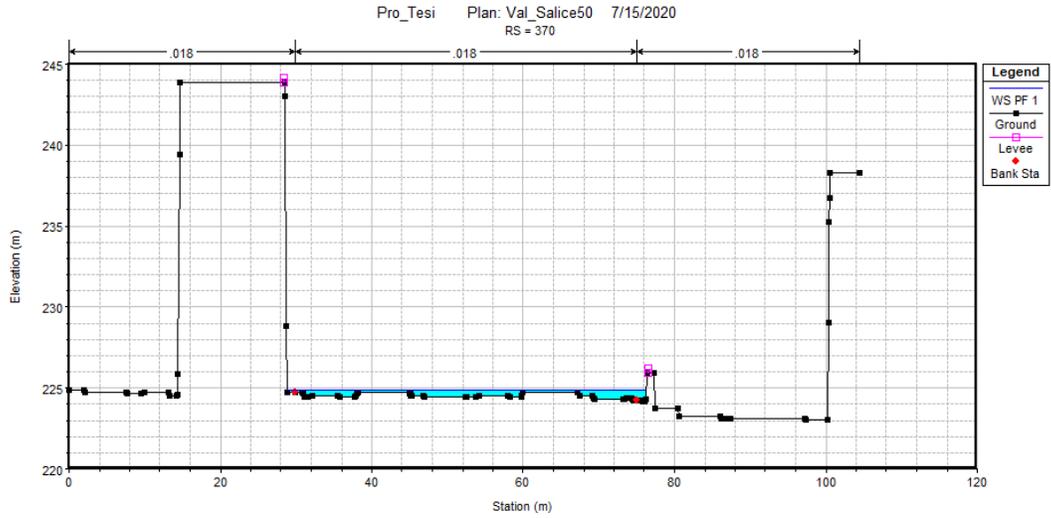


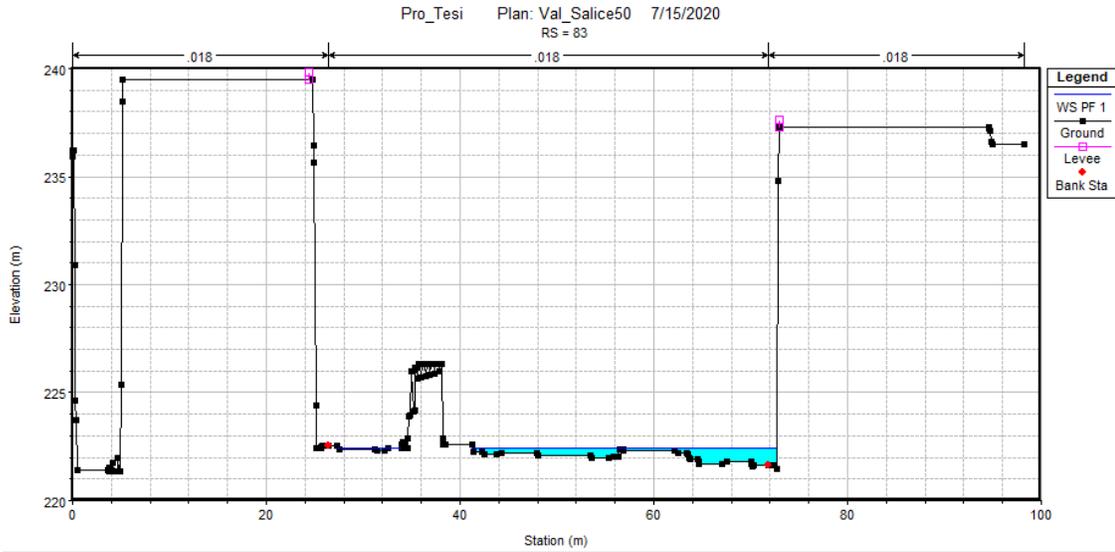








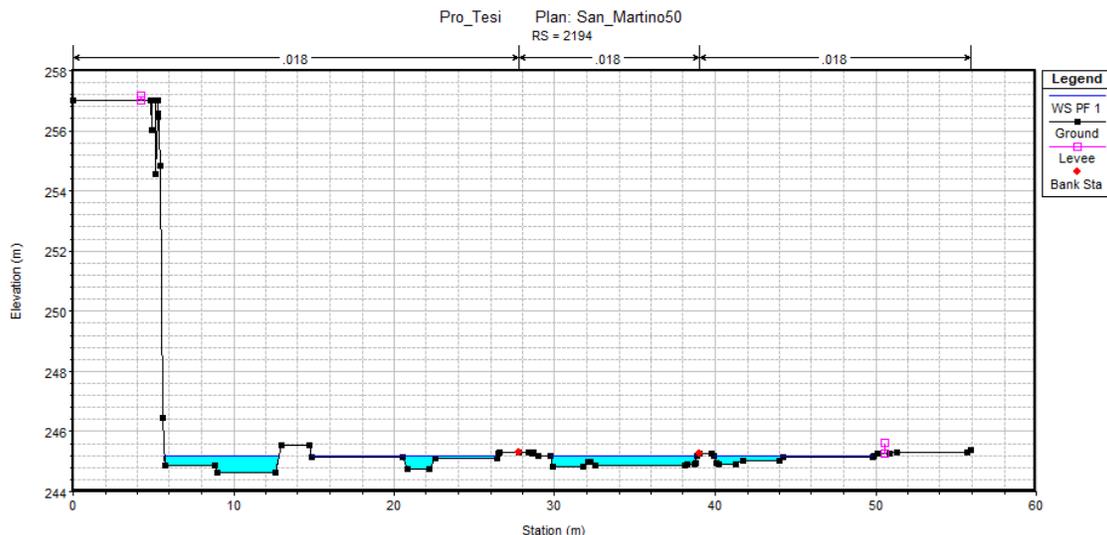
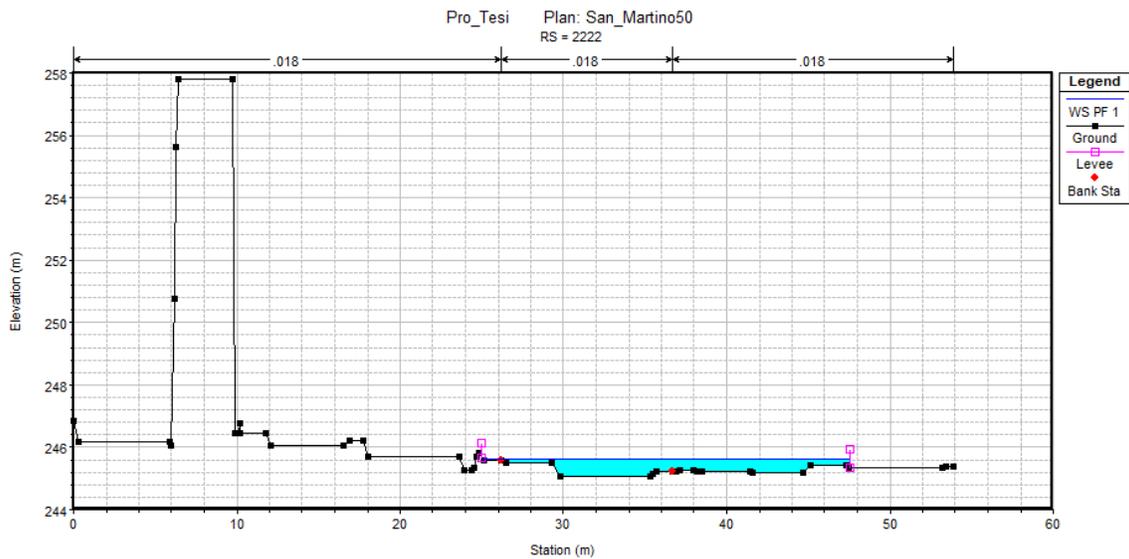
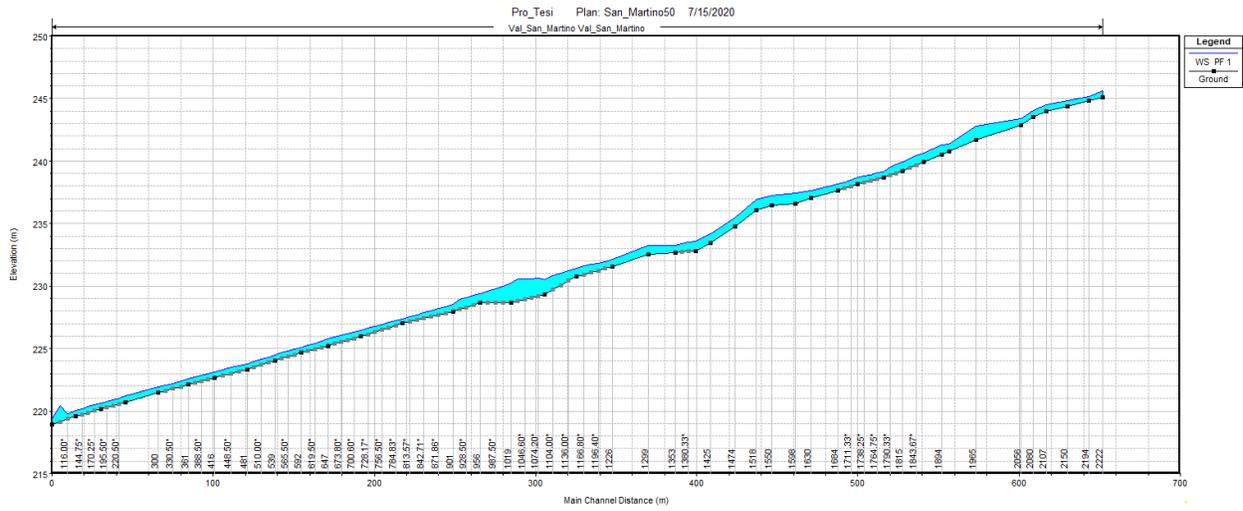


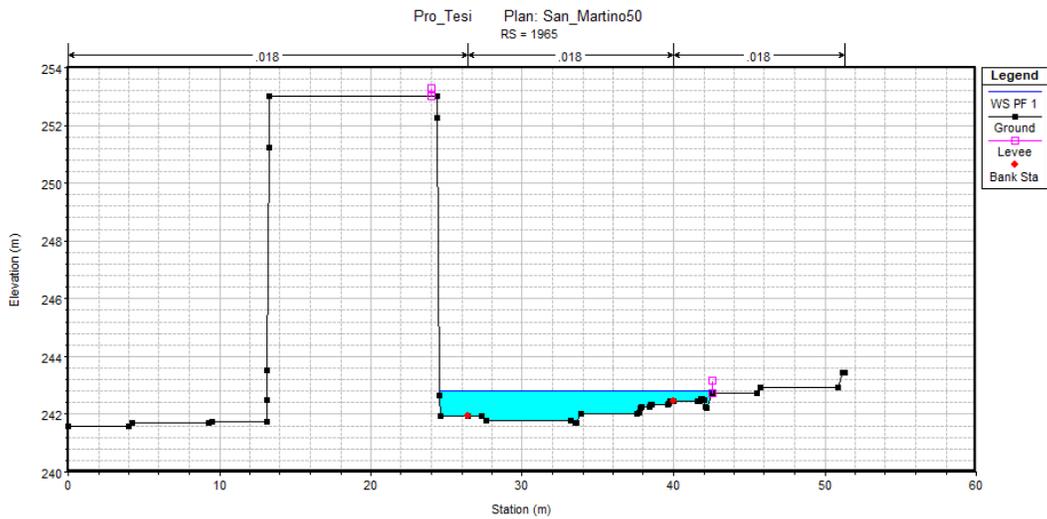
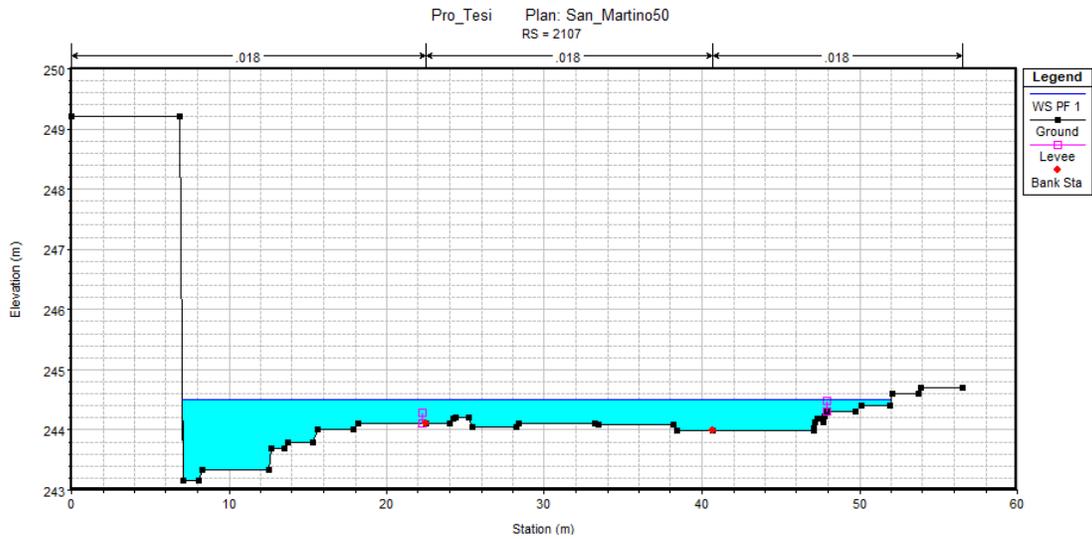
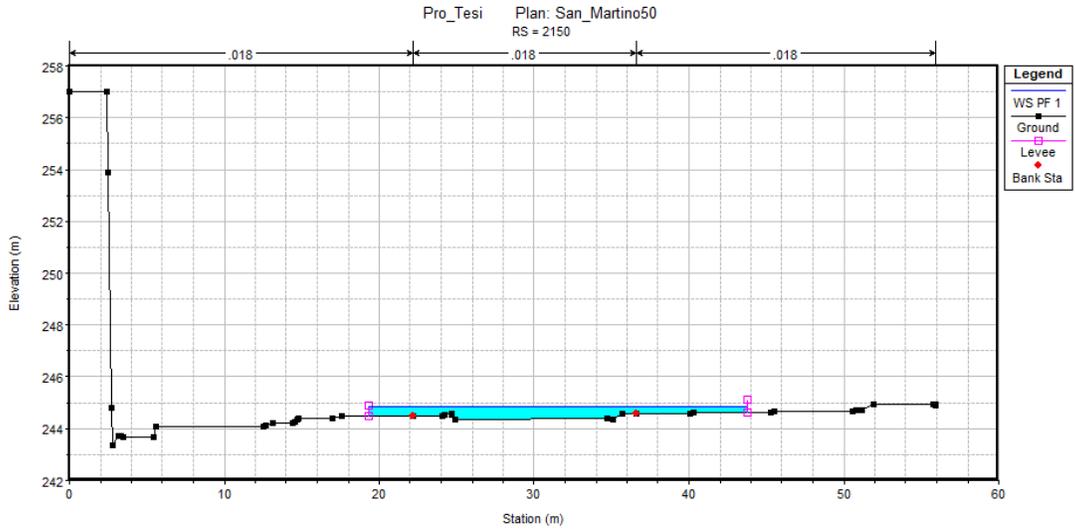


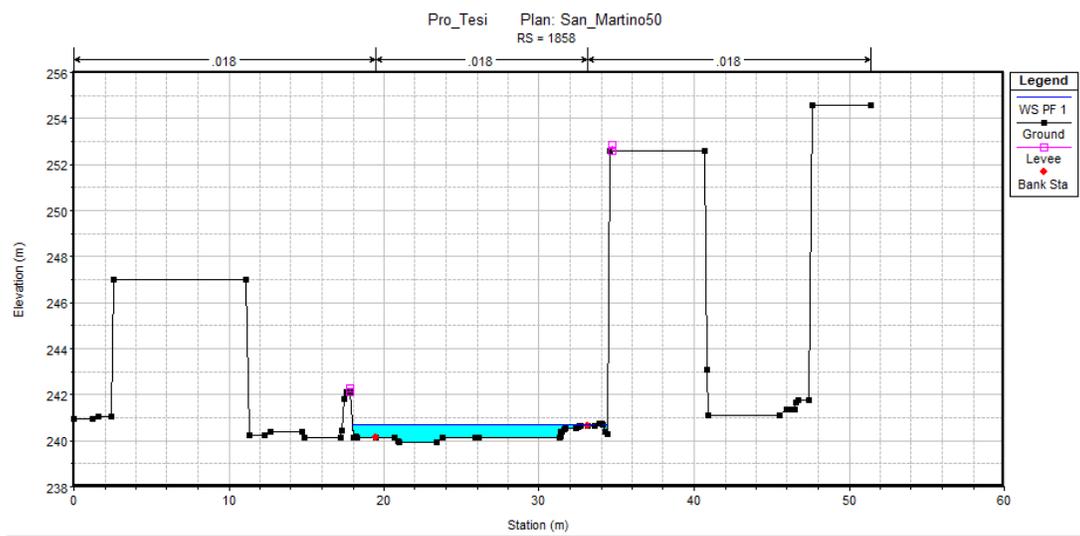
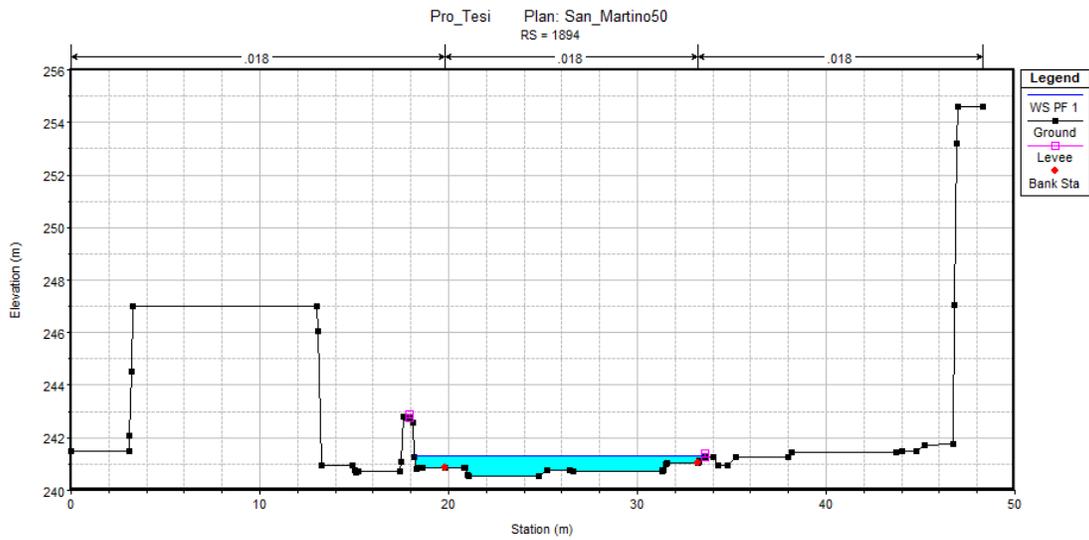
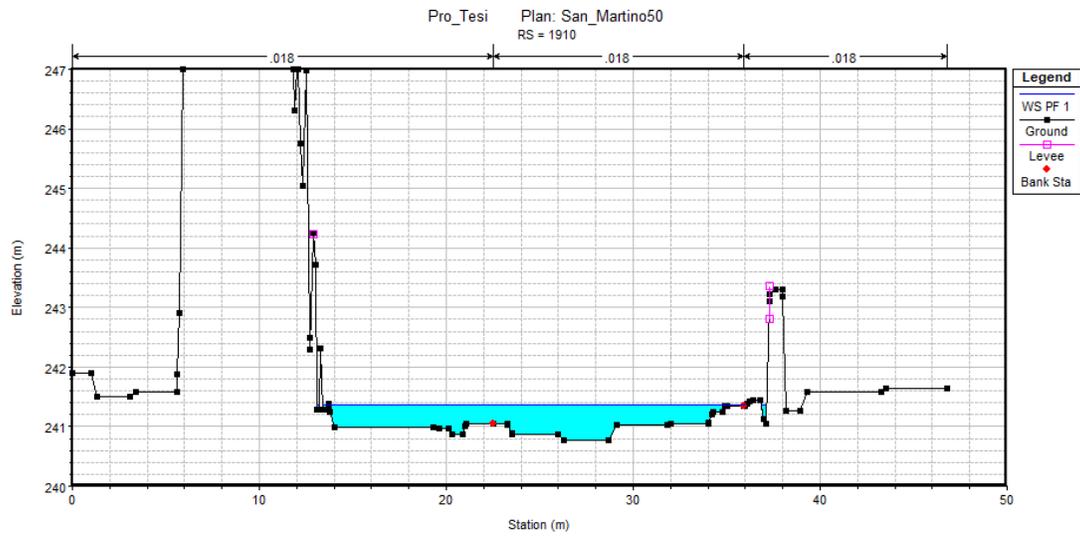
<i>Val Salice</i>										
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
3975	PF 1	50	263.05	263.57	264.08	0.040529	6.97	8.03	19.21	3.16
3948	PF 1	50	262.77	263.94	264.4	0.009271	5.37	10.96	18.18	1.66
3783	PF 1	50	260.26	260.87	261.32	0.069782	7.23	7.5	24.44	3.87
3721	PF 1	50	259.27	259.97	260.52	0.044893	6.78	7.52	17.34	3.19
3640	PF 1	50	257.84	258.58	259.14	0.044945	7.05	7.17	15.4	3.24
3558	PF 1	50	256.64	257.22	257.8	0.057619	7.38	6.94	16.01	3.55
3470	PF 1	50	255.82	256.47	256.95	0.036481	6.5	7.91	16.02	2.9
3358	PF 1	50	254.27	255.04	255.57	0.033073	6.73	7.5	13.21	2.82
3299	PF 1	50	253.8	254.45	254.88	0.058965	6.55	8	24.29	3.48
3245	PF 1	50	253.16	253.64	254.11	0.046429	6.69	7.93	20.55	3.25
3172	PF 1	50	252.39	253.1	253.59	0.026845	6.19	8.29	14.26	2.57
3106	PF 1	50	251.33	251.96	252.33	0.044619	6.69	7.81	20.15	3.16
3050	PF 1	50	250.84	251.49	251.96	0.039614	6.11	8.33	19.78	2.98
2996	PF 1	50	250.45	250.96	251.34	0.041586	5.74	9.12	28.06	3
2928	PF 1	50	249.56	250.02	250.43	0.04545	5.76	8.78	25.64	3.13
2838	PF 1	50	248.01	248.55	249	0.042359	6.38	8.22	21.78	3.09
2766	PF 1	50	246.84	247.46	248	0.036248	6.82	7.63	14.68	2.95
2698	PF 1	50	245.92	246.66	247.28	0.028539	6.92	7.37	10.94	2.67
2645	PF 1	50	244.95	245.89	246.68	0.032261	7.33	7.02	10.15	2.71
2584	PF 1	50	243.69	244.23	244.84	0.082485	8.19	6.23	17.25	4.23
2491	PF 1	50	242.17	242.76	243.31	0.054352	7.47	7	17.76	3.53
2437	PF 1	50	241.7	242.18	242.68	0.061892	7.07	7.5	22.63	3.68

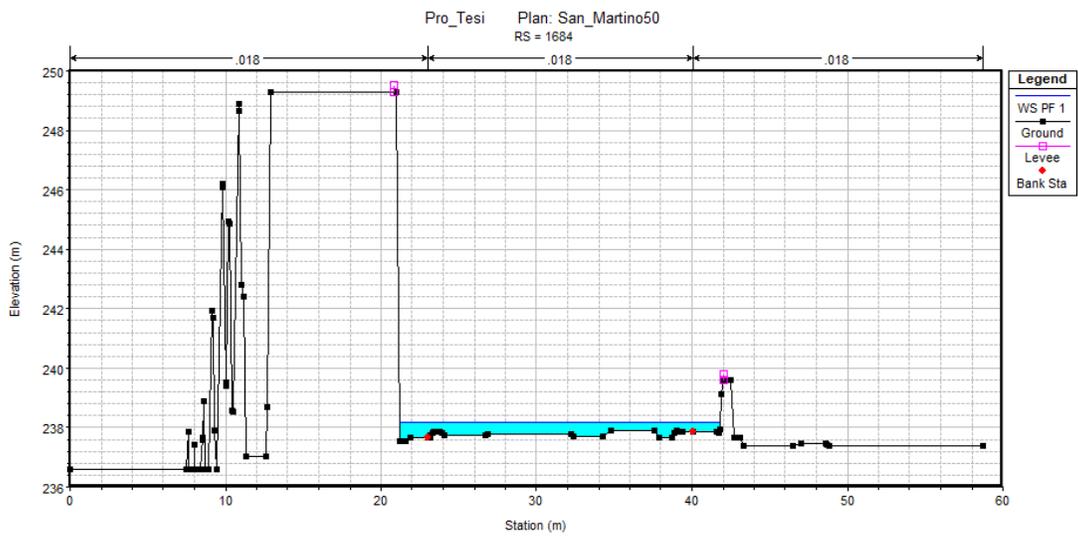
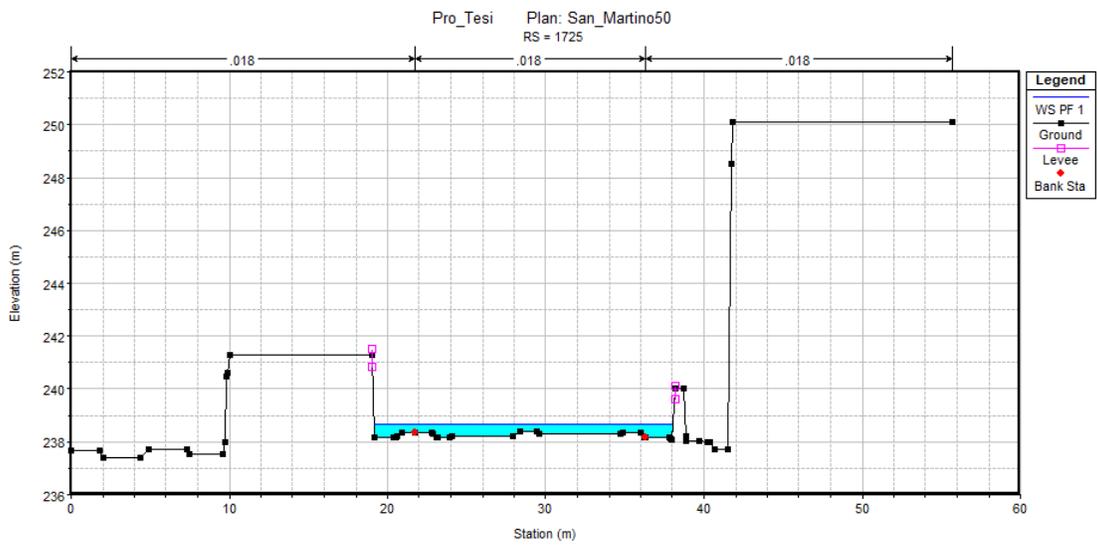
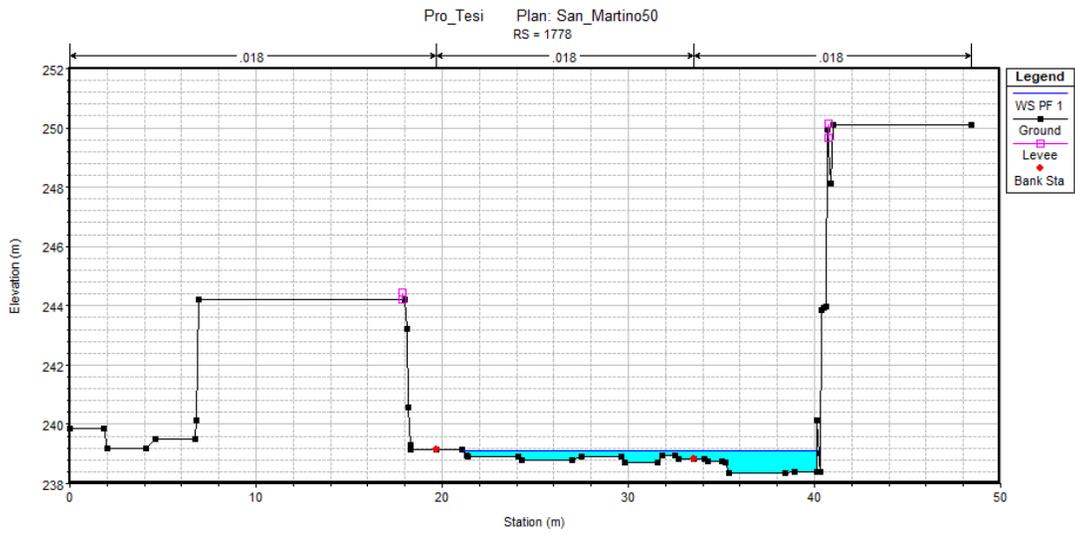
<i>Val Salice</i>										
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2366	PF 1	50	240.61	241.32	241.79	0.044857	6.53	8.02	19.77	3.14
2260	PF 1	50	239.76	240.36	240.8	0.032347	6.11	8.8	20.48	2.78
2160	PF 1	50	237.49	238.2	238.68	0.066104	6.9	7.25	20.49	3.7
2078	PF 1	50	236.33	236.92	237.42	0.046595	6.68	7.49	17.48	3.26
2006	PF 1	50	235.45	235.98	236.49	0.043301	6.63	7.67	17.44	3.16
1942	PF 1	50	234.57	235.02	235.44	0.078316	6.96	7.67	27.43	3.94
1878	PF 1	50	233.79	234.51	234.96	0.027739	5.79	8.7	17.25	2.55
1809	PF 1	50	234.05	235.29	234.9	0.000579	1.43	42.89	49.06	0.43
1735	PF 1	50	233.98	235.26	234.66	0.000443	1.33	42.77	40.97	0.39
1672	PF 1	50	233.68	234.85	234.85	0.003672	3.01	17.61	20.77	1.04
1613	PF 1	50	233.35	234.9	234.06	0.000133	0.75	66	48.34	0.21
1555	PF 1	50	232.99	234.89	233.71	0.000118	0.79	59.02	32.88	0.2
1497	PF 1	50	233.24	234.6	234.3	0.001484	2.48	21.23	16.62	0.71
1405	PF 1	50	232.9	234.2	234.2	0.00319	3.52	15.05	12.84	1.03
1317	PF 1	50	232.5	233.09	233.41	0.039491	5.59	9.89	34.17	2.95
1268	PF 1	50	232.69	233.41	233.58	0.011356	3.35	15.85	43.02	1.63
1216	PF 1	50	233.07	233.33	233.44	0.009452	1.72	19.17	60.62	1.29
1141	PF 1	50	231.73	232.47	232.74	0.012473	4.4	12.04	20.04	1.8
1068	PF 1	50	230.73	231.35	231.77	0.025688	5.73	9.13	18.55	2.53
1031	PF 1	50	230.7	231.29	231.66	0.020776	5.2	10.05	19.64	2.28
890	PF 1	50	228.95	229.56	229.93	0.055552	5.67	8.82	30.4	3.36
854	PF 1	50	228.77	229.39	229.68	0.043034	4.73	10.61	38.86	2.9
820	PF 1	50	228.39	228.89	229.18	0.048666	4.77	10.54	42.79	3.05
758	PF 1	50	227.41	227.8	228.08	0.057162	5.99	10.53	50.98	3.41
674	PF 1	50	227.04	227.72	227.72	0.004192	2.2	22.99	47.43	1
576	PF 1	50	225.55	225.94	226.19	0.048706	4.51	10.92	46.89	3.01
470	PF 1	50	224.91	225.36	225.56	0.022615	3.64	13.85	47.56	2.14
370	PF 1	50	224.25	224.86	225.03	0.017394	3.33	14.9	47.47	1.91
262	PF 1	50	223.52	224.28	223.84	0.000205	0.53	73.92	96.35	0.23
176	PF 1	50	222.63	223.43	223.57	0.013498	3.08	16.22	47.54	1.7
83	PF 1	50	221.6	222.42	222.68	0.026648	4.08	12.14	37.87	2.35

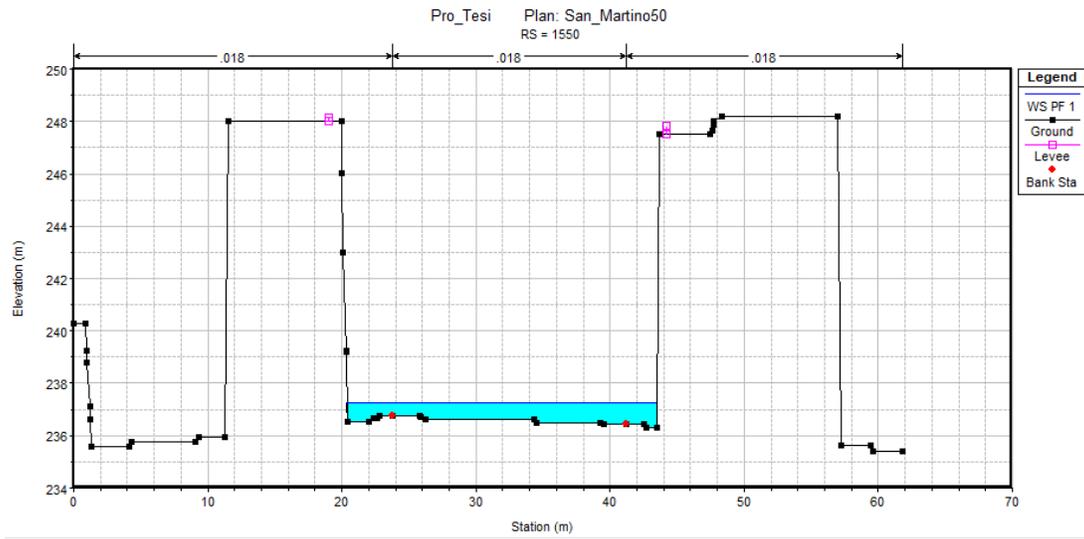
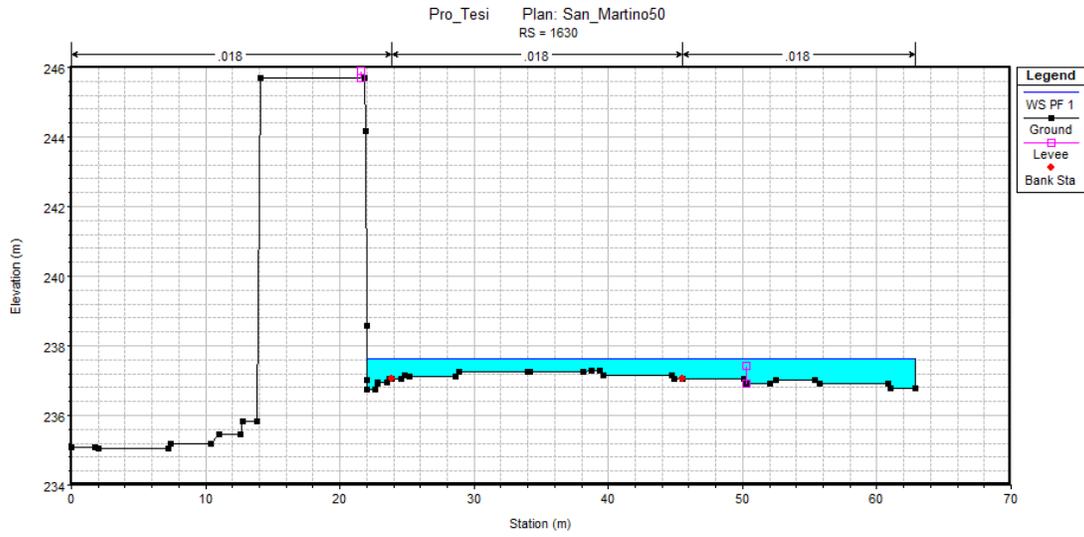
✓ San Martino

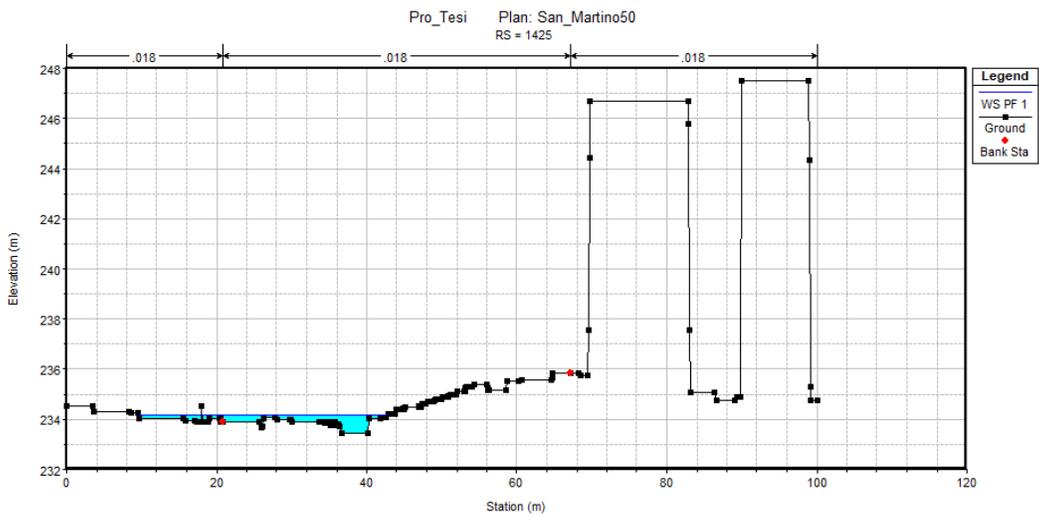
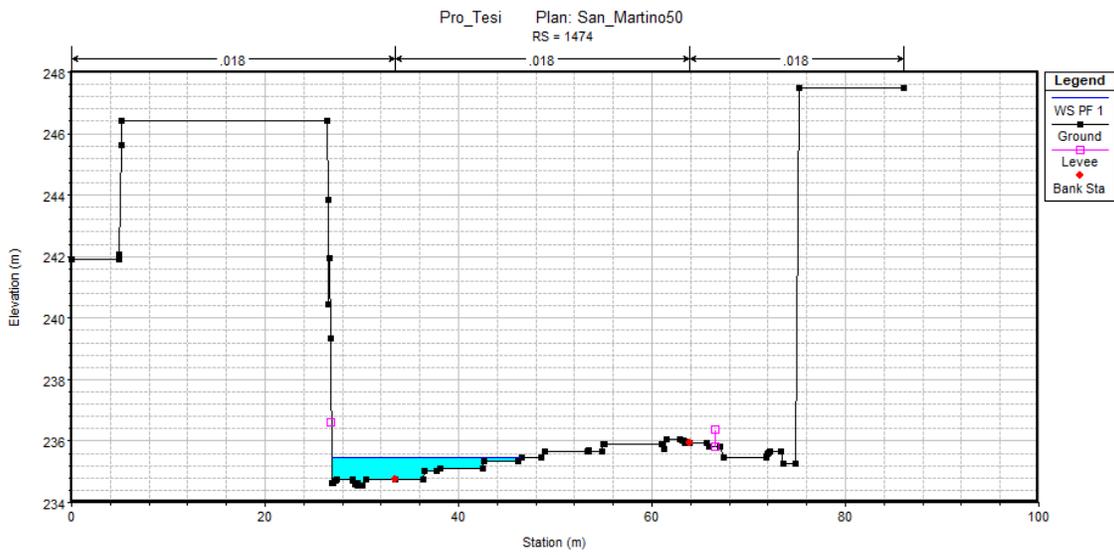
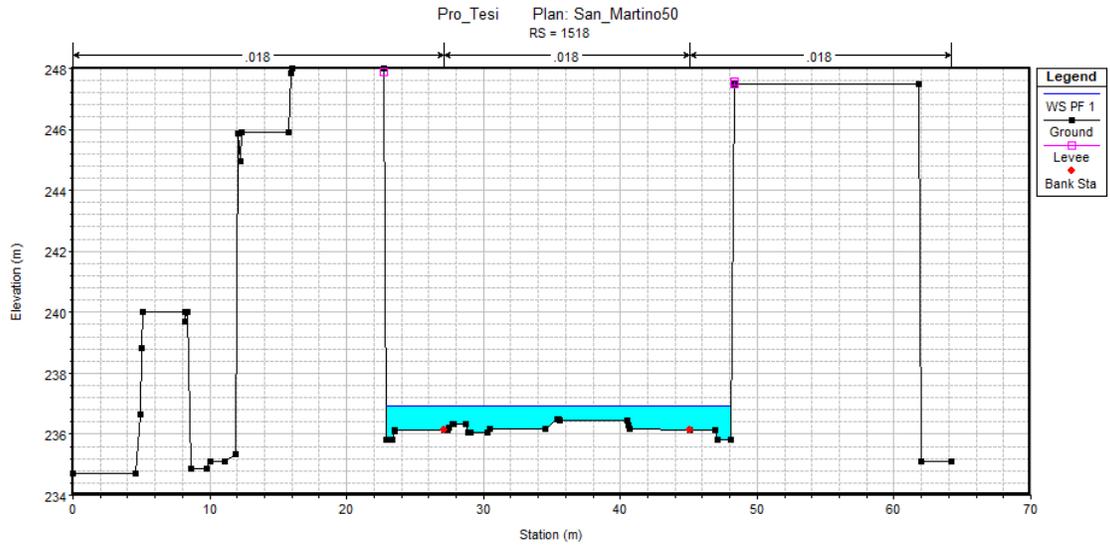


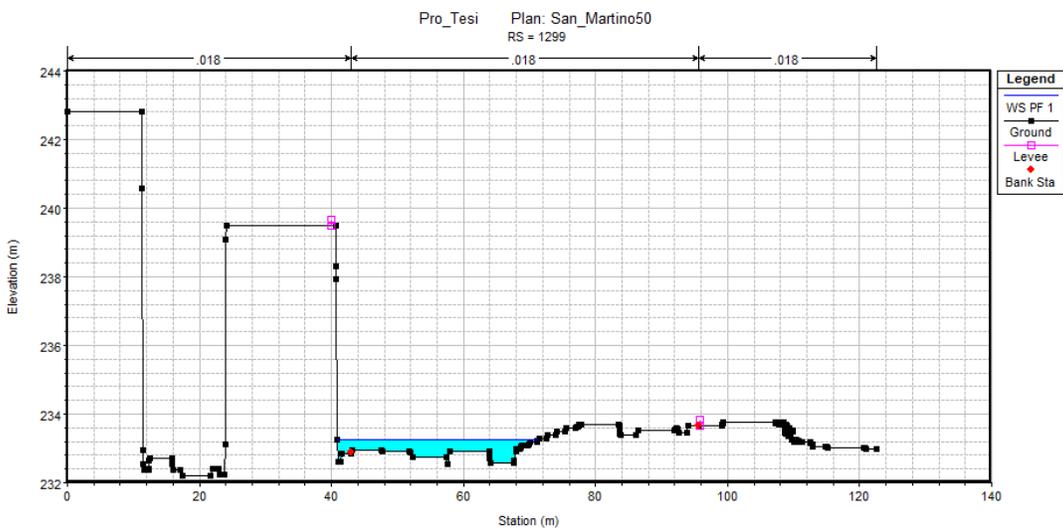
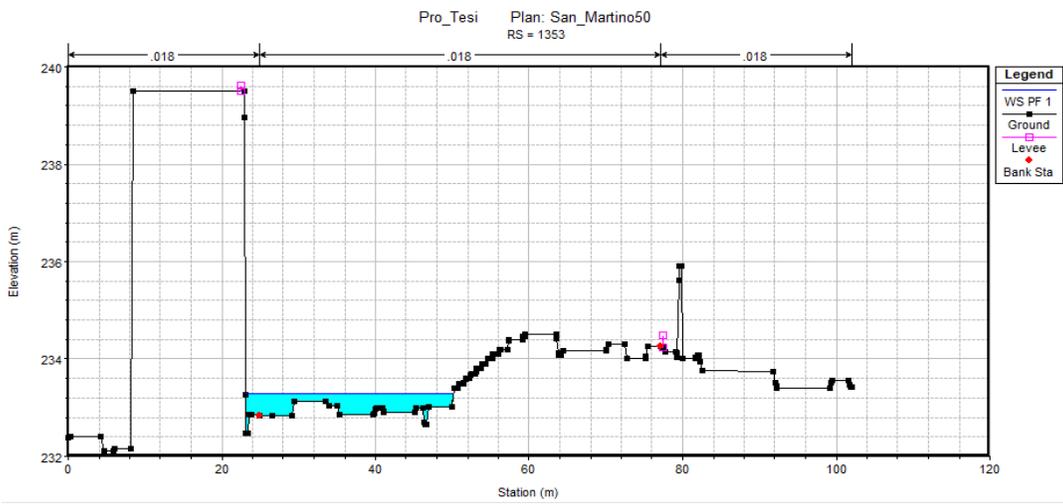
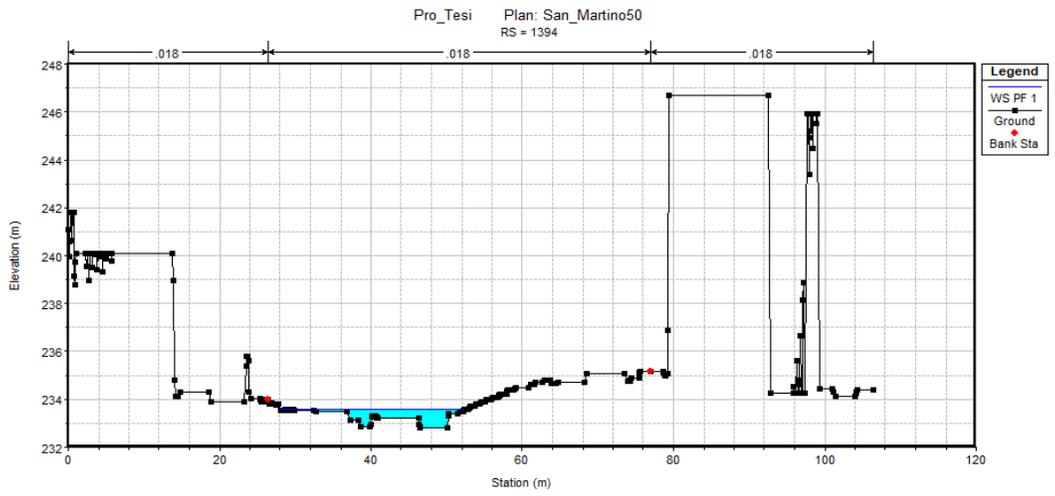


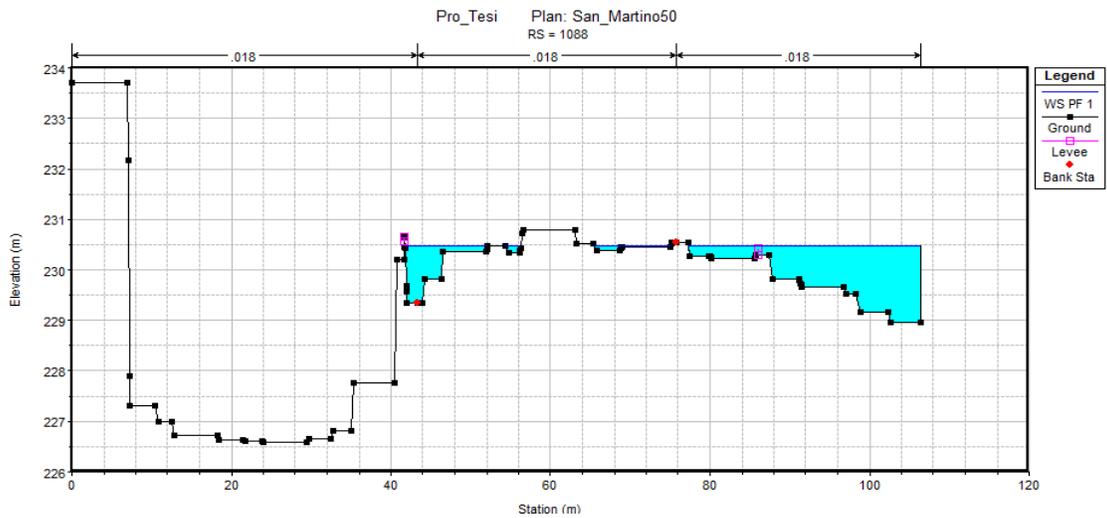
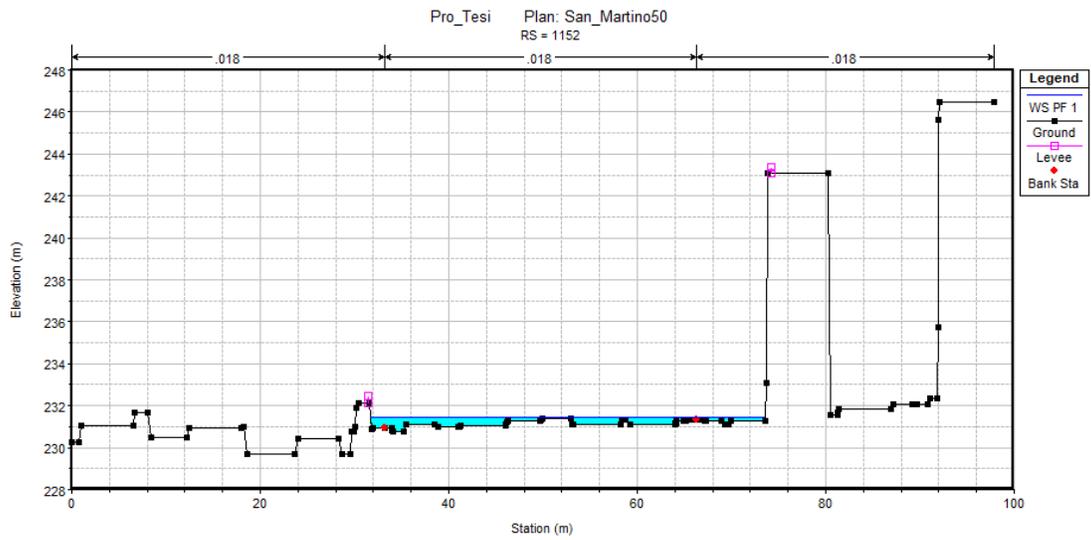
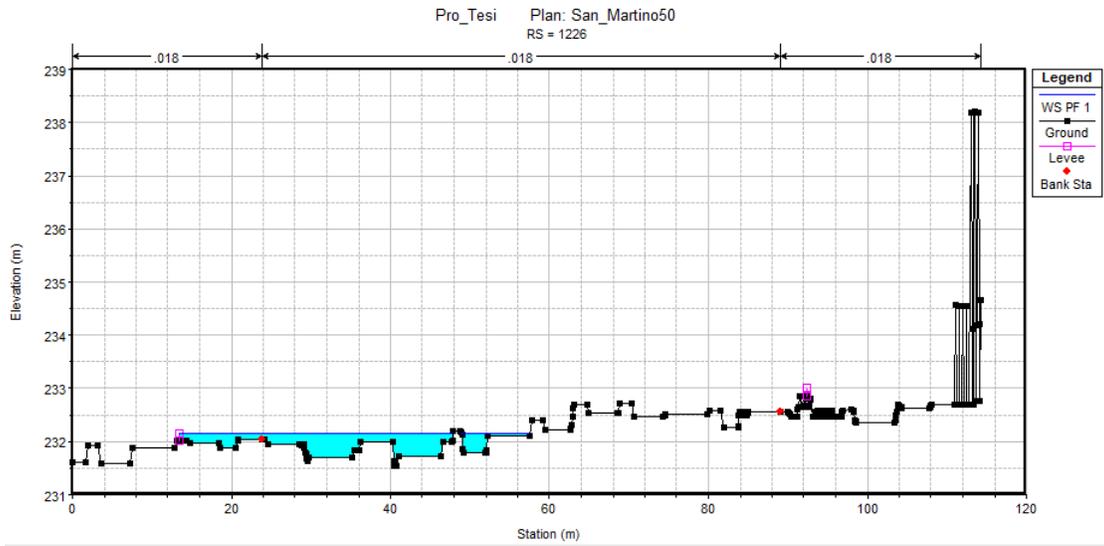


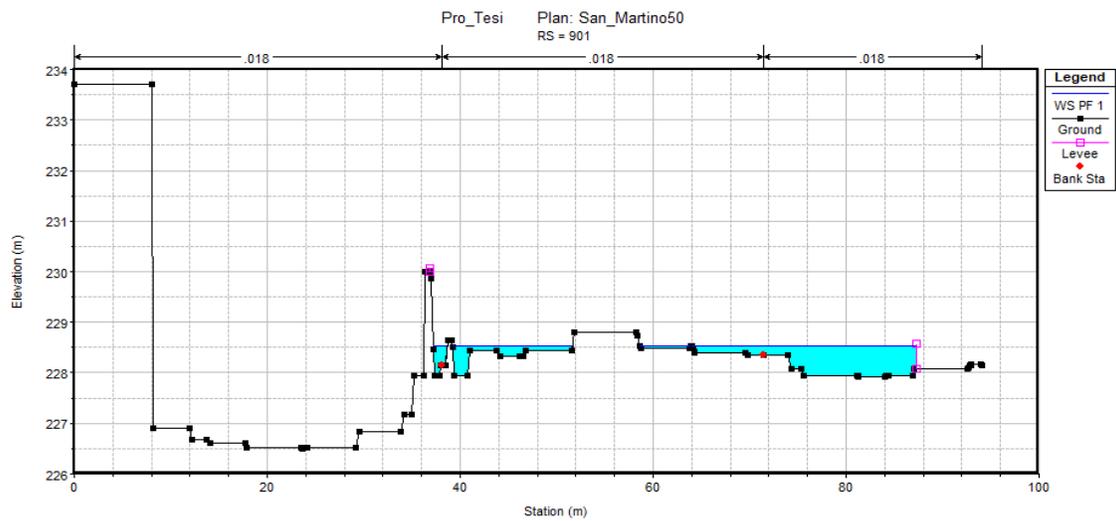
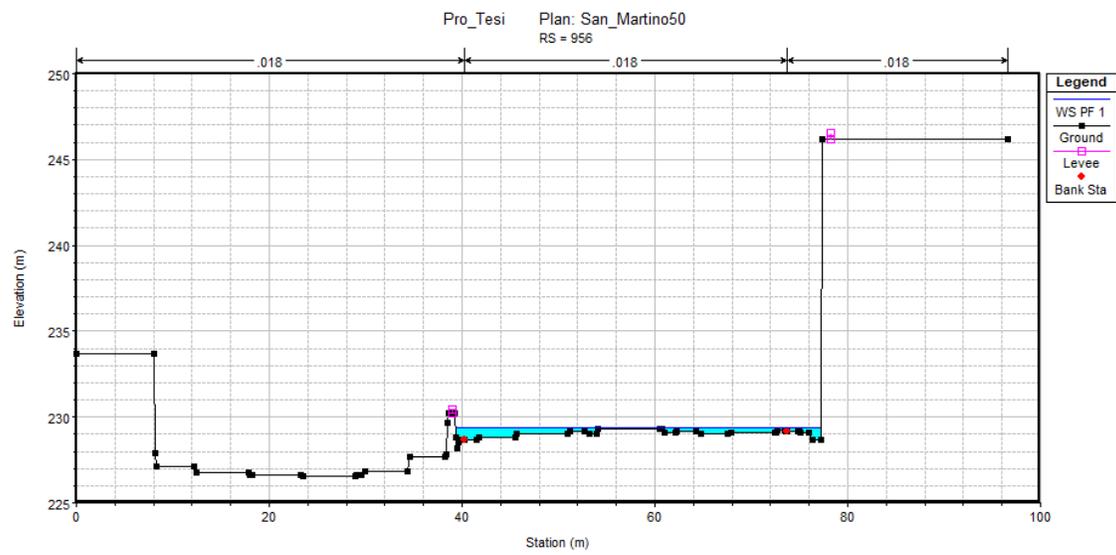
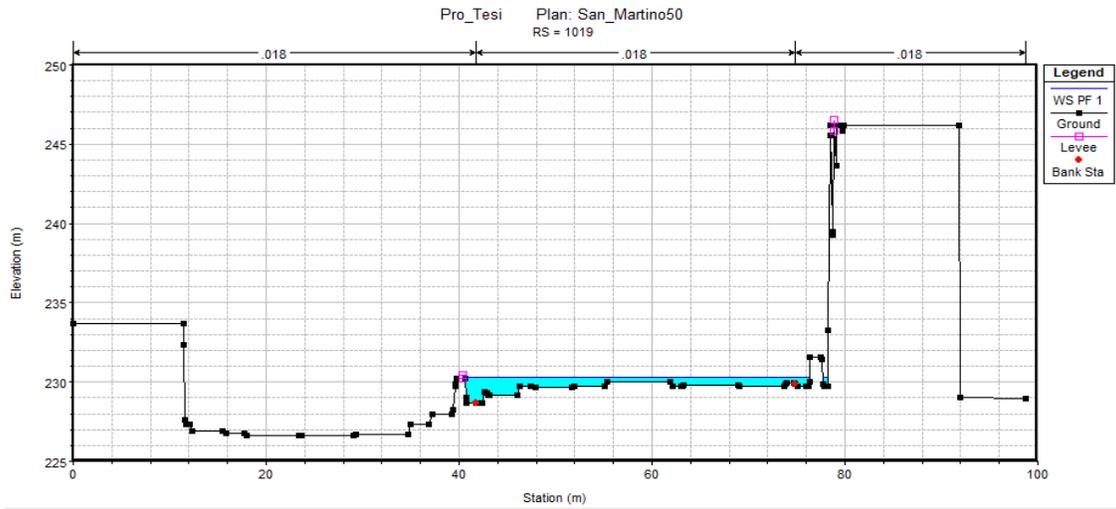


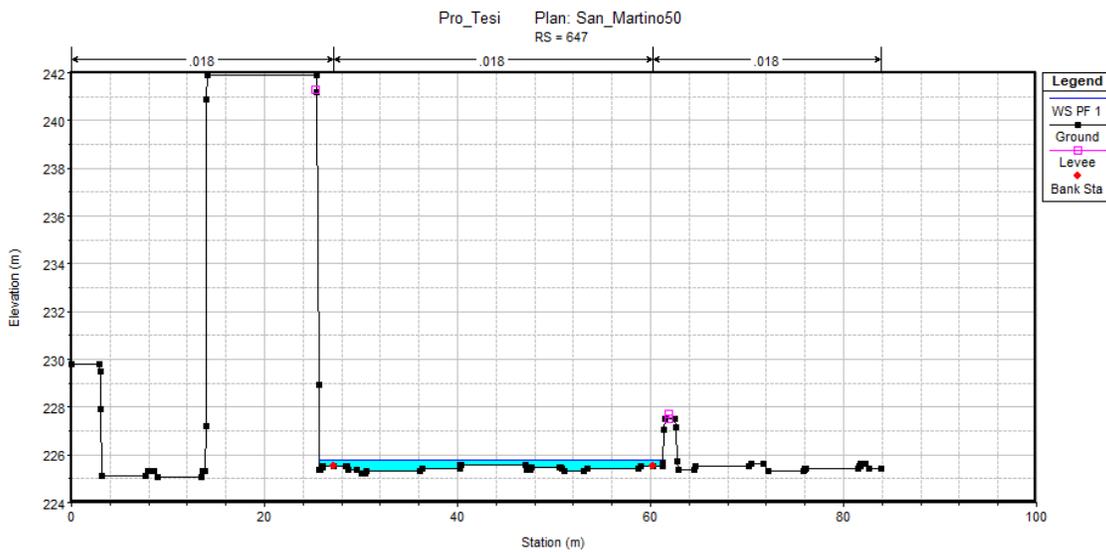
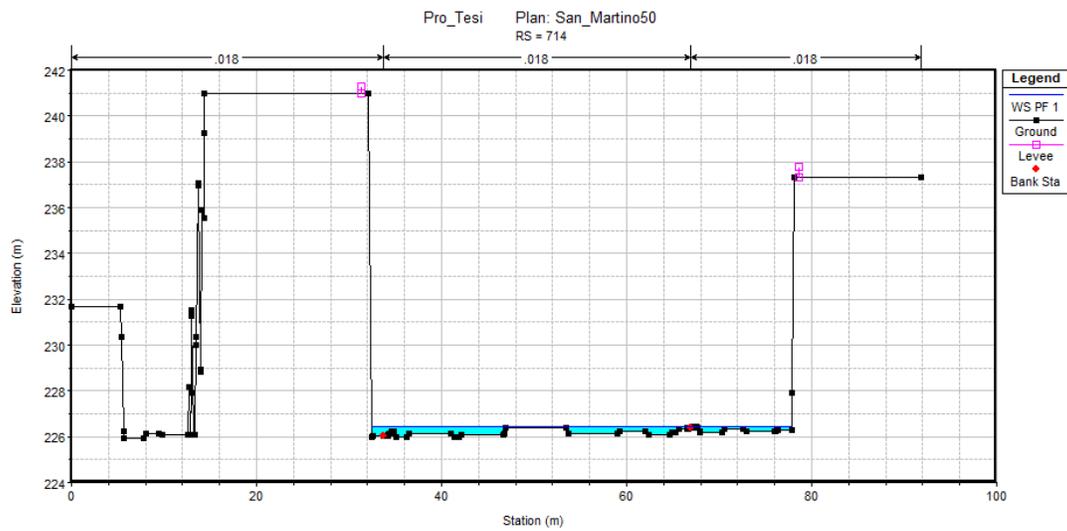
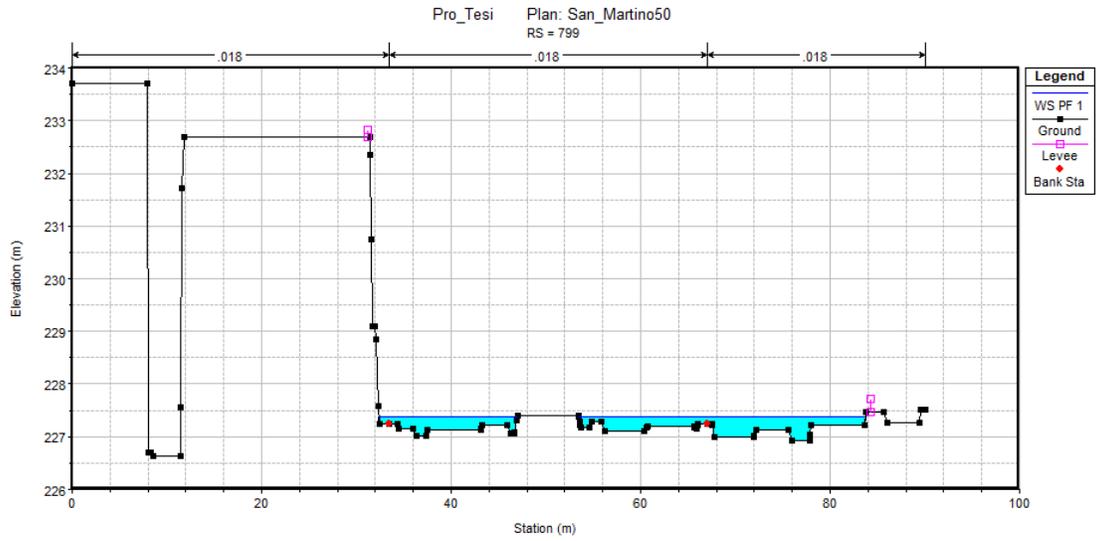


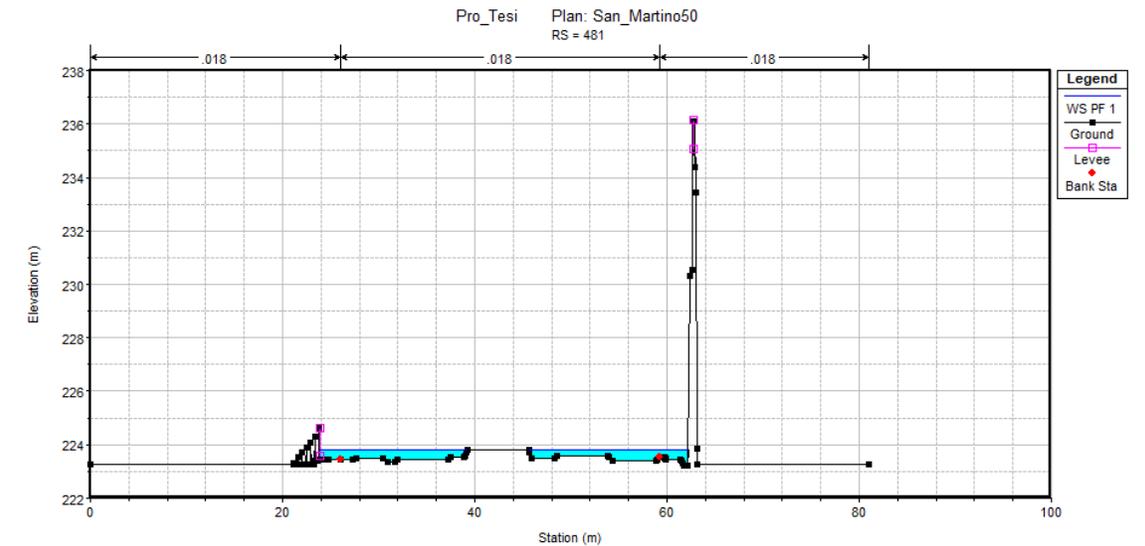
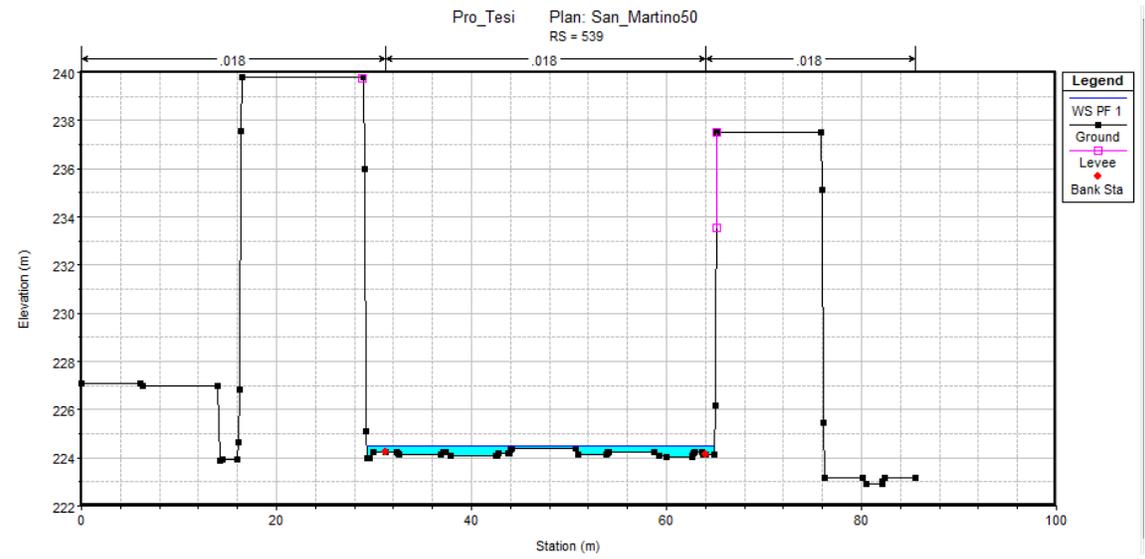
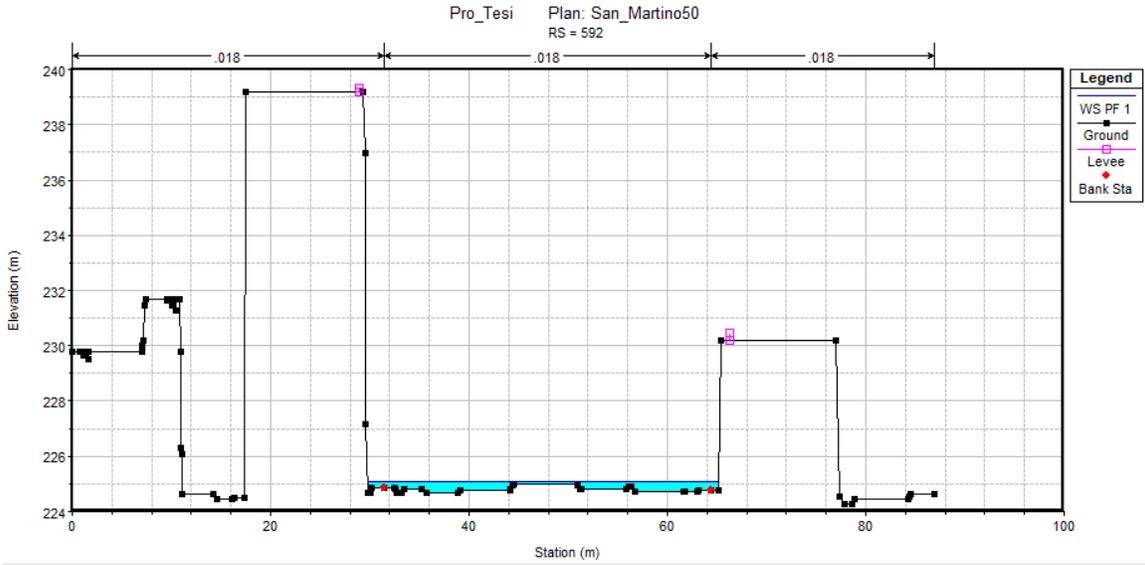


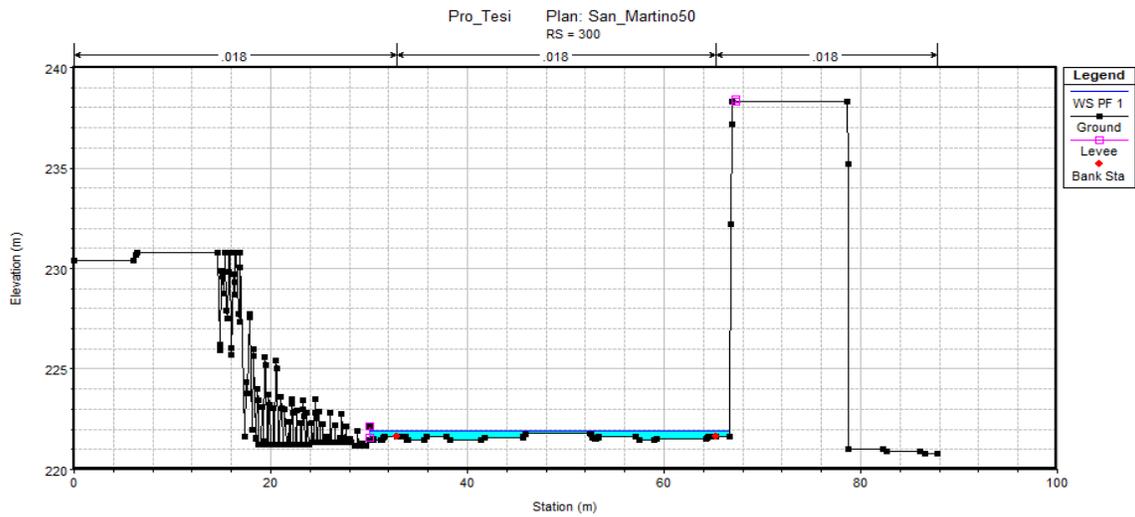
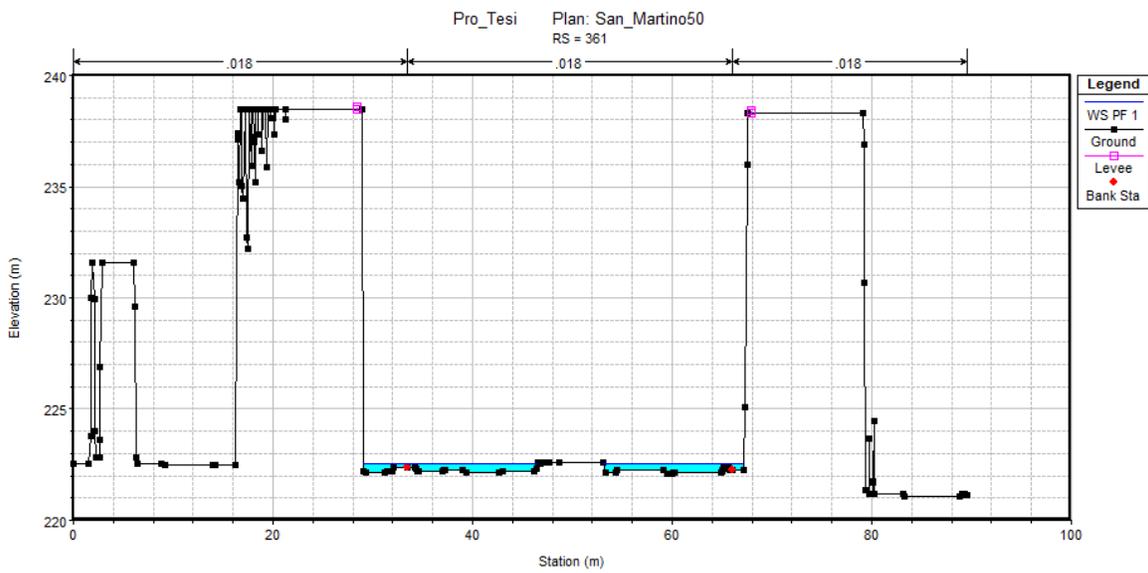
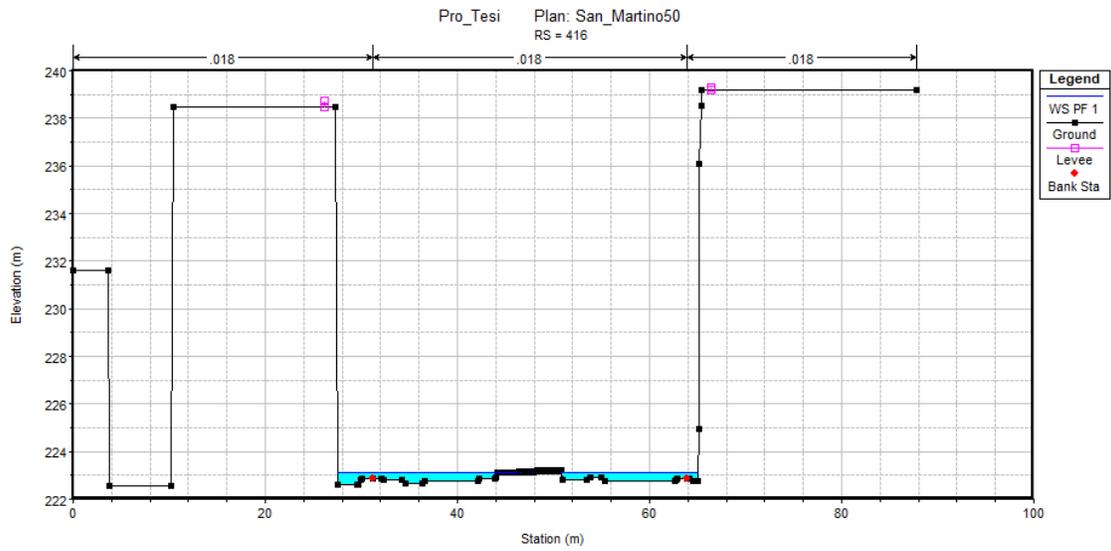


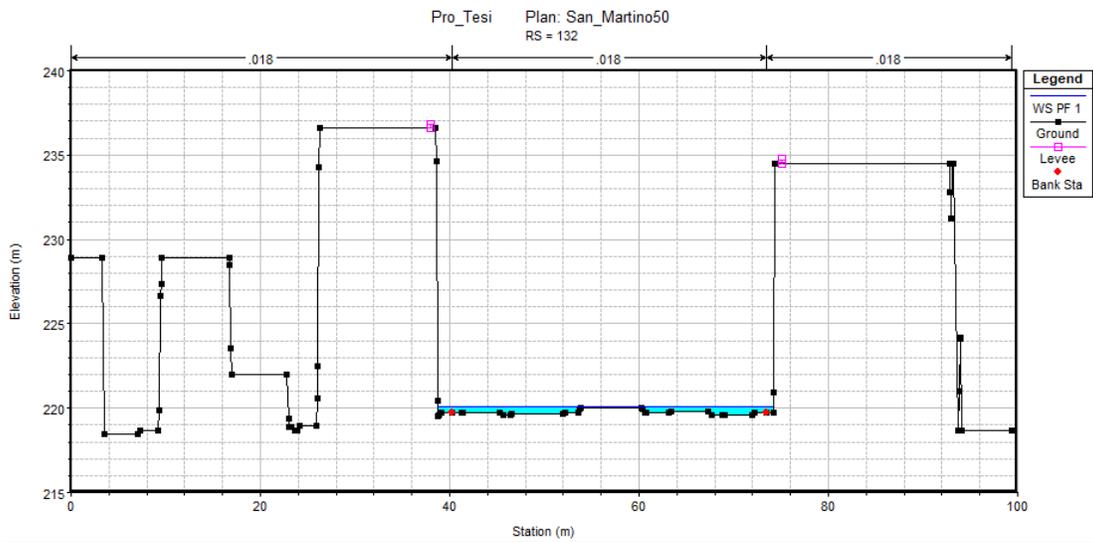
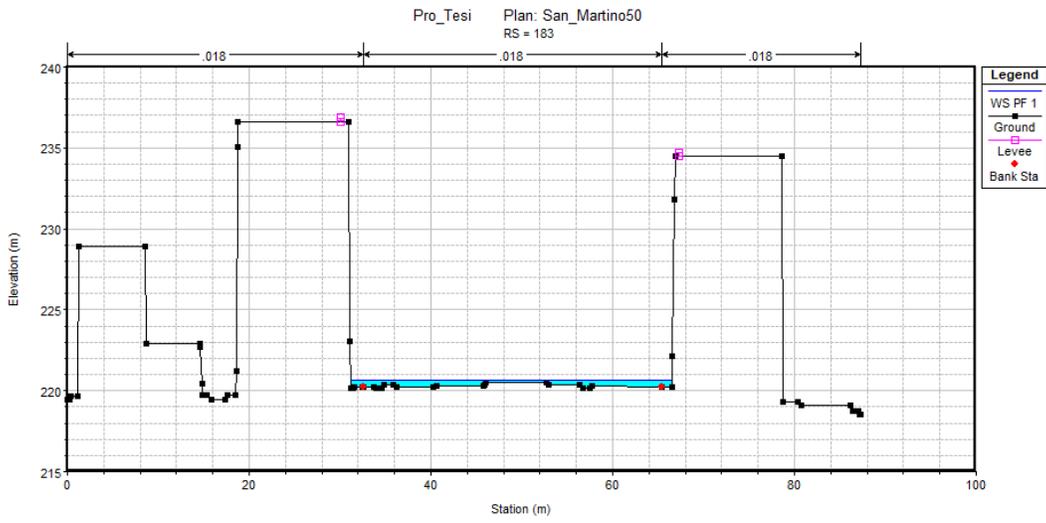
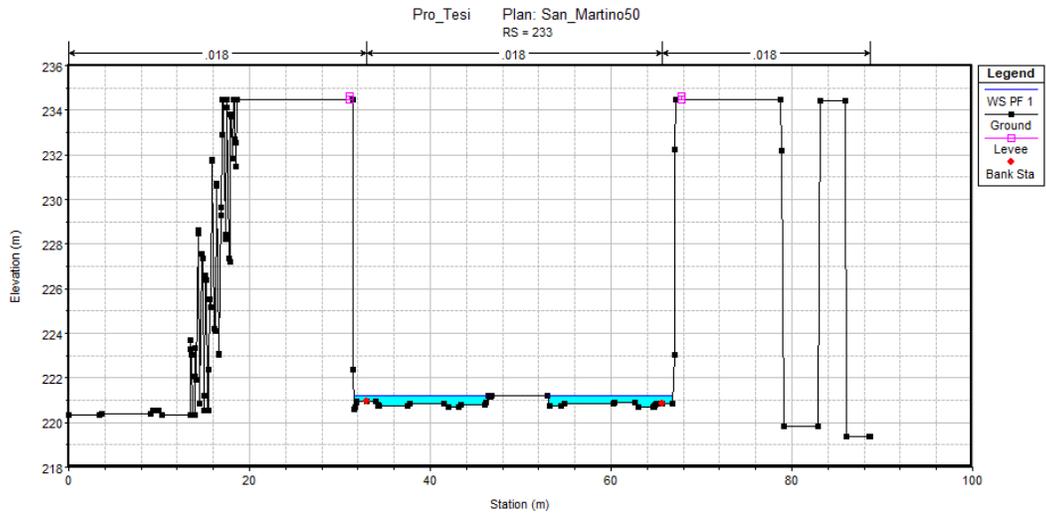


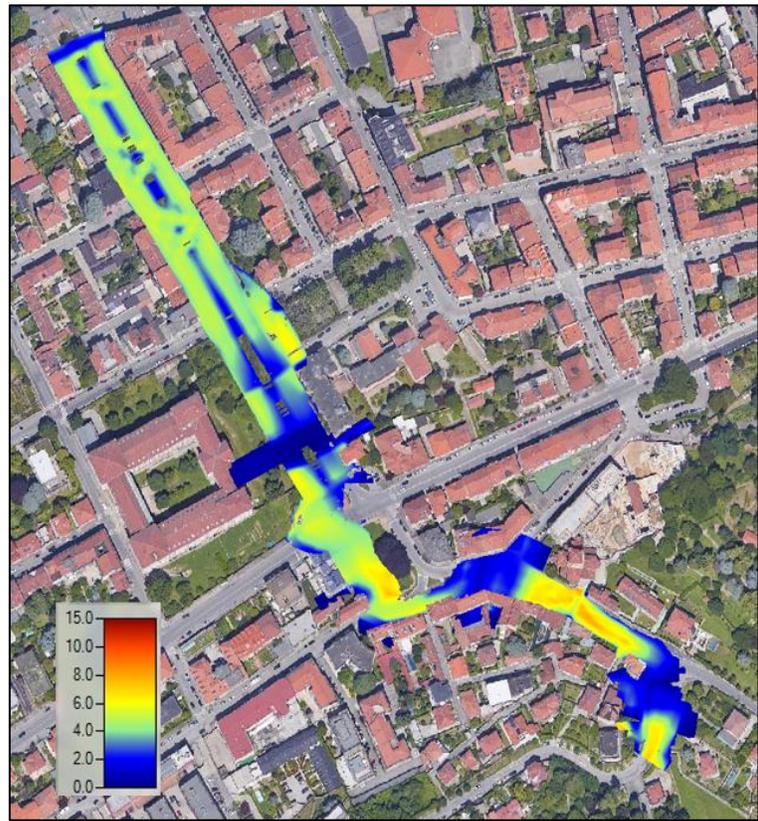
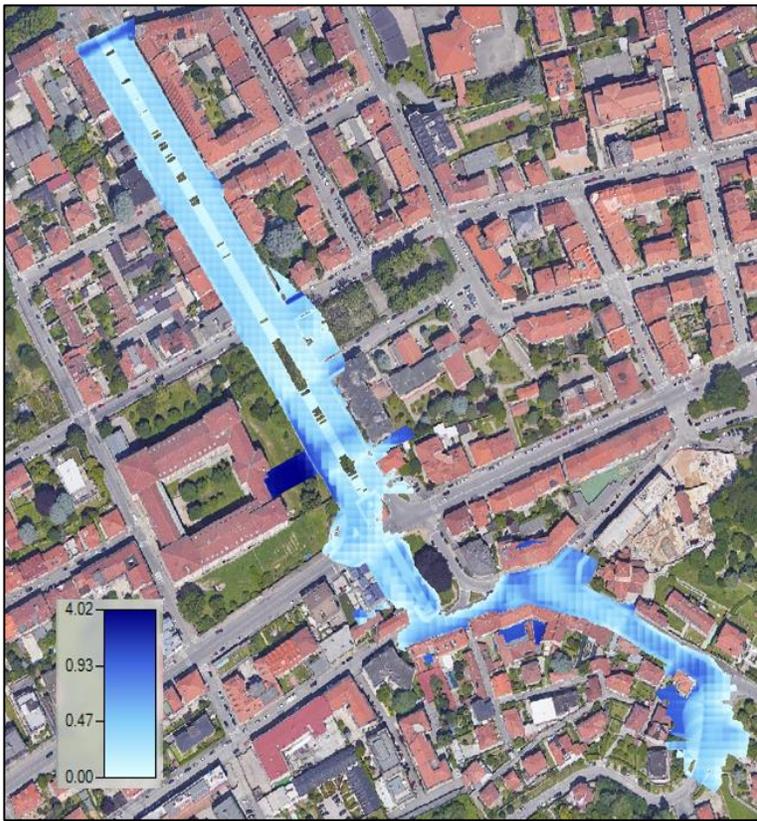
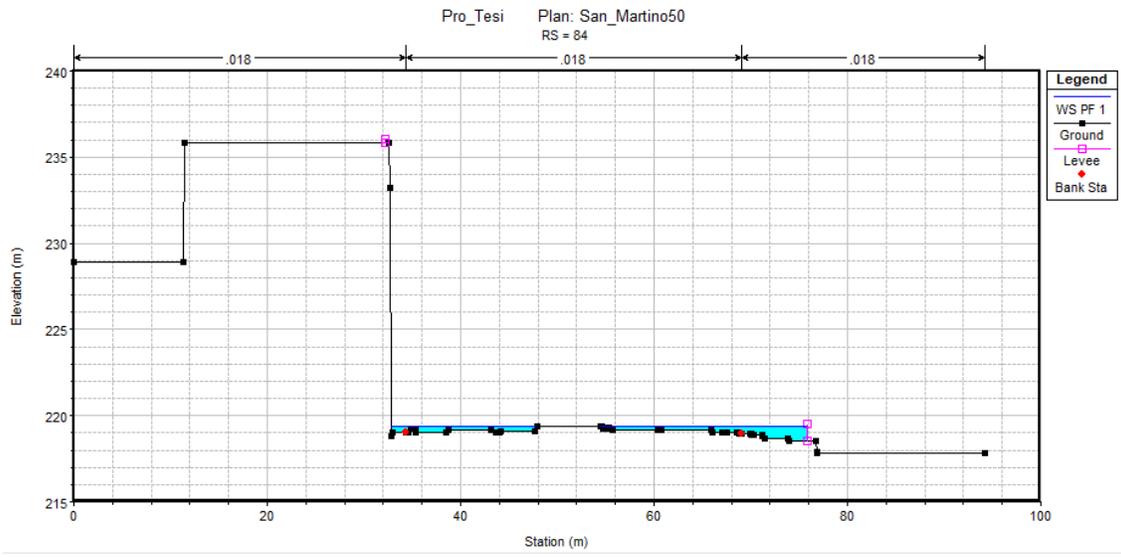








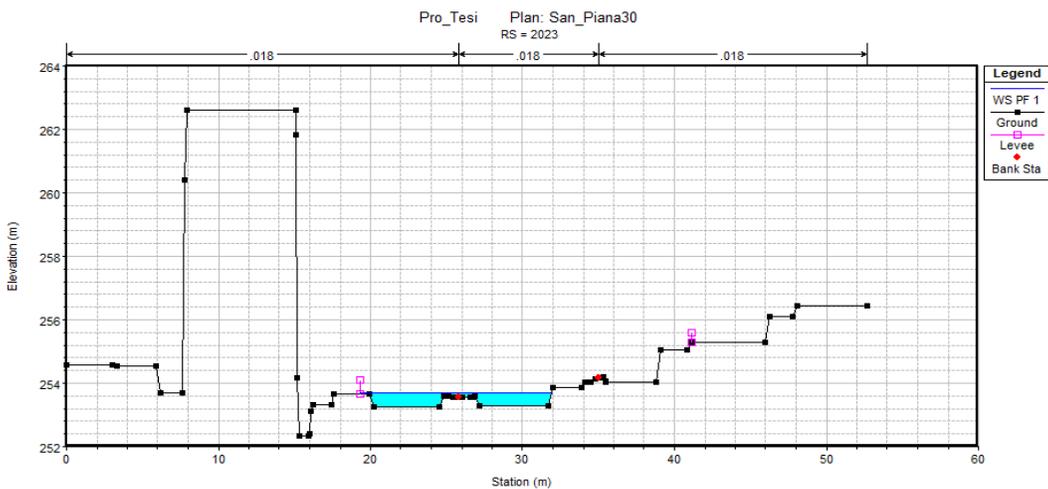
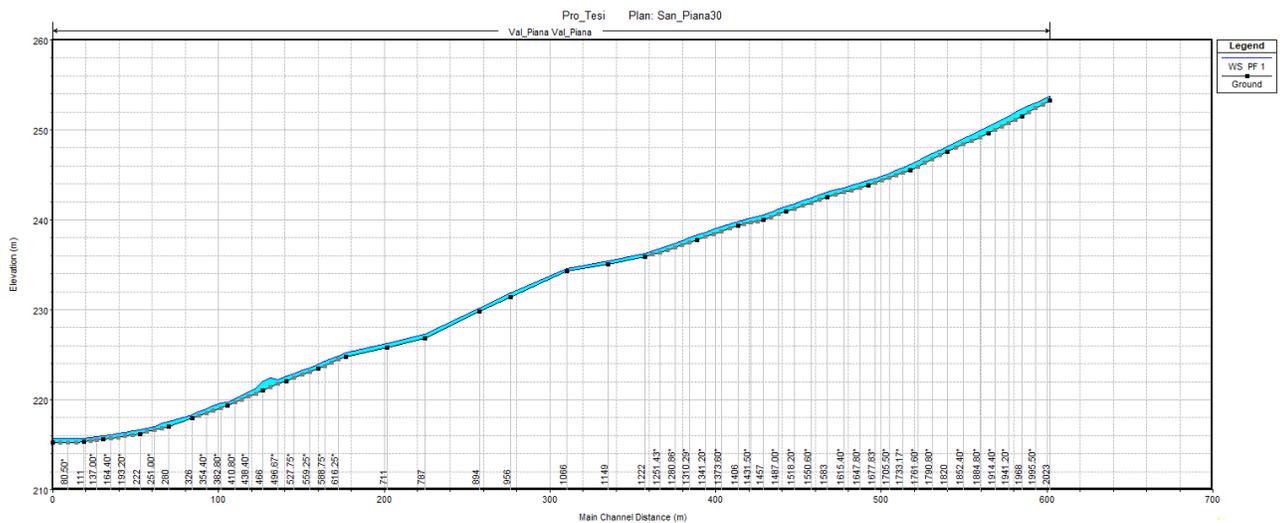


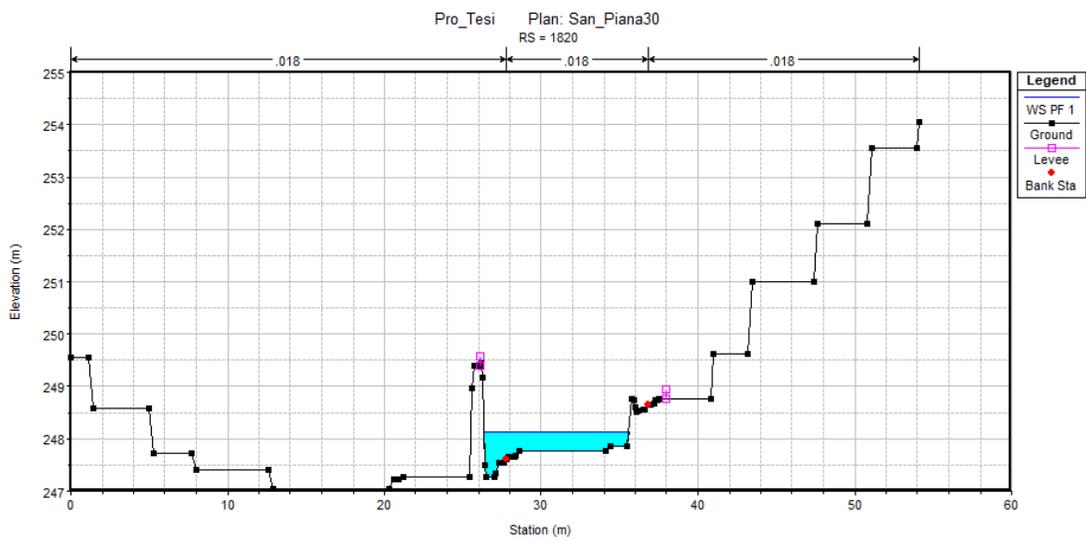
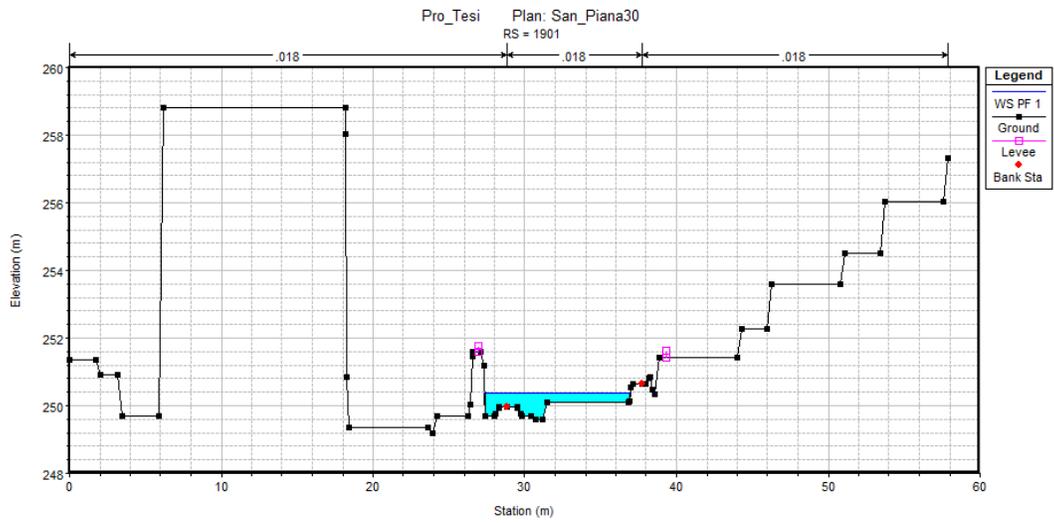
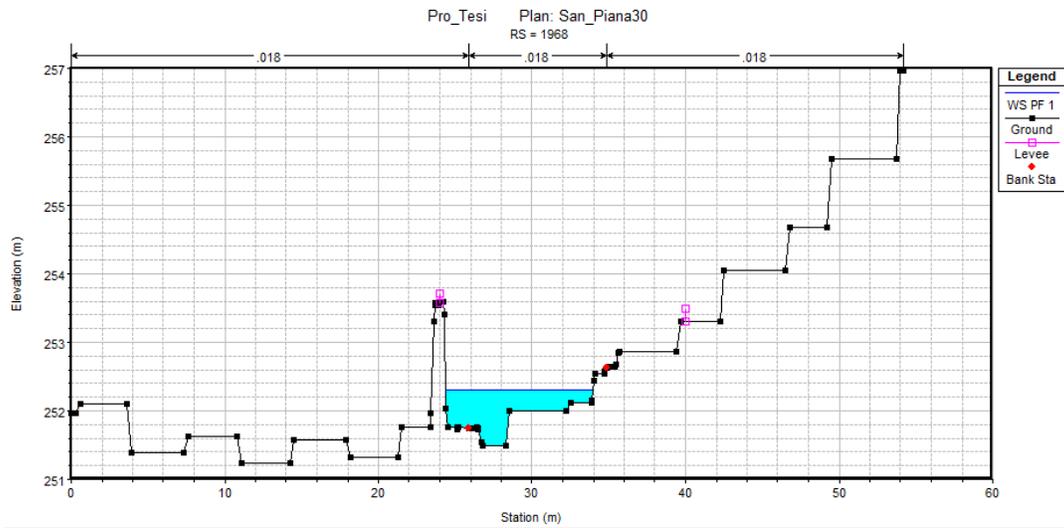


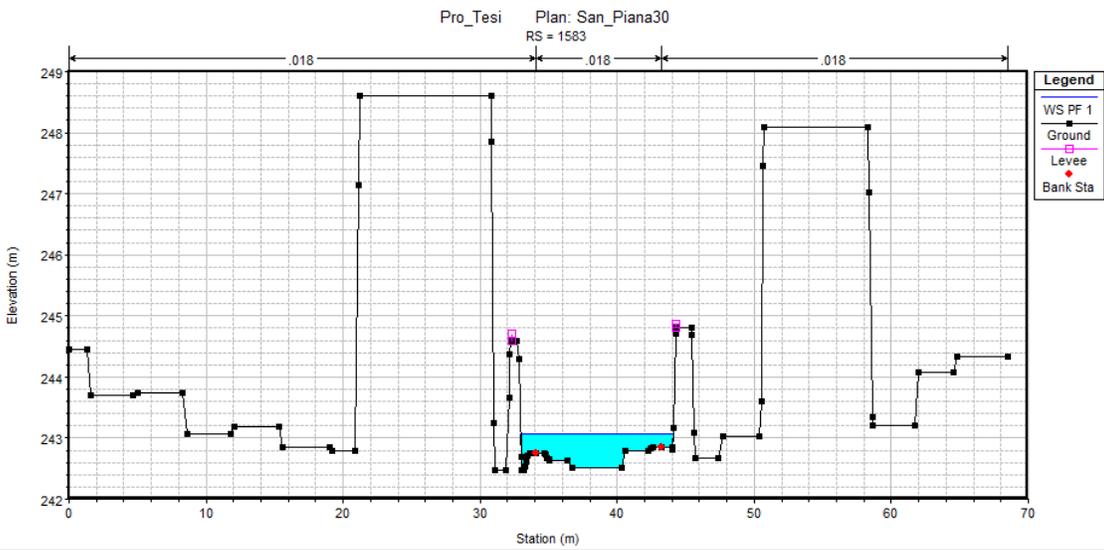
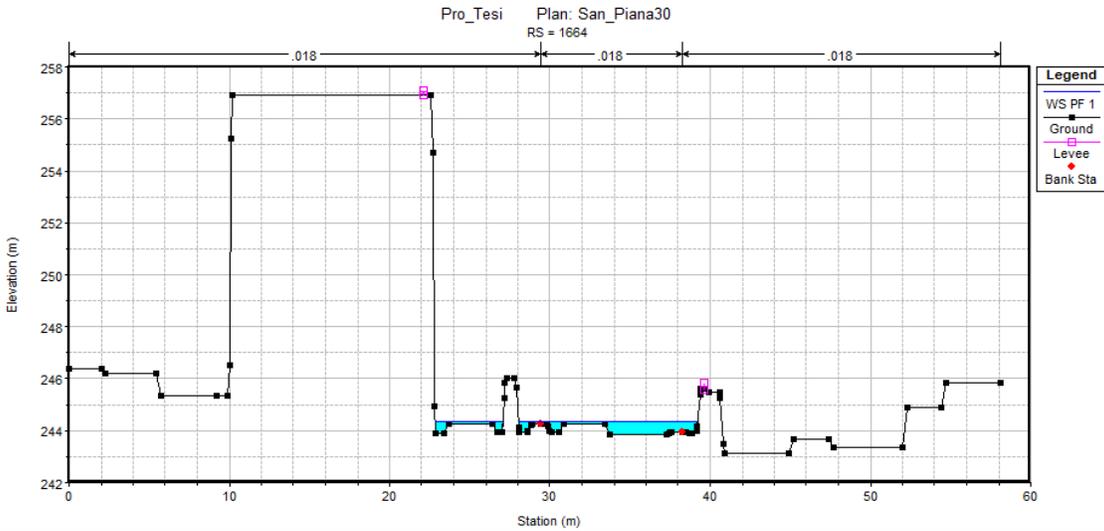
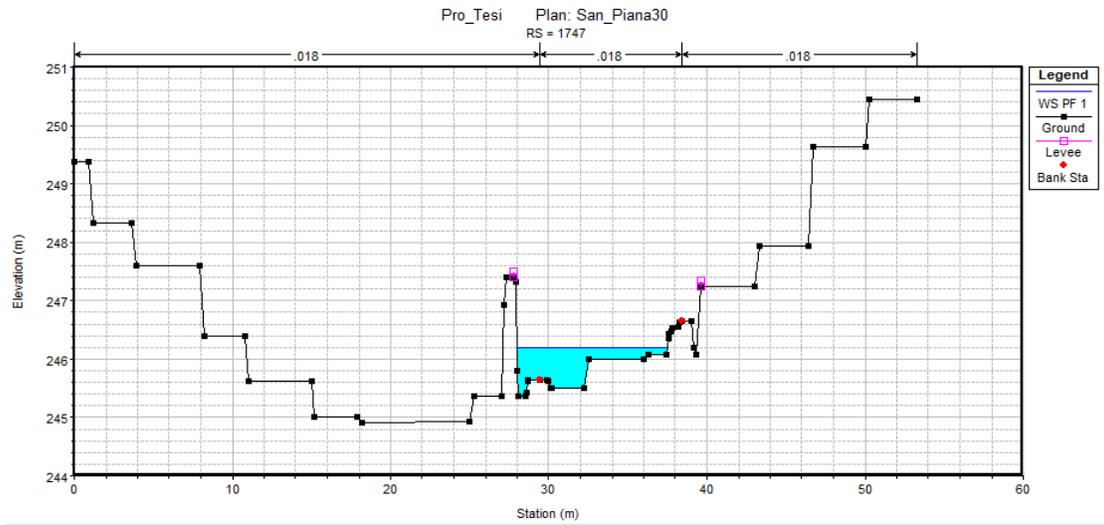
<i>San Martino</i>										
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2222	PF 1	50	245.07	245.63	245.95	0.04408	6.28	8.25	22.47	3.16
2194	PF 1	50	244.85	245.19	245.52	0.062621	6.28	8.54	37.94	3.56
2150	PF 1	50	244.36	244.86	244.91	0.033838	5.91	9.25	24.47	2.83
2107	PF 1	50	243.99	244.51	244.51	0.003236	1.78	24.01	44.95	0.87
2080	PF 1	50	243.54	244.02	244.02	0.002821	1.44	23.86	43.33	0.79
2056	PF 1	50	242.86	243.42	243.42	0.001086	0.65	30.94	42.85	0.45
1965	PF 1	50	241.69	242.8	242.96	0.005923	3.76	14.05	18.09	1.3
1910	PF 1	50	240.77	241.36	241.78	0.045245	6.05	8.36	23	3.16
1894	PF 1	50	240.54	241.33	241.79	0.022975	5.84	8.8	15.42	2.42
1858	PF 1	50	239.92	240.67	241.18	0.032186	6.37	8.03	16.01	2.8
1815	PF 1	50	239.2	239.89	240.42	0.040831	6.87	7.62	16.72	3.14
1778	PF 1	50	238.71	239.12	239.61	0.045041	4.85	7.61	19.09	2.98
1725	PF 1	50	238.15	238.68	239.16	0.044175	6.32	7.96	18.9	3.17
1684	PF 1	50	237.65	238.17	238.62	0.044846	6.16	8.17	20.63	3.16
1630	PF 1	50	237.04	237.62	237.62	0.003817	1.94	22.43	40.9	0.95
1598	PF 1	50	236.62	237.42	237.51	0.005653	2.38	18.74	33.95	1.15
1550	PF 1	50	236.45	237.27	236.82	0.00058	1.04	39.71	37.91	0.4
1518	PF 1	50	236.05	236.94	236.94	0.00406	2.71	18.64	25.24	1.04
1474	PF 1	50	234.75	235.46	235.89	0.022719	4.17	9.56	19.64	2.22
1425	PF 1	50	233.44	234.15	234.52	0.073242	6.53	8.28	33.01	3.8
1394	PF 1	50	232.82	233.59	234.02	0.056924	6.14	8.14	24.38	3.39
1353	PF 1	50	232.66	233.28	233.65	0.043485	5.41	9.24	27.04	3.01
1299	PF 1	50	232.54	233.25	233.53	0.019502	4.12	12.2	30.45	2.09
1226	PF 1	50	231.55	232.14	232.31	0.052832	5.11	10.23	42.97	3.18
1152	PF 1	50	230.77	231.42	231.69	0.037945	4.59	11.16	41.9	2.76
1088	PF 1	50	229.35	230.48	230.44	0.002123	0.8	27.18	50.78	0.6
1019	PF 1	50	228.65	230.27	230.27	0.004199	2.37	21.19	36.47	1.01
956	PF 1	50	228.65	229.4	229.63	0.024843	3.98	12.53	37.85	2.27
901	PF 1	50	227.94	228.52	228.73	0.023973	2.18	11.68	42.53	1.91
799	PF 1	50	227.02	227.38	227.64	0.044866	4.28	10.94	44.86	2.89
714	PF 1	50	225.97	226.46	226.7	0.037384	4.44	11.67	45.42	2.71
647	PF 1	50	225.23	225.77	226.04	0.02894	4.45	11.41	35.62	2.48
592	PF 1	50	224.66	225.11	225.39	0.035194	4.68	10.8	35.45	2.71
539	PF 1	50	224.04	224.5	224.79	0.037417	4.74	10.66	35.66	2.78
481	PF 1	50	223.34	223.8	224.08	0.034384	4.79	10.48	31.82	2.69
416	PF 1	50	222.68	223.13	223.42	0.032764	4.54	10.79	33.3	2.61
361	PF 1	50	222.11	222.56	222.84	0.028959	4.61	10.99	31.57	2.49

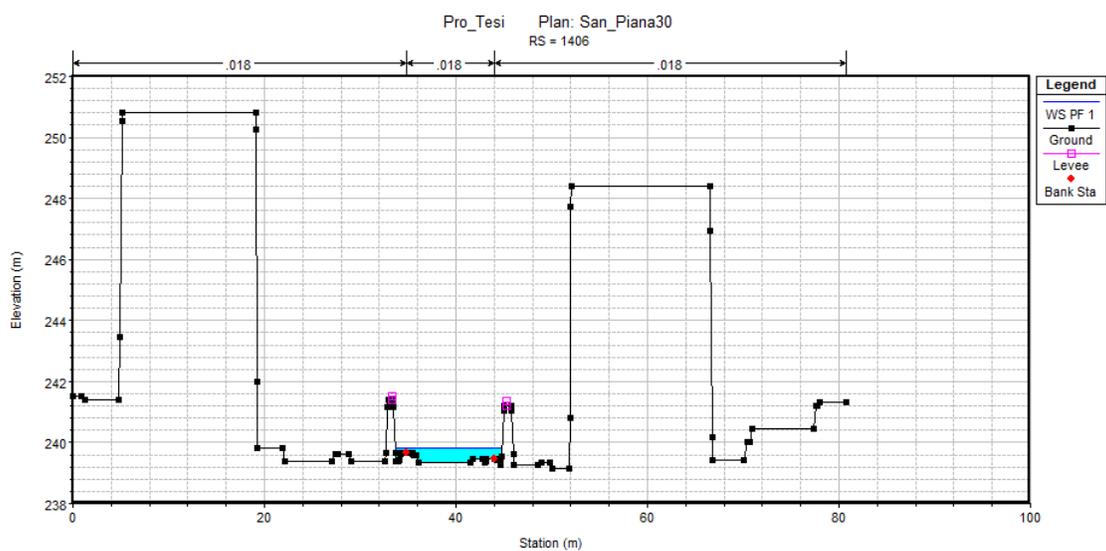
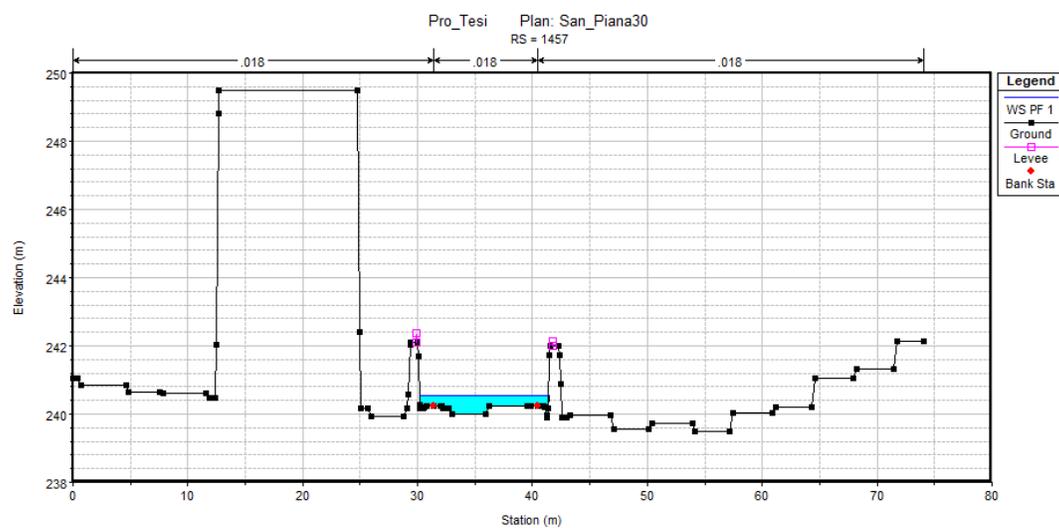
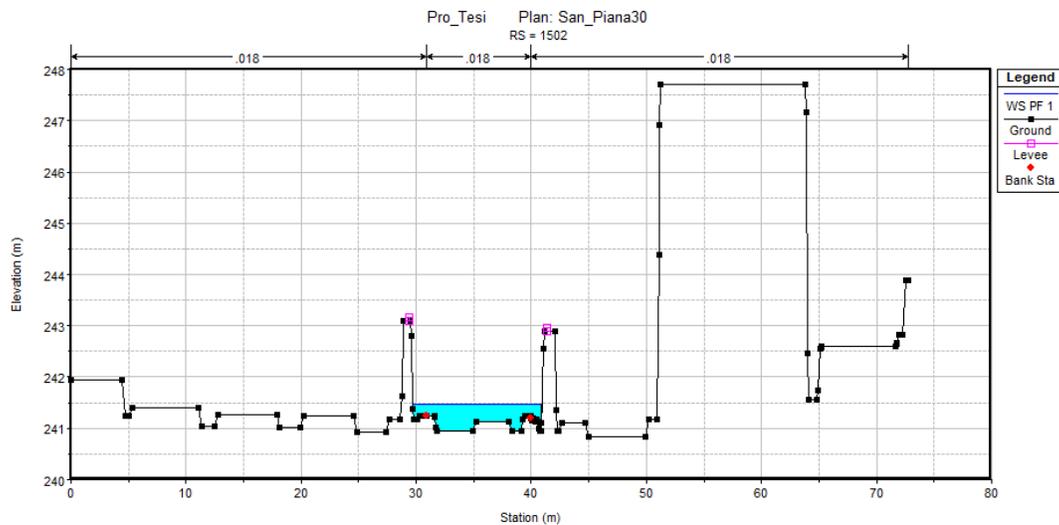
San Martino										
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
300	PF 1	50	221.45	221.91	222.16	0.033503	4.52	11.13	36.62	2.63
233	PF 1	50	220.69	221.19	221.48	0.027708	4.75	10.75	28.89	2.46
183	PF 1	50	220.18	220.61	220.9	0.036319	4.69	10.69	35.33	2.75
132	PF 1	50	219.56	220.05	220.34	0.036196	4.7	10.75	35.5	2.74
84	PF 1	50	218.95	219.4	219.4	0.018494	3.06	12.71	36.43	1.9

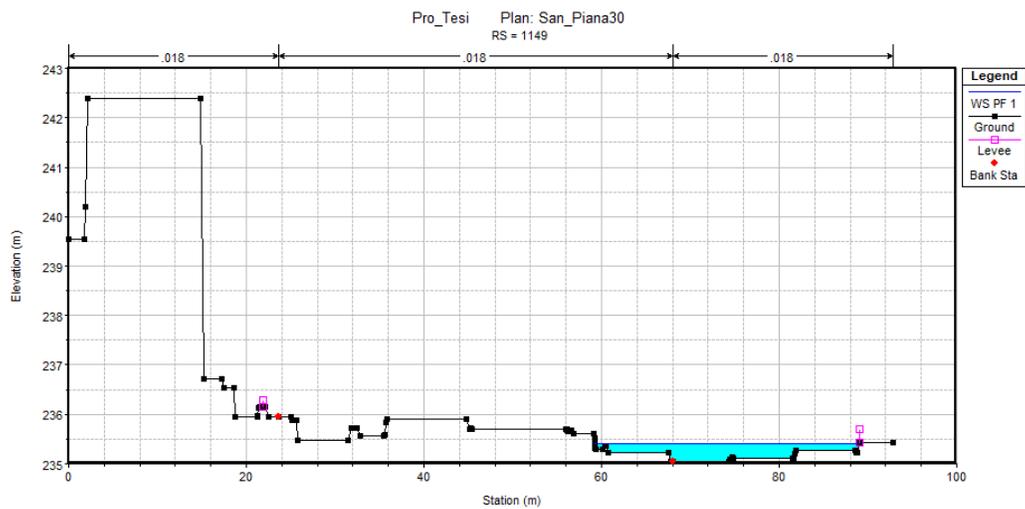
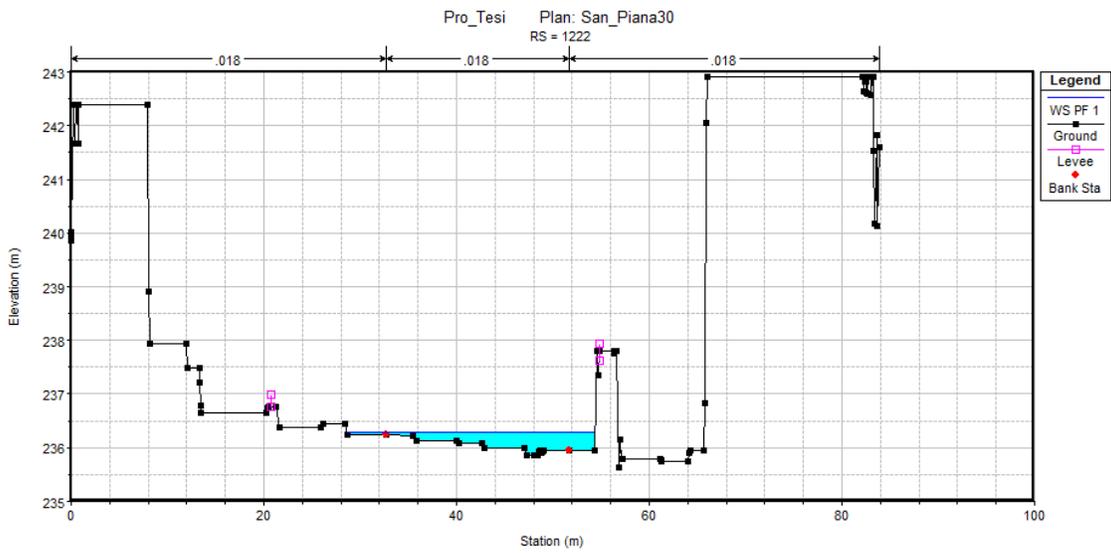
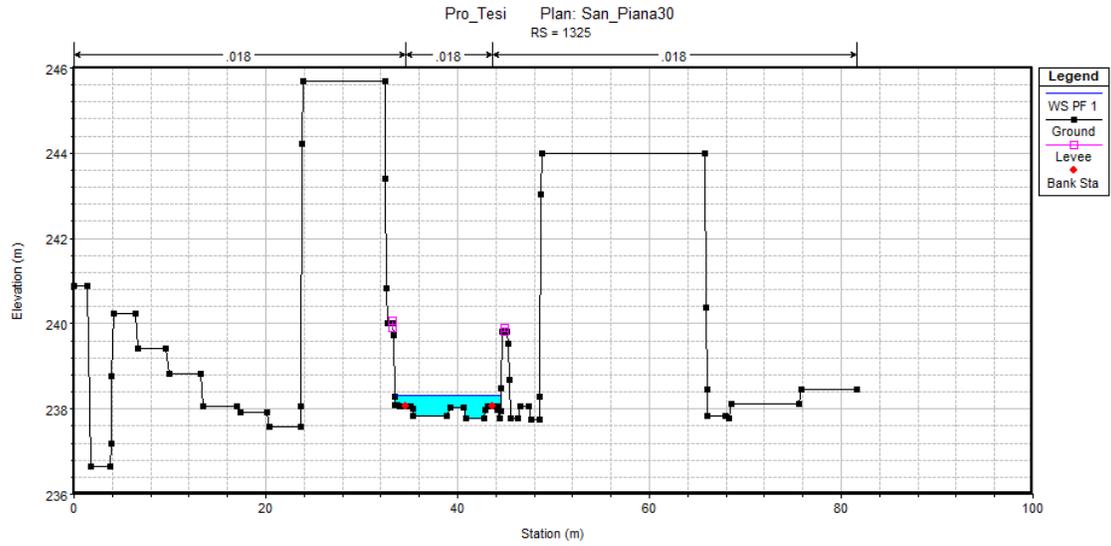
✓ Val Piana

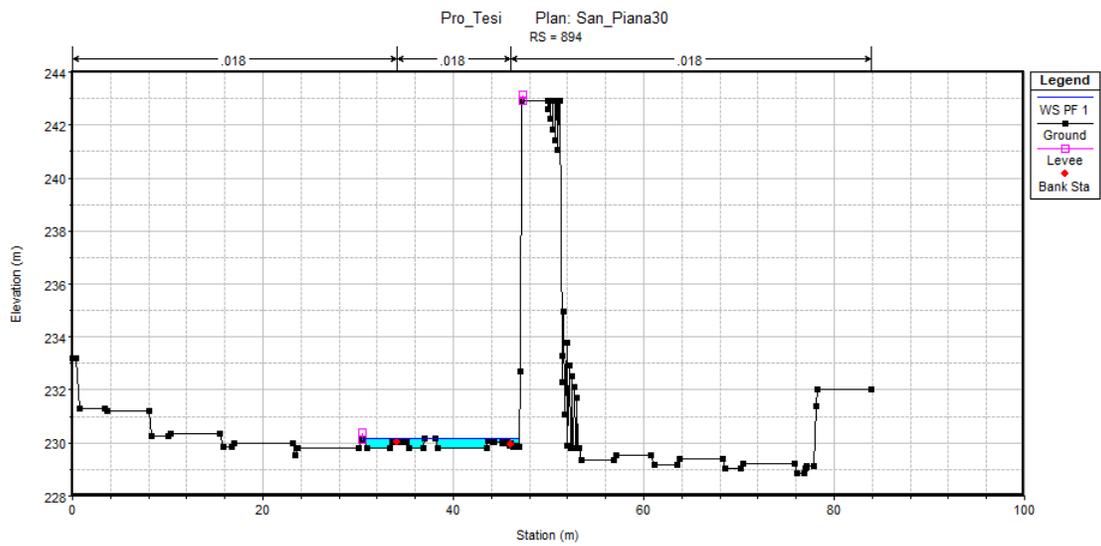
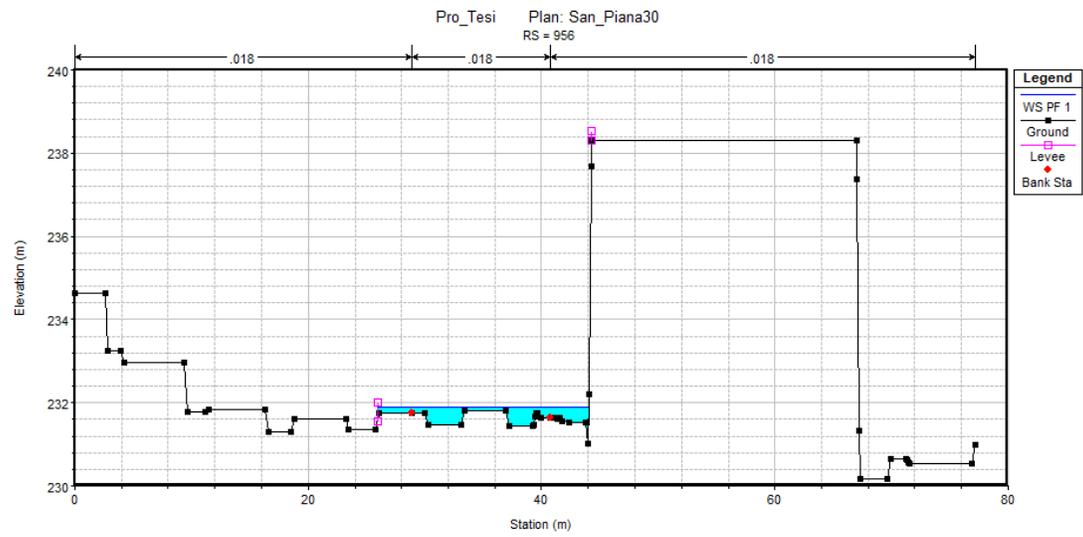
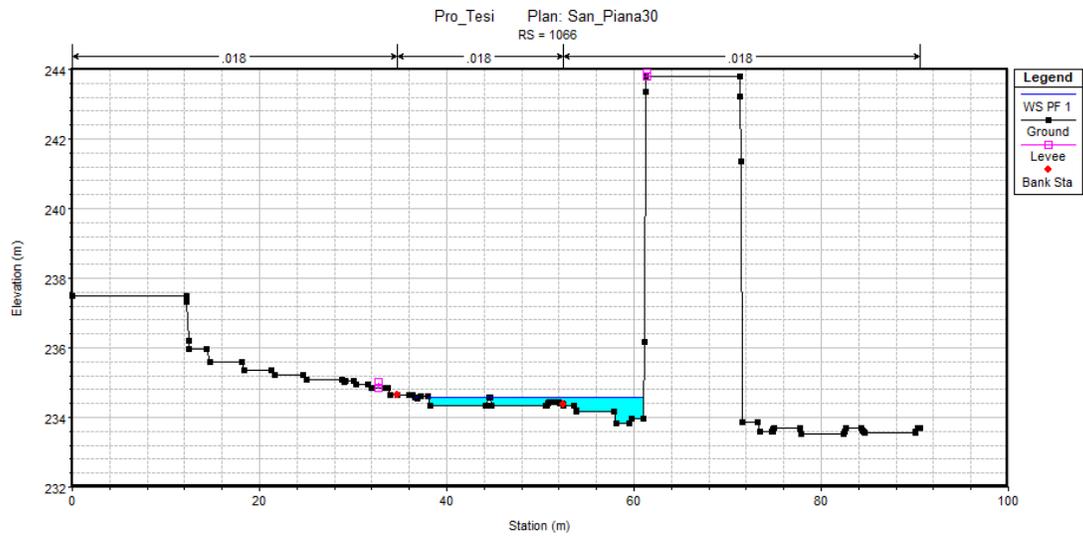


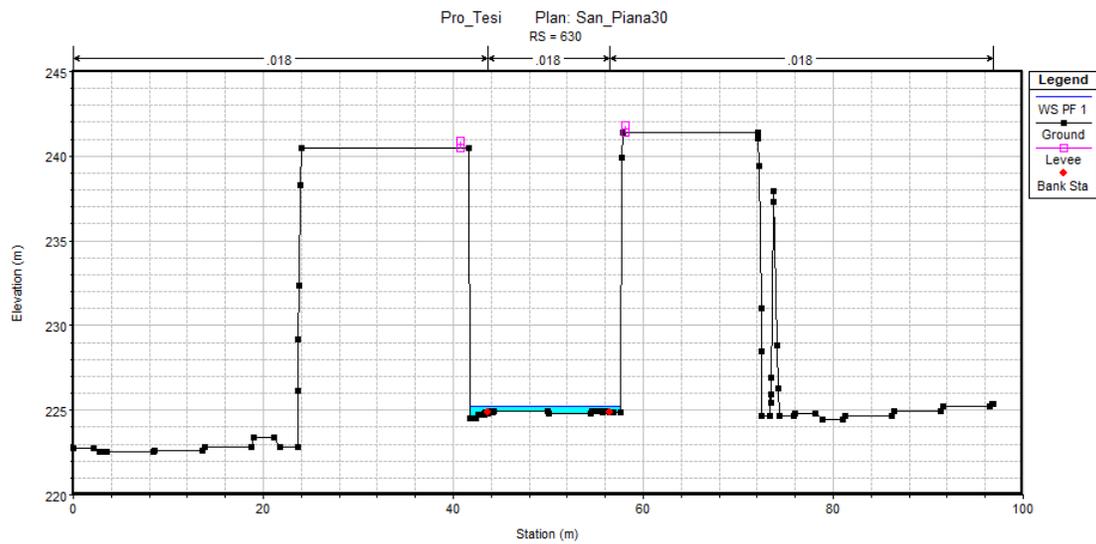
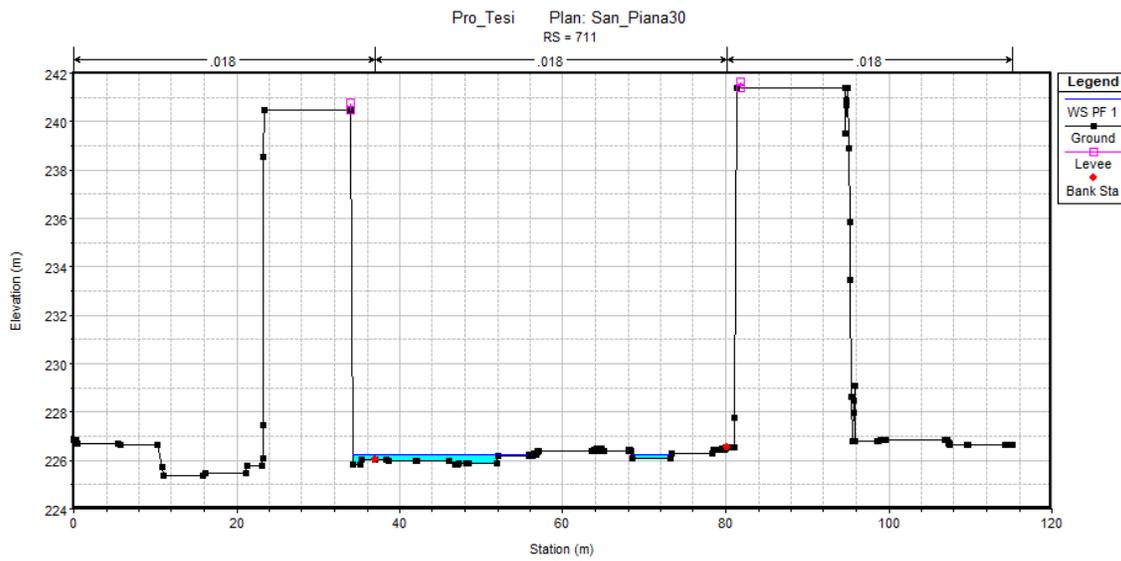
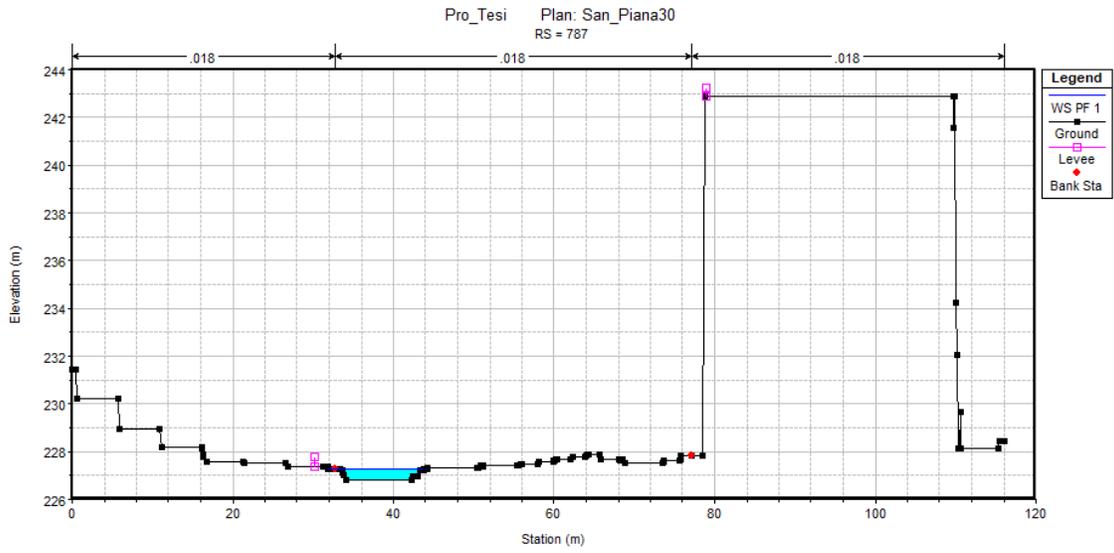


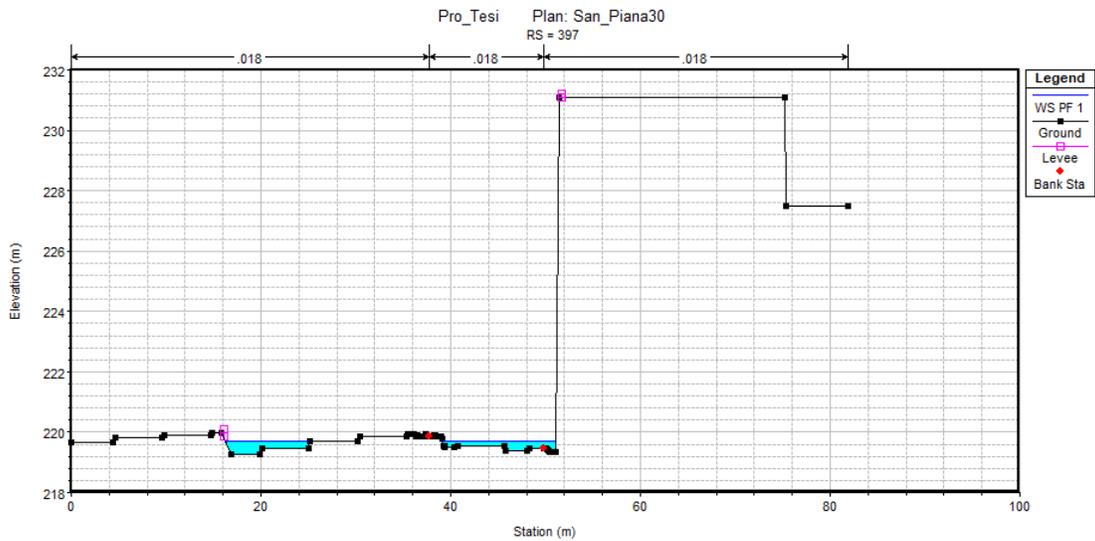
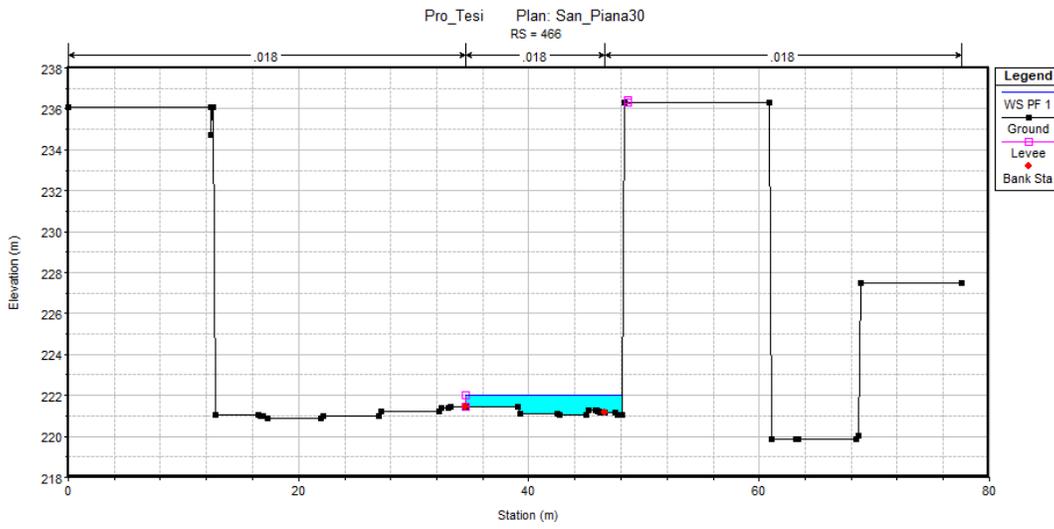
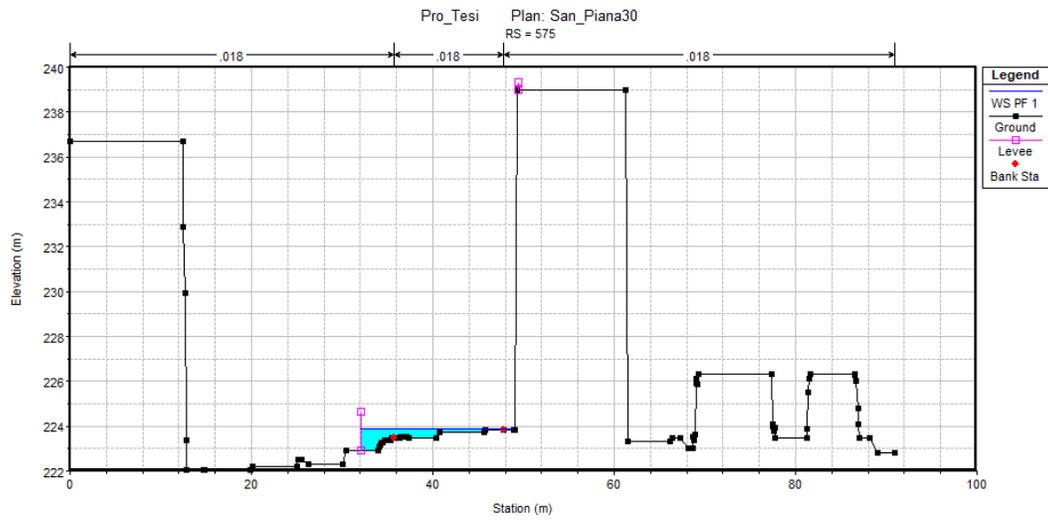


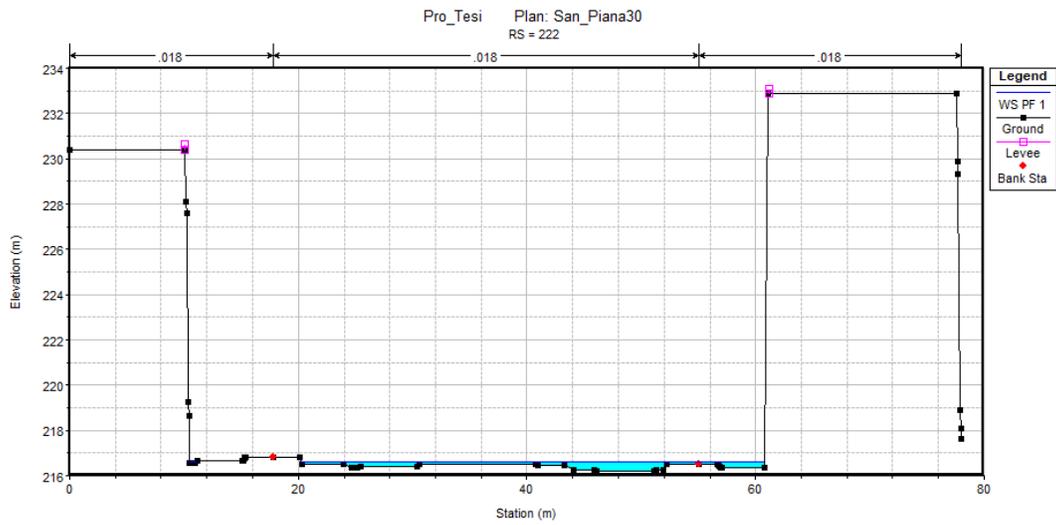
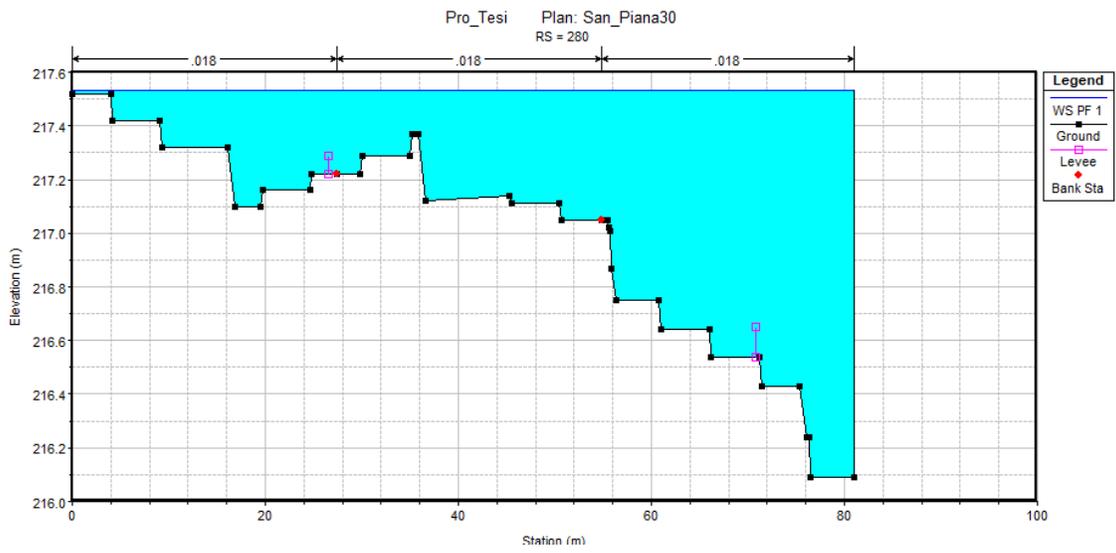
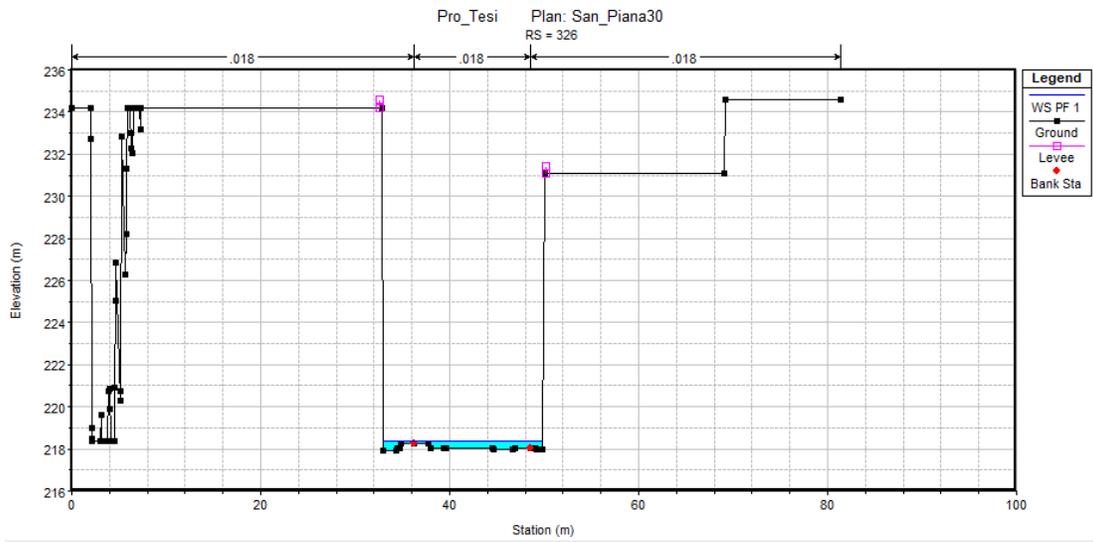


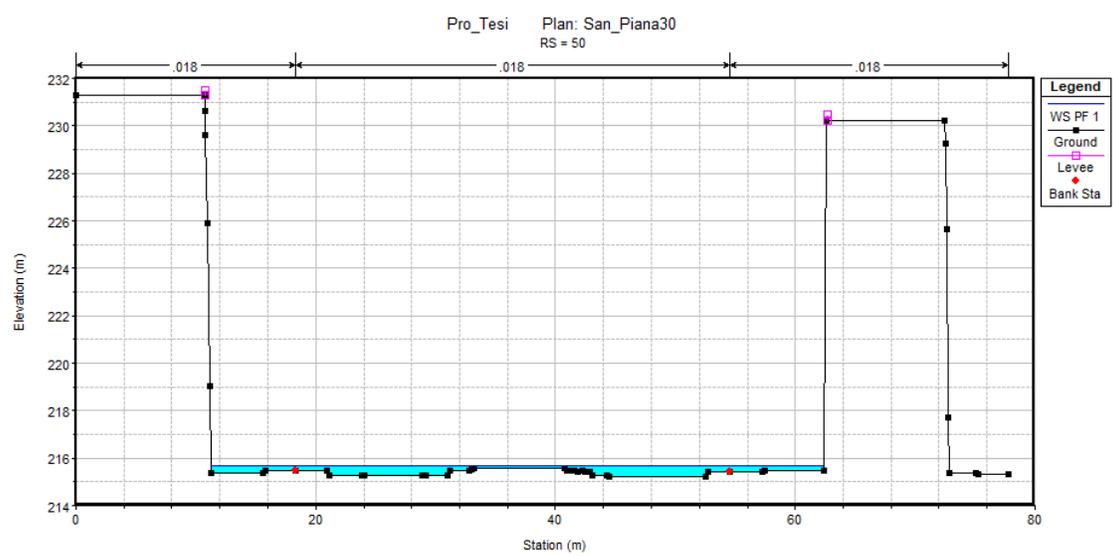
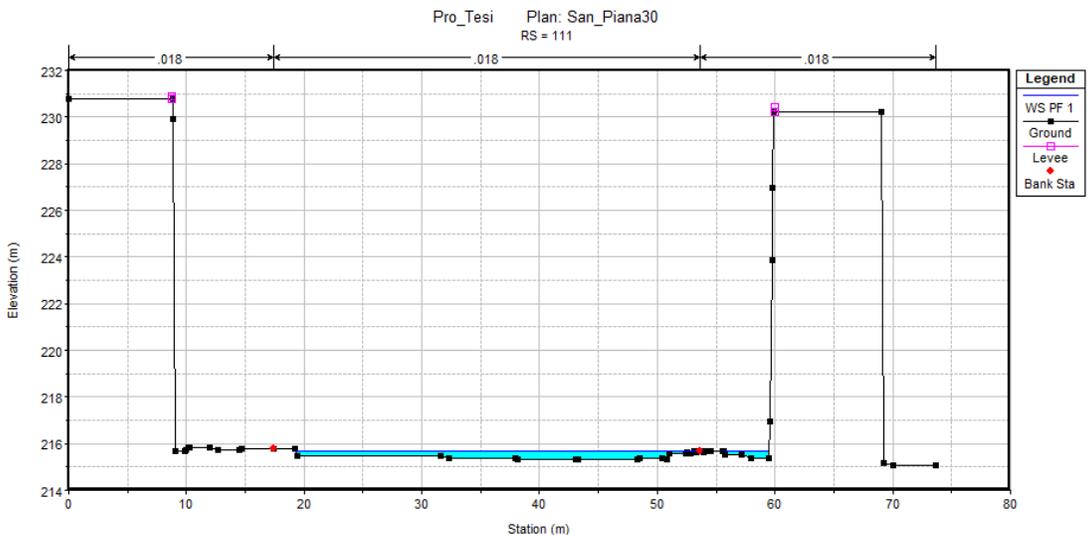
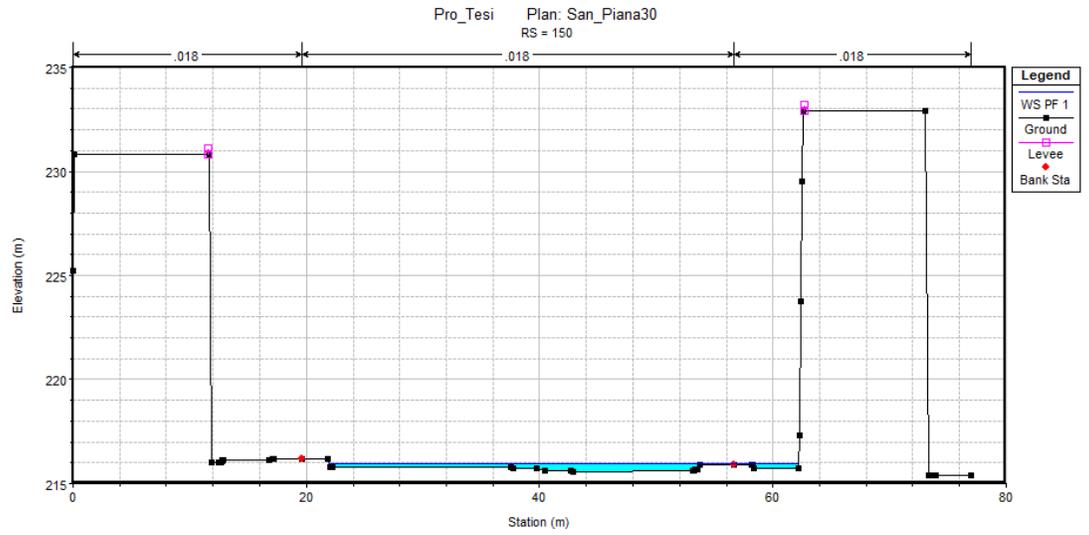




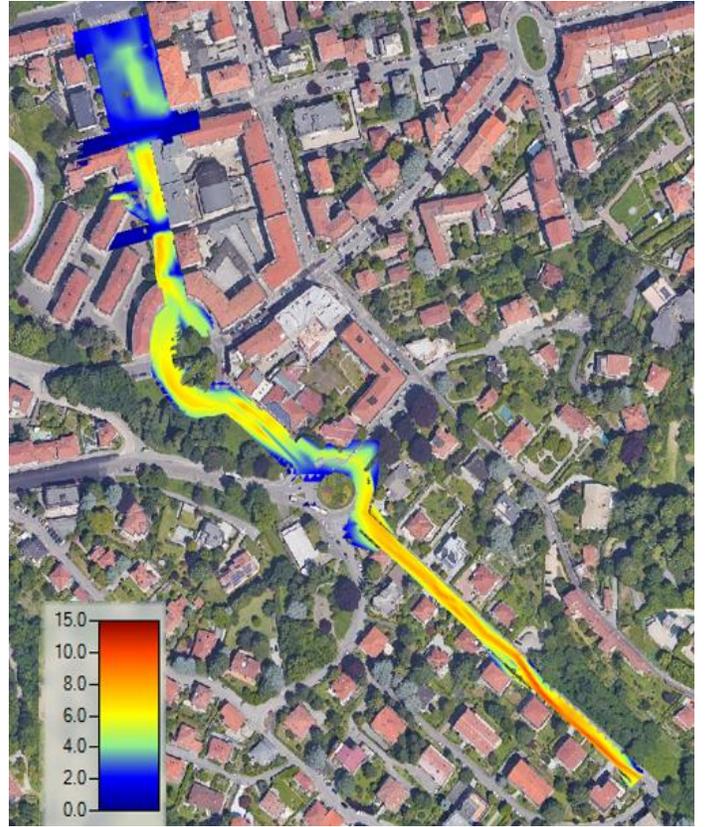
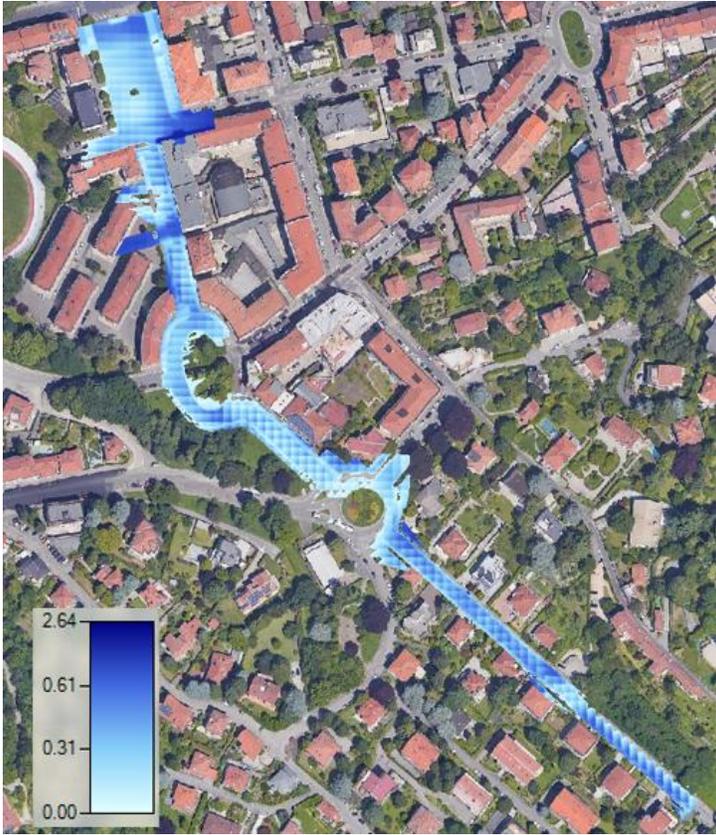








River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2023	PF 1	30	253.28	253.7	254.1	0.066487	6.95	4.4	12.61	3.7
1968	PF 1	30	251.5	252.31	252.93	0.059797	7.19	4.14	9.57	3.57
1901	PF 1	30	249.59	250.36	250.96	0.081239	7.83	3.81	9.63	4.1
1820	PF 1	30	247.62	248.12	248.77	0.081005	7.67	3.72	9.23	4.15
1747	PF 1	30	245.5	246.19	246.81	0.089283	7.87	3.69	9.62	4.29
1664	PF 1	30	243.84	244.35	244.8	0.079939	7.35	4.52	15.36	4.04
1583	PF 1	30	242.52	243.08	243.58	0.049768	6.93	4.54	11.12	3.39
1502	PF 1	30	240.94	241.47	242	0.060656	7.26	4.34	11.26	3.63
1457	PF 1	30	240.01	240.54	241.08	0.062832	7.38	4.28	11.24	3.77
1406	PF 1	30	239.35	239.84	240.35	0.0527	7.04	4.49	11.16	3.47
1325	PF 1	30	237.78	238.32	238.84	0.056905	7.24	4.36	11.1	3.57
1222	PF 1	30	235.85	236.28	236.6	0.081474	5.72	5.16	25.71	3.91
1149	PF 1	30	235.05	235.4	235.67	0.046766	3.59	6.69	29.68	2.81
1066	PF 1	30	234.33	234.58	234.84	0.02365	3.02	7.34	23.48	2.08
956	PF 1	30	231.44	231.89	232.05	0.092296	6.66	4.65	18.11	4.17
894	PF 1	30	229.8	230.19	230.41	0.084474	6.39	4.58	16.5	3.98
787	PF 1	30	226.8	227.27	227.68	0.061115	7.07	4.25	11.94	3.66
711	PF 1	30	225.84	226.22	226.52	0.090416	5.57	5.36	26.8	4.02
630	PF 1	30	224.78	225.25	225.58	0.030744	4.89	6.14	15.81	2.59
575	PF 1	30	223.45	223.89	224.26	0.030923	3.58	5.67	17.05	2.41
512	PF 1	30	222.1	222.58	222.66	0.058741	6.6	4.69	13.83	3.58
466	PF 1	30	221.03	222.01	222.01	0.004024	2.85	10.76	13.55	1.03
397	PF 1	30	219.38	219.7	220.02	0.067155	5.09	5.29	20.88	3.52
326	PF 1	30	217.98	218.35	218.75	0.064061	6.19	4.99	16.81	3.64
280	PF 1	30	217.05	217.53	217.02	0.000262	0.46	43.13	81	0.24
222	PF 1	30	216.19	216.62	216.81	0.033414	3.52	8.5	41.22	2.48
150	PF 1	30	215.59	215.94	216.11	0.030789	3.58	8.59	40.28	2.42
111	PF 1	30	215.3	215.66	215.84	0.025718	3.41	8.92	38.08	2.23
50	PF 1	30	215.2	215.66	215.71	0.008461	2.21	14.02	51.11	1.32



4. Risultati di Vulnerabilità

Le seguenti tabelle mostrano i valori di IV per le zone di San Martino e Val Piana, con la sua rispettiva discretizzazione dell'area in cui si presenta una maggiore vulnerabilità per i veicoli e per i pedoni.

San Martino														
River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/ Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
2222	50	6.28	8.25	22.47	3.16	0.37	0.182	1.7	0.309	1.196	0.085	1.700	0.145	2.552
2194	50	6.28	8.54	37.94	3.56	0.23	0.162	2.7	0.437	0.526	0.076	1.700	0.130	1.773
2150	50	5.91	9.25	24.47	2.83	0.38	0.1985	3.7	0.734	0.517	0.094	1.700	0.161	2.366
2107	50	1.78	24.01	44.95	0.87	0.53	0.2965	4.7	1.394	0.380	0.261	1.700	0.444	1.193
2080	50	1.44	23.86	43.33	0.79	0.55	0.3005	5.7	1.713	0.321	0.282	1.700	0.479	1.149
2056	50	0.65	30.94	42.85	0.45	0.72	0.3175	6.7	2.127	0.338	0.420	1.700	0.714	1.008
1965	50	3.76	14.05	18.09	1.3	0.78	0.275	7.7	2.118	0.368	0.188	1.700	0.320	2.437
1910	50	6.05	8.36	23	3.16	0.36	0.182	8.7	1.583	0.227	0.085	1.700	0.145	2.483
1894	50	5.84	8.8	15.42	2.42	0.57	0.219	9.7	2.124	0.268	0.109	1.700	0.185	3.075
1858	50	6.37	8.03	16.01	2.8	0.5	0.2	10.7	2.140	0.234	0.095	1.700	0.162	3.083
1843.67*	50	6.53	7.9	16.35	2.89	0.48	0.1955	11.7	2.287	0.210	0.093	1.700	0.158	3.047
1829.33*	50	6.7	7.74	16.38	3.01	0.47	0.1895	12.7	2.407	0.195	0.089	1.700	0.152	3.098
1815	50	6.87	7.62	16.72	3.14	0.46	0.183	13.7	2.507	0.183	0.086	1.700	0.146	3.154
1802.67*	50	6.92	7.55	16.65	3.19	0.45	0.1805	14.7	2.653	0.170	0.085	1.700	0.144	3.131
1790.33*	50	6.93	7.49	16.6	3.22	0.45	0.179	15.7	2.810	0.160	0.084	1.700	0.142	3.158
1778	50	4.85	7.61	19.09	2.98	0.4	0.191	16.7	3.190	0.125	0.090	1.700	0.153	2.613
1764.75*	50	6.43	7.47	19.67	3.49	0.38	0.1655	17.7	2.929	0.130	0.078	1.700	0.132	2.875
1751.50*	50	6.38	7.62	19.65	3.45	0.39	0.1675	18.7	3.132	0.125	0.079	1.700	0.134	2.919
1738.25*	50	6.59	7.91	18.53	3.26	0.43	0.177	19.7	3.487	0.123	0.083	1.700	0.141	3.053
1725	50	6.32	7.96	18.9	3.17	0.42	0.1815	20.7	3.757	0.112	0.085	1.700	0.145	2.905
1711.33*	50	6.45	7.95	18.93	3.18	0.42	0.181	21.7	3.928	0.107	0.085	1.700	0.144	2.914
1697.67*	50	6.41	7.98	19.78	3.22	0.4	0.179	22.7	4.063	0.098	0.084	1.700	0.142	2.807
1684	50	6.16	8.17	20.63	3.16	0.4	0.182	23.7	4.313	0.093	0.085	1.700	0.145	2.759
1630	50	1.94	22.43	40.9	0.95	0.55	0.2925	24.7	7.225	0.076	0.244	1.700	0.414	1.328
1598	50	2.38	18.74	33.95	1.15	0.55	0.2825	25.7	7.260	0.076	0.209	1.700	0.355	1.551
1550	50	1.04	39.71	37.91	0.4	1.05	0.32	26.7	8.544	0.123	0.453	1.700	0.770	1.363
1518	50	2.71	18.64	25.24	1.04	0.74	0.288	27.7	7.978	0.093	0.227	1.700	0.385	1.921
1474	50	4.17	9.56	19.64	2.22	0.49	0.229	28.7	6.572	0.075	0.118	1.700	0.200	2.445
1425	50	6.53	8.28	33.01	3.8	0.25	0.15	29.7	4.455	0.056	0.072	1.700	0.122	2.049
1394	50	6.14	8.14	24.38	3.39	0.33	0.1705	30.7	5.234	0.063	0.080	1.700	0.136	2.430

San Maritno														
River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/ Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
1380.33*	50	5.79	8.64	25.91	3.2	0.33	0.18	31.7	5.706	0.058	0.084	1.700	0.143	2.303
1366.67*	50	5.62	9.04	27.57	3.1	0.33	0.185	32.7	6.050	0.055	0.087	1.700	0.148	2.236
1353	50	5.41	9.24	27.04	3.01	0.34	0.1895	33.7	6.386	0.053	0.089	1.700	0.152	2.241
1299	50	4.12	12.2	30.45	2.09	0.4	0.2355	34.7	8.172	0.049	0.124	1.700	0.212	1.890
1226	50	5.11	10.23	42.97	3.18	0.24	0.181	35.7	6.462	0.037	0.085	1.700	0.144	1.665
1211.20*	50	4.63	10.38	37.06	2.87	0.28	0.1965	36.7	7.212	0.039	0.093	1.700	0.159	1.766
1196.40*	50	4.37	10.69	32.76	2.57	0.33	0.2115	37.7	7.974	0.041	0.103	1.700	0.175	1.881
1181.60*	50	4.03	11.22	39.36	2.59	0.28	0.2105	38.7	8.146	0.034	0.102	1.700	0.174	1.607
1166.80*	50	4.65	11.05	43.04	2.83	0.26	0.1985	39.7	7.880	0.033	0.094	1.700	0.161	1.619
1152	50	4.59	11.16	41.9	2.76	0.27	0.202	40.7	8.221	0.033	0.097	1.700	0.164	1.643
1136.00*	50	4.55	11.1	38.7	2.68	0.29	0.206	41.7	8.590	0.034	0.099	1.700	0.169	1.718
1120.00*	50	4.51	10.99	35.97	2.63	0.31	0.2085	42.7	8.903	0.035	0.101	1.700	0.172	1.805
1104.00*	50	4.41	10.92	34.78	2.6	0.31	0.21	43.7	9.177	0.034	0.102	1.700	0.174	1.786
1088	50	0.8	27.18	50.78	0.6	0.54	0.31	44.7	13.857	0.039	0.345	1.700	0.587	0.920
1074.20*	50	0.11	129.65	66.15	0.06	1.96	0.337	45.7	15.401	0.127	0.967	1.700	1.643	1.193
1060.40*	50	0.13	125.68	70.86	0.06	1.77	0.337	46.7	15.738	0.112	0.967	1.700	1.643	1.077
1046.60*	50	0.15	126.75	65.96	0.06	1.92	0.337	47.7	16.075	0.119	0.967	1.700	1.643	1.168
1032.80*	50	0.17	131.42	65.63	0.06	2	0.337	48.7	16.412	0.122	0.967	1.700	1.643	1.217
1019	50	2.37	21.19	36.47	1.01	0.58	0.2895	49.7	14.388	0.040	0.232	1.700	0.394	1.471
1003.25*	50	3.17	15.64	36.31	1.58	0.43	0.261	50.7	13.233	0.032	0.159	1.700	0.271	1.587
987.50*	50	3.56	14.05	36.36	1.87	0.39	0.2465	51.7	12.744	0.031	0.137	1.700	0.234	1.669
971.75*	50	3.83	13.19	36.64	2.08	0.36	0.236	52.7	12.437	0.029	0.125	1.700	0.213	1.694
956	50	3.98	12.53	37.85	2.27	0.33	0.2265	53.7	12.163	0.027	0.116	1.700	0.196	1.680
942.25*	50	4.05	12.18	37.82	2.36	0.32	0.222	54.7	12.143	0.026	0.112	1.700	0.190	1.688
928.50*	50	4.09	11.94	37.8	2.41	0.32	0.2195	55.7	12.226	0.026	0.109	1.700	0.186	1.720
914.75*	50	4.25	11.61	32.22	2.33	0.36	0.2'235	56.7	12.672	0.028	0.113	1.700	0.192	1.877
901	50	2.18	11.68	42.53	1.91	0.27	0.2445	57.7	14.108	0.019	0.135	1.700	0.229	1.177
886.43*	50	2.44	11.38	42.85	2.08	0.27	0.236	58.7	13.853	0.019	0.125	1.700	0.213	1.271
871.86*	50	2.74	11.13	43.12	2.26	0.26	0.227	59.7	13.552	0.019	0.116	1.700	0.197	1.318
857.29*	50	3.03	10.95	44.05	2.44	0.25	0.218	60.7	13.233	0.019	0.108	1.700	0.184	1.359
842.71*	50	3.33	11.03	44.47	2.55	0.25	0.2125	61.7	13.111	0.019	0.104	1.700	0.177	1.415
828.14*	50	3.66	10.92	45.42	2.73	0.24	0.2035	62.7	12.759	0.019	0.098	1.700	0.166	1.446
813.57*	50	4.03	10.85	44.63	2.84	0.24	0.198	63.7	12.613	0.019	0.094	1.700	0.160	1.499
799	50	4.28	10.94	44.86	2.89	0.24	0.1955	64.7	12.649	0.019	0.093	1.700	0.158	1.524

San Maritno														
River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/ Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
784.83*	50	4	11.51	45.02	2.67	0.26	0.2065	65.7	13.567	0.019	0.100	1.700	0.169	1.535
770.67*	50	4.19	11.37	45.06	2.76	0.25	0.202	66.7	13.473	0.019	0.097	1.700	0.164	1.521
756.50*	50	4.32	11.34	45.12	2.81	0.25	0.1995	67.7	13.506	0.019	0.095	1.700	0.162	1.547
742.33*	50	4.39	11.42	45.24	2.79	0.25	0.2005	68.7	13.774	0.018	0.096	1.700	0.163	1.537
728.17*	50	4.41	11.56	45.36	2.75	0.25	0.2025	69.7	14.114	0.018	0.097	1.700	0.165	1.516
714	50	4.44	11.67	45.42	2.71	0.26	0.2045	70.7	14.458	0.018	0.098	1.700	0.167	1.556
700.60*	50	4.4	11.72	42.84	2.62	0.27	0.209	71.7	14.985	0.018	0.101	1.700	0.172	1.566
687.20*	50	4.4	11.69	40.62	2.57	0.29	0.2115	72.7	15.376	0.019	0.103	1.700	0.175	1.653
673.80*	50	4.41	11.61	38.49	2.53	0.3	0.2135	73.7	15.735	0.019	0.105	1.700	0.178	1.686
660.40*	50	4.42	11.54	36.4	2.48	0.32	0.216	74.7	16.135	0.020	0.107	1.700	0.181	1.766
647	50	4.45	11.41	35.62	2.48	0.32	0.216	75.7	16.351	0.020	0.107	1.700	0.181	1.766
633.25*	50	4.53	11.19	35.5	2.56	0.32	0.212	76.7	16.260	0.020	0.104	1.700	0.176	1.817
619.50*	50	4.6	11.02	35.45	2.62	0.31	0.209	77.7	16.239	0.019	0.101	1.700	0.172	1.798
605.75*	50	4.65	10.89	35.44	2.67	0.31	0.2065	78.7	16.252	0.019	0.100	1.700	0.169	1.830
592	50	4.68	10.8	35.45	2.71	0.3	0.2045	79.7	16.299	0.018	0.098	1.700	0.167	1.795
578.75*	50	4.71	10.75	35.4	2.73	0.3	0.2035	80.7	16.422	0.018	0.098	1.700	0.166	1.807
565.50*	50	4.72	10.71	35.38	2.74	0.3	0.203	81.7	16.585	0.018	0.097	1.700	0.165	1.813
552.25*	50	4.73	10.68	35.42	2.75	0.3	0.2025	82.7	16.747	0.018	0.097	1.700	0.165	1.819
539	50	4.74	10.66	35.66	2.78	0.3	0.201	83.7	16.824	0.018	0.096	1.700	0.163	1.838
524.50*	50	4.76	10.59	35.68	2.8	0.3	0.2	84.7	16.940	0.018	0.095	1.700	0.162	1.850
510.00*	50	4.76	10.58	35.71	2.8	0.3	0.2	85.7	17.140	0.018	0.095	1.700	0.162	1.850
495.50*	50	4.73	10.61	35.77	2.79	0.3	0.2005	86.7	17.383	0.017	0.096	1.700	0.163	1.844
481	50	4.79	10.48	31.82	2.69	0.33	0.2055	87.7	18.022	0.018	0.099	1.700	0.168	1.961
464.75*	50	4.67	10.72	36.91	2.81	0.29	0.1995	88.7	17.696	0.016	0.095	1.700	0.162	1.794
448.50*	50	4.7	10.78	34.37	2.73	0.31	0.2035	89.7	18.254	0.017	0.098	1.700	0.166	1.868
432.25*	50	4.67	10.77	33.73	2.69	0.32	0.2055	90.7	18.639	0.017	0.099	1.700	0.168	1.902
416	50	4.54	10.79	33.3	2.61	0.32	0.2095	91.7	19.211	0.017	0.102	1.700	0.173	1.850
402.25*	50	4.56	10.73	37.54	2.79	0.29	0.2005	92.7	18.586	0.016	0.096	1.700	0.163	1.782
388.50*	50	4.59	10.77	37.57	2.78	0.29	0.201	93.7	18.834	0.015	0.096	1.700	0.163	1.776
374.75*	50	4.53	10.95	37.62	2.72	0.29	0.204	94.7	19.319	0.015	0.098	1.700	0.167	1.741
361	50	4.61	10.99	31.57	2.49	0.35	0.2155	95.7	20.623	0.017	0.106	1.700	0.181	1.938
345.75*	50	4.61	10.84	38.08	2.81	0.28	0.1995	96.7	19.292	0.015	0.095	1.700	0.162	1.732
330.50*	50	4.62	10.9	37.58	2.78	0.29	0.201	97.7	19.638	0.015	0.096	1.700	0.163	1.776
315.25*	50	4.6	11.03	36.99	2.71	0.3	0.2045	98.7	20.184	0.015	0.098	1.700	0.167	1.795
300	50	4.52	11.13	36.62	2.63	0.3	0.2085	99.7	20.787	0.014	0.101	1.700	0.172	1.746
233	50	4.75	10.75	28.89	2.46	0.37	0.217	100.7	21.852	0.017	0.107	1.700	0.183	2.026
220.50*	50	4.83	10.49	35.28	2.82	0.3	0.199	101.7	20.238	0.015	0.095	1.700	0.161	1.862

<i>San Maritno</i>														
River Sta	Q Total (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
208.00*	50	4.83	10.47	35.3	2.83	0.3	0.1985	102.7	20.386	0.015	0.094	1.700	0.161	1.868
195.50*	50	4.78	10.53	35.32	2.81	0.3	0.1995	103.7	20.688	0.015	0.095	1.700	0.162	1.856
183	50	4.69	10.69	35.33	2.75	0.3	0.2025	104.7	21.202	0.014	0.097	1.700	0.165	1.819
170.25*	50	4.69	10.73	34.9	2.72	0.31	0.204	105.7	21.563	0.014	0.098	1.700	0.167	1.861
157.50*	50	4.71	10.71	35.09	2.73	0.31	0.2035	106.7	21.713	0.014	0.098	1.700	0.166	1.868
144.75*	50	4.71	10.71	35.3	2.74	0.3	0.203	107.7	21.863	0.014	0.097	1.700	0.165	1.813
132	50	4.7	10.75	35.5	2.74	0.3	0.203	108.7	22.066	0.014	0.097	1.700	0.165	1.813
116.00*	50	4.83	10.46	35.88	2.86	0.29	0.197	109.7	21.611	0.013	0.094	1.700	0.159	1.824
100.00*	50	1.29	39.66	36.32	0.39	1.09	0.3205	110.7	35.479	0.031	0.460	1.700	0.783	1.393
84	50	3.06	12.71	36.43	1.9	0.35	0.245	111.7	27.367	0.013	0.136	1.700	0.230	1.519

<i>Val Piana</i>														
River Sta	Q Total	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
2023	30	6.95	4.4	12.61	3.7	0.35	0.155	1.7	0.264	1.328	0.074	1.700	0.125	2.797
2009.25*	30	7.48	4.41	10.7	3.55	0.41	0.1625	2.7	0.439	0.934	0.077	1.700	0.130	3.152
1995.50*	30	7.15	4.28	10.95	3.77	0.39	0.1515	3.7	0.561	0.696	0.072	1.700	0.123	3.172
1981.75*	30	7.26	4.24	10.34	3.71	0.41	0.1545	4.7	0.726	0.565	0.073	1.700	0.125	3.285
1968	30	7.19	4.14	9.57	3.57	0.43	0.1615	5.7	0.921	0.467	0.076	1.700	0.129	3.323
1954.60*	30	7.38	4.05	9.59	3.69	0.42	0.1555	6.7	1.042	0.403	0.074	1.700	0.125	3.348
1941.20*	30	7.53	3.97	9.51	3.81	0.42	0.1495	7.7	1.151	0.365	0.072	1.700	0.122	3.450
1927.80*	30	7.65	3.9	9.56	3.93	0.41	0.1435	8.7	1.248	0.328	0.070	1.700	0.118	3.468
1914.40*	30	7.75	3.85	9.58	4.02	0.4	0.139	9.7	1.348	0.297	0.068	1.700	0.116	3.456
1901	30	7.83	3.81	9.63	4.1	0.4	0.135	10.7	1.445	0.277	0.067	1.700	0.114	3.521
1884.80*	30	7.79	3.79	9.53	4.11	0.4	0.1345	11.7	1.574	0.254	0.067	1.700	0.113	3.529
1868.60*	30	7.75	3.78	9.47	4.12	0.4	0.134	12.7	1.702	0.235	0.067	1.700	0.113	3.538
1852.40*	30	7.72	3.76	9.38	4.13	0.4	0.1335	13.7	1.829	0.219	0.066	1.700	0.113	3.546
1836.20*	30	7.7	3.74	9.3	4.14	0.4	0.133	14.7	1.955	0.205	0.066	1.700	0.113	3.554
1820	30	7.67	3.72	9.23	4.15	0.4	0.1325	15.7	2.080	0.192	0.066	1.700	0.112	3.562
1805.40*	30	7.65	3.72	9.3	4.15	0.4	0.1325	16.7	2.213	0.181	0.066	1.700	0.112	3.562
1790.80*	30	7.67	3.72	9.37	4.18	0.4	0.131	17.7	2.319	0.173	0.066	1.700	0.112	3.586
1776.20*	30	7.72	3.7	9.42	4.22	0.39	0.129	18.7	2.412	0.162	0.065	1.700	0.111	3.528
1761.60*	30	7.79	3.69	9.47	4.26	0.39	0.127	19.7	2.502	0.156	0.064	1.700	0.110	3.560
1747	30	7.87	3.69	9.62	4.29	0.38	0.1255	20.7	2.598	0.146	0.064	1.700	0.109	3.492
1733.17*	30	8.22	3.7	9.86	4.48	0.38	0.116	21.7	2.517	0.151	0.061	1.700	0.104	3.638
1719.33*	30	8.11	3.76	10.89	4.64	0.34	0.108	22.7	2.452	0.139	0.059	1.700	0.101	3.366

Val Piana														
River Sta	Q Total	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
1705.50*	30	7.98	3.88	11.96	4.61	0.32	0.1095	23.7	2.595	0.123	0.060	1.700	0.102	3.148
1691.67*	30	7.73	4.05	14.15	4.53	0.29	0.1135	24.7	2.803	0.103	0.061	1.700	0.103	2.806
1677.83*	30	7.69	4.28	15.1	4.42	0.28	0.119	25.7	3.058	0.092	0.062	1.700	0.106	2.647
1664	30	7.35	4.52	15.36	4.04	0.29	0.138	26.7	3.685	0.079	0.068	1.700	0.115	2.518
1647.80*	30	6.92	4.62	11.67	3.41	0.4	0.1695	27.7	4.695	0.085	0.079	1.700	0.135	2.961
1631.60*	30	6.95	4.61	11.41	3.41	0.4	0.1695	28.7	4.865	0.082	0.079	1.700	0.135	2.961
1615.40*	30	6.99	4.59	11.51	3.45	0.4	0.1675	29.7	4.975	0.080	0.079	1.700	0.134	2.994
1599.20*	30	7.03	4.59	11.83	3.5	0.39	0.165	30.7	5.066	0.077	0.078	1.700	0.132	2.959
1583	30	6.93	4.54	11.12	3.39	0.41	0.1705	31.7	5.405	0.076	0.080	1.700	0.136	3.019
1566.80*	30	7.02	4.48	11.1	3.45	0.4	0.1675	32.7	5.477	0.073	0.079	1.700	0.134	2.994
1550.60*	30	7.1	4.43	11.09	3.51	0.4	0.1645	33.7	5.544	0.072	0.077	1.700	0.131	3.043
1534.40*	30	7.17	4.39	11.12	3.55	0.39	0.1625	34.7	5.639	0.069	0.077	1.700	0.130	2.998
1518.20*	30	7.22	4.36	11.18	3.6	0.39	0.16	35.7	5.712	0.068	0.076	1.700	0.128	3.038
1502	30	7.26	4.34	11.26	3.63	0.39	0.1585	36.7	5.817	0.067	0.075	1.700	0.127	3.061
1487.00*	30	7.29	4.32	11.25	3.69	0.38	0.1555	37.7	5.862	0.065	0.074	1.700	0.125	3.029
1472.00*	30	7.33	4.3	11.24	3.73	0.38	0.1535	38.7	5.940	0.064	0.073	1.700	0.124	3.060
1457	30	7.38	4.28	11.24	3.77	0.38	0.1515	39.7	6.015	0.063	0.072	1.700	0.123	3.091
1444.25*	30	7.23	4.35	11.26	3.65	0.39	0.1575	40.7	6.410	0.061	0.075	1.700	0.127	3.077
1431.50*	30	7.14	4.41	11.19	3.56	0.39	0.162	41.7	6.755	0.058	0.076	1.700	0.130	3.006
1418.75*	30	7.08	4.46	11.15	3.51	0.4	0.1645	42.7	7.024	0.057	0.077	1.700	0.131	3.043
1406	30	7.04	4.49	11.16	3.47	0.4	0.1665	43.7	7.276	0.055	0.078	1.700	0.133	3.010
1389.80*	30	7.09	4.45	11.15	3.5	0.4	0.165	44.7	7.376	0.054	0.078	1.700	0.132	3.034
1373.60*	30	7.13	4.42	11.15	3.53	0.4	0.1635	45.7	7.472	0.054	0.077	1.700	0.131	3.059
1357.40*	30	7.17	4.39	11.14	3.55	0.39	0.1625	46.7	7.589	0.051	0.077	1.700	0.130	2.998
1341.20*	30	7.21	4.37	11.12	3.56	0.39	0.162	47.7	7.727	0.050	0.076	1.700	0.130	3.006
1325	30	7.24	4.36	11.1	3.57	0.39	0.1615	48.7	7.865	0.050	0.076	1.700	0.129	3.014
1310.29*	30	7.25	4.31	12.5	3.83	0.35	0.1485	49.7	7.380	0.047	0.071	1.700	0.121	2.889
1295.57*	30	7.2	4.33	13.97	4.02	0.31	0.139	50.7	7.047	0.044	0.068	1.700	0.116	2.679
1280.86*	30	7.09	4.41	15.68	4.19	0.28	0.1305	51.7	6.747	0.042	0.065	1.700	0.111	2.516
1266.14*	30	6.86	4.52	17.42	4.25	0.26	0.1275	52.7	6.719	0.039	0.065	1.700	0.110	2.368
1251.43*	30	6.55	4.68	19.22	4.21	0.24	0.1295	53.7	6.954	0.035	0.065	1.700	0.111	2.166
1236.71*	30	6.26	4.87	21.46	4.14	0.23	0.133	54.7	7.275	0.032	0.066	1.700	0.113	2.043
1222	30	5.72	5.16	25.71	3.91	0.2	0.1445	55.7	8.049	0.025	0.070	1.700	0.119	1.684
1149	30	3.59	6.69	29.68	2.81	0.23	0.1995	56.7	11.312	0.020	0.095	1.700	0.162	1.423
1066	30	3.02	7.34	23.48	2.08	0.31	0.236	57.7	13.617	0.023	0.125	1.700	0.213	1.459
956	30	6.66	4.65	18.11	4.17	0.26	0.1315	58.7	7.719	0.034	0.066	1.700	0.112	2.326
894	30	6.39	4.58	16.5	3.98	0.28	0.141	59.7	8.418	0.033	0.069	1.700	0.117	2.397
787	30	7.07	4.25	11.94	3.66	0.36	0.157	60.7	9.530	0.038	0.074	1.700	0.126	2.848

Val Piana														
River Sta	Q Total	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
711	30	5.57	5.36	26.8	4.02	0.2	0.139	61.7	8.576	0.023	0.068	1.700	0.116	1.728
630	30	4.89	6.14	15.81	2.59	0.39	0.2105	62.7	13.198	0.030	0.102	1.700	0.174	2.239
616.25*	30	5.24	5.74	15.55	2.83	0.37	0.1985	63.7	12.644	0.029	0.094	1.700	0.161	2.304
602.50*	30	5.47	5.48	15.29	2.99	0.36	0.1905	64.7	12.325	0.029	0.090	1.700	0.153	2.359
588.75*	30	5.6	5.32	15.05	3.07	0.35	0.1865	65.7	12.253	0.029	0.088	1.700	0.149	2.350
575	30	3.58	5.67	17.05	2.41	0.33	0.2195	66.7	14.641	0.023	0.109	1.700	0.186	1.774
559.25*	30	4.83	5.19	16.06	3.02	0.32	0.189	67.7	12.795	0.025	0.089	1.700	0.151	2.116
543.50*	30	6.14	4.78	15.08	3.62	0.32	0.159	68.7	10.923	0.029	0.075	1.700	0.128	2.505
527.75*	30	6.55	4.73	14.1	3.61	0.34	0.1595	69.7	11.117	0.031	0.075	1.700	0.128	2.655
512	30	6.6	4.69	13.83	3.58	0.34	0.161	70.7	11.383	0.030	0.076	1.700	0.129	2.634
496.67*	30	6.67	4.6	13.69	3.66	0.34	0.157	71.7	11.257	0.030	0.074	1.700	0.126	2.690
481.33*	30	0.81	35.5	34.48	0.28	1.03	0.326	72.7	23.700	0.043	0.558	1.700	0.948	1.086
466	30	2.85	10.76	13.55	1.03	0.79	0.2885	73.7	21.262	0.037	0.228	1.700	0.388	2.035
452.20*	30	4.62	6.89	17.72	2.27	0.39	0.2265	74.7	16.920	0.023	0.116	1.700	0.196	1.986
438.40*	30	5.3	6.21	22.03	2.93	0.28	0.1935	75.7	14.648	0.019	0.091	1.700	0.156	1.800
424.60*	30	5.72	5.82	23.64	3.35	0.25	0.1725	76.7	13.231	0.019	0.081	1.700	0.137	1.820
410.80*	30	5.83	5.42	22.02	3.64	0.25	0.158	77.7	12.277	0.020	0.075	1.700	0.127	1.968
397	30	5.09	5.29	20.88	3.52	0.25	0.164	78.7	12.907	0.019	0.077	1.700	0.131	1.907
382.80*	30	5.49	5.68	16.76	2.82	0.34	0.199	79.7	15.860	0.021	0.095	1.700	0.161	2.110
368.60*	30	5.79	5.43	16.77	3.08	0.32	0.186	80.7	15.010	0.021	0.087	1.700	0.148	2.155
354.40*	30	6.01	5.24	16.78	3.32	0.31	0.174	81.7	14.216	0.022	0.081	1.700	0.138	2.239
340.20*	30	6.15	5.09	16.79	3.51	0.3	0.1645	82.7	13.604	0.022	0.077	1.700	0.131	2.282
326	30	6.19	4.99	16.81	3.64	0.3	0.158	83.7	13.225	0.023	0.075	1.700	0.127	2.361
280	30	0.46	43.13	81	0.24	0.53	0.328	84.7	27.782	0.019	0.604	1.700	1.027	0.516
265.50*	30	1.72	16.14	38.86	0.89	0.42	0.2955	85.7	25.324	0.017	0.257	1.700	0.436	0.963
251.00*	30	2.58	10.59	42.8	1.7	0.25	0.255	86.7	22.109	0.011	0.149	1.700	0.254	0.984
236.50*	30	3.16	9.1	41.58	2.17	0.22	0.2315	87.7	20.303	0.011	0.120	1.700	0.205	1.075
222	30	3.52	8.5	41.22	2.48	0.21	0.216	88.7	19.159	0.011	0.107	1.700	0.181	1.159
207.60*	30	3.49	8.62	40.8	2.42	0.21	0.219	89.7	19.644	0.011	0.109	1.700	0.185	1.133
193.20*	30	3.51	8.64	40.46	2.4	0.21	0.22	90.7	19.954	0.011	0.110	1.700	0.187	1.125
178.80*	30	3.52	8.65	40.26	2.4	0.21	0.22	91.7	20.174	0.010	0.110	1.700	0.187	1.125
164.40*	30	3.55	8.63	39.98	2.4	0.22	0.22	92.7	20.394	0.011	0.110	1.700	0.187	1.178
150	30	3.58	8.59	40.28	2.42	0.21	0.219	93.7	20.520	0.010	0.109	1.700	0.185	1.133
137.00*	30	3.4	9.06	39.71	2.22	0.23	0.229	94.7	21.686	0.011	0.118	1.700	0.200	1.148
124.00*	30	3.36	9.17	40.27	2.19	0.23	0.2305	95.7	22.059	0.010	0.119	1.700	0.203	1.134
111	30	3.41	8.92	38.08	2.23	0.23	0.2285	96.7	22.096	0.010	0.117	1.700	0.200	1.152
95.75*	30	2.88	10.78	43.18	1.75	0.25	0.2525	97.7	24.669	0.010	0.146	1.700	0.248	1.009
80.50*	30	2.54	12.41	49.44	1.52	0.25	0.264	98.7	26.057	0.010	0.165	1.700	0.280	0.892

<i>Val Piana</i>														
River Sta	Q Total	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Hydr Depth (m)	HcrV/Hv	Hv (m)	HcrV (m)	I_V	HcrP/Hp	Hp(m)	HcrP (m)	I_V(p)
65.25*	30	2.35	13.37	49.8	1.39	0.27	0.2705	99.7	26.969	0.010	0.178	1.700	0.302	0.893
50	30	2.21	14.02	51.11	1.32	0.27	0.274	100.7	27.592	0.010	0.186	1.700	0.316	0.854